

MODELO DE PROGRAMACIÓN ENTERA MIXTA PARA LA ASIGNACIÓN DE CIRCUITOS DE DISTRIBUCIÓN DENTRO DEL ESQUEMA DE DESLASTRE AUTOMÁTICO DE CARGA (EDAC) EN COLOMBIA.

Ingeniero Electricista y Magister en Ingeniería de la universidad de Antioquia, con 13 años de experiencia laboral en análisis y estudios eléctricos para sistemas de potencia en empresas del sector eléctrico en Colombia, y desarrollos con la Universidad de Antioquia en modelamiento de optimización matemática para la consecución de proyectos de investigación dirigidos a la operación y planeación de la expansión de sistemas de potencia. Actualmente, colaborador en el equipo para el **Análisis para la Planeación y Operación del Sistema (APOE)** de **CHEC-GRUPO EPM**.

Cristian Camilo Marín Cano
cristian.marin@chec.com.co

Cel. 3125645096

APOE

Subgerencia T&D **CHEC-Grupo EPM**

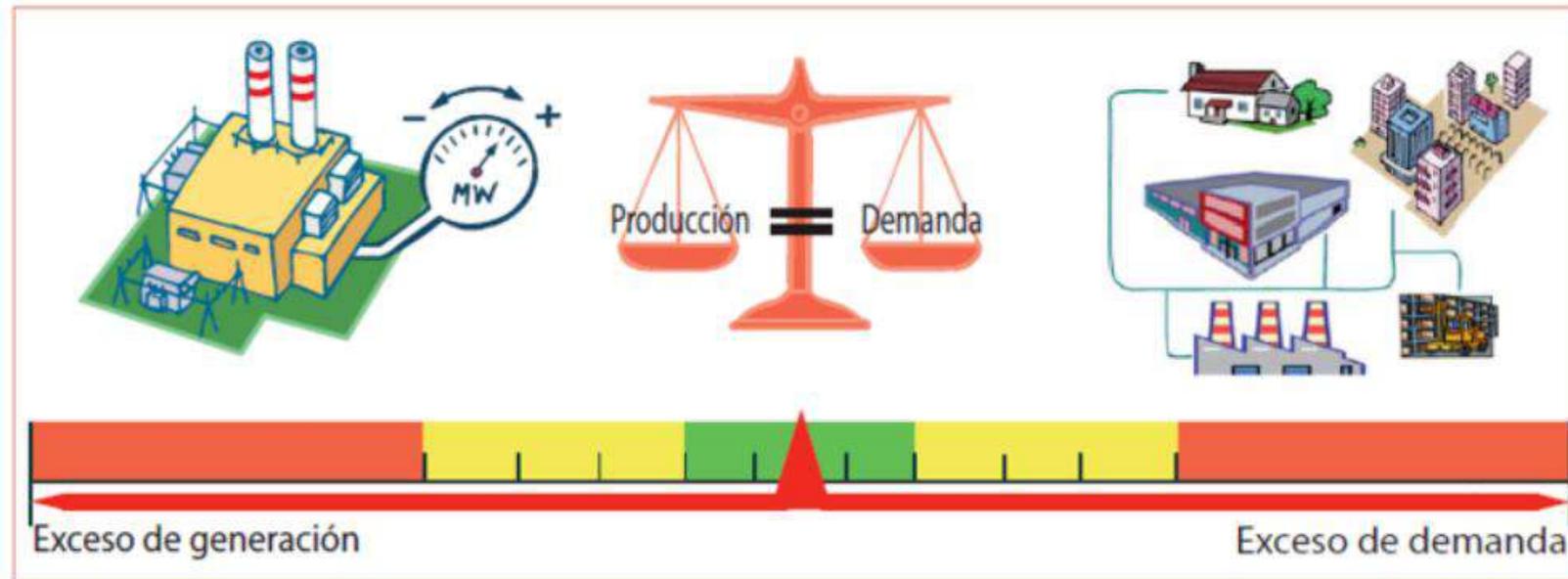


Contenido

1. INTRODUCCIÓN
2. REGLAMENTACIÓN y ACUERDO **CNO** APLICABLE PARA EL EDAC EN COLOMBIA.
3. VISION FUTURA DEL EDAC CONSIDERANDO LA INTEGRACIÓN DE DERs.
4. FORMULACIÓN Y MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL PROBLEMA DE SELECCIÓN DE CIRCUITOS PARA EL EDAC.
5. RESULTADOS.
6. CONCLUSIONES.
7. TRABAJOS FUTUROS

1. INTRODUCCIÓN

Controlar el equilibrio entre la generación y la demanda para conservar la frecuencia dentro de los rangos aceptables ante diferentes eventos transitorios es una función imperativa de un Operador de red (OR).



