

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Evaluación de la incidencia del tipo de seguidor solar sobre la factibilidad de sistemas fotovoltaicos en Colombia empleando RETScreen

**Jhonny Lopez Hortúa
Matthew Stanford Gaona**

**Universidad ECCI
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Mecánica
Bogotá D.C.
2015**

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Evaluación de la incidencia del tipo de seguidor solar sobre la factibilidad de sistemas fotovoltaicos en Colombia empleando RETScreen

**Jhonny Lopez Hortúa
Matthew Stanford Gaona**

Anteproyecto de Investigación

**Dr.-Ing. Carlos Andrés Forero Núñez
Doctor en Ingeniería**

**Universidad ECCI
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Mecánica
Bogotá D.C.
2015**

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

TABLA DE CONTENIDO

1. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	6
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	6
3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
4. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
4.1. MARCO TEÓRICO.....	8
4.2. MARCO CONCEPTUAL.....	10
5. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	20
6. DISEÑO METODOLÓGICO.....	20
7. RECURSOS.....	22
8. CRONOGRAMA.....	22
9. VARIABLES FIJAS DEL PROYECTO.....	24
10. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	29
11. CONCLUSIONES.....	41
BIBLIOGRAFÍA.....	43

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. FlowChart calculo de energía para sistemas Fotovoltaicos On-Grid [2]....	13
Ilustración 2. Ángulos del sol [5].....	16
Ilustración 3. FlowChart de modelado del sistema Fotovoltaico [2].....	16
Ilustración 4. FlowChart energía entregada [2].....	18
Ilustración 5. Diagrama de flujo metodología.....	20
Ilustración 6. Diagrama de Gantt Del proyecto.....	24

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Variables a conocer [2].....	12
Tabla 2. Valores dependiendo la tecnología de la celda [2]......	17
Tabla 3. Recursos humanos.....	22
Tabla 4. Equipo requerido.....	22
Tabla 5. Actividades y Cronograma.....	23
Tabla 6. Datos iniciales para el estudio de factibilidad.....	25
Tabla 7. Listado de mejores paneles fotovoltaicos en el mercado [8]......	27

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Tabla 8. Consumo escuela rural argentina [2].....	28
Tabla 9. Consumo escuelas rurales [13].	29
Tabla 10. Radiación diaria horizontal-kwh/m2/d [2].....	30
Tabla 11. Comparación método de rastreo en análisis de factibilidad en Cartagena.	31
Tabla 12. Comparación método de rastreo en análisis de factibilidad en Barrancabermeja.	32
Tabla 13. Comparación método de rastreo en análisis de factibilidad en Neiva.	34
Tabla 14. Comparación método de rastreo en análisis de factibilidad en Leticia.	35
Tabla 15. Comparación método de rastreo en análisis de factibilidad en Medellín.	37
Tabla 16. Comparación de factibilidad entre ciudades.	39

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Eficiencia de las diferentes tecnologías de Celdas Solares [7].....	27
Grafica 2. Comparación radiación promedio anual.	30
Grafica 3. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Cartagena Fijo (RETScreen).	31
Grafica 4. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Cartagena Uniaxial (RETScreen).	31
Grafica 5. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Cartagena Biaxial (RETScreen).....	32
Grafica 6. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Cartagena Azimut (RETScreen).	32
Grafica 7. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Barrancabermeja Fijo (RETScreen)...	32
Grafica 8. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Barrancabermeja Uniaxial (RETScreen).	33
Grafica 9. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Barrancabermeja Biaxial (RETScreen).	33
Grafica 10. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Barrancabermeja Azimut (RETScreen).	33
Grafica 11. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Neiva Fijo (RETScreen).	34
Grafica 12. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Neiva Uniaxial (RETScreen).	34
Grafica 13. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Neiva Biaxial (RETScreen).	34
Grafica 14. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Neiva Azimut (RETScreen).....	35
Grafica 15. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Leticia Fijo (RETScreen).....	35
Grafica 16. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Leticia Uniaxial (RETScreen).	36
Grafica 17. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Leticia Biaxial (RETScreen).	36
Grafica 18. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Leticia Azimut (RETScreen).	36
Grafica 19. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Medellín Fijo (RETScreen).	37
Grafica 20. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Medellín Uniaxial (RETScreen).....	37
Grafica 21. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Medellín Biaxial (RETScreen).....	38
Grafica 22. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Medellín Azimut (RETScreen).	38
Grafica 23. Comparación de factor de utilización del panel en las diferentes ciudades.	39
Grafica 24. Comparación de pago simple de retorno del capital en las diferentes ciudades.	39
Grafica 25. Comparación de repago-capital en las diferentes ciudades.	40

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Grafica 26. Comparación de Tasa Interna de Retorno en las diferentes ciudades.40

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

1. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN

“Evaluación de la incidencia del tipo de seguidor solar sobre la factibilidad de sistemas fotovoltaicos en Colombia empleando RETScreen”

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El constante aumento en la demanda de energía a nivel mundial, el incremento en la población mundial y los efectos ambientales causados por el uso de combustibles fósiles como principales fuentes de generación de energía, han generado la necesidad de implementar tecnologías alternativas capaces de complementar la demanda disminuyendo los impactos causados en el proceso de generación de potencia. A nivel mundial son múltiples las tecnologías impulsadas para este fin; aquellas relacionadas con el aprovechamiento de la radiación solar se han convertido en sistemas ampliamente empleados en diferentes partes del mundo. Causas de este fenómeno son los constantes cambios en las políticas energéticas que promueven el uso de fuentes limpias y renovables, la disminución de los costos de manufactura de los paneles fotovoltaicos, y la oportunidad de suministrar parte de la energía eléctrica generada a la red.

En Colombia, esta tecnología no ha tenido el mismo auge que en otros países principalmente debido a la falta de políticas energéticas flexibles para las fuentes renovables y el desconocimiento del comportamiento de los equipos en diversas zonas del país. La viabilidad de todo proyecto energético de generación se puede evaluar teniendo en cuenta parámetros financieros como la tasa interna de retorno (TIR), el tiempo de repago, o el valor presente neto. Estos parámetros son determinados mediante una serie de metodologías que tienen en cuenta el costo de inversión inicial,

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

los costos y los ingresos anuales del proyecto. Estos ingresos son calculados a partir de la cantidad de energía suministrada por el proyecto en el tiempo de vida del mismo [kWh] y el valor de la tasa de exportación de energía a la red [\$/kWh]. Para determinar la cantidad de energía es necesario tener en cuenta aspectos técnicos de la instalación como el tipo de seguidor solar empleado para aumentar el factor de capacidad del sistema. De acuerdo al conocimiento de los autores, en la actualidad no se ha establecido la incidencia del tipo de seguidor sobre la factibilidad de sistemas energéticos a partir de paneles fotovoltaicos instalados en diversas regiones de Colombia.

3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar la incidencia que tiene el tipo de seguidor solar sobre la factibilidad de proyectos de generación de potencia a partir de sistemas fotovoltaicos instalados en diversas zonas de Colombia empleando RETScreen

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer el efecto que tiene el tipo de seguidor solar en la generación de energía eléctrica de sistemas fotovoltaicos (mono, poli-Si) para un lugar establecido.
- Analizar el impacto que tiene la radiación recibida en diversas regiones de Colombia sobre la eficiencia energética de sistemas fotovoltaicos.

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

- Evaluar el comportamiento de parámetros financieros de evaluación de proyectos empleando RETScreen para proyectos energéticos a partir de paneles fotovoltaicos

4. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. MARCO TEÓRICO

TIPO DE SEGUIDORES FOTOVOLTAICOS SEGÚN SU MOVIMIENTO:

Un rastreador o seguidor es un dispositivo de soporte del colector solar que mueve el colector de una manera prescrita para minimizar el ángulo de incidencia del haz de radiación en la superficie del colector. De ahí que la radiación (es decir, la energía solar recogida) haz incidente se maximiza. Los seguidores solares se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **FIJO:** Si el colector solar está montado sobre una estructura fija (tejado, poste, pared o suelo). Es importante evitar la fijación del panel sobre (o cerca) de una superficie metálica negra expuesta de lleno a la luz solar. Se logra normalmente una temperatura de funcionamiento no superior a los 10°C por encima de la temperatura ambiental. La temperatura de funcionamiento es un factor a tener en cuenta al instalar un panel solar [1, 2, 3].
- **SEGUIDOR DE UN SOLO EJE (UNIAXIAL):** La rotación de la superficie de captación se hace sobre un solo eje, este puede ser horizontal, vertical u oblicuo. Este tipo de seguimiento representa un mínimo grado de complejidad y su costo es menor en comparación con otros tipos de seguidores. La limitación de este tipo de seguidor consiste en que no puede realizar un seguimiento completo del

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

sol ya que solo puede seguir ya sea la azimut o la inclinación solar, pero no ambas.

El seguidor azimut, tienen una pendiente fija (ángulo de azimut) y giran alrededor de un eje vertical [1, 2, 3].

