



# XXI Congreso de la Asociación Geotérmica Mexicana 2013



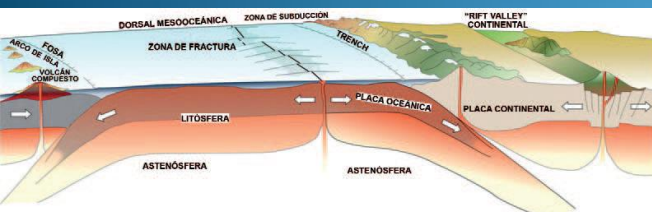
## PLANTA HÍBRIDA GEOTÉRMICA-SOLAR: UNA FORMA DE APROVECHAR LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS DE BAJA ENTALPÍA

M.C. RAÚL SÁNCHEZ VELASCO  
Dr. J. JESÚS PACHECO IBARRA

[ras1113@yahoo.com.mx](mailto:ras1113@yahoo.com.mx)

[jipi15.pacheco@gmail.com](mailto:jipi15.pacheco@gmail.com)

Morelia, Mich., 24 de octubre de 2013



PRADOS CAMELINAS SA DE CV





# CONTENIDO

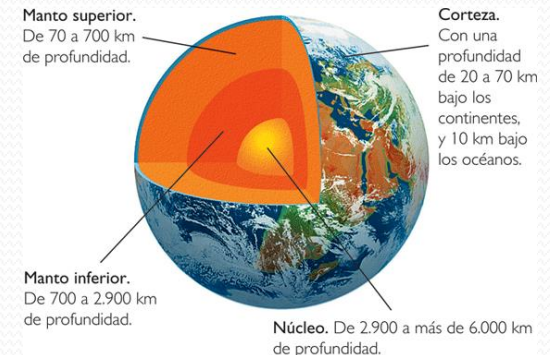
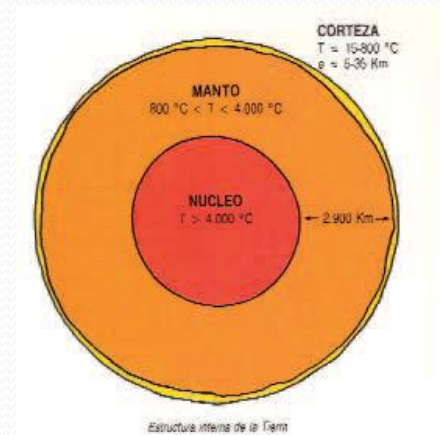
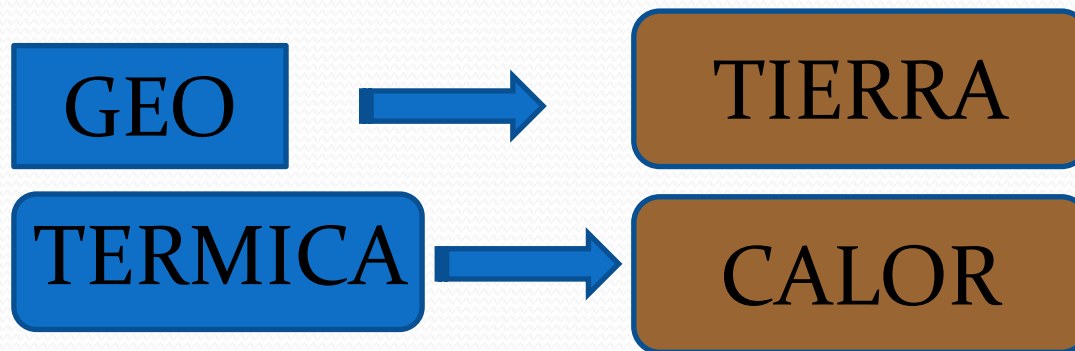
- ENERGÍA GEOTÉRMICA
  - GENERALIDADES
  - CLASIFICACIÓN
- APLICACIONES DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA.
- ENERGÍA SOLAR
- SISTEMA HÍBRIDO GEOTÉRMICO SOLAR
  - GENERALIDADES
  - PROYECTO CONACYT
  - SITUACIÓN ACTUAL (PROBLEMÁTICA, SOLUCIÓN, GESTIÓN DE COMPRAS, ORGANIZACIÓN, ETC.)

**PRADOS CAMELINAS SA DE CV**



# ENERGÍA GEOTÉRMICA

- En su más amplio sentido, la energía geotérmica define la energía que, en forma de calor, está almacenada o se genera en el seno de nuestro planeta.



Como se puede observar, en estas definiciones genéricas no se tiene en cuenta el carácter de la energía geotérmica como recurso energético.



# ENERGÍA GEOTÉRMICA

## SISTEMA O YACIMIENTO GEOTÉRMICO

Un sistema o yacimiento geotérmico Puede ser descrito esquemáticamente como *"agua convectiva en la corteza superior de la tierra la cual, en un espacio confinado, transfiere calor desde una fuente de calor hasta una abertura de calor, usualmente la superficie libre"* (Hochstein, 1990).

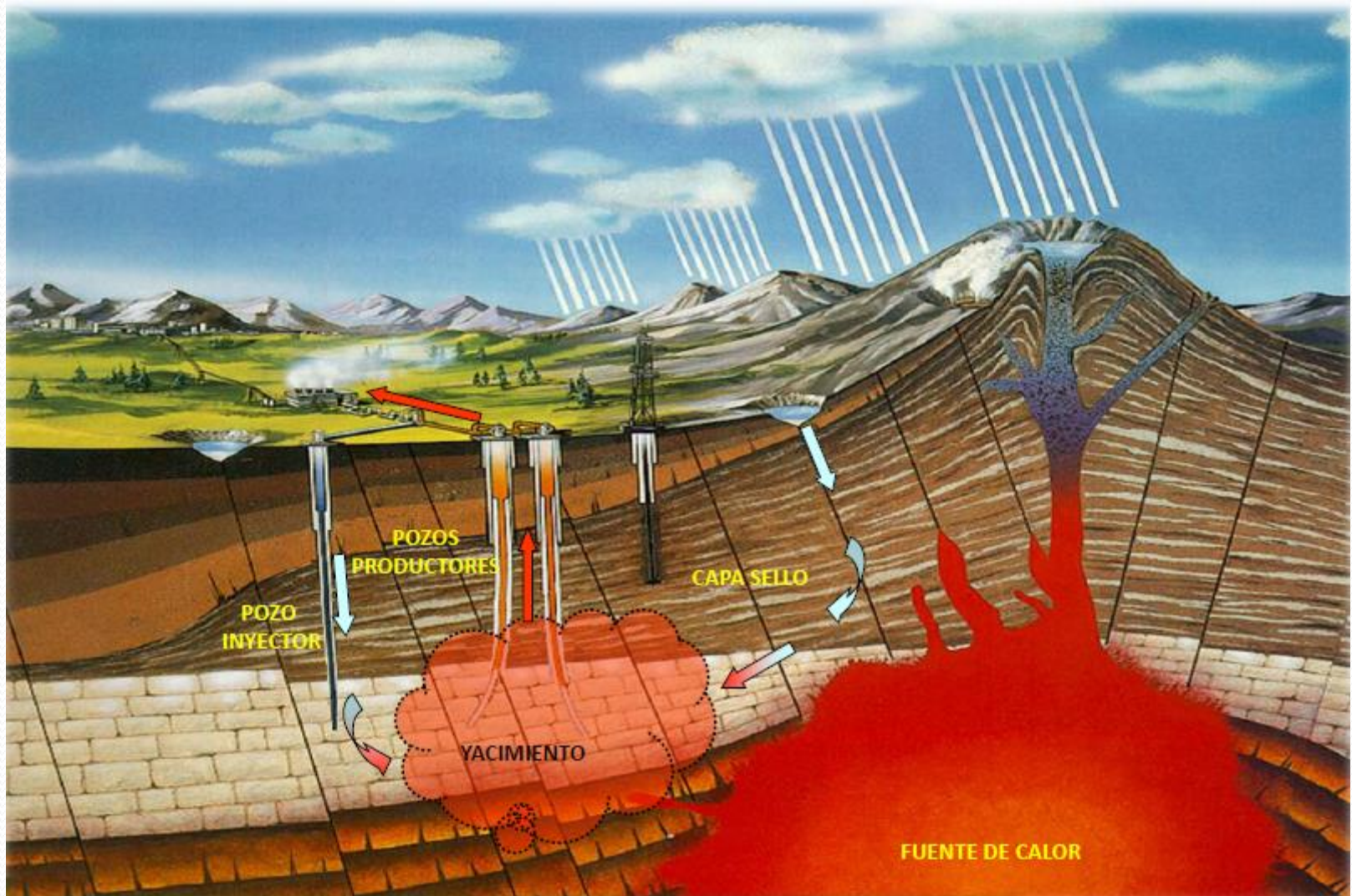
“Cuando en un área geográfica se cumplen las condiciones geológicas y técnicas necesarias para que se pueda explotar la energía geotérmica del subsuelo, se dice que allí existe un yacimiento geotérmico”.