Una acción remedial para este control es el Esquema de Desconexión Automática de Carga por baja frecuencia (EDAC), el cual consiste en desconectar carga de los circuitos de la red de manera automática y secuencial (etapas de desconexión).

Algunas características de la carga que participa en el EDAC:

- ✓ Alto factor de demanda.
- ✓ Valor alto de demanda de potencia
- ✓ Fácil restauración(desde el punto de vista operativo)

Aspectos básicos para la selección de la carga:

- ✓ Aspectos económicos.
- ✓ Aspectos de seguridad y confiabilidad para algunas instalaciones.
- ✓ Almacenamientos (industria relacionadas con líneas de producción)

2. Reglamentación y acuerdos CNO aplicables al EDAC

Resolución CREG 061 de 1996, que modifica la CREG 025 de 1995 en su numeral 2.4.4. Desconexión Automática de Carga por Baja Frecuencia en aspectos como:

- Diseño del EDAC basados en criterios técnicos:
 - optimizar la cantidad de carga a desconectar ante eventos.
- Directrices relacionados con la demanda a desconectar:
 - Porcentajes de demanda a desconectar en cada área operativa y la temporización correspondiente.
 - Cada OR debe seleccionar los circuitos que irán dentro cada etapa del EDAC
- Asignación de responsabilidades para CND y los agentes relacionados con el EDAC:
 - El OR debe cumplir con los porcentajes de desconexión establecidos.

- **ACUERDO CNO 1659 2023:** Aprobar el Esquema de Deslaste Automático de Carga EDAC por baja frecuencia para el año 2023:

ESQUEMA DE DESCONEXIÓN AUTOMÁTICA DE CARGA POR BAJA FRECUENCIA ACTUAL						
Etapa	Ajustes Umbral		Desconexión de Carga [%]	Ajustes df/dt		
	Frecuencia [Hz]	Retardo Intencional [ms]		Frecuencia [Hz]	df/dt [Hz/s]	Retardo Intencional [ms]
1	59.4	200	5			
2	59.2	200	5			
3	59.0	400	5			
4	58.8	400	5			
5	58.6	600	5			
6	58.6	1000	5			
7	58.4	2000	5	58	-0.3	200
8	58.4	4000	5	58	-0.2	400

El CND utilizando los registros de telemetria, registro digital de frecuencia y programas computacionales, podrá determinar que área o empresa no cumple con los porcentajes establecidos en el esquema.