- **SEGUIDOR DE DOS EJES (BIAXIAL):** Este tipo de seguidor cuenta con dos grados de libertad y está en capacidad de realizar un seguimiento total del sol, tanto en inclinación como en azimut, aunque el rendimiento de la instalación puede ser superior en comparación con los de un solo eje, es importante mencionar que el de dos ejes resulta ser más costoso.
- **AZIMUT:** También es un seguidor de un solo eje, tiene una pendiente fija (ángulo de azimut) y gira alrededor de un eje vertical [1, 2, 3].

PARÁMETROS ECONÓMICOS DE RETORNO:

- **TIR:** Tasa Interna de Retorno ó Internal Rate of Return (IRR) es un porcentaje que permite paramétrica la viabilidad de un proyecto. Este porcentaje se basa en el flujo de caja que se estima para el tiempo total del proyecto. Para el cálculo de esta tasa se debe tener en cuenta la inversión inicial, los ingresos de cada año y los gastos previstos; teniendo en cuenta estos valores se obtendrá el porcentaje de beneficios que se obtendrá al finalizar la inversión [4].

“El modelo de RETScreen calcula la tasa interna de retorno (TIR) antes de impuestos de los recursos propios (%), lo que representa el verdadero rendimiento de intereses previstos por la equidad de proyecto durante su vida antes de impuesto sobre la renta. Se calcula utilizando los flujos de efectivo anuales antes de impuestos y de la vida del proyecto. También se conoce como la rentabilidad sobre recursos propios (ROE), retorno de la inversión (ROI) o la tasa de tiempo de rendimiento de ajuste. Se calcula mediante la búsqueda de la

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

tasa de descuento que hace que el valor presente neto de los fondos propios el ser igual a cero. Por lo tanto, no es necesario establecer la tasa de descuento de una organización para utilizar este indicador. Una organización interesada en un proyecto puede comparar la tasa interna de retorno a su tasa de rendimiento requerida (a menudo, el costo del capital).

Si la tasa interna de retorno es igual o mayor que la tasa de rendimiento requerida de la organización, entonces el proyecto se considera económicamente aceptable (suponiendo el mismo riesgo). Si es menor que la tasa de rendimiento requerida, el proyecto está típicamente rechazado. Una organización puede tener múltiples tasas de retorno requeridas que variará de acuerdo con la percepción del riesgo de los proyectos. La ventaja más obvia de utilizar la tasa interna de retorno de indicador para evaluar un proyecto es que el resultado no depende de una tasa de descuento que es específica de una organización determinada. En cambio, la TIR obtenida es específica para el proyecto y se aplica a todos los inversores en el proyecto.” Tomado de la herramienta AYUDA de el software RETScreen [2].

4.2. MARCO CONCEPTUAL

Variables a Conocer		
Variable	Descripción	
1	\hat{H}	Radiación solar promedio en superficie horizontal.
2	\hat{H}_d	Radiación difusa.
3	H_0	Radiación extraterrestre.
4	H	Radiación horizontal global.
5	H_d	Componente difusa.

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

6	H_b	Componente "Beam" Rayo.
7	H_t	Radiación inclinada.
8	K_T	índice de claridad
9	G_{SC}	Constante solar = $1,367 \text{ W/m}^2$
10	δ	Declinación, posición angular del sol al medio día solar.
11	n	Angulo de ponencia de sol, corresponde al ángulo Día del año
12	ω_s	Solar de la hora en que se pone u oculta el sol.
13	Ψ	Latitud del lugar.
14	r_t	Proporción en horas de la radiación solar diaria.
15	ω	Angulo del punto medio de la hora en que se realiza el cálculo.
16	r_d	Proporción en horas de la radiación difusa diaria.
17	η_{abs}	<i>Tasa de absorción energética fotovoltaica.</i>
18	ρ	<i>Reflectancia difusa en el suelo (Albedo en el suelo).</i>
19	β	<i>Pendiente del generador con respecto a la tierra.</i>
20	R_b	<i>Proporción de radiación de haz en el sistema FV horizontal.</i>
21	θ	<i>Angulo de incidencia del haz de sol en el sistema FV.</i>
22	θ_z	<i>Angulo Zenital del sol.</i>
23	η_p	<i>Eficiencia del sistema FV.</i>
24	T_C	<i>Temperatura promedio del modulo FV.</i>
25	η_r	<i>Eficiencia de referencia a temperatura 25°C.</i>
26	β_p	<i>Coefficiente de temperatura para eficiencia del modulo.</i>
27	T_C	<i>Formila de evans!!!!</i>
28	$NOCT$	<i>Temperatura nominal de funcionamiento de la celda (célula).</i>
29	s_M	<i>Inclinación ideal.</i>

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

30	C_f	<i>Factor de corrección para inclinación.</i>
31	E_p	<i>Energía entregada por sistema FV.</i>
32	S	<i>Área del sistema FV.</i>
33	E_A	<i>Energía disponible para carga de la batería.</i>
34	λ_p	<i>Perdidas misceláneas del sistema FV.</i>
35	λ_C :	<i>Otras pérdidas de acondicionamiento de poder.</i>
36	η_A	<i>Eficiencia después de pérdidas.</i>
37	E_{grid}	<i>Energía a la red.</i>
38	E_{alva}	<i>Energía final.</i>
39	η_{inv}	<i>Eficiencia del inversor.</i>
40	TIR_t	<i>Tasa interna de retorno en el periodo analizado.</i>
41	TIR_T	<i>Tasa interna de retorno total.</i>
42	t	<i>Periodo de tiempo del análisis (Un año).</i>
43	I	<i>Inversión Inicial total.</i>
44	F_t	<i>Flujo de Caja</i>
45	Ing_t	<i>Ingresos en el periodo.</i>
46	G_t	<i>Gastos en el periodo.</i>
47	Tif_t	<i>Tarifa de exportación del periodo (valor de venta).</i>

Tabla 1. Variables a conocer [2].

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

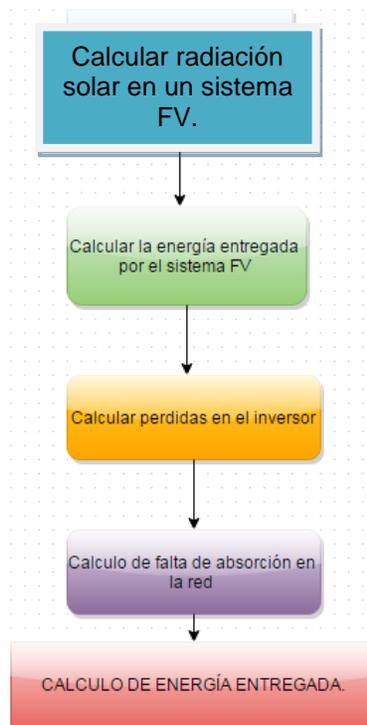


Ilustración 1. FlowChart calculo de energía para sistemas Fotovoltaicos On-Grid [2].

I. Calculo de radiación difusa.

$$\frac{\hat{H}_d}{\hat{H}} = 1,391 - 3,560\hat{K}_T + 4,189\hat{K}_T^2 - 2,137\hat{K}_T^3 \quad (A)$$

(A) Se utiliza cuando el ángulo de la puesta del sol promedio mensual del día es menos a 81,4°.

$$\frac{\hat{H}_d}{\hat{H}} = 1,311 - 3,022\hat{K}_T + 3,427\hat{K}_T^2 - 1,821\hat{K}_T^3 \quad (B)$$

(B) Se utiliza cuando el ángulo de la puesta del sol promedio mensual del día es mayor a 81,4°.

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

$$\dot{K}_T = \frac{\dot{H}}{H_0} \quad (C)$$

(C) Índice de claridad.

$$H_0 = \frac{86400 G_{SC}}{\pi} \left(1 + 0,033 \cos \left(2\pi \frac{n}{365} \right) \right) (\cos \Psi \cos \delta \sin \omega_s + \omega_s \sin \Psi \sin \delta) \quad (D)$$

(D) Radiación extraterrestre, esta es la radiación fuera de la atmosfera terrestre.

$$\delta = 23,45 \sin \left(2\pi \frac{284+n}{365} \right) \quad (E)$$

(E) Declinación, Posición angular del sol al medio día solar.

Para determinar el valor de n se sabe que este representa el día del año para el cual se está realizando el cálculo; ósea para enero 1 el valor correspondiente es 1 y para febrero 1 es 32 y así sucesivamente.

- Angulo horario solar: es un desplazamiento del sol al este u oeste con respecto al meridiano local. En la mañana este ángulo es negativo y en la tarde es positivo, a medio día este equivale a 0 y cambia de 15° por hora. Por ejemplo para las 7 am el ángulo horario solar es de -75° esto es porque es de día y esta a 5 horas del medio día.
- Angulo horario al atardecer: corresponde al ángulo solar del tiempo que el sol se oculta. ω_s es el mismo ángulo de ponencia del sol.

$$\cos \omega_s = -\tan \Psi \tan \delta \quad (F)$$

II. Calculo de componente difusa y Beam de la radiación.

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s} \quad (\text{G})$$

$$a = 0,409 + 0,5016 \sin(\omega_s - \frac{\pi}{3})$$

$$b = 0,6609 + 0,4767 \sin(\omega_s - \frac{\pi}{3})$$

(G) Proporción en horas de la radiación solar diaria.

