

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE
MONTERREY
CAMPUS MONTERREY**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY**

**Utilización de la energía geotérmica para la vivienda,
una aproximación al caso mexicano**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE ADMINISTRACIÓN DE LA
CONSTRUCCIÓN CON ESPECIALIDAD EN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS**

POR:

SEBASTIEN CORBEAU

MONTERREY, N. L., MÉXICO

DICIEMBRE 2007

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE
MONTERREY
CAMPUS MONTERREY

DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA

Los miembros del comité de tesis recomendamos que el presente proyecto de tesis presentado por Sébastien CORBEAU sea aceptado como requisito parcial para obtener el grado académico de:

Maestro en Ciencias de Administración de la Construcción con
Especialidad en Administración de Proyectos

Comité de Tesis:

Dr. Salvador García Rodríguez.

Asesor

Dr. José Ignacio Luján Figueroa

Sinodal

M.C. Juan Pablo Solís Flores

Sinodal

Aprobado:

Dr. Francisco Ángel Bello Acosta

Director del Programa de Graduados en Ingeniería

DICIEMBRE 2007

DEDICATORIA:

A Catherine et Eric

Mes parents, pour m'avoir toujours appuyé dans mes choix
et permis de réaliser cette expérience inoubliable

A Pauline et Pierre

Ma sœur et mon frère

A Renée, Francine, Jean et Louis

Mes papys et mamys, pour m'avoir toujours soutenu

A toute ma famille

A Marc

Camarade de l'ESTP, avec qui j'ai passé ces 3 semestres ici

A tous mes amis en France

A todos mis amigos en Monterrey

Los Cumiyais, la Casa Verde y todos los otros,
con quien he pasado momentos increíbles aquí

AGRADECIMIENTOS:

Quiero agradecer a todos los profesores que me permitieron de realizar esta Maestría en Administración de la Construcción con éxito.

Más especialmente:

- Al Dr. Salvador García Rodríguez, para ser mi asesor de tesis y dedicarme su tiempo, su apoyo y sus conocimientos durante toda la realización de esta tesis.

Je voudrais aussi remercier l'ESTP et particulièrement Marie-Jo Goedert pour m'avoir permis de participer à ce double diplôme et Catherine Lebon, pour m'avoir aidé et répondu à mes questions tout au long de la scolarité.

INDICE

INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I: LAS ENERGIAS RENOVABLES.....	5
PARTE 1: LA ENERGIA EOLICA.....	7
1. GENERALIDADES.....	7
2. PANORAMA GENERAL.....	7
3. LAS GRANDES POTENCIAS EOLOELECTRICAS.....	8
4. TECNICA: AEROGENERADOR.....	9
5. CONCLUSIONES.....	11
PARTE 2: LA ENERGIA BIOMASA.....	12
1. GENERALIDADES.....	12
2. PANORAMA GENERAL.....	13
3. TECNOLOGIA.....	15
PARTE 3: LA ENERGIA HIDRAULICA.....	17
1. GENERALIDADES.....	17
2. PANORAMA GENERAL.....	18
3. TECNOLOGIA: UNA CENTRAL HIDRAULICA.....	19
PARTE 4: LA ENERGIA SOLAR.....	22
1. GENERALIDADES.....	22
2. PANORAMA GENERAL.....	23
3. TECNOLOGIA.....	24
PARTE 5: LA ENERGIA MAREOMOTRIZ.....	27
1. GENERALIDADES.....	27
2. PANORAMA GENERAL.....	28
3. TECNOLOGIA:.....	28
PARTE 6: LA ENERGIA GEOTERMICA.....	29
INTRODUCCION.....	29
1. EL CALOR DE LA TIERRA.....	29
2. HISTORIA DE LA GEOTERMIA.....	34
3. SITUACION ACTUAL.....	36
4. LAS DIFERENTES ENERGIAS.....	39
5. PRINCIPIO DE PRODUCCION DE ELECTRICIDAD.....	40
6. PRINCIPIO DE CALENTAMIENTO URBANO.....	42
7. PRINCIPIO DE CALEFACCION / CLIMATIZACION DE CASA INDIVIDUALES.....	43

CAPITULO II: LA ENERGIA EN LA CONSTRUCCION.....47

1. DEFINICIONES.....	48
1) Diseño-planeación.....	49
2) Construcción.....	50
3) Operación.....	50
4) Demolición.....	50
2. ENERGIA Y CONSTRUCCION SOSTENIBLE.....	51
1) Consumo energético en la edificación.....	51
2) Eficiencia energética.....	51
3) Sistemas pasivos de ahorro energético.....	55
3. EDIFICIOS A CONSUMO DE ENERGIA REDUCIDO O A ENERGIA POSITIVA.....	56

CAPITULO III: METODOLOGIA DE INSTALACION DE UN SISTEMA GEOTERMICO.....59

PARTE 1: INSTALACION DE UN SISTEMA GEOTERMICO EN UN EDIFICIO COMERCIAL.....61

1. SECUENCIA DE CONCEPCION TIPICA.....	61
2. EVALUACION DE LAS CARGAS DE UN EDIFICIO.....	62
3. CONCEPCION DEL ARO SUBTERRANEO.....	65
4. DIFICULTADES DE DIMENSIONAMIENTO.....	66
5. TIPOS DE SISTEMAS.....	69
6. SUPERFICIE DE TERRENO REQUIRIDA.....	73
7. REGLAS APROXIMADAS DE DIMENSIONAMIENTO DE LOS AROS VERTICALES.....	74
8. REGLAS APROXIMADAS DEL DIMENSIONAMIENTO DE LOS AROS HORIZONTALES.....	78
9. COSTOS DE SISTEMAS GEOTERMICOS.....	82

PARTE 2: INSTALACION DE UN SISTEMA GEOTERMICO EN UNA VIVIENDA NUEVA.....85

1. CONCEPCION ARQUITECTURAL ECO-ENERGETICA.....	85
2. EMPLAZAMIENTO DEL EQUIPAMIENTO Y DE LOS SERVICIOS PUBLICOS SUBTERRANEOS.....	85
3. CONCEPCION DE UN SISTEMA.....	86
4. SISTEMA DE DISTRIBUCION.....	87
5. COSTOS DE ADQUISICION DE UN SISTEMA GEOTERMICO.....	89

CAPITULO IV: ESTUDIO DE CASO CON LA AYUDA DEL PROGRAMA RETSCREEN.....93

PARTE 1: EL PROGRAMA RETSCREEN.....93

1. DESCRIPCION DEL PROGRAMA.....	93
2. INFORMACIONES REQUERIDAS PARA EL ANALISIS.....	94

PARTE 2: TABLA COMPARATIVA DEL TIEMPO DE RECUPERACION DE LA INVERSION SEGÚN EL LUGAR DEL PROYECTO EN LA REPUBLICA MEXICANA.....100

- 1. DESCRIPCION DEL PROYECTO, MODELO ENERGETICO Y NECESIDADES TERMICAS.....100
- 2. ANALISIS DE COSTOS.....101
- 3. TABLA COMPARATIVA DEL PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSION.....102
- 4. CASO EL MAS FACTIBLE EN LA AREA METROPOLITANA DE MONTERREY.....104
- 5. INFLUYENCA DEL AISLAMIENTO TERMICO SOBRE LA DURACION DEL PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSION.....105

CONCLUSIONES.....107

RECOMENDACIONES.....110

BIBLIOGRAFIA.....111

ANEXOS.....113

INDICE DE FIGURAS

Figura 0.1: Previsión del consumo mundial de energía entre 2000 y 2116.....	1
Figura 0.2: Pronósticos del incremento de la temperatura en el futuro.....	2
Figura 0.3: Impacto de un cambio de temperatura sobre el clima del Atlántico Norte.....	3
Figura 1.1: Capacidad eólica instalada en el mundo al fin de 2005.....	9
Figura 1.2: Esquema de funcionamiento de un aerogenerador.....	11
Figura 1.3: Producción de electricidad con la energía biomasa en Europa al fin del año 2005.....	14
Figura 1.4: Producción de calor con la energía biomasa Europa al fin de 2005.....	14
Figura 1.5: Esquema de funcionamiento de una central de turbina de gas.....	16
Figura 1.6: Capacidad hidroeléctrica instalada en Europa al fin de 2005.....	18
Figura 1.7: Esquema de funcionamiento de una central hidroeléctrica.....	21
Figura 1.8: Producción eléctrica por la energía solar en el mundo al fin de 2004.....	23
Figura 1.9: Producción eléctrica por la energía solar por zona geográfica al fin del año 2004.....	24
Figura 1.10: Funcionamiento de una célula fotovoltaica.....	25
Figura 1.11: Esquema de funcionamiento de instalación solar térmica para agua caliente sanitaria.....	25
Figura 1.12: Esquema de funcionamiento de instalación de energía solar pasiva.....	26
Figura 1.13: Esquema de funcionamiento de instalación de energía solar termoelectrica.....	26
Figura 1.14: Esquema de funcionamiento de una instalación mareomotriz.....	28
Figura 1.15: Fotografía de una instalación mareomotriz.....	28
Figura 1.16: Estructura interna de la Tierra.....	30
Figura 1.17: Grafica de la temperatura de la Tierra en función de la profundidad.....	32
Figura 1.18: Esquema de los diferentes tipos de manifestaciones hidrotérmicas.....	34
Figura 1.19: capacidad geotérmica instalada y en funcionamiento por países al fin de 2004.....	37
Figura 1.20: Capacidad geotérmica instalada y en funcionamiento por continentes al fin de 2004.....	37

Figura 1.21: Repartición de la utilización energética de geotérmica de temperaturas medias y bajas.....	38
Figura 1.22: Esquema de funcionamiento de una central geotérmica.....	41
Figura 1.23: Esquema del principio del “Doblete Geotérmico”.....	42
Figura 1.24: Esquema del sistema geotérmico horizontal para una casa.....	43
Figura 1.25: Esquema del sistema geotérmico vertical para una casa.....	44
Figura 1.26: Esquema de funcionamiento de una bomba de calor.....	44
Figura 1.27: Esquema de funcionamiento de una bomba de calor reversible.....	45
Figura 3.1: Tabla de resistencia térmica efectiva en el Sistema Internacional.....	63
Figura 3.2: Esquema del sistema geotérmico a agua subterráneo para un edificio comercial.....	69
Figura 3.3: Esquema del sistema geotérmico vertical para un edificio comercial.....	70
Figura 3.4: Esquema del sistema geotérmico horizontal para un edificio comercial.....	71
Figura 3.5: Esquema de los diferentes tipos de configuración de sistema horizontal.....	72
Figura 3.6: Superficie de terreno requerida para un aro horizontal.....	73
Figura 3.7: Reglas aproximativas de dimensionamiento de un aro vertical según el clima y el diámetro nominal de los tubos.....	76
Figura 3.8: Tabla de resistencia tipa del suelo.....	79
Figura 3.9: Reglas aproximativas de dimensionamiento de un aro horizontal según el clima y la configuración del sistema.....	80
Figura 3.10: Tabla de resultado del dimensionamiento de un aro horizontal.....	81
Figura 3.11: Tabla de ejemplos de periodo de recuperación para un sistema geotérmico en años en comparación a un sistema de referencia al gas en Canadá.....	83
Figura 3.12: Tabla de ejemplos de periodo de recuperación para un sistema geotérmico en años en comparación a un sistema de referencia al fuel oil en Canadá.....	84
Figura 3.13: Esquema de un sistema de distribución.....	88
Figura 3.14: tabla comparativa de los costos del aro subterráneo según el sistema y el tamaño de la casa.....	90
Figura 3.15: Tabla de ejemplos de costos de diferentes opciones de sistemas de calefacción y climatización.....	91

Figura 3.16: Tabla de ejemplos de gastos anuales de diferentes opciones de sistemas de calefacción y climatización.....	91
Figura 3.17: Previsión de incremento del costo de calefacción y climatización con las diferentes energías en los próximos 20 años.....	92
Figura 4.1: Tabla de valores de conductividad, densidad y calor específico del suelo según su tipo.....	95
Figura 4.2: Tabla de determinación del nivel de humedad.....	95
Figura 4.3: Tabla de determinación del nivel de aislamiento térmico.....	96
Figura 4.4: Tabla de determinación del nivel de importancia de superficie de ventanas.....	97
Figura 4.5: Tabla de determinación del nivel de utilización de equipamiento y de luz.....	97
Figura 4.6: Tabla de determinación de la potencia calorífica según la energía de calefacción.....	97
Figura 4.7: Tabla de determinación del rendimiento de temporada típico según el sistema de calefacción.....	98
Figura 4.8: Tabla de determinación del COP de temporada típico según el sistema de climatización.....	98
Figura 4.9: Tabla de determinación de la configuración del intercambiador subterráneo.....	99
Figura 4.10: Tabla de determinación del nivel de rendimiento de la bomba de calor.....	99
Figura 4.11: Tabla de valores del periodo de retorno de inversión en años en diferentes lugares de la Republica.....	103
Figura 4.12: Tabla de valores los periodos de retorno de la inversión en Monterrey con diferentes tipos de aislamientos térmicos y diferentes superficies de casa.....	104
Figura 4.13: Tabla de determinación del nivel de aislamiento térmico.....	104
Figura 4.14: Tabla de cálculo de espesor de aislante.....	105
Figura 4.15: Tabla de valores los periodos de retorno de la inversión en diferentes ciudades de la Republica con diferentes tipos de aislamientos térmicos y diferentes superficies de casa.....	106

INTRODUCCION:

Un conjunto de problemas ocasionados por diversas actividades humanas que se han intensificado a partir del surgimiento de la revolución industrial amenazan con impedir el desarrollo sostenible de la humanidad. No solo los delicados balances entre los componentes físicos de nuestra biosfera — atmósfera, hidrosfera y litosfera — han sido peligrosamente alterados, sino también el funcionamiento mismo del componente biológico de los ecosistemas.

Primero, una de las amenazas a más corto plazo la constituye el potencial agotamiento de las reservas mundiales de recursos energéticos no renovables: petróleo, gas y carbón.