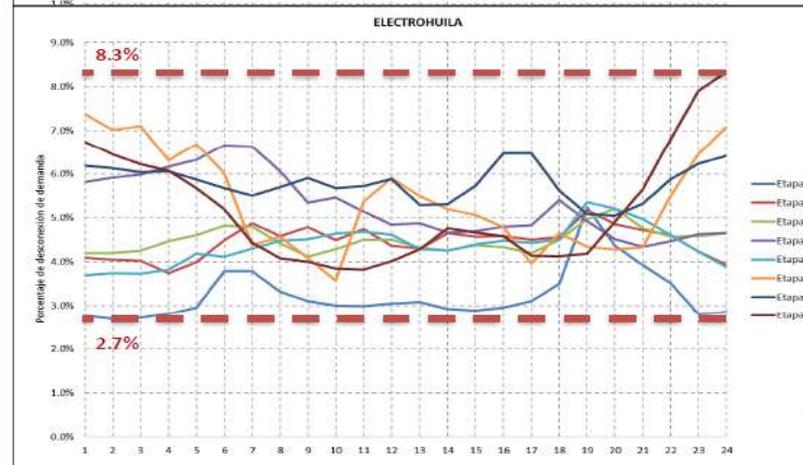
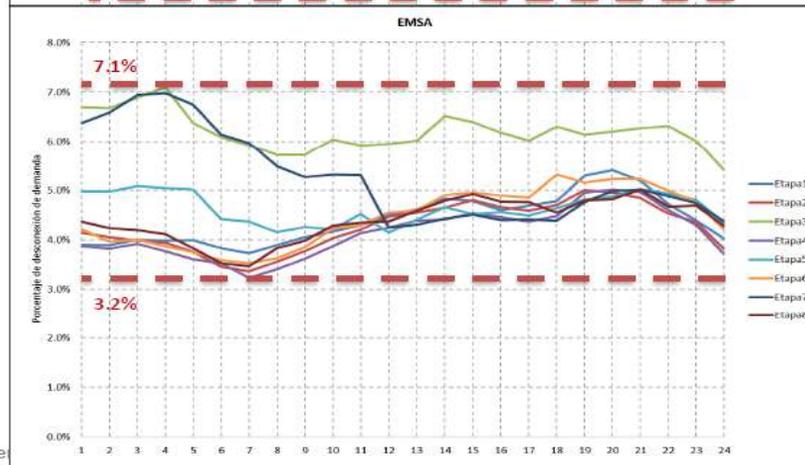
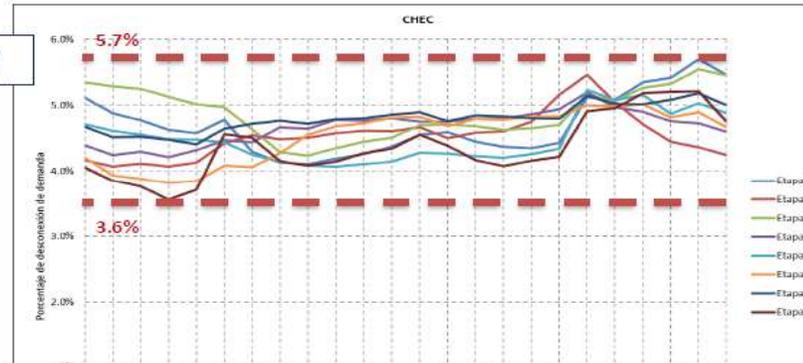
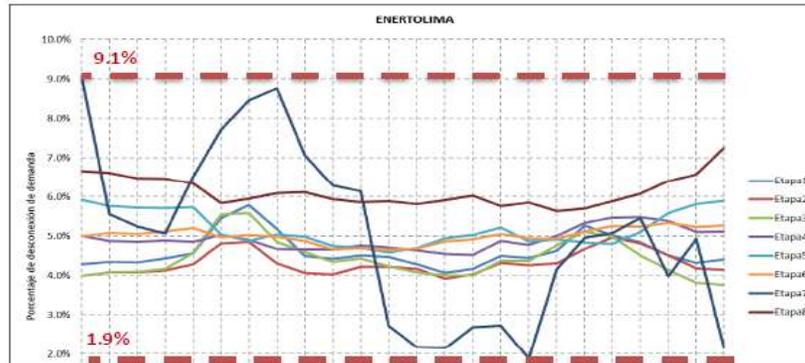
Reporte de Información de los Agentes – Propuesta

Criterios de evaluación del cumplimiento de % demanda desconectada ante actuación del EDAC

Agentes con demanda entre 100MW y 200MW



2017



Empresa ISA

3. Visión Futura del EDAC Considerando la Integración de DERS

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital



*Tomada de la presentación de XM: **Visión futura del EDAC considerando la integración de DERS**. Jornadas de distribución – CNO 25 de julio del 2023. basado en el informe del . ISGAN.(Marzo 2019).*

La mayor concentración de generación solar conectada en el nivel de distribución puede generar insuficiencia en el EDAC.

Se observa un incremento en las desviaciones de la demanda y la generación en los periodos diurnos (P07 al P18).

Hallazgos estudios flexibilidad XM

Se observan actuaciones más frecuentes del EDAC a causa del disparo de la unidad de mayor capacidad del sistema.

Se observan ROCOF muy elevados (hasta 1 Hz/s) a causa del disparo de la unidad de mayor capacidad del sistema.



Recomendaciones para las entidades encargadas de los EDAC :

Incluir modelos dinámicos de las DER a nivel industrial y residencial.

Mejorar la visibilidad de las DER en el sistema.

Agregar criterios de selección de circuitos para el EDAC con base en la DER instalada.

Propuesta de XM para un grupo de trabajo en el CNO :

Ahondar en el impacto de las DERs en el EDAC.

Explorar esquemas remunerados de desconexión rápida de carga previos a la actuación del EDAC.

Evaluar la modernización de los relés asociados al EDAC para que sean selectivos en el disparo teniendo en cuenta si hay generación siendo inyectada a la red

Plantear criterios para la selección de los circuitos para el EDAC para evitar los desafíos que las DERs traerían en el EDAC.

Mejorar la visibilidad de las DER en el sistema.

4. Formulación y Modelación Matemática del Problema de Selección de Circuitos Para el EDAC

Resolución Creg 061 de 1996 , establece que cada or debe seleccionar o asignar para cada etapa del **EDAC** optimizando los circuitos a desconectar ante los eventos materializado, entonces:

¿Computacionalmente, es posible encontrar la mínima cantidad de circuitos por etapa del **EDAC** que permita, de manera muy aproximada, cumplir lo definido en el ultimo acuerdo del **CNO**?