ω = ángulo del punto medio de la hora en que se realiza el análisis.

$$r_d = \frac{\pi}{24} \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s} \quad (\text{H})$$

(H) Proporción horaria total de radiación difusa diaria.

$H = r_t \hat{H} \rightarrow$ radiación horizontal global.

$H_d = r_d \hat{H}_d \rightarrow$ componente difuso.

$H_b = H - H_d \rightarrow$ componenre beam.

III. Calculo de radiación plana sobre el sistema Fotovoltaico.

$$H_t = H_b R_b + H_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + H \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (\text{I})$$

$\rho = 0,2$ cuando la temperatura $T^\circ > 0^\circ\text{C}$

$\rho = 0,7$ cuando la temperatura $T^\circ > -5^\circ\text{C}$

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (\text{J})$$

(I) Proporción de radiación de rayo o haz en el sistema FV.

θ Es el ángulo de incidencia del haz de radiación sobre el sistema FV.

θ_z Es en ángulo Zenital o Cenital del sol.

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

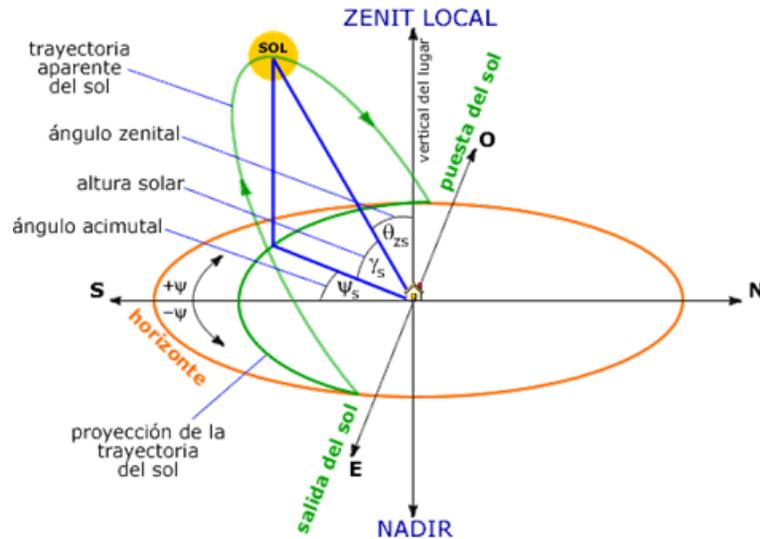


Ilustración 2. Ángulos del sol [5].

IV. Modelado del sistema FV.

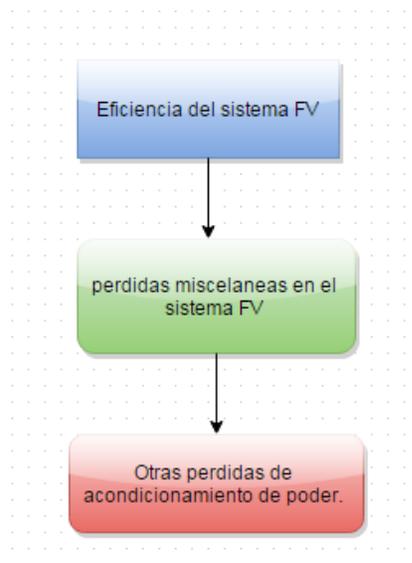


Ilustración 3. FlowChart de modelado del sistema Fotovoltaico [2].

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

$$\eta_p = \eta_r [1 - \beta_p (T_c - T_r)] \quad (J)$$

$$T_c - T_a = (219 + 832K_T) \frac{NOCT-20}{800} \quad (K)$$

PV module type	η_r (%)	NOCT (°C)	β_p (%/°C)
Mono-Si	13.0	45	0.40
Poly-Si	11.0	45	0.40
a-Si	5.0	50	0.11
CdTe	7.0	46	0.24
CIS	7.5	47	0.46

Tabla 2. Valores dependiendo la tecnología de la celda [2].

V. **Inclinación óptima.**

$$s_M = \Psi - \delta \quad (L)$$

(L) cuando el ángulo de inclinación óptimo es diferente al ángulo actual, entonces η_p debe ser multiplicado por un factor de corrección C_f .

$$C_f = 1 - 1,17 \times 10^{-4} (s_M - s)^2$$

VI. **Otras Correcciones.**

Energía entregada por el sistema FV.

$$E_p = S \eta_p H_t (M)$$

$S = \text{area del sistema FV.}$

(M) esta energía debe ser afectada por las pérdidas en el generador y otras pérdidas de acondicionamiento.

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

$$E_A = E_p(1 - \lambda_p)(1 - \lambda_c) (N)$$

(N) corrección sobre la energía entregada por el sistema.

λ_p = Pérdidas misceláneas del sistema.

λ_c = Pérdidas de acondicionamiento de poder.

E_A = Energía disponible para carga de baterías.

$$\eta_A = \frac{E_A}{SH_t} (O)$$

(O) Eficiencia después de pérdidas.

VII. Energía entregada por un sistema FV On-Grid.

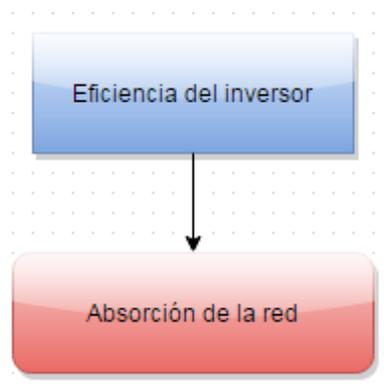


Ilustración 4. FlowChart energía entregada [2].

$$E_{grid} = E_A \eta_{inv} (P)$$

(P) Energía disponible para la red.

η_{inv} = Eficiencia del inversor.

$$E_{dlyd} = E_{grid} \eta_{abs} (Q)$$

(Q) Energía entregada final.

η_{abs} = tasa de absorción energética Fotovoltaica.

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

VIII. Retorno de la Inversión.

$$TIR_t = \sqrt[t]{\frac{F_t}{I}} - 1 \text{ (R)}$$

(R) Tasa Interna de retorno.

t= Periodo de tiempo del análisis (Un año).

I = Inversión Inicial total.

F_t = Flujo de Caja

$$F_t = Ing_t - G_t \text{ (S)}$$

(S) Flujo de Caja.

Ing_t = Ingresos en el periodo.

G_t = Gastos en el periodo.

$$Ing_t = E_{alvd} Tif_t \text{ (T)}$$

(T) Ingresos del Periodo.

E_{alvd} =Energía entregada Final.

Tif_t = Tarifa de exportación del periodo (valor de venta).

$$TIR_T = \sum TIR_t \text{ (U)}$$

(U) Tasa interna de retorno Final.

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

5. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se realiza una investigación de tipo Experimental: Analiza el efecto producido por la acción o manipulación de una o más variables independientes sobre una o varias dependientes.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

El trabajo se llevará a cabo en cinco etapas que se encuentran interconectadas en serie (Ilustración 5).



Ilustración 5. Diagrama de flujo metodológica.

1. Se plantea una idea o problema de trabajo de análisis, en este caso se desea conocer que tan factible es en Colombia la utilización de energía solar Fotovoltaica y en que influyen los diferentes métodos de seguimiento solar.
2. Por recomendación del director de proyecto, Se descarga la herramienta RETScreen la cual ayudara a realizar los cálculos de factibilidad.
3. Se estudia y se practica el funcionamiento completo de la herramienta RETSceern para un análisis de factibilidad de paneles fotovoltaicos.

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

4. Se procedió a la página principal de RETSceern, en la cual se buscó toda el material de estudio y apoyo que nos ofrece, para entender de mejor manera los diferentes sistemas energéticos (paneles fotovoltaicos).
5. Al lograr manejar claramente la herramienta RETSceern, se procede a hacer un análisis y comparación de 10 diferentes ciudades en Colombia ubicadas en distintos departamentos para poder comparar radiación que solar que recibe cada una.
6. Por medio de la herramienta Microsoft Excel se generan tablas y graficas comparativas de las 10 ciudades a analizar.
7. Al obtener los resultados de las comparaciones y análisis, se procede a escoger las 5 ciudades más viables para el análisis de factibilidad a trabajar en esta investigación.
8. Estudiando el material de apoyo que nos ofrece la herramienta RETSceern, se estudian las ecuaciones de soporte para generación de energía eléctrica por paneles fotovoltaicos, las cuales ya están formuladas en los algoritmos y sistemas internos de la misma herramienta.
9. Se investigan datos específicos, reales, actuales y necesarios; los cuales se definen fijos para el análisis de cada caso y emplearan en la herramienta RETSceern para realizar los diversos análisis de factibilidad.
10. Una vez hecho el debido compendio de datos necesarios, se procede a realizar el análisis de factibilidad de las 5 ciudades escogidas. Se destaca que a cada ciudad no se le va hacer solo un análisis, sino se realizan 4 análisis, cada uno teniendo un modo de rastreo solar distinto.
11. Con los resultados obtenidos, a través de la herramienta Microsoft Excel se generan tablas y graficas de análisis.
12. Se escoge el mejor método o resultado de cada ciudad.
13. Por medio de tablas y graficas se comparan los métodos anteriormente nombrados y se determina cual es el análisis con mejores resultados, para así poder dar las conclusiones respectivas.