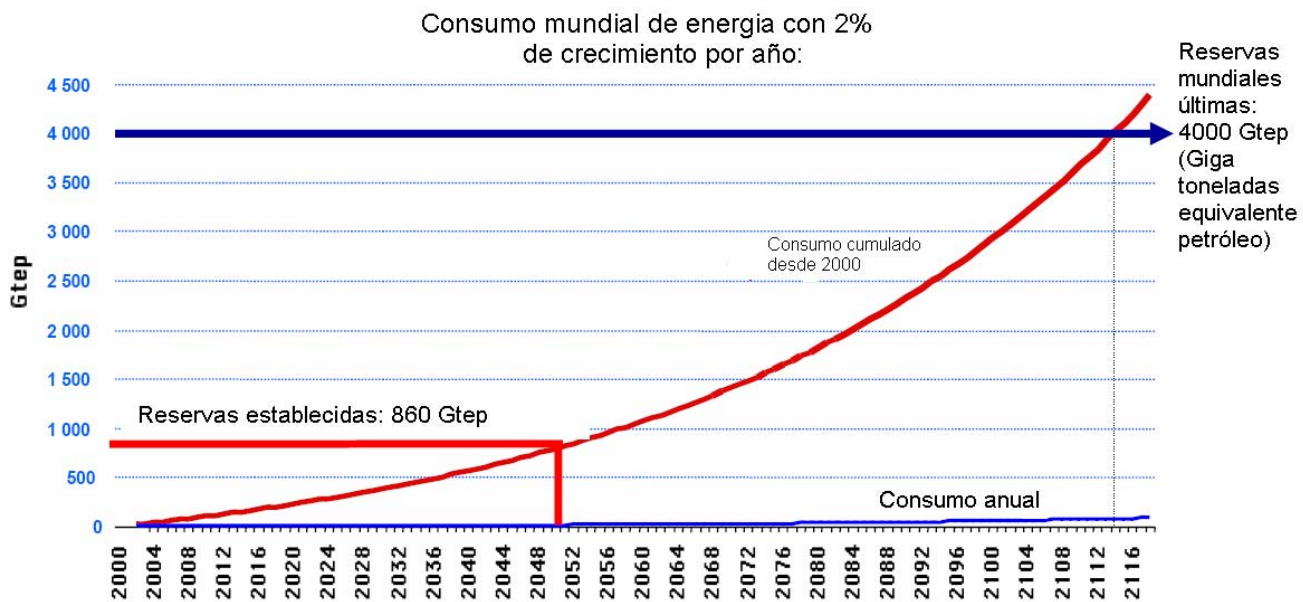


Figura 0.1: Previsión del consumo mundial de energía entre 2000 y 2116

Origen: *Jean-Marc Jancovici, experto en calentamiento global y crisis energética* [1].

Esta situación ha obligado a muchos países a desarrollar programas para utilizar energías propias y renovables — tales como el aire (energía eólica), el sol (energía solar) y el calor mismo de la tierra (energía geotérmica)—, como solución a la escasez de energéticos fósiles. Una

solución para este problema es de reducir de manera significativa la demanda y también de vencer las inercias de las mentalidades.

Segundo, esta situación va a engendrar diferentes tipos de conflictos: las guerras armadas para el control de los recursos naturales como la guerra en Irak, las “guerras” económicas entre los países del mundo (Estados-Unidos, Europa, China) o las

guerras” de los países pobres como las catástrofes naturales (sequedad, nivel del mar más alto, huracanes....).

Tercero, existen amenazas para nuestro planeta. Una de ellas, es la energía nuclear, al ritmo actual queda solamente 70 años de reservas del uranio en el mundo; también esta energía presenta riesgo como los accidentes del tipo de Tchernobyl (1986), los desechos que no sabemos tratar y la propagación de las armas nucleares del ex-URSS.

Otra amenaza y no la menos importante es el calentamiento global que va a ocurrir durante este siglo. En la siguiente grafica se puede ver pronósticos del aumento de la temperatura en el mundo:

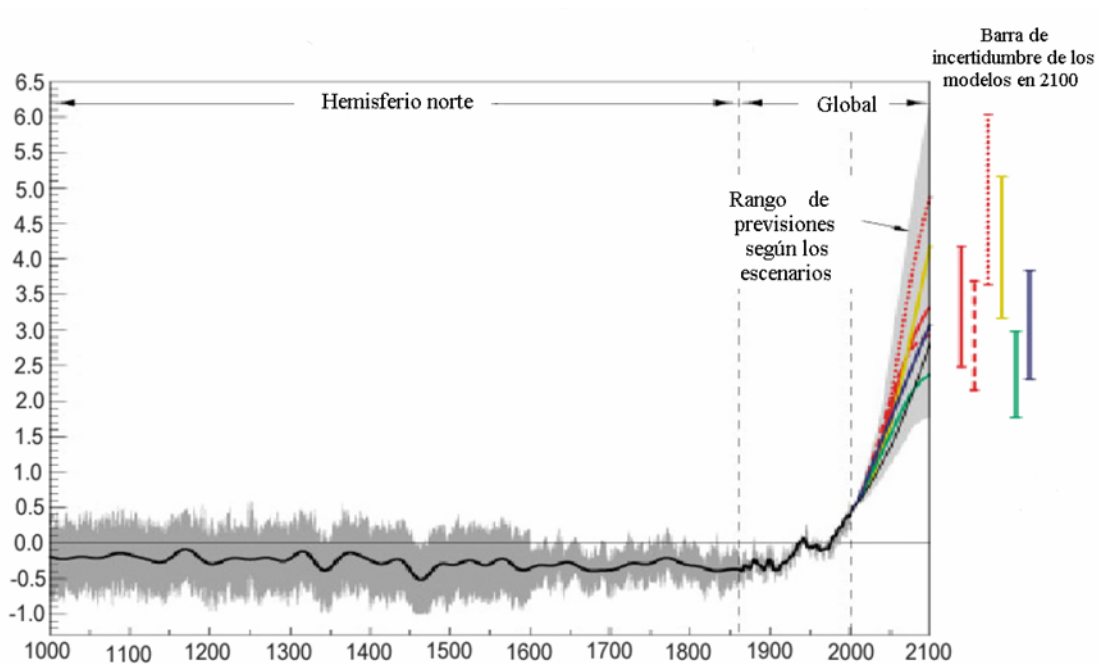
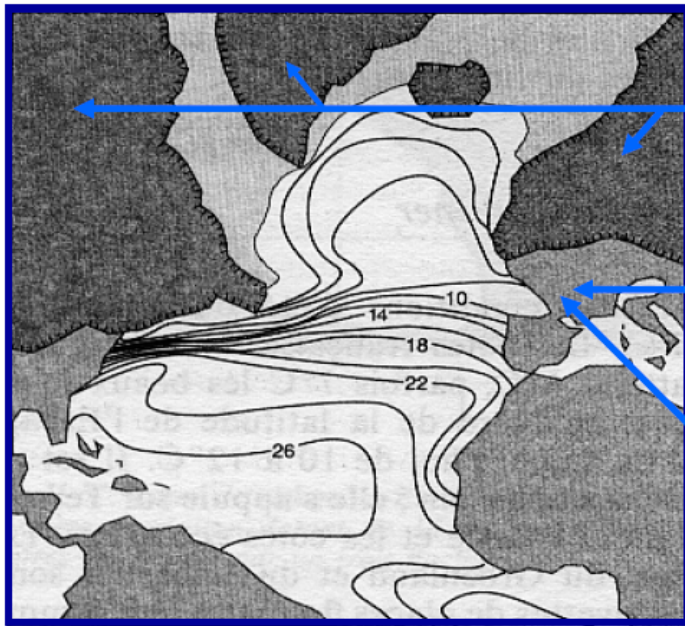


Figura 0.2: Pronósticos del incremento de la temperatura en el futuro

Origen: *Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC 2001*[2]

Un cambio de algunos grados de temperatura puede engendrar modificaciones enormes para la Tierra. Por ejemplo hace 20000 años, hubo una era glaciár. La temperatura promedio del planeta fue solamente inferior de 5°C a la temperatura promedio mundial actual. En el esquema siguiente se puede ver algunos cambios entre esta era glaciár y el mundo como los conocemos hoy.



Immensos glaciares, espesos de varios kilometros, recubren America del Norte y Europa del Norte. El suelo es congelado en permanentemente y inepto a los cultivos.

Es posible de ir de Inglaterra a Francia de pie, el mar es más bajo de 120 metros.

La temperatura de Europa es más baja de 8 a 10°C, pero la temperatura de los trópicos casi no ha variado.

Figura 0.3: Impacto de un cambio de temperatura sobre el clima del Atlántico Norte [3]

Eso muestra que un cambio de temperatura de algunos grados ha cambiado significante el clima mundial y el aspecto de nuestro planeta. Entonces, se puede imaginar con las predicciones que presentado en la grafica del IIPC, que el clima va a cambiar durante este siglo pero no se puede saber de cual manera todavía.

Para limitar el calentamiento global, se debe intervenir a diferentes niveles, porque es la responsabilidad de todo el mundo, las grandes industrias, los gobiernos de los países hasta cada individuo. Las grandes industrias tienen que encontrar soluciones para limitar la contaminación y su consumo de energía, los gobiernos tienen que tomar medidas para incitar los ciudadanos y las

empresas a limitar su consumo de energía y a incitarles a desarrollar una actitud sostenible. Los ciudadanos tienen que darse cuenta de la importancia de los gestos de la vida cotidiana que contribuyen a disminuir la contaminación del planeta y su consumo de energía no necesario. Por ejemplo, cada persona puede intentar de invertir en sistemas de energías renovables para su consumo de energía. Ahora se conoce bien los sistemas de energías renovables para las habitaciones con la energía solar, eólica, biomasa, geotérmica...

En este trabajo, se va a desarrollar un estudio sobre la factibilidad de los sistemas geotérmicos para la calefacción y el enfriamiento de viviendas en ciudades de México. La vivienda escogida para el estudio es de 2 pisos para una superficie total de 70 metros cuadrados y un terreno de 55 metros cuadrados.

También se va a desarrollar un método para desarrollar un proyecto de energía geotérmica para los edificios comerciales y las viviendas nuevas.

CAPITULO I: LAS ENERGIAS RENOVABLES

Una energía renovable es una fuente de energía que se renueva bastante rápidamente para ser considerada como inagotable sobre la escala humana del tiempo. Las energías renovables provienen de fenómenos naturales regulares o constantes provocados por los astros, principalmente el Sol (radiación), pero también la Luna (mareas) y la Tierra (energía geotérmica).

El carácter renovable de una energía depende de la velocidad a la cual la fuente de regenera, pero también de la velocidad a la cual esta consumido. Así, la masera es una energía renovable si se talan menos árboles que lo que crece, y que el bosque continúa a ejercer sus funciones ecológicas vitales. Entonces, el comportamiento de los consumidores de energía es un factor que se debe tomar en cuenta en esta definición.

No se debe confundir energía renovable con energía limpia y segura. Una energía puede ser renovable, limpia y segura pero no todas las energías renovables son limpias y seguras. Por ejemplo, algunos líquidos utilizados en los circuitos de bomba de calor geotérmicas son gases quien pueden contribuir al efecto invernadero en caso de escape de gases.

El petróleo, el gas natural o el carbón no son energía renovables porque se necesitará millones de años para reconstituir las provisiones de energía fósil que se consume actualmente. También, la energía nuclear actual, que proviene de la fisión de los átomos de uranio, no puede ser considerada como una energía renovable porque las reservas de uranio disponible en la Tierra son limitadas.

En esta parte, se va a tratar de las energías renovables siguientes:

- energía eólica
- energía biomasa
- energía hidráulica
- energía solar
- energía mareomotriz
- energía geotérmica

PARTE 1: LA ENERGIA EOLICA

1. GENERALIDADES

La energía eólica es la energía del viento, es decir la energía que proviene del viento por medio de un sistema de aerogenerador.

El término eólico viene de Eolo, dios de los vientos en la mitología griega. La energía eólica ha sido utilizada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas. Es un tipo de energía verde.

En la actualidad se utiliza, sobre todo, para mover aerogeneradores. En estos la energía eólica mueve una hélice y mediante un sistema mecánico se hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador, que produce energía eléctrica. Para que su instalación resulte rentable, suelen agruparse en concentraciones denominadas parques eólicos.

Los parques eólicos son relativamente recientes, iniciando a popularizarse en las décadas de los 80 – 90.

2. PANORAMA GENERAL

La tecnología de las máquinas eólicas ha ido evolucionando al punto en que constituye una opción importante para la generación de electricidad a gran escala. Con la introducción de nuevos materiales y técnicas de ingeniería hoy en día se construyen verdaderas plantas eólicas de grandes capacidades. Se ha desarrollado con tantas intensidades el área, que es considerada como una importante opción de generación de energía eléctrica a gran escala y pequeña en zonas rurales. Esta se ha convertido en un campo de gran actividad económica en varios países del mundo, entre ellos Dinamarca, Alemania, Estados Unidos y España.

En la llamada crisis del petróleo de los setentas aparecieron en EUA las primeras granjas eólicas generadoras. Para 1994, el estado de California tenía 15000 turbinas eólicas instaladas, cuya capacidad era suficiente para abastecer la Ciudad de San Francisco. Ante este panorama el desarrollo de esta tecnología tuvo un incremento en la última década de un 40% en todo el mundo. Tal es caso que para el fin del año 2005 EUA tenía una capacidad instalada de 9149MW (6725MW en 2004 y 3800MW en 2001). Durante el año 2005 se instalaron en EUA alrededor de 2400MW. El futuro de la energía eólica es brillante y esos datos demuestran el gran impulso de esta tecnología.

3. LAS GRANDES POTENCIAS EOLOELECTRICAS.

Por parte de la unión Europea alcanza los 40,455MW en 2005 (el objetivo de la Comisión Europea de 40,000MW esta alcanzado con cinco años adelantados), siendo Alemania líder con 18,428MW pero cada año desde 2002, el número de MW instalado por año disminuye en Alemania.

Dentro de las naciones que se consideran grandes potencias de la generación de energía eólicas son las siguientes: Alemania (18428MW en 2005 y un crecimiento de 10,8% en un año), España (10028MW, 21,4%), Dinamarca (3128MW, 0,1%), Italia (1717MW, 35,7%), Inglaterra (1337MW, 35,7%), seguidos por Holanda, Portugal, Austria y Francia.

	2004	2005	Diferencia	Crecimiento
Unión Europea	34338	40455	6117	17,80%
Resto de Europa	260	370	110	42,30%
Total Europa	34598	40825	6227	18%
Estados Unidos	6725	9149	2424	36%
Canadá	444	593	149	33,60%
Total América del norte	7169	9742	2573	35,90%
India	2983	4225	1242	41,60%
Japón	940	942	2	0,20%
China	764	765	1	0,10%
Otros países de Asia	28	68	40	142,90%
Total Asia	4715	6000	1285	27,30%
Resto del mundo	1034	1270	236	22,80%
Total Mundo	47516	57837	10321	21,70%

Figura 1.1: Capacidad eólica instalada en el mundo al fin de 2005 (en MW):

Origen: EurObserver, Wind Energy Barometer [4]

4. TECNICA: AEROGENERADOR

En los sistemas eólicos el elemento captador consiste en una hélice que transforma la energía cinética del viento en energía rotacional que es comunicada a un generador eléctrico (aerogeneradores), a un sistema de bombeo (aerobombas) o a un sistema para moler grano (molino de viento tradicional). El principal elemento de este sistema es la pala. El dimensionamiento de un rotor es una tarea complicada y que requiere integrar los conocimientos de diferentes disciplinas como aerodinámica, además se debe de tener en cuenta aspectos estructurales (estáticos y dinámicos), de generación de ruido, de fabricación, etc. [5]

Un sistema conversor de energía eólica se compone de cuatro partes principales la figura siguiente muestra las componentes básicas de un aerogenerador:

1-El rotor, convierte la energía cinética del viento en un movimiento rotatorio en la flecha principal del sistema. El rotor puede ser de eje horizontal o vertical, este recupera, como máximo teórico, el 60% de la energía cinética del flujo de viento que lo acciona. Esta formado por las aspas y la masa central en donde se unen a la flecha principal; el rotor puede tener una o mas aspas. El rotor horizontal de tres aspas es el más usado en los aerogeneradores de potencia.