PRADOS CAMELINAS SA DE CV



# ENERGÍA GEOTÉRMICA

## SISTEMA O YACIMIENTO GEOTÉRMICO





# ENERGÍA GEOTÉRMICA

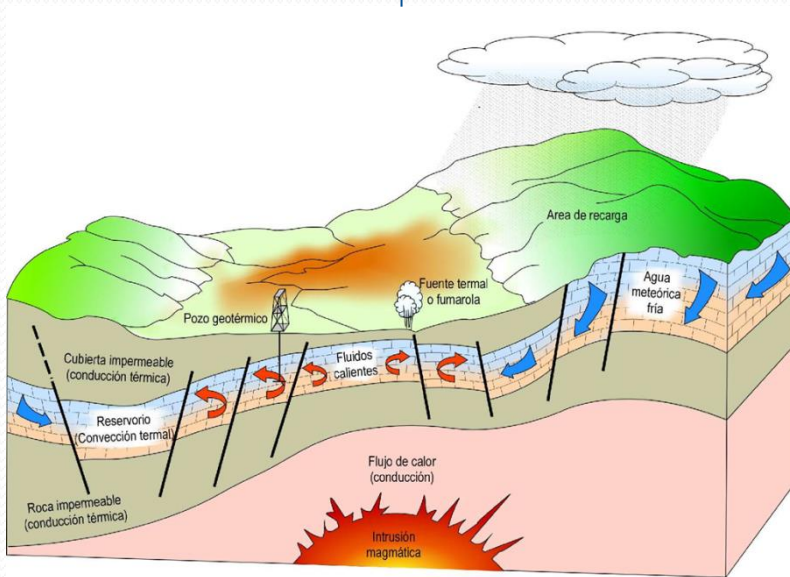
## SISTEMA O YACIMIENTO GEOTÉRMICO

Un sistema geotérmico está constituido por 3 elementos principales:

**Fuente de calor**, puede ser una intrusión magmática a muy alta temperatura ( $> 600^{\circ}\text{C}$ ), emplazada a profundidades relativamente someras (5-10 km)

**Reservorio**, volumen de rocas calientes permeables del cual los fluidos circulantes extraen el calor.

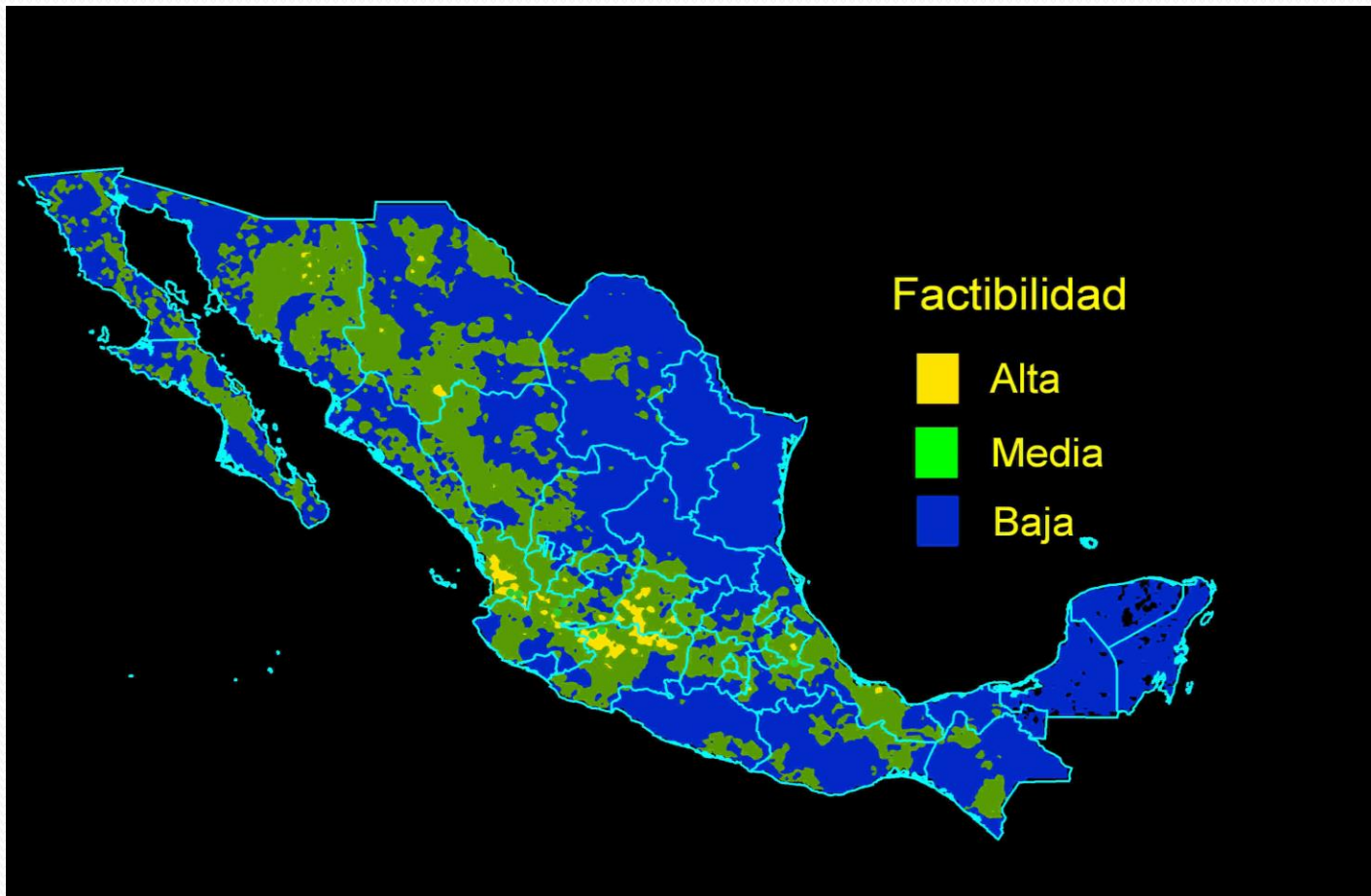
**Fluido**, el cual es el medio que transfiere el calor. El fluido geotermal es agua en la mayoría de los casos de origen meteórico, ya sea en la fase líquida o en la fase vapor, dependiendo de su temperatura y presión.





# ENERGÍA GEOTÉRMICA

## RIQUEZA GEOTÉRMICA EN MÉXICO





# ENERGÍA GEOTÉRMICA

## CLASIFICACIÓN

- Los yacimientos geotérmicos pueden clasificarse de acuerdo con su nivel energético y, por tanto en función de su **entalpía**; sin embargo, pueden ser relacionados con la temperatura (°C):

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
Recursos de baja entalpía	< 90	<125	<100	$\leq 50$	$\leq 90$
Recursos de entalpía intermedia	90-150	125-225	100-200	-	-
Recursos de alta entalpía	>150	>225	>200	>150	>190

Ref:

- (a) Muffler and Cataldi (1978).
- (b) Hochstein (1990).
- (c) Benderitter and Cormy (1990).
- (d) Nicholson (1993).
- (e) Axelsson and Gunnlaugsson (2000)



# ENERGÍA GEOTÉRMICA

## CLASIFICACIÓN

**CLASIFICACIÓN CON BASE EN SU TEMPERATURA (Elders, 1981)**

- **Yacimientos geotérmicos de baja temperatura:** Aquellos en los que a profundidades generalmente inferiores a los 2500 metros existen formaciones permeables conteniendo fluidos cuyas temperaturas son del orden de 40-90° C. Por ello, son adecuados para el aprovechamiento directo del calor (calefacción de viviendas, procesos industriales, agricultura, piscicultura, etc.). Estos yacimientos se localizan en zonas estables con gradientes y flujos geotérmicos normales.

