



XXV CONGRESO INTERNACIONAL DE
MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS
26 AL 28 DE ABRIL DE 2023. Bogotá - Colombia



Asociación
Colombiana
de Ingenieros

USO DE HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS DE DATOS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA *EN SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA*

Autores: Arif Eslait - Leidy Urquijo
2023





Camino hacia la Eficiencia energética y operativa



La estrategia de *Gobierno nacional* lanza la transformación de sus sistemas energéticos
Desafíos de la generación distribuida

2020



Implementación del
Modelo de Confiabilidad Operacional
y soluciones para la **Gestión óptima de los Activos** en el marco de la *estrategia de descarbonización*.

2022



Hacia donde queremos
Generación Híbrida

2023



Analítica de datos operativos

De la central de autogeneración por parte del *Centro de Investigación e Innovación en Energía y Gas CIIEG* de la compañía.



Materialización de Beneficios:

- *Operación más eficiente* de las redes y la infraestructura
- *Gestión adecuada de la carga*
- Disminución de la *huella de carbono*
- *Optimización de costos* de operación y mantenimiento
- Incremento en la *Confiabilidad del servicio*

CENTRAL DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA



Central de Generación Distribuida



Esquema Regulatorio: Productor Marginal



Servicio: Autogeneración y comercialización de energía eléctrica en clúster industrial



Vinculados Económicos: 15 Fronteras Comerciales

Capacidad instalada: 4 MCI @2020

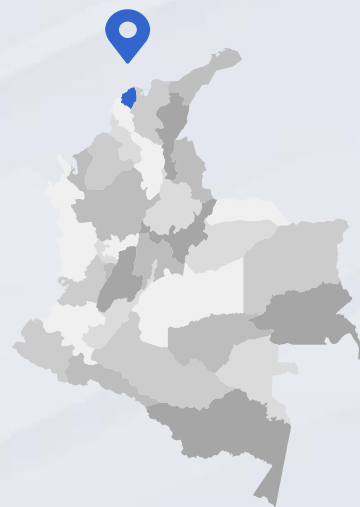
7.0 MW

7.0 km Red

5 MCI @2023

8.8 MW

13.8 kV



Zona Franca Barranquilla

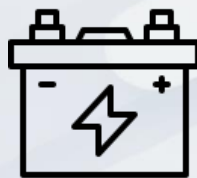




Características iniciales del Sistema



Autogeneración
Centralizada



Sin respaldo de
almacenamiento
en batería



Dos circuitos
dentro de la red.



20 GWh
prom. Annual
@ 2020

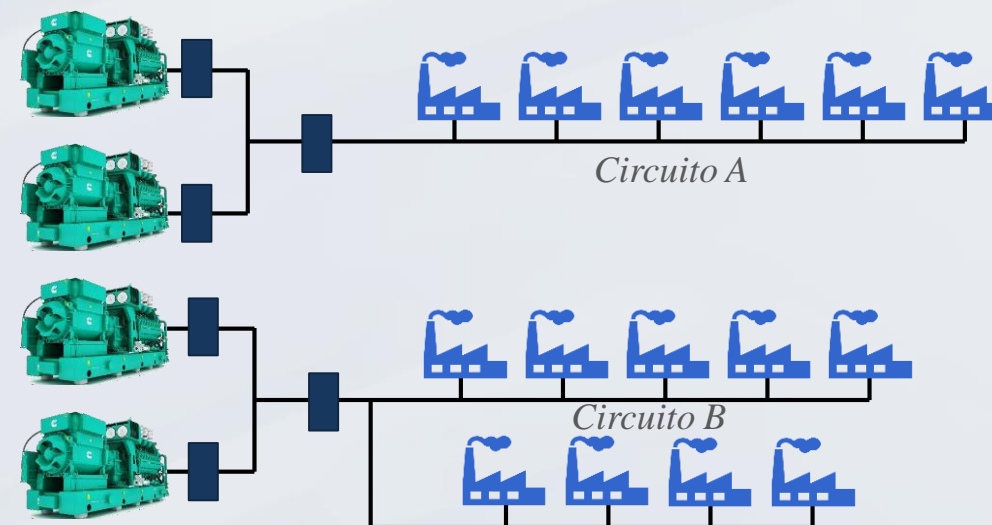


Sin conexión al del
Sistema Nacional
(Restricción Productor
Marginal)



Monitoreo
limitado

Esquema de Operación



4 x 1750 kW

Unidades motor-generator a gas natural

HITO 1

MARCO BASADO EN
DATOS PARA EL
ANÁLISIS DE LA
EFICIENCIA DE LA
GENERACIÓN
DISTRIBUIDA



XXV CONGRESO INTERNACIONAL DE
MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS
26 AL 28 DE ABRIL DE 2023. Bogotá - Colombia



Asociación
Colombiana
de Ingenieros

Enfoque para el marco basado en datos

Para el análisis operativo

1. Adquisición de datos y
desarrollo de línea base

2. Análisis demanda de energía

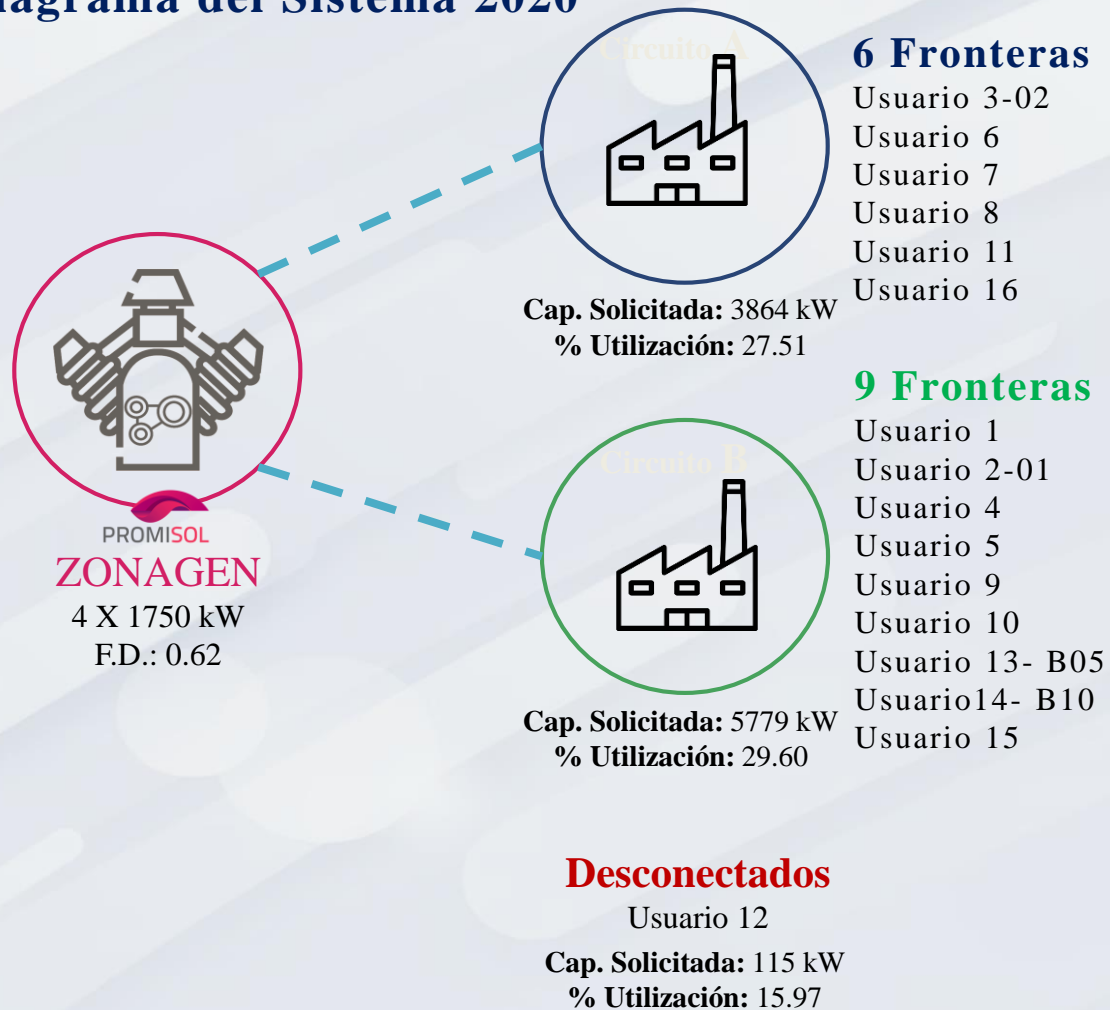
3. Análisis de comportamiento
de grupos electrógenos

