



**RENAG**  
REUNION NACIONAL DE GEOTERMIA

**Manizales  
2017**

# **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE ENERGÍA FIRME DEL CARGO POR CONFIABILIDAD DEL PROYECTO GEOTÉRMICO MACIZO VOLCÁNICO DEL RUIZ**

Eliana Mejía (ISAGEN)

Julián Echeverri (ISAGEN)



ASOCIACIÓN GEOTÉRMICA COLOMBIANA





**RENAG**  
REUNION NACIONAL DE GEOTERMIA

**Manizales  
2017**



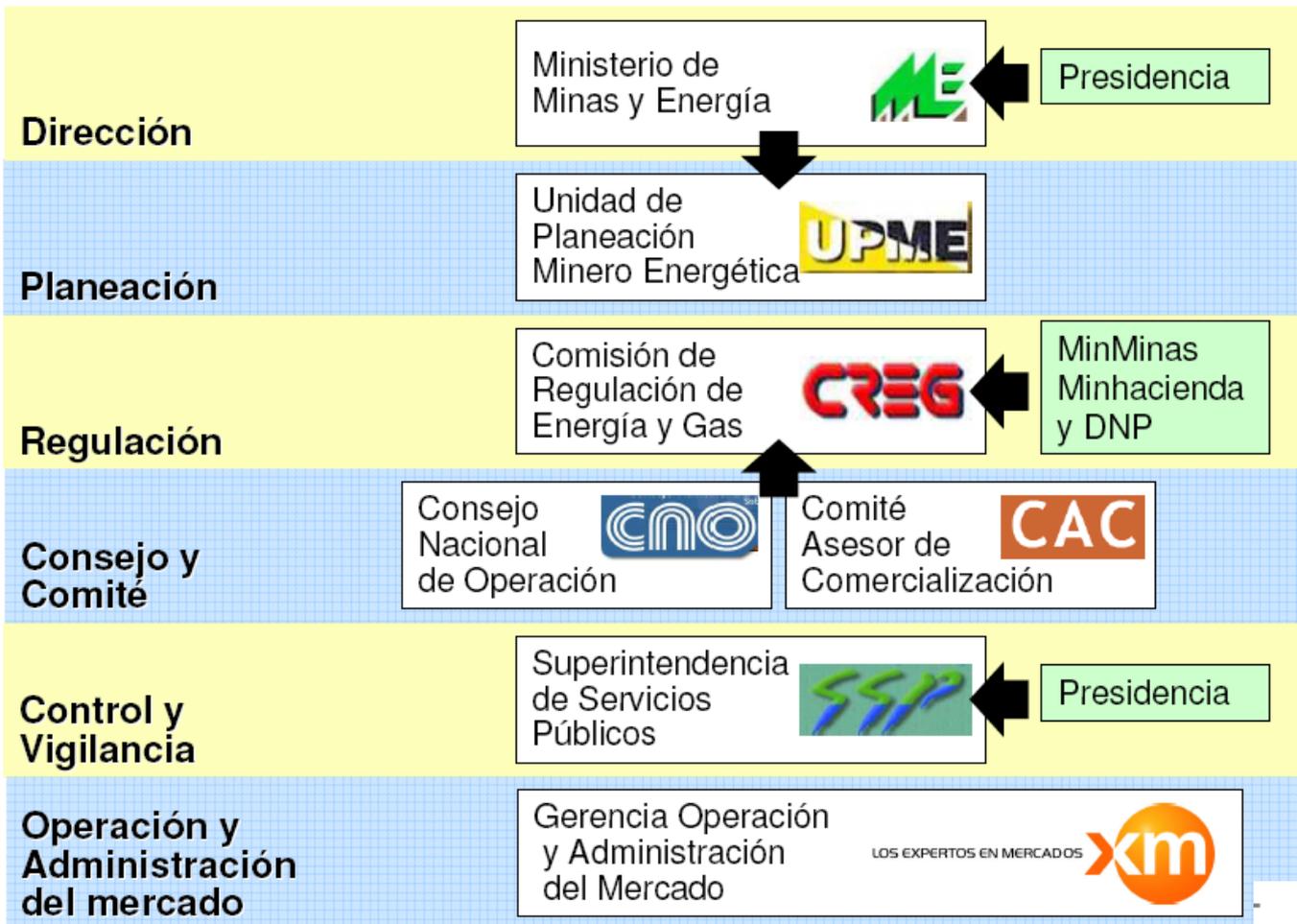
ASOCIACIÓN GEOTÉRMICA COLOMBIANA

# CONTENIDO

- ❖ Introducción
- ❖ Fórmula ENFICC Resolución CREG 132 de 2014
- ❖ Condiciones y datos de entrada
- ❖ Cálculos Realizados y Resultados
- ❖ Aspectos a tener en cuenta



