



# **ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE PROYECTOS**

IFI

GENERACIÓN DE ENERGIA GEOTERMICA EN COLOMBIA

TRABAJO DE INVESTIGACION PRESENTADO PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN DE GERENCIA DE PROYECTOS

ING. CLAUDIA PATRICIA BADILLO

ING. HOLLMAN LEONARDO RAMOS R

DIRIGIDO POR

ING. MBA ESTEBA JACKSON

UNIVERSIDAD EAN

BOGOTA

2013

## Tabla de Contenido

Tabla de Contenido .....	2
Tabla de Ilustraciones.....	6
1.Concepción De La Idea .....	8
2 Formulación y Delimitación De La Idea .....	9
3.Marco Teórico.....	11
3.1 Definiciones Básicas.....	11
3.1.1 ¿Qué es la energía?.....	11
3.1.2 ¿Qué entendemos por una forma de energía? .....	11
3.1.3 ¿Qué es una fuente de energía?.....	12
3.1.4 ¿Cómo se mide la energía? .....	12
3.1.5 Que es la gestión de la energía? .....	12
3.2Algo De Historia.....	13
3.3. Definición Energía Geotérmica .....	15
3.4 Clasificación de las áreas geotérmicas.....	19
3.4.1 Áreas de Baja Temperatura.....	19
3.4.3 Áreas de alta temperatura. ....	21

GENERACION DE ENERGIA GEOTERMICA EN COLOMBIA	3
3.5 Modelo Básico De Un Campo Geotérmico .....	22
3.5.1 Anomalía Térmica (Fuente de Calor).....	23
3.5.2 Yacimiento (Reservorio) .....	23
3.5.3 Cobertura Impermeable .....	25
3.6 Etapas De Un Proyecto Geotérmico .....	26
3.7 El Fluido Geotérmico Para La Producción De Electricidad .....	26
3.7.1 Equipo En Boca De Pozo .....	27
3.7.2 Transmisión Del Vapor .....	30
3.7.3 Transmisión Del Agua Caliente. ....	31
4. Objetivos Generales y Específicos.....	34
4.1 Objetivo General.....	34
4.2    Objetivos Específicos.....	34
5. Justificación .....	35
6. Plan Tematico .....	36
6.1 Recopilación de información.....	36
6.2 Análisis de información .....	36
6.3 Viabilidad .....	37
6.4 Conclusiones y lecciones aprendidas.....	37
7. Desarrollo Del Trabajo .....	37
7.1 Horizonte.....	37

GENERACION DE ENERGIA GEOTERMICA EN COLOMBIA	4
7.2 Viabilidad .....	38
7.2.1 Viabilidad política. ....	38
7.2.2 Viabilidad social.....	38
7.2.3 Viabilidad Normativa. ....	39
7.2.4 Viabilidad Técnica. ....	42
7.2.5 Viabilidad Económica. ....	43
8. Estudio Económico .....	48
8.1 Ingresos .....	48
8.2 Gastos.....	49
8.2.1 Inversiones Inicial Para Una Central Geotérmica De 15 Mw.....	49
8.2.2. Gastos de mantenimiento y operación de la planta. ....	54
8.2.3 Gastos de financiación.....	55
8.2.4 Impuestos.....	56
8.3 Análisis de rentabilidad.....	56
8.3.1 Gastos .....	56
8.3.2 Datos de producción (US\$).....	57
8.3.3. Incrementos Interanuales (%) .....	58
8.3.4 Índices De Rentabilidad.....	59
8.3.5 Análisis De Riesgo (Simulación de Montecarlo).....	63
9 Conclusiones .....	79

Bibliografía.....81

### Tabla de Ilustraciones

Figura 1 Modelo de Campo Geotérmico (Consortio Energético Corpoema-UPME, 2010) -----	16
Tabla 1. Potencia instalada de geotermia en el mundo a diciembre de 2009 (Consortio Energetico Corpoema-UPME, 2010).-----	18
Figura 3 Zona de Alta Temperatura (Guðmunsson, 1996,2002,2005)-----	21
Figura 4 Árbol de Válvulas (Consortio Energetico Corpoema-UPME, 2010) -----	28
Figura 5 Esquema diagramático de la salida de fondo del separador (Consortio Energetico Corpoema-UPME, 2010).-----	28
Figura 6 Silenciador (Consortio Energetico Corpoema-UPME, 2010)-----	30
Figura 7 Edificio principal de la Central Geotérmica de Nesjavellir. (Guðmunsson, 1996,2002,2005)-----	32
Grafica 1 Esquema de la Central Geotérmica de Nesjavellir (Islandia). (Guðmunsson, 1996,2002,2005)-----	33
Tabla 2 Proyección de demanda de energía y potencia máxima Colombia (República de Colombia Ministerio de Minas y Energia , Unidad de Planeacion Mineroenergetica. Grupo de Demanda Energetica-Subdirección de Planeación Energética, 2012)-----	46
Tabla 3 Inflación Anual (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2009) -----	49
Tabla 4 Costo de planta geotérmica (Proyecto OLADE/CEPAL/GTZ, 2000)-----	52
Tabla 5 Ajuste de costo de planta según inflación (basada en tablas 8.1 y 8.2)-----	54
Tabla 6 Gastos de mantenimiento y operación (Galante, 2007) -----	55

Tabla 7 Total Gastos-----	57
Tabla 8. Total precio de venta -----	58
Tabla 9 Incrementos Interanuales -----	58
Tabla 10 Flujo de caja (Microsoft, 2010) -----	60
Tabla 11 calculo VAN (Microsoft, 2010)-----	61
Grafico 2 Saldo Neto Vida Útil (Microsoft, 2010) -----	62
Tabla 12 Entradas del modelo ( @Risk-PALISADE-Elaboracion Propia, 2013) -----	67
Tabla 13 Salidas VAN ( @Risk-PALISADE-Elaboracion Propia, 2013) -----	69
Tabla 14 Salidas TIR ( @Risk-PALISADE-Elaboracion Propia, 2013)-----	71
Tabla 15 Salidas Retorno de la Inversión ( @Risk-PALISADE-Elaboracion Propia, 2013) -----	73
Tabla 16 Tabla de Resultado de Entradas ( @Risk-PALISADE-Elaboracion Propia, 2013) -----	74
Tabla 17 Resultados de Salidas ( @Risk-PALISADE-Elaboracion Propia, 2013)-----	75
Tabla 18 Tabla de Resultados Estadísticos ( @Risk-PALISADE-Elaboracion Propia, 2013) -----	76
Tabla 19 Análisis de Sensibilidad ( @Risk-PALISADE-Elaboracion Propia, 2013) -----	77
Tabla 20 Análisis de escenarios ( @Risk-PALISADE-Elaboracion Propia, 2013).-----	78

## 1. Concepción De La Idea

Ya que nuestro trabajo diario debemos tener un contacto íntimo con el suelo, su comportamiento y sus características, sabemos de las ventajas asociadas a su buen uso, entre ellas está el aprovechamiento para la generación de energía limpia y renovable. Tanto así que gobiernos de diferentes países con el apoyo de la empresa privada están desarrollando proyectos para su generación a nivel mundial.

Estando la empresa para la cual trabajamos vinculada a nivel mundial en diferentes proyectos para la generación de energía y siendo la energía geotérmica un nuevo concepto en ese tipo de generación, nos parece interesante poder presentar un trabajo donde se muestre el desarrollo de este tipo de energía en Colombia y la posibilidad de ejecutar nuevos proyectos.

“Colombia es un país con una gran variedad de fuentes de energía, que no ha explotado de una manera sistemática la geotermia, sin embargo se han hecho algunos esfuerzos por desarrollarla desde hace aproximadamente 30 años. No fue sino hasta la crisis energética de la década de los 90's, cuando se vio la necesidad de explorar fuentes de energía alternativas” (Unión temporal ICONTEC-AENE / Unidad de planeacion mineroenergetica, 2003, pág. 14) .

Además de que el uso de energías renovables es ya una necesidad mundial inminente debido al agotamiento de las no renovables además de la degradación del planeta debido a su uso, surge como alternativa fuerte y sobre todo en nuestro país el uso de energías alternativas como la geotérmica.

## 2 Formulación y Delimitación De La Idea

“Colombia presenta una capacidad instalada de energía de aproximadamente 13 GW de los cuales se puede decir que el 35 % es de origen termoeléctrico mientras el restante 65% corresponde a la generación hidráulica. Las fuentes de energía alternativas tienen un porcentaje aún muy bajo con respecto a la demanda del país. No obstante estas fuentes de energía presentan un importancia estratégica para el desarrollo del sistema de generación, especialmente con la entrada en vigencia de nuevas regulaciones ambientales que limitan el uso de la generación térmica por su emisión de gases de efecto invernadero y de grandes centrales de generación por su alto impacto ambiental y social” (Hernández, 2011).

Considerando que:

- Debido a los fuertes cambios climáticos presentados, los cuales generan disminución temporal y espacial del recurso hidráulico (como por ejemplo la sequía de los años 92 y 93), la generación de energía hidroeléctrica es cada vez más vulnerable.
- Para el país sería más ventajosa la venta de petróleo y no el uso de este como combustible para la generación de energía con el fin de aumentar sus ingresos.
- El petróleo es un recurso no renovable que se agota en el tiempo.

Aumenta el interés de la utilización de recursos renovables para la generación de energía junto con el apoyo de una política gubernamental encaminada en esta dirección

y expresada por el presidente Juan Manuel Santos en su discurso de posesión el 7 de agosto del 2010 en el que textualmente afirma : “En este nuevo amanecer nuestro país se destacara en los temas más importantes para la humanidad, como el uso sostenible de la biodiversidad, las energías limpias, la seguridad alimentaria, el desarrollo tecnológico y las industrias creativas” (Consortio Energetico Corpoema-UPME, 2010).

Con este proyecto se desea dar un pequeño aporte para conocer el desarrollo de la energía geotérmica e identificar la posibilidad económica, normativa, política, técnica, ambiental y social para que cualquier tipo de inversionista tenga una noción y pueda vincularse a la producción de este tipo de energía en Colombia.

Ya que este es un tema bastante importante para el gobierno nacional nos apoyaremos en el Plan Nacional de Desarrollo como guía básica de esta investigación además de artículos de revistas, artículos en la web, reportes de encuentros multinacionales especializados en este tema y estudios previos de entidades internacionales para la realización de este tipo de proyectos.

### **3. Marco Teórico**

Para dar inicio a nuestro proyecto es importante contextualizarnos en el tema, conocer algunas definiciones de energía, algo de la historia de la energía encaminada a la geotermia y por último que es la energía geotérmica, de donde viene y la manera de capturarla, conducirla y sus usos.

#### **3.1 Definiciones Básicas**

##### **3.1.1 ¿Qué es la energía?**

Para efectos del tema que compete a este trabajo aceptamos de la forma más genérica que energía es la capacidad que tiene un elemento organismo de alterar su entorno mediante la capacidad de realizar un trabajo.

##### **3.1.2 ¿Qué entendemos por una forma de energía?**

Entendemos como forma de energía a cualquier tipo de manifestación energética factible de ser utilizada con fines de su aprovechamiento y dependiendo de su estado puede requerir uno o más procesos de transformación hasta adecuarlo al nivel de uso esperado

### **3.1.3 ¿Qué es una fuente de energía?**

Es cualquier elemento natural o artificial que permite disponer de la capacidad de obtener una determinada forma de energía para desarrollar un trabajo.

### **3.1.4 ¿Cómo se mide la energía?**

“La cuantificación de la energía desde el punto de vista estadístico, se realiza cuantificando las fuentes de las cuales se extrae, con las siguientes distinciones:

a. Fuentes combustibles, como sólidos, líquidos y gases, se pueden medir mediante unidades físicas de masa o de volumen; o en unidades energéticas, de acuerdo a su capacidad de producir calor por combustión.

b. Fuentes no combustibles, como la solar, geotermia, hidrogenaría y energía eólica, se medirán solamente en unidades energéticas de acuerdo a su capacidad de generar electricidad y calor.” (Olade, 2011)

### **3.1.5 Que es la gestión de la energía?**

Para nuestro trabajo y como resultado de nuestra revisión encontramos de mucha utilidad la siguiente definición para la gestión de energía:

- “El uso sensato y efectivo de la energía para minimizar costos (Maximizar Ganancias) y mejorar la posición competitiva.

- La estrategia para Ajustar y optimizar la energía, usando sistemas y procedimientos que permitan reducir los requerimientos energéticos por unidad de producción mientras se mantienen constantes o se reducen los otros costos de producción.” (Bondoni Carlos-ABB, 2012)

### **3.2 Algo De Historia**

De acuerdo a nuestra investigación encontramos hitos básicos en relación con el desarrollo de la humanidad tomando como base los avances en el uso de las diferentes fuentes energéticas como una constante en el desarrollo de la humanidad

Desde la prehistoria, cuando la humanidad descubrió el fuego para calentarse y asar los alimentos, pasando por la Edad Media en la que construía molinos de viento para moler el trigo, hasta la época moderna en la que se puede obtener energía eléctrica fusionando el átomo, el hombre ha buscado incesantemente fuentes de energía. Por un lado el carbón para alimentar las máquinas de vapor industriales y de tracción ferrocarril así como los hogares, y por otro, el petróleo y sus derivados en la industria y el transporte . Dicho modelo de desarrollo, sin embargo, está abocado al agotamiento de los recursos fósiles, sin posible reposición, pues serían necesarios períodos de millones de años para su formación. (wikipedia, 12)

El efecto fotovoltaico fue descubierto en 1839 por el físico francés Alexandre Edmond Becquerel y 44 años después el científico norteamericano Charles Fritts, logra una aplicación práctica con la primera celda solar. Y no es sino hasta el año de 1882 en New York, cuando Thomas Alva Edison logra poner en servicio comercial la primera gran central Eléctrica.

La producción de energía limpia comienza a ver su horizonte en iniciativas como la del profesor Paul La Cour, que en 1890 en Dinamarca y guiado por los molinos de viento, implemento los primeros aerogeneradores. Es además importante recordar que el señor Marcellus Jacobs crea un generador que funciona movido por una turbina eólica. En 1928 la compañía Jacobs Wind Electric fabrico cientos de miles de estos modelos sobre torres de 20 m de altura.

Trece años después de la creación de la primera central eléctrica a base de carbón en el año 1895, George Westinghouse inaugura la primera planta Hidroeléctrica en las Cataratas del Niágara generando a gran escala la producción de energía usando la energía potencial de la caída del agua como recurso para la generación.

Todo lo visto anteriormente encamina al hombre a una búsqueda incesante de nuevas formas de generación de energía, llegando al punto de nuestro interés en el año de 1904 cuando en la ciudad Italiana de Larderello, Piero Ginori Conti demostró el uso del

vapor geotérmico como fuente para la generación de energía, tanto así que en la año de 1911 se inaugura con éxito comercial la primera central geotérmica de la historia.

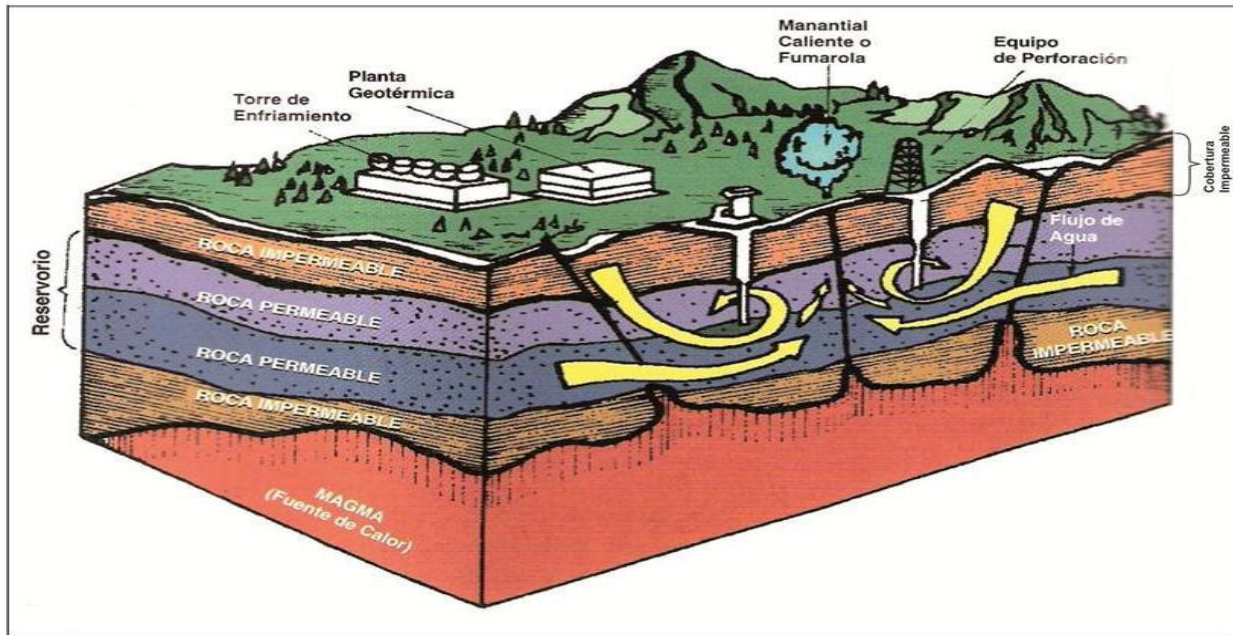
A mediados de los años 50 es en Inglaterra donde se pone en servicio la primera planta nuclear que ofrece electricidad comercial.