4. Desarrollo y validación de
estrategias de optimización



I. Adquisición de datos y desarrollo de línea base

Diagrama del Sistema 2020



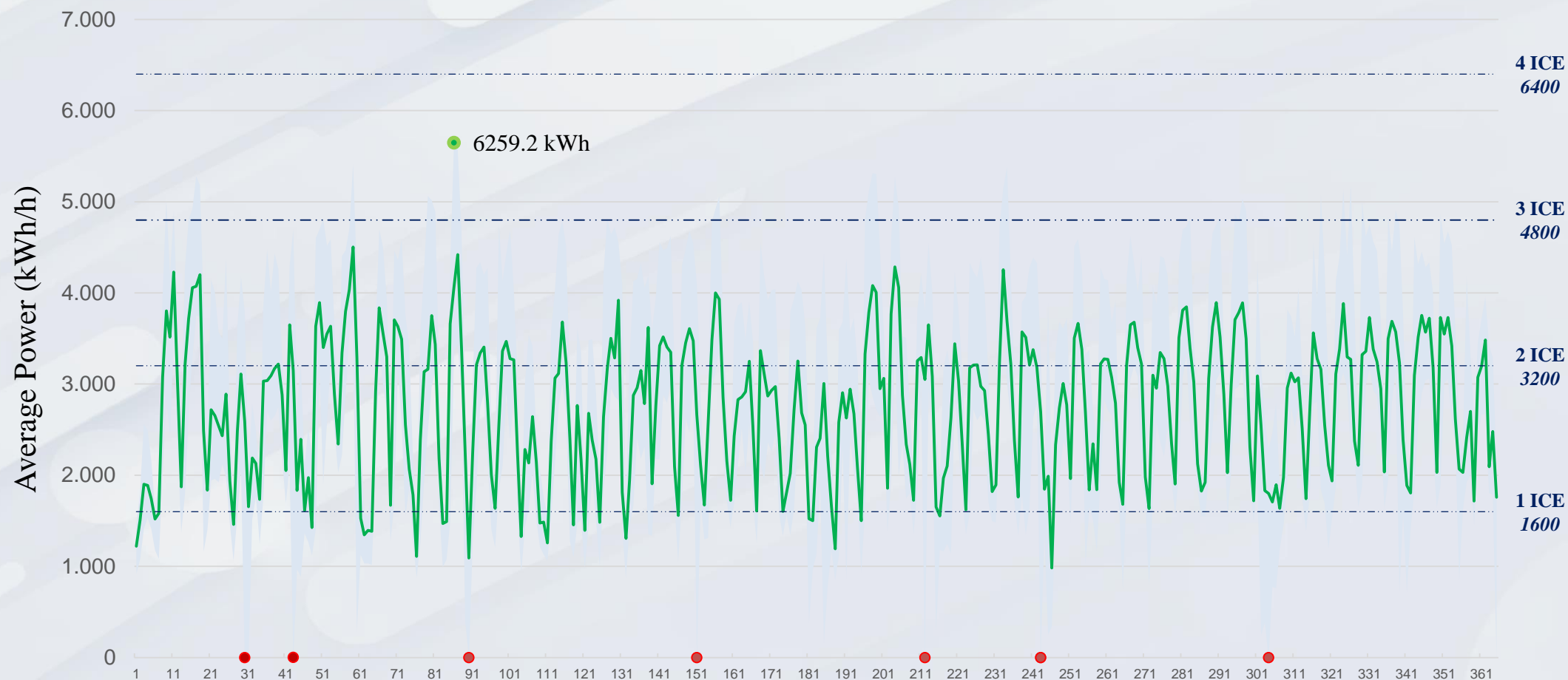
Perfiles industriales y capacidades de consumo

Usuario	Tipo de Industria	Proceso /Sector	Energía media Consumo (kWh/ mes)	Energía promedio Demanda (kW)	Turnos operativos
Usuario 1	Fabricar	Agroindustrial	159.977	400	Tiempo completo 24/7
Usuario 2	Fabricar	Textil	101.673	400	lun – sáb (día) Temporadas 24/7
Usuario 3	Servicios	Logistica	785.181	1250	lun – sáb (día)
Usuario 4	Fabricar	Textil	27.472	120	lun – sáb (día)
Usuario 5	Fabricar	Fabricación de barcos	77.585	300	lun – sáb (día)
Usuario 6	Fabricar	Farmaceutico	317.920	450	Tiempo completo 24/7
Usuario 7	Fabricar	Textil	38.197	150	lun – sáb (día)
Usuario 8	Fabricar	Cemento	125.992	750	lun – sáb (día) Temporadas 24/7
Usuario 9	Fabricar	Madera	11.707	80	lun – sáb (día)
Usuario 10	Servicios	Oficinas	46.255	180	lun – sáb (día)