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

7. RECURSOS

N°	Nombres y apellidos	Profesión básica	Función básica	Duración	Costo
1	Jhonny Sebastián López Hortua	Estudiante Ingeniería Mecánica.	Investigador	Un mes	\$ 0
2	Matthew Edward Stanford Gaona	Estudiante Ingeniería Mecánica	Investigador	Un mes	\$ 0
3	Dr. Carlos Andrés Forero Núñez	Ingeniero Químico	Consultor	Un mes	\$ 0

Tabla 3. Recursos humanos

Descripción del equipo	Actividades a realizar
Equipo de computo	Redacción y conglomeración de datos.
Impresora	Impresión de documento.

Tabla 4. Equipo requerido.

8. CRONOGRAMA.

A continuación se relacionan las diferentes actividades que se deben ejecutar en el transcurso del proyecto junto con el calendario propuesto.

	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1	Fase 1. Identificación herramienta RETScreen para modelamiento de sistemas energéticos	6 días	vie 31/07/15	vie 07/08/15
2	Descarga herramienta RETScreen	2 días	vie 31/07/15	lun 03/08/15

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009	

3	Revisión material de entrenamiento para sistemas de generación de potencia	2 días	mar 04/08/15	mié 05/08/15
4	Revisión estudios de caso para sistemas fotovoltaicos	2 días	jue 06/08/15	vie 07/08/15
5	Fase 2. Análisis de recurso energético en diversas regiones de Colombia	4 días	lun 10/08/15	jue 13/08/15
6	Análisis de radiación en al menos 10 lugares de Colombia de diferentes departamentos	2 días	lun 10/08/15	mar 11/08/15
7	Comparación de radiación mediante tablas y gráficas en Excel	2 días	mié 12/08/15	jue 13/08/15
8	Fase 3. Selección zonas de interés para el análisis posterior	5 días	vie 14/08/15	jue 20/08/15
9	Selección cinco zonas de interés de mayor radiación solar ubicadas en diferentes Departamentos	5 días	vie 14/08/15	jue 20/08/15
10	Fase 4. Evaluación efecto del sistema de seguidor sobre el comportamiento de los sistemas fotovoltaicos	11 días	vie 21/08/15	vie 04/09/15
11	Identificación ecuaciones de soporte para generación de energía empleadas en RETScreen	5 días	vie 21/08/15	jue 27/08/15
12	Definición características técnicas del sistema de generación a simular	2 días	vie 28/08/15	lun 31/08/15
13	Simulación de los sistemas energéticos ubicados en cada una de las regiones seleccionadas	2 días	mar 01/09/15	mié 02/09/15
14	Análisis de la variación en la energía generada en cada sistema simulado	2 días	jue 03/09/15	vie 04/09/15
15	Fase 5. Simulación análisis de factibilidad empleando RETScreen para diversas regiones de Colombia y diversos tipos de seguidor solar	4 días	lun 07/09/15	jue 10/09/15
16	Identificación parámetros de costos iniciales incrementales	2 días	lun 07/09/15	mar 08/09/15
17	Definición parámetros financieros iniciales	2 días	mié 09/09/15	jue 10/09/15
18	Entrega informe final	0 días	jue 10/09/15	jue 10/09/15

Tabla 5. Actividades y Cronograma.

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009



Ilustración 6. Diagrama de Gantt Del proyecto.

9. VARIABLES FIJAS DEL PROYECTO.

Para el análisis de factibilidad se destacarán unos datos iniciales estándar y fijos, para poder establecer un punto de comparación entre cada ciudad y cada tipo de seguidor solar implementado; estos datos iniciales son:

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

DATOS INICIALES	
INCLINACION	5°
TARIFA DE EXPORTACION (USD/MWh)	\$125
COSTO DE INSTALACION (USD/kW instalado)	\$ 1.131,4
COSTO TOTAL DE SISTEMA INSTALADO (USD)	\$ 8.039,0
DATOS PANEL FOTOVOLTAICO	
TIPO	MONO-SI
CAPACIDAD DE GENERACION ELECTRICA (kW)	0,25
FABRICANTE	SOLAR WORLD
MODELO	SW 245 - BLACK
EFICIENCIA	14,60%
PERDIDAD VARIAS	20%
INVERSOR	
EFICIENCIA	95%
CAPACIDAD (kW)	7
PERDIDAS VARIAS	2,56%
PARAMETROS FINANCIEROS	
TASA DE INFLACION	3,50%
TIEMPO DEL PROYECTO (Años)	20
RELACION DE DEUDA	20%
TASA DE INTERES DE LA DEUDA	19,37%
DURACION DE DEUDA (Años)	10

Tabla 6. Datos iniciales para el estudio de factibilidad

a. INCLINACION:

El panel solar se debe instalar a una inclinación igual a la latitud de la zona de trabajo (la latitud medio de Colombia es de 5°) [6].

b. TARIFA DE EXPORTACION:

Se establece el precio de cobro igual al actualmente utilizado en Colombia con la energía eléctrica generada de manera convencional.

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

c. COSTO DE INSTALACION:

Se toma el valor de instalación por cada kW del catalogo de análisis de costos para sistemas Fotovoltaicos de la Agencia internacional de energías renovables; en este documento dice que para el año 2011 el costo promedio de instalación de un sistema fotovoltaico entre 2kW y 7kW de potencia para Estados Unidos era de \$ 5657 USD, lo que quiere decir que el costo por kW para un sistema de 5kW es de \$ 1131,4 USD/kW [7].

d. COSTO TOTAL DE SISTEMA INSTALADO:

Como se explicará más adelante la capacidad total del sistema que se analizará es de 7kW y según el panel que se escogió se necesitan 29 Paneles cuya capacidad instalada será de 7,105 kW, para lograr conocer el costo total de instalación simplemente se multiplica el costo de instalación por la capacidad instalada.

$$CT = 1131,4 \frac{USD}{kW} \times 7,105 kW$$

$$CT = 8039 USD$$

Por lo anterior se determina que el costo total de sistema instalado es de \$ 8039 USD [2, 7].

e. DATOS PANEL FOTOVOLTAICO:

Inicialmente se escogió el fabricante y el modelo, por un estudio, en el cual se califican los mejores paneles fotovoltaicos en el mercado como lo muestra la tabla 7.

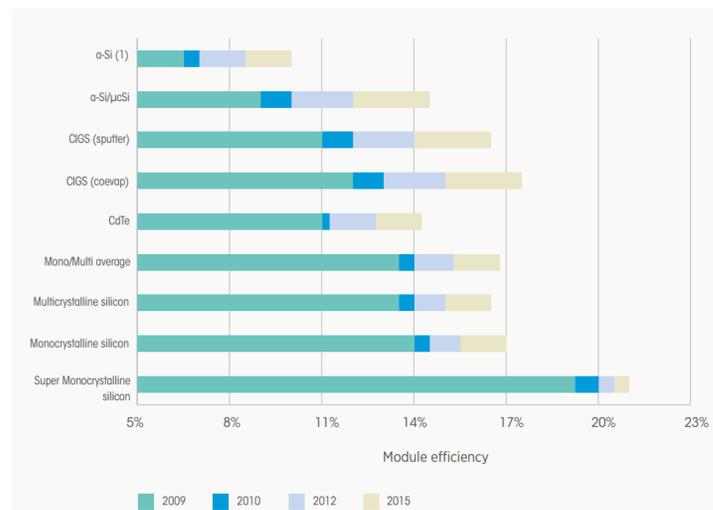
	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

PV+Test: Listado de los mejores paneles fotovoltaicos del mercado				
Fecha del Test	Puntuación	Evaluación	Fabricante	Panel Analizado
Octubre 2011	94.3	Excelente	SOLON	Solon Blue 230/07-235
Abril 2013	92.29	Excelente	SolarWorld	SW245 Poly
Febrero 2011	91.3	Excelente (-)	Schott	Schott Poly 290
Febrero 2011	90.7	Excelente (-)	SHARP	NU-180E1
Marzo 2012	89.8	Bueno (+)	IBC	IBC Monosol 240 ET
Febrero 2011	89.0	Bueno (+)	Mitsubishi Electric	PV-TD185MF5
Abril 2012	88.5	Bueno (+)	Jetion	JT235PCe
Febrero 2011	88.1	Bueno (+)	Conergy	PowerPlus 225P
Febrero 2011	84.3	Bueno	Sovello	SV-X-195-fa1
Febrero 2011	80.0	Bueno (-)	Perfect Solar	PS230-6P-TOP

Tabla 7. Listado de mejores paneles fotovoltaicos en el mercado [8].

Se toma el panel **SW245-Mono** de **SolarWorld** [9], el cual está en la segunda posición, debido a que el modelo **Solon Blue 230/07-235** no se encuentra en la base de datos del programa RETScreen.

