

**DIMENSIONAMIENTO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR TÉRMICO TIPO FRESNEL PARA LA DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA.**

Hernán Darío Pedraza Corzo  
Diana Marcela Vesga Gómez

Director: Ph,D. Luis Sebastián Mendoza.

Codirectores:

Ph,D. Ana Lisbeth Galindo Noguera  
Ph,D. Alexander Meneses Jácome





# CONTENIDO

## 1. Problema

### PROBLEMA

Según la ONU, la escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial y para el 2025 la mitad de la población vivirá en zonas con escasez de agua. En Colombia el 7,7% de la población urbana y el 25% de la población rural, no cuentan con acceso a agua potable según el DANE.

En la Guajira solo el 7,2% de la población tiene acceso a servicio de acueducto según el DANE, pero esto no garantiza que tengan agua potable.



3

## 2. Justificación

### JUSTIFICACIÓN

Con el fin de darle solución al problema, hemos desarrollado una propuesta para desalinizar agua de mar basado en la tecnología de evaporación de múltiples etapas (MSF) conectada a ciclo Rankine con cogeneración para el autoconsumo y a un sistema solar térmico tipo Fresnel.

Se escogió la tecnología MSF debido a que en el contexto nacional solo se ha utilizado osmosis inversa para la desalinización. Como esta tecnología requiere energía térmica, se optó por utilizar un sistema de energía solar térmica tipo Fresnel, teniendo en cuenta el recurso energético propio de la región (energía solar).



4

## 3. Metodología

### METODOLOGÍA



6

## 4. Objetivos

### OBJETIVOS

Dimensionar y simular un sistema solar térmico con tecnología Fresnel para la desalinización de agua de mar basado en la Evaporación Instantánea de Múltiple Efecto (EIME) sujeto a las condiciones climáticas de La Guajira.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

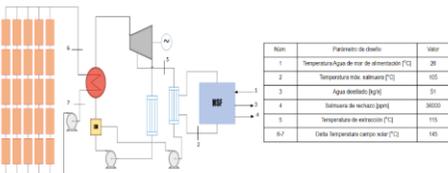
- Modelar el sistema solar térmico implementando tecnología Fresnel para acoplarlo al sistema desalinizador.
- Modelar el sistema desalinizador para la producción de agua potable.
- Simular el sistema solar térmico acoplado al sistema desalinizador para determinar las variables críticas del sistema.
- Validar los modelos matemáticos con la literatura para determinar la confiabilidad del modelo.
- Analizar la viabilidad técnica de implementar un sistema térmico solar para la desalinización de agua de mar.

5

## 5. Desarrollo

### DESARROLLO

La población objetivo es 197.341 personas, y según Shaffer & Thomson (1992) el consumo metabólico es de 6,5 Litros, por lo tanto el agua a desalinizar es de 1.285,2 m<sup>3</sup>/día.



7

## 6. Resultados

### RESULTADOS



13

## 7. Conclusiones

### CONCLUSIONES

- El modelo matemático del campo solar Fresnel tiene menos de un 3% de desvío, para el modelo de desalinización con la tecnología MSF, es difícil determinar un porcentaje de desvío.
- En la simulación donde varía  $T_r$ , el rendimiento de la planta MSF (PR) incrementa en más de un 30%, si la temperatura superficial del agua del mar aumenta.
- Se optó por incluir un ciclo Rankine sencillo para tener un mejor aprovechamiento del área, ya que el calor requeando por la MSF podía ser el calor de rechazo del ciclo Rankine

20

## 8. Recomendaciones

### RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer un análisis exergo económico con el fin de determinar de esta forma un costo de agua destilada (TWP) más confiable o cercano a la realidad.
- Para futuros trabajos se recomienda cambiar el fluido de transferencia de calor en el campo solar Fresnel, para caracterizar el comportamiento de la tecnología de desalinización.
- De igual forma sería interesante realizar un análisis de ciclo de vida a la salmuera de rechazo, ya que normalmente en la industria esta se devuelve al mar y no se conocen las implicaciones ambientales (en La Guajira) que esto causa en la fauna marina.
- Se recomienda hacer un perfil de temperatura en el tubo receptor con la técnica de elementos finitos, para determinar la diferencia de temperatura entre receptores.

22

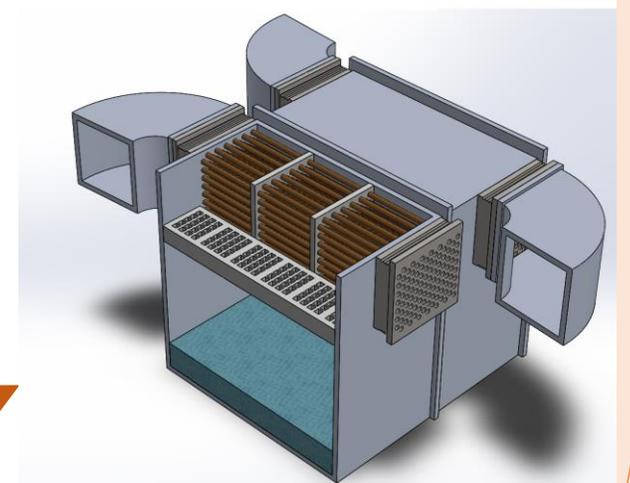
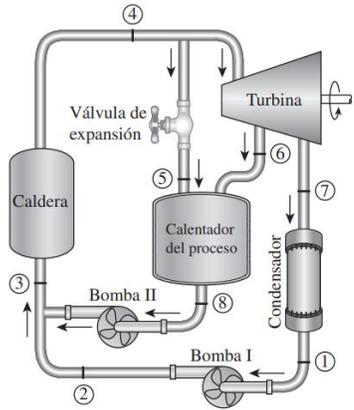


# PROBLEMA

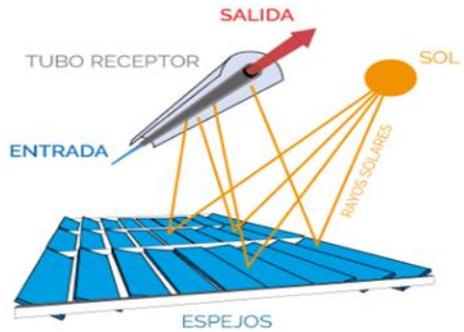
Según la ONU, la escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial y para el 2025 la mitad de la población vivirá en zonas con escasez de agua. En Colombia el 7,7% de la población urbana y el 25% de la población rural, no cuentan con acceso a agua potable según el DANE.

En la guajira solo el 7,2% de la población tiene acceso a servicio de acueducto según el DANE, pero esto no garantiza que tengan agua potable y el 55% de la población obtiene agua de Jagüeyes.