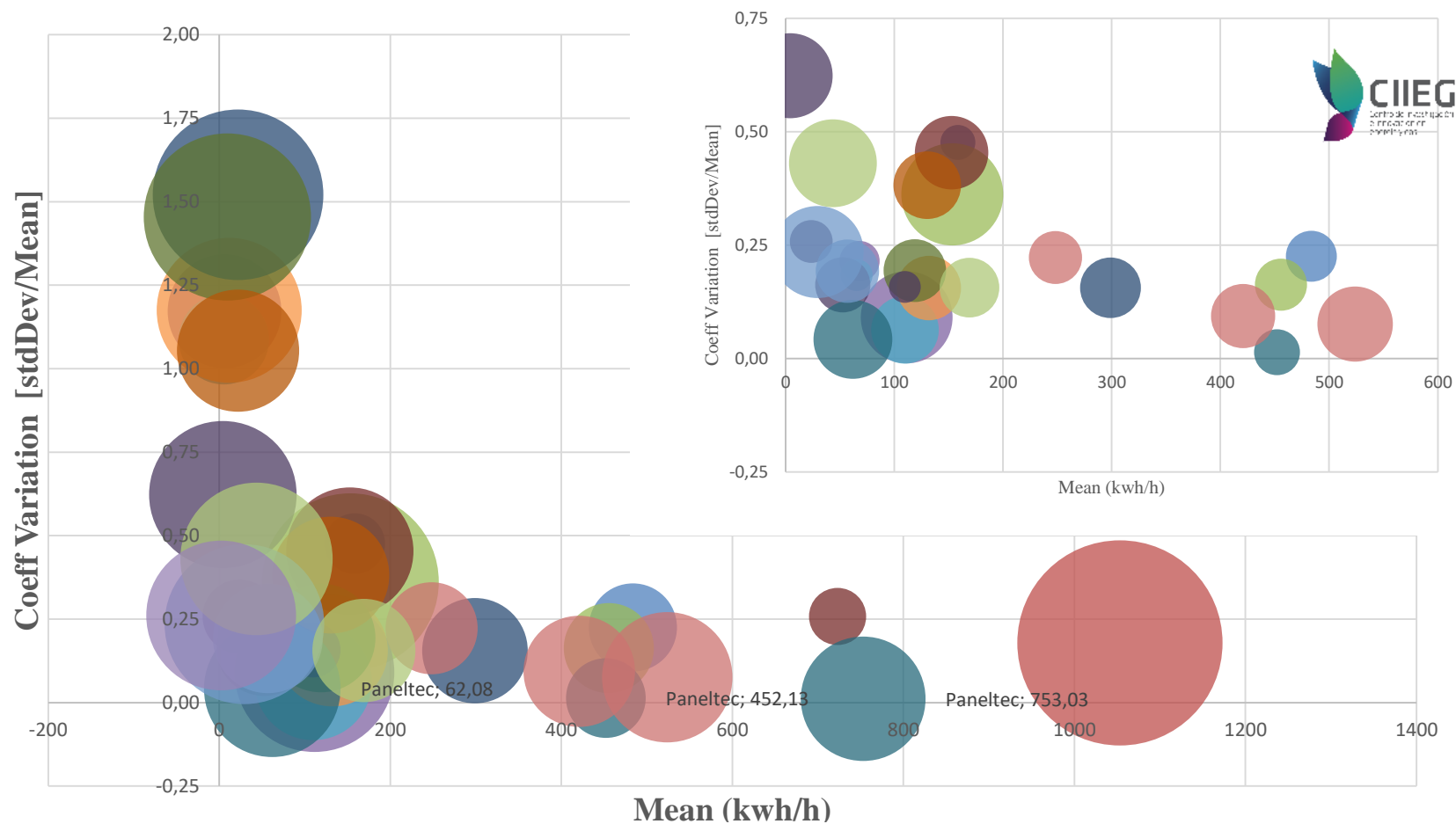
II. Análisis General de Energía

La línea verde representa la demanda de energía promedio diaria en 2018 y el área gris los datos de 2019. Los puntos rojos corresponden a eventos en los que se interrumpió la operación. A la derecha se representa la capacidad nominal de uso de cada uno de los cuatro generadores.





Perfil de Consumo Energético



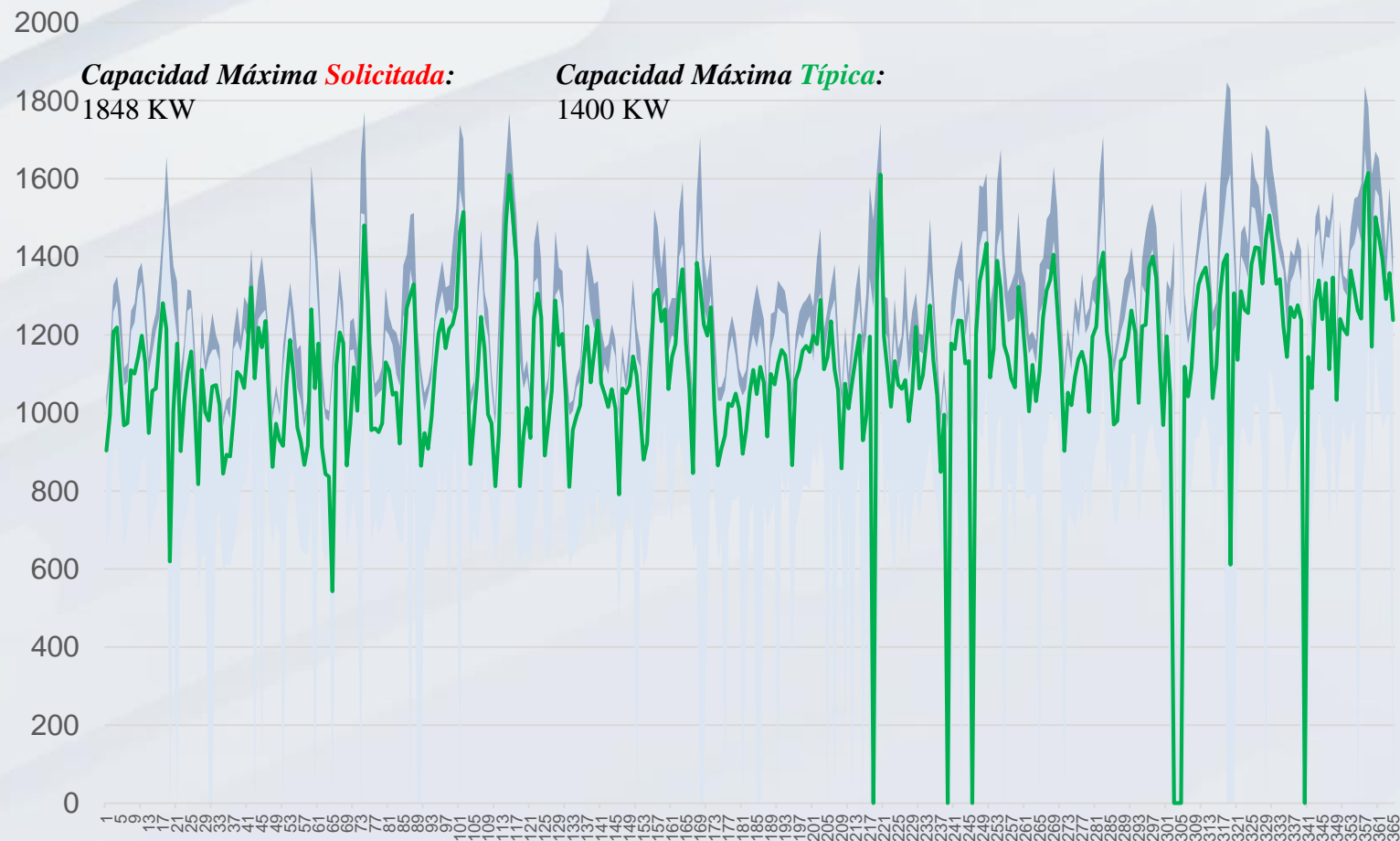
Usuario 1	Usuario 15	Usuario 4	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 6
Usuario 5	Usuario 7	Usuario 8	Usuario 9	Usuario 11	Usuario 12
Usuario 13	Usuario 14	Usuario 16	Usuario 10		



Análisis de la Demanda

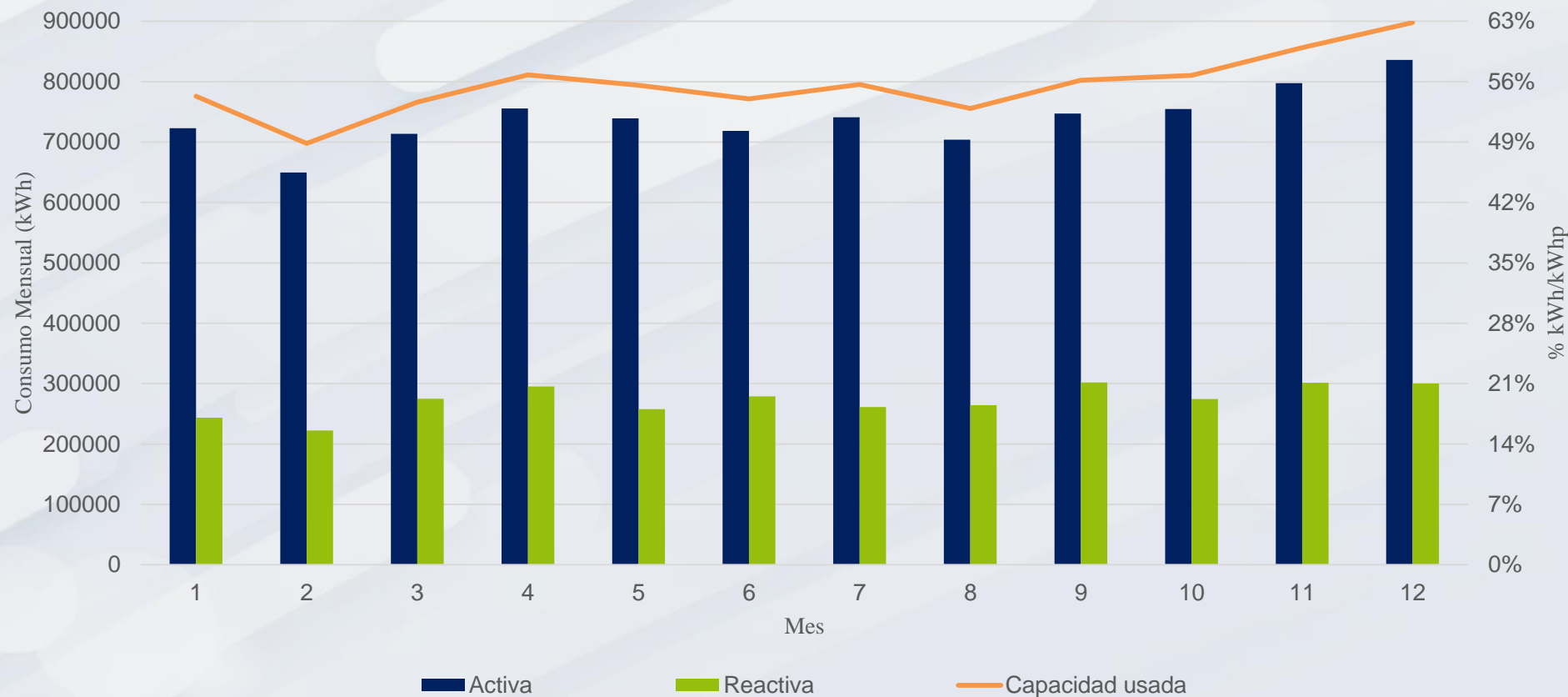
Usuario 15 SPRB

Vista General Consumo (kwh/h)