✓ Respuesta : **si, es posible!**

¿Cómo optimizar la selección de circuitos a desconectar considerando las restricciones del acuerdo **CNO**?

✓ Respuesta : **a través de técnicas heurísticas o algoritmos matemáticos de optimización convencional**

- El problema de selección de circuitos es un problema de Optimización Combinatoria, el cual es solucionado, en este caso, mediante la Programación Lineal Entera-Mixta (MILP, por sus siglas ingles)-Optimización Matemática Convencional (métodos analíticos).
- El problema es modelado en lenguaje algebraico utilizando PYOMO una librería de Python para Optimización Lineal-Entera Mixta y otros tipos de optimización convencional.



FORMULACIÓN MATEMÁTICA:

$$\text{mín} \sum_{c,p} W_c \cdot X_{c,p} \quad (1)$$

s.a:

$$(0,05 - \mu) \cdot D_p \leq \sum_c d_{c,p} \cdot x_{c,p} \quad p \subseteq \text{Periodos} \quad (2)$$

$$\sum_c d_{c,p} \cdot x_{c,p} \leq (0,05 + \mu) \cdot |D_p| \quad p \subseteq \text{Periodos} \quad (3)$$

$$\sum_c x_{c,p} \geq NC \quad p \subseteq \text{Periodos} \quad (4)$$

$$x_{c,p} \in \{0, 1\} \quad p \subseteq \text{Periodos} \quad (5)$$

Ecuación (1) minimiza la cantidad de circuitos seleccionados en cada etapa del **EDAC**, ecuaciones (2) - (3) garantizan que los circuitos seleccionados cumplan con las restricción del **5%** (aproximadamente) de la demanda general del operador de red, ecuación (4) permite definir el mínimo número de circuitos que deben estar en etapa, esto con el objetivo de aumentar (si es necesario) los circuitos dentro del modelo para mejorar resultados; finalmente, (5) restringe a la variable a ser binaria.

Índices:

c : índice del circuitos

p : índice del subconjunto de períodos de tiempo donde se realiza la optimización.

Parámetros:

$d_{c,p}$: matriz o arreglo que contiene la potencia(demanda) del circuito (c) en cada período de tiempo (p).

D_p : vector o arreglo que contiene la Demanda General del operador de red, para cada período de tiempo (p).

w_c : Es un vector que contiene número de usuarios totales, usuarios especiales o cantidad de recursos distribuidos, como factores de ponderación para cada circuitos c . Se podría dejar por defecto un vector de unos.

NC : mínimo número de circuitos deseados por etapa.

μ : número pequeño (del orden de milésimas) ingresado por el usuario, el cual ayuda a relajar las restricciones (2)-(3), lo que permite ahorrar tiempo computacional durante la solución del modelo.

Variables:

$x_{c,p}$: variable de decisión binaria 0,1 que define o asigna al circuito (c) en período de tiempo (p) dentro de cada etapa del **EDAC**.

$x_{c,p} = 0$, si el circuito (c) en el período de tiempo (p) NO se asigna al EDAC.

$x_{c,p} = 1$, si el circuito (c) en el período de tiempo (p) se asigna al EDAC.

MODELACIÓN MATEMÁTICA:

```
#=====  
# %% Modelo de optimización 1:  
#=====
```

```
if modelo == 1:  
    def FOB mdl:  
        return summation mdl.x  
    mdl.FO = Objective(rule = FOB, sense=minimize)
```

```
    def RES1 mdl,p:  
        return sum(DemCtosEdac.loc[f,p]*mdl.x[f,p] for f in mdl.F ) >= (0.05-y)*DemChec.loc['VALOR',p]  
    mdl.R1 = Constraint mdl.P,rule = RES1
```

```
    def RES2 mdl,p:  
        return sum(DemCtosEdac.loc[f,p]*mdl.x[f,p] for f in mdl.F ) <= (0.05+y)*DemChec.loc['VALOR',p]  
    mdl.R2= Constraint mdl.P,rule = RES2
```

```
    if NF != None:  
        def RES3 mdl,p:  
            return sum mdl.x[f,p] for f in mdl.F ) >=NF  
        mdl.R3 = Constraint mdl.P,rule = RES3
```