# JUSTIFICACIÓN





# OBJETIVOS

Dimensionar y simular un sistema solar térmico con tecnología Fresnel para la desalinización de agua de mar basado en la Evaporación Instantánea de Múltiple Efecto (EIME) sujeto a las condiciones climáticas de La Guajira.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

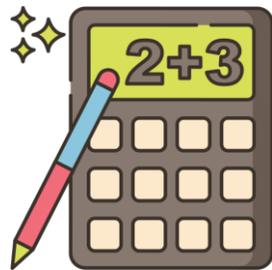
- 💧 Modelar el sistema solar térmico implementando tecnología Fresnel para acoplarlo al sistema desalinizador.
- 💧 Modelar el sistema desalinizador para la producción de agua potable.
- 💧 Simular el sistema solar térmico acoplado al sistema desalinizador para determinar las variables críticas del sistema.
- 💧 Validar los modelos matemáticos con la literatura para determinar la confiabilidad del modelo.
- 💧 Analizar la viabilidad técnica de implementar un sistema térmico solar para la desalinización de agua de mar.



# METODOLOGÍA



**FASE UNO:  
CARACTERIZACIÓN DE  
LAS TECNOLOGÍAS**



**FASE DOS:  
CÁLCULOS  
TERMODINÁMICOS  
Y ÓPTICOS**



**FASE TRES:  
VALIDACIÓN  
Y  
SIMULACIÓN**

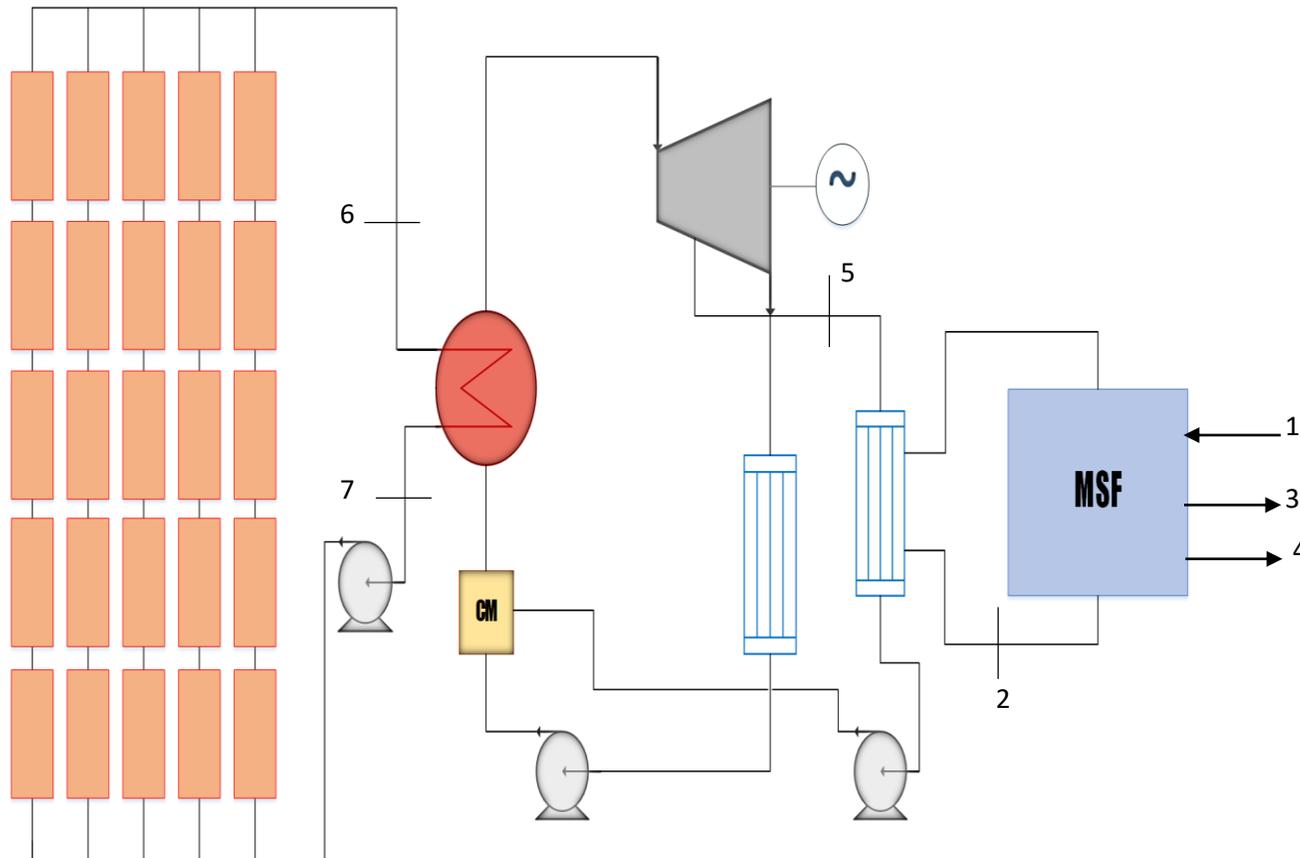


**FASE CUATRO:  
DETERMINACIÓN  
DE LA VIABILIDAD  
TÉCNICA DEL  
SISTEMA**



# DESARROLLO

La población objetivo es 197.341 personas, y según *Shaffer & Thomson (1992)* el consumo metabólico es de 6,5 L/día, por lo tanto el agua a desalinizar es de  $1.285,2 \text{ m}^3 / \text{día}$ .



Núm.	Parámetro de diseño	Valor
1	Temperatura Agua de mar de alimentación [°C]	26
2	Temperatura máx. salmuera [°C]	105
3	Agua destilado [kg/s]	51
4	Salinidad en la salmuera de rechazo [ppm]	55000
5	Temperatura de extracción [°C]	115
6-7	Delta Temperatura campo solar [°C]	145



# DESARROLLO

## MODELO MATEMÁTICO DE LA MSF

### CONSIDERACIONES:

- ♦ El destilado es libre de sal.
- ♦ Se considera constante el valor del calor específico a presión constante para las corrientes del sistema y es igual a  $4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ .
- ♦ El coeficiente global de transferencia de calor en el calentador de salmuera y precalentadores es constante e igual a  $2 \text{ kW/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- ♦ Las pérdidas de calor no se consideran, se analiza el proceso como adiabático.

$$T_o, T_f, T_n, n_{eta}$$
$$\dot{m}_d, S_f, S_b$$



MODELO MATEMÁTICO  
DE LA MSF

- ✓ Flujo másico extracción en la turbina
- ✓ Potencia de la bomba de captación de agua de mar
- ✓ Rendimiento de la planta MSF