Y por último, pero no menos importante empleando el principio de los molinos de marea de la Antigua Roma, el ingeniero Albert Caquot con el apoyo del gobierno francés crea entre 1963 y 1966 la primera planta mareomotriz del mundo. (Revista Semana Julio 8, 2012).

### **3.3. Definición Energía Geotérmica**

La energía geotérmica es el uso del calor natural que está almacenado en el interior de la superficie terrestre, el cual es recogido y transportado por el hombre para su explotación.

Es importante para nosotros dar inicio a este tema teniendo claro que es un campo energético, el cual conduce a una rentabilidad económica. Este va compuesto por un reservorio geotérmico y unas instalaciones superficiales como se observa en la Figura 1.



**Figura 1 Modelo de Campo Geotérmico (Consortio Energético Corpoema-UPME, 2010)**

Es interesante ver según la figura 1 que el área de un proyecto geotérmico es de mucha menor dimensión comparada con un proyecto hidroeléctrico el cual afecta comunidades enteras, además de lo importante de tener una mezcla de suelos permeables e impermeables que permiten generar un reservorio natural.

Países con gran visión del negocio y además con una gran conciencia ambiental están explotando a gran escala la energía, como se observa claramente en la Tabla 1 la producción de cada uno es de niveles interesantes.

PAÍS	MWe
------	-----

1. Estados Unidos	3,093.5
2. Filipinas	1,912.2
3. Indonesia	1,197.3
4. México	958.0
5. Italia	842.5
6. Nueva Zelanda	628.0
7. Islandia	574.6
8. Japón	555.2
9. El Salvador	204.4
10. Kenia	167.0
11. Costa Rica	165.5
12. Nicaragua	87.5
13. Rusia	81.9

14. Turquía	81.6
15. Papúa-Nueva Guinea (Isla Lihir)	56.0
16. Guatemala	52.0
17. Portugal (Islas Azores)	28.5
18. China (incluye Tíbet)	24.2
19. Francia (Isla Guadalupe y Alsacia)	16.2
20. Etiopía	7.3
21. Alemania	6.6
22. Austria	1.4
23. Australia	1.1
24. Tailandia	0.3
TOTAL	10,742.8

**Tabla 1. Potencia instalada de geotermia en el mundo a diciembre de 2009 (Consortio Energetico Corpoema-UPME, 2010).**

Es importante ver el gran nivel que tienen países como Estados Unidos, Filipinas e Indonesia los cuales logran entre los tres tener más del 50% de la generación geotérmica a nivel mundial,

además que Centroamérica también muestra datos interesantes en esta producción con generación en México, Salvador, Costa rica, Nicaragua y Guatemala. También es curioso el evidenciar que en Sur América ningún país de la región genera este tipo de energía.

### **3.4 Clasificación de las áreas geotérmicas**

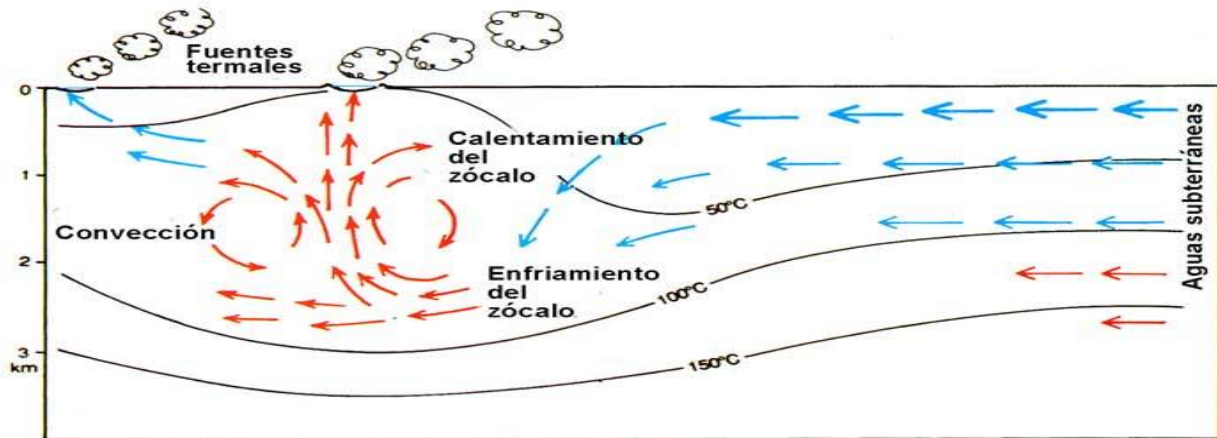
Dependiendo de las características geológicas existen dos tipos de áreas geotérmicas las cuales veremos a continuación:

#### **3.4.1 Áreas de Baja Temperatura.**

Básicamente tienen poco contenido de líquidos alcalinos y mínimo contenido gaseoso, son evidentes por manantiales de agua con temperaturas medias a altas.

Para clasificar un área como de baja entalpía la temperatura a 1000m no debe sobrepasar los 150 °C, no observar en la superficie ni en los estanques termales cambios de temperatura importantes y encontrar muy cerca a las orillas vegetación (debido a la baja concentración de sustancias disueltas). Generalmente el agua es de consumo y puede usarse como suministro de agua.

El agua es de origen meteórico, resultado de las precipitaciones o la fusión del hielo, que ha traspasado la roca como agua freática y luego se ha calentado, tal como lo muestra la figura 2.



**Figura 2 Esquema de un Área Geotérmica de Baja Entalpia** (Guðmunsson, 1996,2002,2005).

En la figura 2 observamos las formas en que un campo de baja entalpia genera energía geotérmica en forma de calor de las aguas, encontramos:

- a. Cuando fluyen aguas subterráneas siguiendo las pendientes de la zona por sobre una corteza caliente.
- b. Las aguas subterráneas que transfieren calor por medio de las fracturas en las rocas impermeables.
- c. Las aguas subterráneas transfieren calor en sistemas de alta entalpia que están enfriándose.
- d. Las intrusiones magmáticas ubicadas en rocas permeables o con grandes fracturas generan calor.

### 3.4.3 Áreas de alta temperatura.

Solo se encuentran en cinturones volcánicos activos o sus alrededores, se ven claramente pozos de lodo que burbujan, fumarolas, además de la presencia de líquidos ácidos, altos contenidos gaseosos, rocas muy lixiviadas, capas de arcilla, alto contenidos de azufre y depósitos de yeso. La temperatura del agua a los 1000m de profundidad no es menor de 200 °C. Las manifestaciones superficiales son evidentes.

En las fuentes de alta entalpia vemos fumarolas, fuentes termales de ebullición, fuentes de barro termal y géiseres. Básicamente se observa poca vegetación debido a que el suelo es muy ácido. Muchas veces se encuentran varias zonas de generación de energía de alta entalpia ligadas, las cuales pueden ocupar considerables extensiones.



**Figura 3 Zona de Alta Temperatura (Guðmunsson, 1996,2002,2005)**

Es evidente según nos muestra la figura 3 que el campo de alta entalpia está ligado estrechamente a una gran actividad volcánica y a sus altísimas temperaturas en la cámara magmática (1200 °C).

Vemos las siguientes opciones en cuanto al estado físico de la reserva de fluidos dentro de un campo geotérmico:

- a. Sistema acuoso (líquido saturado) sin ebullición. Típico de las áreas de baja temperatura.
- b. Sistema saturado de vapor.
- c. Sistema de vapor sobrecalentado y gran presión.
- d. Sistema en ebullición en el que se tiene agua líquida y vapor.

### **3.5 Modelo Básico De Un Campo Geotérmico**

Un campo Geotérmico está en constante movimiento, existe siempre el equilibrio entre la recarga del sistema y la constante descarga siempre que estén en su estado natural (sin explotar), evidenciada en la superficie por las manifestaciones termales que son típicas de las áreas geotérmicas, esta misma dinámica es la que lo diferencia de otros recursos energéticos perecederos.

Para la generación de energía por parte de un campo geotérmico de alta entalpia debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Tener una fuente de calor o llamada anomalía térmica.
- Tener un reservorio en un medio de rocas permeables que dejen circular fluidos calientes a profundidades explotables desde el punto de vista económico.

- Tener una cobertura impermeable que permita que el fluido geotérmico circule hacia la superficie permitiendo que se conserve su temperatura.

### **3.5.1 Anomalía Térmica (Fuente de Calor)**

A profundidades de 5 a 15km se encuentra la fuente de calor con intrusiones magmáticas con temperaturas entre 600°C a 1000°C.

Todos los campos geotérmicos que se están explotando actualmente están asociados a regiones donde ha ocurrido actividad volcánica o está ocurriendo. Varios de ellos ubicados cerca de volcanes y otros directamente asociados a centros de actividad volcánica frecuente.

Cuando un volcán está activo provoca un gran sistema de fallas que permite unos canales de ascenso directos en la roca dura para el flujo del magma, al mismo tiempo debido a la gravedad, las rocas plásticas como la arcilla caen por estas fallas sellándolas desde arriba. En esta ocasión el magma puede llenar el sistema de fallas pero no para vencer las rocas plásticas. Esto puede ocurrir en rocas sin actividad volcánica reciente, como sucede en los campos de vapor seco más grandes del mundo: Larderello (Italia) y Los Geysers (Estados Unidos).

### **3.5.2 Yacimiento (Reservorio)**

Es la parte comercial de un sistema de circulación amplio y está constituido por rocas saturadas de fluido caliente. Se forma con rocas permeables, con un volumen conveniente para asegurar la explotación a largo plazo de los fluidos termales. También es importante que este dentro de un sistema hidrológico para poder realizar la recarga constante. En un reservorio de alta entalpia contamos con temperaturas entre 200°C y 350°C. Temperaturas más bajas no

impiden una explotación del recurso, pero requieren de tecnologías adecuadas para la conversión energética.

Basados en la naturaleza del fluido almacenado, se establecen los siguientes tipos de yacimientos:

**Yacimientos de agua dominante:** donde el fluido es esencialmente agua presurizada en estado líquido.

**Yacimientos de vapor dominante:** donde el fluido es esencialmente vapor.

Por medio de pozos profundos se realiza la extracción del fluido geotérmico el cual es el medio que permite el transporte de energía a la superficie.

Haremos énfasis en proyectos para la producción de electricidad ya que es el de mayor importancia para el desarrollo de los países.

Los puntos clave para el buen desarrollo de proyectos geo termoelectricos:

- Localización del recurso a profundidades viables (menos de 3000m) por parte técnica y económica.
- Entalpía alta del fluido
- Potencial apto para alimentar unidades de suficiente capacidad para el sistema eléctrico, mayores de los 15 MWe.
- Poco contenido de gases incondensables.

“Un reservorio geotérmico de agua predominante, puede producir por un pozo geotérmico algunos centenares de toneladas por hora de fluido mezclado (agua caliente y vapor). Para mantener esa alta rata de flujo como es obvio, se requiere un alto grado de permeabilidad en el acuífero, jugando la porosidad un papel secundario. Cualquier roca permeable puede servir como un buen reservorio geotérmico. En los Geysers (Estados Unidos), la roca del yacimiento es una roca sedimentaria de tipo grauvaca con permeabilidad secundaria por fracturamiento; en Larderello (Italia), es una roca carbonática con permeabilidad kárstica; en Wairakei (Nueva Zelanda), es una ignimbrita fracturada cubierta por riolita y brecha pumítica; en Otake (Japón) es una toba volcánica permeable y en Cerro Prieto (México), arenas deltaicas.” (Consortio Energetico Corpoema-UPME, 2010)

### **3.5.3 Cobertura Impermeable**

Estará constituida por un suelo de nula o poca permeabilidad. Podrá ser una roca sedimentaria o volcánica con impermeabilidad primaria (arcilla, limolita, toba, etc.), Para determinar el recubrimiento necesitamos conocer la composición litológica de los horizontes del suelo.

Cuando la cobertura esta fracturada los fluidos pueden ascender directamente a la superficie produciendo manifestaciones termales. Aunque también pueden no ser manifestadas.

### **3.6 Etapas De Un Proyecto Geotérmico**

La ejecución de un proyecto geotérmico tipo se divide en dos partes principales: una de alto riesgo (incertidumbre) asociado a la exploración del energético, cuyo objeto es la identificación del reservorio incluyendo un estudio de su posible utilización, y otra de menor riesgo que se relaciona con el desarrollo y explotación del mismo. La primera parte implica notables niveles de riesgo económico que deben ser enfrentados con inversiones progresivamente crecientes que son relativamente de bajo costo, mientras que la segunda parte comporta riesgos menores requiriéndose de inversiones más elevadas. (Consortio Energetico Corpoema-UPME, 2010)

Desde la parte académica podemos decir que tal como como estudia en la cátedra de Desarrollo de Proyectos el de generación geotérmica consta de los mismos pasos que son:

1) Reconocimiento, 2) Pre factibilidad y 3) Factibilidad 4) Desarrollo y 5) Explotación.

### **3.7 El Fluido Geotérmico Para La Producción De Electricidad**

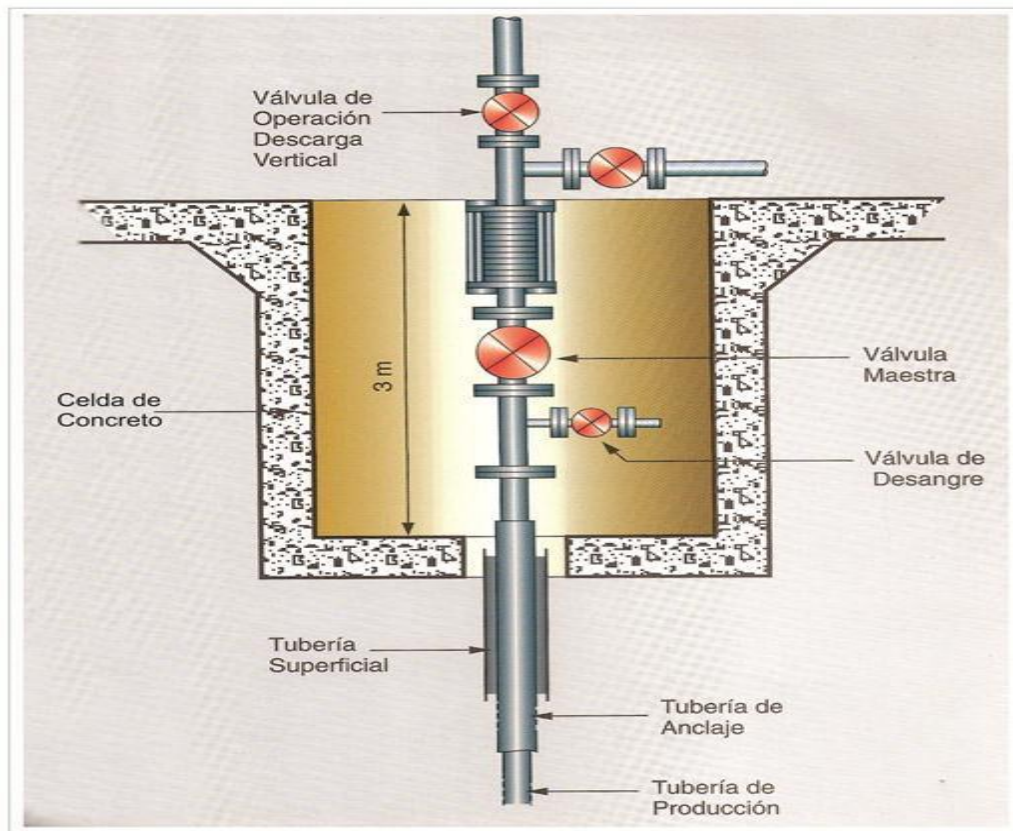
La cantidad y tipos de fluidos descargados pueden variar de una manera importante, en zonas se produce solamente vapor, en otras mezcla de agua y vapor. La relación agua/vapor suele ser de 2:1 hasta 8:1 relacionándolas por su peso.

Al realizar un diseño de sistema de recolección se debe tener en cuenta factores como propiedades químicas de los fluidos producidos por los pozos, consecuencias del cambio de la presiona en la boca de pozo sobre la cantidad de flujo y la relación agua/ vapor, en conjunto con la máxima presión a boca de pozo cuando se tienen pozos cerrados.

Para un campo geotérmico estándar se conectan los pozos por medio de tuberías hacia la planta debido a las distancias entre ellos.