El tipo de tecnología del panel, se atribuye el MONO-SI (monocristalino), por ser la tecnología con mayor eficiencia con una eficiencia entre 14-16%, como lo muestra la gráfica 1 [7].



Gráfica 1. Eficiencia de las diferentes tecnologías de Celdas Solares [7].

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

En las pérdidas varias, se toma el valor que ofrece el programa RETScreen, el cual lo asimila por pérdidas por suciedad, acumulación de nieve, pérdidas de desequilibrio, entre otras; este valor podría oscilar entre 15 % y 20%, por ende se escoge el peor panorama esperado [2, 10].

f. INVERSOR:

Se selección un inversor de recubrimiento galvánico, pues es el más común y estándar, su eficiencia oscila entre el 95-96,5%; con lo cual, se trabaja en el peor panorama esperado [11].

Este análisis, se realizó con miras a trabajar en áreas rurales, específicamente con el objetivo de energizar escuelas. Donde una escuela pequeña cuenta con un consumo de 0,4 kw, este parámetro se tomo de varios estudios con respecto al consumo de escuelas rurales en diferentes países como se puede ver en las Tablas 8 y 9 [2, 12, 13].

Las Zonas rurales se encuentran muy alejadas del casco urbano, con lo cual se busca energizar una escuela que tenga un consumo de 15 veces más que la anteriormente mencionada, pues así se podrá suplir una demanda mayor.

Entre las pérdidas varias de inversor, se encuentran, perdidas de conexión entre módulos al inversor que equivalen a 0,98% y perdidas de conexión del inversor al transformador que equivale a 1,58%, para un total de perdidas varias de 2,56% [14].

Description	Load (kW)	Usage (hrs/day)	Days / Week
Lights - school (17 x 15W)	0.255	2	5
Lights - apartment (4 x 15W)	0.06	2	7
TV	0.8	2	7
VCR	0.027	0.5	7
Radio & tape player	0.025	1	7
Radio telephone (transmit)	0.12	0.5	7
Radio telephone (standby)	0.006	8	7

Tabla 8. Consumo escuela rural argentina [2].

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Equipo	Número	Carga (wattios)	Horas de Uso	Carga Total-horas/día
Lámpara	4	15	4	240
Radio	1	20	2	40
Televisor	1	115	2	230
Computador	1	150	6	900
Grabadora	1	50	4	200
DVD	1	50	4	200
Prototipo 1: Wattios hora / día				1810

Equipo	Número	Carga (wattios)	Horas de Uso	Carga Total-horas/día
Lámpara	10	15	4	600
Radio	1	20	2	40
Televisor	1	115	2	230
Computador	5	150	6	4500
Grabadora	1	50	4	200
DVD	1	50	4	200
Prototipo 4: wattios hora día				5770

Tabla 9. Consumo escuelas rurales [13].

g. PARAMETROS FINANCIEROS:

Los parámetros de tasa de inflación de 3,50% y tasa de interés de la deuda de 19,37%, son datos que se estipulan por la economía bancaria actual de Colombia [15, 16].

Por otro lado, los datos de relación de deuda de 20% y duración de la deuda de 10 años, son parámetros que estipula el analizador, pues no existe una relación estándar para las deudas en Colombia, pues cada deuda depende específicamente del que la adquiere.

10. DESARROLLO DEL PROYECTO.

Se tomaron como base del estudio diez ciudades principales de Colombia, las cuales fueron, Bogotá, Barrancabermeja, Cartagena, Acacias, Villavicencio, Cali, Neiva, Medellín, Leticia y Quibdó; donde a través del programa RETScreen, se

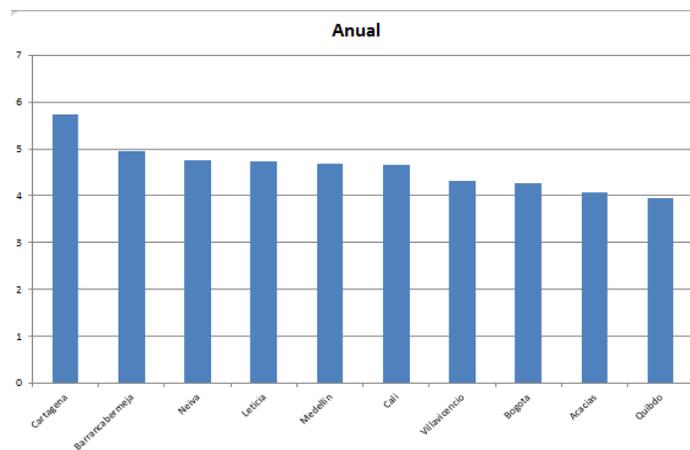
	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

toma los valor mensual y promedio anual de la Radiación diaria horizontal brindado por la NASA.

Radiacion diaria Horizontal-kWh/m ² /d										
	Bogota	Barrancaberm	Cartagen	Acacias	Villavicenc	Cali	Neiva	Medellin	Leticia	Quibdo
Enero	5,01	5	6,04	4,52	4,72	4,5	4,69	4,33	4,44	3,72
Febrero	4,66	4,75	6,28	4,32	4,56	4,61	4,72	4,61	4,61	3,98
Marzo	4,47	4,69	6,46	4,01	4,4	4,83	4,75	4,72	4,67	4,23
Abril	3,93	4,75	6,19	3,81	4,06	4,61	4,58	4,64	4,44	3,8
Mayo	3,7	5,03	5,67	3,85	4,16	4,58	4,78	4,58	4,47	3,93
Junio	3,79	4,86	5,68	3,64	4,16	4,42	4,58	4,81	4,39	3,91
Julio	4,04	5,72	5,85	3,73	4,09	5,14	5	5,56	4,83	4,34
Agosto	4,33	5,47	5,89	3,98	4,15	5,14	4,86	5,22	5,11	4,29
Septiemb	4,31	5	5,34	4,35	4,5	4,69	4,81	4,69	5,06	4,06
Octubre	4,33	4,83	4,95	4,35	4,33	4,53	4,86	4,39	5,11	3,86
Noviemb	4,1	4,58	5,04	4,14	4,27	4,39	4,69	4,33	4,89	3,73
Diciembre	4,55	4,75	5,35	4,19	4,43	4,42	4,72	4,28	4,61	3,48
Anual	4,27	4,96	5,73	4,07	4,32	4,66	4,75	4,68	4,72	3,94

Tabla 10. Radiación diaria horizontal-kwh/m²/d [2].

Al observar una gráfica comparativa del promedio anual de la radiación horizontal, se observa que los valores promedios no son constantes en todo el país, y existe una variación de radiación de acuerdo a la zona geográfica de la ciudad; por ende, se remite a una selección de las 5 ciudades, cuyo promedio anual destaca sobre las demás.



Grafica 2. Comparación radiación promedio anual.

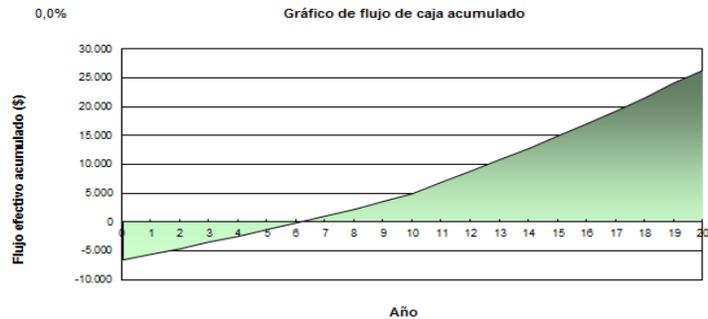
	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

Al observar que destacan las ciudades de Cartagena, Barrancabermeja, Neiva, Leticia y Medellín, con las cuales se procederá a realizar el análisis de factibilidad.

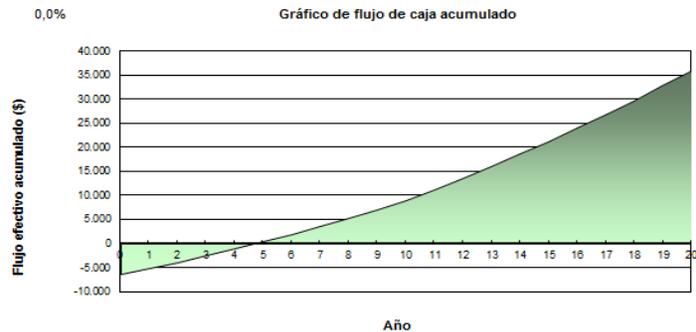
Se toma el método de rastreo (Fijado, Uniaxial, Biaxial y Azimut), como variable de comparación en cada una de las 5 ciudades, donde a través del programa Microsoft Excel, se realizan las respectivas comparaciones.

CARTAGENA				
	Fijado	Uniaxial	Biaxial	Azimut
Factor de utilización panel FV (%)	16%	20%	21%	17%
Electricidad exportada a la red (MWh)	10,03	12,60	13,00	10,46
TIR Antes de impuestos Capital (%)	18%	24%	25%	19%
Pago simple de retorno del capital (Años)	6,42	5,11	4,96	6,16
Repago - capital (Años)	6,16	4,72	4,55	5,86

Tabla 11. Comparación método de rastreo en análisis de factibilidad en Cartagena.

