



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

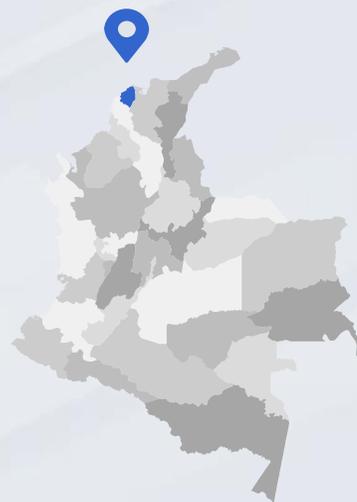
7.0 MW

7.0 km Red

5 MCI @2023

8.8 MW

13.8 kV



Zona Franca Barranquilla

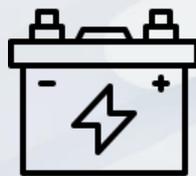




## Características iniciales del Sistema



Autogeneración  
Centralizada



Sin respaldo de  
almacenamiento  
en batería



Dos circuitos  
dentro de la red.



20 GWh  
prom. Annual  
@ 2020

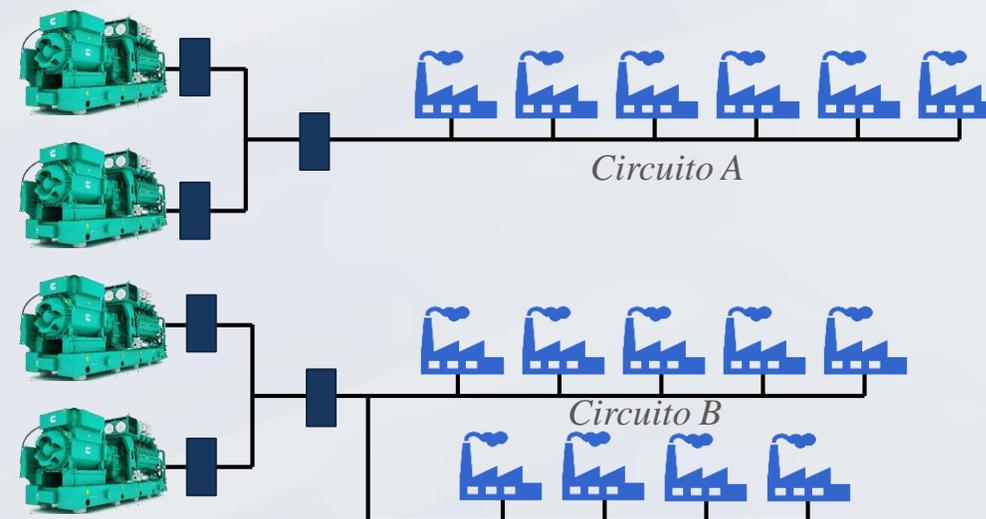


Sin conexión al del  
Sistema Nacional  
(Restricción Productor  
Marginal)



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

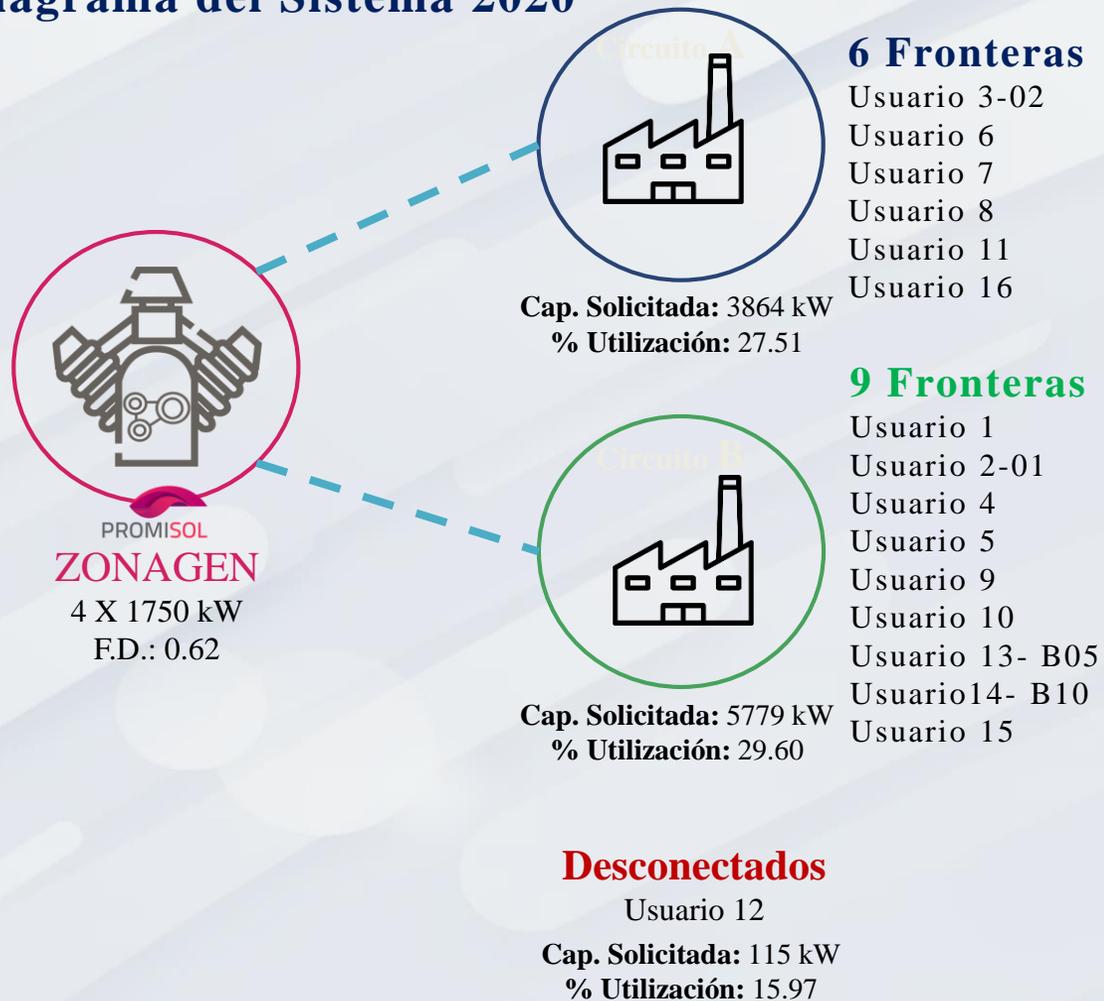
3. Análisis de comportamiento  
de grupos electrógenos