### 3.7.1 Equipo En Boca De Pozo

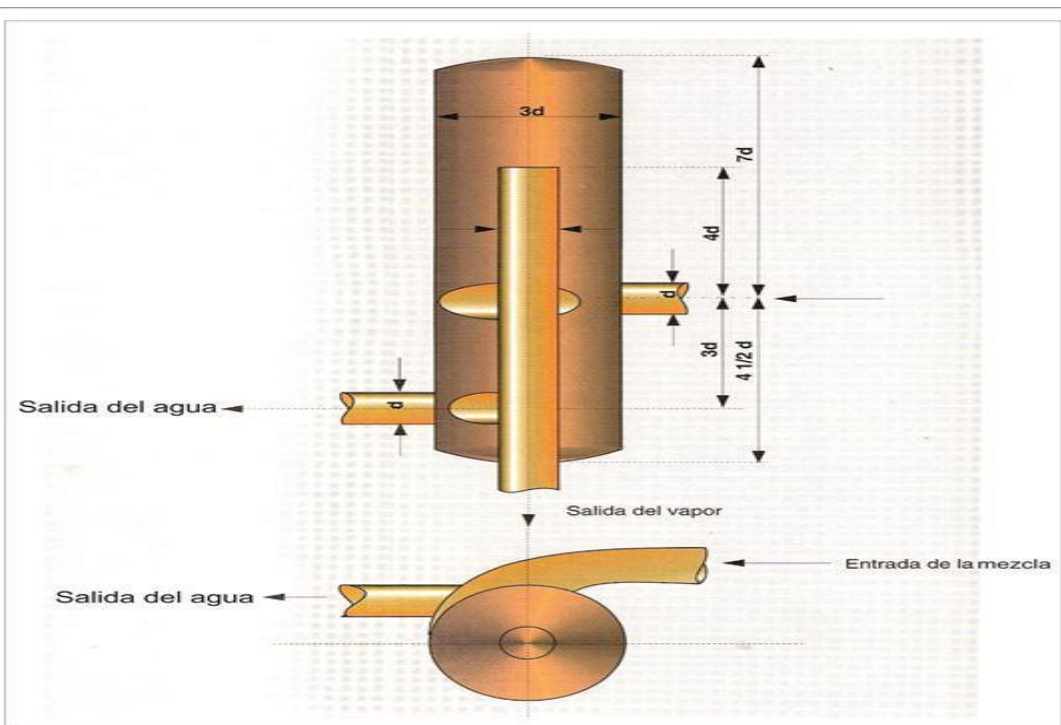
Si pensamos en un pozo cerrado la presión puede ser muy alta y superar la que se tiene en condiciones de operación cuando se está controlando el flujo. En los pozos que producen una mezcla de agua y vapor (a los cuales se encuentran ligados gases) los gases se acumulan en el tope del pozo cuando se cierra, produciendo depresión en la columna de agua hasta que se produzca la presión de equilibrio. En cuyos casos se han generado presiones de muchos centenares de  $\text{lb/pulg}^2$ , para esto se alivia la presión por una descarga continua por medio de una válvula maestra de la parte baja del árbol de válvulas, Figura 4.



**Figura 4 Árbol de Válvulas (Consortio Energetico Corpoema-UPME, 2010)**

Se observa en la figura 4 que se debe hacer un trabajo de construcción de una cajilla en concreto para la mejor manipulación de este árbol de válvulas.

Cuando el resultado de la extracción de los pozos es una mezcla de agua caliente y vapor, la separación del vapor y el agua, por acción centrífuga en un separador ciclónico se realiza la división. El separador es un recipiente cilíndrico vertical donde la mezcla entra tangencialmente por una tubería en espiral. El agua es presionada a arremolinarse sobre la pared y por gravedad se dirige hacia la parte inferior, abandonando el recipiente a través de una salida tangencial cerca del fondo, Figura 5.



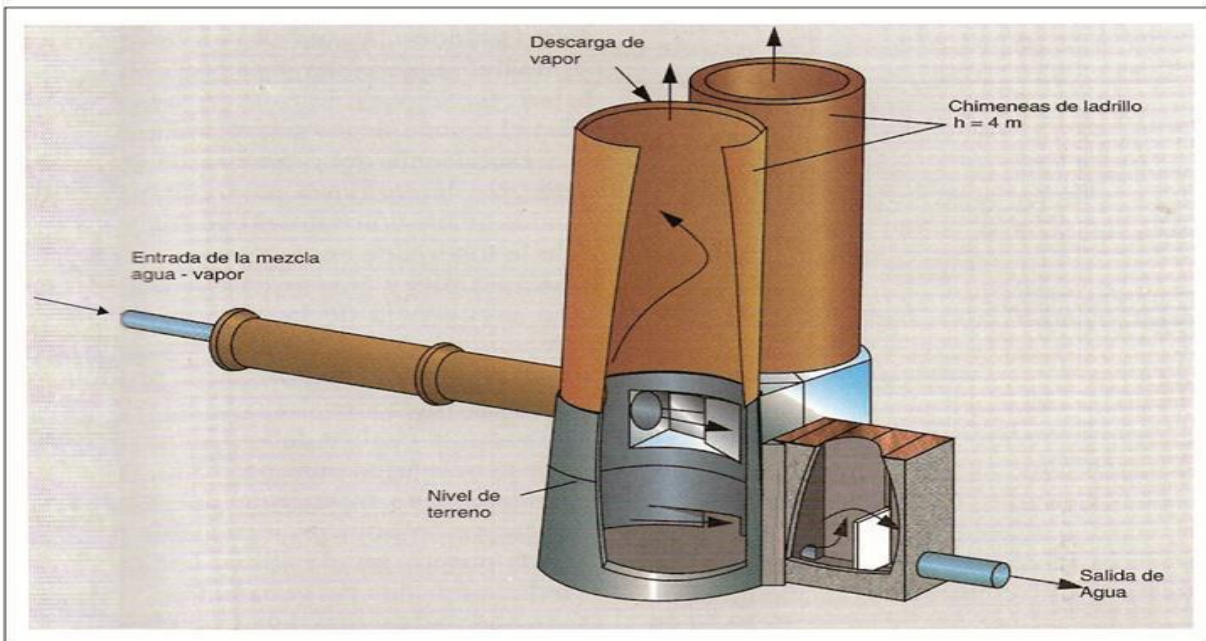
**Figura 5 Esquema diagramático de la salida de fondo del separador (Consortio Energetico Corpoema-UPME, 2010).**

Este separador según la figura 5 puede ser de las dimensiones que se requiera de acuerdo a las necesidades del pozo, siempre y cuando cumpla con las relaciones establecidas.

El vapor sube y se saca por la tubería central ubicada desde el fondo. Para un buen separador podemos pensar en una gran eficiencia, y podemos esperar que el agua residual presente en el vapor es menos de una parte por millón por peso.

Cuando los fluidos desechados se sacan directamente a la atmosfera se puede generar un gran ruido el cual puede llegar a ser muy molesto y puede llegar a afectar la capacidad auditiva de trabajadores y vecinos. Por tal motivo es imprescindible disminuir los niveles de ruido instalando un silenciador que cuide además el agua desechada.

“Con el silenciador, se elimina el ruido que tiene una frecuencia alrededor de los 1.000 ciclos/s, el cual es particularmente molesto” (Consortio Energetico Corpoema-UPME, 2010), vemos un esquema de un silenciador básico en la figura 6



**Figura 6 Silenciador (Consortio Energetico Corpoema-UPME, 2010)**

Los silenciadores requieren un área importante debido a que son 2 chimeneas de 4m de alto cada una, las cuales requieren un área de cimentación y soporte importante.

### 3.7.2 Transmisión Del Vapor

Para esto se requiere una o más tuberías de diámetros considerables conectadas desde los cabezales en las bocas de pozo por medio de pequeñas tuberías. La distancia de estas puede requerir grandes longitudes de acuerdo a la dimensión de los proyectos.

Para el diseño de las líneas de transmisión debemos tener como variables de entrada la caída de presión en los cabezales y en el extremo de la tubería de envío y como resultante el diámetro de ellas.

Las características del grupo de pozos y su productividad a diferentes presiones del cabezal dan la pauta para elegir la presión de operación. Para esta presión dada y una determinada

longitud de tubería, la caída de presión es proporcional al cuadrado de la velocidad e inversamente proporcional al diámetro interior de la tubería, aunque también es proporcional a la densidad del vapor. (Consortio Energetico Corpoema-UPME, 2010)

Para evitar la erosión general del sistema se debe controlar que la velocidad con que recorre el fluido por el sistema no sea demasiado alta. Es mayor la erosión si el vapor contiene humedad o transporta finos. Basados en experiencias previas encontramos que lo ideal es tener velocidades entre 33 y 66 m/s para vapor saturado, teniendo en cuenta que la velocidad más baja es para recorrer las tuberías de menores diámetros y la mayor para tuberías de 12 pulgadas o más.

### **3.7.3 Transmisión Del Agua Caliente.**

Cuando se transporta el agua caliente en ebullición o cercano a este punto es importante asegurarse que la presión en todos los puntos de la tubería sea mayor que la del punto de ebullición eliminando la formación de vapor. Si se forma vapor se generan burbujas en el agua generando un incremento de la presión, esto puede ocasionar golpeteo en la tubería y una muy posible ruptura.

Para mantener constantes las presiones se puede usar el bombeo para incrementar presiones o introducir agua fría para bajar temperatura del agua a punto de ebullición o se pueden combinar las dos cosas si se requiere.

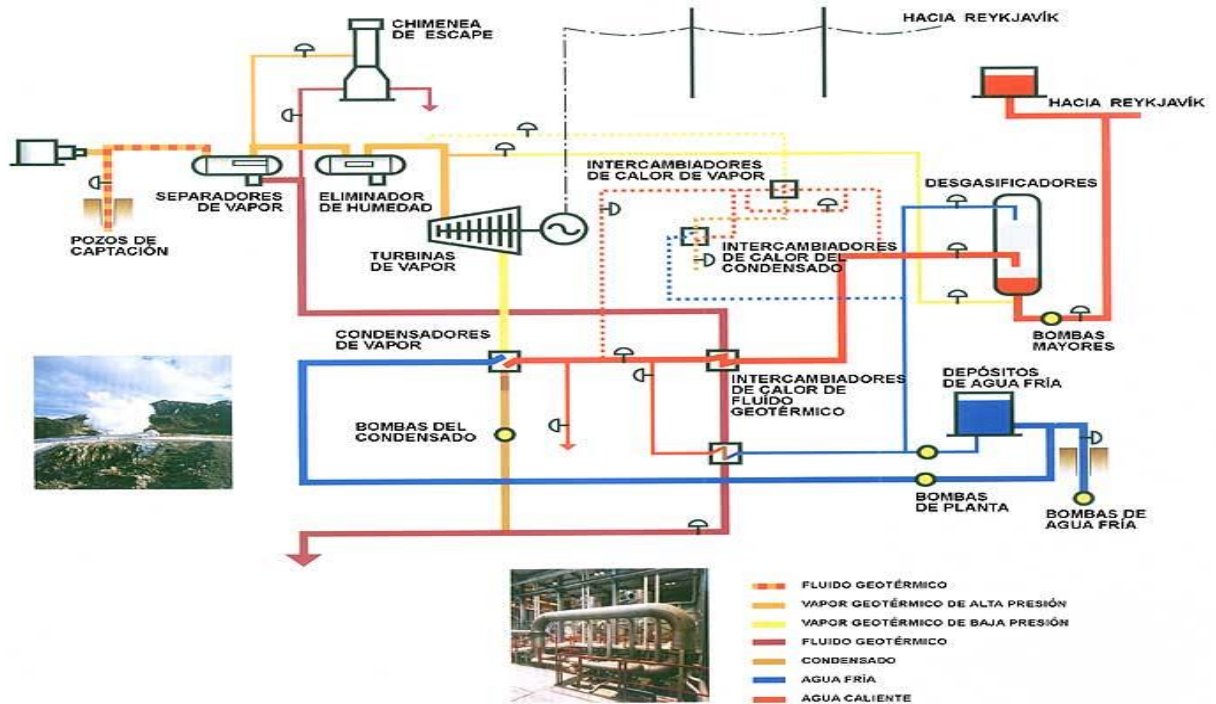
## **3.8 Funcionamiento de Una Planta Geotérmica Real**

Para ver de manera global el funcionamiento de una planta nos vamos a Islandia (uno de los grandes productores a nivel mundial), donde funciona la planta de generación geotérmica de Nesjavellir.



**Figura 7 Edificio principal de la Central Geotérmica de Nesjavellir. (Guðmunsson, 1996,2002,2005)**

Las Instalaciones de la planta, realmente no generan impacto importante sobre la población ni el medio ambiente como se observa en la figura 7.



Grafica 1 Esquema de la Central Geotérmica de Nesjavellir (Islandia). (Guðmunsson, 1996,2002,2005)

Claramente se evidencia que debido a la importancia de la planta genera energía eléctrica suficiente, transportada a los usuarios y utilizando también el agua caliente captada que igualmente es transportada directamente a los usuarios según el esquema.

El ciclo productor de energía se divide en tres fases: Captación y procesamiento del vapor de agua por medio de sondeos, captación y calentamiento del agua y, por último, producción de electricidad. Primeramente, la mezcla de agua y vapor es conducida mediante tuberías desde los sondeos a la estación de separación, en la que el agua y el vapor toman caminos distintos. El exceso de vapor y el agua sobrante se eliminan mediante una chimenea de escape. El agua y el vapor, ya separados en la estación, son conducidos a una central energética a unos 12 bares de presión y 190 °C de temperatura. El vapor pone en movimiento unas turbinas que producen electricidad. Cada una produce 30 MWe. En el condensador el vapor de agua se usa además para

el precalentamiento del agua fría. Por otro lado, y mediante el primer intercambiador de calor, el agua caliente se usa para el mismo fin. A continuación, el agua así calentada y la que se ha precalentado se mezclan antes de que tenga lugar el calentamiento final en el segundo intercambiador de calor. (Guðmunsson, 1996,2002,2005)

## **4. Objetivos Generales y Específicos**

### **4.1 Objetivo General**

Apoyar desde la academia la motivación general y los esfuerzos reales de exploración y explotación a nivel Colombia de una fuente de energía limpia y renovable como lo es la energía geotérmica. Esto basado en las políticas de estado y las preocupaciones de organismos multilaterales de apoyar técnica y económicamente proyectos de generación de energía que minimicen o eliminen los efectos negativos al medio ambiente, generando progreso y bienestar a la población, dando a conocer sus ventajas y posibles nichos de ejecución.

Agregando un aporte significativo a la preocupación mundial de cómo resolver el desafío energético: Cortar el vínculo entre crecimiento, consumo de energía y contaminación.

### **4.2 Objetivos Específicos**

- Recopilar información confiable de estudios realizados con respecto a la generación de energía geotérmica, investigar sus costos y analizar su aplicabilidad en el caso colombiano.

- Identificar las zonas del país que actualmente son objeto de estudio para la explotación de energía geotérmica y dar a conocer en qué etapa se encuentran.
- Definir ventajas reales de la explotación de energía geotérmica en Colombia, tales como impacto ambiental, social, político, técnico, etc.
- Establecer parámetros que permitan verificar de manera global la posibilidad de desarrollar un proyecto de generación y transmisión de energía geotérmica en Colombia.

## **5. Justificación**

Debido a la necesidad de conocer y aplicar un sistema de generación de energía amigable ambientalmente, estable ante los cambios climáticos y aprovechando la posición geográfica y las características geológicas de nuestro país (ventaja comparativa), queremos presentar la oportunidad que existe para entrar en el negocio de la generación de energía geotérmica, aprovechando las políticas gubernamentales actuales ante el desarrollo de fuentes no convencionales de energía.

Además este tipo de proyectos tienen vital importancia para Colombia y países vecinos debido a que todos aquellos esfuerzos encaminados al logro de un desarrollo de la producción de energía limpia y renovable, apoya al país en dos sectores de forma simultánea y complementaria. Por una parte la producción de más kW de energía procedente de fuentes no combustibles, como citamos en el Marco Teórico y también permitirá mayor disponibilidad para exportación de barriles de petróleo, generando mayores divisas que apoyen al país en su desarrollo.

Estos objetivos por si solos justifican plenamente el esfuerzo realizado en este trabajo, adicionalmente confiamos en que el mismo contribuirá de alguna manera a resolver el gran desafío energético que deben estarse planteando actualmente todos los países.

Este desafío es tener menos costos y mayor producción, generando el mínimo impacto sobre el medio ambiente; o como cita la ABB el desafío es “Cortar el vínculo entre crecimiento, consumo energético y emisiones” (Bondoni Carlos-ABB, 2012)

## **6. Plan Temático**

### **6.1 Recopilación de información**

Se busca información en documentos como, el Plan Nacional de Desarrollo como guía básica de esta investigación además de la Proyección de demanda de energía eléctrica y potencia máxima del Ministerio de Minas y Energía, de Formulación de Plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE) Vol. 2 – Diagnostico de las Fuentes No Convencionales de Energia en Colombia, de artículos de revistas, artículos en la web, reportes de encuentros multinacionales especializados en este tema y estudios previos de entidades internacionales para la realización de este tipo de proyectos.

### **6.2 Análisis de información**

Recopilada y filtrada la información se analizara las ventajas, desventajas y posibilidades reales de desarrollo de este tipo de proyecto en nuestro país.

### 6.3 Viabilidad

Basados en el análisis de la información se presentara la viabilidad de un proyecto de generación de energía geotérmica.

### 6.4 Conclusiones y lecciones aprendidas

Se determinara si es posible el desarrollo de un proyecto de generación de energía geotérmica y bajo qué condiciones. Además se recopilara aspectos adicionales aprendidos durante la ejecución del trabajo.

## 7. Desarrollo Del Trabajo

Basados en el análisis de la información recopilada ahora si podemos hablar de todo lo que implica el estudio y ejecución de un proyecto de Generación de Energía Geotérmica.