# MARCO INSTITUCIONAL SECTOR ELÉCTRICO

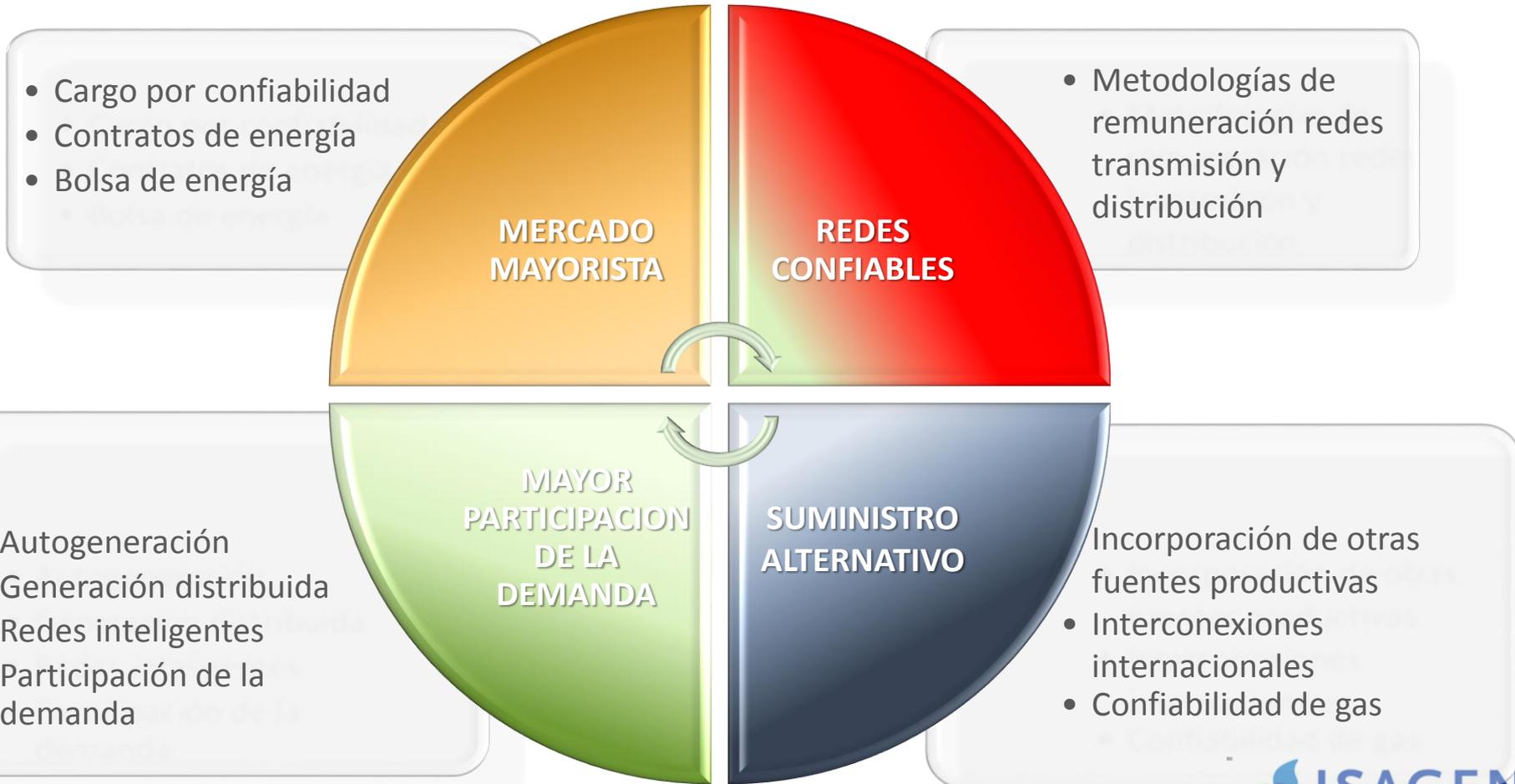


Estructura basada en Ley 143 de 1994

# MARCO REGULATORIO SECTOR ELÉCTRICO



# CREG: OFERTA ENERGÉTICA SUFICIENTE Y EFICIENTE

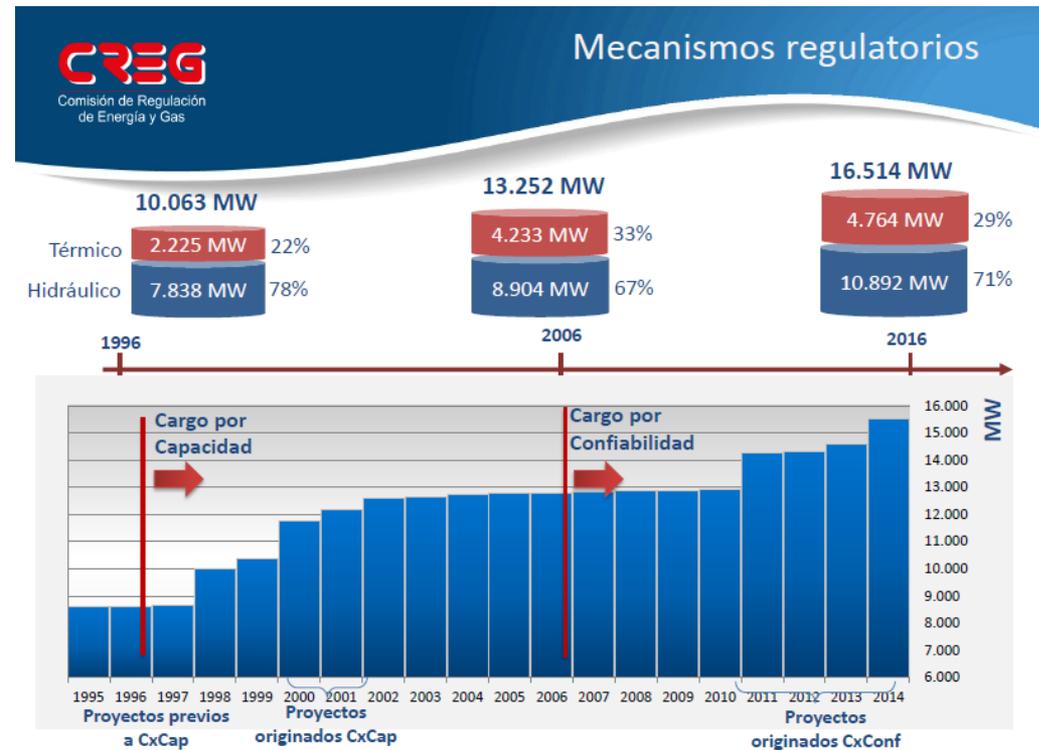


Tomado de: **Regulación eléctrica en Colombia: eficiencia y competitividad**

Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2017

# ¿QUÉ ES EL CARGO POR CONFIABILIDAD?

“Es un esquema de remuneración que permite hacer viable la inversión en los recursos de