4. Desarrollo y validación de  
estrategias de optimización



# I. Adquisición de datos y desarrollo de línea base

## Diagrama del Sistema 2020



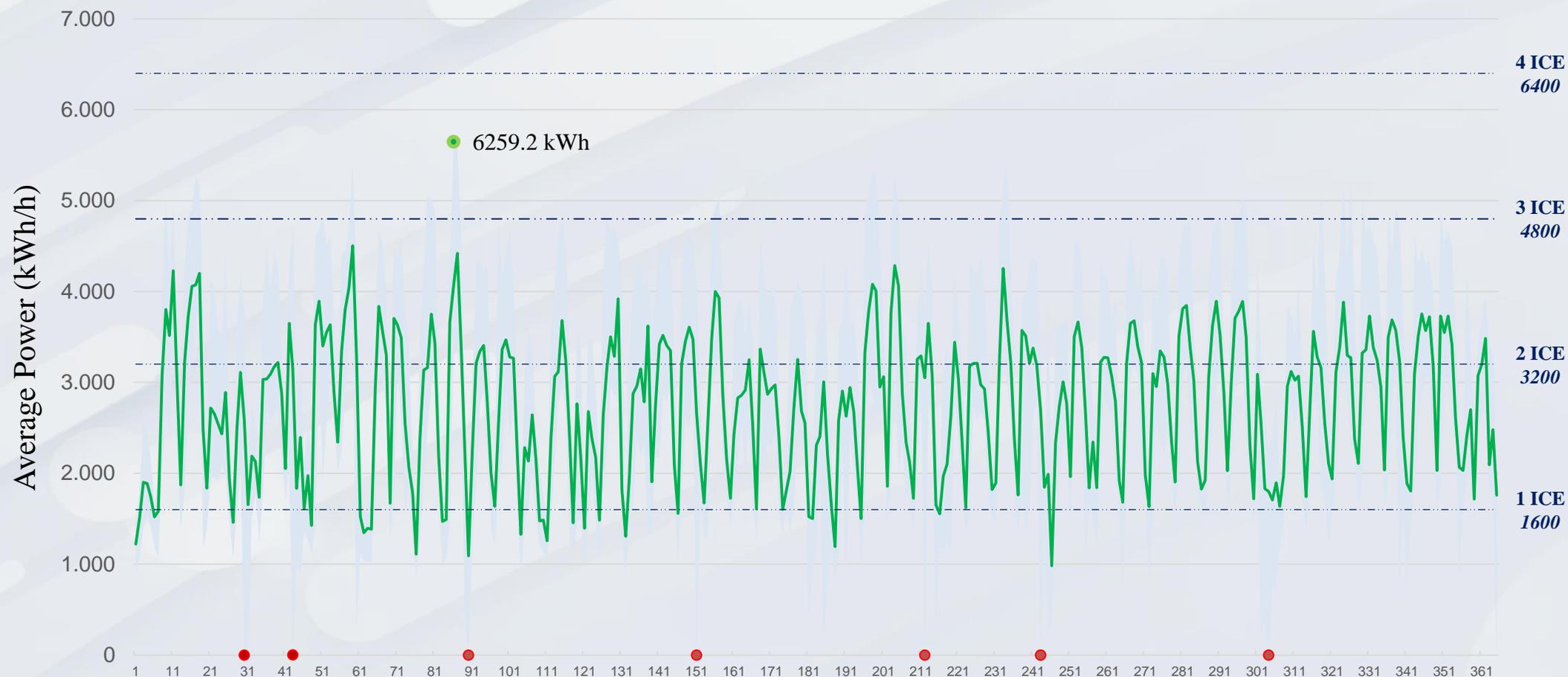
## Perfiles industriales y capacidades de consumo

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)