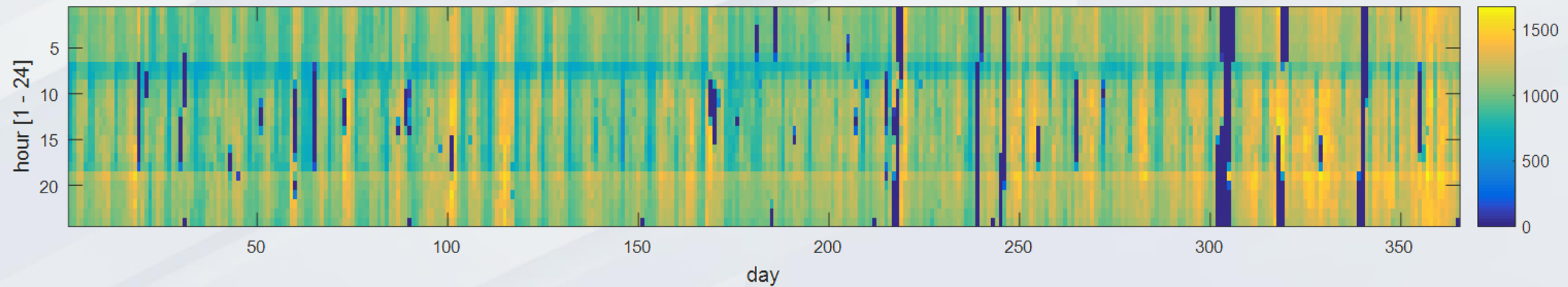
Indicadores Operacionales 2019



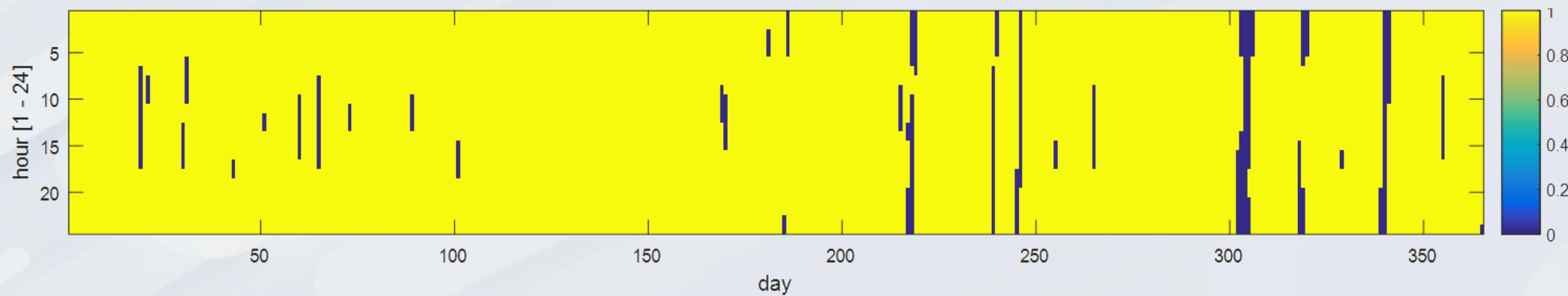
SPRB utiliza la capacidad solicitada en promedio un **55.0%**, con utilizaciones máximas cercanas al **63.0%**.



Comportamiento del consumo (kwh/h)

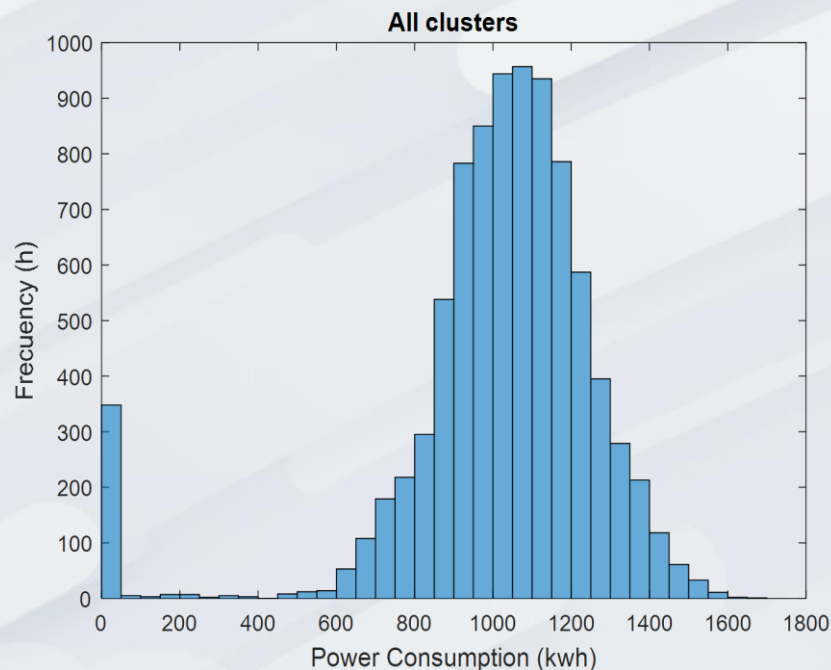


Estados Operación



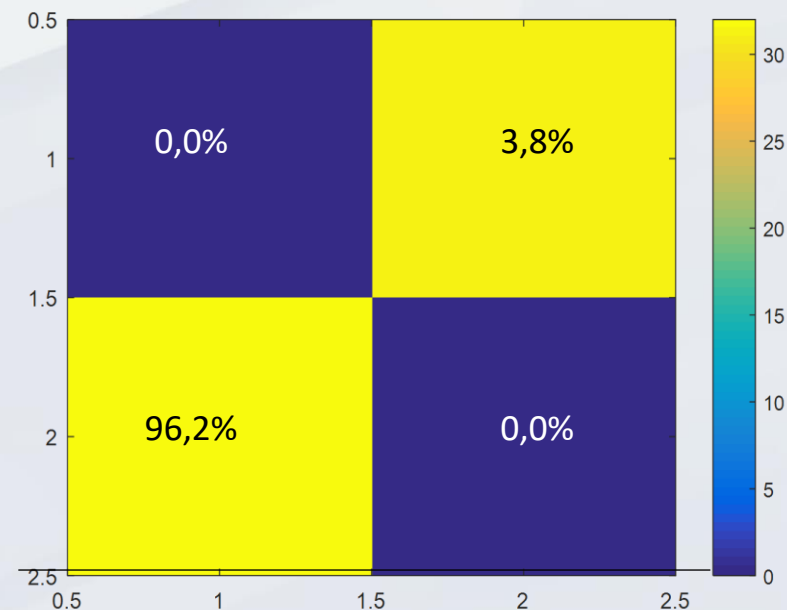


Distribución en Demanda de Energía (kwh/h)



k	0	1
Total Hours	329	8431
% Active	4%	96%
Mean	0,00	1053,25
Std. Dev.	0,00	188,05
Max	0,00	1674
Min	0,00	0,00