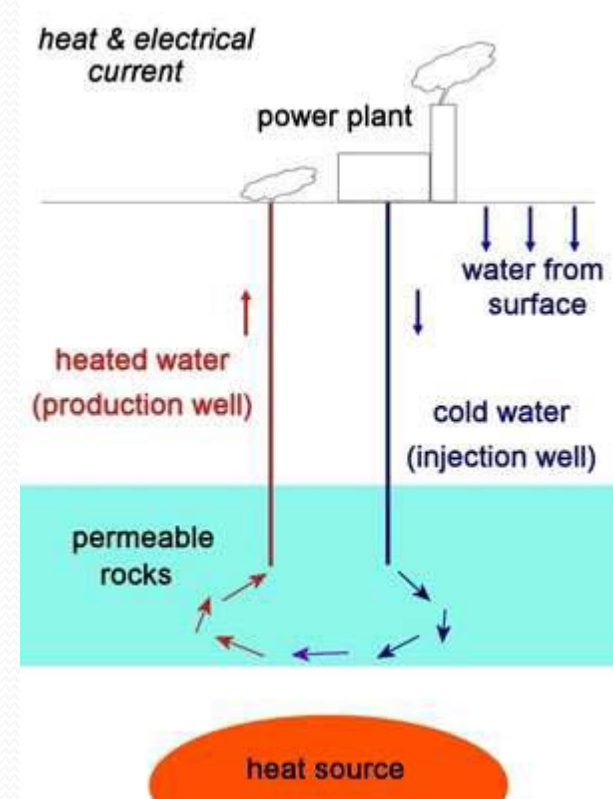




# ENERGÍA GEOTÉRMICA

## CLASIFICACIÓN

- **Yacimientos geotérmicos de alta temperatura:** Aquellos en los que a profundidades técnicamente accesibles, existe un volumen de roca permeable, conteniendo un fluido que puede recorrerla, a una temperatura generalmente superior a los  $150^{\circ}\text{C}$  y que se encuentra sellada o entrampada por formaciones impermeables que impiden el escape del fluido. Son adecuados para la producción de electricidad y se sitúan sobre zonas geológicamente activas y de flujo geotérmico elevado.

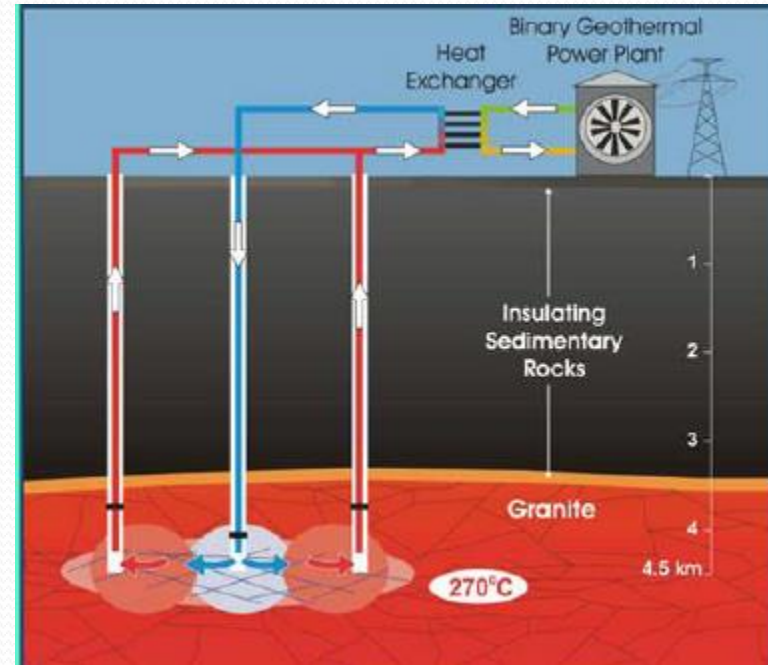




# ENERGÍA GEOTÉRMICA

## CLASIFICACIÓN

- **Yacimientos geotérmicos de media temperatura:** En ellos la temperatura (generalmente entre los 90 y 150° C) permite la producción de electricidad mediante el empleo de fluidos intermedios de bajo punto de ebullición (ciclos binarios). Los ciclos binarios, conocidos ya desde hace décadas, han experimentado un desarrollo importante logrando incrementar sus rendimientos de forma notable, factor que limitaba la valoración de los yacimientos de media temperatura hace tan sólo un cuarto de siglo.





# ENERGÍA GEOTÉRMICA

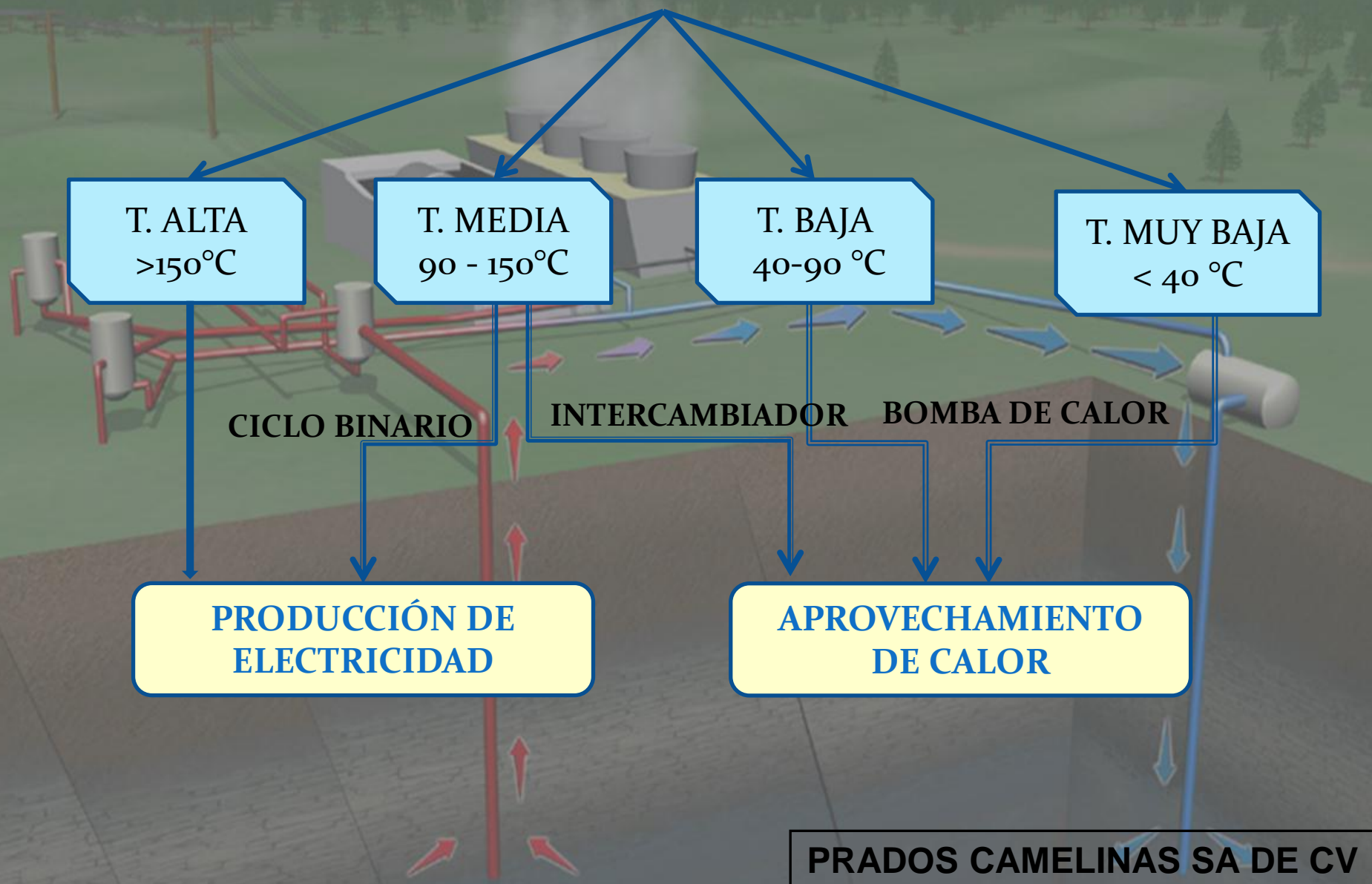
## CLASIFICACIÓN

Existen otras clasificaciones adicionales de los yacimientos geotérmicos, tales como:

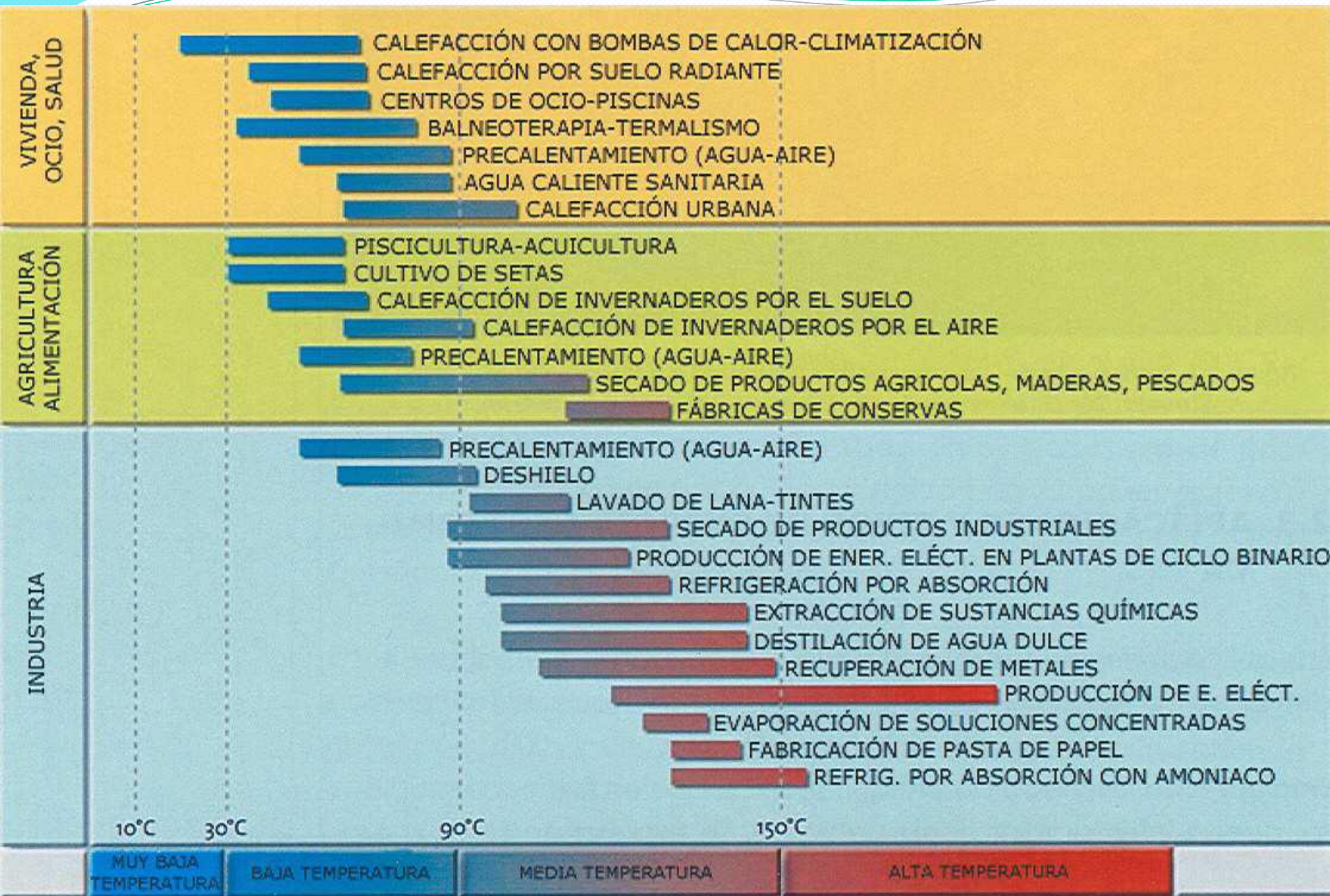
- **Yacimientos geotérmicos de muy baja temperatura:** Todos los acuíferos y el propio subsuelo a escasa profundidad (en general inferior a 250 metros).
- **Yacimientos geotérmicos de roca caliente seca (actualmente incluidos en los sistemas geotérmicos estimulados, EGS),** donde existiendo una masa de roca seca caliente se inyecta un fluido frío para extraer su energía.
- **Yacimientos geotérmicos en condiciones hipercríticas:** Fluido en condiciones arriba del punto crítico.



# APLICACIONES DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA.



# APLICACIONES DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA





# ENERGÍA SOLAR

*La cantidad de energía que el sol vierte diariamente sobre la Tierra es diez mil veces mayor que la que se consume al día en todo el planeta*

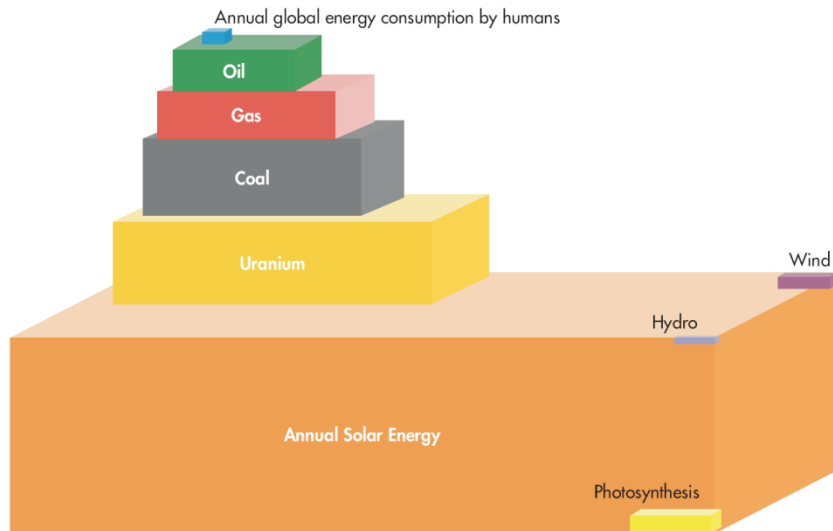


**PRADOS CAMELINAS SA DE CV**



# ENERGÍA SOLAR

- La energía solar, en sus diversas manifestaciones directas (radiación solar directa, difusa...) o indirectas (biomasa, eólica, hidráulica, mareomotriz...), es la fuente de energía más abundante en la Tierra.
- El consumo energético anual actual (=CE) de energía primaria es aproximadamente 425 EJ/año.**
- La energía solar total anual que alcanza la superficie de la Tierra y su atmósfera es 2.895.000 EJ/año, que representa (~7000 veces el CE), unas 9 veces el recurso total de todas las demás energías no-renovables, estimado en 325,300 EJ (765 veces la CE).



Petróleo: 8690 EJ (~20 CE),  
Gas: 17,280 EJ (~40 CE),  
Uranio: 114,000 EJ (~270 CE),  
Carbón: 185,330 EJ (~440 CE).



# ENERGÍA SOLAR

- Existen dos vías principales para el aprovechamiento de la radiación solar:
  - – Energía Solar Térmica
  - – Energía Solar Fotovoltaica

**Energía Solar Térmica:** Consiste en utilizar la radiación del sol para calentar un fluido que, en función de su temperatura, se emplea para producir agua caliente e incluso vapor.

**Energía Solar Fotovoltaica:** Se realiza a través de la transformación directa de la energía solar en energía eléctrica mediante el llamado efecto fotovoltaico.