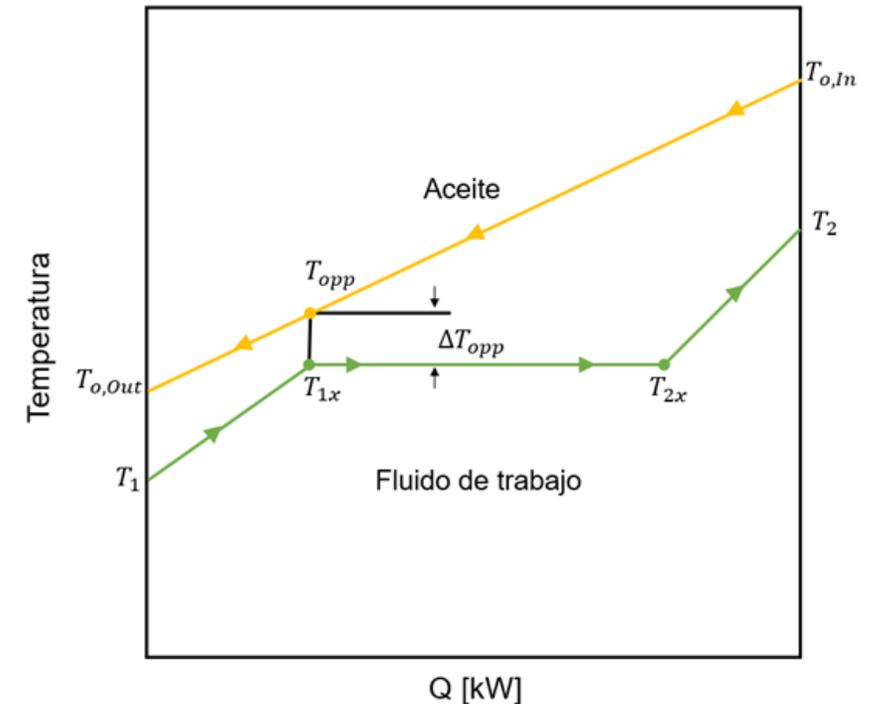


# DESARROLLO

## MODELO MATEMÁTICO DEL CICLO RANKINE

### CONSIDERACIONES:

- ◆ Se analiza el ciclo de potencia en estado estable.
- ◆ Todos los equipos donde ocurren procesos térmicos se suponen como adiabáticos.
- ◆ Se desprecian las pérdidas en las tuberías conductoras del fluido de trabajo.
- ◆ Se supone una eficiencia isoentrópica en la turbina y bombas del sistema en 80% y 85% respectivamente.
- ◆ Se asume una eficiencia del generador eléctrico de 93%.



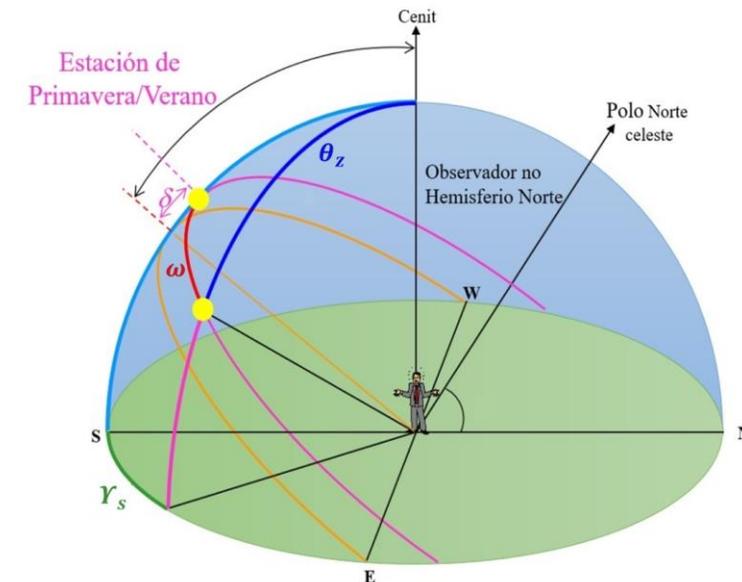


# DESARROLLO

## MODELO MATEMÁTICO DEL CAMPO SOLAR

### CONSIDERACIONES:

- ◆ Se analiza el sistema en estado estable.
- ◆ El ancho de los espejos es 0,6 m, la altura del receptor es de 5 m y cada arreglo tiene 20 espejos.
- ◆ El tubo receptor es el SCHOTT PTR70.
- ◆ El delta de temperatura entre la entrada y salida del receptor es el mismo en todos los arreglos.
- ◆ El fluido caloportador es el Therminol VP1.
- ◆ El flujo másico que va por los tubos de 4 kg/s.



- $\delta$  Declinación
- $\theta_z$  Ángulo cenital
- $\gamma_s$  Ángulo azimut solar
- $\omega$  Hora solar



# DESARROLLO

## MODELO MATEMÁTICO DEL CAMPO SOLAR

Coordenadas  
geográficas y  
parámetros de diseño



MODELO ÓPTICO  
GEOMÉTRICO DEL  
CAMPO SOLAR FRESNEL

- ✓ Posición de los espejos
- ✓ Factor de sombra
- ✓ Eficiencia óptica del sistema



# DESARROLLO

## CÁLCULO DEL COSTO TOTAL DEL AGUA DESTILADA

PARÁMETRO	REFERENCIA	VALOR
Interés	<i>Alsehli (2017)</i>	3-5%
Vida útil del sistema	<i>Alsehli (2017)</i>	30 Años
Capacidad de la planta		1285,2 m <sup>3</sup> /día
Costo eléctrico	<i>Alsehli (2017)</i>	0.05 \$/kWh
Costo químico	<i>Alsehli (2017)</i>	0.025 \$/kWh
Consumo específico de energía	<i>Alsehli (2017)</i>	5 kWh/m <sup>3</sup>