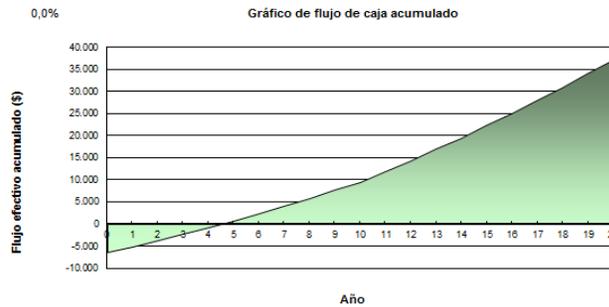


Grafica 3. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Cartagena Fijo (RETScreen).

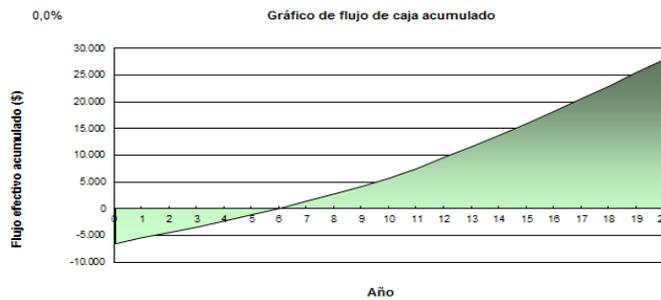


Grafica 4. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Cartagena Uniaxial (RETScreen).

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009



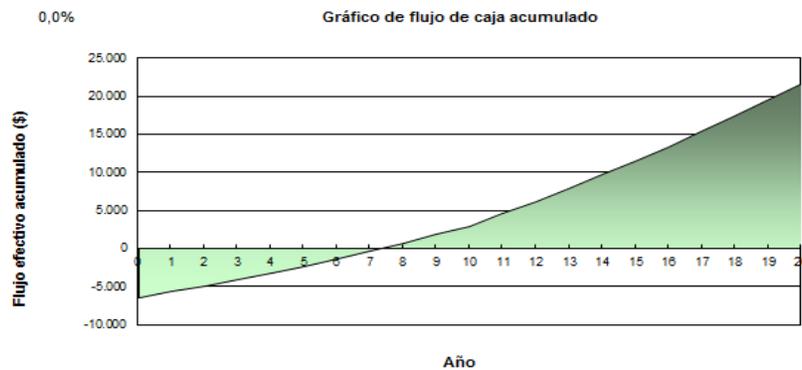
Grafica 5. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Cartagena Biaxial (RETScreen).



Grafica 6. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Cartagena Azimut (RETScreen).

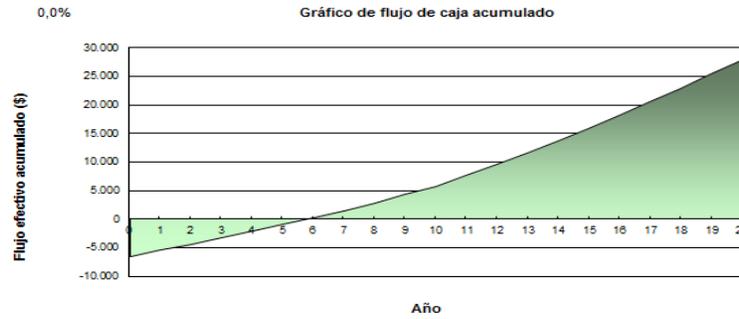
BARRANCABERMEJA					
	Fijado	Uniaxial	Biaxial	Azimut	
Factor de utilizacion panel FV (%)	14%	17%	17%	17%	15%
Electricidad exportada a la red (MWh)	8,70	10,43	10,70	10,70	9,05
TIR Antes de impuestos Capital (%)	16%	19%	20%	20%	16%
Pago simple de retorno del capital (Años)	7,41	6,18	6,02	6,02	7,12
Repago - capital (Años)	7,30	5,88	5,71	5,71	6,97

Tabla 12. Comparación método de rastreo en análisis de factibilidad en Barrancabermeja.

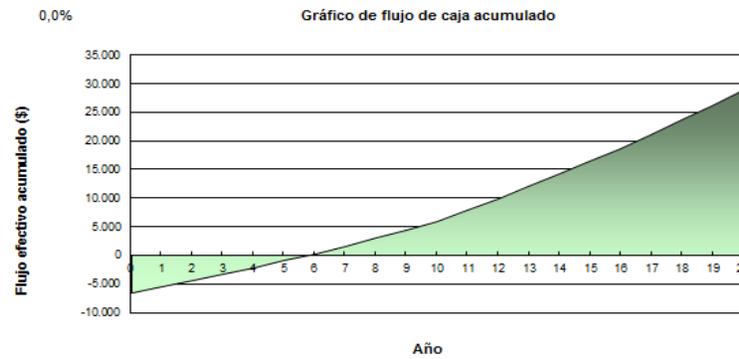


Grafica 7. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Barrancabermeja Fijo (RETScreen).

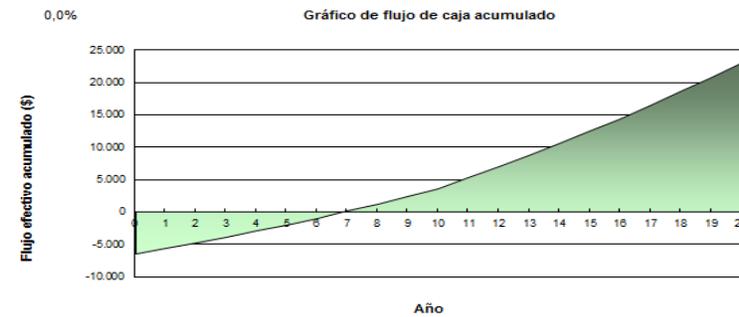
	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009



Grafica 8. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Barrancabermeja Uniaxial (RETSscreen).



Grafica 9. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Barrancabermeja Biaxial (RETSscreen).

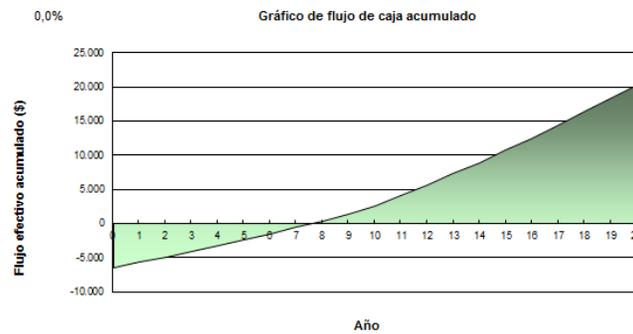


Grafica 10. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Barrancabermeja Azimut (RETSscreen).

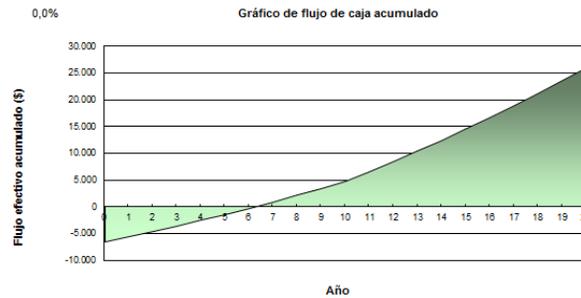
	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

NEIVA				
	Fijado	Uniaxial	Biaxial	Azimut
Factor de utilización panel FV (%)	13%	16%	16%	14%
Electricidad exportada a la red (MWh)	8,34	9,87	10,11	8,68
TIR Antes de impuestos Capital (%)	15%	18%	19%	16%
Pago simple de retorno del capital (Años)	7,72	6,53	6,37	7,42
Repago - capital (Años)	7,68	6,28	6,10	7,32

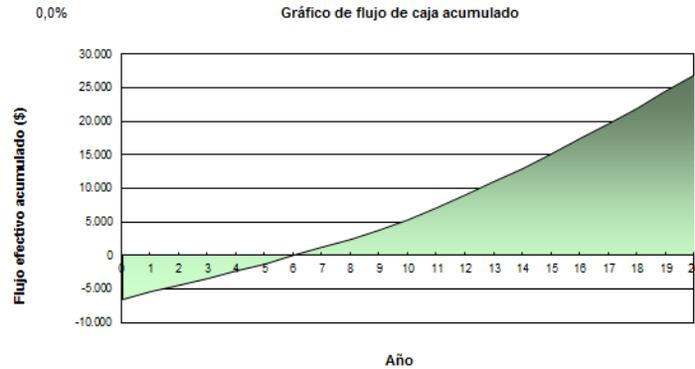
Tabla 13. Comparación método de rastreo en análisis de factibilidad en Neiva.



Grafica 11. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Neiva Fijo (RETScreen).