2-Un sistema de transmisión, que acopla esta potencia mecánica de rotación de acuerdo con el tipo de aplicación. La transmisión puede consistir en un mecanismo para convertir el movimiento reciprocante para accionar las bombas de embolo de las aerobombas

3-Sistema conversor de energía. Un sistema conversor de energía eólica es tan bueno como su sistema de control. La fuerza que ejerce el viento sobre la superficie en que índice es función del cuadrado de la velocidad de este. Es por lo tanto un maquina basada en inducción electromagnética que es encargada de transformar la energía mecánica de rotación en energía eléctrica. Se instala detrás del multiplicador de velocidad y es accionado por el eje de mayor velocidad del múltiple a través de un acoplamiento elástico. Esta formado por dos partes fundamentales el rotor o inductor móvil que es el que genera el campo magnético variable al girar arrastrado por la turbina, ele stator o inductor fijo es sobre el cual se generar la corriente eléctrica aprovechable. Los generadores pueden ser síncronos o asíncronos siendo los últimos los mas utilizados en las maquinas cólicas.

4-Torre. Es la que soporta al aerogenerador de eje horizontal es importante, ya que la potencia del viento es función del cubo de su velocidad y el viento sopla mas fuerte entre mayor es la altura del suelo.

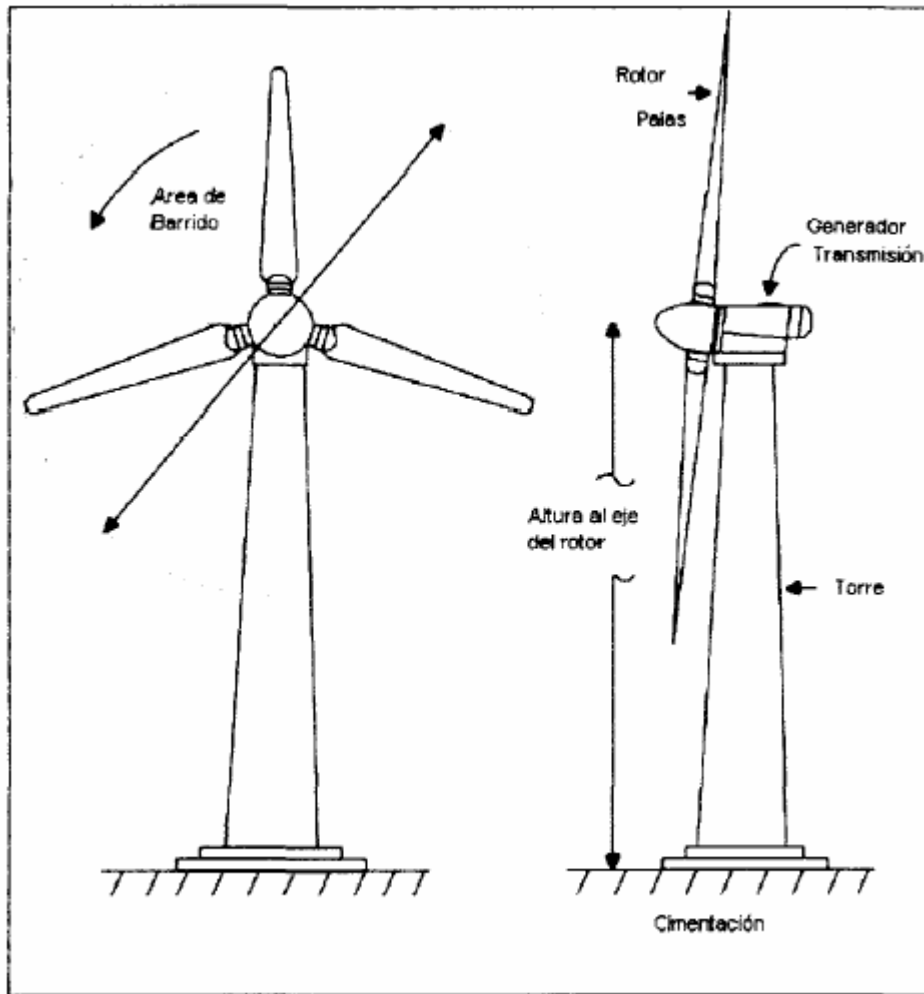


Figura 1.2: Esquema de funcionamiento de un aerogenerador

5. CONCLUSIONES

La energía eólica ha conocido en estos últimos años y se espera en el futuro un crecimiento muy importante porque es un energía ecológicamente y económicamente muy interesante a pesar de los inconvenientes que son la contaminación visual y sonido.

PARTE 2 : LA ENERGIA BIOMASA

1. GENERALIDADES

La biomasa reagrupa el conjunto de materias orgánicas que pueden ser fuentes de energía. Estas materias orgánicas que provienen de las plantas son una forma de almacenaje de energía solar, captada y utilizada por medio de la clorofila.

Pueden estar utilizadas o directamente (madera) o después de una metanización (biogás) o de nuevas transformaciones químicas (biodiesel).

En términos energéticos, se utiliza como energía renovable, como es el caso de la leña, del biodiésel, del bioalcohol, del biogás y del bloque sólido combustible.

Biomasa puede ser:

- Residuos agrícolas: paja, orujos...
- Residuos forestales: ramas finas...
- Restos de madera de las industrias forestales
- Cultivos energéticos: cardo
- Residuos ganaderos: purines y otros excrementos del ganado.

-Ventajas: Permite eliminar residuos orgánicos, al tiempo que les da una utilidad, es una fuente de energía renovable, es una fuente de energía no contaminante.

-Inconvenientes: La incineración puede resultar peligrosa, al producir la emisión de sustancias tóxicas. Por ello se deben utilizar filtros y realizar la combustión a temperaturas mayores a los 900°C. No existen demasiados lugares idóneos para su aprovechamiento ventajoso.

2. PANORAMA GENERAL

La biomasa es la segunda energía renovable después de la energía hidroeléctrica, en 2004, la producción de electricidad con la biomasa en el mundo fue de 164,2 TWH.

Los principales países productores son los Estados Unidos (52,9 TWH), Brasil (13,2 TWH) y Finlandia (10TWH). La producción en América Central y del Sur es de 22 TWH en 2004.

En Europa:

La biomasa representa actualmente alrededor de la mitad (del 44 al 65%) de la energía renovable que se consume en la Unión Europea.

Ese conjunto de productos orgánicos que es la biomasa satisface hoy el 4% de las necesidades del sector comunitario de la energía (69 millones de toneladas de equivalente petróleo [tep]). El objetivo para el año 2010 es que el uso de la biomasa haya aumentado hasta 150 millones de tep, aproximadamente. Ese aumento producirá los beneficios siguientes:

- una diversificación del abastecimiento energético en Europa
- una reducción notable de las emisiones de gas de efecto invernadero
- empleos directos para entre 250 000 y 300 000 personas
- un posible descenso del precio del petróleo como consecuencias de la disminución de la demanda.

	2004	2005	Crecimiento (%)
Finlandia	10,183	10,183	0,00
Suecia	6,614	6,874	3,93
Alemania	3,9	5,4	38,46
Holanda	1,756	3,586	104,21
Reino Unido	1,949	3,388	73,83
Italia	2,19	2,337	6,71
Austria	1,693	1,93	14,00
Dinamarca	1,834	1,897	3,44
Francia	1,698	1,774	4,48
España	2,214	1,596	-27,91
Portugal	1,259	1,35	7,23
Total Europa	37,996	44,104	16,08

Figura 1.3: Producción de electricidad con la energía biomasa en Europa al fin de 2005 (en TWh):

Origen: EurObserver, Solid Biomasa Barometer. [6]

	2004	2005	Crecimiento (%)
Suecia	2,214	2,214	0,00
Francia	1,243	1,279	2,90
Finlandia	0,626	0,626	0,00
Dinamarca	0,438	0,483	10,27
Austria	0,249	0,283	13,65
Reino unido	0,269	0,155	-42,38
Republica Checa	0,149	0,149	0,00
Total Europa	5,297	5,478	3,42

Figura 1.4: Producción de calor con la energía biomasa Europa al fin de 2005 (en MTEP):

Origen: EurObserver, Solid Biomass Barometer. [6]

3. TECNOLOGIA:

Utilización para la calefacción:

La combustión de la biomasa o de biogás puede utilizarse para generar calor y vapor. El calor puede ser el producto principal, en usos tales como calefacción de hogares y cocinar, o puede ser un subproducto de la producción eléctrica en centrales combinadas de calor y energía. El vapor generado por la biomasa puede utilizarse para accionar turbinas de vapor para la producción eléctrica, utilizarse como calor de proceso en una fábrica o planta de procesamiento, o utilizarse para mantener un flujo de agua caliente.

Los Biocombustibles:

La producción de biocombustibles tales como el etanol y el biodiesel tiene el potencial de sustituir cantidades significativas de combustibles fósiles en varias aplicaciones de transporte. El uso extenso del etanol en Brasil ha demostrado que los biocombustibles son técnicamente factibles en gran escala. La producción de biocombustibles en los EE.UU. y Europa (etanol y biodiesel) está aumentando, siendo la mayoría de los productos utilizados en combustible mezcla, por ejemplo E20 está compuesto por 20% de etanol y 80% de gasolina y se ha descubierto que es eficaz en la mayoría de los motores de ignición sin ninguna modificación. Actualmente la producción de biocombustibles es apoyada con incentivos del gobierno, pero en el futuro, con el crecimiento de los sembrados dedicados a la bioenergía, y las economías de la escala, las reducciones de costos pueden hacer competitivos a los biocombustibles.

Utilización para la producción de electricidad

Existen muchas tecnologías y aquí vemos como ejemplo la de una central de turbina de gas, que utiliza el combustible procedente de la gasificación de la biomasa.

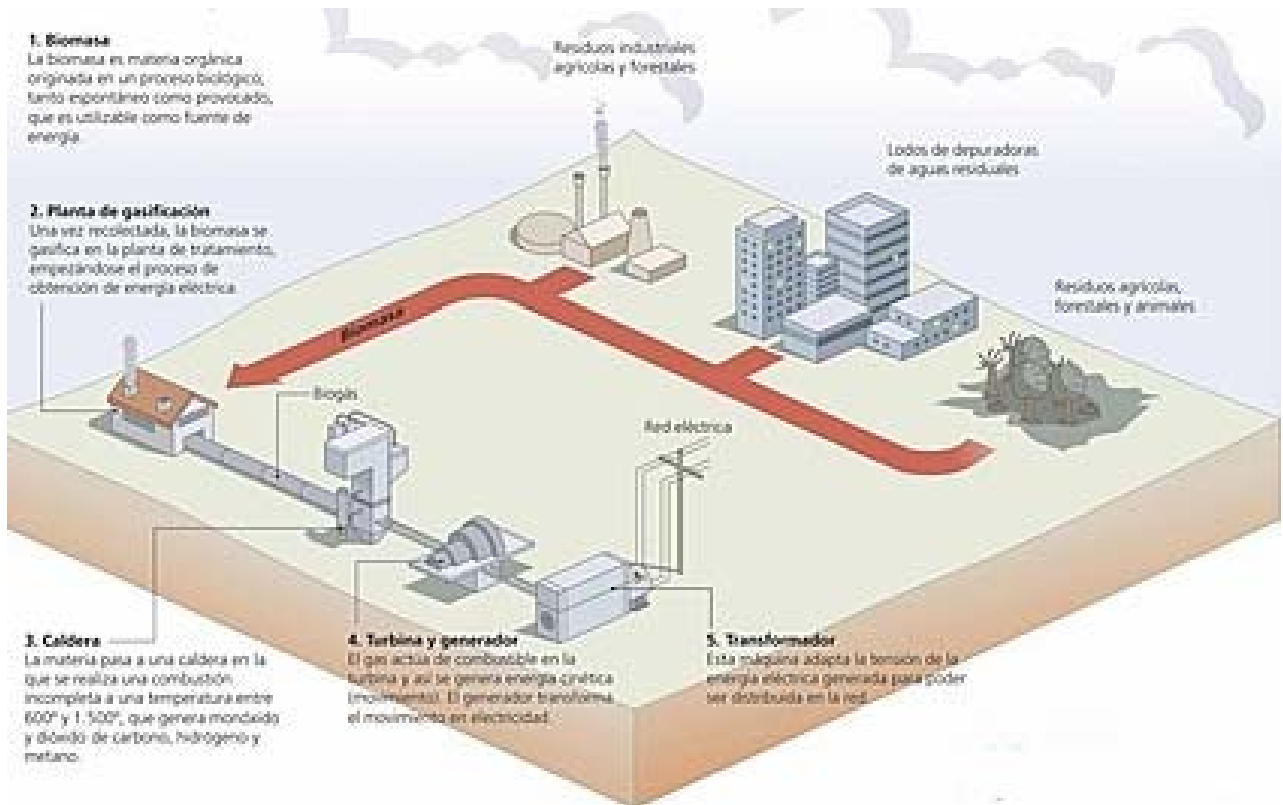


Figura 1.5: Esquema de funcionamiento de una central de turbina de gas

PARTE 3: LA ENERGIA HIDRAULICA

1. GENERALIDADES

La energía hidráulica es la energía que se obtiene de la explotación de las energías cinética y potencial de la corriente de ríos o de los saltos de aguas.

Se puede definir también como la energía producida por un desplazamiento o una acumulación de un fluido incompresible como el agua dulce, el agua de mar o el aceite.

Esta energía se utilizada desde muchos siglos con el ejemplo de los molinos rurales. Sin embargo, la utilización más significativa la constituyen las centrales hidroeléctricas.

Las regiones donde existe una combinación adecuada de lluvias, desniveles geológicos son lugares interesantes para la explotación de este recurso; entonces se utiliza la energía potencial contenida en las masas de agua que transportan los ríos, provenientes de la lluvia y del deshielo para generar esta energía. Puede ser utilizada para producir electricidad mediante un salto de agua, como se hace en las centrales hidroeléctricas.

-Ventajas: se trata de una energía renovable y limpia, de alto rendimiento energético.

-Inconvenientes: la constitución del embalse supone la inundación de importantes extensiones de terreno, a veces áreas fértiles o de gran valor ecológico, así como el abandono de pueblos y el desplazamiento de las poblaciones

Existe también la “Minihidráulica”, es decir instalaciones de menos de 10MW con una presa máxima de 15m que permite abastecer en energía pueblos o regiones montañosas.

2. PANORAMA GENERAL

La energía hidroeléctrica representa 19% de la producción total de electricidad en el mundo. El total de la capacidad mundial en 2005 es de 37000MW.

En Europa:

	2004	2005	Crecimiento
Italia	2365	2405	1,70%
Francia	2040	2060	1%
Espana	1749	1788	2,20%
Alemania	1564	1584	1,30%
Austria	994	1062	6,80%
Suecia	823	905	10%
Polonia	285	318	11,60%
Finlandia	306	306	0%
Republica Checa	272	277	1,80%
Portugal	267	267	0%
Reino Unido	136	158	16,20%
Total Europa	11260	11601	3%

Figura 1.6: Capacidad hidroeléctrica instalada en Europa al fin de 2005 (en MW):

Origen: *EurObserver, Hydropower Barometer* [7]

En México: [18]

Aun cuando en 1979 se estimaba que el potencial hidráulico del país ascendía a 172,000 millones de KWH (172 TWH), estudios posteriores revelaron que el potencial aprovechable era tan solo de 80 TWH, de los cuales para 1995, las 76 centrales hidroeléctricas en funcionamiento, con capacidad total de 9,131 MW (miles de KW), representaban ya alrededor del 33% de ese potencial.