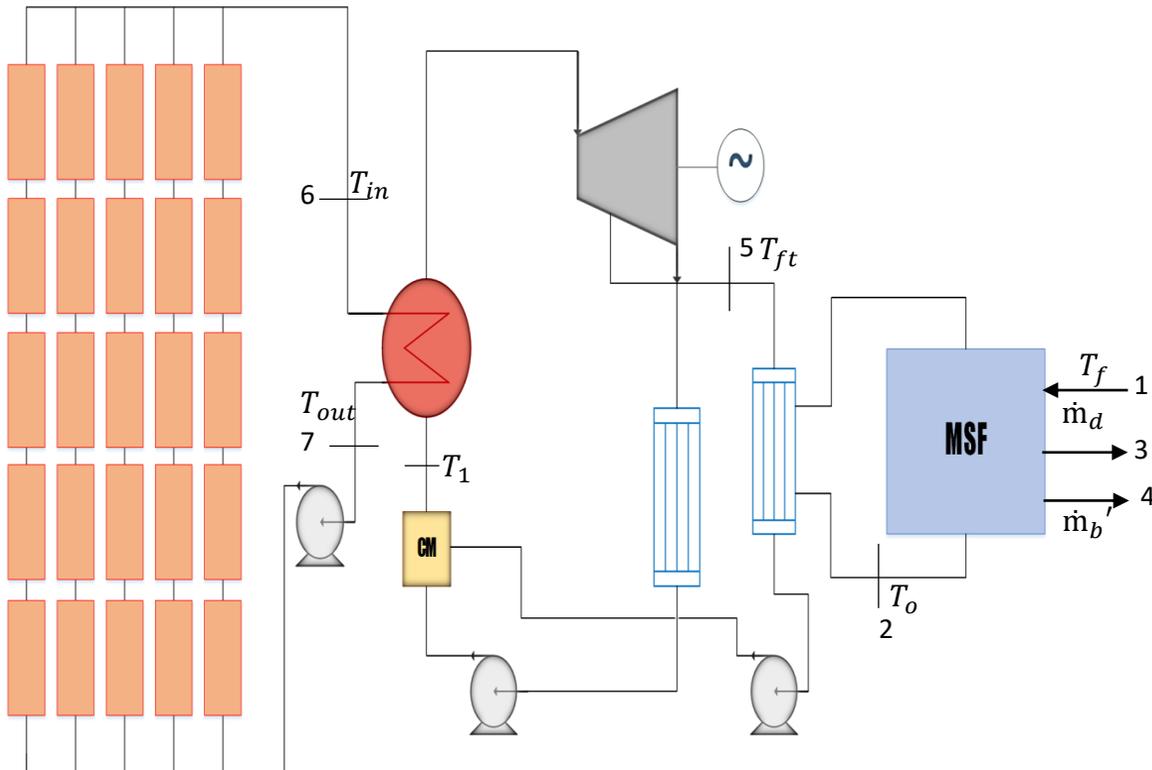


# RESULTADOS





# Simulación del sistema para el caso base variando $S_f$



CASO BASE $S_f = 36000 \text{ ppm}$			
MSF		Rankine	Fresnel
PR	TWP	$\eta_{\text{Térmica}}$	$A_{\text{Campo}}$
13,087	2,134	78,2%	56810,01

CASO 1 $S_f = 34000 \text{ ppm}$			
MSF		Rankine	Fresnel
PR	TWP	$\eta_{\text{Térmica}}$	$A_{\text{Campo}}$
14,464	2,142	72,1%	57355,12

CASO 2 $S_f = 35500 \text{ ppm}$			
MSF		Rankine	Fresnel
PR	TWP	$\eta_{\text{Térmica}}$	$A_{\text{Campo}}$
13,434	2,136	76,5%	56959,72

CASO 3 $S_f = 37000 \text{ ppm}$			
MSF		Rankine	Fresnel
PR	TWP	$\eta_{\text{Térmica}}$	$A_{\text{Campo}}$
12,400	2,136	81,8%	56496,50

PR	
1	↑ 10,5%
2	↑ 2,7%
3	↓ 5,2%

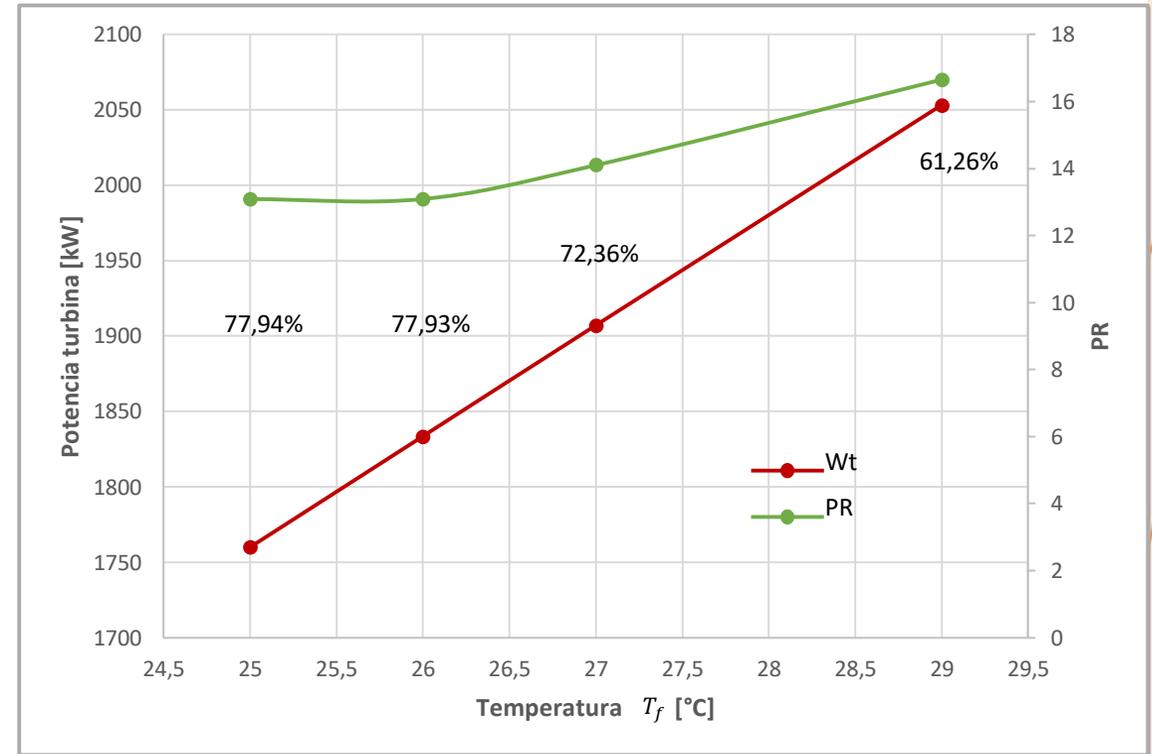
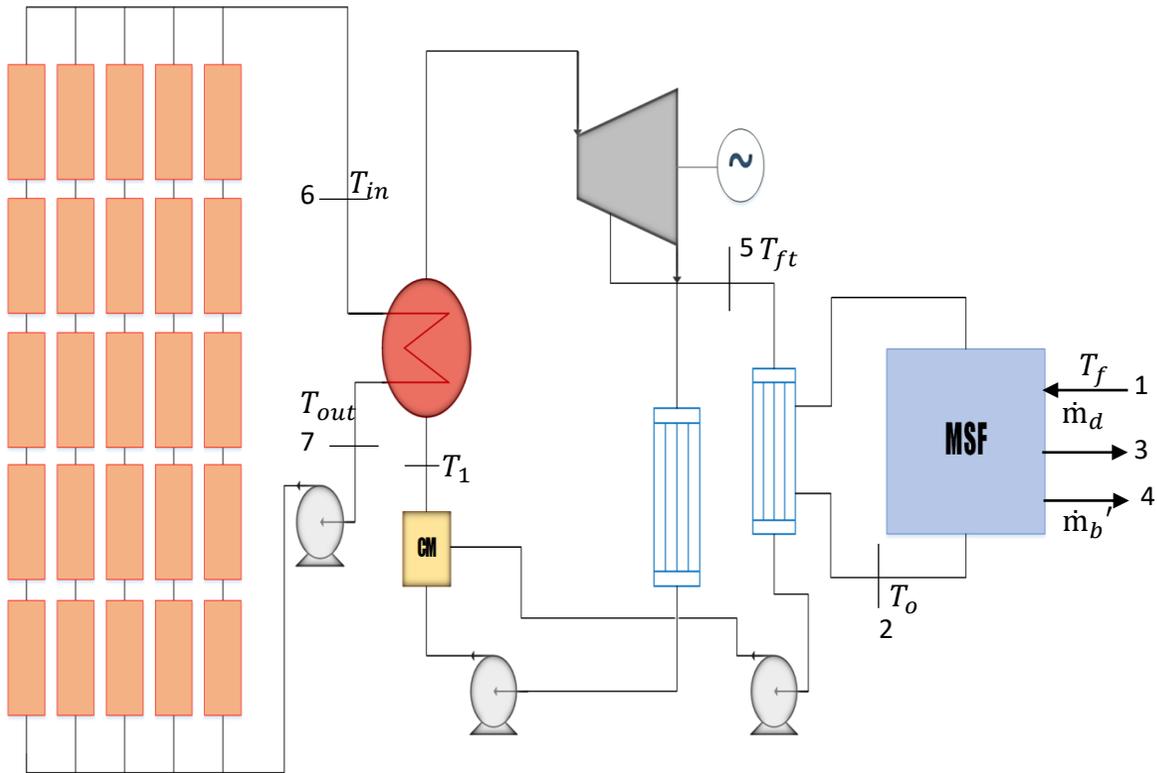
TWP	
1	↑ 0,4%
2	↑ 0,1%
3	↑ 0,1%