### 7.1 Horizonte

- **Tiempo de ejecución** Basándonos en la información obtenida en publicaciones de origen mexicano, se puede establecer que la duración del estudio y desarrollo de un proyecto para la generación de energía geotérmica esta entre 9 y 12 años (Torres-Alvarado, 2010).
- **Tiempo de aprovechamiento.** De acuerdo al estudio mencionado anteriormente el tiempo de aprovechamiento de un proyecto de generación de energía geotérmica es de 25 a 30 años, el cual se puede renovar en un tiempo de 2 a 3 años si el suelo lo permite. (Torres-Alvarado, 2010)

- **Carácter.** Este tipo de proyectos es de carácter mixto, es decir, económico y social.
- **Categoría.** Este es básicamente un proyecto a nivel de infraestructura prestando un servicio publico
- **Sector económico.** Este proyecto pertenece al sector económico de servicios.

## 7.2 Viabilidad

### 7.2.1 Viabilidad política.

En Colombia se adelantan estudios para generar energía a partir del calor interior dela tierra, mediante la geotérmica. Existen estudios de factibilidad y desde el 2011 el gobierno mostro su deseo de promoverla con una donación de 2.7 millones de dólares para el Fondo del Medio Ambiente Mundial (FMAM), administrado por el Banco Interamericano de Desarrollo BID. (Revista Semana Julio 8, 2012)

### 7.2.2 Viabilidad social.

A nivel social tiene una alta viabilidad en cuanto a las necesidades que puede satisfacer, ya que dependiendo del tipo de acuífero que se encuentre puede dar una amplia cobertura de energía eléctrica si es de alta entalpia, pero aun si es de baja entalpia puede satisfacer necesidades básicas como aire acondicionado y/o calefacción. Además se puede observar para este tipo de proyectos que:

- El área que se utiliza para la generación de este tipo de energía es mucho menor a la que utiliza en otros tipos de generación como la de energía hidroeléctrica. Aunque el área inicial, es decir el estudio arranca en un área de 10.000 a 100.000 km<sup>2</sup> al realizar la explotación esta es muy local llegando a usar entre 10 a 100 km<sup>2</sup>.

- Se pueden presentar dificultades en la negociación de las tierras con los habitantes de la zona, pero debido a que una vez definido el sitio exacto de explotación el área que se utiliza es tan pequeña , es mucho más fácil llegar a acuerdos con los habitantes que cuando se tienen que usar extensas áreas como ocurre con los proyectos hidroeléctricos
- Existen oportunidades de desarrollo de proyectos fronterizos de manera binacional
- Se impulsa el desarrollo socioeconómico de las zonas de influencia del proyecto.

### **7.2.3 Viabilidad Normativa.**

En Colombia, aún no se ha establecido un marco regulatorio específico para la geotermia, pero existen algunos puntos relacionados con la investigación y el manejo de las fuentes alternativas de energía. En efecto una de las funciones del Ministerio de minas y energía es “.... El desarrollo de las fuentes alternativas y en general sobre todas las actividades técnicas, económicas, jurídicas, industriales y comerciales relacionadas con el aprovechamiento integral de los recursos naturales no renovables y de la totalidad de las fuentes energéticas del país” (Proyecto OLADE/CEPAL/GTZ, 2000)

Lo que sí existe son algunas Leyes y reglamentos relacionados con el desarrollo del sector y serán abordados en los siguientes ítems:

**Medio ambiente.** “Un punto importante a tener en cuenta en la ejecución de cualquier proyecto de producción del sector eléctrico, es la conservación y uso adecuado de los recursos naturales, con el objetivo de mitigar y prevenir efectos perjudiciales al medio ambiente y lograr

un equilibrio entre los sectores que están relacionados de una u otra forma del proyecto (ambiental, social y empresarial). Para tal efecto la ley 99 de 1993 creó el Ministerio del Medio Ambiente como ente rector de la gestión del medio ambiente y los recursos naturales renovables del país; el Ministerio del Medio Ambiente es el encargado de definir las políticas en materia de recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente a fin de asegurar el desarrollo sostenible.

Las Corporaciones autónomas regionales son “entes corporativos de carácter público, creados por la ley, integrados por entidades territoriales que por sus características constituyen geográficamente un mismo ecosistema o conforman una unidad geopolítica, biogeográfica o hidro-geográfica, dotados de autonomía administrativa y financiera, patrimonio propio y personería jurídica, encargados por la ley de administrar, dentro del área de su jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables y propender por su desarrollo sostenible, de conformidad a las disposiciones legales y políticas del Ministerio del Medio Ambiente” (ley 99 de 1993)” (Proyecto OLADE/CEPAL/GTZ, 2000) .

Existen tres documentos vitales para la ejecución de este tipo de proyectos:

**Licencias ambientales:** El más importante de todos los requisitos dentro de la normatividad ambiental para dar inicio a un proyecto, es donde se establecen los requisitos a realizar para prevenir y disminuir los efectos ambientales (decreto 1753/94, artículo 2), es de carácter obligatorio y se aplica a todos los proyectos que puedan producir daño o deterioro a los recursos naturales (art 49 ley 99/93). Este documento lo pueden otorgar: Ministerio del Medio ambiente, las CAR, asentamientos urbanos con población superior a un millón de habitantes y entidades

territoriales delegatarias de la CAR; cada una de estas entidades tiene casos específicos para autorizar licencias (Arts. 7, 8,12 y 13 Dec 1753/94). En el capítulo VI del Decreto 1753/94 se especifica el procedimiento necesario para obtenerla, los causales para revocarla o suspenderla y los casos en que se modifica o se renueva (Proyecto OLADE/CEPAL/GTZ, 2000).

**Estudio de Impacto Ambiental (EIA):** Documento en el que se realiza la planeación de los procedimientos para la prevención y mitigación de los efectos secundarios al medio ambiente por la ejecución del proyecto va de la mano con la licencia ambiental y deberá corresponder en su contenido y profundidad a las características del proyecto (Arts.22y 23 decreto 1753/94). En el capítulo V del decreto 1753 de 1994, se desarrollan objetivos, alcances, y contenidos del estudio de impacto (Proyecto OLADE/CEPAL/GTZ, 2000).

**Diagnóstico Ambiental de Alternativas.** Si la autoridad ambiental competente estima necesaria la realización de un Diagnóstico Ambiental de Alternativas este debe incluir información sobre la localización y características del entorno geográfico, ambiental y social de las alternativas del proyecto, además de un análisis comparativo de los efectos y riesgos inherentes a la obra y las posibles soluciones, medidas de control y mitigación (Proyecto OLADE/CEPAL/GTZ, 2000).

**Inversión extranjera.** Se entiende como inversión extranjera a las inversiones realizadas, en territorio colombiano, por personas extranjeras y personas naturales no residentes en el país y las inversiones realizadas en el extranjero o en zona franca colombiana por un residente del país (Decreto 2012 del 94 y 1295 del 96). A partir de 1991 se dictó el régimen de inversión extranjera (ley #9). Dicha ley estableció la igualdad entre el capital externo y nacional; no se puede otorgar

ningún tipo de tratamiento discriminatorio o preferencial a cualquiera de los dos. La regulación de los derechos cambiarios es competencia del Banco de la Republica mientras que la regulación de los derechos sustantivos es labor del Consejo Nacional de Política Económica y social (CONPES) (Proyecto OLADE/CEPAL/GTZ, 2000).

### **Tipos de Inversión extranjera**

- **Inversiones extranjeras directas.** Aportes provenientes del exterior de propiedad de personas naturales o jurídicas extranjeras al capital de una empresa. También se considera la adquisición de participaciones, acciones o cuotas sociales y los aportes que realice el inversionista del exterior (Proyecto OLADE/CEPAL/GTZ, 2000) .
- **Inversiones de portafolio.** Son las inversiones en acciones o bonos obligatoriamente convertibles en acciones y otros valores negociables en bolsa de valores (Proyecto OLADE/CEPAL/GTZ, 2000).

#### **7.2.4 Viabilidad Técnica.**

Desde el punto de vista tecnológico, las tecnologías de energía renovables son aquellas que transforman los flujos de energía que se presentan en la naturaleza. Esta definición permite relacionar de manera directa a las energías renovables con el clima porque son estos flujos de energía los que se presentan y modelan el clima. Es entonces claro que las energías renovables están íntimamente ligadas al clima y que el cambio climático tiene necesariamente que impactarlas, es decir, que la utilización de las energías renovables es afectada por el cambio climático (de las energías renovables mencionadas anteriormente, la única que no se ve afectada

de manera directa por el clima y el cambio climático es la geotermia). (Consortio Energetico Corpoema-UPME, 2010)

Teniendo en cuenta el concepto vulcano-tectónico y las características geoquímicas de las manifestaciones termales y su periferia, puede concluirse que en Colombia se evidencian 4 sitios estratégicos para adelantar mayores investigaciones Geotérmicas.

- Azufrales de Tuquerres en el departamento de Nariño
- Chiles-Cerro Negro en la frontera con Ecuador, también en el departamento de Nariño.
- Paipa-Iza en el departamento de Boyacá
- Las Nereidas en el departamento de Caldas, Volcán del Ruiz

En algunos de estos lugares las descargas de agua y gases muestran las características típicas de yacimientos geotérmicos de alta entalpia, la fuente de calor garantizada por cámaras magmáticas de volcanes, aunque de todas formas la información sobre las fuentes es aún muy primaria y evaluada por métodos de estimaciones sobre las dimensiones, temperaturas, porosidades, etc.

Basados en esto podemos decir que se deberían hacer perforaciones entre los 3000m y 5000m de profundo.

### **7.2.5 Viabilidad Económica.**

La información presentada en “proyección de demanda de energía eléctrica y potencia máxima” del documento UPME, Revisión, Julio de 2012, nos muestra las proyecciones de demanda de energía eléctrica y potencia máxima hasta el año 2031, reflejando una tasa de

crecimiento alrededor del 3,7% en la generación del sistema interconectado nacional y un crecimiento de la demanda en un 3.3% (República de Colombia Ministerio de Minas y Energía , Unidad de Planeación Mineroenergética. Grupo de Demanda Energética-Subdirección de Planeación Energética, 2012)

Para la elaboración de las proyecciones de demanda de energía eléctrica y potencia, el Ministerio de Minas y Energía utiliza diferentes modelos buscando tener una buena aproximación. “La demanda de energía eléctrica nacional (sin considerar transacciones internacionales) está constituida por la suma de las ventas de energía reportadas por las empresas distribuidoras, la demanda de las cargas industriales especiales y las pérdidas de transmisión y distribución.

$$\text{Demanda} = \text{Ventas (distribuidoras)} + \text{Cargas Especiales} + \text{Pérdidas}$$

Para la obtención de la potencia, dada la dificultad de proyectar un evento que se presenta durante una hora al mes, se parte de la demanda de energía eléctrica mensual a la que se le aplica el factor de carga mensual, el cual se obtiene con base en la información de los últimos años. Igualmente, se introduce una sensibilidad en variación sobre este factor, para lo cual se considera que puede cambiar tanto hacia abajo como hacia arriba. Una vez obtenidas las proyecciones de potencia mensual, para cada año, se selecciona el valor máximo que será el valor de potencia máxima anual nacional.

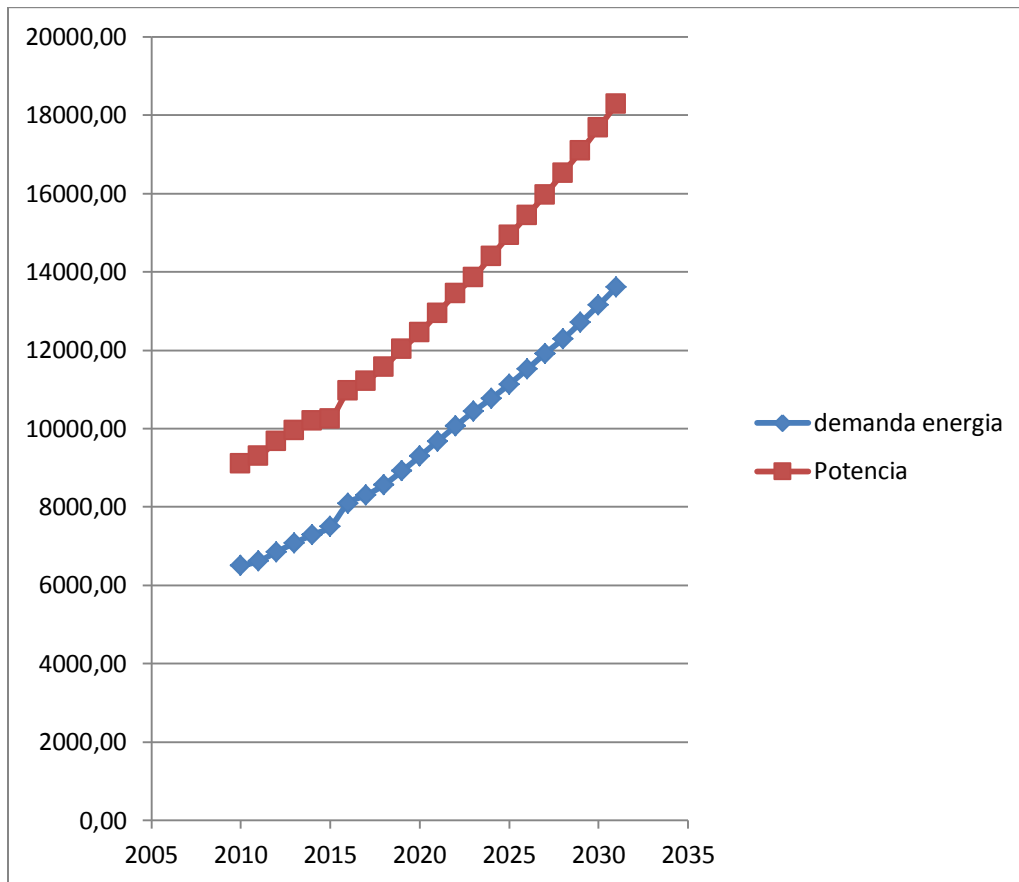
Ha sido de nuestro interés ver gráficamente proyectado la oferta y la demanda para verificar que el mercado de producción de energía necesita mantenerse en continuo crecimiento.

Como podemos observar en la gráfica 1, se proyecta un crecimiento constante en la demanda de energía que impulsa a proyectar un aumento en la potencia. Con esto se concluye que es obligatorio el aumento de generadores de energía, pero al seguir ampliando las fuentes de generación de energía convencionales estamos aumentando el daño ambiental, lo cual lleva a la necesidad de otras fuentes generadoras de energía como la geotérmica (República de Colombia Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Mineroenergética. Grupo de Demanda Energética-Subdirección de Planeación Energética, 2012)

Año	Demanda energía Gwhora/año	Demanda energía MW	Potencia max /año MW
2010	56146	6498,38	9100
2011	57150	6614,58	9295
2012	59203	6852,20	9668
2013	61170	7079,86	9944
2014	62994	7290,97	10188
2015	64776	7497,22	10246
2016	69931	8093,87	10961
2017	71686	8296,99	11206

2018	73977	8562,15	11572
2019	77009	8913,08	12022
2020	80265	9289,93	12444
2021	83634	9679,86	12942
2022	86931	10061,46	13444
2023	90140	10432,87	13859
2024	93046	10769,21	14400
2025	96167	11130,44	14927
2026	99468	11512,50	15435
2027	102958	11916,44	15966
2028	106123	12282,75	16522
2029	109805	12708,91	17085
2030	113635	13152,20	17678
2031	117629	13614,47	18289

**Tabla 2 Proyección de demanda de energía y potencia máxima Colombia (República de Colombia Ministerio de Minas y Energía , Unidad de Planeacion Mineroenergetica. Grupo de Demanda Energetica-Subdirección de Planeación Energética, 2012)**



**Grafica 1 proyección de demanda de energía eléctrica y potencia máxima**

(República de Colombia Ministerio de Minas y Energia , Unidad de Planeacion Mineroenergetica. Grupo de Demanda Energetica-Subdirección de Planeación Energética, 2012)

El análisis anterior nos muestra que la demanda de generación de energía va en aumento año tras año, lo cual requiere también mayor potencial de generación cada vez con mayores exigencias ambientales. Bajo esta perspectiva, podríamos pensar que la generación de energía geotérmica como negocio es viable.

## **8. Estudio Económico**

### **8.1 Ingresos**

En Colombia, el costo en dólares de un Kwh para el año 2009 en promedio es de 0,12 US\$/Kwh (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2009)

De nuevo considerando la inflación de los últimos años llevamos este valor al 2012 según la siguiente tabla

AÑO	INFLACION ANUAL	VALOR kWh (US\$)
2009		0,15
2010	1,0317	0,1548
2011	1,0373	0,1605
2012	1,0244	0,1644

**Tabla 3 Inflación Anual (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2009)**

Teniendo en cuenta el cuadro anterior el precio de venta promediado será de 0,1644 U\$/Kwh.