generación eléctrica necesarios para garantizar de manera eficiente la atención de la demanda de energía en condiciones críticas de abastecimiento, a través de señales de largo plazo y la estabilización de los ingresos del generador...Este nuevo esquema sirve para asegurar la confiabilidad en el suministro de energía en el largo plazo con precios eficientes.”



Tomado de: Evolución del sector eléctrico colombiano, CREG, 2016

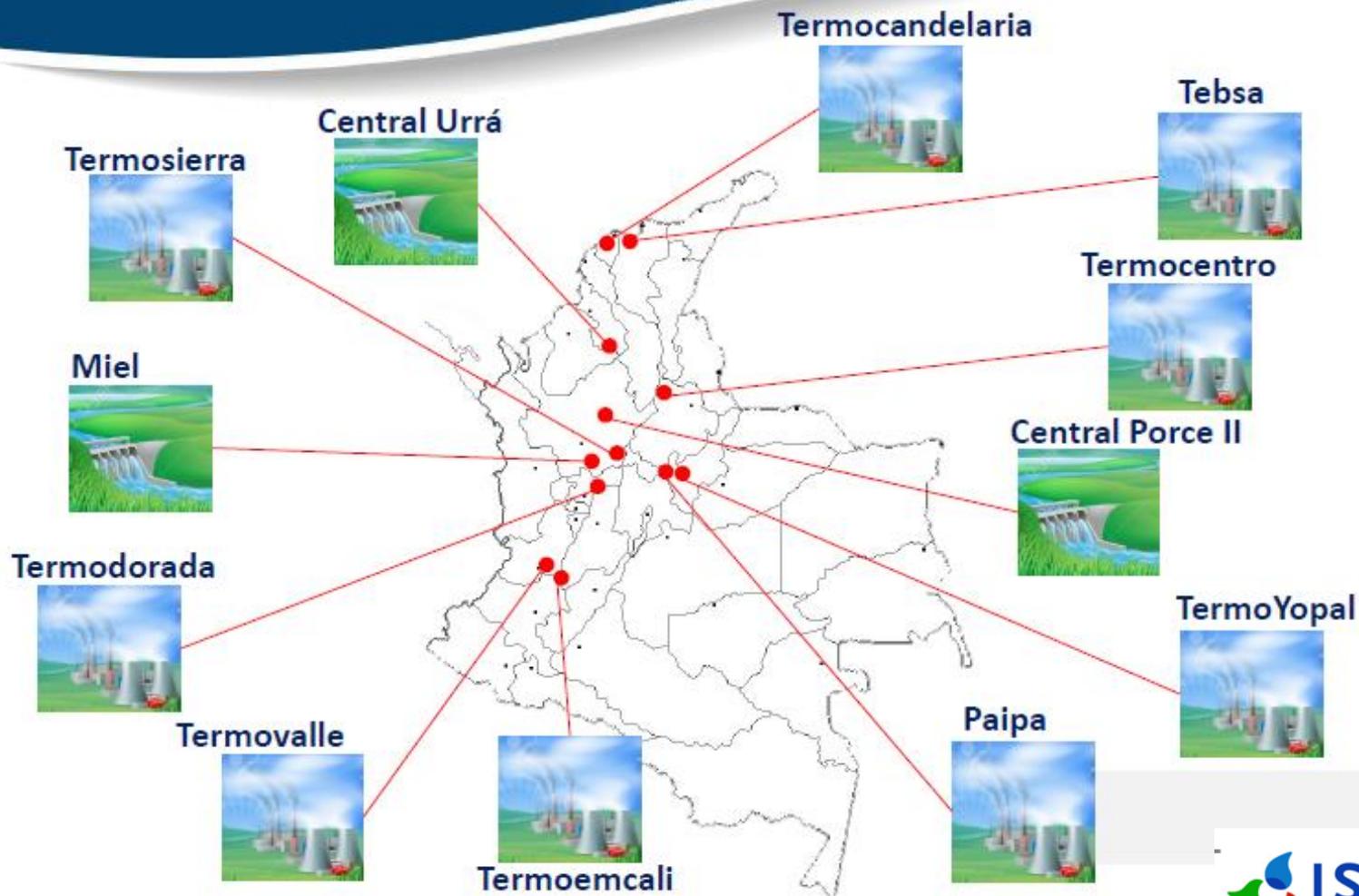
# ¿COMO FUNCIONA EL CARGO POR CONFIABILIDAD?