$\eta_{\text{Térmica}}$	
1	↓ 7,8%
2	↓ 2,2%
3	↑ 4,6%

Area	
1	↑ 1,0%
2	↑ 0,3%
3	↓ 0,6%



# Simulación del sistema variando la temperatura $T_f$



$$\eta_{T\acute{e}rmica} = \frac{W_{neta} + Q_{proc}}{Q_{in}}$$

$$\eta_{El\acute{e}ctrica} = \frac{W_{neta}}{Q_{in}}$$





# CONCLUSIONES

- El modelo matemático del campo solar Fresnel tuvo los siguientes valores de desviación para los parámetros de operación, eficiencia óptica de 2,76%, potencia térmica es de 1,56% y el área campo solar es de 1,29%.
- En la simulación donde varia  $T_f$ , el rendimiento de la planta MSF ( $PR$ ) incrementa en más de un 30%, si la temperatura superficial del agua del mar aumenta en 29 °C.
- Se optó por incluir un ciclo Rankine con cogeneración para aprovechar del área del campo solar, ya que el calor requerido por la MSF podía ser el calor de rechazo del ciclo Rankine.



# CONCLUSIONES

- En las simulaciones se identificaron como variables críticas del sistema global los parámetros  $T_o$ ,  $T_f$ ,  $S_f$ , porque al variar estos parámetros se tienen cambios significantes en el rendimiento de la planta.
- El costo del agua destilada  $TWP$  es 21,26% menor al costo de obtención del agua de forma convencional, en este caso carrotanque.



# RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer un análisis exergo económico con el fin de determinar de esta forma un costo de agua destilada (TWP) más confiable o cercano a la realidad.
- Para futuros trabajos se recomienda cambiar el fluido de transferencia de calor en el campo solar Fresnel, para caracterizar el comportamiento de la tecnología de desalinización.
- De igual forma sería interesante realizar un análisis de ciclo de vida a la salmuera de rechazo, ya que normalmente en la industria esta se devuelve al mar y no se conocen las implicaciones ambientales (en La Guajira) que esto causa en la fauna marina.
- Se recomienda hacer un perfil de temperatura en el tubo receptor con la técnica de elementos finitos, para determinar la diferencia de temperatura entre receptores.



**GRACIAS**





# Simulación del sistema para el caso base variando $T_f$

CASO 1								
MSF								
$T_f$	PR	$S_A$	$W_{B,MSF}$	$\dot{m}_r$	$\dot{m}_f$	$\dot{m}_b$	$\dot{m}_b'$	TWP
25	13,087	715,049	68,273	461,704	147,632	314,072	96,632	2,134
Rankine								
$T_f$	$Q_{in}$	$W_{Tur}$	$W_{B1}$	$W_{B2}$	$W_{neta}$	$\eta_{Eléctrica}$	$\eta_{Térmica}$	
25	13293,748	1764,400	0,814	3,735	1759,851	0,132	0,829	
Fresnel								
$T_f$	$\eta_{Op}$	$\eta_{TerF}$	$A_{Campo}$	$R_{Campo}$	NumArreglos	L	$W_{B,Fresnel}$	$\dot{m}_{Oil}$
25	0,653	0,370	56065,786	5,191	10,501	444,912	36,431	40,975
CASO 2								
MSF								
$T_f$	PR	$S_A$	$W_{B,MSF}$	$\dot{m}_r$	$\dot{m}_f$	$\dot{m}_b$	$\dot{m}_b'$	TWP
27	14,097	936,204	68,215	461,704	147,632	314,072	96,632	2,140
Rankine								
$T_f$	$Q_{in}$	$W_{Tur}$	$W_{B1}$	$W_{B2}$	$W_{neta}$	$\eta_{Eléctrica}$	$\eta_{Térmica}$	
27	13486,293	1911,600	1,366	3,236	1906,999	0,141	0,736	
Fresnel								
$T_f$	$\eta_{Op}$	$\eta_{TerF}$	$A_{Campo}$	$R_{Campo}$	NumArreglos	L	$W_{B,Fresnel}$	$\dot{m}_{Oil}$
27	0,653	0,370	56065,786	5,191	10,501	444,912	36,431	40,975
CASO 3								
MSF								
$T_f$	PR	$S_A$	$W_{B,MSF}$	$\dot{m}_r$	$\dot{m}_f$	$\dot{m}_b$	$\dot{m}_b'$	TWP
29	16,650	1782,156	68,100	461,704	147,632	314,072	96,632	2,151
Rankine								
$T_f$	$Q_{in}$	$W_{Tur}$	$W_{B1}$	$W_{B2}$	$W_{neta}$	$\eta_{Eléctrica}$	$\eta_{Térmica}$	
29	13677,520	2057,700	1,914	2,739	2053,047	0,150	0,646	
Fresnel								
$T_f$	$\eta_{Op}$	$\eta_{TerF}$	$A_{Campo}$	$R_{Campo}$	NumArreglos	L	$W_{B,Fresnel}$	$\dot{m}_{Oil}$
29	0,653	0,370	57784,989	5,350	10,823	444,912	37,483	41,046