# ENERGÍA SOLAR

## ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

- Con respecto a la tecnología **solar térmica** que convierte la energía radiativa en calor, su principal componente es el captador, por el cual circula un fluido que absorbe la energía radiada del sol. De acuerdo a la temperatura de aprovechamiento se puede clasificar el aprovechamiento en alta, media y baja, siendo sus límites:
- \* **Hasta  $100^{\circ}\text{C}$ : de baja temperatura;**
- \* **Desde  $100^{\circ}\text{C}$  y hasta  $300^{\circ}\text{C}$ : de mediana temperatura;**
- \* **Mayores a  $300^{\circ}\text{C}$ : de alta temperatura.**





# Proyecto:

## **PLANTA HÍBRIDA GEOTÉRMICO-SOLAR: UNA FORMA DE APROVECHAR LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS DE BAJA ENTALPÍA**

**PRADOS CAMELINAS, S.A. DE C.V.-UMSNH-CONACYT 2012**

**PRADOS CAMELINAS SA DE CV**



UMSNH

PRADOS CAMELINAS SA DE CV

## PLANTA HÍBRIDA GEOTÉRMICO SOLAR

Objetivo. Incrementar la posibilidad de aprovechar fluidos geotérmicos en la generación de electricidad, que no alcanzan la temperatura mínima que requiere la tecnología actual, integrando un componente solar como *booster* de energía.

**Prados Camelinas, S.A. de C.V.:** Pozo geotérmico

**UMSNH:** Dos unidades de ciclo binario de 300 kW<sub>e</sub>, donadas por CFE.



UMSNH

PRADOS CAMELINAS SA DE CV

## PLANTA HÍBRIDA GEOTÉRMICO SOLAR

Fondo de Sustentabilidad Energética de CONACYT

Periodo de ejecución: 2012

Apoyo al proyecto: **\$5,344,960** de \$8,658,700

UMSNH: \$3,762,960 (70%)

Prados Camelinas SA: \$1,582,000 (30%)



UMSNH

PRADOS CAMELINAS SA DE CV

# **PLANTA HÍBRIDA GEOTÉRMICO SOLAR.**

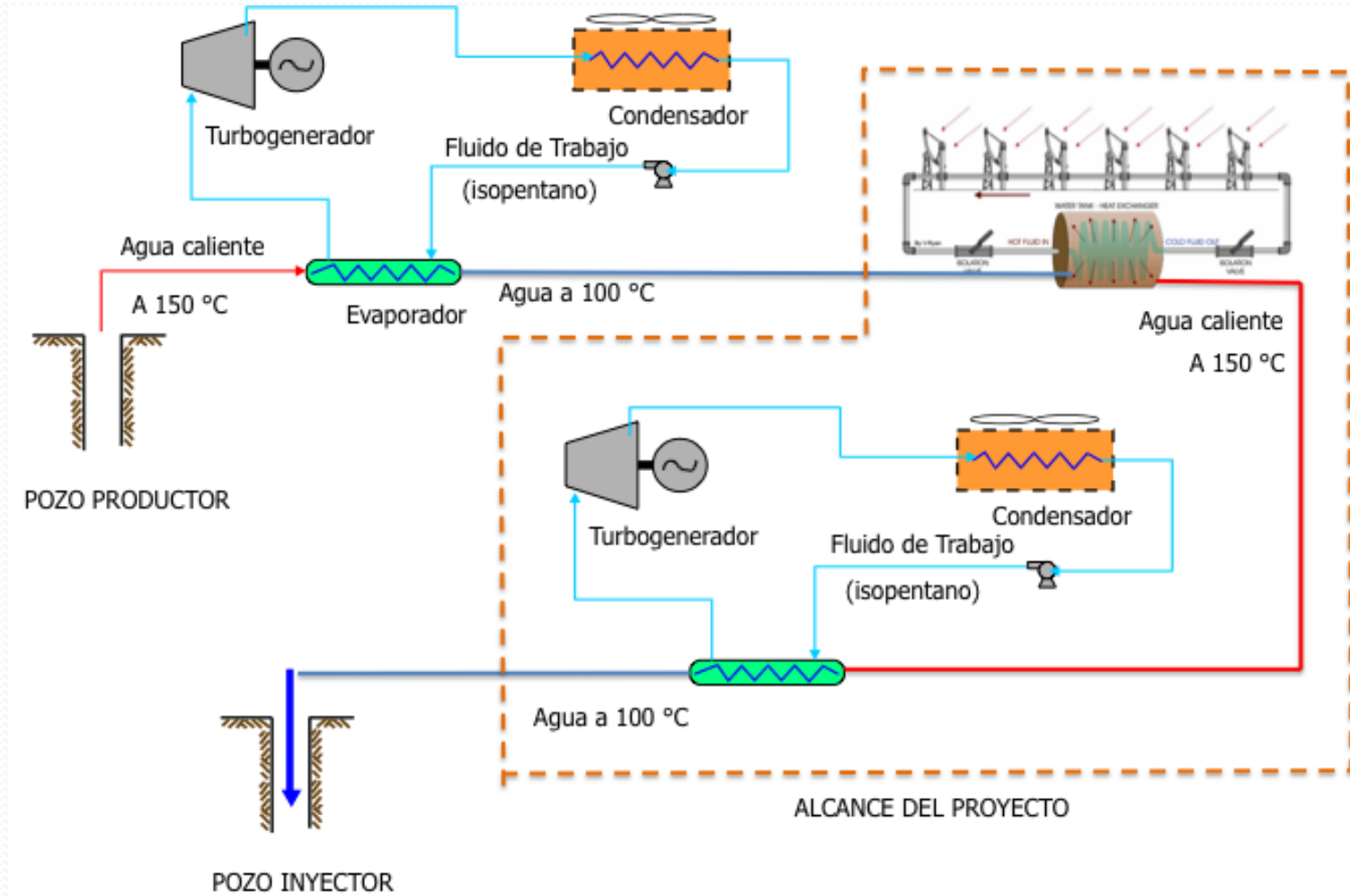
## ***ETAPAS DEL PROYECTO***

- Rehabilitación de Unidad de Ciclo Binario
- Diseño y adquisición del campo solar
- Instalación de unidad generadora
- Acoplamiento del sistema híbrido
- Pruebas de desempeño