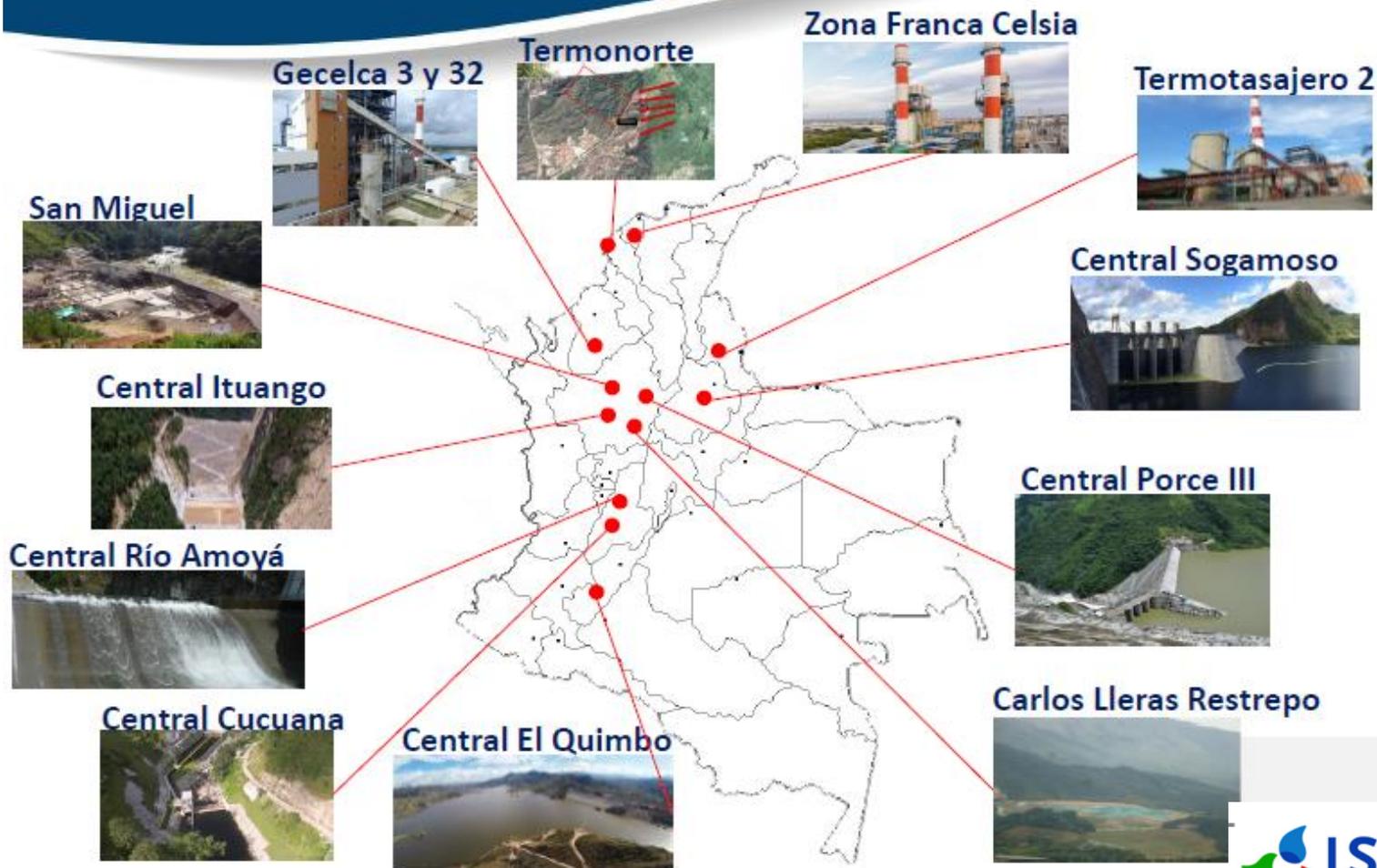
El generador al que se le asigna una OEF recibe una remuneración conocida y estable durante un plazo determinado, y se compromete a entregar determinada cantidad de energía cuando el precio de bolsa supera un umbral previamente establecido por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y denominado Precio de Escasez.