Análisis de Transiciones en Demanda de Energía

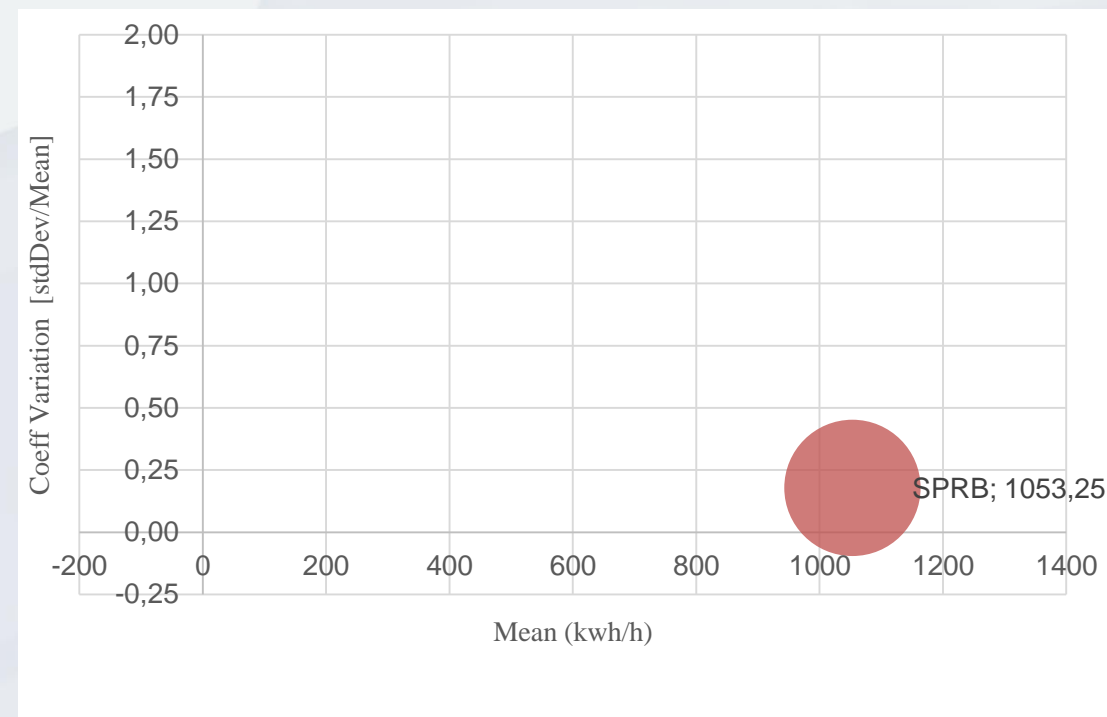
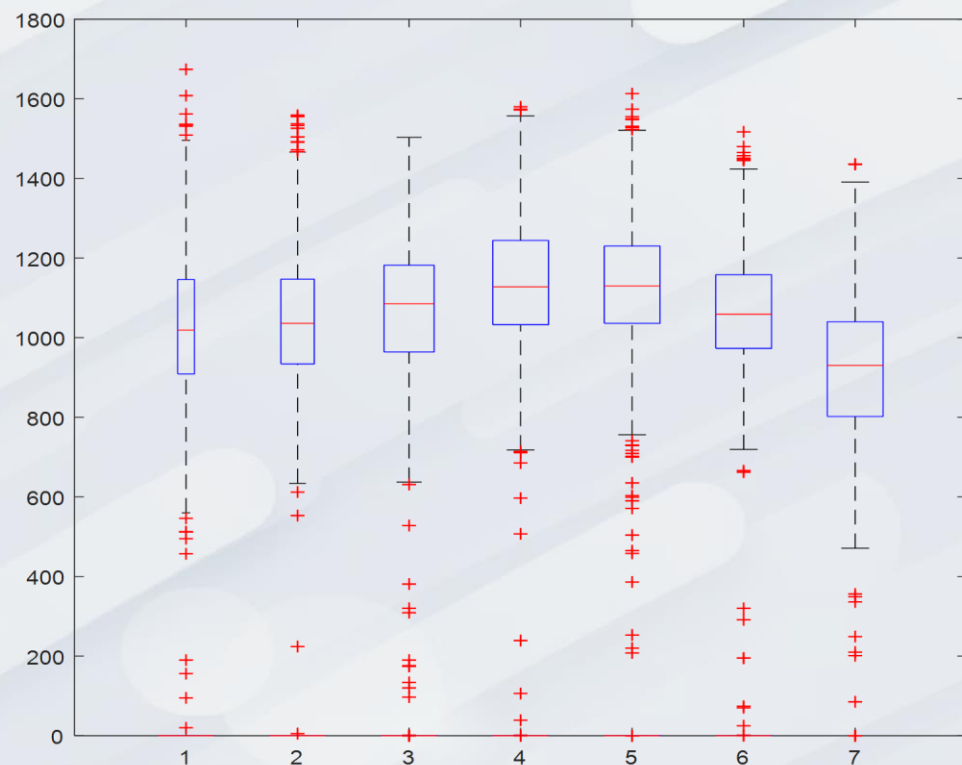


- ΔP típicos < **50 kwh/h**.
- Hubo **63** transiciones entre estados de operación (1 c/ 134h)
- Los cambios en la demanda energética se presentan en mayor frecuencia con magnitudes inferiores a **50 kwh/h**.
- Transiciones ascendentes y descendentes incrementales.



Perfiles Operativos en Demanda de Energía (kwh/h)

k = 1



Alta Carga:

- Patrón Semanal: Bañera invertida
- Sobredemanda: Sí. **200 KW**
- Potencia: **1850 KW**

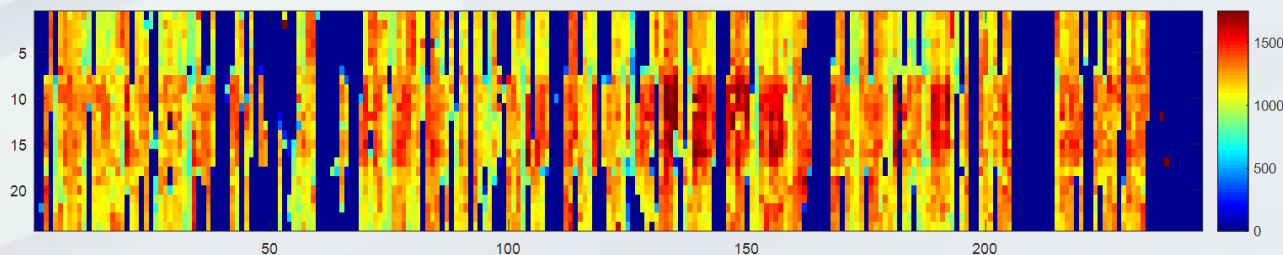


III. ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS

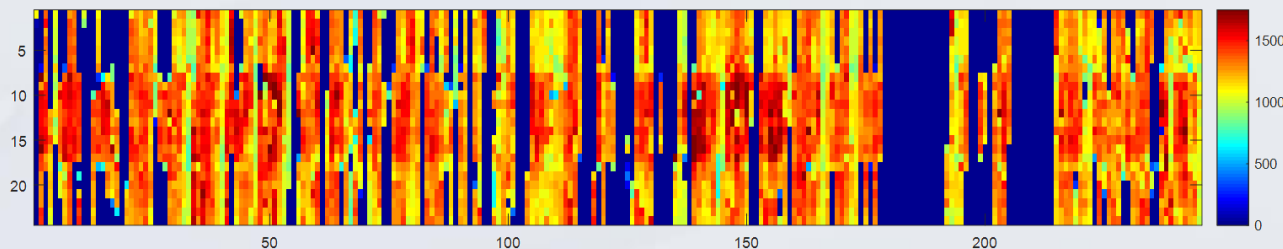


Análisis General (kwh/h)