Para el año 2004, la Comisión Federal de Electricidad ha programado la instalación de 2,507 MW adicionales de este tipo de instalaciones, con lo cual la utilización del potencial disponible, se elevará al 52%; los 37 TWH restantes, seguramente se aprovecharán totalmente, antes de que concluya la primera mitad del siglo XXI.

3. TECNOLOGIA: UNA CENTRAL HIDRAULICA

Las dos características principales de una central hidroeléctrica, desde el punto de vista de su capacidad de generación de electricidad son:

-la potencia, que es función del desnivel existente entre el nivel medio del embalse y el nivel medio aguas abajo de la usina, y del caudal máximo turbinable, además de las características de la turbina y del generador

-la energía garantizada, en un lapso de tiempo determinado, generalmente un año, que es función del volumen útil del embalse, y de la potencia instalada.

La potencia de una central puede variar desde unos pocos MW (minihidráulica), hasta 30 MW se consideran minicentrales. La Central hidroeléctrica mayor del mundo, hasta la fecha (2005), Itaipú, tiene una potencia instalada de 14.000 MW, sumando las 20 turbinas.

Podemos clasificar las centrales eléctricas en:

- Centrales de base, destinadas a suministrar la mayor parte de la energía eléctrica, de forma continua. Estas centrales llamadas también centrales principales, son de gran potencia y utilizan generalmente como máquinas motrices las turbinas de vapor, turbinas de gas y turbinas hidráulicas.

- Centrales de puntas, exclusivamente proyectadas para cubrir las demandas de energía eléctrica en las horas - punta; en dichas horas - punta, se ponen en marcha y trabajan en paralelo con la

central principal. Si la central de base es de pequeña potencia, se utilizan grupos electrógenos cuya máquina motriz es un motor de explosión; si la central de base es mayor, se utilizan generalmente pequeñas con motores Diesel.

- Centrales de reserva, que tienen por objeto sustituir total o parcialmente a las centrales hidráulicas de base en casos de escasez de agua o avería en algún elemento del sistema eléctrico. No deben confundirse con las centrales de puntas, anteriormente citada, ya que el funcionamiento de las centrales de puntas es periódico (es decir, todos los días a ciertas horas) mientras que el de las centrales de reserva es intermitente. Como centrales de reserva se utilizan, normalmente, centrales térmicas cuyas máquinas motrices son turbinas de vapor y, en instalaciones de pequeña potencia, motores Diesel.

- Centrales de socorro, tienen igual cometido que las centrales de reserva citadas anteriormente; pero la instalación del conjunto de aparatos y máquinas que constituyen la central de reserva, es fija, mientras que las centrales de socorro son móviles y pueden desplazarse al lugar donde sean necesarios sus servicios. Estas centrales son de pequeña potencia y generalmente accionadas por motores Diesel; se instalan en vagones de ferrocarril o en barcos especialmente diseñados y acondicionados para esta misión.

- Centrales de acumulación o de bombeo que son siempre hidroeléctricas. Se aprovecha el sobrante de potencia de una central hidroeléctrica en las horas de pequeña demanda, para elevar agua de un río o de un lago hasta un depósito, mediante bombas centrífugas accionadas por los alternadores de la central, que se utilizan como motores. En los periodos de gran demanda de energía, los alternadores trabajan como generadores accionados por las turbinas que utilizan el agua previamente elevada anteriormente.

- Centrales Minihidráulica tienen un impacto ambiental muy reducido, ajustándose mejor a la morfología del río y pudiendo producir energía con aguas pasantes, evitando así la construcción de grandes presas.

Funcionamiento de una central hidroeléctrica:

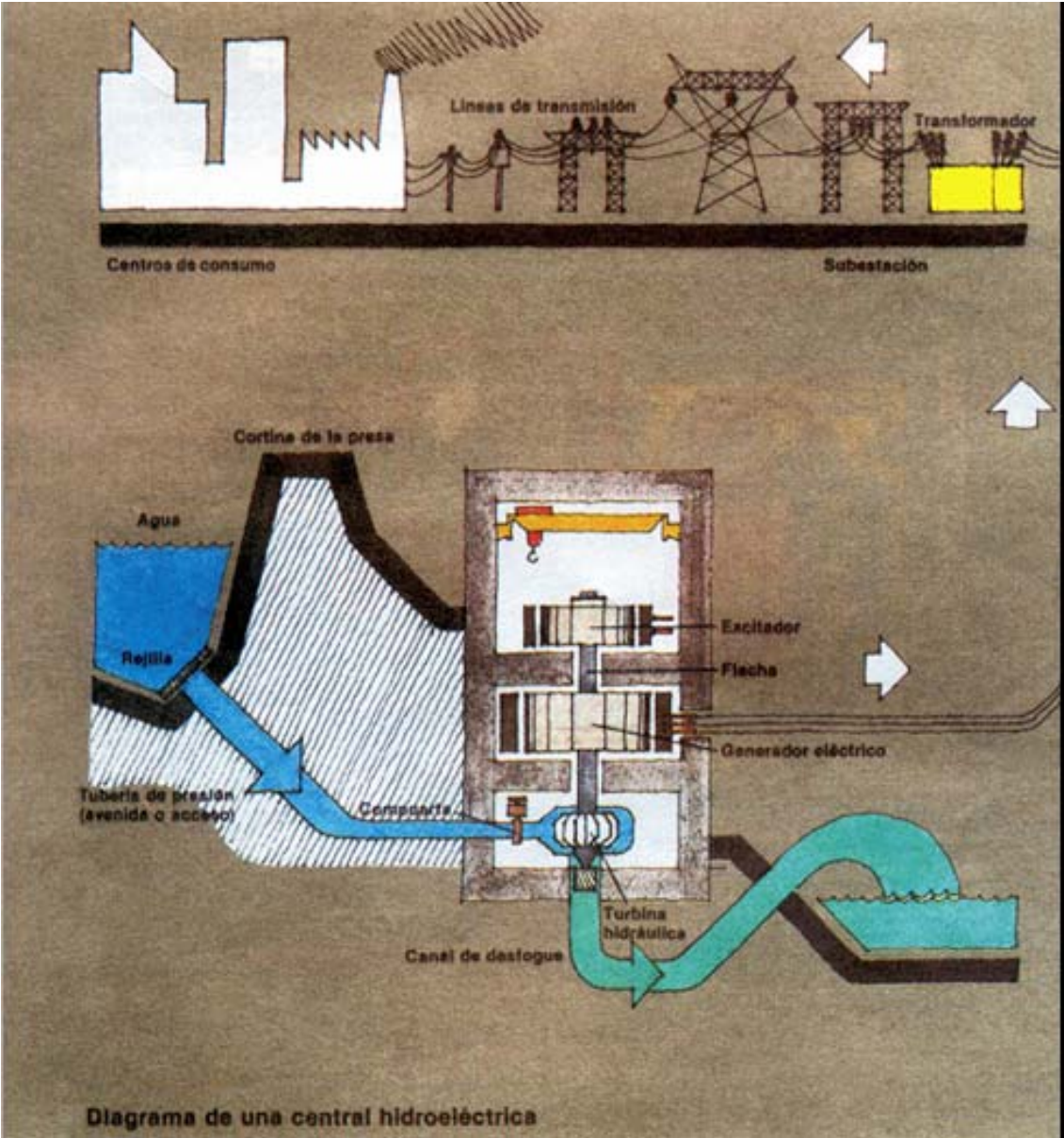


Figura 1.7: Esquema de funcionamiento de una central hidroeléctrica

PARTE 4 : LA ENERGIA SOLAR

1. GENERALIDADES

La energía solar es la energía obtenida del Sol. La radiación solar incidente en la Tierra puede aprovecharse por su capacidad para calentar o directamente a través del aprovechamiento de la radiación en dispositivos ópticos o de otro tipo. Es un tipo de energía renovable y limpia, lo que se conoce como energía verde.

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes, y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas direcciones.

Existen diferentes utilizaciones de la energía solar:

- Energía solar pasiva: Aprovecha el calor del sol sin necesidad mecanismos o sistemas mecánicos.
- Energía solar térmica: Para producir agua caliente de baja temperatura para uso doméstico sanitario y calefacción.
- Energía solar fotovoltaica: Para producir electricidad, en placas de semiconductores que se excitan con la radiación solar.
- Energía solar termoeléctrica: Para producir electricidad con un ciclo termodinámico convencional, a partir de un fluido calentado por el sol.
- Energía solar híbrida: Combina la energía solar con la combustión de biomasa o combustibles fósiles.
- Energía eólico solar: Funciona con el aire calentado por el sol y que sube por una chimenea donde están los generadores.

- Ventajas: es una energía inagotable cuyo uso no produce ni contaminación ni residuos.
- Inconvenientes: El costo de instalación es caro.

2. PANORAMA GENERAL

Entre todas las energías renovables, la energía solar ocupa la última posición con una producción en 2004 de 3,25 TWh.

Aunque el sol sea un elemento al alcance de la mayoría de los países del planeta, la energía solar se desarrolla sobre todo en los países industrializados. Japón es de mucho el primer productor mundial.

	2004	parte de la producción total
Japón	1,2	36,93%
Estados Unidos	0,931	28,67%
Alemania	0,459	14,13%
India	0,118	3,64%
Australia	0,069	2,11%
China	0,063	1,95%
España	0,054	1,66%
Italia	0,034	1,04%
Holanda	0,033	1,02%
México	0,033	1,02%
Francia	0,027	0,83%

Figura 1.8: Producción eléctrica por la energía solar en el mundo al fin de 2004 (en TWh)

Origen, EurObserver, Solar thermal Barometer. [8]

Asia et Oceanía	1,528
América del Norte	0,954
Europa	0,672
América Central y del Sur	0,058
África	0,003
Total	3,248

Figura 1.9: Producción eléctrica por la energía solar por zona geográfica al fin de 2004 (en TWh):

Origen: EurObserver, Solar Thermal Barometer [8]

3. TECNOLOGIA:

Solar fotovoltaico:

En una célula fotovoltaica, la luz excita electrones entre capas de materiales semiconductores de silicio. Esto produce corrientes eléctricas.

Las células solares hechas con obleas finas de silicio, arseniuro de galio u otro material semiconductor en estado cristalino, convierten la radiación en electricidad de forma directa. Ahora se dispone de células con eficiencias de conversión superiores al 30%. Por medio de la conexión de muchas de estas células en módulos, el costo de la electricidad fotovoltaica se ha reducido mucho. El uso actual de las células solares se limita a dispositivos de baja potencia, remotos y sin mantenimiento, como boyas y equipamiento de naves espaciales.

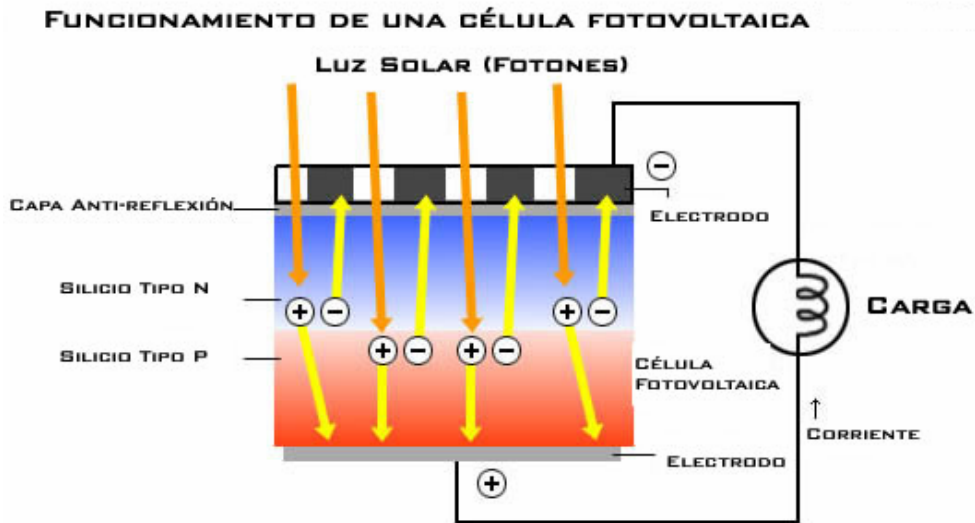


Figura 1.10: Funcionamiento de una célula fotovoltaica

Solar térmica:

La energía solar térmica o energía termosolar, consiste en el aprovechamiento de la energía del sol para producir calor que puede aprovecharse para la producción de agua caliente destinada al consumo agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y a partir de ella, de electricidad.

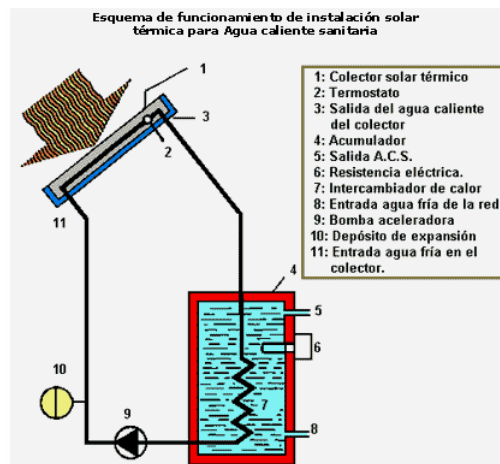


Figura 1.11: Esquema de funcionamiento de instalación solar térmica para agua caliente sanitaria

Solar pasivo:

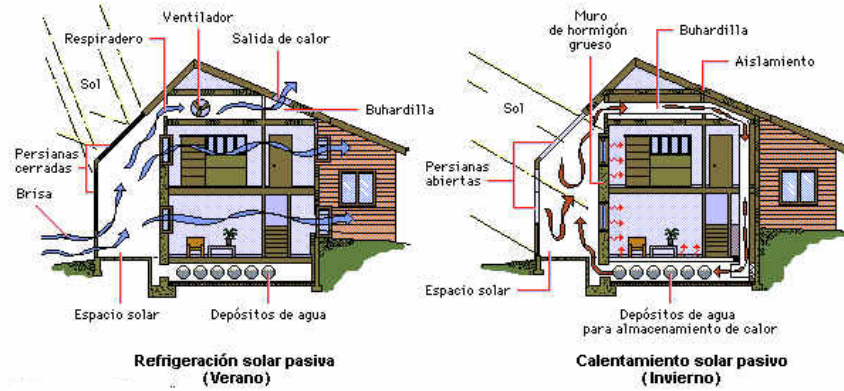


Figura 1.12: Esquema de funcionamiento de instalación de energía solar pasiva

Solar Termoeléctrico:

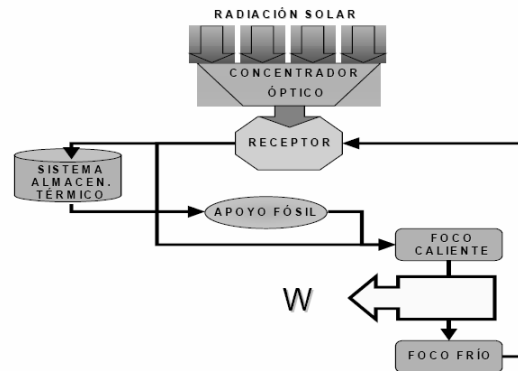


Figura 1.13: Esquema de funcionamiento de instalación de energía solar termoeléctrica

PARTE 5 : LA ENERGIA MAREOMOTRIZ

1. GENERALIDADES

La energía mareomotriz es la que resulta de aprovechar las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa de La Tierra y La Luna, y que resulta de la atracción gravitatoria de esta última y del sol sobre las masas de agua de los mares. Esta diferencia de alturas puede aprovecharse interponiendo partes móviles al movimiento natural de ascenso o descenso de las aguas, junto con mecanismos de canalización y depósito, para obtener movimiento en un eje. Mediante su acoplamiento a un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más útil y aprovechable. Es un tipo de energía renovable limpia.