Tomado de: abc del cargo por confiabilidad publicado por XM



Tomado de: Evolución del sector eléctrico colombiano, CREG, 2016





## Central Río Amoyá – La Esperanza



**Capacidad: 80 MW**

**Energía Firme: 215 GWh-año**

**Energía media: 514 GWh-año**

**ISAGEN 2013**

Tomado de: Evolución del sector eléctrico colombiano, CREG, 2016

## Central Sogamoso



**Capacidad: 820 MW**

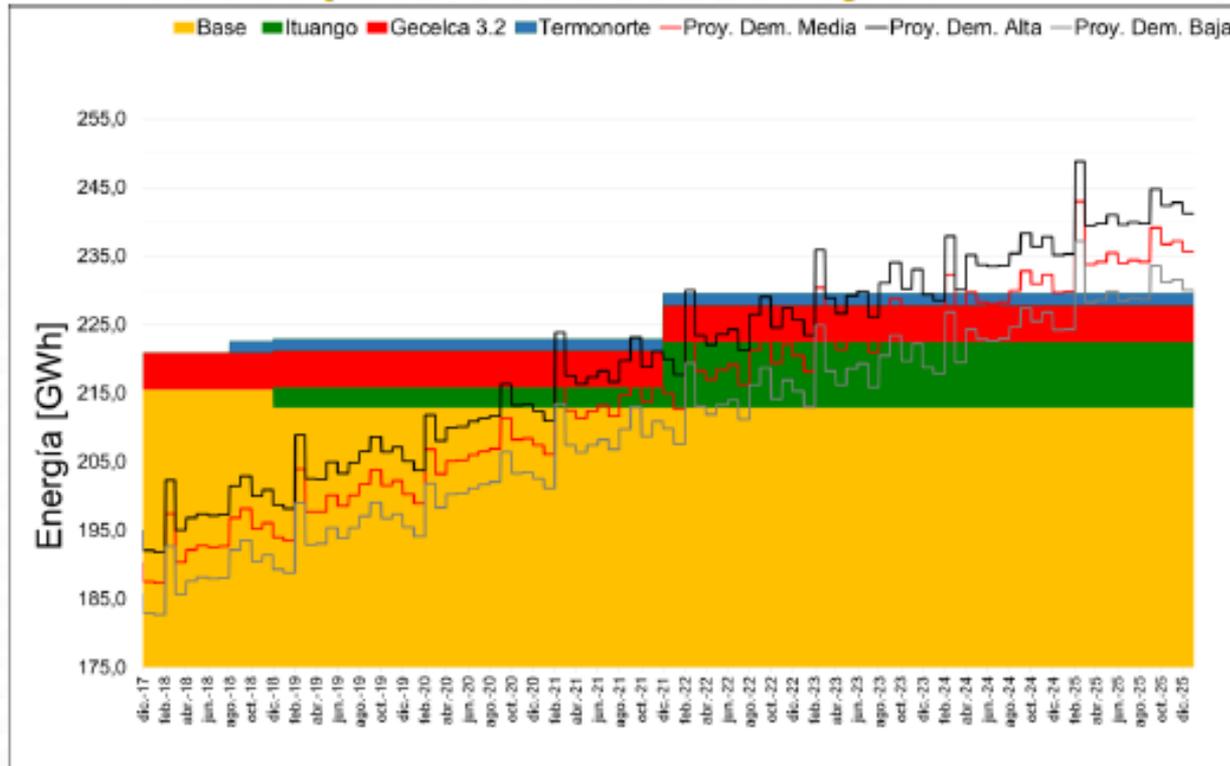
**Energía Firme: 3.791 GWh-año**

**Energía media: 5.056 GWh-año**

**ISAGEN 2014**

Tomado de: Evolución del sector eléctrico colombiano, CREG, 2016

## Señales de Expansión – ENFICC y OEF



**Demanda Máxima supera la ENFICC y OEF en febrero de 2021, posteriormente en abril de 2022 y febrero de 2023**

**Demanda Media supera la ENFICC y OEF en febrero de 2023, posteriormente en abril de 2024**

# FÓRMULA ENFICC

## RESOLUCIÓN CREG 132 DE 2014

**ENFICC ENERGÍA GEOTÉRMICA:** La metodología para el cálculo de la energía firme para la geotermia fue definida en la Resolución CREG 132 de 2014 a partir de los siguientes parámetros:

- ✓ Temperatura del recurso geotérmico (TR)
- ✓ Temperatura ambiente (TA)
- ✓ Flujo másico del recurso geotérmico (FREC)
- ✓ Indisponibilidad histórica forzada (IHF).

# FÓRMULA ENFICC

## RESOLUCIÓN CREG 132 DE 2014

a. Estimar la energía de una Planta Geotérmica de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$ENG(kWh) = Poned * FREC * (1 - IHF)$$

donde

ENG: Energía generada de una planta geotérmica (kWh)

Poned: Potencia neta específica de diseño ( kW/ kg/s)

FREC: Flujo Másico Del Recurso Geotérmico (kg/s)

IHF: Indisponibilidad histórica forzada

$$Poned = (\alpha) * TR^2 + (\omega) * TA^2 + (\varphi) * TR * TA + (\delta) * TR + (\beta) * TA + \gamma$$

donde

TR: Temperatura del recurso geotérmico (grados centígrados)

TA: Temperatura ambiente (grados centígrados)

# FÓRMULA ENFICC

## RESOLUCIÓN CREG 132 DE 2014

Tipo de planta geotérmica/TR	$\alpha$	$\omega$	$\phi$	$\delta$	$\beta$	$\gamma$
Binaria 90°C<TR<170°C	0.0034	-0.0025	-0.0094	-0.2	0.8	-2.2
Flash 140°C<TR≤180°C	-0.0028	-0.00085	-0.0041	1.7	0.13	-174.4
Flash 180°C<TR≤240°C	0.0021	-0.00022	-0.0051	0.011	0.3	-27.8
Flash 240°C<TR≤300°C	0.0025	0.0033	-0.0065	-0.084	0.5	-27.8

Para el cálculo de la ENFICC de Plantas Geotérmicas se debe contar con una serie histórica horaria de Temperatura Ambiente, TA, igual o mayor a diez (10) años, medida en el sitio de la planta.

Para el cálculo de la ENFICC de Plantas Geotérmicas se deben declarar como parámetros de diseño las componentes TR y FREC

El cálculo del IHF se hará de acuerdo con la regulación vigente para plantas térmicas.

# FÓRMULA ENFICC

## RESOLUCIÓN CREG 132 DE 2014

b. Con los parámetros de diseño y la serie histórica horaria de Temperatura Ambiente, se calcula la energía horaria, ENG.

c. Se obtiene una serie mensual de energía ENG agregando las ENG horaria de la serie histórica.

d. Para cada uno de los meses se obtiene el promedio diario del mes.