Para el estudio de rentabilidad se considerara una variación inter anual del 2,5% algo cercano a la inflación en los promedio de los últimos años

## **8.2 Gastos**

### **8.2.1 Inversiones Inicial Para Una Central Geotérmica De 15 Mw**

<b>FASE</b>	<b>VALOR (en miles de \$US)</b>
<b>1. Estudio de Pre factibilidad</b>	<b>500,00</b>
<b>2. Estudio de factibilidad</b>	<b>5.545,00</b>
2.1 Perforación pozos exploratorios (2)	3600
2.2 Expropiación de terrenos	25
2.3 Construcción de plataformas	50
2.4 Ampliación de carreteras de acceso	300
2.5 Cabezales de válvulas / pozos	150
2.6 Separador portátil	120
2.7 Ingeniería y administración	1300

**3. Desarrollo de campo 2.815,00**

3.1 Perforación pozos producción (1) 1800

3.2 Carreteras y plataformas 90

3.3 Cabezal 105

3.4 Sistema de separación / transporte 450

3.5 Separadores (3) 370

**4. Construcción de la Central 18.470,00**

4.1 Obras civiles 1900

4.2 Equipos electromecánico 12000

4.3 Estudios ambientales 70

4.4 Ingeniería y administración 1400

4.5 Gastos de Constitución 100

4.6 Líneas de transmisión (15 Km )	3000	
<b>SUBTOTAL (1+2+3+4)</b>	<b>27.330,00</b>	
IMPREVISTOS 10%	2.733,00	
<b>TOTAL</b>	<b>30.063,00</b>	
<b>TOTAL</b>	<b>CONSIDERANDO</b>	<b>54.473,77</b>
<b>INFLACION HASTA 2012</b>		

**Tabla 4 Costo de planta geotérmica (Proyecto OLADE/CEPAL/GTZ, 2000)**

Debido a que la información presentada en la tabla 4 está basada en datos del año 2000 se realizó una actualización considerando la inflación anual en Colombia desde el año 2000 al 2012. Se presenta inflación con valor por cada año en la siguiente tabla:

AÑO	INFLACION ANUAL	VALOR US\$
2000		30.063,00
2001	1,0776	32.395,89
2002	1,0699	34.660,37
2003	1,0649	36.909,82
2004	1,055	38.939,86
2005	1,0485	40.828,44
2006	1,0485	42.808,62
2007	1,0569	45.244,43
2008	1,0767	48.714,68

2009	1,0200	49.688,97
2010	1,0317	51.264,11
2011	1,0373	53.176,27
2012	1,0244	54.473,77

**Tabla 5 Ajuste de costo de planta según inflación (basada en tablas 8.1 y 8.2)**

### **8.2.2. Gastos de mantenimiento y operación de la planta.**

Basados en la información obtenida en un proyecto de fin de carrera de la (Microsoft, 2010)Universidad Pontificia de Comillas tenemos los siguientes gastos de mantenimiento y operación de una planta Geotérmica (Galante, 2007):

ITEMS	US Dólares \$
Salarios	715.400
Servicios de apoyo	280.000

Operación de la planta	468.965
Mantenimiento de la planta	500.000
Seguros	400.000
Beneficios sociales de ley	380.600
<b>Total operación y mantenimiento de la planta</b>	<b>2'744.965</b>

### **Tabla 6 Gastos de mantenimiento y operación (Galante, 2007)**

La cifra dada en la tabla anterior es considerada aplicable al primer año de funcionamiento de la planta y a partir de ahí se incrementaran al ritmo de la inflación interanual

Teniendo en cuenta los índices de inflación y basándonos en las proyecciones del BID asumimos para el proyecto una inflación anual del 2,5% para calcular el incremento anual de los gastos.

#### **8.2.3 Gastos de financiación.**

Para la inversión inicial de US\$ 54.473,77 se considera la solicitud de un préstamo al BID teniendo en cuenta el apoyo que presta esta entidad a este tipo de proyectos.

El BID presenta dos tipos de créditos escogiendo para este caso el llamado Facilidad Uni monetaria con Tasa ajustable FU- AJ con las siguientes características:

- Tasa interés de 5,2%

- Tasa básica ajustable de 5,2 %
- Diferencial de 0,3 %
- Valor de préstamo US\$ 54.473.770,00
- Vencimiento 24 años

Suponiendo una cuota anual constante de devolución del préstamo cada año se debe hacer un pago al BID de \$US 4.141.956,88 (Galante, 2007)

#### **8.2.4 Impuestos.**

Según publicaciones encontradas se descubrió que en Colombia la generación de Energías Renovables no tiene impuesto aplicable según la ley 788/02 el cual exime impuesto a la renta de venta de energía renovable, durante 15 años. (Betancourt, 2009)

### **8.3 Análisis de rentabilidad**

Usando la información de ingresos y gastos se efectúa el cálculo de rentabilidad del proyecto

#### **8.3.1 Gastos**

<b>Inversión Inicial</b>	<b>US\$ 54.473.700</b>
Cantidad a financiar por el BID	US\$ 54.473.700
Tasa Básica	5,2 %
Diferencial estándar BID	0,3%

Interés aplicable	5,5%
Duración del préstamo en años	24
<b>Cuota del préstamo</b>	<b>- \$US 4.141.957</b>
Operación y mantenimiento planta	US\$ 2.744.965
<b>Costos de Generación</b>	<b>US\$ 2.744.965</b>
<b>Costos de transmisión **</b>	<b>US\$ 411.745</b>
<b>TOTAL GASTOS</b>	<b>US\$7.298.667</b>

### **Tabla 7 Total Gastos**

\*\* Se considera el costo de transmisión el 15% del costo de generación

### **8.3.2 Datos de producción (US\$)**

Instalación (MW)	15,5
------------------	------

Vida útil instalación (años)	24
Producción anual (Kwh)	122.200.000
Costo de producción US\$/Kwh	0,0563
Costo de transmisión U\$/Kwh	0,0034
<b>Costo total US\$ /Kwh</b>	<b>0,0597</b>
<b>Precio de venta</b>	<b>0,1644 U\$/Kwh</b>

### **Tabla 8. Total precio de venta**

#### **8.3.3. Incrementos Interanuales (%)**

Inflación	3 %
Incremento precio electricidad	2,5%

### **Tabla 9 Incrementos Interanuales**

### **8.3.4 Índices De Rentabilidad**

A continuación se muestra la tabla que contiene el cálculo de los gastos e ingresos para cada año de producción. Se actualizan para cada año los valores teniendo en cuenta el incremento anual debido a la inflación y al incremento del precio de venta de la electricidad.

Año	Costo de instalación	Cuota prestamo	Operación y mantenimiento de la Planta de Generación	Sistema de transmisión	Total pagos	Venta Energía Eléctrica	Total ingresos	Flujo de caja	Saldo
0	\$ (54.473.700,00)							\$ (54.473.700,00)	
1		\$ (4.141.957,00)	\$ (2.744.965,00)	\$ (411.745,00)	\$ (7.298.667,00)	\$ 19.552.000,00	\$ 19.552.000,00	\$ 12.253.333,00	\$ (42.220.367,00)
2		\$ (4.141.957,00)	\$ (2.827.313,95)	\$ (424.097,35)	\$ (7.393.368,30)	\$ 20.040.800,00	\$ 20.040.800,00	\$ 12.647.431,70	\$ (29.572.935,30)
3		\$ (4.141.957,00)	\$ (2.912.133,37)	\$ (436.820,27)	\$ (7.490.910,64)	\$ 20.541.820,00	\$ 20.541.820,00	\$ 13.050.909,36	\$ (16.522.025,94)
4		\$ (4.141.957,00)	\$ (2.999.497,37)	\$ (449.924,88)	\$ (7.591.379,25)	\$ 21.055.365,50	\$ 21.055.365,50	\$ 13.463.986,25	\$ (3.058.039,69)
5		\$ (4.141.957,00)	\$ (3.089.482,29)	\$ (463.422,62)	\$ (7.694.861,92)	\$ 21.581.749,64	\$ 21.581.749,64	\$ 13.886.887,72	\$ 10.828.848,03
6		\$ (4.141.957,00)	\$ (3.182.166,76)	\$ (477.325,30)	\$ (7.801.449,06)	\$ 22.121.293,38	\$ 22.121.293,38	\$ 14.319.844,32	\$ 25.148.692,35
7		\$ (4.141.957,00)	\$ (3.277.631,76)	\$ (491.645,06)	\$ (7.911.233,82)	\$ 22.674.325,71	\$ 22.674.325,71	\$ 14.763.091,89	\$ 39.911.784,24
8		\$ (4.141.957,00)	\$ (3.375.960,72)	\$ (506.394,41)	\$ (8.024.312,13)	\$ 23.241.183,86	\$ 23.241.183,86	\$ 15.216.871,73	\$ 55.128.655,96
9		\$ (4.141.957,00)	\$ (3.477.239,54)	\$ (521.586,25)	\$ (8.140.782,78)	\$ 23.822.213,45	\$ 23.822.213,45	\$ 15.681.430,67	\$ 70.810.086,63
10		\$ (4.141.957,00)	\$ (3.581.556,72)	\$ (537.233,83)	\$ (8.260.747,56)	\$ 24.417.768,79	\$ 24.417.768,79	\$ 16.157.021,23	\$ 86.967.107,86
11		\$ (4.141.957,00)	\$ (3.689.003,42)	\$ (553.350,85)	\$ (8.384.311,27)	\$ 25.028.213,01	\$ 25.028.213,01	\$ 16.643.901,73	\$ 103.611.009,60
12		\$ (4.141.957,00)	\$ (3.799.673,53)	\$ (569.951,38)	\$ (8.511.581,90)	\$ 25.653.918,33	\$ 25.653.918,33	\$ 17.142.336,43	\$ 120.753.346,03
13		\$ (4.141.957,00)	\$ (3.913.663,73)	\$ (587.049,92)	\$ (8.642.670,65)	\$ 26.295.266,29	\$ 26.295.266,29	\$ 17.652.595,64	\$ 138.405.941,67
14		\$ (4.141.957,00)	\$ (4.031.073,64)	\$ (604.661,41)	\$ (8.777.692,06)	\$ 26.952.647,95	\$ 26.952.647,95	\$ 18.174.955,89	\$ 156.580.897,56
15		\$ (4.141.957,00)	\$ (4.152.005,85)	\$ (622.801,26)	\$ (8.916.764,11)	\$ 27.626.464,15	\$ 27.626.464,15	\$ 18.709.700,04	\$ 175.290.597,60
16		\$ (4.141.957,00)	\$ (4.276.566,03)	\$ (641.485,29)	\$ (9.060.008,32)	\$ 28.317.125,75	\$ 28.317.125,75	\$ 19.257.117,43	\$ 194.547.715,03
17		\$ (4.141.957,00)	\$ (4.404.863,01)	\$ (660.729,85)	\$ (9.207.549,86)	\$ 29.025.053,90	\$ 29.025.053,90	\$ 19.817.504,03	\$ 214.365.219,06
18		\$ (4.141.957,00)	\$ (4.537.008,90)	\$ (680.551,75)	\$ (9.359.517,65)	\$ 29.750.680,24	\$ 29.750.680,24	\$ 20.391.162,59	\$ 234.756.381,65
19		\$ (4.141.957,00)	\$ (4.673.119,17)	\$ (700.968,30)	\$ (9.516.044,47)	\$ 30.494.447,25	\$ 30.494.447,25	\$ 20.978.402,78	\$ 255.734.784,43
20		\$ (4.141.957,00)	\$ (4.813.312,74)	\$ (721.997,35)	\$ (9.677.267,09)	\$ 31.256.808,43	\$ 31.256.808,43	\$ 21.579.541,34	\$ 277.314.325,77
21		\$ (4.141.957,00)	\$ (4.957.712,13)	\$ (743.657,27)	\$ (9.843.326,40)	\$ 32.038.228,64	\$ 32.038.228,64	\$ 22.194.902,24	\$ 299.509.228,01
22		\$ (4.141.957,00)	\$ (5.106.443,49)	\$ (765.966,99)	\$ (10.014.367,48)	\$ 32.839.184,36	\$ 32.839.184,36	\$ 22.824.816,88	\$ 322.334.044,89
23		\$ (4.141.957,00)	\$ (5.259.636,79)	\$ (788.946,00)	\$ (10.190.539,79)	\$ 33.660.163,97	\$ 33.660.163,97	\$ 23.469.624,17	\$ 345.803.669,07
24		\$ (4.141.957,00)	\$ (5.417.425,90)	\$ (812.614,38)	\$ (10.371.997,28)	\$ 34.501.668,06	\$ 34.501.668,06	\$ 24.129.670,79	\$ 369.933.339,86

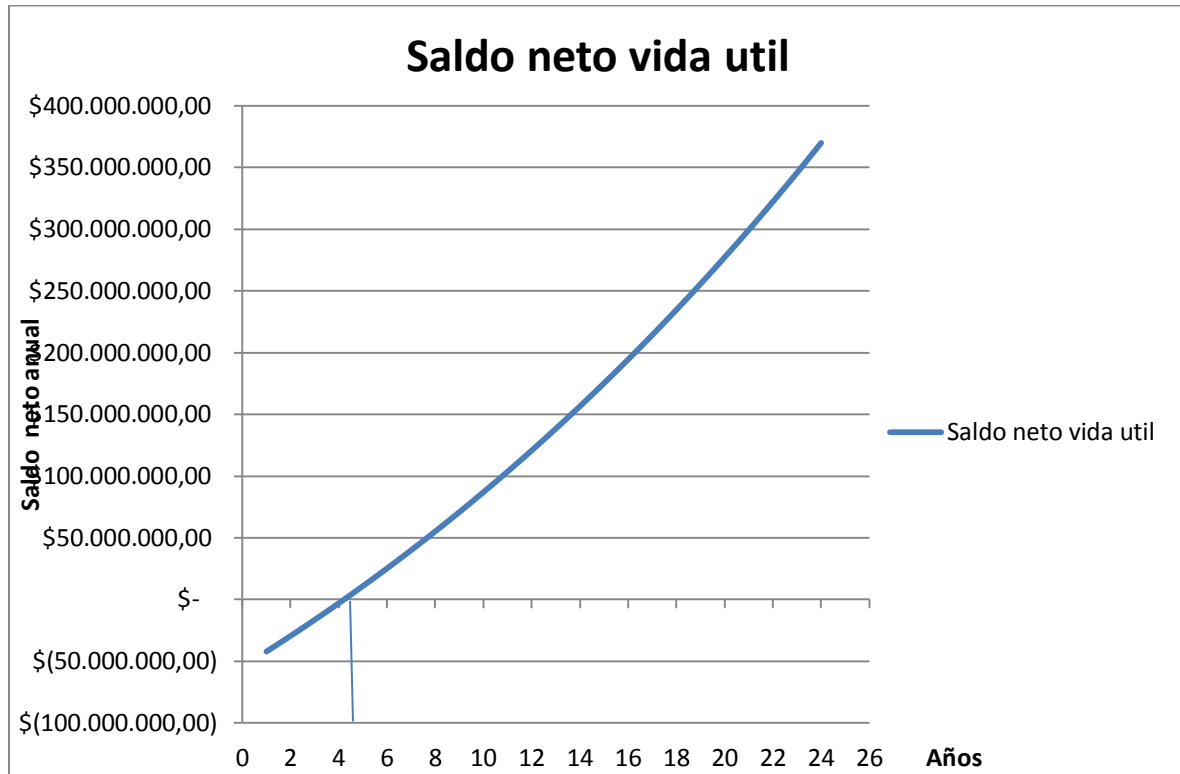
Tabla 10 Flujo de caja (Microsoft, 2010)

**8.3.4.1 Valor Actual Neto (VAN)**

i	\$ (54.473.700,00)	
j	FC <sub>j</sub>	FC <sub>j</sub> /(1+i) <sup>j</sup>
1	\$ 12.253.333,00	\$ 11.614.533,65
2	\$ 12.647.431,70	\$ 11.363.115,56
3	\$ 13.050.909,36	\$ 11.114.332,74
4	\$ 13.463.986,25	\$ 10.868.355,13
5	\$ 13.886.887,72	\$ 10.625.334,86
6	\$ 14.319.844,32	\$ 10.385.407,42
7	\$ 14.763.091,89	\$ 10.148.692,77
8	\$ 15.216.871,73	\$ 9.915.296,43
9	\$ 15.681.430,67	\$ 9.685.310,44
10	\$ 16.157.021,23	\$ 9.458.814,30
11	\$ 16.643.901,73	\$ 9.235.875,86
12	\$ 17.142.336,43	\$ 9.016.552,14
13	\$ 17.652.595,64	\$ 8.800.890,10
14	\$ 18.174.955,89	\$ 8.588.927,38
15	\$ 18.709.700,04	\$ 8.380.692,97
16	\$ 19.257.117,43	\$ 8.176.207,87
17	\$ 19.817.504,03	\$ 7.975.485,71
18	\$ 20.391.162,59	\$ 7.778.533,28
19	\$ 20.978.402,78	\$ 7.585.351,08
20	\$ 21.579.541,34	\$ 7.395.933,83
21	\$ 22.194.902,24	\$ 7.210.270,94
22	\$ 22.824.816,88	\$ 7.028.346,92
23	\$ 23.469.624,17	\$ 6.850.141,83
24	\$ 24.129.670,79	\$ 6.675.631,66
	ΣFC <sub>j</sub> /(1+i) <sup>j</sup>	\$ 215.878.034,89
	VAN	\$ 161.404.334,89

**Tabla 11 calculo VAN (Microsoft, 2010)**

**8.3.4.2 Periodo de Retorno de la Inversión (PRI)**



**Grafico 2 Saldo Neto Vida Útil (Microsoft, 2010)**

Se tiene que el saldo neto es positivo por primera vez en el quinto año de funcionamiento del proyecto, es decir que si dejase de funcionar antes de este año, no se alcanzaría a recuperar la inversión inicial, con lo anterior podemos concluir que el Periodo de Retorno de la Inversión es de 5 años, lo cual parece muy atractivo para cualquier inversionista que sepa de este tipo de proyectos.