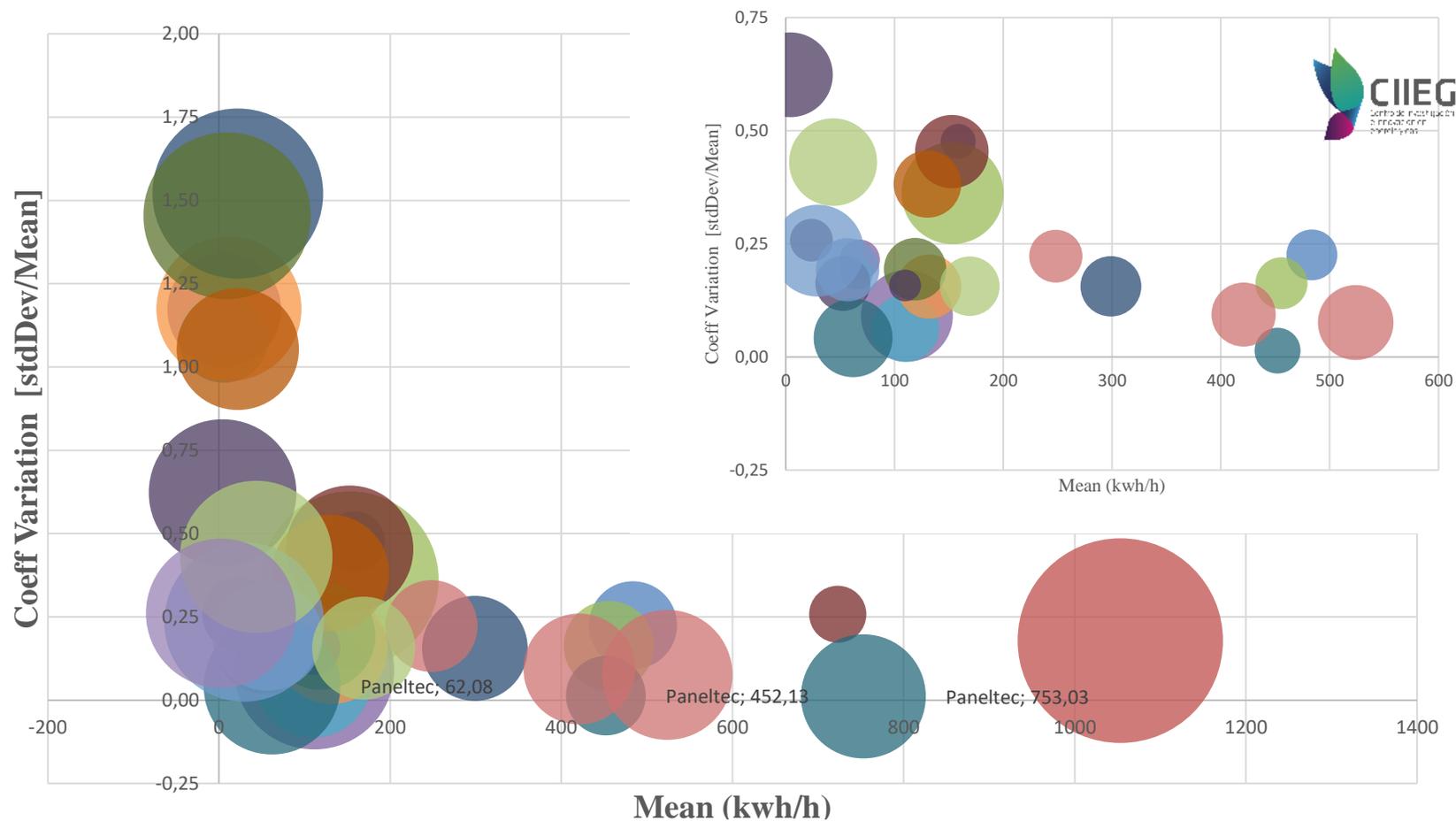
## II. Análisis General de Energía

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



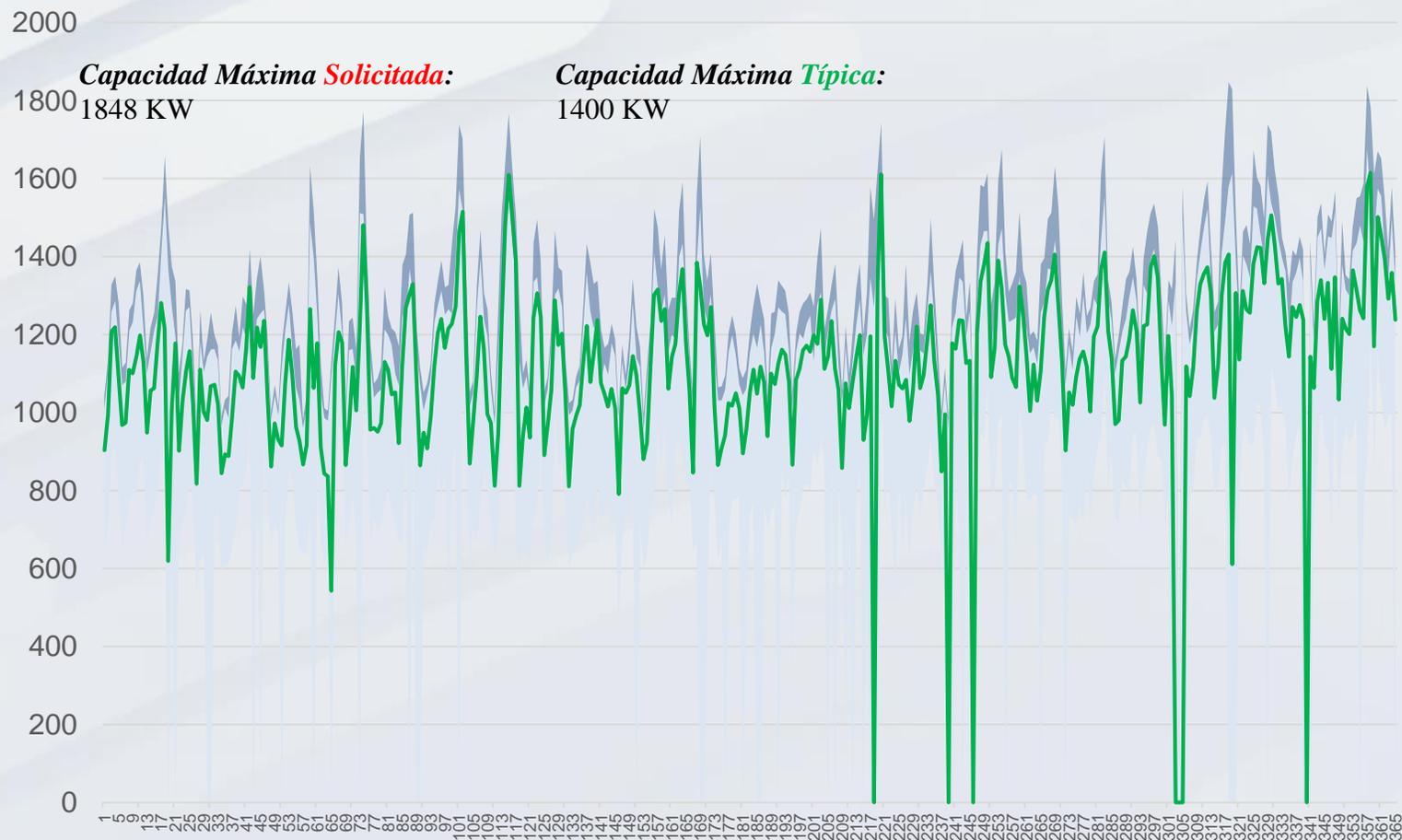
Usuario 1	Usuario 15	Usuario 4	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 6
Usuario 5	Usuario 7	Usuario 8	Usuario 9	Usuario 11	Usuario 12
Usuario 13	Usuario 14	Usuario 16	Usuario 10		