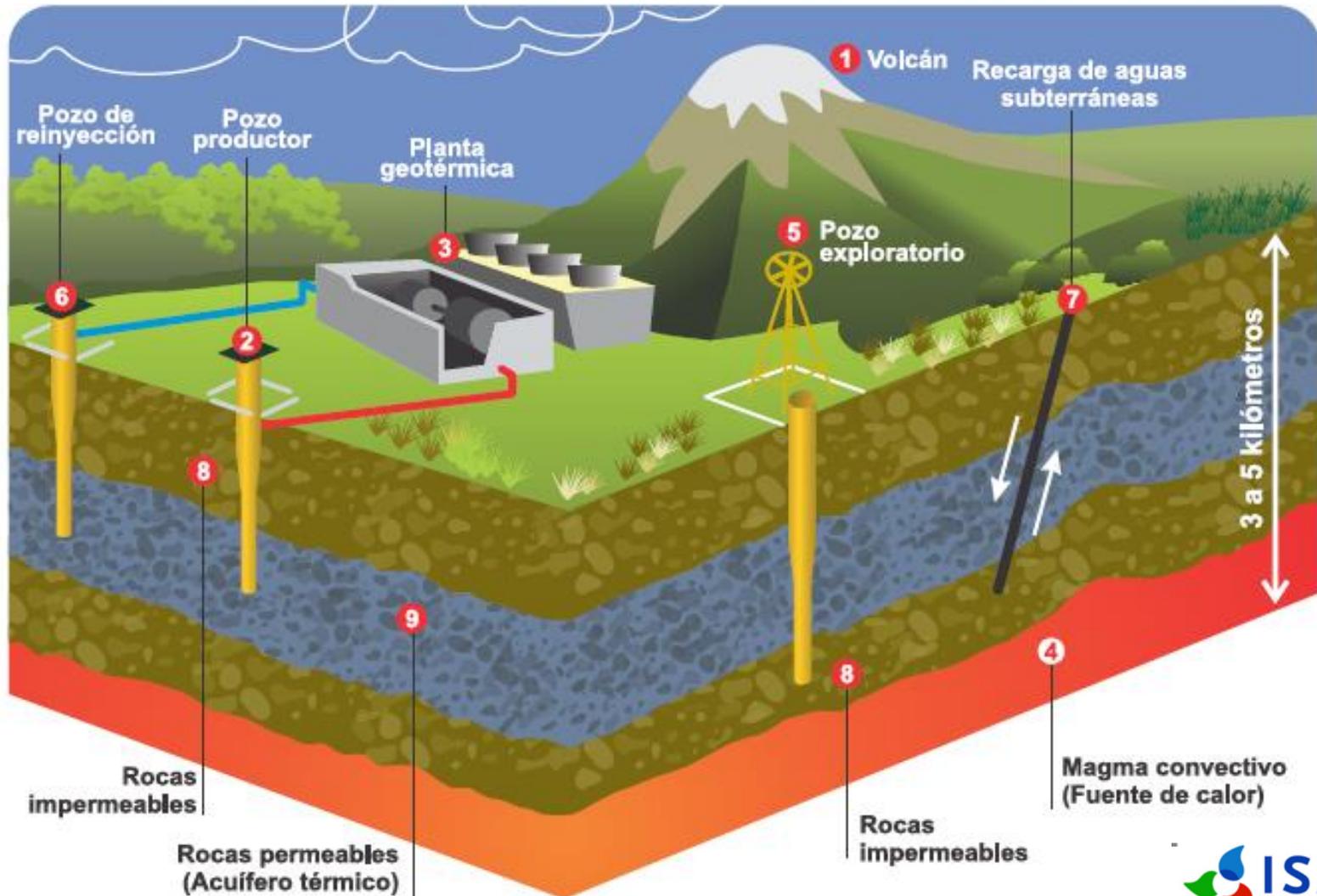
e. Para cada año de la serie histórica se calculará el mínimo valor de la ENG mensual del año.

En caso de no contar con las suficientes medidas de temperatura ambiente en el sitio de la planta, el agente deberá contratar un dictamen técnico para desarrollar una estimación de las series históricas, partiendo de mediciones propias y de series históricas horarias certificadas por el IDEAM.

# CONDICIONES Y DATOS DE ENTRADA



# CONDICIONES Y DATOS DE ENTRADA



## CONDICIONES Y DATOS DE ENTRADA

- ✓ **TEMPERATURA AMBIENTE:** Los datos de entrada son las mediciones horarias de temperatura ambiente (bulbo seco, humedad relativa y presión atmosférica) desde febrero de 2016 a junio de 2017) medidas por ISAGEN en el sitio de la planta del Proyecto Geotérmico MVR.
- ✓ **TEMPERATURA DEL RECURSO GEOTÉRMICO:** El dato de entrada es 230°C tomado de estudio de prefactibilidad del proyecto realizado por el consultor japonés West JEC para ISAGEN, así que aplica  $180 < TR \text{ FLASH} < 240^{\circ}\text{C}$ , aplicando geoquímica.
- ✓ **FLUJO MÁSSICO DEL RECURSO GEOTÉRMICO:** Dato estimado por los consultores de 558 kg/s tomado de estudio de prefactibilidad del proyecto realizado por el consultor japonés West JEC para ISAGEN, basado en su conocimiento y experiencia.
- ✓ **INDISPONIBILIDAD HISTÓRICA FORZADA:** El cálculo del IHF se hará de acuerdo con la regulación vigente para plantas térmicas. Dato tomado de experiencia con térmicas de 0,04.