# PLANTA HÍBRIDA GEOTÉRMICO SOLAR

## PLANTEAMIENTO ORIGINAL





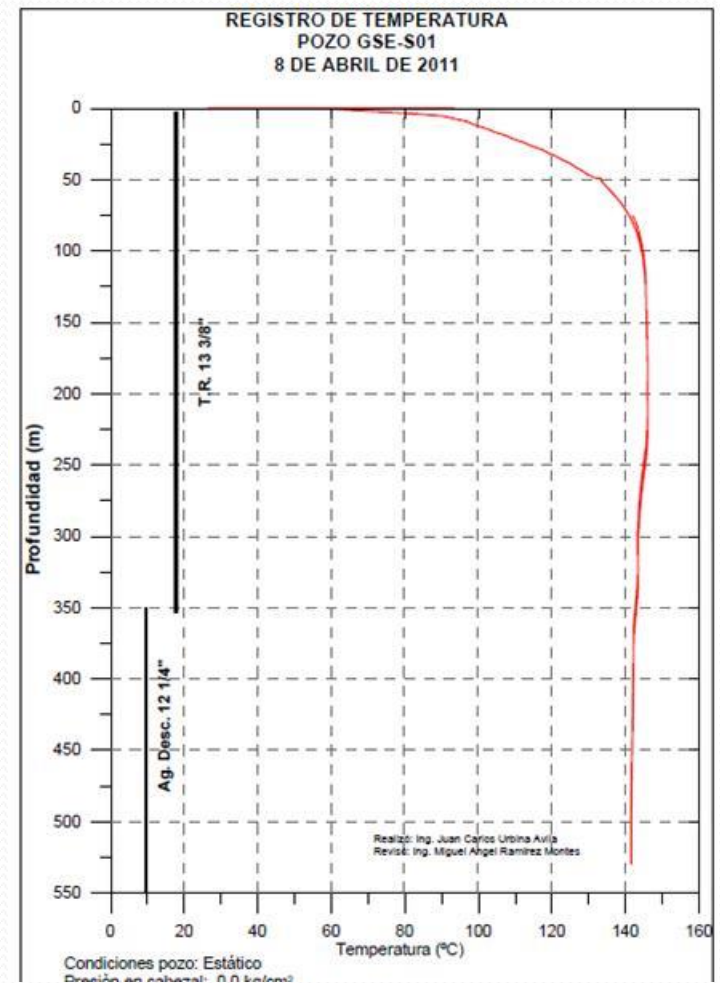
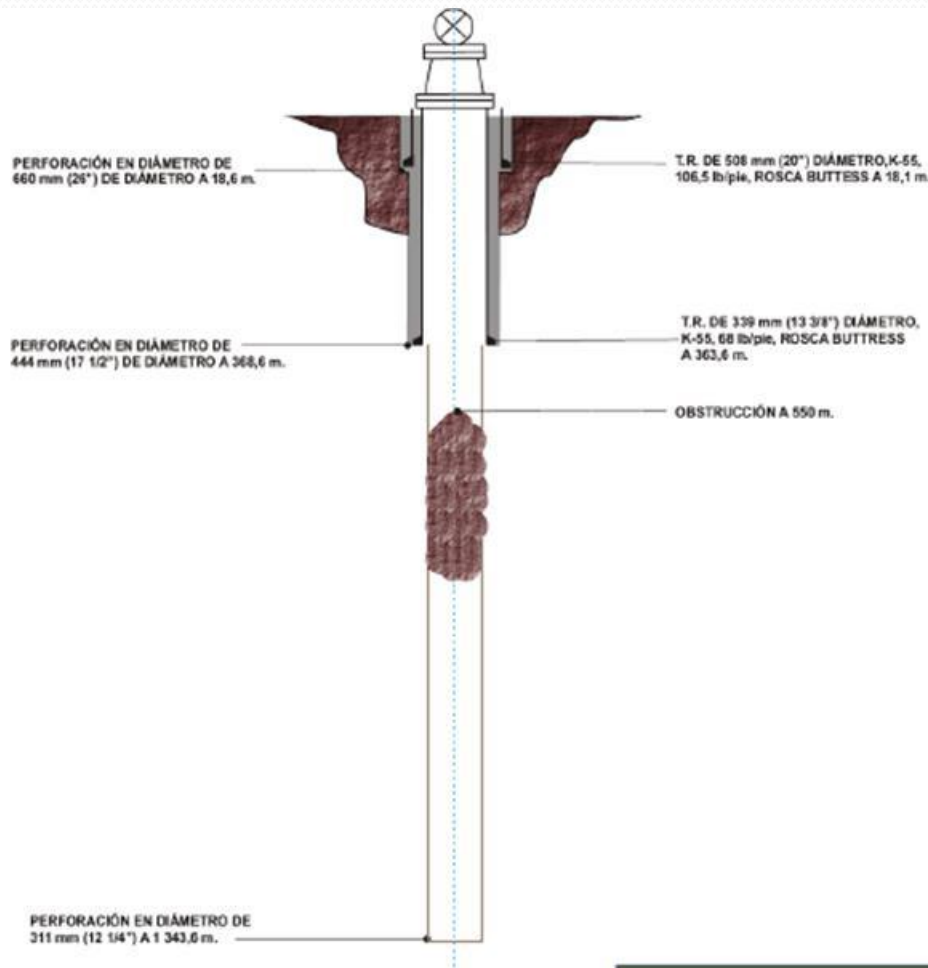
# PLANTA HÍBRIDA GEOTÉRMICO SOLAR





# PLANTA HÍBRIDA GEOTÉRMICO SOLAR

- ANÁLISIS DE FUNCIONALIDAD DEL POZO



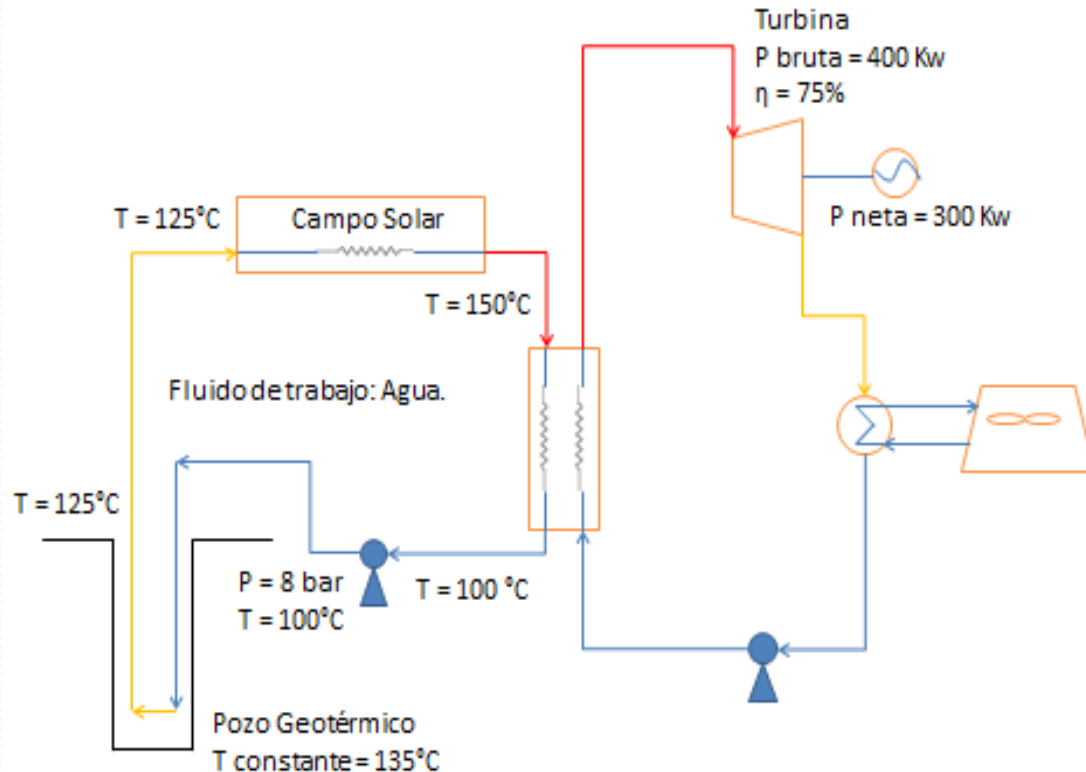


# PLANTA HÍBRIDA GEOTÉRMICO SOLAR

- PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

## RETOS PARA ESTA PROPUESTA

Proyecto Híbrido Solar Geotérmico

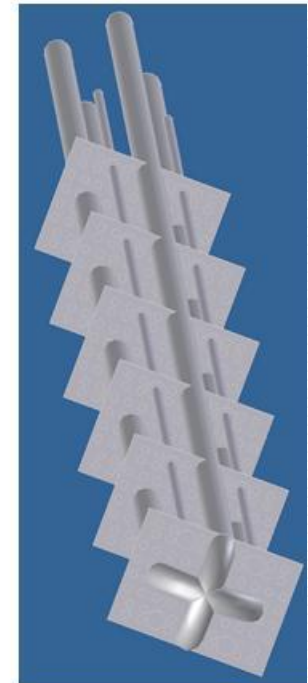
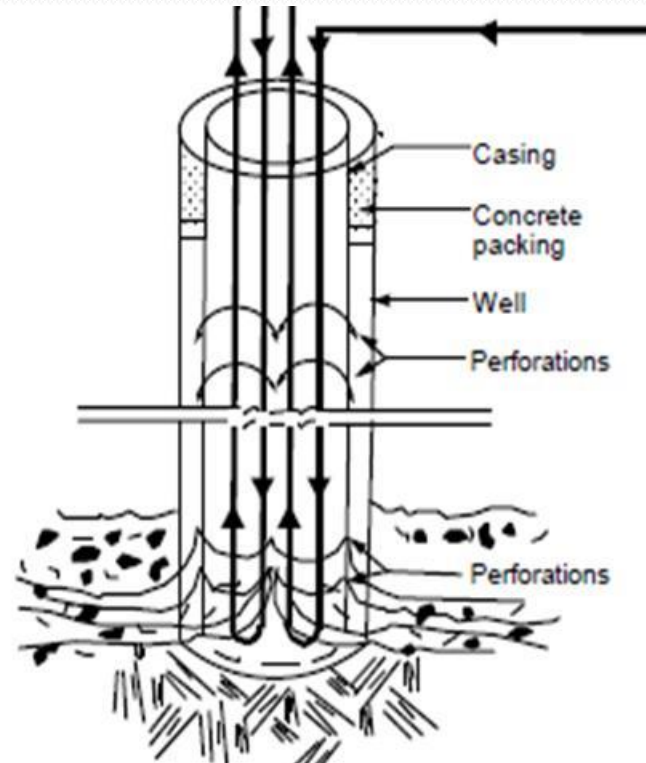