# Análisis de la Demanda

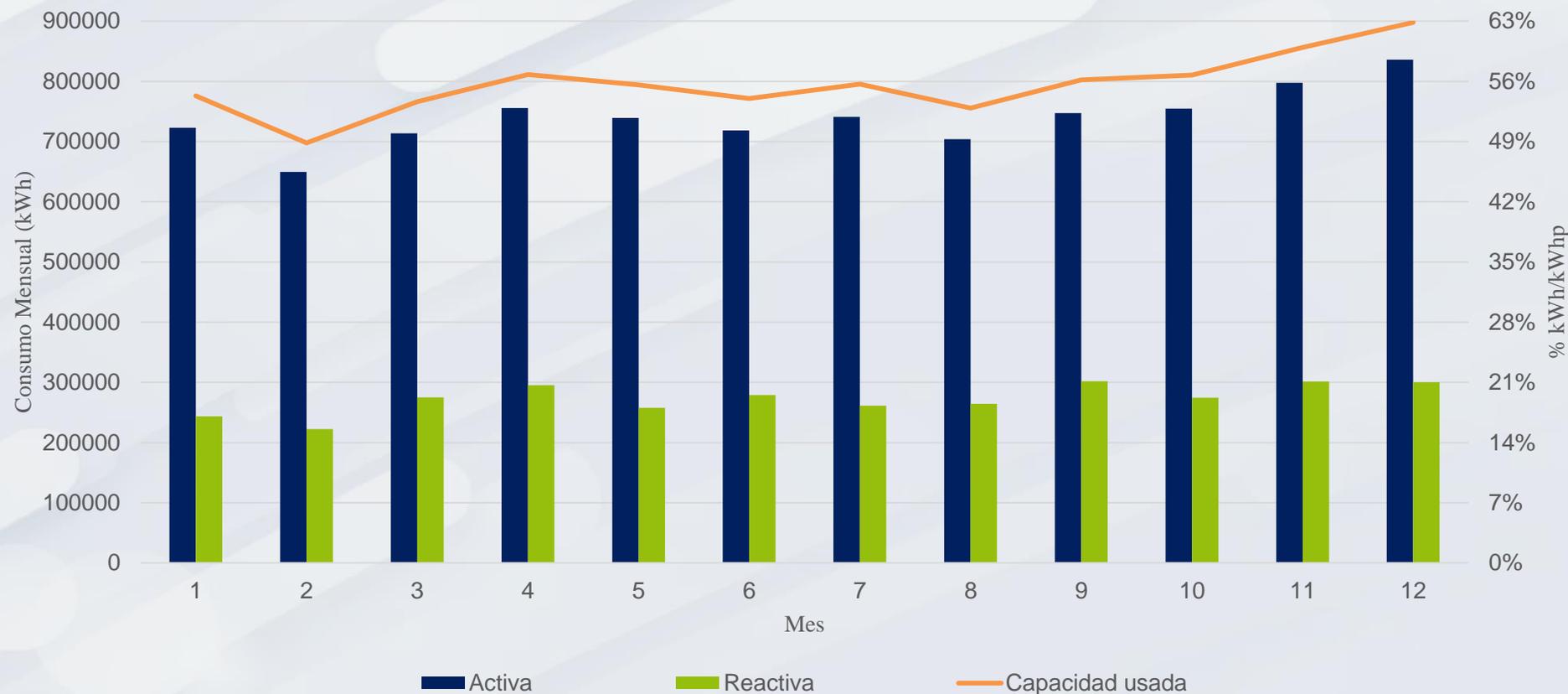
## Usuario 15 SPRB

### Vista General Consumo (kwh/h)





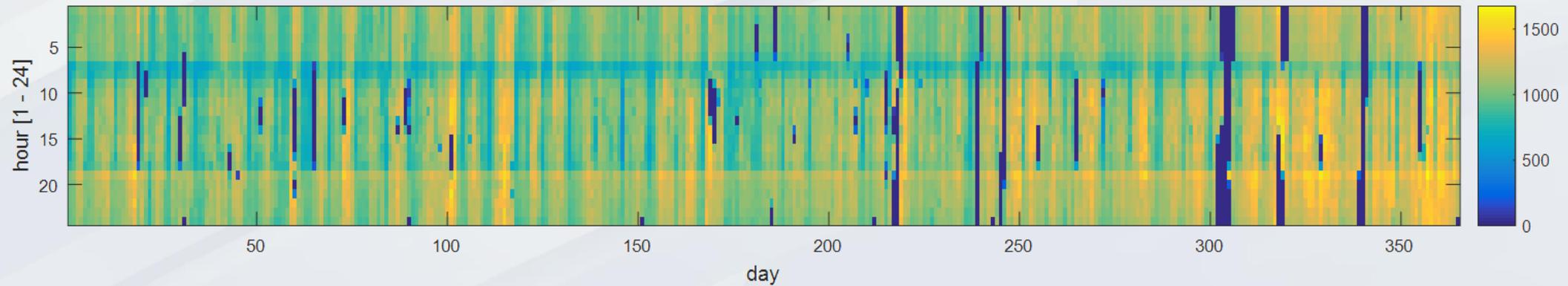
## Indicadores Operacionales 2019



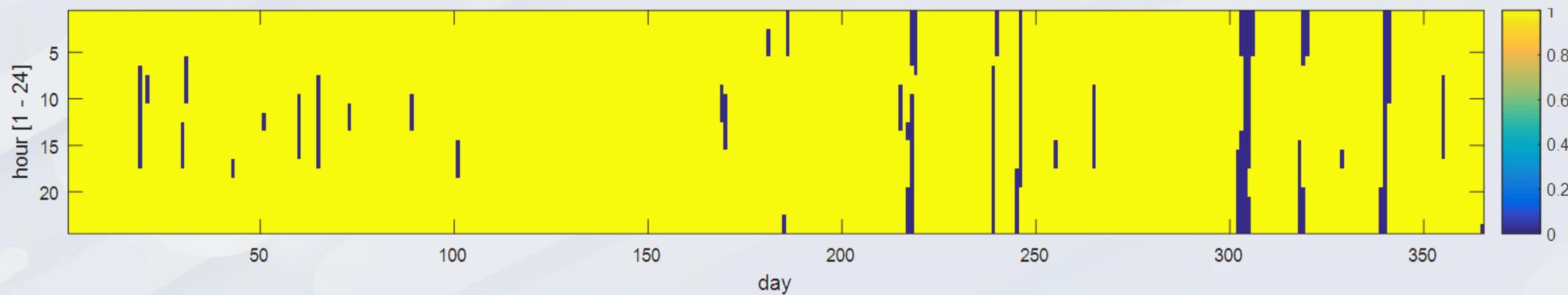
SPRB utiliza la capacidad solicitada en promedio un **55.0%**, con utilizaciones máximas cercanas al **63.0%**.