Ventajas:

- Auto renovable.
- No contaminante.
- Silenciosa.
- Bajo costo de materia prima.
- No concentra población.
- Disponible en cualquier clima y época del año.

Desventajas:

- Impacto visual y estructural sobre el paisaje costero.
- Localización puntual.
- Dependiente de la amplitud de mareas.
- Traslado de energía muy costoso.
- Efecto negativo sobre la flora y la fauna.
- Limitada.

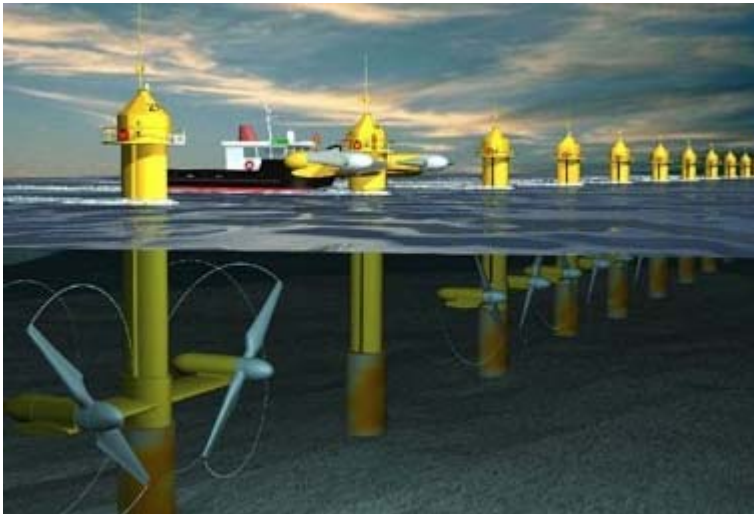
2. PANORAMA GENERAL

En Francia, Electricidad de Francia (EDF) [9] instaló una central eléctrica mareomotriz en el estuario del río Rance en el oeste del país. Esta central fue en servicios durante varias décadas, produciendo electricidad (0,5 TWh) para cubrir las necesidades de una ciudad como Rennes (el 3% de las necesidades de Bretaña).

Otros proyectos no han llegado a ejecutarse por el riesgo de fuerte impacto medioambiental. Ejemplos de esto se pueden ver alrededor del planeta como es el caso de una central mucho mayor prevista en Francia en la zona del Mont Saint Michel, o el de la Bahía de Fundy en Canadá, donde se dan hasta 10 metros de diferencia de marea, o el del estuario del río Severn, en el reino Unido, entre Gales e Inglaterra

3. TECNOLOGIA:

Aquí se puede ver esquemas de funcionamiento de una instalación mareomotriz.



Figuras 1.14 y 1.15: Esquemas de funcionamiento de una instalación mareomotriz

PARTE 6: LA ENERGIA GEOTERMICA

INTRODUCCION

La geotermia es la ciencia que estudia el calor de la Tierra (Geotérmico viene del griego geo: Tierra, thermos: calor; literalmente "calor de la Tierra"). La temperatura de la Tierra aumenta a profundidad a partir de una línea denominada isogeoterma. A partir de ella, la temperatura aumenta, en promedio, a razón de 1 grado cada 33 metros de profundidad. Este incremento se lo denomina "grado geotérmico".

Con los estudios sobre la dinámica de la Corteza Terrestre, se ha considerado y comprobado que nuestro planeta almacena en su interior una fabulosa reserva de energía calorífica prácticamente inagotable. Con esta fuente de calor, la energía geotérmica es utilizada actualmente en diversas partes del mundo para la generación de energía eléctrica y algunos usos directos como calefacción, acuicultura, secado de productos vegetales e invernaderos.

En este estudio, se va a enfocar sobre la energía geotérmica para la calefacción y la climatización de la vivienda pero se va a presentar la energía geotérmica en general y sus diferentes usos en esta parte

1. EL CALOR DE LA TIERRA:

La mayor parte del calor de la Tierra es producida por la radioactividad natural de las rocas que constituyen la corteza terrestre: es la energía nuclear producida por la desintegración del uranio, del torio y del potasio.

Estructura y composición de la Tierra:

La Tierra esta formada por tres capas concéntricas: la corteza, el manto y el núcleo.

- La corteza es la capa más superficial; esta limitada en su parte inferior por una discontinuidad sísmica llamada de Mohorovicic. La corteza, completamente sólida, es de naturaleza doble: bajo los océanos tiene un espesor de 10 kilómetros y esta constituida por basalto; y por debajo de los continentes es mas gruesa (entre 30 y 80 kilómetros) y esta formada por rocas ricas en silicio,

contiene hasta más de 70% de sílice en la corteza continental y no más de 50% en la corteza oceánica.

- El manto es la capa situada entre la corteza (delimitada con la discontinuidad de Mohorovicic) y el núcleo (delimitada con la discontinuidad de Gutemberg). El manto es sólido exceptuando una zona parcialmente fundida, situada entre los 100 y 700 kilómetros de profundidad. Esta formando por una roca llamada peridotito, pobre en sílice (30%) y rica en magnesio.

- El núcleo es la parte central de La Tierra. Está separado del manto por la discontinuidad de Gutemberg (-2900m) y se caracteriza por una alta densidad. No se conoce la composición química pero su elevada densidad (superior a 8 g/cm³) y el estudio de los meteoritos hacen pensar que se trata de hierro asociado con níquel. La parte superficial del núcleo (llamado núcleo externo) es líquido y la parte central (llamado núcleo interno) es sólida debido a la enorme presión que reina a esa profundidad

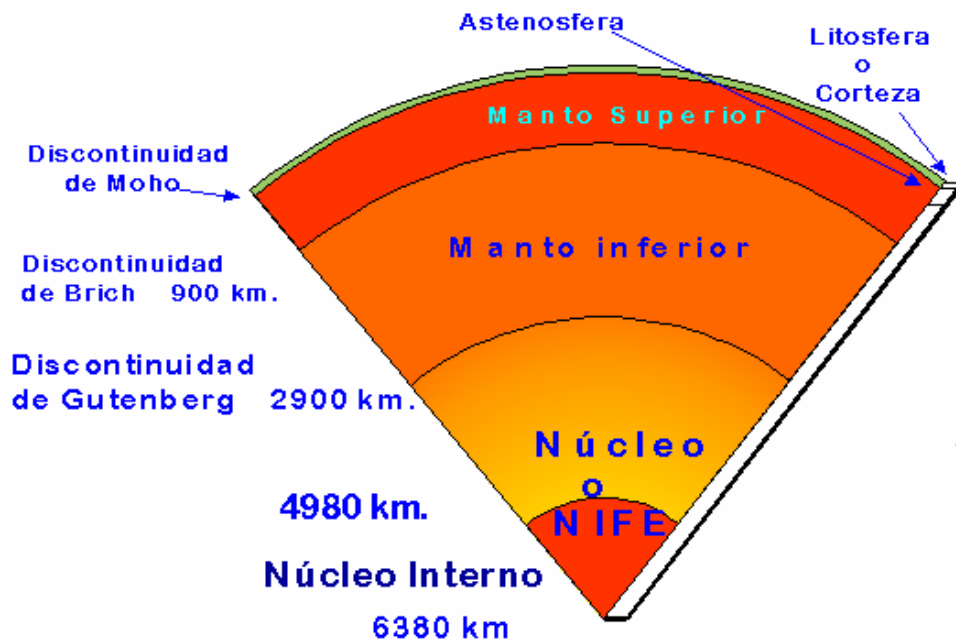


Figura 1.16: Estructura interna de la Tierra

El gradiente geotérmico:

Hay dos definiciones del gradiente geotérmico, una popular que le define como una elevación de la temperatura a medida que la profundidad es mayor, y una segunda menos popular que le define como un flujo térmico. Este último es una expresión de la cantidad de calor que constantemente sale de desde nuestro planeta al exterior y suele medirse en calorías que llegan a la superficie por unidad de superficie. El flujo de calor promedio en La Tierra es de 60mW/m².

El gradiente se puede medir determinando cuidadosamente, mediante perforaciones, las temperaturas del interior de la Tierra, en dos puntos a diferentes profundidades situados fuera de la zona más extensa de la Tierra (donde las temperaturas están influenciadas por las condiciones climáticas y solares. El flujo calórico no puede determinarse directamente, pero si en una perforación se determina el gradiente y la conductividad térmica de las rocas que allí existen, se puede calcular el flujo mediante con la fórmula sencilla siguiente:

$$\text{Gradiente} = \text{flujo} / \text{conductividad}$$

Los gradientes térmicos observados varían mucho de un lugar a otro, llegando hasta un nivel bajo de alrededor de 10°C por kilómetro en algunos lugares; pero un promedio representativo en las regionales no termales de la Tierra sería del orden de 25°C a 30°C por Km. En unos cuantos lugares favorecidos especialmente por la naturaleza, pueden encontrarse gradientes mucho mayores, por ejemplo, gradientes de 200°C a 800°C por km., como los que se han observado en Larderello en Italia.

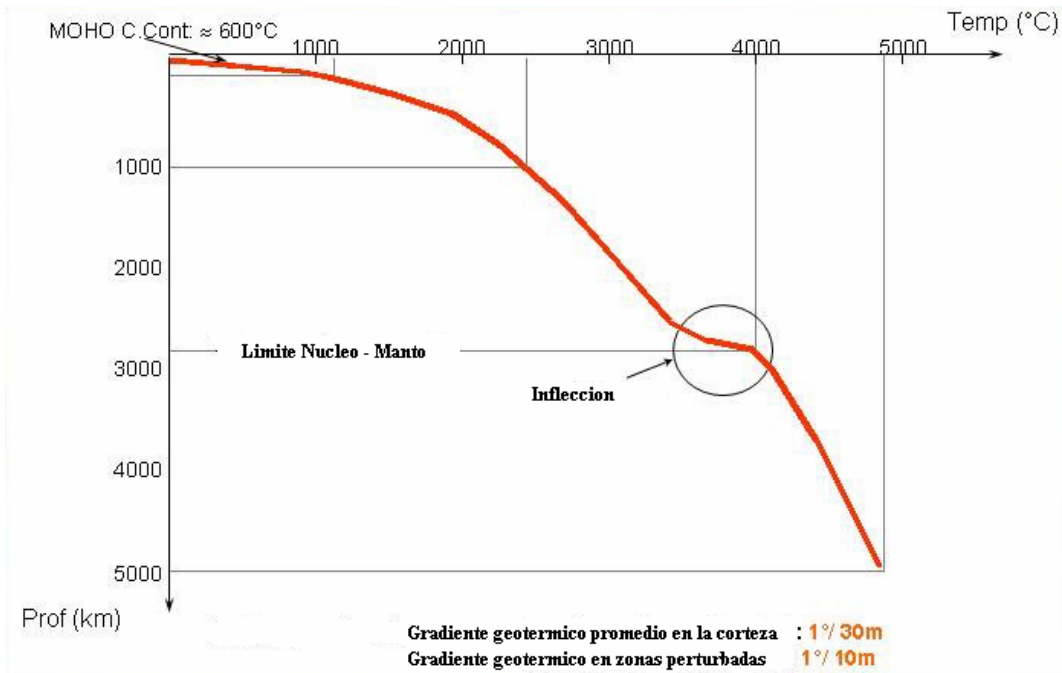


Figura 1.17: Grafica de la temperatura de la Tierra en función de la profundidad

Manifestaciones hidrotérmicas:

- Manantiales calientes:

Aunque comúnmente se dice que los manantiales calientes están relacionados con las etapas declinantes de la actividad volcánica ellos son en promedio menos numerosos en los cinturones volcánicos que en otros sitios.

La mayoría de las aguas termales caen adentro de uno de los tres tipos más comunes:

- aquellas que contienen grandes cantidades de carbonato de calcio en solución.
- aguas acidas, usualmente ricas en sulfatos.
- aguas alcalinas, las cuales tienden a tener altos contenidos de cloruros.

- Geiser:

Un géiser es un tipo de fuente termal que erupciona periódicamente, expulsando una columna de agua caliente y vapor en el aire.

La actividad de los géiseres es causada por el contacto entre el agua superficial y rocas calentadas por el magma ubicado subterráneamente. El agua calentada geotérmicamente regresa a la superficie por convección a través de rocas porosas y fracturadas. Los géiseres se diferencian de las demás fuentes termales por su estructura subterránea; muchos consisten en una pequeña abertura a la superficie conectada con uno o más tubos subterráneos que conectan con las reservas de agua.

A medida que el géiser se llena, el agua más superficial se va enfriando, pero debido a lo estrecho del conducto, el enfriamiento conectivo del agua en la reserva es imposible. El agua fría de la superficie es presionada bajo el agua caliente, asemejándose a la tapa de una olla a presión, haciendo que el agua de reserva se súper-caliente, manteniendo el líquido a temperaturas superiores a su punto de ebullición.

Por último, la temperatura del fondo del géiser comienza a subir alcanzando el punto de ebullición; las burbujas del vapor ascienden hasta la punta del conducto. Al atravesar el cráter del géiser, algo de agua se desborda y salpica hacia afuera, reduciendo la anchura de la columna y la presión del agua que hay debajo. Con este escape de presión, el agua súper-caliente se mezcla con el vapor, ebulliciendo violentamente por la columna. La espuma resultante entre el vapor y el agua caliente es expulsada fuera del géiser.

Los más conocidos se encuentran en Islandia, Nueva Zelanda, Estados Unidos (Parque de Yellowstone), Japón y Chile.

- Lagos cráter:

El agua localizada en el cráter de un volcán activo actúa como un gran condensador que absorbe el calor y las emanaciones volátiles producidas por los orificios sobre el piso del cráter.

- Fumarolas:

Las fumarolas son emisiones de vapor de agua y otros gases que se producen en los volcanes una vez terminada la fase de mayor actividad de la erupción y en las grietas asociadas con la actividad geotérmica.

Las emisiones pueden producirse por el cráter del volcán o por cualquier fisura. Las fumarolas pueden agruparse en campos y según la composición y la temperatura de los gases que

emiten. Corresponden a diversos tipos, cuyos nombres se refieren a los gases que abundan más: Cloruradas (cloruros), Ácidas (ácido clorhídrico) o Solfataras (sulfuros). Estas fumarolas emiten sus gases a temperaturas superiores a 100 °C, por lo que suele estar presente el vapor de agua.