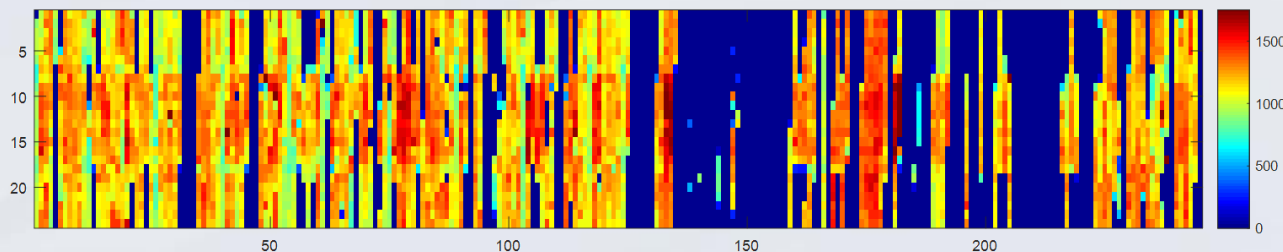
M1



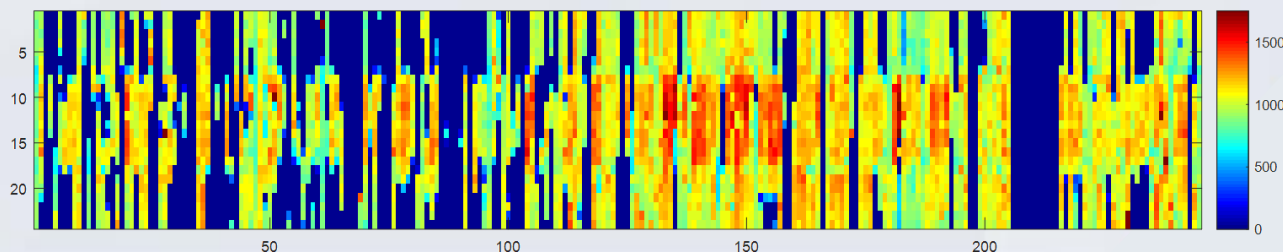
M2



M3



M4



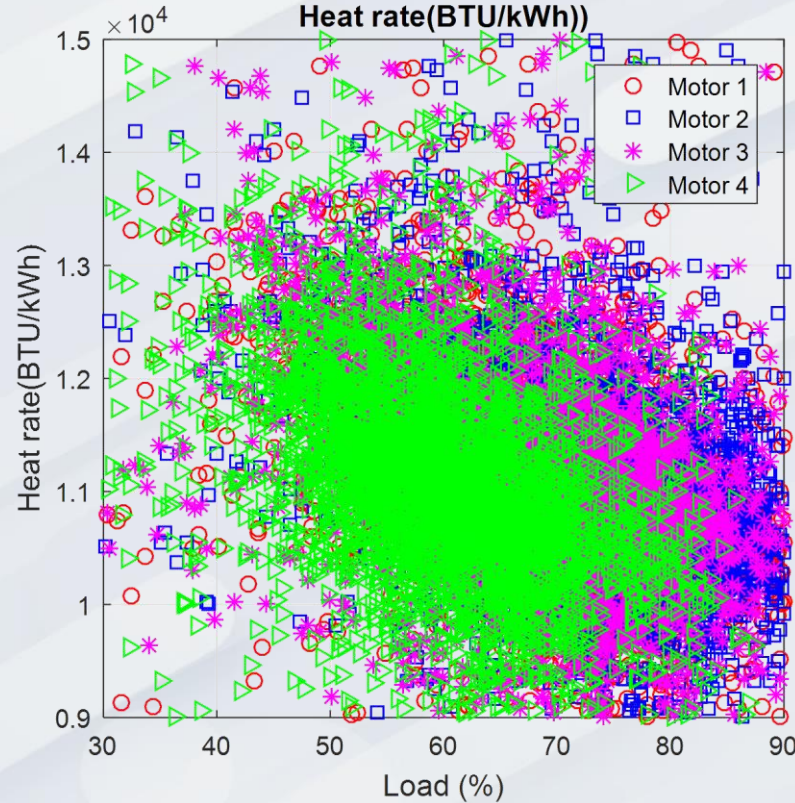
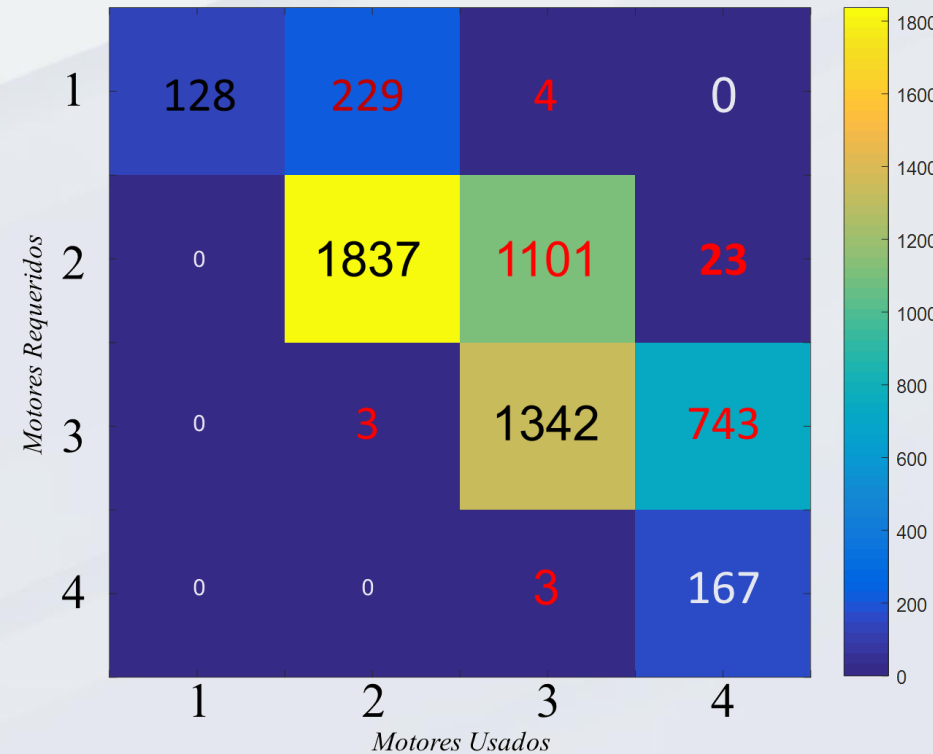


Gestión Operativa

Escenarios de Generación

Fallidos (rojo)

38% de Casos



Escenarios de generación exitosos y no exitosos en función de los grupos electrógenos que operan según los supuestos del operador y la demanda real de energía.

Con base en estos resultados...

IV. Desarrollo y validación de estrategias de optimización

CONFIABILIDAD CORPORATIVA

HITO 2
IMPLEMENTACIÓN
MODELO
CONFIABILIDAD
OPERACIONAL
ZONAGEN 2.0



PROMIGAS



PROMISOL
Zonagen Una empresa PROMIGAS

Pilares de la Confiabilidad Operacional





Confiability Humana

Reorganización del personal



Ajuste perfil técnico de Operación y Mantenimiento de la central



Contratación de Técnicos con competencias en Operación y Mantenimiento de plantas de generación eléctrica



Conformación un grupo de técnicos de operación y un grupo de Técnicos de mantenimiento



Desarrollo de competencias técnicas del personal Operación y Mantenimiento



Entrenamiento especializado en Operación de Plantas de Autogeneración con fabricantes de la tecnología



Entrenamiento especializado en rutinas de Mantenimiento de motores gas Cummins y lubricación de motores de combustión interna



Programa Entrenamiento en puestos de trabajo





Mantenibilidad de Equipos

Mantenimiento a Infraestructura de Red

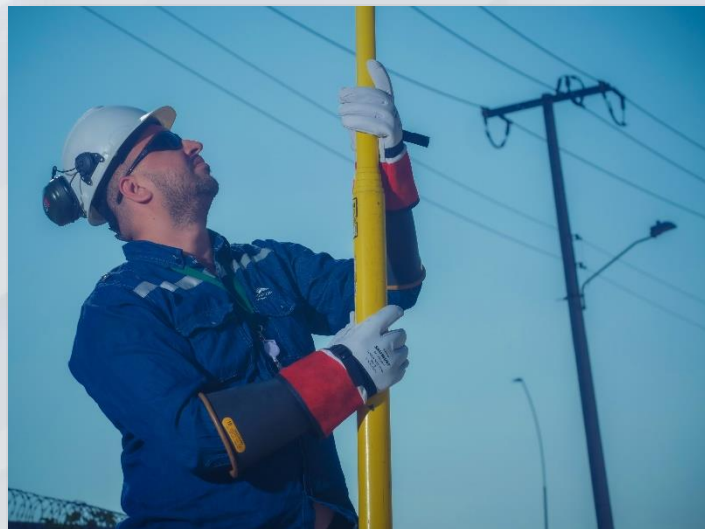


Mantenimiento Mayor a los 7 km de red eléctrica reemplazando aisladores y componentes en mal estado