## Comportamiento del consumo (kwh/h)

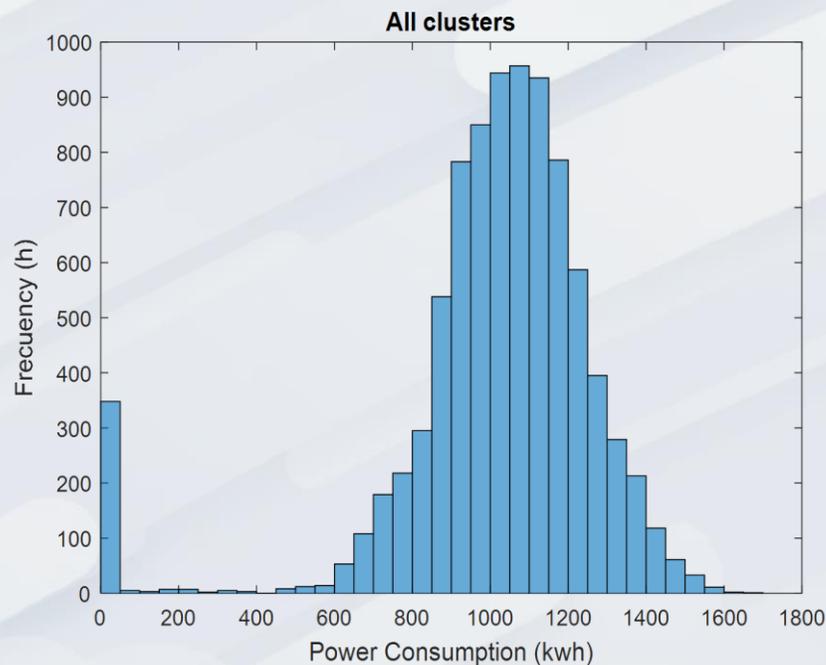


## Estados Operación



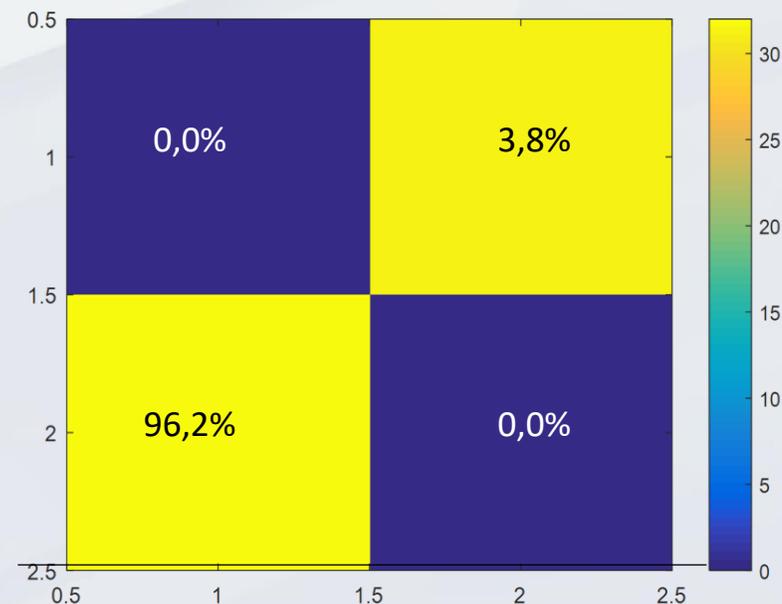


## Distribución en Demanda de Energía (kwh/h)



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

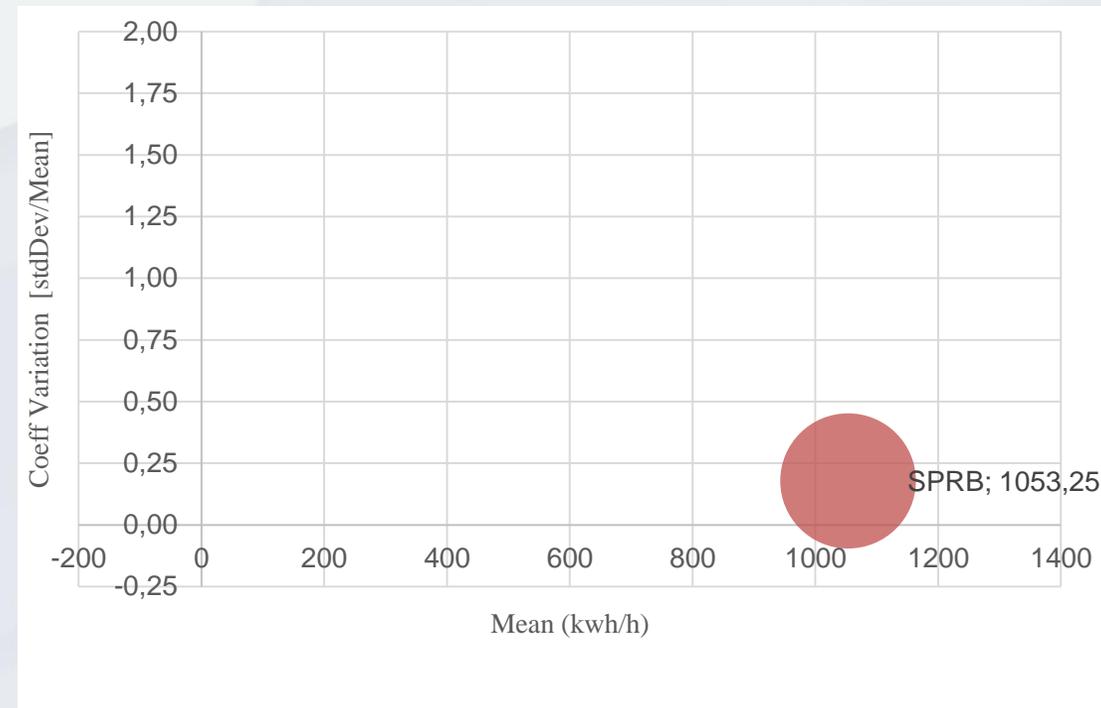
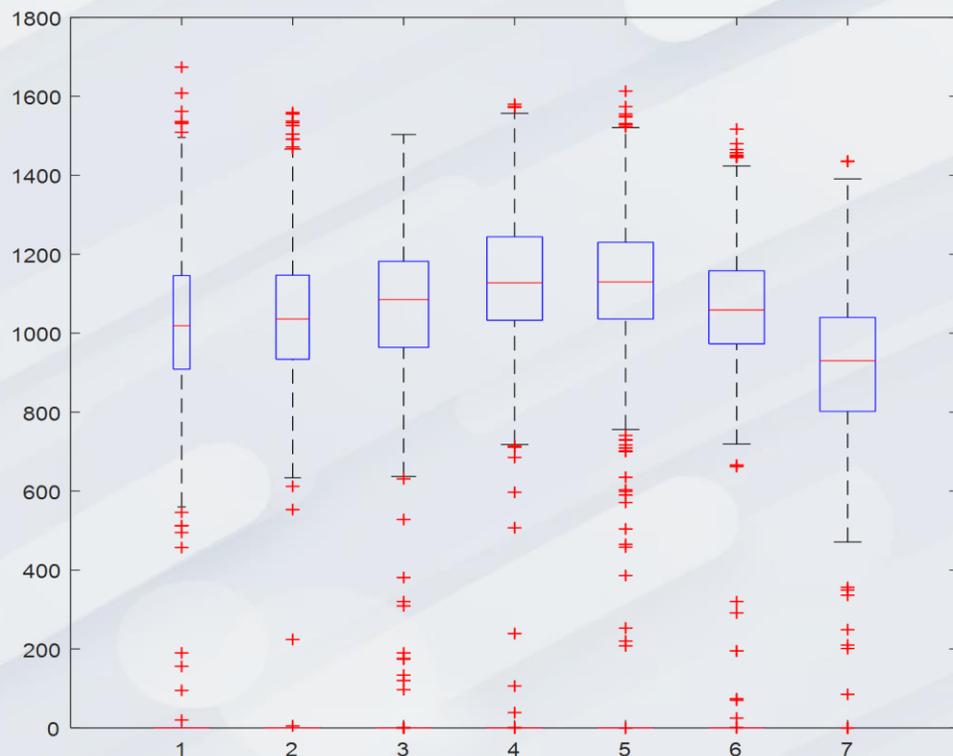


- $\Delta P$  típicos < **50 kwh/h**.
- Hubo **63** transiciones entre estados de operación (1 c/ 134h)
- Los cambios en la demanda energética se presentan en mayor frecuencia con magnitudes inferiores a **50 kwh/h**.
- Transiciones ascendentes y descendentes incrementales.