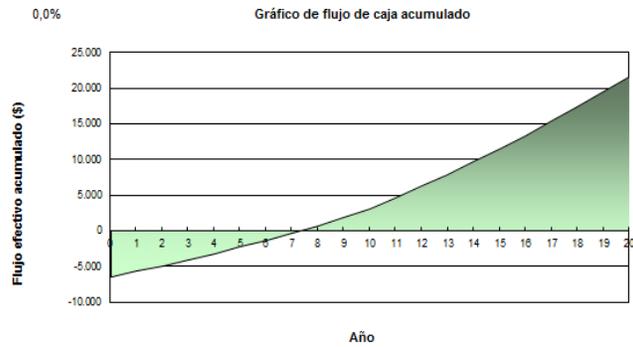


Grafica 12. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Neiva Uniaxial (RETScreen).



Grafica 13. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Neiva Biaxial (RETScreen).

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009



Grafica 14. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Neiva Azimut (RETScreen).

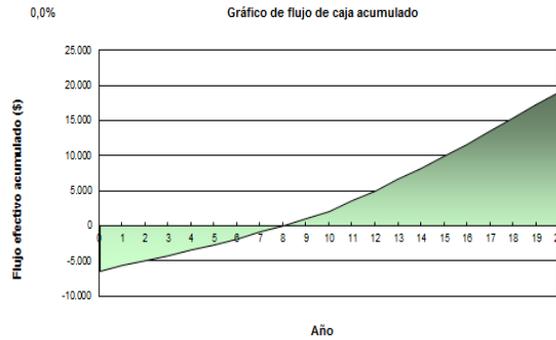
LETICIA				
	Fijado	Uniaxial	Biaxial	Azimut
Factor de utilizacion panel FV (%)	13%	13%	16%	14%
Electricidad exportada a la red (MWh)	8,29	8,02	10,13	8,70
TIR Antes de impuestos Capital (%)	15%	14%	19%	16%
Pago simple de retorno del capital (Años)	7,77	8,04	6,36	7,41
Repago - capital (Años)	7,74	8,06	6,09	7,30

Tabla 14. Comparación método de rastreo en análisis de factibilidad en Leticia.

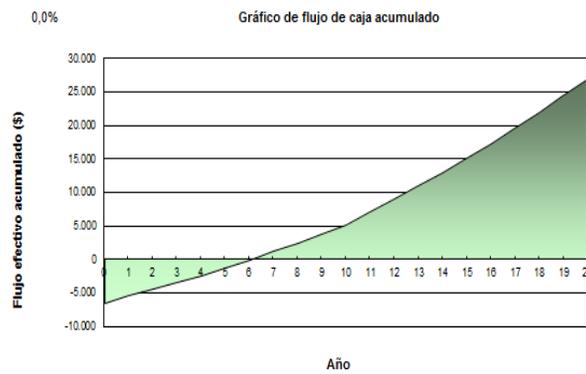


Grafica 15. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Leticia Fijo (RETScreen).

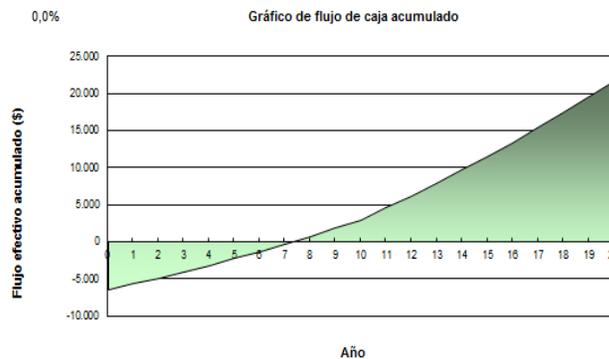
	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009



Grafica 16. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Leticia Uniaxial (RETScreen).



Grafica 17. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Leticia Biaxial (RETScreen).

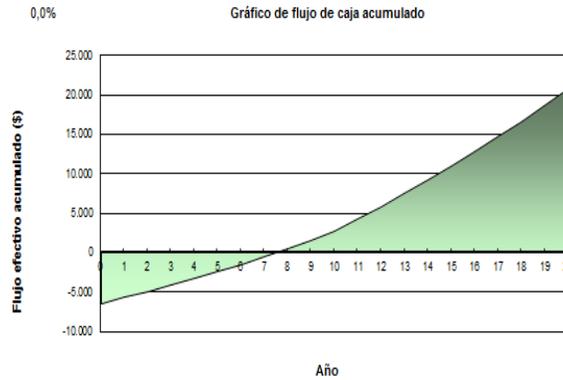


Grafica 18. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Leticia Azimut (RETScreen).

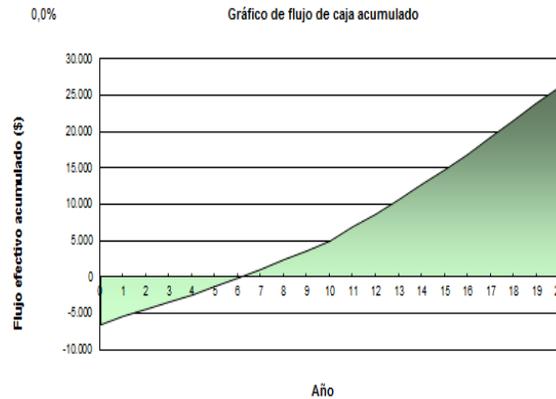
	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

MEDELLIN					
	Fijado	Uniaxial	Biaxial	Azimut	
Factor de utilizacion panel FV (%)	14%	16%	16%	16%	14%
Electricidad exportada a la red (MWh)	8,4	9,9	10,2	10,2	8,8
TIR Antes de impuestos Capital (%)	15%	18%	19%	19%	16%
Pago simple de retorno del capital (Años)	7,6	6,5	6,3	6,3	7,4
Repago - capital (Años)	7,6	6,2	6,1	6,1	7,2

Tabla 15. Comparación método de rastreo en análisis de factibilidad en Medellín.

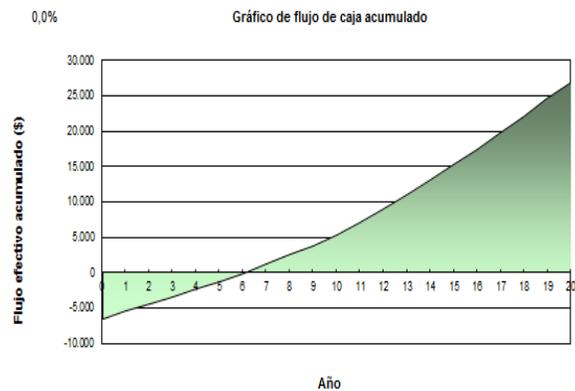


Grafica 19. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Medellín Fijo (RETScreen).

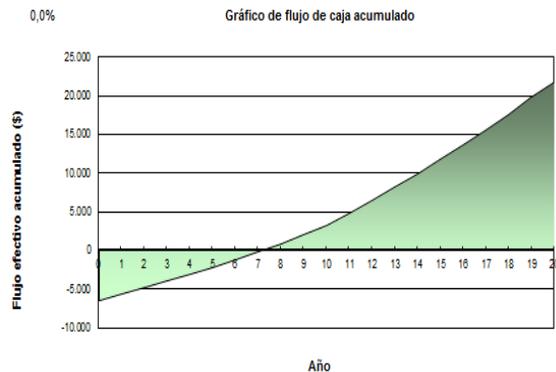


Grafica 20. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Medellín Uniaxial (RETScreen).

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009



Grafica 21. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Medellín Biaxial (RETScreen).



Grafica 22. Flujo de efectivo acumulado vs. Años Medellín Azimut (RETScreen).

Al observar la tablas comparativas, destacan 4 ítems con un alto grado de análisis, como son el factor de utilización, electricidad exportada a la red, pago simple de retorno al capital y repago; lo que permiten poder tener una visión clara de cuál es el método de rastreo más factible para la implementación de paneles fotovoltaicos en las respectivas ciudades. Se interpreta cada uno de los datos en las tablas, y se puede observar que el método de rastreo biaxial es el más factible para la implementación en cada una de las ciudades.

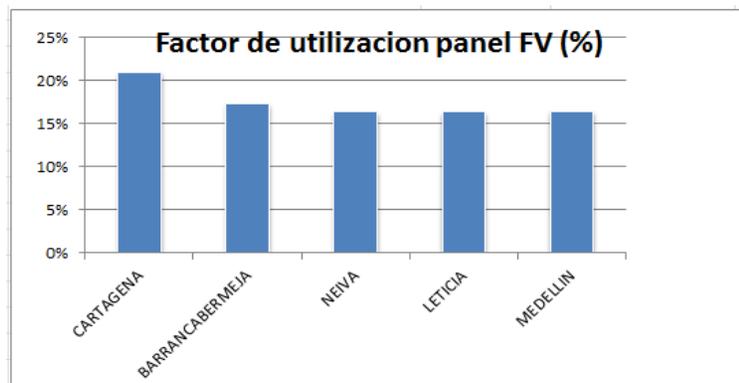
Al destacar el método de rastreo biaxial como el más factible para cada una de las ciudades, se procede a realizar a través del programa Microsoft Excel, una

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

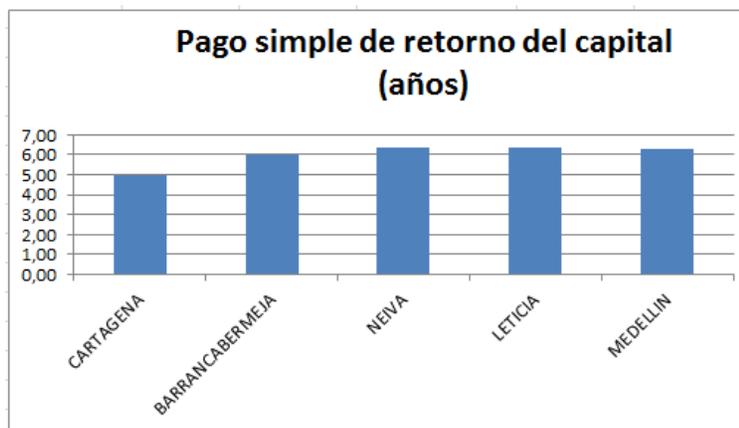
comparación entre las ciudades, teniendo como puntos de referencia comparativos las condiciones iniciales y el método de rastreo biaxial.