Mantenimientos Mayores Motores de Combustión Interna



Realización de mantenimiento mayores de 30.000 Horas a los motor de combustión Interna 1, 2 y 3



Mantenimiento Sistemas Periféricos



Acuerdos con talleres y proveedores para mejorar tiempos de respuesta en mantenimiento de equipos periféricos

Herramientas Especiales para Mantenimiento



Adquisición de herramientas especiales para disminuir tiempos de reparación

Inventario de Repuestos



Establecimiento de una política para la definición y compra de stock de repuestos asociados a los modos de fallas críticos



Confiabilidad de Equipos

Implementación Mejores Prácticas

Mantenimiento
Centrado en
Confiabilidad

Análisis de
Modos y Efectos
de Falla

Consultorías
Técnicas y
Auditorías



Robustecimiento Protecciones eléctricas Infraestructura de Red y Circuitos



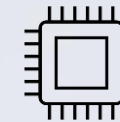
Elementos para prevenir efectos por sobrevoltajes y sobre corrientes red y motores.

Sistema automático Gestión de Carga



Implementación SCADA: Telemida, telecontrol y deslaste automático de cargas.

Instalación de Reconnectores en la red



Implementar niveles de deslaste de carga de usuarios para eliminar las fallas totales de la central interrupción del servicio por tramos de red

Fortalecimiento de Programa de Monitoreo de condiciones



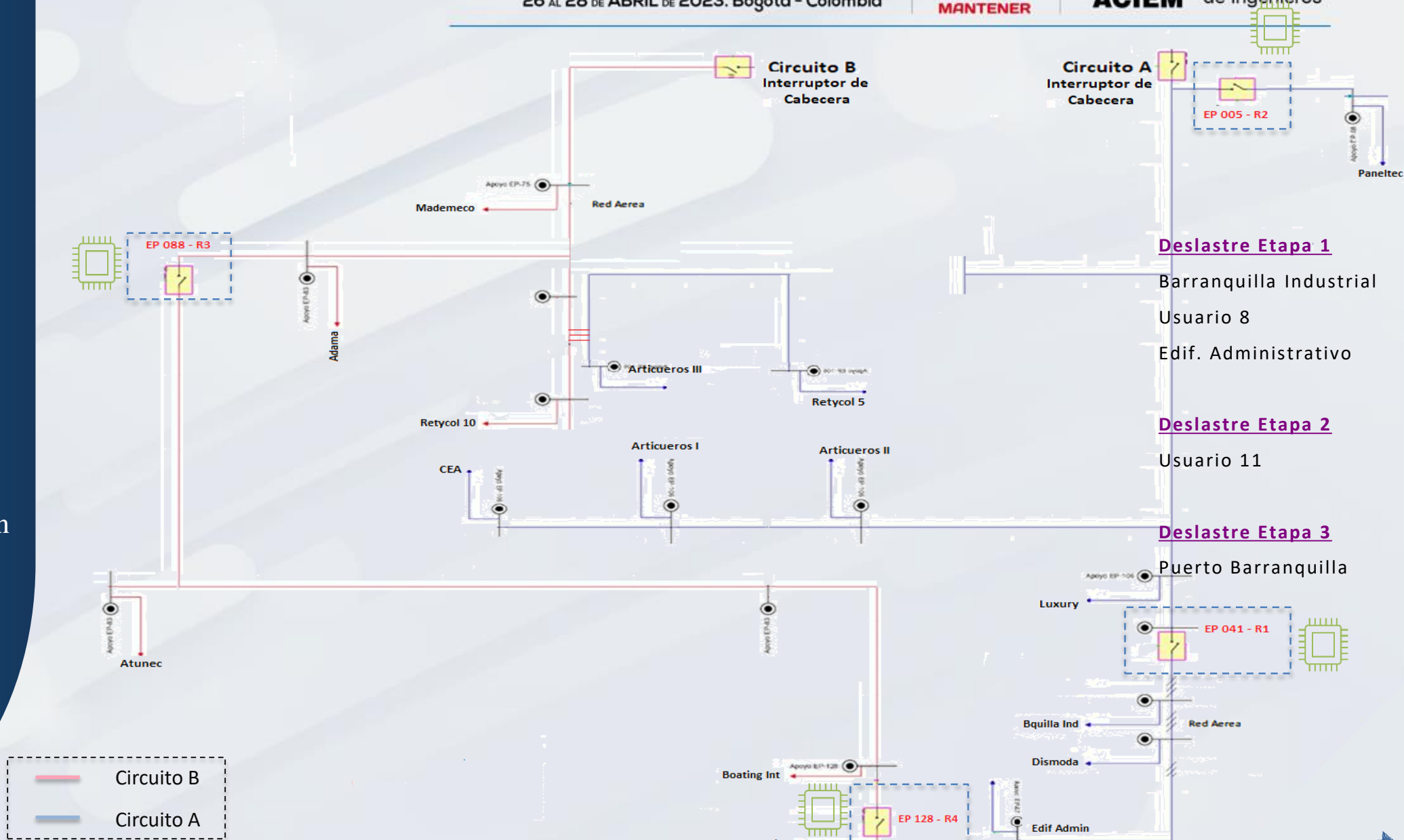
Adquisición de equipos para la implementación de rutinas de monitoreo de condiciones:

- Termografía Infrarroja
- Monitoreo Variables eléctricas
- Monitoreo de Vibraciones



Topología Red Zonagen

Instalación de
Reconectores
Sistema de Protección
y Deslaste





Confiabilidad de procesos

Definición de Protocolo de Operación



Definición de protocolo de arranque de la planta de generación a partir de los perfiles de consumo de energía de los clientes realizada por el CIIEG

Estandarización de Procedimientos de Operación



Estandarización y documentación de los procedimientos de operación definiendo variables críticas del proceso

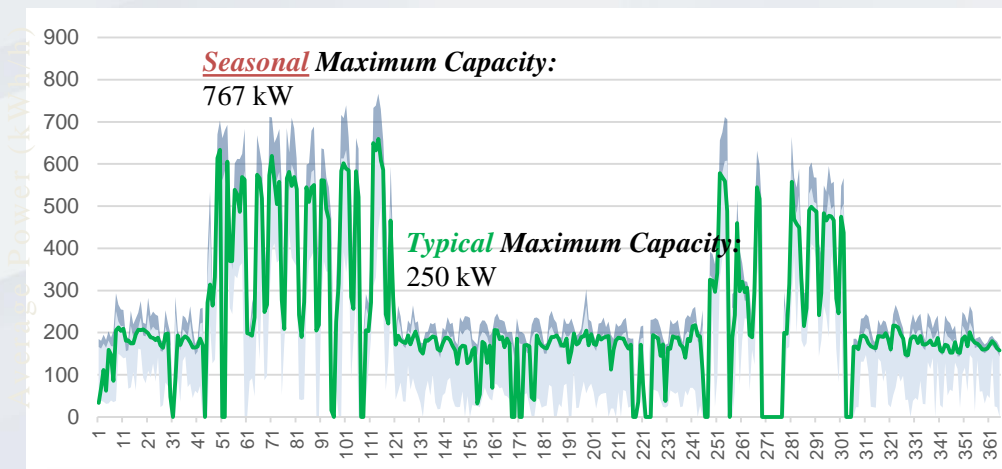


Definición de un protocolo de situacional de eventos

Estandarización de Procedimientos de mantenimiento



Estandarización y documentación de los procedimientos de planes de mantenimiento



Mejoras en las Métricas e Indicadores



Mejoras por Incrementos en:



- ✓ Mayor eficiencia energética
- ✓ Incremento en la comercialización de energía con la misma capacidad instalada
- ✓ Mayor facturación en ventas
- ✓ Incremento en el MTBF
- ✓ Incremento en Confiabilidad de la red

Mejoras por Disminución en:



- ✓ Menor consumo promedio de combustible de Gas por kWh generado
- ✓ Disminución en el número de fallas por Shutdown de la central
- ✓ Disminución en frecuencia media de Interrupciones por Cliente SAIFI y el tiempo promedio de interrupciones por cliente SADI



Mejoras en la Eficiencia Energética

Consumo de combustible [m3/kW]



Consumo de Gas

↓ **5%** Gas/
kWh

Respecto al 2021



Ahorros



**COP\$ 400
Millones**

Por menor consumo Gas
Natural



Incremento en la Comercialización de energía [kWh/año]



Gracias a la implementación del modelo de confiabilidad operacional, en el 2022 operamos la central con una mejor eficiencia energética logrando disponer del 4to motor para conectar a 2 nuevos usuarios a la red.