5. RESULTADOS- Año 2022

PORCENTAJE POR ETAPAS

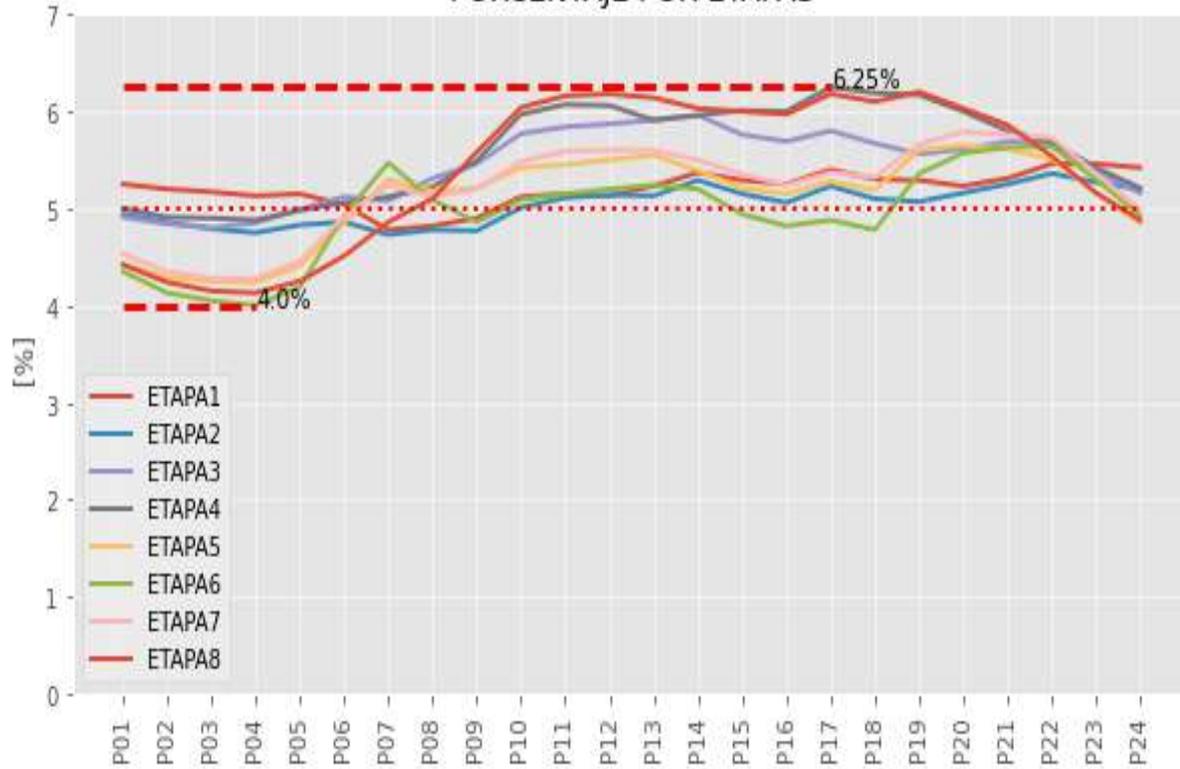
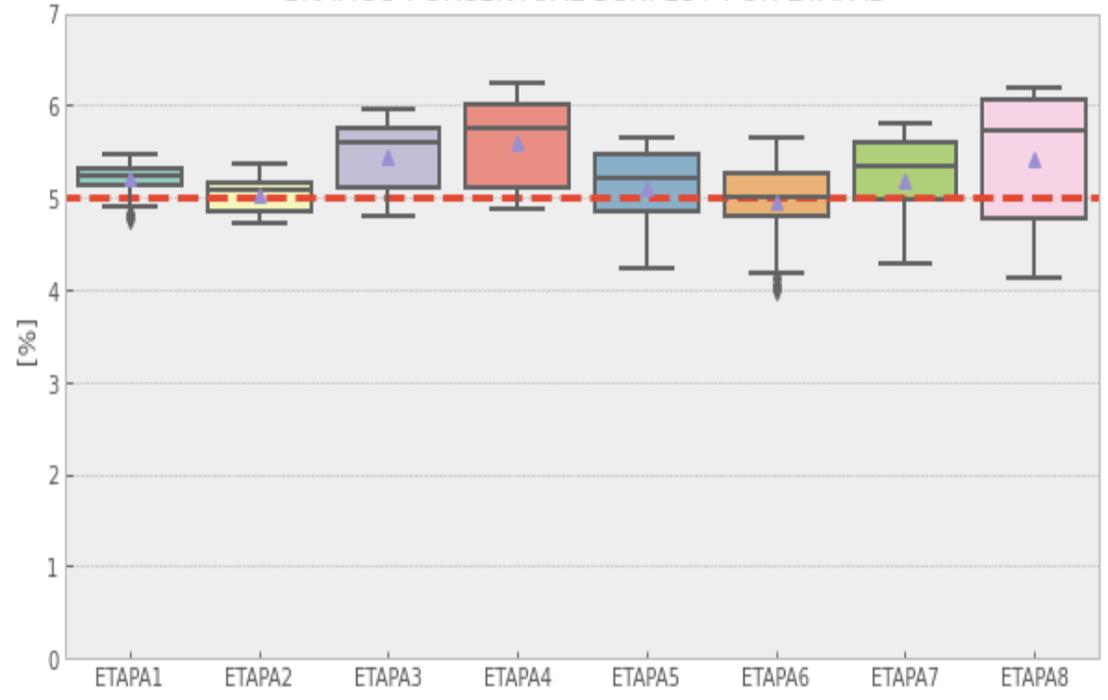