- Mofetas:

Tipo de fumarolas cuyas emisiones son relativamente frías (unas 90°C). Los gases que desprende son especialmente ricos en dióxido de carbono.

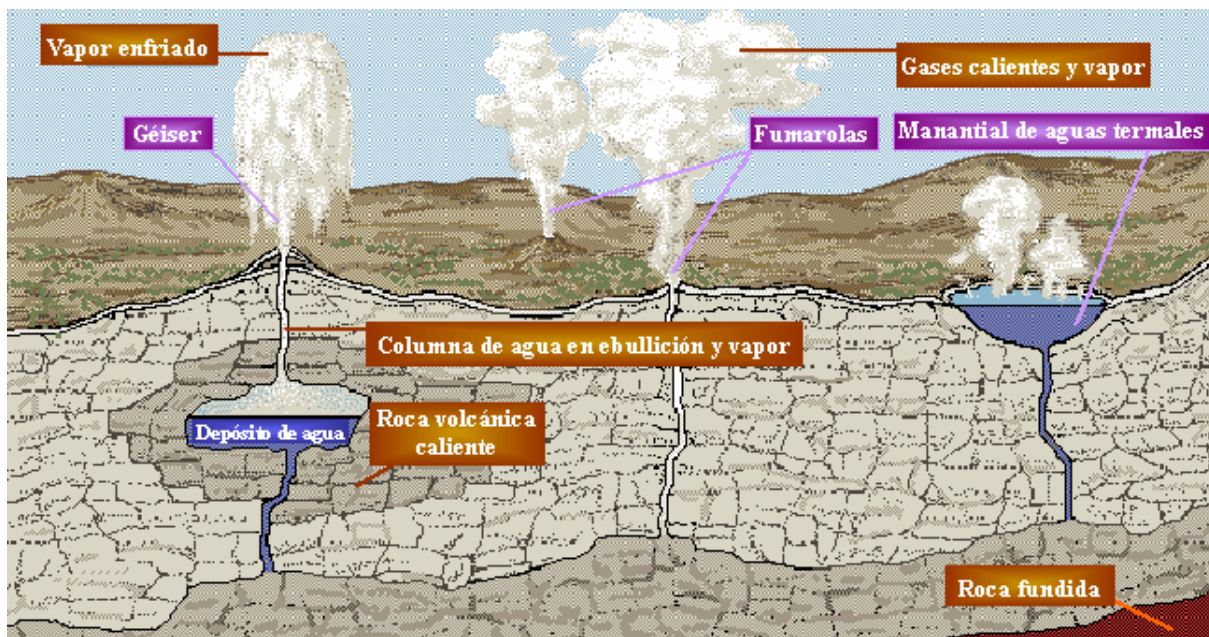


Figura 1.18: Esquema de los diferentes tipos de manifestaciones hidrotérmicas

2. HISTORIA DE LA GEOTERMIA

Los primeros rastros de utilización de la geotermia por el hombre remontan a cerca de 20.000 años. A lo largo de la historia de las civilizaciones, la práctica de los baños termales se ha multiplicado y desde hace un siglo, las explotaciones industriales se han desarrollado para la producción de electricidad y la calefacción urbana [10].

La utilización del agua termal por parte del ser humano es tan antigua como la civilización misma. Los griegos y los romanos dejaron numerosos ejemplos de su aplicación en la calefacción urbana y en las tradicionales termas o baños públicos. A modo de ejemplo cabe recordar que en las importantes instalaciones de Aeculapio, en La Antigua Pergamo (Asia Menor), donde la totalidad de los hospitales se calentaban en el agua caliente proveniente de las numerosas termas en la zona.

Los “hamams” turcos, fueron inventados por los otomanos, aprovechando las manifestaciones termales superficiales de la región de Anatolia que superaban los 100°C de temperatura promedio.

La geotermia, como forma de aprovechamiento de energía, nace en el siglo XVIII en Italia cuando F.U.Hoefer descubrió la presencia de ácido bórico en los condensos del vapor geotérmico que se desprendía naturalmente de los clásicos “sofloni”, manifestaciones endógenas de vapor, de la región de Monterotondo. En 1818, Francisco Larderel comenzó la extracción del ácido bórico en una pequeña factoría que evaporaba el agua termal quemando madera. Años después, en 1827, se comenzó a utilizar el fluido termal propio, agua y vapor, de los soffloni, para evaporar el agua bórica.

El paso siguiente fue perforar el terreno, una decena de metros, para recuperar directamente el vapor endógeno. El incremento de la producción dio lugar a que en el año 1835 fuesen ya numerosas las fábricas existentes en la zona (Castelnuovo, Sasso, Serrazano, etc.) donde hoy existen grandes centrales geotérmicas.

En 1904, el príncipe Piero Ginori Conti impulsó la construcción de la primera central eléctrica geotérmica de 250 kW, en Larderello, la cual entró en funcionamiento en 1913. Las experiencias continuaron y en 1940 se instalaron 25 MW. Actualmente la potencia instalada es de 390 MW en Larderello y 483 MW de vapor seco en la región de Toscana.

Durante el quinquenio 1925-1930, los Estados Unidos siguieron el ejemplo de Italia y, en la zona de géiser de California se instaló una pequeña máquina de vapor. Conectada a una dinamo, produjo electricidad para un pequeño establecimiento termal. En los años 1960 se construyó el mayor conjunto de centrales geotermoelectricas de vapor seco del mundo, con una potencia de 1792 MW y un potencial probable de 2000 MW.

Tanto Nueva Zelanda como México iniciaron la producción de energía geotérmica en 1958. Desde esa fecha Nueva Zelanda tiene una potencia instalada de 167 MW entre Wairakei y

Kawerau, con vapor húmedo, teniendo proyectos para otros 118 MW. México construyó su primera planta de 3,5 MW en Pathe, Hidalgo. Actualmente, la central más importante es la de Cerro Prieto en Baja California, de 325 MW, inaugurada en 1973 y en la que se está construyendo una ampliación de 220 MW adicionales. Además, los campos geotérmicos de los Azufres en Michoacán y “La Primavera” en Jalisco tienen un gran potencial geotérmico. México alcanza una producción geotérmica de 700 MW con 115 MW en construcción y 230 MW en proyecto.

Durante los años 1970 y 1980 varios países de América Central se incorporaron a la producción de electricidad geotérmica. Nicaragua y El Salvador, por ejemplo, lograron un balance energético positivo ya que cubren una parte importante de la demanda energética.

El caso más espectacular y reciente es el de las Islas Filipinas. La Union Oil Company of California, con la colaboración de Energía Eléctrica de Filipinas consiguió que un país que en 1976 no producía electricidad geotérmica, tenga en la actualidad y con solo dos años de investigación, una potencia instalada de 894 MW. Esta cifra coloca a las Filipinas como el segundo país productor de electricidad geotérmica del mundo, desplazando a Italia que era, históricamente, el segundo país productor, después de los Estados Unidos

3. SITUACION ACTUAL

Para la producción de electricidad

La energía geotérmica es actualmente la cuarta energía renovable para la producción de electricidad después de las energías hidráulicas, biomasa y eólica. Al fin del año 2004, representa 0,3% de la producción de electricidad mundial (54,7 TWh sobre un total de 17387 TWh).

México es uno de los países que han aumentado lo más su capacidad con una instalación de 198 MWe entre 2000 y 2004 con Indonesia también (+208 MWe entre 2000 y 2004).

	Capacidad instalada en 2000	Capacidad instalada en 2004	Capacidad en funcionamiento en 2004
Estados Unidos	2228	2544	1914
Filipinas	1909	1931	1838
México	755	953	953
Indonesia	590	797	838
Italia	785	790	699
Japón	547	535	530
Nueva Zelanda	437	435	403
Islandia	170	202	202
Costa Rica	143	163	163
Salvador	161	151	119
Otros Países	248	409	353
Total	7973	8910	8012

Figura 1.19: capacidad geotérmica instalada y en funcionamiento por países al fin de 2004 (en MWe):

Origen: EurObserver, Geotermia Barometer. [11]

	Capacidad instalada en 2000	Capacidad instalada en 2004	Capacidad en funcionamiento en 2004	Porcentaje de la capacidad instalada en el mundo
América del Norte	2983	3497	2867	39,25
Asia	3075	3291	3225	36,94
Europa	1018	1123	1027	12,60
Oceanía	437	441	409	4,95
América Central y del Sur	407	424	349	4,76
África	52	134	134	1,50
Total	7972	8910	8011	100

Figura 1.20: Capacidad geotérmica instalada y en funcionamiento por continentes al fin de 2004 (en MWe):

Origen: EurObserver, Geotermia Barometer [11]

Para la producción de calor:

- aplicaciones de la geotermia de temperaturas medias y bajas:

Al fin del año 2004, la geotermia de temperaturas medias y bajas representa una potencia de 12103MWth (2233 MWth mas que en 2000). Y la utilización energética geotérmica esta estimada a 4,2 Mtep en 2004 contre 4 Mtep en 2000.

Las principales utilización de este calor geotérmica son el calentamiento de los baños y de las piscinas (40,6%) y al calentamiento de los edificios (34,4%

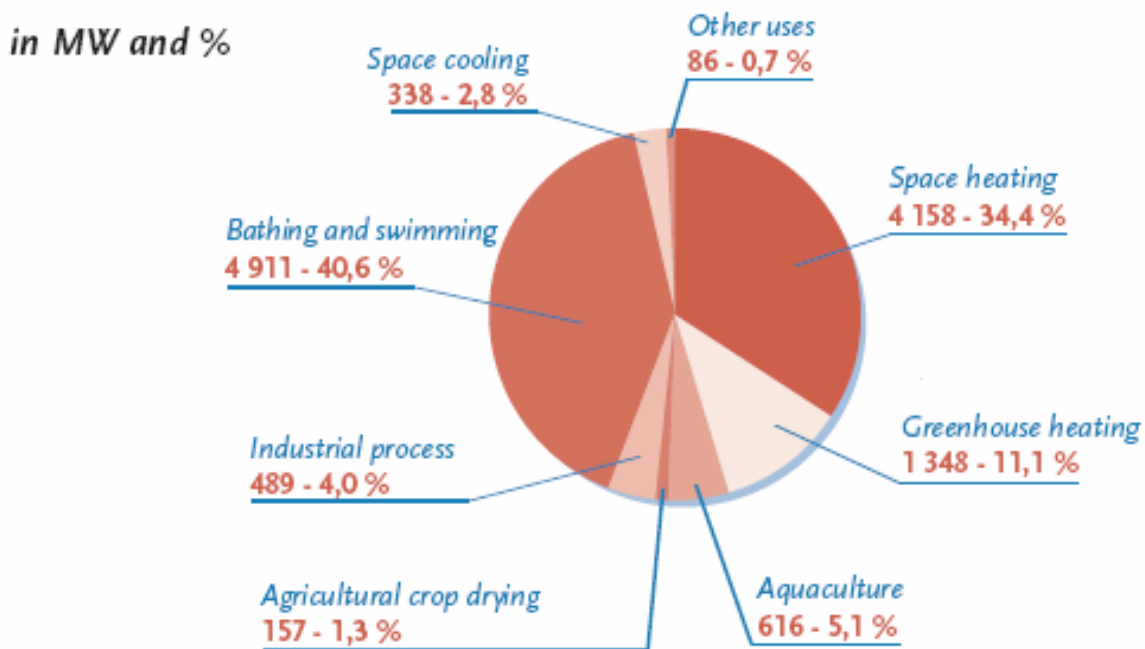


Figura 1.21: Repartición de la utilización energética de geotérmica de temperaturas medias y bajas

Origen: *EurObserv'ER 2005 según World geothermal Congress 2005/EurObserv'ER 2005 from World Geothermal Congress 2005 [11]*

- aplicaciones de la geotermia de muy baja temperatura

La potencia total de las bombas de calor que utilizan la energía geotérmica en 2004 en el mundo es de 13815 MWth (5275MWth en 2000). La energía geotérmica prelavada con estas bombas de calor es de 1,45 Mtep en 2004 contra 0,56 Mtep en 2000.

En Europa en 2004, hay aproximadamente 379000 unidades de bombas a calor geotérmicas equivalente a 4531 MWth con una mayoría de Suecia (185531 unidades, 1700 MWth), Alemania (48662 unidades, 632,6 MWth), Austria (30577 unidades, 612 MWth) y Francia (49950 unidades, 550 MWth).

4. LAS DIFERENTES ENERGÍAS

- Energía geotérmica de alta temperatura

La energía geotérmica de alta temperatura existe en las zonas activas de la corteza. Su temperatura está comprendida entre 150 y 400 °C, se produce vapor en la superficie y mediante una turbina, genera electricidad. Se requieren varias condiciones para que se dé la posibilidad de existencia de un campo geotérmico: un techo compuesto de una cobertura de rocas impermeables; un acuífero, o depósito, de permeabilidad elevada, entre 0,3 y 2 km de profundidad; rocas fracturadas que permitan una circulación convectiva de fluidos, y por lo tanto la transferencia de calor de la fuente a la superficie, y una fuente de calor magmático, entre 3 y 15 km de profundidad, a 500-600 °C. La explotación de un campo de estas características se hace por medio de perforaciones según técnicas casi idénticas a las de la extracción del petróleo.

- Energía geotérmica de temperaturas medias

La energía geotérmica de temperaturas medias es aquella en que los fluidos de los acuíferos están a temperaturas menos elevadas, normalmente entre 100 y 150 °C. Por consiguiente, la conversión vapor-electricidad se realiza a un menor rendimiento, y debe utilizarse como intermediario un fluido volátil. Pequeñas centrales eléctricas pueden explotar estos recursos.

- Energía geotérmica de baja temperatura

La energía geotérmica de temperaturas bajas es aprovechable en zonas más amplias que las anteriores; por ejemplo, en todas las cuencas sedimentarias. Es debida al gradiente geotérmico. Los fluidos están a temperaturas de 30 a 100°C y se usan para el calentamiento urbano.

- Energía geotérmica de muy baja temperatura

La energía geotérmica de muy baja temperatura se considera cuando los fluidos se calientan a temperaturas comprendidas entre 10 y 30 °C. Esta energía se utiliza para necesidades domésticas, urbanas o agrícolas. Se usa también en el calentamiento y la climatización de casas individuales que vamos a estudiar más tarde.

5. PRINCIPIO DE PRODUCCION DE ELECTRICIDAD

Una central geotérmica produce de la electricidad gracias al calor de Tierra que transforma el agua contenida en las capas freáticas en vapor y permite hacer girar a una turbina y un alternador.

Podemos definir cinco pasos para la producción de energía geotérmica:

1- La infiltración

Agua de lluvia o de mar se infiltra en las fracturas de la corteza terrestre para constituir el tanque en el sótano, llamado capa acuífera, a alta temperatura, de 150 a 350 °C.

2- El bombeo del agua

Gracias a una perforación en el sótano, el agua caliente se bombea hasta la superficie. Durante su ascensión, pierde de su presión y se transforma en vapor.