Ahorros en Generación



MM COP
Entre el 2022 y 2023



Abatimiento de Emisiones de GEI

En el **2022** evitamos generar:

En **2023** proyectamos evitar emisiones:




Al implementar el modelo de confiabilidad operacional, logrando mejorar significativa el rendimiento energético y operativo de los motores en Zonagen.



Factor de Emisión

Disminución del Factor de Emisión en Motores

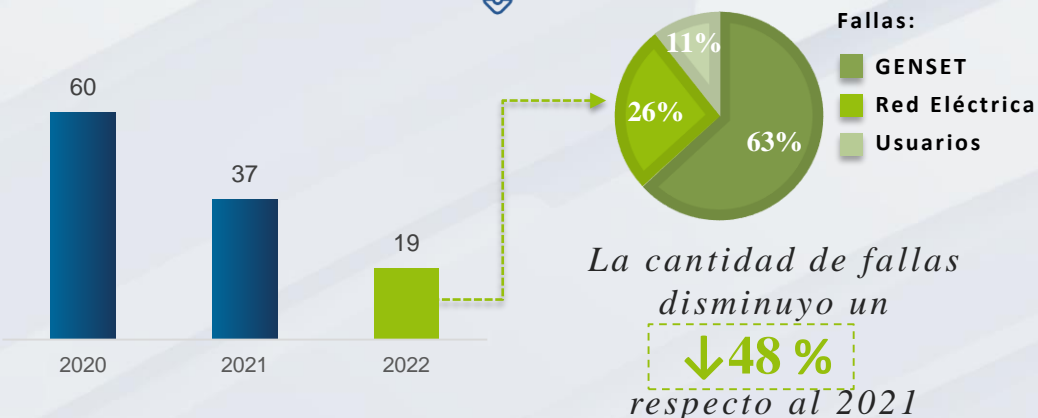
 FE 2021: **0,680**
FE 2022: **0,661**
FE 2023: **0,654**
Proyectado

- 3,7% ↓
Ton CO₂EQ
MWh

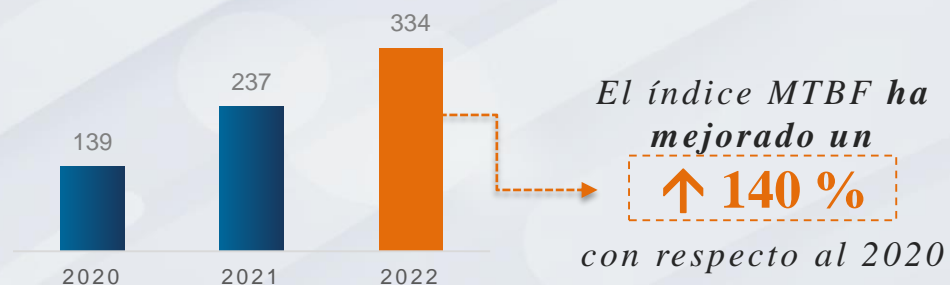


Confiabilidad del Servicio

Eventos de Fallas



Tiempo medio entre fallas MTBF [hrs]

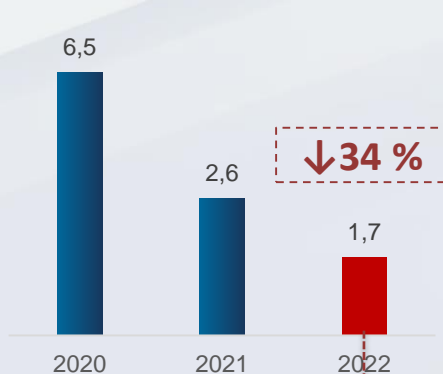


Indicadores de Confiabilidad del servicio



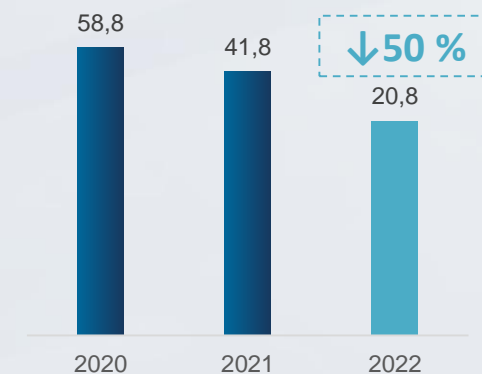
SAIDI

Tiempo promedio de interrupciones por cliente [Hrs]

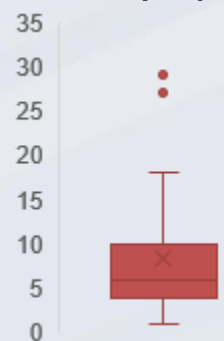


SAIFI

Frecuencia media de Interrupciones por Cliente



Duración [min]



En 2022, el **80%** de las interrupciones tardó entre 1 y 10 minutos.

Para 2022 mejoramos el indicador **SAIDI** un **↓34%** y **SAIFI** un **↓50%** respecto al 2021



Próximos Hitos

Hacia donde queremos ir... GENERACIÓN HÍBRIDA

Enmarcados en la Estrategia de Descarbonización, nuestros siguientes pasos en proyectos de generación híbrida entre energías renovables (FCER) y generación a gas natural:

1 SOLAR FOTOVOLTAICO

Complemento de la matriz energética con energía fotovoltaica.

Potencial Identificado
1.6MW

Energía a Inyectar
2.300 MWh/año



10% Producción Actual

2 ALMACENAMIENTO BATERÍAS BESS

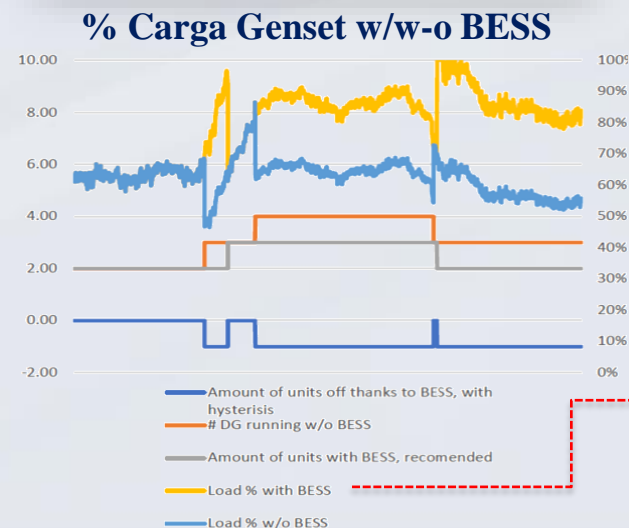
Respaldo con almacenamiento de baterías para asegurar el suministro constante.





Incremento de la Capacidad Instalada
1.1 MWh

CAPEX:
US \$700.000

AHORROS
US/Año \$100.000



Eliminación de potencia rodante 

Mayor Eficiencia eléctrica 

Menores Emisiones GEI 



XXV CONGRESO INTERNACIONAL DE
MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS
26 AL 28 DE ABRIL DE 2023. Bogotá - Colombia



Asociación
Colombiana
de Ingenieros

Muchas gracias

USO DE HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS DE DATOS PARA MEJORAR EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA

*Autores: Arif Eslait - Leidy Urquijo
2023*