- El intercambiador de pozo profundo deberá estar sujeto a las restricciones geométricas del pozo, el cual tiene un diámetro de 13.5" y una profundidad de aproximadamente 500 m.
- El diseño del intercambiador debe contemplar el sistema de sujeción del mismo ya que deberá estar suspendido en el interior del pozo.
- Otras



# PLANTA HÍBRIDA GEOTÉRMICO SOLAR

- PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

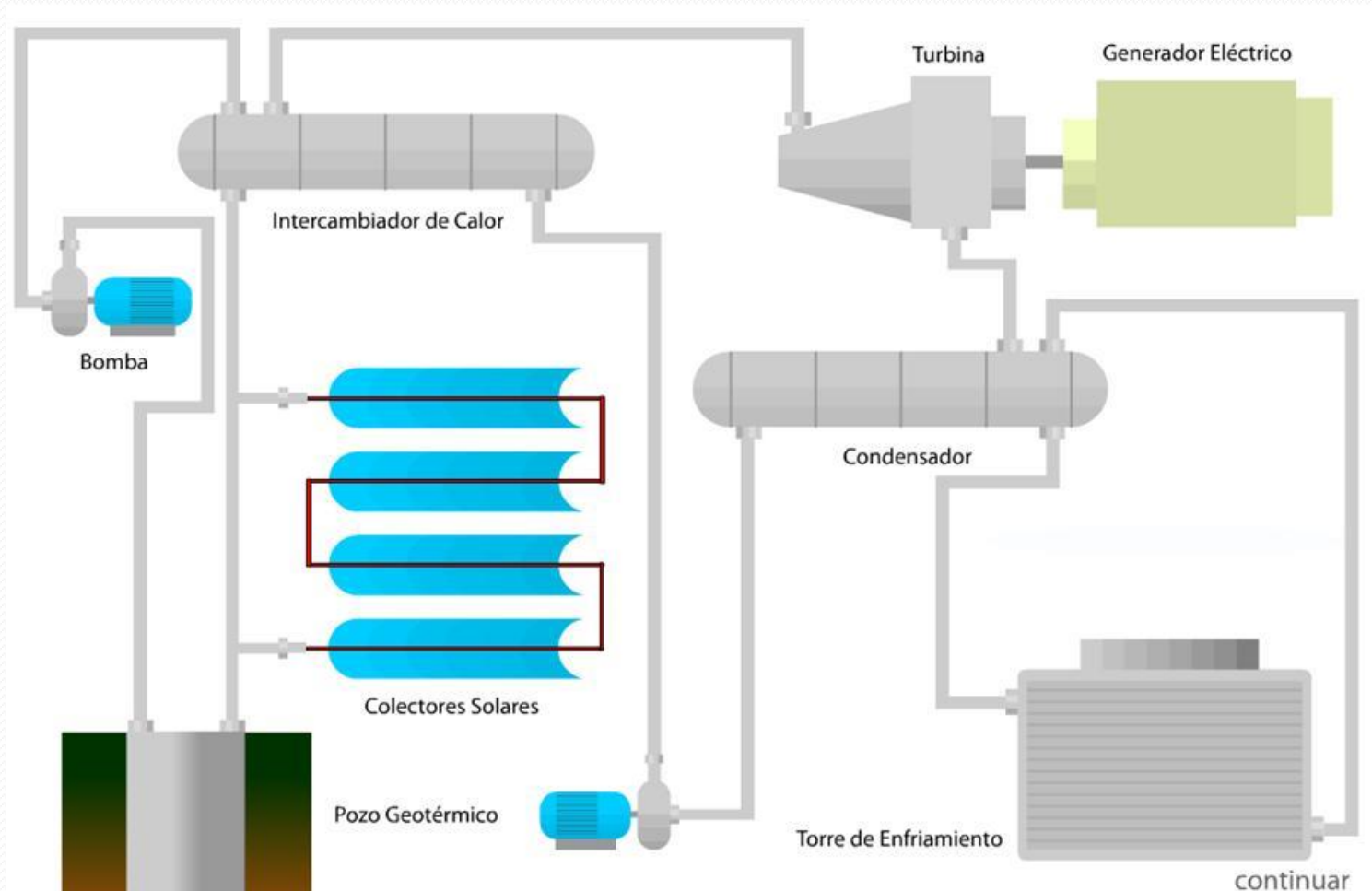
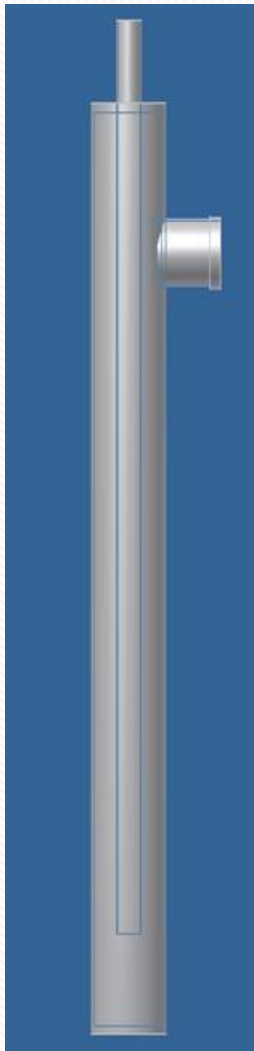