# CONDICIONES Y DATOS DE ENTRADA

## TEMPERATURA AMBIENTE

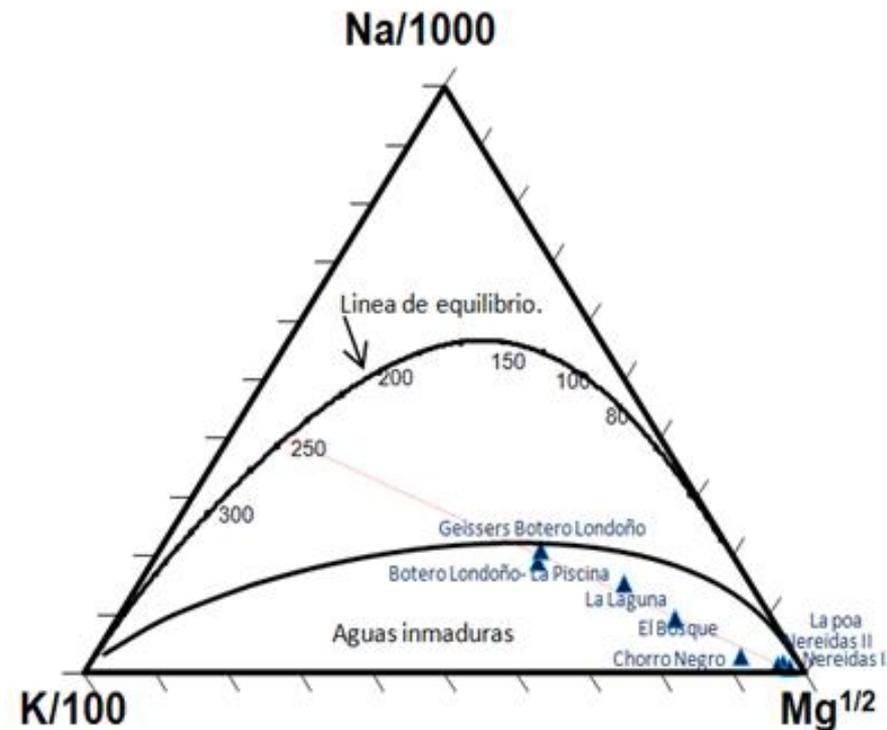
- ✓ Según lo dispuesto en la Circular CREG 100 de 2013, la temperatura ambiente para el cálculo de la ENFICC de bulbo húmedo para el enfriamiento con agua.
- ✓ El sistema de enfriamiento con agua para el Proyecto Geotérmico MVR fue seleccionado para ISAGEN por el consultor japonés West JEC.
- ✓ La temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de rocío se calculan a partir de la temperatura de bulbo seco, la presión atmosférica y la humedad relativa.
- ✓ La metodología empleada usa las fórmulas de la US National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) contenida en las siguientes páginas web:

<http://www.weather.gov/media/epz/wxcalc/vaporPressure.pdf>

[https://www.weather.gov/epz/wxcalc\\_rh](https://www.weather.gov/epz/wxcalc_rh)

## CONDICIONES Y DATOS DE ENTRADA

**TEMPERATURA DEL RECURSO GEOTÉRMICO.** A partir de información geoquímica y técnicas de geotermómetros se estima la temperatura del recurso en profundidad.



# CÁLCULOS REALIZADOS

ENERGÍA PROMEDIO DIARIO DEL MES	HORAS MES	TOA5	ENG hc	α	α	φ	δ	β	γ	TF	TA	PONI	FRE	IHF	27570	GOEST	
KWH MES / (HORAS MES / 24 H)	HORAS MES	Timestamp	PONED X FREC X (1-IHF)	COEFICIENTES RESOLUCIÓN CREG						Temperatura del recurso planta tipo flash (Geo termómet	Temperatura Bulbo Húmedo wBT (Circular 100 2013)	Fórmula Resolución CREG 132 de 2014	Flujo másico del recurso geotérmico	Declaración TERMO CENTRO	Temp_Aire_Avg	HumRel	BP_Avg
Promedio kWh día	h	TS	kwh CREG 132	RANGO 180 A 240°C						°C West JEC	Tw (°C) Calculada	kWh(kg/s)	kg/s West JEC	% ISAGEN	Avg	Smp	mb Avg
960068		01/03/2016 00:00	40236	0,00210	-0,00022	-0,00510	0,01100	0,29500	-27,80000	230	11,96	75,29	556,67	0,04	13,24	87,7	730,5
		01/03/2016 00:00	40844	0,00210	-0,00022	-0,00510	0,01100	0,29500	-27,80000	230	10,67	76,43	556,67	0,04	12,71	80,5	730
		01/03/2016 00:00	40843	0,00210	-0,00022	-0,00510	0,01100	0,29500	-27,80000	230	10,67	76,43	556,67	0,04	12,37	83,5	729,4
		01/03/2016 00:00	40844	0,00210	-0,00022	-0,00510	0,01100	0,29500	-27,80000	230	10,67	76,43	556,67	0,04	12,21	84,9	729
		01/03/2016 00:00	40685	0,00210	-0,00022	-0,00510	0,01100	0,29500	-27,80000	230	11,00	76,13	556,67	0,04	12,21	88,1	728,8
		01/03/2016 00:00	41314	0,00210	-0,00022	-0,00510	0,01100	0,29500	-27,80000	230	9,87	77,31	556,67	0,04	11,43	82,5	728,7
		01/03/2016 00:00	41238	0,00210	-0,00022	-0,00510	0,01100	0,29500	-27,80000	230	9,83	77,17	556,67	0,04	11,49	83,5	728,9
		01/03/2016 00:00	40967	0,00210	-0,00022	-0,00510	0,01100	0,29500	-27,80000	230	10,41	76,66	556,67	0,04	11,55	88,5	729,4
		01/03/2016 00:00	40715	0,00210	-0,00022	-0,00510	0,01100	0,29500	-27,80000	230	10,94	76,19	556,67	0,04	13,29	78,07	730,3
		01/03/2016 00:00	39187	0,00210	-0,00022	-0,00510	0,01100	0,29500	-27,80000	230	14,18	73,33	556,67	0,04	16,46	80,3	730,8
		01/03/2016 00:00	39165	0,00210	-0,00022	-0,00510	0,01100	0,29500	-27,80000	230	14,22	73,29	556,67	0,04	17,11	75,77	731
		01/03/2016 00:00	38688	0,00210	-0,00022	-0,00510	0,01100	0,29500	-27,80000	230	15,23	72,40	556,67	0,04	17,46	81,2	730,7
		01/03/2016 00:00	38738	0,00210	-0,00022	-0,00510	0,01100	0,29500	-27,80000	230	15,13	72,49	556,67	0,04	16,32	89,4	730,2
		01/03/2016 00:00	38546	0,00210	-0,00022	-0,00510	0,01100	0,29500	-27,80000	230	15,53	72,13	556,67	0,04	16,69	89,8	729,5
		01/03/2016 00:00	38855	0,00210	-0,00022	-0,00510	0,01100	0,29500	-27,80000	230	14,88	72,71	556,67	0,04	16,33	87,2	729
		01/03/2016 00:00	38557	0,00210	-0,00022	-0,00510	0,01100	0,29500	-27,80000	230	15,51	72,15	556,67	0,04	17,01	87	728,5
		01/03/2016 00:00	38754	0,00210	-0,00022	-0,00510	0,01100	0,29500	-27,80000	230	15,09	72,52	556,67	0,04	16,75	85,6	728,2