# Simulación del sistema para el caso base variando $T_o$

Caso 1								
MSF								
$T_o$	PR	$S_A$	$W_{B,MSF}$	$\dot{m}_r$	$\dot{m}_f$	$\dot{m}_b$	$\dot{m}_b'$	TWP
100	13,167	851,172	63,805	499,325	147,632	351,693	96,632	2,149
Rankine								
$T_o$	$Q_{in}$	$W_{Tur}$	$W_{B1}$	$W_{B2}$	$W_{neta}$	$\eta_{Eléctrica}$	$\eta_{Térmica}$	
100	13645,000	1981,400	1,113	3,548	1976,739	1838,367	0,7778	
Fresnel								
$T_o$	$\eta_{Op}$	$\eta_{TerF}$	$A_{Campo}$	$R_{Campo}$	NumArreglos	L	$W_{B,Fresnel}$	$\dot{m}_{oil}$
100	0,653	0,370	57894,000	5,361	10,844	444,912	37,393	41,557

Caso 2								
MSF								
$T_o$	PR	$S_A$	$W_{B,MSF}$	$\dot{m}_r$	$\dot{m}_f$	$\dot{m}_b$	$\dot{m}_b'$	TWP
110	13,011	621,337	72,631	429,458	147,632	281,826	96,632	2,119
Rankine								
$T_o$	$Q_{in}$	$W_{Tur}$	$W_{B1}$	$W_{B2}$	$W_{neta}$	$\eta_{Eléctrica}$	$\eta_{Térmica}$	
110	13143,000	1701,000	1,068	3,404	1696,529	1577,772	0,7858	
Fresnel								
$T_o$	$\eta_{Op}$	$\eta_{TerF}$	$A_{Campo}$	$R_{Campo}$	NumArreglos	L	$W_{B,Fresnel}$	$\dot{m}_{oil}$
110	0,653	0,370	55764,000	5,163	10,445	444,912	36,018	40,424

Caso 3								
MSF								
$T_o$	PR	$S_A$	$W_{B,MSF}$	$\dot{m}_r$	$\dot{m}_f$	$\dot{m}_b$	$\dot{m}_b'$	TWP
115	12,925	552,690	76,882	401,513	147,632	253,881	96,632	2,105
Rankine								
$T_o$	$Q_{in}$	$W_{Tur}$	$W_{B1}$	$W_{B2}$	$W_{neta}$	$\eta_{Eléctrica}$	$\eta_{Térmica}$	
115	12902,000	1568,300	1,041	3,305	1563,953	1454,477	0,7904	
Fresnel								
$T_o$	$\eta_{Op}$	$\eta_{TerF}$	$A_{Campo}$	$R_{Campo}$	NumArreglos	L	$W_{B,Fresnel}$	$\dot{m}_{oil}$
115	0,653	0,370	54742,000	5,069	10,253	444,912	35,357	39,903



# Simulación del sistema para el caso base variando $S_f$

Caso 1								
MSF								
$S_f$	PR	$S_A$	$W_{B,MSF}$	$\dot{m}_r$	$\dot{m}_f$	$\dot{m}_b$	$\dot{m}_b'$	TWP
34	14,464	1060,336	61,655	461,704	133,571	328,132	82,571	2,142
Rankine								
$S_f$	$Q_{in}$	$W_{Tur}$	$W_{B1}$	$W_{B2}$	$W_{neta}$	$\eta_{Eléctrica}$	$\eta_{Térmica}$	
34	13517,957	1935,800	1,456	3,153	1931,190	1796,007	0,7209	
Fresnel								
$S_f$	$\eta_{Op}$	$\eta_{TerF}$	$A_{Campo}$	$R_{Campo}$	NumArreglos	L	$W_{B,Fresnel}$	$\dot{m}_{Oil}$
34	0,653	0,370	57355,122	5,311	10,743	444,912	37,045	40,975

Caso 2								
MSF								
$S_f$	PR	$S_A$	$W_{B,MSF}$	$\dot{m}_r$	$\dot{m}_f$	$\dot{m}_b$	$\dot{m}_b'$	TWP
36	13,434	778,155	66,490	461,704	143,846	317,857	92,846	2,136
Rankine								
$S_f$	$Q_{in}$	$W_{Tur}$	$W_{B1}$	$W_{B2}$	$W_{neta}$	$\eta_{Eléctrica}$	$\eta_{Térmica}$	
36	13424,765	1864,500	1,189	3,395	1859,916	1729,722	0,7652	
Fresnel								
$S_f$	$\eta_{Op}$	$\eta_{TerF}$	$A_{Campo}$	$R_{Campo}$	NumArreglos	L	$W_{B,Fresnel}$	$\dot{m}_{Oil}$
36	0,653	0,370	56959,719	5,274	10,669	444,912	36,790	40,951

Caso 3								
MSF								
$S_f$	PR	$S_A$	$W_{B,MSF}$	$\dot{m}_r$	$\dot{m}_f$	$\dot{m}_b$	$\dot{m}_b'$	TWP
37	12,400	612,627	72,141	461,704	155,833	305,870	104,833	2,136
Rankine								
$S_f$	$Q_{in}$	$W_{Tur}$	$W_{B1}$	$W_{B2}$	$W_{neta}$	$\eta_{Eléctrica}$	$\eta_{Térmica}$	
37	13315,590	1781,100	0,877	3,678	1776,545	1652,187	0,8179	
Fresnel								
$S_f$	$\eta_{Op}$	$\eta_{TerF}$	$A_{Campo}$	$R_{Campo}$	NumArreglos	L	$W_{B,Fresnel}$	$\dot{m}_{Oil}$
37	0,653	0,370	56496,501	5,231	10,641	444,912	36,491	40,927