El Periodo de Retorno de la Inversión (PRI) es un indicador muy relevante en la toma de decisiones en el mercado de inversionistas, ya que junto a la VAN y la TIR generan de manera clara la valoración de proyectos, además que el PRI genera una visión a corto plazo del flujo de caja, rentabilidad relativa y riesgos asociados a la inversión.

**8.3.4.3 Tasa Interna de Retorno.** Para una inversión inicial de US\$ 54.473.700 y 24 años de vida útil de la planta, se tiene una tasa interna de rentabilidad (TIR) de 25, 41% (Usando como herramienta de cálculo Excel)

### **8.3.5 Análisis De Riesgo (Simulación de Montecarlo)**

Queriendo profundizar en el análisis del riesgo de resultados económicos del proyecto decidimos usar como herramienta académica el programa RISK de la Organización Palisade (@Risk-PALISADE-Elaboracion Propia, 2013) y basados en el modelo estático hecho previamente se obtienen los siguientes resultados los cuales nos aportan datos para el desarrollo de nuestras conclusiones.

#### **8.3.5.1 ¿Qué es la Simulación de Monte Carlo?**

La Simulación de Monte Carlo consiste en el uso de muestras aleatorias repetidas para simular datos en un determinado modelo matemático y evaluar los resultados. Este método se aplicó inicialmente en la década entre 1940 y 1950 cuando los científicos que trabajaron en la creación de la bomba atómica lo utilizaron para calcular las probabilidades de que la fisión de un átomo de uranio provocara una reacción de fisión en otro. Debido a la escasez de uranio, no convenía aplicar el método experimental de ensayo y error. Los científicos descubrieron que,

siempre y cuando crearan suficientes datos simulados, podrían calcular probabilidades confiables y reducir la cantidad de uranio necesario para las pruebas (Minitab Inc, 2013).

La idea es ir más allá en la valoración de los posibles resultados económicos de un proyecto, dejando de lado la ingenuidad en la definición de los parámetros iniciales, pensando que estos se mantendrán constantes a lo largo de la operación. Siendo la realidad que cada uno de estos parámetros tienden a seguir un comportamiento determinado, que basados en estudios o juicios de expertos podemos aproximar con bastante precisión qué tipo de distribución probabilística es la que mejor representa el comportamiento de cada una de las variables de entrada del modelo estático para luego realizar la simulación.

Los resultados que nos arroja la simulación tienen mucha utilidad sobre todo cuando el método de ensayo y error resulta muy costoso o poco práctico, como es el caso que nos compete.

#### **8.3.5.2 Utilidad de la Simulación de Monte Carlo**

Los resultados que obtenemos son de gran utilidad en la toma de decisiones ya que nos permite: Obtener rangos de posibles resultados del proyecto, contar con un pronóstico confiable de los parámetros financieros para la evaluación de proyectos, establecer el orden de prioridad e impacto de las variables que inciden en los resultados, establecer la certeza con que el gerente puede garantizar los resultados del mismo y soportar los planes para el manejo del riesgo del proyecto como uno de los factores claves del éxito del mismo.

### 8.3.5.3 Pasos Para Establecer Una Simulación de Monte Carlo

Para el establecimiento de un modelo de Simulación de Monte Carlo empleando un software comercial como el usado en este trabajo se sigue un procedimiento sencillo y generalizado por casi todos los proveedores de estos Software:

**Primero:** Determinar el Modelo estático, esto se refiere al modelo cuantitativo del proyecto, que en este caso son las ecuaciones para el cálculo de PRI, VAN y TIR.

**Segundo:** Definir parámetros de entrada, determina qué tipo de distribución probabilística se aplica a cada parámetro definido como entrada del modelo (normal, triangular, uniforme, etc.)

**Tercero:** Establecer datos aleatorios, Se debe establecer un valor de simulaciones aleatorias suficientemente representativo que le dé la validez a la simulación, en este caso se establecen 1000 simulaciones.

**Cuarto:** Correr la Simulación de Monte Carlo e interpretar los resultados, una vez realizadas las corridas de la Simulación de Monte Carlo se establece la interpretación de estos resultados, es la parte de mayor valor de una Simulación y de allí la gran utilidad al establecer soporte para la toma de decisiones respecto al proyecto, en este caso se realiza el análisis a continuación.

### 8.3.5.4 Variables de Entrada

Inicialmente para el análisis tenemos como base las 6 variables con las que manejamos el modelo y consideramos las siguientes distribuciones y rangos para cada una de ellas:

- Incremento del precio de la Energía con una distribución Normal, con una media de 2,5% y desviación de 0,01.
- Una inflación con una distribución Normal, con una media de 0,03 y desviación de 0,01.
- Unos ingresos por ventas de energía kwh (tarifa) con una distribución triangular teniendo un valor mínimo de 0,10, un valor medio de 0,15 y un valor máximo de 0,20 dólares.
- Una producción anual kWh con una distribución triangular teniendo un valor mínimo de 80.000.000, un valor medio de 117.400.000 y un valor máximo 150.000.000.
- Un total de inversión con una distribución triangular teniendo un valor mínimo de 44.473.770, un valor medio de 54.473.770 y un valor máximo 64.473.770 de dólares.
- Un total calculado de gastos de operación y mantenimiento con una distribución triangular teniendo un valor mínimo de 2.000.000, un valor medio de 54.473.770 y un valor máximo 3.000.000 de dólares.

Todo lo anterior se observa en el cuadro que se muestra a continuación.

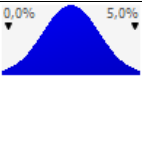
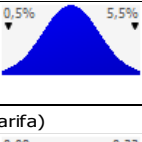
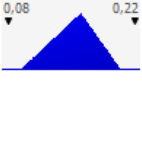
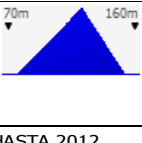
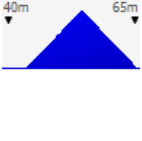
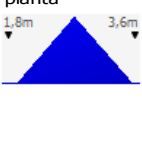
<b>Entradas de modelo @RISK</b>							
Ejecutado por: USER							
Fecha: lunes, 11 de noviembre de 2013 07:48:41 p.m.							
	Nombre	Celda	Gráfico	Función	Mín	Media	Máx
Categoría: incremento de precio de energía							
	incremento de precio de energía / MODELO DE FLUJO DE CAJA DESCONTADO	B26		RiskNormal(0,025;0,01;RiskStatic(0,025))	-∞	2,5%	+∞
Categoría: inflación							
	inflación / MODELO DE FLUJO DE CAJA DESCONTADO	B25		RiskNormal(0,03;0,01;RiskStatic(0,03))	-∞	3,0%	+∞
Categoría: Ingresos por venta de energía KWh (Tarifa)							
	Ingresos por venta de energía KWh (Tarifa) / MODELO DE FLUJO DE CAJA DESCONTADO	B31		RiskTriang(0,1;0,16;0,2;RiskStatic(0,16))	USD 0,10	USD 0,15	USD 0,20
Categoría: Produccion anual KWh							
	Produccion anual KWh / MODELO DE FLUJO DE CAJA DESCONTADO	B32		RiskTriang(8000000;122200000;150000000;RiskStatic(122200000))	80.000.000,00	117.400.000,00	150.000.000,00
Categoría: TOTAL CONSIDERANDO INFLACION HASTA 2012							
	TOTAL CONSIDERANDO INFLACION HASTA 2012 / MODELO DE FLUJO DE CAJA DESCONTADO	B15		RiskTriang(44473770;54473770;64473770;RiskStatic(54473770))	USD 44.473.770	USD 54.473.770	USD 64.473.770
Categoría: Total operación y mantenimiento de la planta							
	Total operación y mantenimiento de la planta / MODELO DE FLUJO DE CAJA DESCONTADO	B39		RiskTriang(2000000;2744965;3500000;RiskStatic(2744965))	USD 2.000.000	USD 2.748.322	USD 3.500.000

Tabla 12 Entradas del modelo (@Risk-PALISADE-Elaboracion Propia, 2013)

### 8.3.5.5 Variables de salida o pronóstico

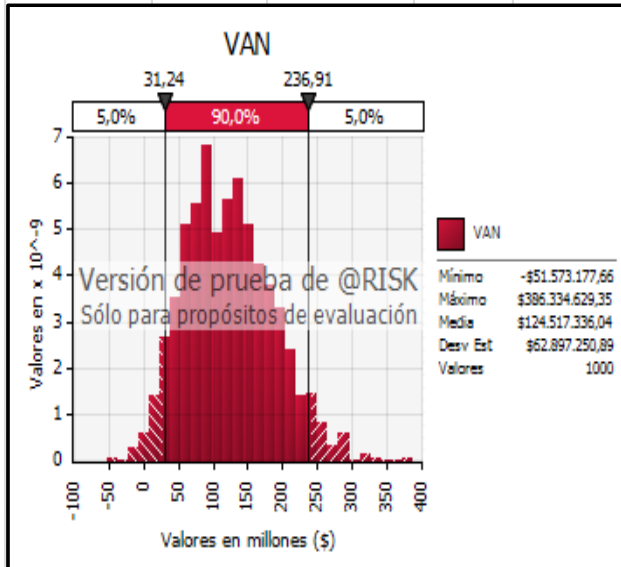
Para la valoración del proyecto se determinaron la variables usuales como son la VAN , la TIR y además el retorno de la inversión.

Estos son los resultados después de la evaluación con respecto a la salida VAN

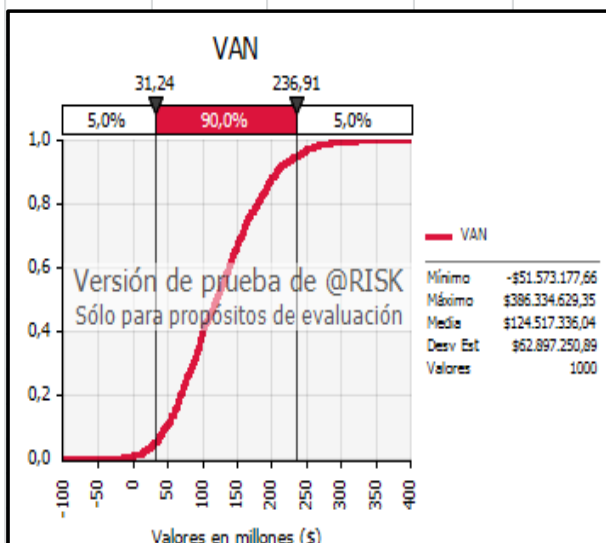
### Informe @RISK Salida para VAN

Ejecutado por: USER

Fecha: lunes, 11 de noviembre de 2013 07:48:31 p.m.

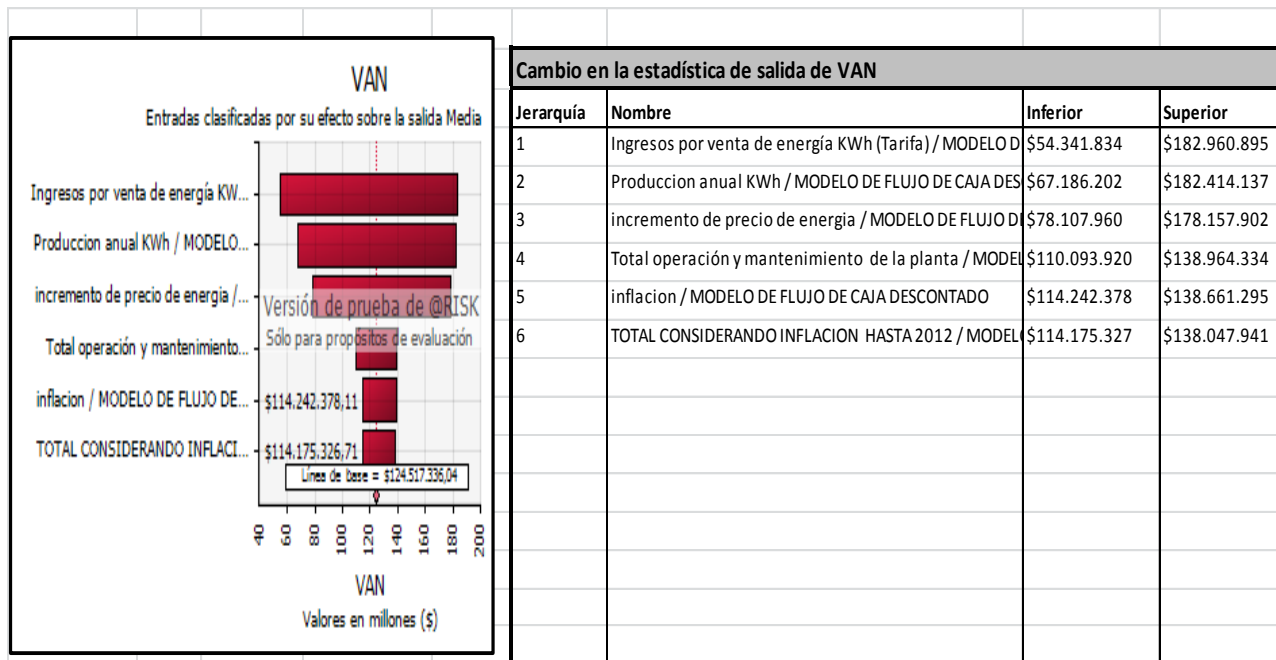


Información de resumen de simulación	
Nombre de libro de trabajo	analisis planta geotermica.xlsx
Número de simulaciones	1
Número de iteraciones	1000
Número de entradas	6
Número de salidas	3
Tipo de muestreo	Latino Hipercúbico
Tiempo de inicio de simulación	11/11/2013 19:47
Duración de simulación	00:00:08
Generador de # aleatorio	Mersenne Twister
Semilla aleatoria	246381707



Estadísticos resumen para VAN			
Estadísticos		Percentil	
Mínimo	(\$51.573.178)	5%	\$31.241.339
Máximo	\$386.334.629	10%	\$47.644.391
Media	\$124.517.336	15%	\$60.438.767
Desv Est	\$62.897.251	20%	\$67.703.212
Varianza	3,95606E+15	25%	\$76.515.425
Índice de sesgo	0,398221551	30%	\$86.460.504
Curtosis	3,015198858	35%	\$94.480.828
Mediana	\$120.525.369	40%	\$100.796.123
Moda	\$98.593.479	45%	\$110.616.641
X izquierda	\$31.241.339	50%	\$120.525.369
P izquierda	5%	55%	\$129.516.334
X derecha	\$236.910.207	60%	\$137.946.897
P derecha	95%	65%	\$145.883.865
Diff X	\$205.668.868	70%	\$156.727.364
Diff P	90%	75%	\$165.431.464
#Errores	0	80%	\$178.852.369
Filtro mín	Apagado	85%	\$192.996.424
Filtro máx	Apagado	90%	\$206.619.400

Esto nos muestra que podemos pensar que tenemos alrededor 15% de probabilidad perdida en este tipo de negocio.



**Tabla 13 Salidas VAN (@Risk-PALISADE-Elaboracion Propia, 2013)**

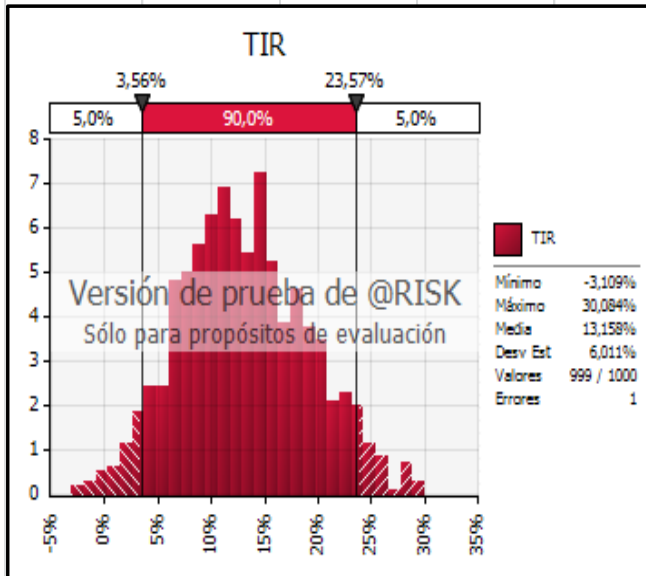
Nos muestra además que la variable más importante a tener en cuenta son los cambios en los ingresos por venta de energía que pueden variar entre 54.341.834 dólares y 182.960.895 dólares y la de menor incidencia es la del costo total de la planta que nos muestra varianzas entre 114.175.327 dólares y 138.047.941 dólares.