CR1000\_GOESTX



## RESULTADOS

Período Medición Estación Climatológica El Plan			
AÑO	MES	ENG promedio diario (KWh/día)	ENFICC Anual (GWh/año)
2016	Febrero	964158	350
	Marzo	960068	
	Abril	960296	
	Mayo	960303	
	Junio	966676	
	Julio	970131	
	Agosto	968993	
	Septiembre	973090	
	Octubre	972649	
	Noviembre	973224	
	Diciembre	975331	
	2017	Enero	
Febrero		981109	
Marzo		973267	
Abril		965663	
Mayo		963615	
Junio		965624	

- ✓ La ENFICC del Proyecto Geotérmico MVR para una planta de 50 MW es de 350 GWh aprox.
- ✓ La energía media anual estimada es 394 GWh.
- ✓ Resultados presentados por ISAGEN con base en la información disponible de TA medida en el sitio y estimaciones de TR Y FREC del consultor.

## ASPECTOS A TENER EN CUENTA

### PROTOCOLOS PARA LA VERIFICACIÓN DE SERIES Y DECLARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO TR Y FREC A CARGO DEL CNO

- ✓ El CNO convocó una comisión temporal de geotermia para la expedición del protocolo mencionado.
- ✓ La comisión temporal de geotermia elaboró los términos de referencia y presentó un listado de consultores para desarrollar la tarea encargada al CNO.
- ✓ El CNO llevó a cabo un sondeo de mercado para estimar el costo de la consultoría para la verificación de series y declaración de los parámetros de diseño definidos en la Resolución CREG 132 de 2014.

## ASPECTOS A TENER EN CUENTA

### CERTIFICACIÓN DE SERIES HORARIAS DE TEMPERATURA AMBIENTE A CARGO DEL IDEAM SEGÚN RESOLUCIÓN CREG 132 DE 2014

- ✓ El IDEAM tiene un protocolo para el control de calidad de la información meteorológica en las etapas de obtención, evaluación, verificación, calculo y procesamiento.
- ✓ El IDEAM cuenta con un número aproximado de 80 estaciones automáticas con datos medidos cada diez minutos y alrededor de 150 estaciones con termógrafo con fajas cada 24 horas que pueden dar información para validar y procesar. Su ubicación y elevación no necesariamente está cerca de las zonas con potencial geotérmico.
- ✓ En el resto de estaciones del IDEAM que son la mayoría se mide tres veces al día, en la mañana, a medio día y al final de la tarde. De acuerdo con la OMM el promedio diario no requiere medición horaria.-

## ASPECTOS A TENER EN CUENTA

### ✓ TEMPERATURA AMBIENTE

Hay que dar continuidad a la medición horaria de temperatura en el sitio de la planta, de modo que un dictamen técnico tenga insumos para la construcción de una serie horaria sintética de 10 años.

### ✓ TEMPERATURA Y FLUJO MÁSSICO DEL RECURSO GEOTÉRMICO

Los valores para aplicar la fórmula requieren completar un programa de exploración en el que sea posible obtener los valores reales a partir de pruebas de producción y su variabilidad en el tiempo se conocerá en los primeros años de operación de la planta.

## PARA OBTENER TR Y FREC HAY QUE PERFORAR Y PROBAR

El proceso de licenciamiento ambiental del Proyecto Geotérmico MVR presentado por ISAGEN está en trámite ante la autoridad ambiental CORPOCALDAS



La medición de TR y FREC requieren ejecutar un programa de perforación exploratoria con riesgo de no encontrar el recurso y practicar pruebas de producción.



**RENAG**  
REUNION NACIONAL DE GEOTERMIA

**Manizales  
2017**



ASOCIACIÓN GEOTÉRMICA COLOMBIANA



## Datos de Contacto

Entidad: ISAGEN S.A. E.SP.

Email: [webmaster@isagen.com.co](mailto:webmaster@isagen.com.co)

Website: [www.isagen.com.co](http://www.isagen.com.co)

Teléfono: +57 (4) 448 72 27