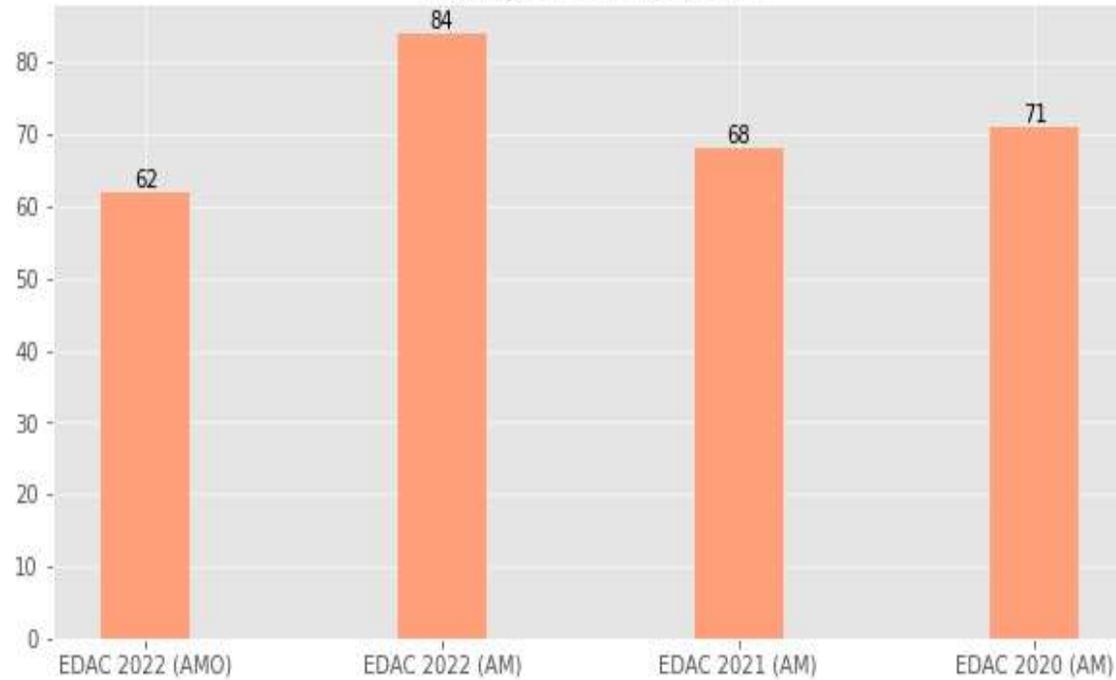
GRÁFICO PORCENTUAL BOXPLOT POR ETAPAS



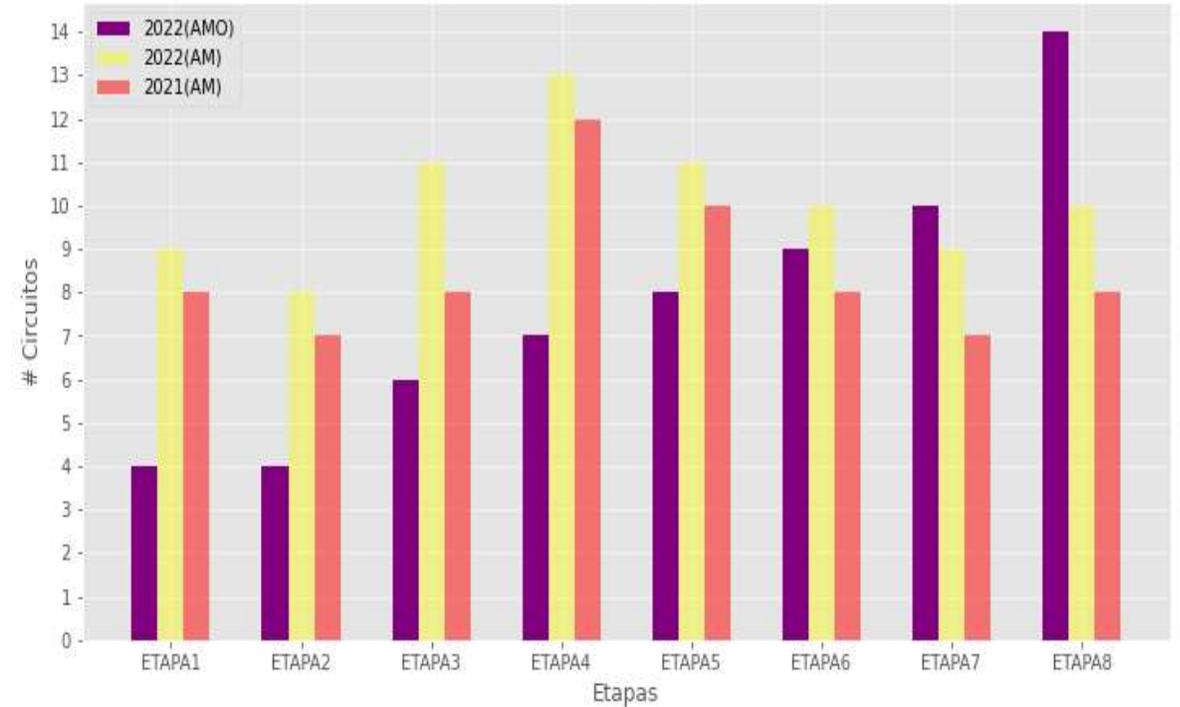
10° Encuentro de Proveedores y Contratistas Grupo EPM V Edición Jornadas Técnicas