A continuación se observan los resultados para la TIR de acuerdo a nuestro análisis

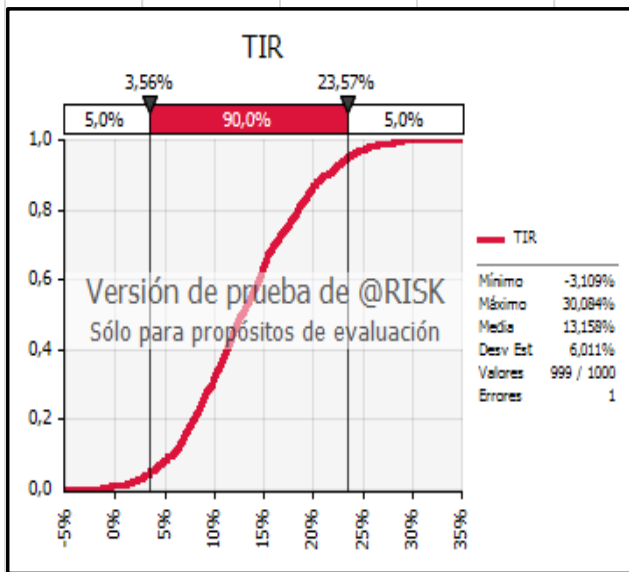
### Informe @RISK Salida para TIR

Ejecutado por: USER

Fecha: lunes, 11 de noviembre de 2013 07:48:32 p.m.

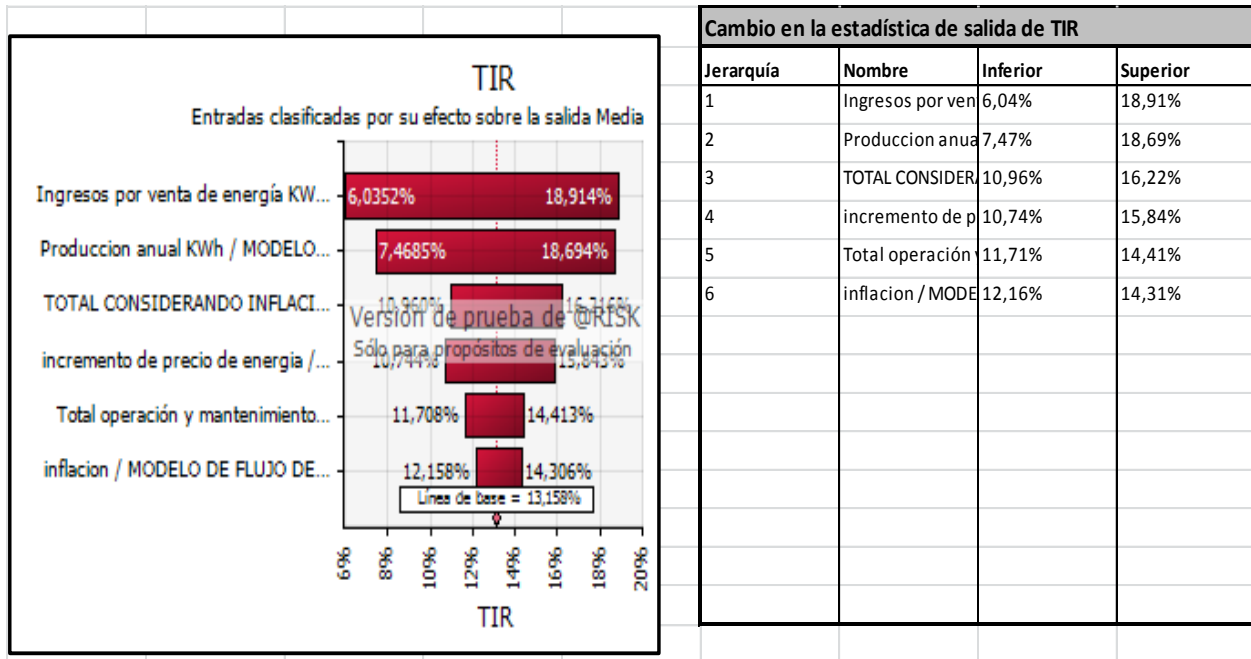


Información de resumen de simulación	
Nombre de libro de trabajo	analisis planta geotermica.xlsx
Número de simulaciones	1
Número de iteraciones	1000
Número de entradas	6
Número de salidas	3
Tipo de muestreo	Latino Hipercúbico
Tiempo de inicio de simulación	11/11/2013 19:47
Duración de simulación	00:00:08
Generador de #aleatorio	Mersenne Twister
Semilla aleatoria	246381707



Estadísticos resumen para TIR			
Estadísticos		Percentil	
Mínimo	-3,11%	5%	3,56%
Máximo	30,08%	10%	5,79%
Media	13,16%	15%	6,96%
Desv Est	6,01%	20%	8,00%
Varianza	0,003613251	25%	8,80%
Indice de sesgo	0,181745409	30%	9,76%
Curtosis	2,689626393	35%	10,57%
Mediana	12,82%	40%	11,26%
Moda	11,63%	45%	11,98%
X izquierda	3,56%	50%	12,82%
P izquierda	5%	55%	13,72%
X derecha	23,57%	60%	14,57%
P derecha	95%	65%	15,19%
DiffX	20,01%	70%	16,14%
DiffP	90%	75%	17,33%
#Errores	1	80%	18,49%
Filtro mín	Apagado	85%	19,70%
Filtro máx	Apagado	90%	21,46%
#Filtrado	0	95%	23,57%

Esto nos muestra que podemos pensar que tenemos alrededor 95% de probabilidad de obtener una TIR positiva lo cual nos da una gran pauta para la viabilidad del negocio.



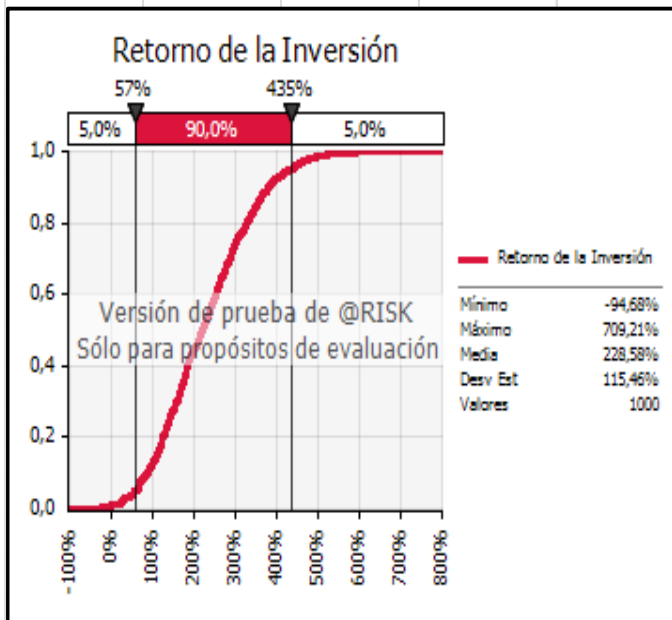
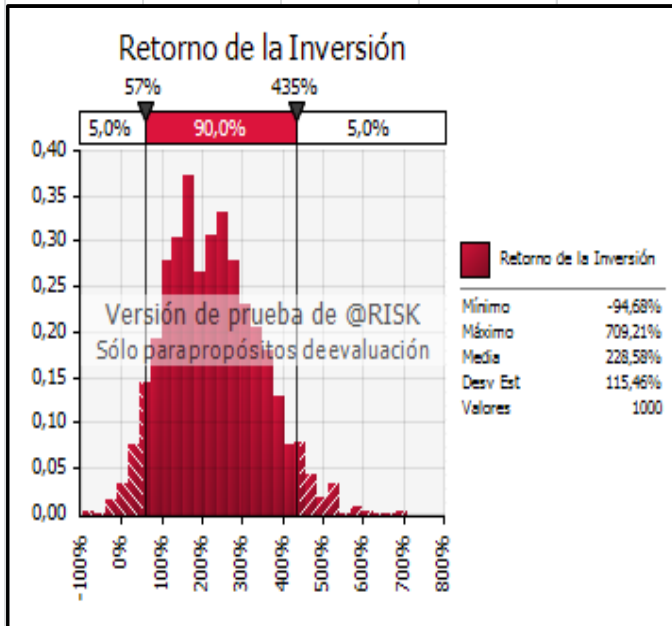
**Tabla 14 Salidas TIR (@Risk-PALISADE-Elaboracion Propia, 2013)**

Nos muestra además que la variable más importante a tener en cuenta son los cambios en los ingresos por venta de energía que pueden variar entre un 6,04% y 18,91% lo cual nos da la dimensión de la sensibilidad de esta variable.

# Informe @RISK Salida para Retorno de la Inversión

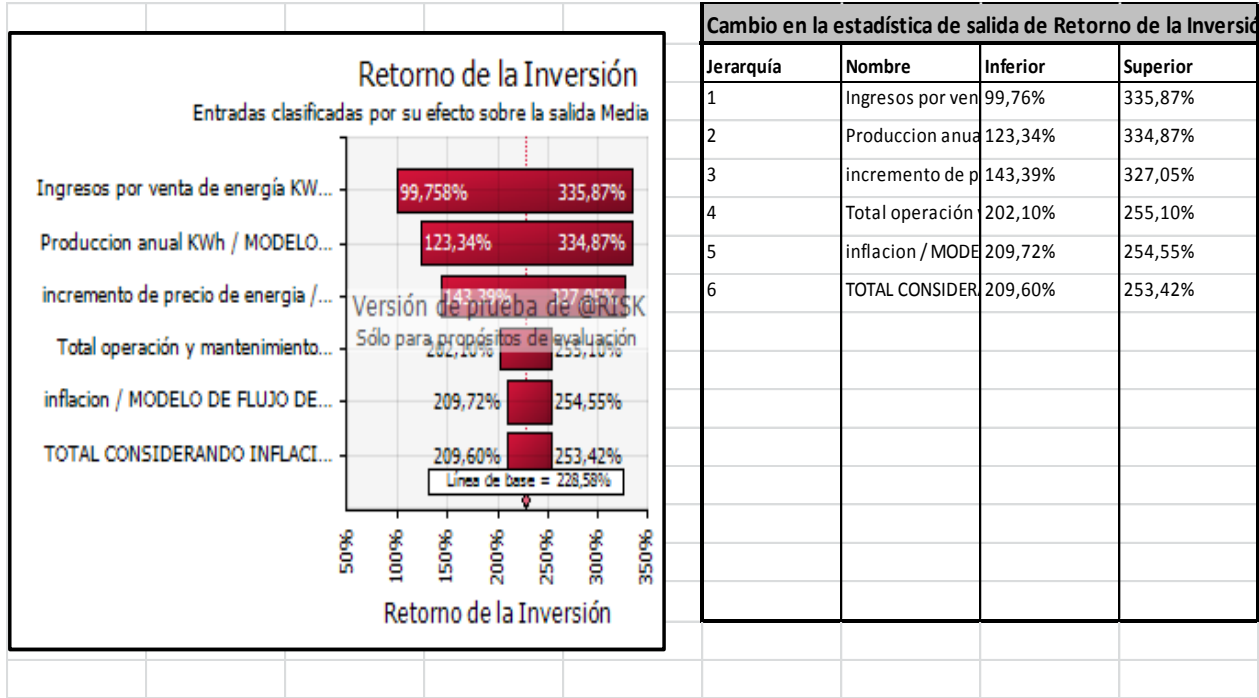
Ejecutado por: USER

Fecha: lunes, 11 de noviembre de 2013 07:48:33 p.m.



Información de resumen de simulación	
Nombre de libro de trabajo	analisis planta geotermica.xlsx
Número de simulaciones	1
Número de iteraciones	1000
Número de entradas	6
Número de salidas	3
Tipo de muestreo	Latino Hipercúbico
Tiempo de inicio de simulación	11/11/2013 19:47
Duración de simulación	00:00:08
Generador de # aleatorio	Mersenne Twister
Semilla aleatoria	246381707

Estadísticos resumen para Retorno de la Inversión			
Estadísticos		Percentil	
Mínimo	-94,68%	5%	57,35%
Máximo	709,21%	10%	87,46%
Media	228,58%	15%	110,95%
Desv Est	115,46%	20%	124,29%
Varianza	1,33318242	25%	140,46%
Indice de sesgo	0,398221551	30%	158,72%
Curtosis	3,015198858	35%	173,44%
Mediana	221,25%	40%	185,04%
Moda	180,99%	45%	203,06%
X izquierda	57,35%	50%	221,25%
P izquierda	5%	55%	237,76%
X derecha	434,91%	60%	253,24%
P derecha	95%	65%	267,81%
Diff X	377,56%	70%	287,71%
Diff P	90%	75%	303,69%
#Errores	0	80%	328,33%
Filtro mín	Apagado	85%	354,29%
Filtro máx	Apagado	90%	379,30%
#Filtrado	0	95%	434,91%



**Tabla 15 Salidas Retorno de la Inversión (@Risk-PALISADE-Elaboracion Propia, 2013)**

Para fines académicos se quiso involucrar el retorno de la inversión pero para nuestro ejemplo ratifica la alta probabilidad de retornar nuestra inversión y la gran dependencia de este modelo con respecto a los ingresos por venta.

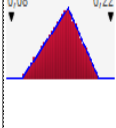
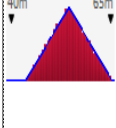


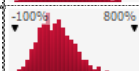
Resultados de entradas de @RISK									
Ejecutado por: USER									
Fecha: lunes, 11 de noviembre de 2013 07:48:34 p.m.									
	Nombre	Celda	Gráfico	Min	Media	Máx	5%	95%	Errores
Categoría: incremento de precio de energía									
	incremento de precio de energía / MODELO DE FLUJO DE CAJA DESCONTADO	B26		-1,6%	2,5%	5,9%	0,9%	4,1%	0
Categoría: inflacion									
	inflacion / MODELO DE FLUJO DE CAJA DESCONTADO	B25		-0,1%	3,0%	6,1%	1,4%	4,6%	0
Categoría: Ingresos por venta de energía KWh (Tarifa)									
	Ingresos por venta de energía KWh (Tarifa) / MODELO DE FLUJO DE CAJA DESCONTADO	B31		USD 0,10	USD 0,15	USD 0,20	USD 0,12	USD 0,19	0
Categoría: Produccion anual KWh									
	Produccion anual KWh / MODELO DE FLUJO DE CAJA DESCONTADO	B32		81.690.730,00	117.400.300,00	148.614.600,00	92.082.310,00	140.096.400,00	0
Categoría: TOTAL CONSIDERANDO INFLACION HASTA 2012									
	TOTAL CONSIDERANDO INFLACION HASTA 2012 / MODELO DE FLUJO DE CAJA DESCONTADO	B15		USD 44.775.860	USD 54.474.330	USD 64.407.190	USD 47.621.510	USD 61.299.600	0
Categoría: Total operación y mantenimiento de la planta									
	Total operación y mantenimiento de la planta / MODELO DE FLUJO DE CAJA DESCONTADO	B39		USD 2.016.428	USD 2.748.333	USD 3.490.937	USD 2.235.144	USD 3.261.423	0

Tabla 16 Tabla de Resultado de Entradas (@Risk-PALISADE-Elaboracion Propia, 2013)

**Resultados de salidas de @RISK**  
 Ejecutado por: USER  
 Fecha: lunes, 11 de noviembre de 2013 07:48:36 p.m.

Nombre	Celda	Gráfico	Mín	Media	Máx	5%	95%	Errores
VAN	F7		(\$51.573.180)	\$124.517.300	\$386.334.600	\$31.241.340	\$236.910.200	0
TIR	F8		-3,11%	13,16%	30,08%	3,56%	23,57%	1
Retorno de la Inversión	F9		-94,68%	228,58%	709,21%	57,35%	434,91%	0

**Tabla 17 Resultados de Salidas (@Risk-PALISADE-Elaboracion Propia, 2013)**

### Estadísticos detallados @RISK

Ejecutado por: USER

Fecha: lunes, 11 de noviembre de 2013 07:48:37 p.m.