## Perfiles Operativos en Demanda de Energía (kwh/h)

k = 1



### Alta Carga:

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

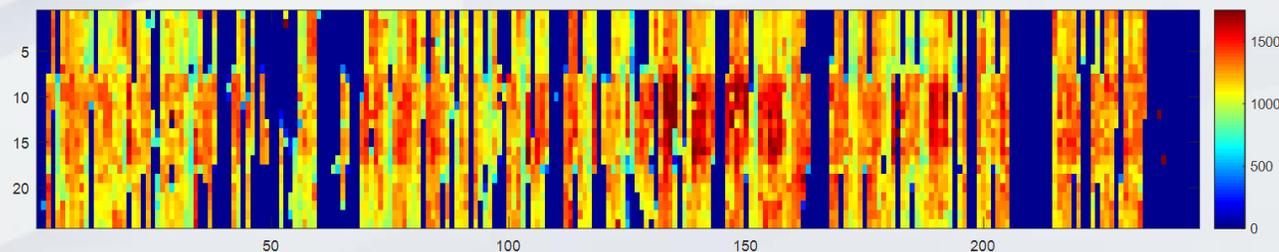


### III. ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS

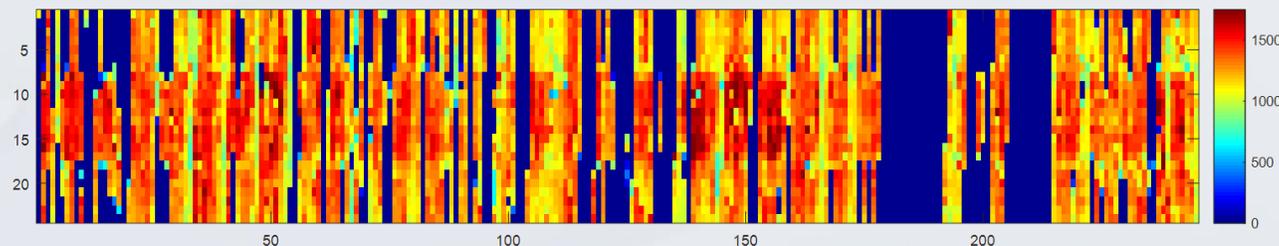


## Análisis General (kwh/h)

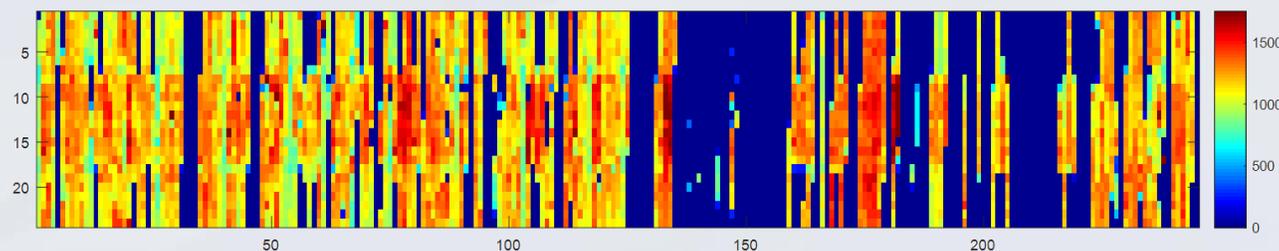
M1



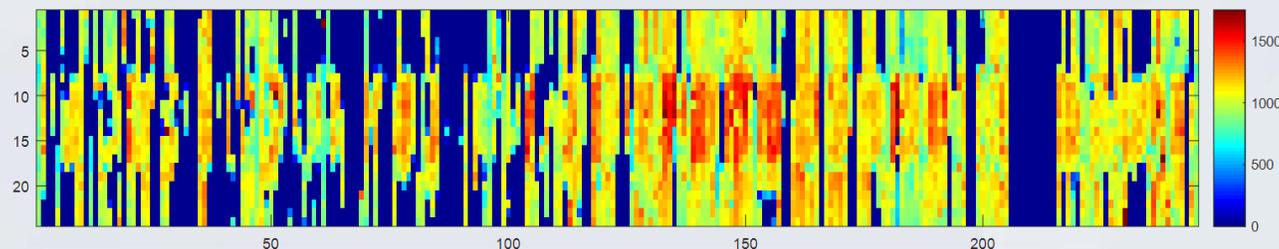
M2



M3



M4



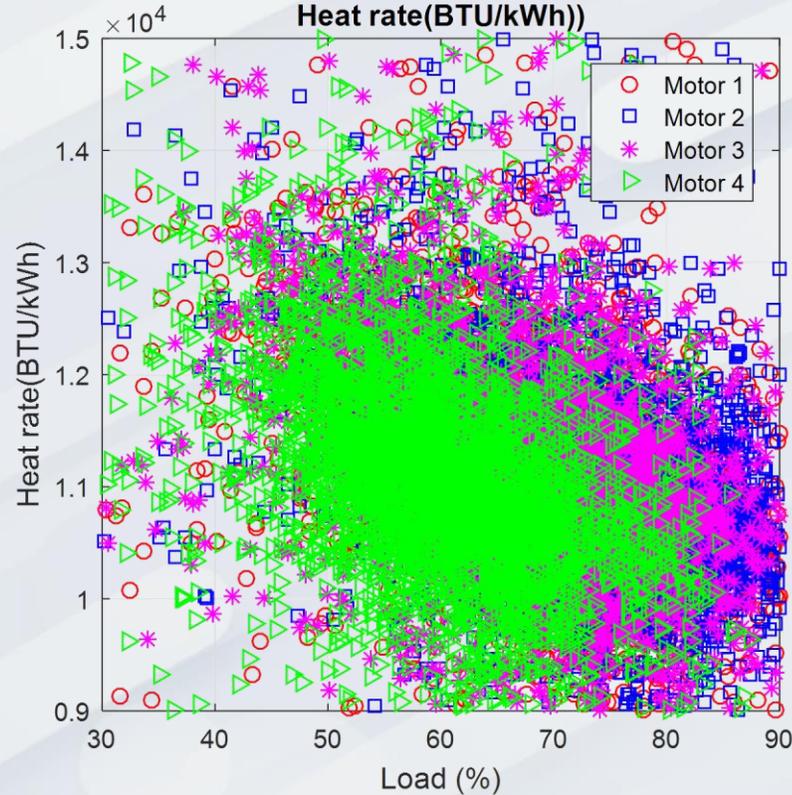
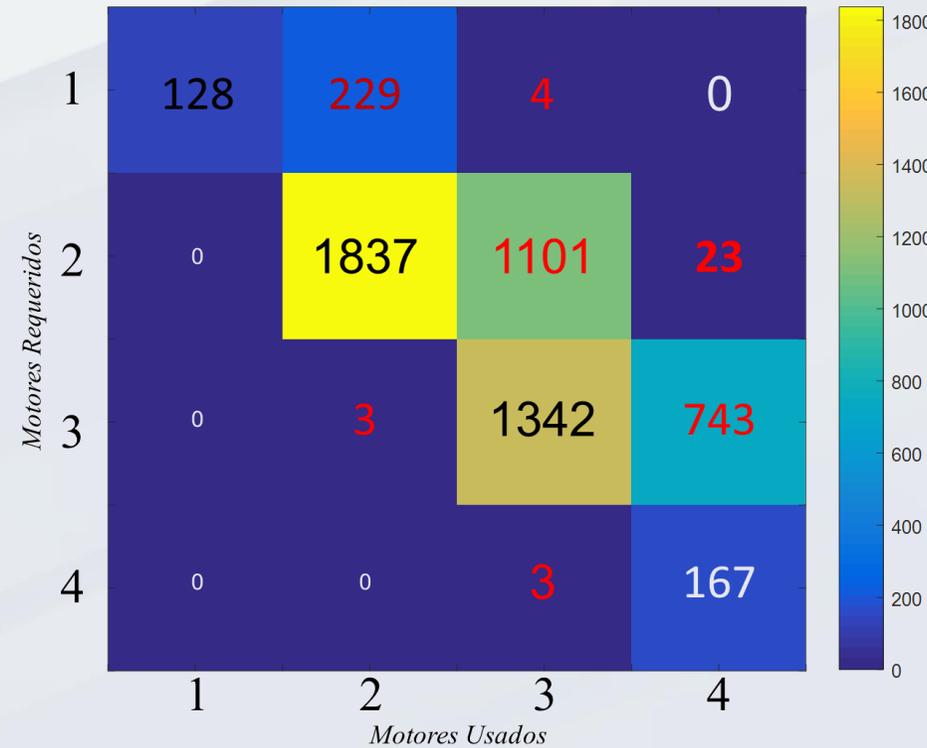