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

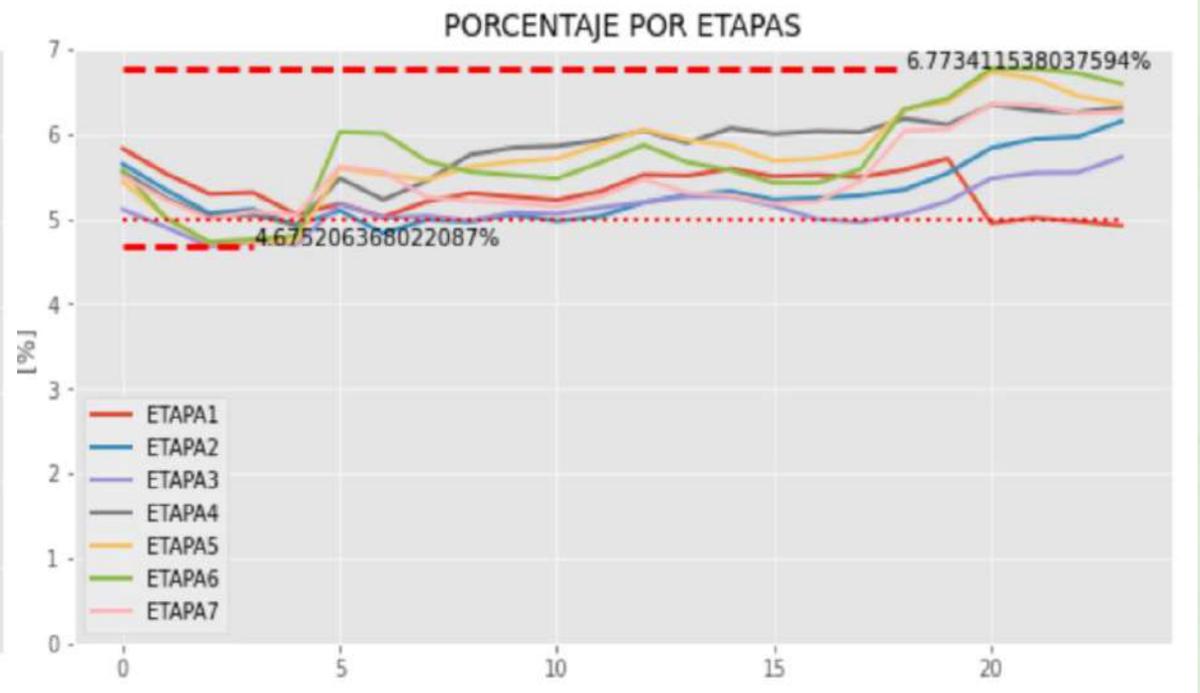
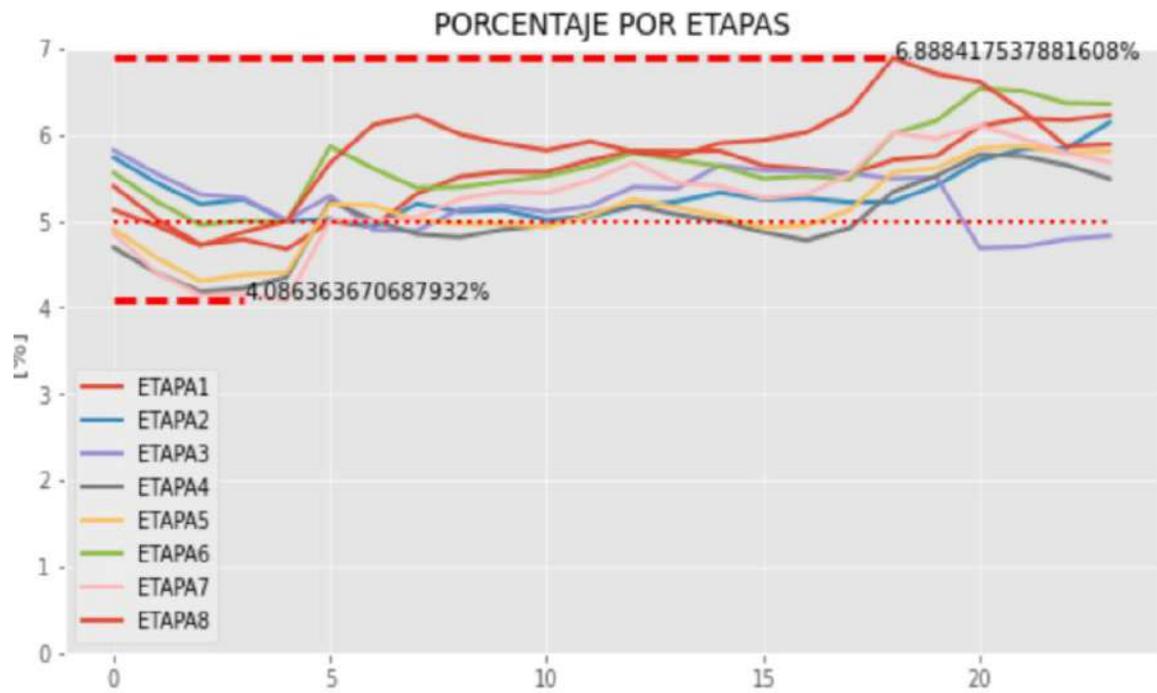
Cantidad Circuitos EDAC