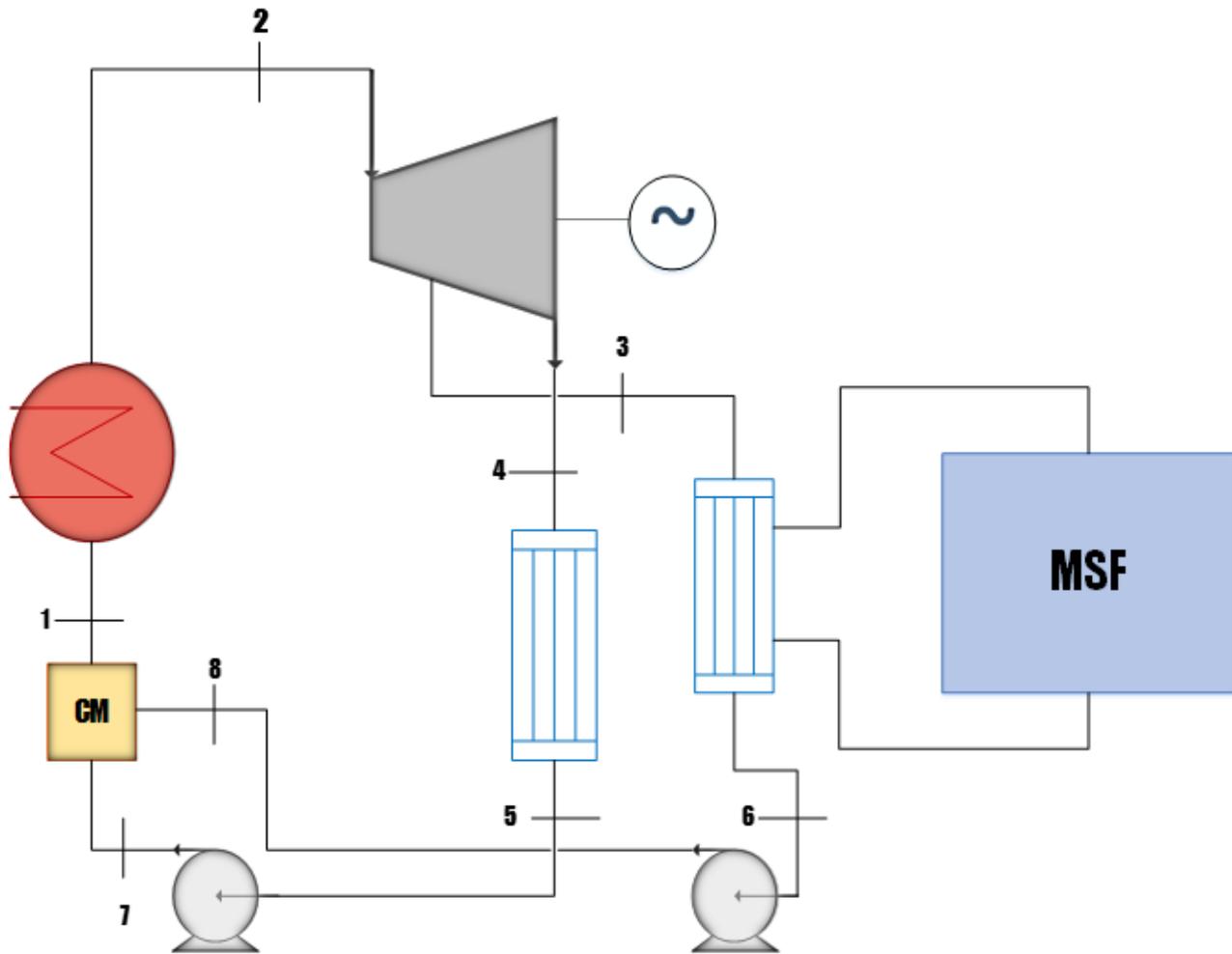


# Simulación del sistema para el caso base variando $H$

Caso 1								
MSF								
$H$	$PR$	$S_A$	$W_{B,MSF}$	$\dot{m}_r$	$\dot{m}_f$	$\dot{m}_b$	$\dot{m}_b'$	$TWP$
9	13,087	715,049	68,273	461,704	147,632	314,072	96,632	2,809
Rankine								
$H$	$Q_{in}$	$W_{Tur}$	$W_{B1}$	$W_{B2}$	$W_{neta}$	$\eta_{Eléctrica}$	$\eta_{Térmica}$	
9	13390,000	1838,000	1,090	3,485	1833,425	0,137	0,782	
Fresnel								
$H$	$\eta_{Op}$	$\eta_{TerF}$	$A_{Campo}$	$R_{Campo}$	$Num_{Arreglos}$	$L$	$W_{B,Fresnel}$	$\dot{m}_{Oil}$
9	0,491	0,277	74775,858	6,924	10,641	585,588	47,950	40,951

Caso 2								
MSF								
$H$	$PR$	$S_A$	$W_{B,MSF}$	$\dot{m}_r$	$\dot{m}_f$	$\dot{m}_b$	$\dot{m}_b'$	$TWP$
11	13,087	715,049	68,273	461,704	147,632	314,072	96,632	2,168
Rankine								
$H$	$Q_{in}$	$W_{Tur}$	$W_{B1}$	$W_{B2}$	$W_{neta}$	$\eta_{Eléctrica}$	$\eta_{Térmica}$	
11	13390,000	1838,000	1,090	3,485	1833,425	0,137	0,782	
Fresnel								
$H$	$\eta_{Op}$	$\eta_{TerF}$	$A_{Campo}$	$R_{Campo}$	$Num_{Arreglos}$	$L$	$W_{B,Fresnel}$	$\dot{m}_{Oil}$
11	0,642	0,364	57724,747	5,345	10,641	452,057	37,016	40,951

Caso 3								
MSF								
$H$	$PR$	$S_A$	$W_{B,MSF}$	$\dot{m}_r$	$\dot{m}_f$	$\dot{m}_b$	$\dot{m}_b'$	$TWP$
15	13,087	715,049	68,273	461,704	147,632	314,072	96,632	2,509
Rankine								
$H$	$Q_{in}$	$W_{Tur}$	$W_{B1}$	$W_{B2}$	$W_{neta}$	$\eta_{Eléctrica}$	$\eta_{Térmica}$	
15	13390,000	1838,000	1,090	3,485	1833,425	0,137	0,782	
Fresnel								
$H$	$\eta_{Op}$	$\eta_{TerF}$	$A_{Campo}$	$R_{Campo}$	$Num_{Arreglos}$	$L$	$W_{B,Fresnel}$	$\dot{m}_{Oil}$
15	0,552	0,312	66804,076	6,186	10,641	523,159	42,838	40,951