# Gestión Operativa

## 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



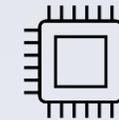
Elementos para prevenir efectos por sobrevoltajes y sobre corrientes red y motores.

## 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

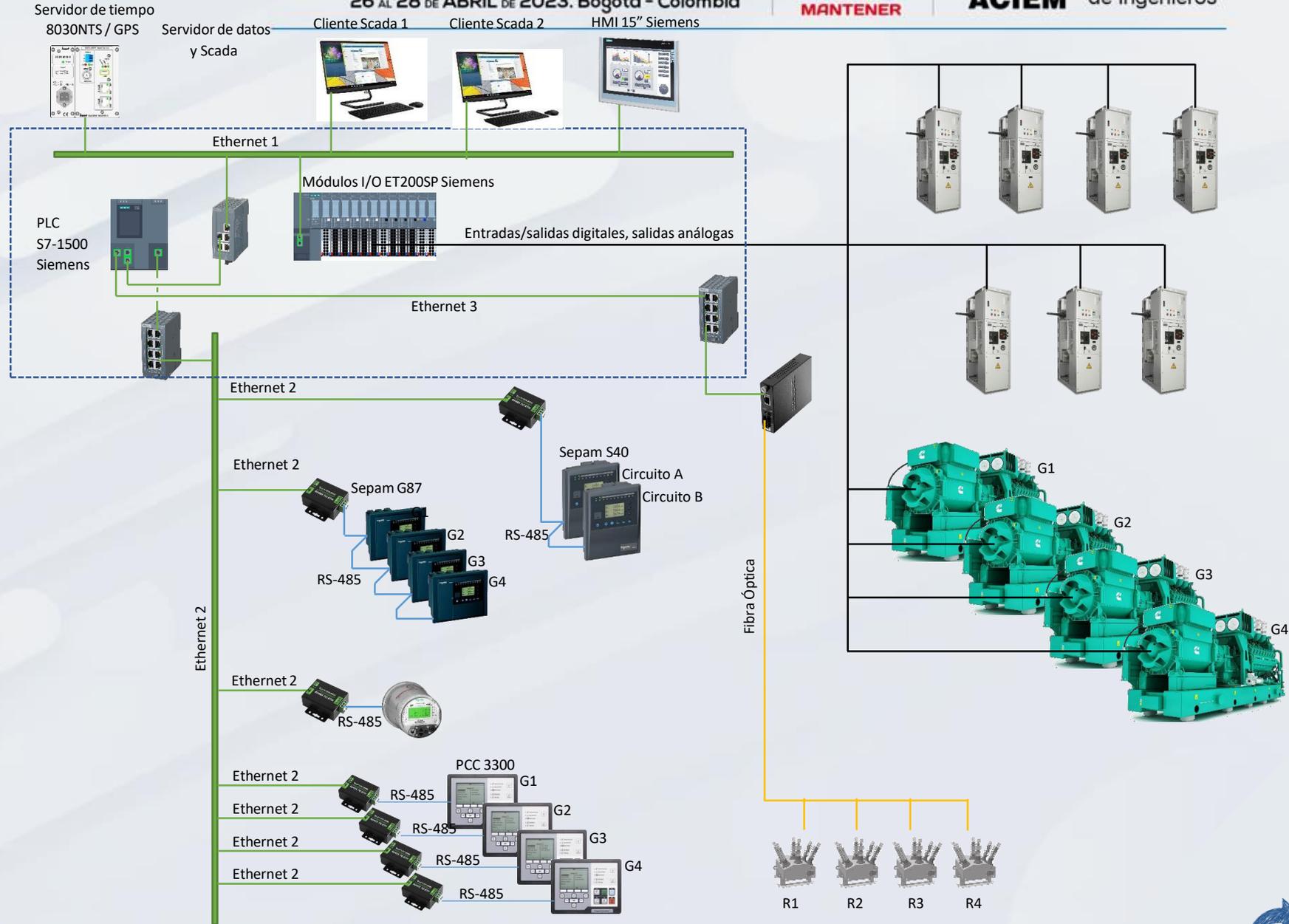
## Fortalecimiento de Programa de Monitoreo de condiciones



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

- Termografía Infrarroja
- Monitoreo Variables eléctricas
- Monitoreo de Vibraciones