3- La producción de electricidad

La presión de este vapor hace girar una turbina que hace a su vez funcionar un alternador. Gracias a la energía proporcionada por la turbina, el alternador produce una corriente eléctrica alterna.

4- La adaptación de la tensión

Un transformador eleva la tensión del corriente eléctrico producido por el alternador para que puedan transportar le más fácilmente en los cables de alta tensión.

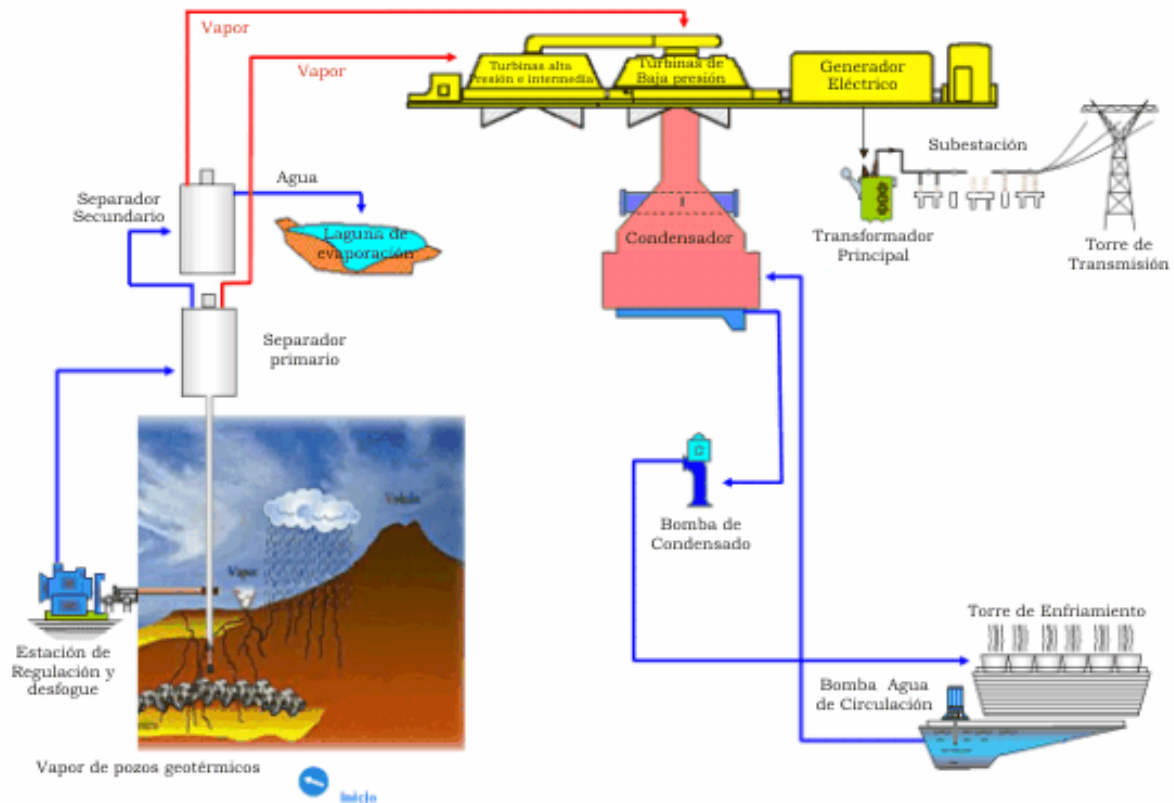


Figura 1.22: Esquema de funcionamiento de una central geotérmica

6. PRINCIPIO DE CALEFACCION URBANA

El principio de calefacción urbana con la energía geotérmica son dos perforaciones muy profundas algunos miles de kilómetro dependiendo de la naturaleza del suelo para buscar agua caliente en las capas acuíferas con la primera perforación ayudado con una bomba de extracción. Y el agua fría después de la utilización del agua caliente esta reinyectada en la capa a algunos kilómetros del sitio donde fue extraída el agua inicialmente. Eso para no desecar la capa y para que el agua fría se caliente de nuevo para utilizarla otra vez.

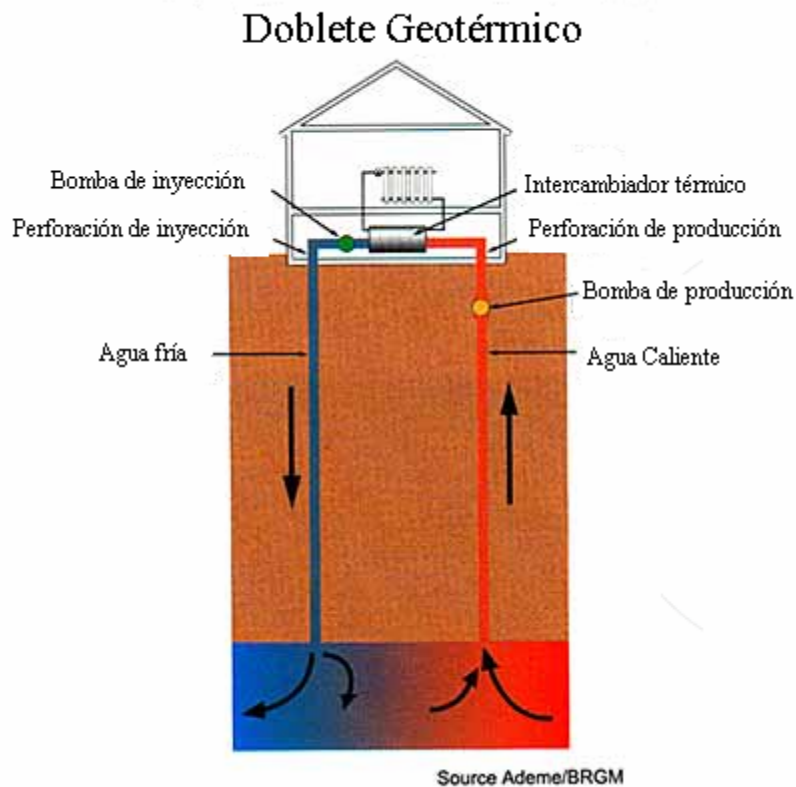


Figura 1.23: Esquema del principio del “Doblete Geotérmico”

7. PRINCIPIO DE CALEFACCION / CLIMATIZACION DE CASA UNIFAMILIARES

El principio de esta técnica es simple. Como a una profundidad de 60cm abajo del suelo no hay variación de temperatura entre el día y la noche y en una profundidad de 1,5 metro no hay variación entre el invierno y el verano, podemos usar este calor constante para climatizar y calentar una casa. Y como el suelo es más caliente en invierno que el aire y más fresco en verano que el aire, vamos a utilizar este calor constante para refrescar o calentar el aire de la casa con la ayuda de una bomba a calor

Para las casas individuales o los pequeños edificios, la mayoría de las bombas de calor geotérmicas (BACG) captan la energía del suelo con un circuito constituido de tubos de polietileno. Existen dos tipos de captación:

- los captadores horizontales: enterrados a aproximadamente 1 metro abajo del suelo, el circuito esta constituido de bucles (por ejemplo abajo del jardín). La superficie ocupada por los captadores depende de la naturaleza del suelo. Se puede ocupar dos veces la superficie a calentar, por ejemplo 400m² para una superficie a calentar de 200m². Este espacio puede estar plantado de pequeños árboles o de césped pero no de árboles con largas raíces.



Figura 1.24: Esquema del sistema geotérmico horizontal para una casa

- los captadores verticales: el circuito consta con un tubo formando un solo bucle vertical. Necesita una perforación (aproximadamente 80 metros). Más costoso pero presenta la ventaja de

ocupar menos de superficie al suelo. Los captores verticales son apellidos también sonda geotérmica.

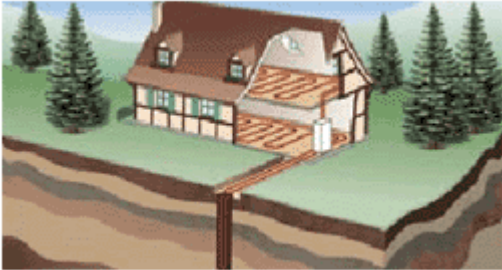


Figura 1.25: Esquema del sistema geotérmico vertical para una casa

La Bomba de Calor

Una Bomba de Calor (BC) es una máquina térmica capaz de transferir el calor de un medio a otro. Para ello utiliza las propiedades de cambio de estado de un fluido refrigerante.

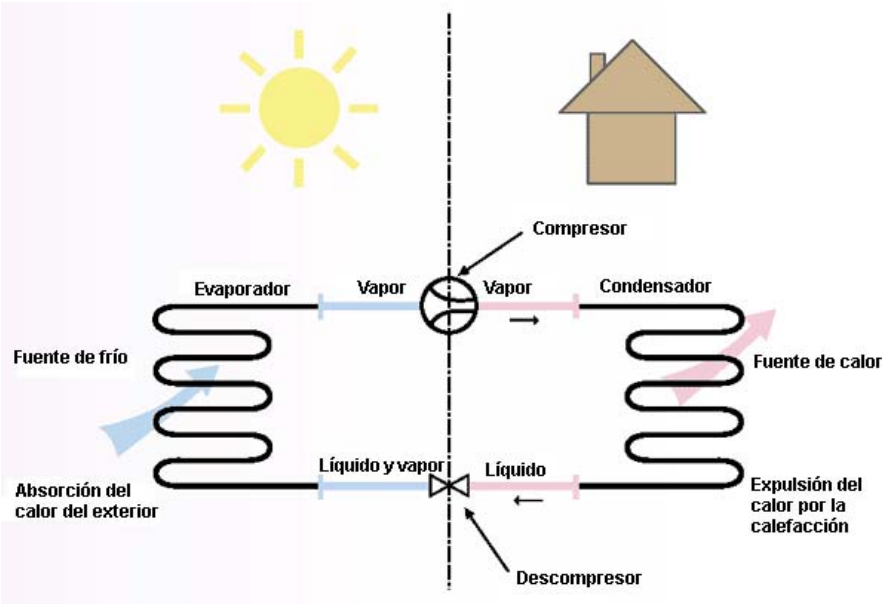


Figura 1.26: Esquema de funcionamiento de una bomba de calor

El fluido en estado de vapor es comprimido por un compresor. Al elevar la presión cede calorías a un condensador y pasa a estado líquido. Después atraviesa un descompresor: su presión y su temperatura se eleva, y pasa al estado gaseoso dentro de un evaporador donde recupera calorías.

La Bomba de calor se utiliza generalmente para producir calor, pero también se puede utilizar para producir frío siempre que disponga de un dispositivo de "inversión" de ciclo. Se llama entonces Bomba de calor reversible.

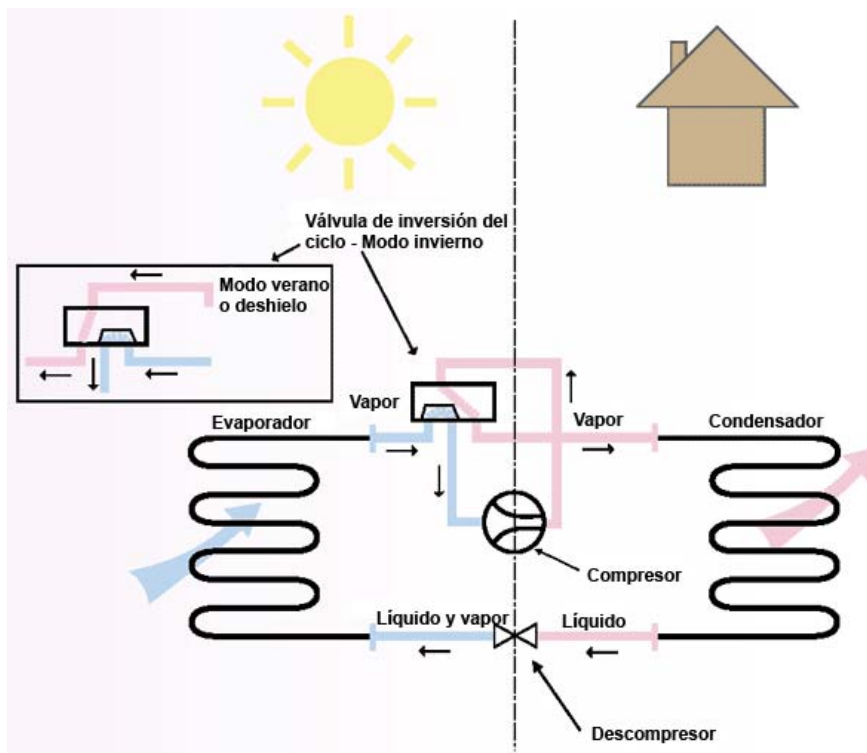


Figura 1.27: Esquema de funcionamiento de una bomba de calor reversible

El Coeficiente de Rendimiento es la relación (ratio) entre la energía útil (calor suministrado por la Bomba de Calor) y la energía consumida (la energía para hacer funcionar el compresor).

$$\text{COP} = \frac{\text{Energía útil}}{\text{Energía consumida}}$$

Generalmente el COP de una bomba de calor es 2 a 4 en comparación con los sistemas de calentamiento tradicionales que tienen un COP inferior a 0.

El COP global de la Bomba de Calor tiene en cuenta las energías auxiliares e integra el consumo de energía para el deshielo.

El Coeficiente de Eficacia Frigorífica (EER) representa el rendimiento energético de la bomba de calor cuando está produciendo frío.

$$\text{EER} = \frac{\text{Energía útil (Calor absorbido en el evaporador)}}{\text{Energía consumida (en el compresor)}}$$

CAPITULO II: LA ENERGIA EN LA
CONSTRUCCION.

En la construcción y el uso de las habitaciones, el consumo de energía es muy importante tan como la producción de gas a efecto invernadero.

Por ejemplo en Francia, según el CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) los edificios consumen 46% de la energía total y producen 25% de los gases a efecto invernadero. Entonces se puede hacer esfuerzos para reducir estos datos y mejorar la situación.

Esta parte va a tratar primero de las definiciones de los términos relativos a la construcción sostenible, pues de la energía y construcción sostenible y por fin de modelos de construcción a energía reducida o energía positiva.

1. DEFINICIONES [12]

Definición de sostenibilidad:

La sostenibilidad se refiere a un compromiso previo con el medio ambiente, aceptando los objetivos a corto y largo plazo.

Los objetivos de la sostenibilidad son:

- Conseguir un desarrollo económico para asegurar el alto nivel de vida tanto de la presente como para las generaciones futuras.
- Proteger y aumentar la calidad del ambiente en el presente y para las generaciones futuras.

Construcción sostenible:

Es la creación y el correspondiente mantenimiento de un edificio basado en los Principios Ecológicos y el Uso eficiente de Recursos.

Los principios ecológicos son los siguientes:

- conservación de los recursos.
- reutilización de los recursos.
- Utilización de recursos reciclables y renovables.
- Gestión del ciclo de vida.
- reducción en el uso de energía.