PRINCIPAL INCONVENIENTE: PESO DE LA TUBERÍA : ~80 TONELADAS



# PLANTA HÍBRIDA GEOTÉRMICO SOLAR

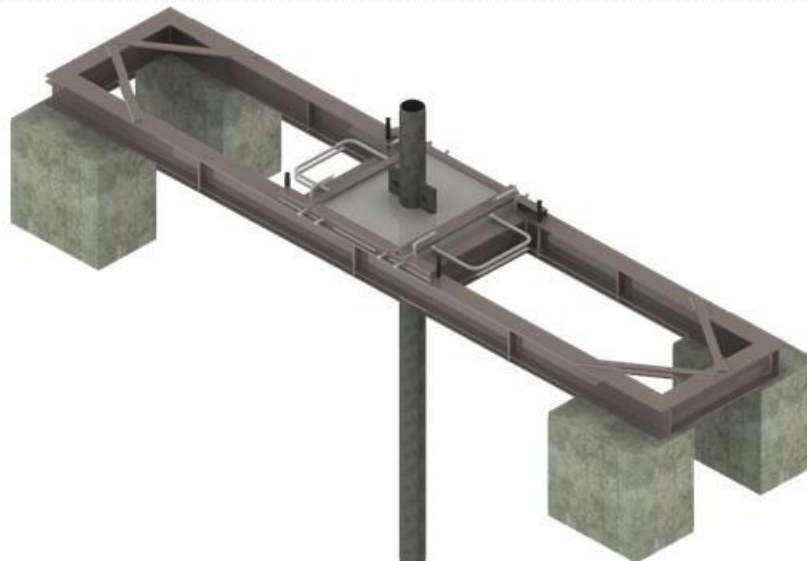
- SOLUCIÓN MÁS ACEPTADA





# PLANTA HÍBRIDA GEOTÉRMICO SOLAR

- SOLUCIÓN MÁS ACEPTADA



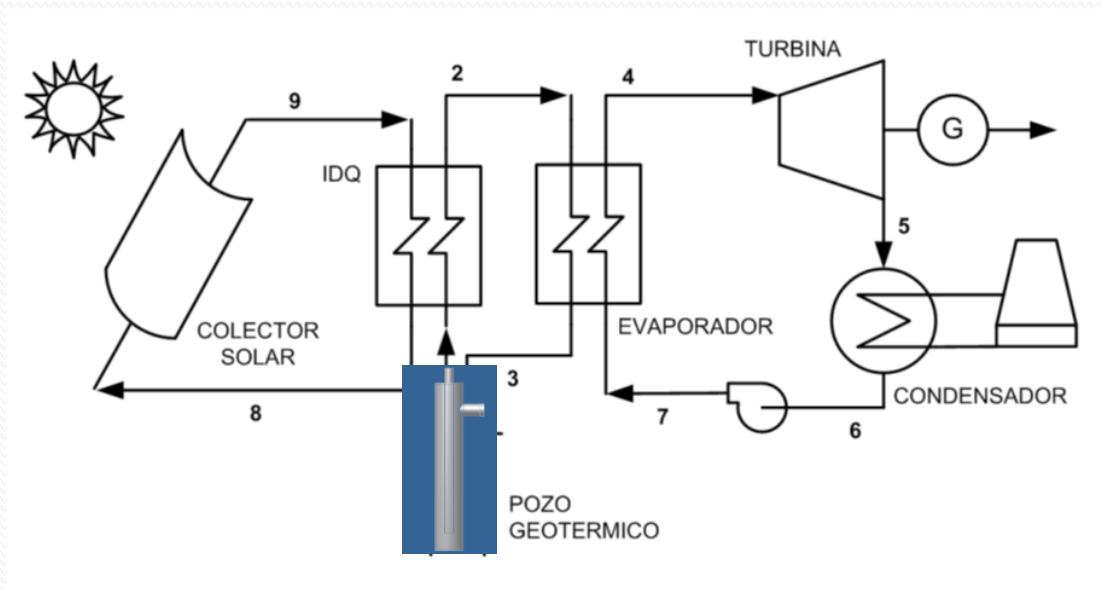


# PLANTA HÍBRIDA GEOTÉRMICO SOLAR

- CAMPO SOLAR**

El aporte térmico solar requerido se calcula considerando el flujo de 75 t/h de agua geotérmica de diseño de la planta y un incremento de temperatura de 120 °C a 150 °C. Así, la energía térmica necesaria es de 2673 kWt.

Respecto a los colectores solares, se plantea la utilización del tipo de canales parabólicos, cuyo rendimiento oscila entre 55 y 65% y un esquema como el siguiente:





# PLANTA HÍBRIDA GEOTÉRMICO SOLAR

- CAMPO SOLAR





# PLANTA HÍBRIDA GEOTÉRMICO SOLAR

## • CAMPO SOLAR

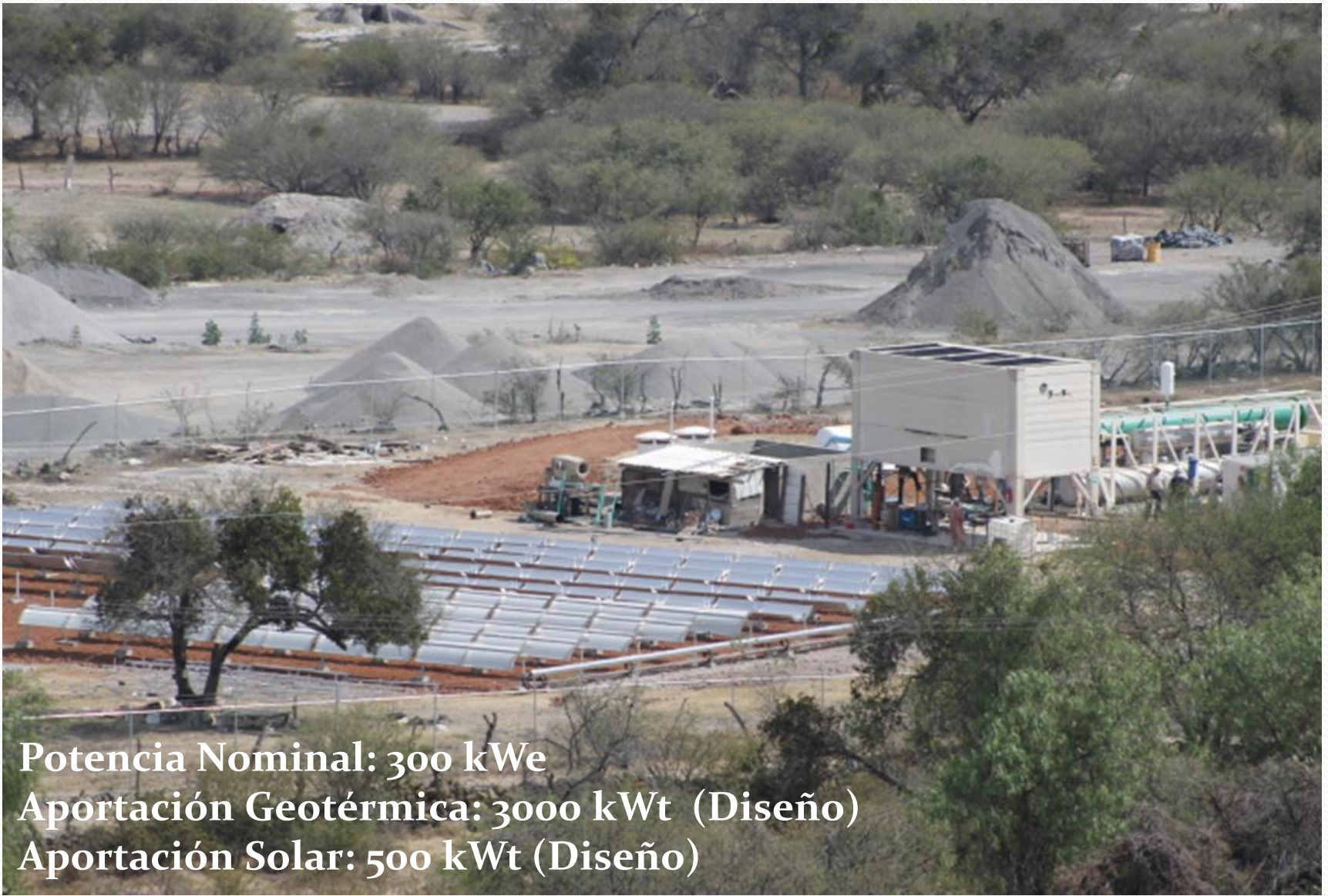
- Considerado un costo de 250 dólares por metro cuadrado para el colector de canal parabólico y una relación de la superficie del terreno a la superficie del campo solar de 3.6:

	Irradiación	Eta_3	Area	Terreno	Costo
	kJ/m2-h		m2	ha	\$
Invierno	1548.84	0.49	12786.72	4.60	43,155,181.42
Verano	2469.77	0.55	7104.65	2.56	23,978,206.94

- Sin embargo, se dispone de un monto total de \$2,500,000 para el campo solar y su instalación, lo que representa una limitación de superficie solar. Con este recurso sólo se puede adquirir una superficie de 740 m<sup>2</sup> que representa un aporte de 2-3 °C.



# PLANTA HÍBRIDA GEOTÉRMICO SOLAR



Potencia Nominal: 300 kWe  
Aportación Geotérmica: 3000 kWt (Diseño)  
Aportación Solar: 500 kWt (Diseño)



UMSNH

PRADOS CAMELINAS SA DE CV

# Conclusiones

- Michoacán presenta un alto potencial de aprovechamiento solar, pero con los costos tecnológicos actuales la inversión requerida representa una barrera.
- Dados los beneficios de utilizar una fuente geotérmica y una solar, los costos se pueden reducir a través de esquemas de apoyo económico por parte de programas gubernamentales.



UMSNH

PRADOS CAMELINAS SA DE CV

# Agradecimientos

- Los autores desean reconocer el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y de la empresa Prados Camelinas, S.A. de C.V., para el desarrollo del proyecto en la modalidad de innovación tecnológica.



# PLANTA HÍBRIDA GEOTÉRMICO SOLAR

***PREGUNTAS O  
COMENTARIOS?***

Nathias \_oster

0 50 100 150 200 250 300 350  $W m^{-2}$