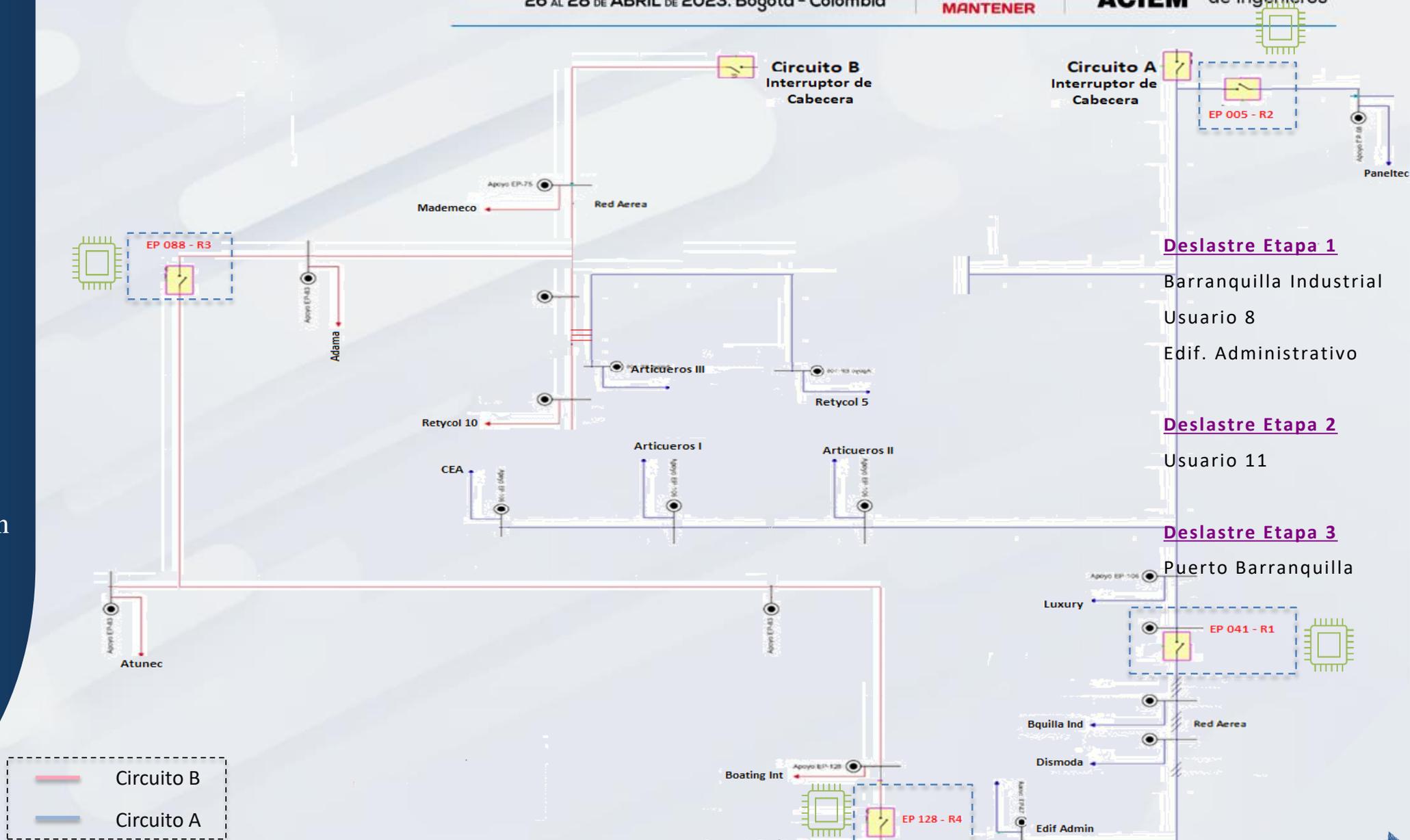
# Arquitectura SCADA y Sistema de Deslaste de Carga





# 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

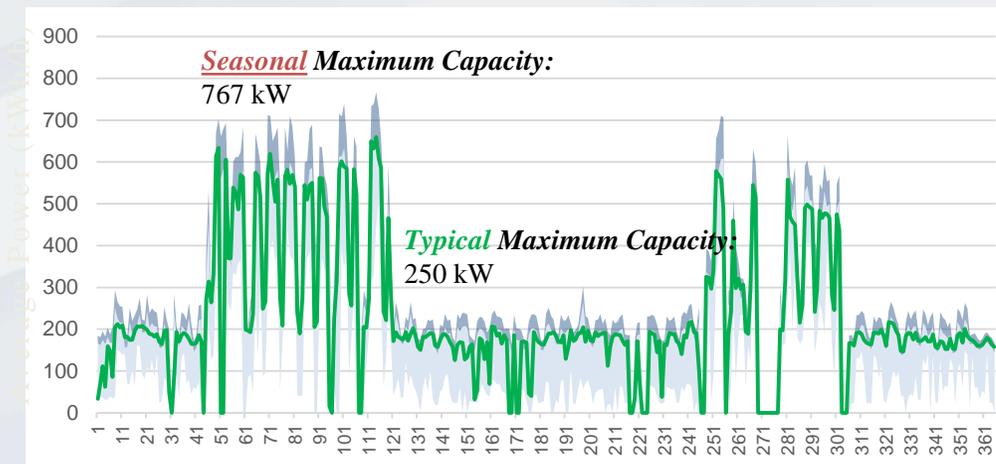


Definición de un protocolo de situacional de eventos

### Estandarización de Procedimientos de mantenimiento



Estandarización y documentación de los procedimientos de planes de mantenimiento



## Mejoras en las Métricas e Indicadores



PROMIGAS



PROMISOL  
Zonagen Una empresa PROMIGAS

### 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 CO<sub>2</sub>EQ**  
**MWh**

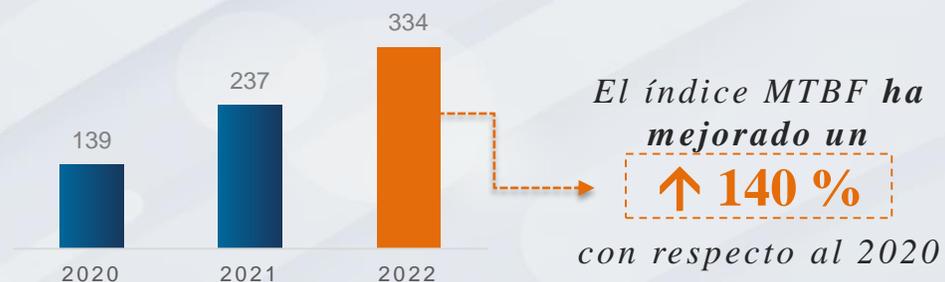


# Confiabilidad del Servicio

## Eventos de Fallas



## Tiempo medio entre fallas MTBF [hrs]



## Indicadores de Confiabilidad del servicio



### SAIDI

Tiempo promedio de interrupciones por cliente [Hrs]

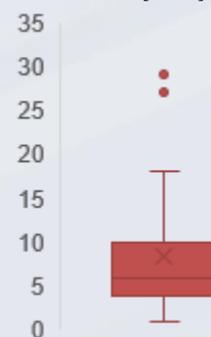


### SAIFI

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**

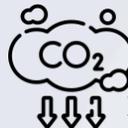
#### % Carga Genset w/w-o BESS



**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*