COMPARACION FINAL SISTEMA BIAxIAL					
	CARTAGENA	BARRANCABERMEJA	NEIVA	LETICIA	MEDELLIN
Factor de utilizacion panel FV (%)	21%	17%	16%	16%	16%
Electricidad exportada a la red (MWh)	13,00	10,70	10,11	10,13	10,18
TIR Antes de impuestos Capital (%)	25%	20%	19%	19%	19%
Pago simple de retorno del capital (años)	4,96	6,02	6,37	6,36	6,32
Repago - capital (años)	4,55	5,71	6,10	6,09	6,05

Tabla 16. Comparación de factibilidad entre ciudades.

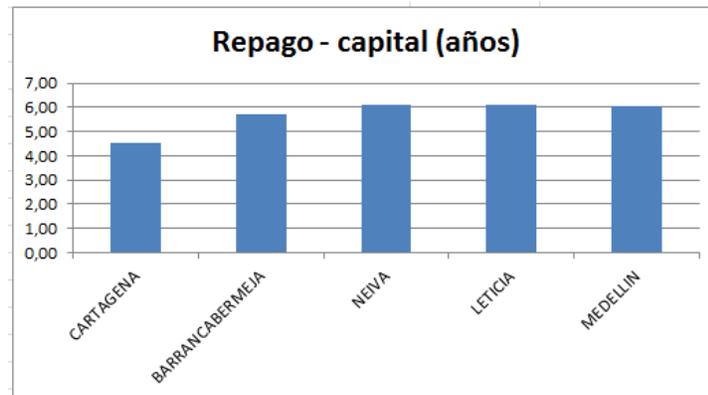


Grafica 23. Comparación de factor de utilización del panel en las diferentes ciudades.

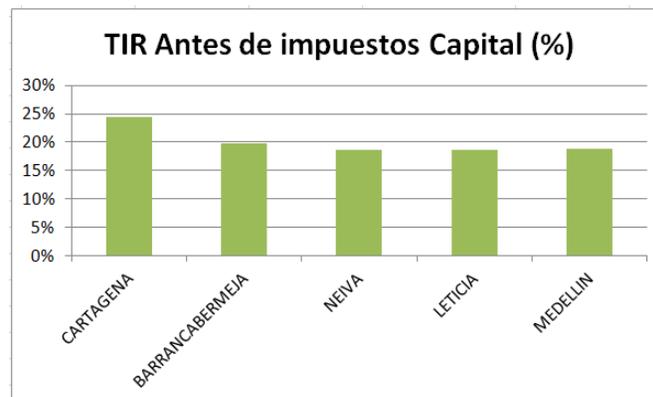


Grafica 24. Comparación de pago simple de retorno del capital en las diferentes ciudades.

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009



Grafica 25. Comparación de repago-capital en las diferentes ciudades.



Grafica 26. Comparación de Tasa Interna de Retorno en las diferentes ciudades.

Al observar la tabla comparativa, se permite un análisis claro y certero, de cual ciudad es más viable para la implementación de paneles fotovoltaicos por método de rastreo biaxial; la ciudad que sobresale de una manera destacada sobre las demás, es Cartagena, obtenido mayores resultados en los 5 ítems de análisis, los cuales son, el factor de utilización, electricidad exportada a la red, pago simple de retorno al capital, repago y el TIR.

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

11. CONCLUSIONES.

- Al analizar la tabla de radiación diaria Horizontal-kWh/m²/d, se puede destacar, que Colombia posee una gran ventaja en este tipo de proyectos, pues sus variaciones en el año son muy bajas, por ende podrá manejar unos costos e ingresos constantes, y además no sufrirá de mantenimientos por cambios de temperatura debidos a cambios estacionales.
- Al observar los análisis se evidencia que el método de rastreo biaxial es el más prometedor desde el punto de vista de alcances, ya que permite un mayor aprovechamiento de la radiación diaria en las diferentes zonas geográficas del país.
- Desde el punto de vista de factibilidad se puede afirmar que la implementación de un proyecto fotovoltaico con sistema de seguimiento biaxial, es viable para las 5 ciudades, pues el tiempo de repago es mucho menor al tiempo de duración de la deuda establecida en las condiciones iniciales.
- Debido a que el proyecto está pensado para áreas rurales, se determina que se puede lograr un valor de venta de energía igual al de las empresas de generación de energía convencional.
- De las 10 ciudades con las que se inició el proyecto, la ciudad que más beneficia el mismo, es Cartagena, pues sus valores de radiación son los más favorables al momento de realizar el análisis.
- Después de realizar una observación detallada sobre cómo afecta el tipo de seguidor solar sobre la generación de energía del sistema FV, se determinó que el seguidor Biaxial permite mayor generación debido a que recibe radiación solar por mayor tiempo.

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

- A pesar de que cada Fabricante brinda una eficiencia de generación del panel solar, se encontró que la radiación de el lugar si infiere en que esta eficiencia aumente o disminuya, ósea entre mayor es la radiación solar del lugar más eficiente podrá ser el sistema.

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

BIBLIOGRAFÍA

- [1] U. d. Castilla, «Universidad de Castilla,» 2015. [En línea]. Available: <http://edii.uclm.es/~arodenas/Solar/componentes.htm>. [Último acceso: 2015].
- [2] M. o. N. R. Canada, «<http://www.retscreen.net/>,» Minister of Natural Resources Canada, 2011-2014. [En línea]. [Último acceso: 29 Julio 2015].
- [3] A. Escobar, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA LA OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917316046>. [Último acceso: 02 09 2015].
- [4] Calcworld, «Calcworld,» [En línea]. Available: <http://es.calcuworld.com/calculadoras-empresariales/calculadora-tir/>. [Último acceso: 02 09 2015].
- [5] U. d. Jaén, «UJaen,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.ujaen.es/>.
- [6] C. Salud, «Cultivar Salud,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.cultivarsalud.com/sostenibilidad/paneles-solares-inclinaciones-optimas-y-optimizacion/>. [Último acceso: 2 Agosto 2015].
- [7] I. R. E. Agency, «IRENA,» 2012. [En línea]. Available: www.irena.org/Publications. [Último acceso: 29 Julio 2015].
- [8] SunFields, «sfe Solar,» [En línea]. Available: <http://www.sfe-solar.com/paneles-solares-fotovoltaicos/ranking-comparativo-paneles/>. [Último acceso: 2 Agosto 2015].
- [9] SolarWorld, «SolarWorld,» 2012. [En línea]. Available: www.solarworld-usa.com/.../sunmodule-solar-panel-245-mono-black-ds.pdf. [Último acceso: 11 Agosto 2015].
- [10] J. F. Ferichola, «CARACTERIZACIÓN DE MÓDULOS,» [En línea]. Available: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/6037/PFC_Julio_Fernandez_Ferichola.pdf?sequence=1. [Último acceso: 11 Agosto 2015].
- [11] Desconocido, «Campo fotovoltaico de 500 KW en finca particular para conectar a red,» [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4196/Memoria.pdf?sequence=1>.
- [12] R. M. A. Prado, «Gobierno de Chile,» 10 2014. [En línea]. Available: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=39177301>. [Último acceso: 06 2015].

	GUÍA PARA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN (SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN)		Código: IN-IN-001 Versión:01
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009

- [13] J. C. C. ROSERO, «IPSE,» 01 2012. [En línea]. Available: http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-300444_archivo_pdf_ipse.pdf.
- [14] E. C. Carrascal, «INVERSORES EN APLICACIONES FOTOVOLATAICAS,» Septiembre 2012. [En línea]. Available: <http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/2561/1/PFC-P%2043%20%3B%2044.pdf>. [Último acceso: 19 Agosto 2015].
- [15] «Tasa de interes,» 30 Julio 2015. [En línea]. Available: <http://www.notinet.com.co/indices/mora.htm>. [Último acceso: 18 Agosto 2015].
- [16] Expansión, «Datosmacro,» Julio 2015. [En línea]. Available: <http://www.datosmacro.com/ipc-paises/colombia>. [Último acceso: 18 Agosto 2015].