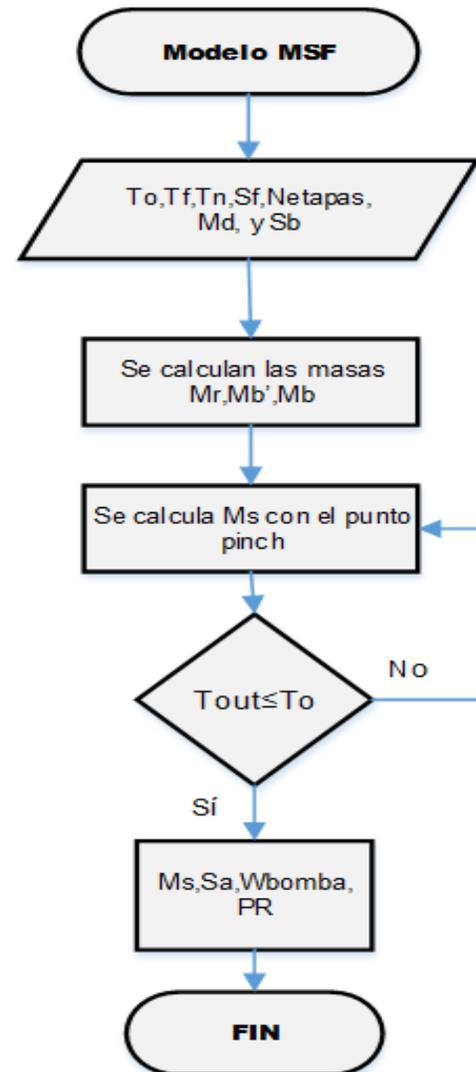


etha_B	0.8500
Etha_ciclo	0.7564
etha_T	0.8000
h1	407.4075
h2	3.0854e+03
h3	2.6986e+03
h4	2.3692e+03
h4s	2.1901e+03
h5	137.7651
h6	482.5528
h7	138.6049
h7s	138.7531
h8	483.3130
h8s	483.4471
m1	5
m2	5
m3	3.8970
m4	1.1030
m5	1.1030
m6	3.8970
m7	1.1030
m8	3.8970
P1	10
P2	10
P3	1.6918
P4	0.0500
P5	0.0500
P6	1.6918
P7	10
P8	10
Q_in	1.3390e+04
Q_proc	8.6359e+03
s1	1.2730
s2	7.1827
s3	7.1827
s4s	7.1827
s5	0.4763
s6	1.4735
s7s	0.4763
s8s	1.4735
T1	97.0643
T2	315.7830
T3	115
T4	32.8755
T5	32.8755
T6	115
T7	32.8966
T8	115.0708
W_B1	1.0898
W_B2	3.4852
W_net	1.4921e+03
W tur	1.4966e+03

Desarrollo

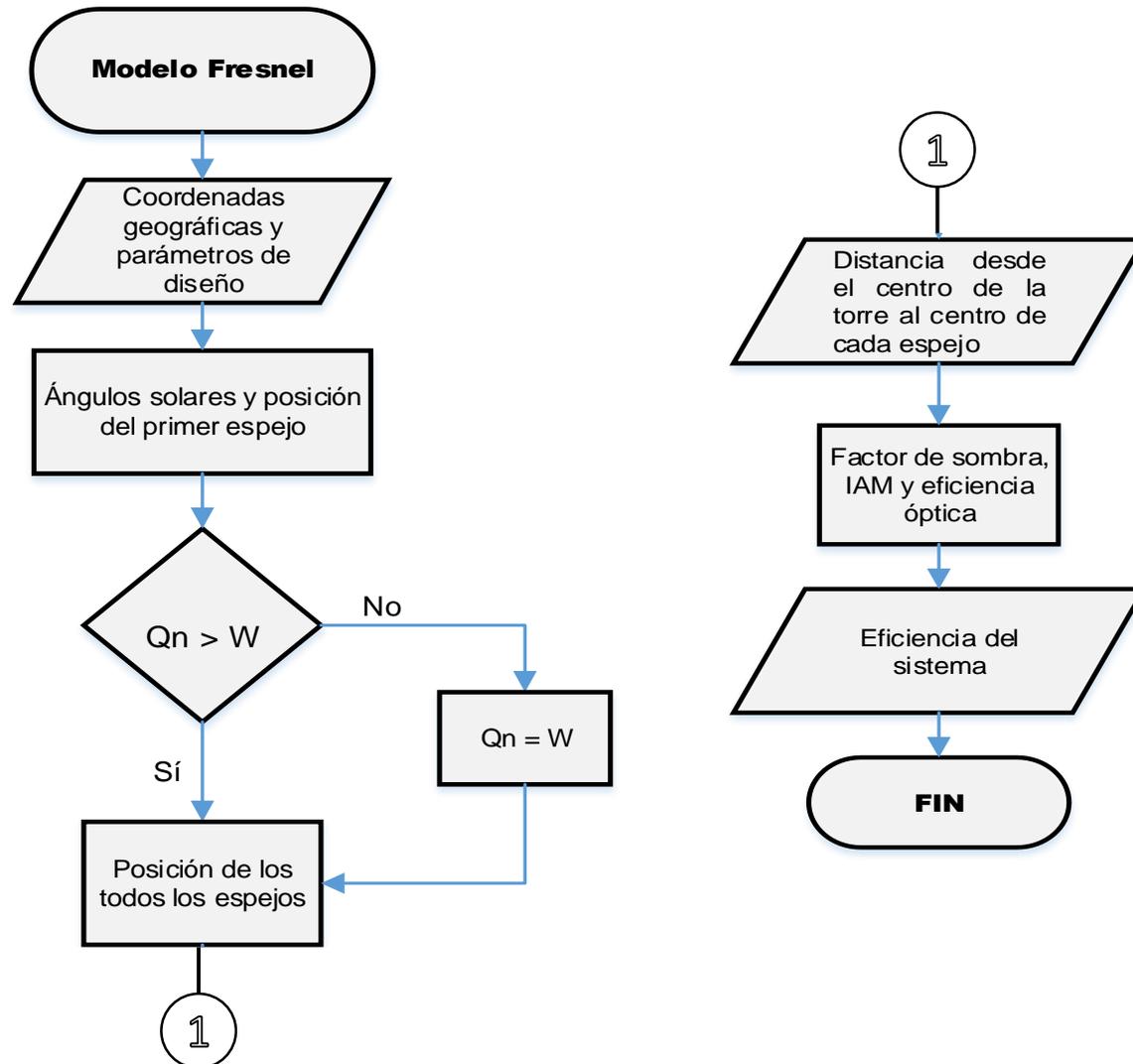


# MODELO MATEMÁTICO DE LA MSF





# MODELO ÓPTICO GEOMÉTRICO DEL CAMPO SOLAR





# MODELO TÉRMICO DEL CAMPO SOLAR