Número de Circuitos por Etapas



5. RESULTADOS – Año 2023



6. CONCLUSIONES

- Un nueva metodología para la selección de circuitos basada en optimización combinatoria ha sido formulada e implementada para dar un fino cumplimiento a lo exigido por regulación y acuerdos del **CNO**.
- Este nuevo método de selección de circuitos va alineado con las recomendaciones de los estudios de flexibilidad por potencia realizado por XM.
- Resultados de alta calidad y con buenos ajustes fueron logrados disponiendo de un número menor de circuitos comparados con los procedimientos manuales (procedimientos recurrentes en tiempos pasados).
- Disponer de una menor cantidad circuitos para EDAC, cumpliendo con la regulación y los acuerdos, implica un menor desplazamiento de personal para realización de pruebas por EDAC, y por ende una reducción en los gastos de la compañía.
- Este nuevo procedimiento optimiza los tiempos de selección de circuitos, lo que permite que el personal de operación integrada encargado de esta tarea tenga una mejor disponibilidad para otras actividades laborales.

- Mejores ajustes del EDAC puede ser obtenidos con el modelo de optimización propuesto a medida que exista un mayor número de recursos disponibles.
- Esta metodología permitiría tomar decisiones al momento de invertir en la modernización de nuevos relés vinculados al EDAC.

7. TRABAJOS FUTUROS

- Un trabajo futuro es determinar diferentes esquemas de desconexión automático de carga minimizando la cantidad de usuarios especiales, la cantidad de usuarios totales dentro del EDAC, o la cantidad de circuitos con gran volumen de generación distribuida .
- Otro trabajo futuro es considerar modelamiento matemático de la incertidumbre, lo cual permitiría considerar rangos o conjuntos de incertidumbre sobre el parámetro de la demanda. Para tal fin , se proyecta utilizar **ROmodel**, una librería de **Python** para extender las capacidades de la optimización robusta sobre **PYOMO**.

10° Encuentro de Proveedores y Contratistas Grupo EPM V Edición Jornadas Técnicas

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

¡Gracias!

Grupo·epm