Nombre	VAN	TIR	Retorno de la In	TOTAL CONSIDER	inflacion / MOD	incremento de p	Ingresos por ve	Produccion anual K	Total operación y me
Descripción	Salida	Salida	Salida	RiskTriang(444737	RiskNormal(0,03	RiskNormal(0,02	RiskTriang(0,1,0	RiskTriang(800000	RiskTriang(2000000;
Celda	Analisis planta g	Analisis planta g	Analisis planta g	Analisis planta geo	Analisis planta g	Analisis planta g	Analisis planta g	Analisis planta geo	Analisis planta geote
Mínimo	(\$51.573.178)	-3,11%	-94,68%	USD 44.775.860	-0,1%	-1,6%	USD 0,10	81.690.730,00	USD 2.016.428
Máximo	\$386.334.629	30,08%	709,21%	USD 64.407.190	6,1%	5,9%	USD 0,20	148.614.600,00	USD 3.490.937
Media	\$124.517.336	13,16%	228,58%	USD 54.474.330	3,0%	2,5%	USD 0,15	117.400.300,00	USD 2.748.333
Desviación est	\$62.897.251	6,01%	115,46%	USD 4.084.446	1,0%	1,0%	USD 0,02	14.394.650,00	USD 306.355
Varianza	3,95606E+15	0,003613251	1,333182	1,66827E+13	9,97692E-05	0,000100609	0,000422578	2,07206E+14	93853440000
Asimetría	0,3982216	0,1817454	0,3982216	0,000915805	-0,000496667	-0,02377601	-0,1915566	-0,1961539	0,007120493
Curtosis	3,015199	2,689626	3,015199	2,403193	2,945257	3,112233	2,403064	2,401165	2,404258
Errores	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Moda	\$98.593.479	11,63%	180,99%	USD 54.523.590	3,1%	2,6%	USD 0,16	122.630.800,00	USD 2.728.532
5% porc	\$31.241.339	3,56%	57,35%	USD 47.621.510	1,4%	0,9%	USD 0,12	92.082.310,00	USD 2.235.144
10% porc	\$47.644.391	5,79%	87,46%	USD 48.943.360	1,7%	1,2%	USD 0,12	97.102.750,00	USD 2.334.174
15% porc	\$60.438.767	6,96%	110,95%	USD 49.934.820	2,0%	1,5%	USD 0,13	101.038.400,00	USD 2.408.910
20% porc	\$67.703.212	8,00%	124,29%	USD 50.784.080	2,2%	1,7%	USD 0,13	104.299.000,00	USD 2.471.678
25% porc	\$76.515.425	8,80%	140,46%	USD 51.537.840	2,3%	1,8%	USD 0,14	107.148.400,00	USD 2.527.737
30% porc	\$86.460.504	9,76%	158,72%	USD 52.215.060	2,5%	2,0%	USD 0,14	109.745.500,00	USD 2.578.790
35% porc	\$94.480.828	10,57%	173,44%	USD 52.838.390	2,6%	2,1%	USD 0,15	112.131.600,00	USD 2.625.254
40% porc	\$100.796.123	11,26%	185,04%	USD 53.409.600	2,7%	2,2%	USD 0,15	114.364.000,00	USD 2.668.232
45% porc	\$110.616.641	11,98%	203,06%	USD 53.957.200	2,9%	2,4%	USD 0,15	116.444.000,00	USD 2.709.073
50% porc	\$120.525.369	12,82%	221,25%	USD 54.468.800	3,0%	2,5%	USD 0,15	118.411.700,00	USD 2.747.262
55% porc	\$129.516.334	13,72%	237,76%	USD 54.984.580	3,1%	2,6%	USD 0,16	120.281.200,00	USD 2.785.694
60% porc	\$137.946.897	14,57%	253,24%	USD 55.522.860	3,3%	2,8%	USD 0,16	122.093.600,00	USD 2.826.573
65% porc	\$145.883.865	15,19%	267,81%	USD 56.102.950	3,4%	2,9%	USD 0,16	123.898.600,00	USD 2.870.071
70% porc	\$156.727.364	16,14%	287,71%	USD 56.727.770	3,5%	3,0%	USD 0,17	125.819.400,00	USD 2.916.901
75% porc	\$165.431.464	17,33%	303,69%	USD 57.401.860	3,7%	3,2%	USD 0,17	127.924.600,00	USD 2.966.914
80% porc	\$178.852.369	18,49%	328,33%	USD 58.139.380	3,8%	3,3%	USD 0,17	130.271.600,00	USD 3.023.906
85% porc	\$192.996.424	19,70%	354,29%	USD 58.994.000	4,0%	3,5%	USD 0,18	132.905.000,00	USD 3.086.712
90% porc	\$206.619.400	21,46%	379,30%	USD 59.981.920	4,3%	3,8%	USD 0,18	135.984.500,00	USD 3.163.312
95% porc	\$236.910.207	23,57%	434,91%	USD 61.299.600	4,6%	4,1%	USD 0,19	140.096.400,00	USD 3.261.423

Tabla 18 Tabla de Resultados Estadísticos (@Risk-PALISADE-Elaboracion Propia, 2013)

Esta tabla nos muestra los peores escenarios que podemos encontrar para nuestro proyecto en caso de que todas nuestras variables de entrada estuviesen al mismo tiempo en su peor momento, con incrementos de precios negativos y teniendo producciones muy bajas o también nos muestra el mejor de todos si la producción fuese alta y a unos excelentes precios, que son nuestras variables con mayor influencia sobre el modelo. Además de esto observamos parámetros como la media y la desviación estándar del modelo que nos da porcentajes de probabilidad de que sucedan estos eventos.

<b>Análisis de sensibilidad @RISK</b>						
<b>Ejecutado por:</b> USER						
<b>Fecha:</b> lunes, 11 de noviembre de 2013 07:48:39 p.m.						
Jerarquizar para F7	Celda	Nombre	Descripción	Analisis planta geotermica!F7 VAN Rango de Media	Analisis planta geotermica!F8 TIR Rango de Media	Analisis planta geotermica!F9 Retorno de la Inversión Rango de Media
#1	B31	Ingresos por ve	RiskTriang(0,1;0	\$ 128.619.061,10	12,88%	236,11%
#2	B32	Produccion anual	RiskTriang(8000	\$ 115.227.934,42	11,23%	211,53%
#3	B26	incremento de p	RiskNormal(0,02	\$ 100.049.942,63	5,10%	183,67%
#4	B39	Total operación	RiskTriang(2000	\$ 28.870.413,45	2,71%	53,00%
#5	B25	inflacion / MODE	RiskNormal(0,03	\$ 24.418.916,99	2,15%	44,83%

**Tabla 19 Análisis de Sensibilidad (@Risk-PALISADE-Elaboracion Propia, 2013)**

<b>Análisis de escenarios @RISK</b>												
Ejecutado por: USER												
Fecha: lunes, 11 de noviembre de 2013 07:48:40 p.m.												
Entradas en escenario para F7 >75%	Celda	Nombre	Descripción	Analisis planta geotermica!F7 VAN Percentil	Analisis planta geotermica!F7 VAN Percentil	Analisis planta geotermica!F7 VAN Percentil	Analisis planta geotermica!F8 TIR Percentil	Analisis planta geotermica!F8 TIR Percentil	Analisis planta geotermica!F8 TIR Percentil	Analisis planta geotermica!F9 Retorno de la Inversión Percentil	Analisis planta geotermica!F9 Retorno de la Inversión Percentil	Analisis planta geotermica!F9 Retorno de la Inversión Percentil
				>75%	<25%	>90%	>75%	<25%	>90%	>75%	<25%	>90%
#1	B32	Produccion anual	RiskTriang(8000	0,775	0,227	0,815	0,772	0,238	0,814	0,775	0,227	0,815
#2	B31	Ingresos por venta	RiskTriang(0,1;0	0,746	0,18	0,82	0,789	0,171	0,857	0,746	0,18	0,82
#3	B26	incremento de p	RiskNormal(0,02	0,734	0,295	0,838	-	-	-	0,734	0,295	0,838
-	B39	Total operación	RiskTriang(2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	B25	inflacion / MODE	RiskNormal(0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tabla 20 Análisis de escenarios (@Risk-PALISADE-Elaboracion Propia, 2013).**

Estas últimas tablas nos reiteran la importancia de la producción anual y los ingresos por ventas en nuestro proyecto ya que se turnan el primer puesto en importancia y deben ser tenidos en cuenta antes de realizar la inversión.

## 9 Conclusiones

Mediante este trabajo de investigación y análisis llegamos a una conclusión básica: es inminente la búsqueda de fuentes de energía alternativas que puedan ayudar al país desde el punto de vista ambiental y económico ya que todo el petróleo generado en lugar de ser usado puede ser exportado, generando mayores ingresos al país y menor contaminación en nuestro territorio.

Es importante tener presente que para ser un proyecto de Energía con vida útil estimada de 30 años es supremamente interesante para el gobierno y para la empresa privada un Periodo de Retorno de la Inversión de tan solo 5 años.

Esta dado el ambiente nacional y multinacional para la exploración de pozos de energía geotérmica. Ya se encuentran en proceso varios proyectos en diferentes zonas del país pero ninguno en operación.

De acuerdo con el capítulo de análisis de costos de construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento en relación a la retribución económica de una planta geotérmica en Colombia encontramos valores que motivan la inversión en este campo e incentivos por parte del gobierno para encaminar esfuerzos privados y estatales hacia esta ruta.

Se concluye además con este estudio que en Colombia falta crear las normas que guíen y vigilen la generación de energía geotérmica, por tanto se están basando en experiencias en otros países para realizar los proyectos actuales guiados por la ISO500001 y La Olade los cuales fueron consultados durante nuestra investigación .

Identificamos en Colombia 4 sitios estratégicos los cuales están en proceso de investigaciones geotérmicas como son: Azufral de Tuquerres en el departamento de Nariño, Chiles-Cerro Negro en la frontera con Ecuador el cual es un proyecto binacional de grandes dimensiones, también en el departamento de Nariño, Paipa-Iza en el departamento de Boyacá y Las Nereidas en el departamento de Caldas, Volcán del Ruiz.

En conclusión general podemos decir que para el reto de encontrar solución al desafío energético, con el uso de las fuentes energía geotérmica encontramos una respuesta sostenible y un gran potencial para Colombia.

### **Bibliografía**

- @Risk-PALISADE-Elaboracion Propia. (2013). *Palisade Corporation-Creador del riesgo y análisis de las y de las decisiones*. Obtenido de [www.palisade-lta.com/](http://www.palisade-lta.com/)
- Betancourt, L. I. (2009). Energías Renovables: Marco Jurídico en Colombia. *Revista perspectiva*, 71.
- Bondoni Carlos-ABB. (2012). *Iso 50001-Gestion de la Energia Consecuencias de su aplicacion*.
- Consorcio Energetico Corpoema-UPME. (2010). *Formulacion de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energia en colombia-volumen 2*. Bogotá: UPME.
- Galante, M. A. (2007). *Análisis de viabilidad técnica- económica de una planta geotermica para la generación de electricidad en latinoamérica*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
- Guðmunsson, A. T. (1996,2002,2005). *Nesjavellir. La Central Geotermica que abastece a Reikjavik de electricidad y agua caliente*. Obtenido de [http://www.redes-cepalcala.org/ciencias1/geologia/islandia/geologia.islandia\\_nesjavellir.htm](http://www.redes-cepalcala.org/ciencias1/geologia/islandia/geologia.islandia_nesjavellir.htm)

Hernández, J. (09 de 08 de 2011). *Sistema Eléctrico Colombiano-Generación de energía*

*Hidroeléctrica en Colombia*. Obtenido de Sistema Eléctrico Colombiano-Generación de energía Hidroeléctrica en Colombia: <http://proyecto-estadistica.blogspot.com/2011/08/sistema-electrico-colombiano.html>

Microsoft. (2010). Excel.

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2009). *portal oficial de inversión de colombia*.

Obtenido de portal oficial de inversión de colombia:

[www.inviertaencolombia.com.co/costos-de-operacion/servicios-publicos.html](http://www.inviertaencolombia.com.co/costos-de-operacion/servicios-publicos.html)

Minitab Inc. (2013). *Realizar Simulaciones Monte Carlo en Minitab*. Obtenido de

<http://www.minitab.com/es-CO/training/default.aspx?id=10650&langType=2058>

Olade. (2011). *Manual de Estadísticas Energeticas año 2011*. Olade.

pepe. (2000). *habla pepe*. bogota: oveja gris.

Proyecto OLADE/CEPAL/GTZ. (2000). *estudio para la evaluación del entorno del Proyecto*

*Geotérmico Binacional Tufiño-Chiles-Cerro Negro*. Mexico: CEPAL.

República de Colombia Ministerio de Minas y Energía , Unidad de Planeación Mineroenergética.

Grupo de Demanda Energética-Subdirección de Planeación Energética. (2012).

*“PROYECCIÓN DE DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y POTENCIA MAXIMA”*.

Bogotá: unidad de planeacion mineroenergetica. Grupo de demanda energetica-  
Subdirección de planeación Energética.

Revista Semana Julio 8. (2012). Potencia Electrica-Radiografía de un sector modelo y estrategico en el mundo. *Potencia Electrica-Radiografía de un sector modelo y estrategico en el mundo*, 22-23,89.

Torres-Alvarado, e. “.-G. (2010). *Escenario futuro de explotación de la energía geotérmica: hacia un desarrollo sustentable* . mexico: Coordinación de Publicaciones Digitales.  
Dirección General de Cómputo y de tecnologías de informacion y comunicacion UNAM.

Unión temporal ICONTEC-AENE / Unidad de planeacion mineroenergetica. (2003).  
*FORMULACION DE UN PROGRAMA BASICO DE NORMALIZACION PARA APLICACIONES DE ENERGIA ALTERNATIVA Y DIFUSION-DOCUMENTO ANC-0603-21-00- UTILIZACION DE LA ENERGIA GEOTERMICA DOCUMENTO DESCRIPTIVO*. Bogotá DC: UNIDAD DE PLANEACION MINEROENERGETICA.

wikipedia. (13 de 11 de 12). *Fuente de energía - Wikipedia, la enciclopedia libre*. Obtenido de  
Fuente de energía - Wikipedia, la enciclopedia libre:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Fuente\\_de\\_energ%C3%ADa](http://es.wikipedia.org/wiki/Fuente_de_energ%C3%ADa)

LICENCIA DE USO – AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES

Actuando en nombre propio identificado (s) de la siguiente forma:

Nombre Completo Claudia Patricia Badillo Moreno

Tipo de documento de identidad: C.C.  T.I.  C.E.  Número: 51'774.920 Bogotá

Nombre Completo Hullman Leonardo Ramos Rodriguez

Tipo de documento de identidad: C.C.  T.I.  C.E.  Número: 79'941.246 Bogotá

Nombre Completo \_\_\_\_\_

Tipo de documento de identidad: C.C.  T.I.  C.E.  Número: \_\_\_\_\_

Nombre Completo \_\_\_\_\_

Tipo de documento de identidad: C.C.  T.I.  C.E.  Número: \_\_\_\_\_

El (Los) suscrito(s) en calidad de autor (es) del trabajo de tesis, monografía o trabajo de grado, documento de investigación, denominado:

Generación de Energía Geotérmica en Colombia

Dejo (dejamos) constancia que la obra contiene información confidencial, secreta o similar: SI  NO   
 (Si marqué (marcamos) SI, en un documento adjunto explicaremos tal condición, para que la Universidad EAN mantenga restricción de acceso sobre la obra).

Por medio del presente escrito autorizo (autorizamos) a la Universidad EAN, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad EAN y a los usuarios de bases de datos y sitios webs con los cuales la Institución tenga convenio, a ejercer las siguientes atribuciones sobre la obra anteriormente mencionada:

- A. Conservación de los ejemplares en la Biblioteca de la Universidad EAN.
- B. Comunicación pública de la obra por cualquier medio, incluyendo Internet
- C. Reproducción bajo cualquier formato que se conozca actualmente o que se conozca en el futuro
- D. Que los ejemplares sean consultados en medio electrónico
- E. Inclusión en bases de datos o redes o sitios web con los cuales la Universidad EAN tenga convenio con las mismas facultades y limitaciones que se expresan en este documento
- F. Distribución y consulta de la obra a las entidades con las cuales la Universidad EAN tenga convenio

Con el debido respeto de los derechos patrimoniales y morales de la obra, la presente licencia se otorga a título gratuito, de conformidad con la normatividad vigente en la materia y teniendo en cuenta que la Universidad EAN busca difundir y promover la formación académica, la enseñanza y el espíritu investigativo y emprendedor.

Manifiesto (manifestamos) que la obra objeto de la presente autorización es original, el (los) suscritos es (son) el (los) autor (es) exclusivo (s), fue producto de mi (nuestro) ingenio y esfuerzo personal y la realizo (zamos) sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de exclusiva autoría y tengo (tenemos) la titularidad sobre la misma. En vista de lo expuesto, asumo (asumimos) la total responsabilidad sobre la elaboración, presentación y contenidos de la obra, eximiendo de cualquier responsabilidad a la Universidad EAN por estos aspectos.

En constancia suscribimos el presente documento en la ciudad de Bogotá D.C.,

<p>NOMBRE COMPLETO: <u>Stacy P. Badillo</u></p> <p>FIRMA: <u>[Firma]</u></p> <p>DOCUMENTO DE IDENTIDAD: <u>51774920896</u></p> <p>FACULTAD: <u>Postgrado</u></p> <p>PROGRAMA ACADÉMICO: <u>Espec. Gerencia de Proyectos</u></p>	<p>NOMBRE COMPLETO: <u>Yolimar Ramos R</u></p> <p>FIRMA: <u>[Firma]</u></p> <p>DOCUMENTO DE IDENTIDAD: <u>79941.246</u></p> <p>FACULTAD: <u>Postgrados</u></p> <p>PROGRAMA ACADÉMICO: <u>Especialización Gerencia de proyectos</u></p>
<p>NOMBRE COMPLETO: _____</p> <p>FIRMA: _____</p> <p>DOCUMENTO DE IDENTIDAD: _____</p> <p>FACULTAD: _____</p> <p>PROGRAMA ACADÉMICO: _____</p>	<p>NOMBRE COMPLETO: _____</p> <p>FIRMA: _____</p> <p>DOCUMENTO DE IDENTIDAD: _____</p> <p>FACULTAD: _____</p> <p>PROGRAMA ACADÉMICO: _____</p>

Fecha de firma: \_\_\_\_\_