- incremento de la calidad.
- protección del Medio Ambiente.
- creación de un ambiente saludable y no tóxico de los edificios

Y los recursos disponibles son:

- Uso de la energía (Eficiencia energética, Control en el crecimiento y de la movilidad)
- Uso del terreno y de la biodiversidad (Adecuada planificación)
- Recursos minerales (Uso eficiente de las materias primas y del agua)

El principio de la construcción sostenible puede aplicarse a todos los niveles de un proyecto de construcción y a todos los diferentes responsables: al principio durante la definición de las necesidades del dueño, pues durante las fases de diseño-planeación (ingenieros y arquitectos) y de construcción (constructores) y después la operación (dueño y operadores) o de la demolición (dueño y constructores).

1) Diseño-planeación

Planeación urbana sostenible

Diseño bioclimático

Domotica y domotronic

Uso de productos de bajo contenido de energía

Reducir la componente peso

Utilizar productos reciclados

Asegurar el uso funcional

Optimizar mantenimiento, flexibilidad interna

Modulación

Incremento de la durabilidad

Constructabilidad

Diseñar para reconstruir

Mejora continua

Optimización de recursos

Técnicas de planeación y control
Construcción sin pérdidas
Grado de definición del proyecto
Productividad
Prefabricación-preensamblaje

2) Construcción

Reducir desperdicios durante el uso de recursos
Gestionar los residuos generados en la obra
Protección flora y fauna aledaña
Proceso de construcción sin ruido o mínimo de ruido
Realizar tareas seguras, reducir y eliminar daños al personal y al trabajo terminado
Disminuir las tareas no contributivas, flujos y retrabados
Optimizar la logística durante la construcción
Mejorar el desempeño, rendimiento y productividad de los recursos en obra

3) Operación

Optimizar el consumo de energía y agua mediante una cultura racional
Reciclar el agua gris para tareas secundarias
Utilizar el agua de lluvia para usos secundarios
Mantener el ambiente interno y externo sano
Mantenimiento preventivo a instalaciones
Incorporación de dispositivos de control para la eficiencia energética
Sustitución de componentes constructivos y muebles por los de mayor ahorro energético y de agua

4) Demolición

Desarrollar técnicas adecuadas de derribo y desmontaje

Etiquetar los materiales de construcción

Reutilizar los materiales de construcción

Desarrollar métodos de ensamblaje

Tratamiento de residuos para reciclaje

Tratamiento final de residuos

2. **ENERGIA Y CONSTRUCCION SOSTENIBLE**

1) Consumo energético en la edificación

La energía consumida por un edificio incluye la utilizada para

- Fabricar
- Transportar
- Construir
- Funcionar y operar
- Remodelar o desaparecer

El contenido energético de un edificio se entiende como la energía asociada al ciclo de vida del mismo.

Así los aspectos relacionados al consumo de energía de un edificio son:

- Contenido energético de los materiales de construcción
- El factor de emisiones de CO₂ de cada uno de los materiales en el proceso de fabricación.
- Cantidad de materiales empleados
- Consumo energético de operación

2) Eficiencia energética

Las tecnologías y sistemas de gestión responsable relacionados con el uso racional de la energía se centran en dos grandes campos de actuación:

a) Minimizar el consumo de energía

Implica a todas aquellas soluciones de gestión orientadas al ahorro de energía, el empleo de dispositivos y las soluciones constructivas que permitan reducir el consumo.

Las soluciones de ahorro energético en la edificación lógicamente sólo son en su mayoría viables en el proceso de diseño del edificio o en su remodelación.

Este último aspecto es muy importante, ya que las instalaciones sufren procesos de remodelación en períodos que oscilan entre los 15 y 20 años.

Unas de las estrategias para minimizar el consumo de energía son:

- La adopción de Sistemas pasivos en las edificaciones
- Los sistemas de aislamiento térmico y circulación de aire.
- Promover la disposición de espacios y volúmenes de forma que permita el máximo empleo de la luz natural.
- Introducir técnicas constructivas y materiales que permitan la acumulación del calor de la radiación solar o la creación de corrientes para refrigeración.
- Introducción de pautas bioclimáticas en el diseño.

Esas soluciones para minimizar el consumo de agua se aplican a diferentes fuentes de uso de la energía como iluminación, calefacción, aire acondicionado, agua, cocina, lavandería, y cada uno tiene sus particularidades:

Iluminación

- Control de los niveles excesivos de iluminación artificial.
- Empleo de pinturas y colores que favorezcan el ahorro en iluminación.
- Utilización de luminarias de bajo consumo.
- Utilización de balastos adecuados y mantenimiento de los mismos.
- Reducción de la iluminación de impacto exterior innecesaria (anuncios, iluminación excesiva de fachadas y balconadas)
- Mantenimiento correcto del sistema de iluminación.
- Sistema de desconexión central de la iluminación en cada espacio.
- Sistema de desconexión de las luminarias mediante sensores, lo que impediría el derroche de energía en pasillos y lugares de paso cuando no se usen.
- Desconexión de frigoríficos en las unidades desocupadas y control del nivel de frigorías excesivo.

Calefacción, aire acondicionado y agua

- Optimizar la temperatura en los espacios comunes dentro de límites aceptables que permitan el ahorro de energía.
- Desconectar la calefacción o el aire acondicionado de las áreas no ocupadas.
- Desconexión centralizada o minimización de calefacción y aire acondicionado en las unidades cuando no estén ocupadas.
- Empleo de dispositivos termostáticos para la regulación del aire acondicionado.
- Emplear dispositivos desconexión de calefacción o aire acondicionado cuando las terrazas y ventanas que den al exterior se encuentren abiertas.
- Evitar excesos de temperatura del agua suministrada por encima de las necesidades, por las repercusiones de un uso indiscriminado del agua caliente, por tiempos excesivos.
- Todas las conducciones de calor, y especialmente la de agua caliente, deberán estar convenientemente aisladas con materiales.
- Vigilar que los aislantes empleados no contengan contaminantes.

Cocina y lavandería

- Limpieza sistemática de las superficies de intercambio térmico en los refrigeradores, evitando la formación de escarchas en el evaporador.
- Limpieza y mantenimiento sistemático de los hornos, placas de cocina, etc., a fin de asegurar una buena transmisión de calor.
- Utilizar el sistema central de agua caliente en lavanderías con alta capacidad, evitando el sistema individualizado.
- Separación de zonas de refrigeración y zonas calientes.
- Garantizar el cerramiento estanco de las cámaras frigoríficas.

Otras medidas de ahorro

- Controlar y ajustar los tiempos de operación de todos los equipamientos energéticos.
- En piscinas climatizadas, procurar que estén dotadas de la cobertura apropiada para evitar la pérdida de calor en la noche.
- Cuando las condiciones lo permitan, reemplazar los equipamientos obsoletos por otros que impliquen menor consumo.

b) Maximizar la eficiencia de las fuentes de energía

Cualquier política de ahorro y minimización del consumo energético debe ser complementada con soluciones que permitan aumentar la eficiencia de las fuentes de energía. En muchas ocasiones la mayor parte del derroche energético se produce por problemas de eficiencia energética. Básicamente por dos motivos:

- Por deficiencias en los equipos energéticos, ya sea por su concepción y diseño, como por su grado de obsolescencia o falta de mantenimiento.

- Por falta de adecuación del vector energético al trabajo que ha de realizar. Por ejemplo, si usamos electricidad suministrada por una central para producir agua caliente estaremos perdiendo casi el 40% de la energía original, mientras que si quemamos directamente gas para calentarla, en el peor de los casos perderemos un 10%.

Las medidas de eficiencia son:

- Elegir la fuente de energía y el vector energético más apropiado a cada trabajo a realizar, valorando también el impacto ambiental de la fuente.
- Implantar, cuando la escala lo permita, sistemas de reutilización de la energía residual térmica que permitan aumentar la eficiencia global del sistema (ej.: bombas de calor).
- Una consideración de eficiencia ecológica global radica en la eliminación del empleo de combustibles escasos o peligrosos para el medio (carbón, aceite de alto contenido en azufre, leña de bosques escasos, ...)
- Reemplazar los equipos poco eficientes energéticamente y obsoletos.

3) Sistemas pasivos de ahorro energético

Sin duda el origen de la arquitectura esta en la búsqueda del confort, que significa en el amplio sentido “Encontrarse bien”, seguro, protegido, sin frío ni calor, poder desarrollar diferentes actividades con comodidad y luz suficiente, cerca del agua, y con un lugar para preparar comida y comer..... estos requerimientos básicos no han cambiado, todo y que lo han hecho las formas de satisfacerlo.

La arquitectura vernácula lo ha hecho desde siempre, utilizando los medios que a cada momento tenemos a la mano y sobretodo adecuándose al entorno; este es el origen de lo que llamamos arquitectura solar pasiva.

La cual se basa en la aplicación de una serie de criterios de diseño con el fin de utilizar los elementos constructivos y funcionales propios del edificio para obtener un buen control de su comportamiento energético.

La arquitectura solar pasiva se basa el diseño considerando el clima y el microclima de sitio donde se ubica la construcción

El Confort

Desde siempre, los edificios han demandado lo mismo, que sean confortables; la idea de confort se relaciona directamente con la sensación de bienestar; sin embargo influyen diferentes factores, físicos y psicológicos; de los cual consideramos que existen dos aspectos fundamentales que un diseño medioambientalmente correcto debería de considerar:

El confort Climático: En esencia, los parámetros que definen las condiciones de confort climático de un ambiente para una actividad determinada son:

- El confort térmico
- La humedad del aire
- La calidad del aire
- El movimiento del aire
- El vestuario

El confort Lumínico: En el confort lumínico intervienen tres parámetros fundamentales:

- El nivel de iluminación
- El deslumbramiento
- El color de la luz.

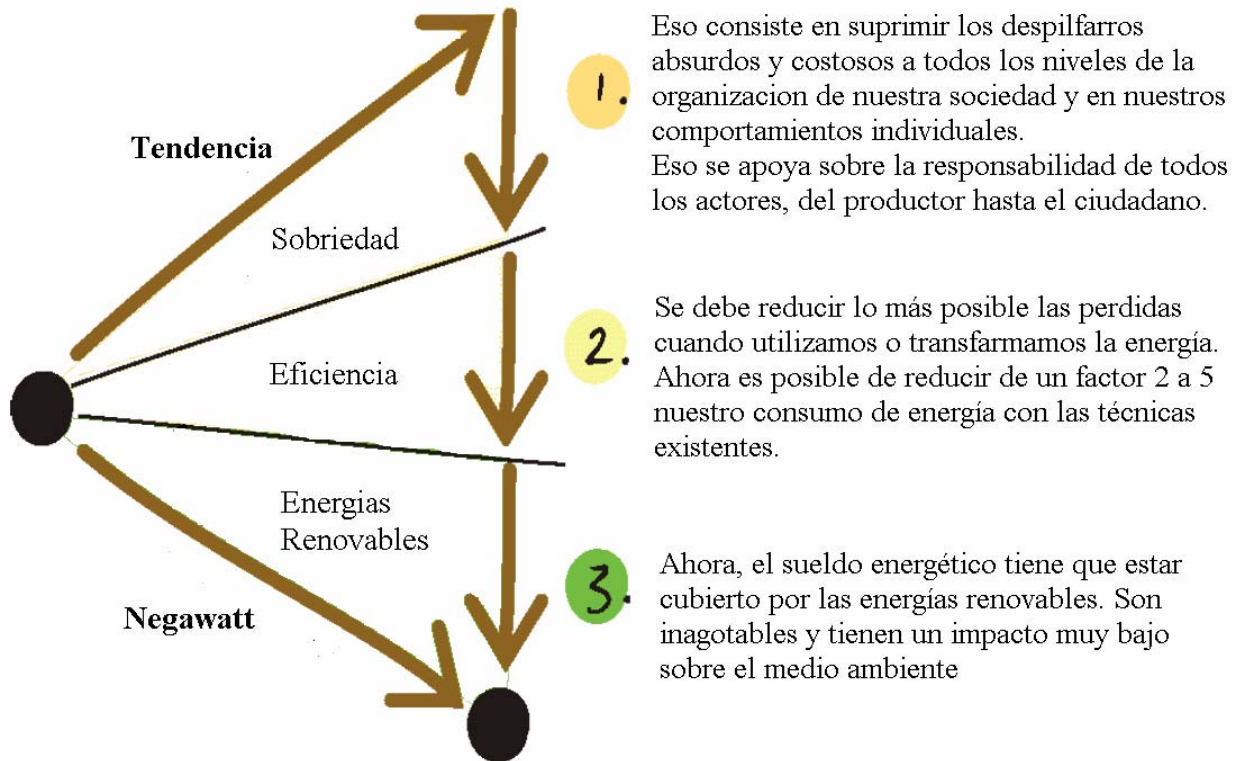
3. EDIFICIOS A CONSUMO DE ENERGIA REDUCIDO O A ENERGIA POSITIVA

Para intentar de reducir los efectos que van a ocurrir en este siglo causado por el cambio climático, se debe reaccionar radicalmente particularmente en los sectores de los edificios y de la construcción.

Según Olivier Sidler, presidente de ENERTECH [13], es posible de encontrar una solución de equilibrio, se debe reducir de un factor 4,7 nuestra producción de CO₂. Una ambición

que puede ser alcanzada respetando tres factores: sobriedad, eficiencia energética y utilización de energías renovables. Esos tres términos son los fundamentos del método “Negawatt” y son aplicables a las construcciones nuevas como a la rehabilitación de edificios existentes. El objetivo es de limitar el consumo energético a 50 kWh/ m²/año.

Aquí viene el esquema del método “Negawatt”:



En Europa, [14] muchos países proponen premios de calidad para los proyectos de construcción de edificio a bajo consumo de energía como en Suiza con el premio “Minergie” para los edificios que tienen un consumo máxima de 42 kWh/m²/año (más de 3 millones de m² construidos) o en Alemania, 4000 viviendas responden a la norma “Passivhaus” (menos de 15 kWh/m²/año consumidos).

En Alemania, esas innovaciones empezaron desde el año 2000 con el lanzamiento de un programa de renovación de 300,000 viviendas. Los resultados fueron:

- una economía de energía promedia de 335 kWh/m²/año

- una reducción de emisión de CO₂ de 2 millones de toneladas por año
- una creación de 200,000 empleos

Entre 2003 y 2005, se realizó el programa “Niedrigenergiehaus im Bestand” con la renovación de 36 edificios (que representan 50000 m²) con un objetivo de un consumo inferior a 60 kWh/m²/año. Los resultados fueron:

- 75% de los edificios consumen de menos de 40 kWh/m²/año
- 14% de los edificios consumen entre 40 y 50 kWh/m²/año
- 11% de los edificios consumen entre 50 y 60 kWh/m²/año

En conclusión se tiene que estar muy ambiciosos porque es una pregunta de primer orden para la humanidad. Después de haber dominado las técnicas de construcción de edificios a muy bajo consumo, se deberá trivializar la realización de edificios a energía positiva.

CAPITULO III: METODOLOGIA DE
INSTALACION DE UN SISTEMA GEOTERMICO

En esta parte, se va a tratar de explicar la metodología para instalar un sistema geotérmico; primero para un edificio comercial y segundo para una vivienda nueva.

Se va a considerar estos 2 casos porque el sistema geotérmico para los edificios comerciales es uno de los más utilizados y los más rentables y el sistema para una vivienda nueva porque es el caso que se quiere estudiar en la ciudad de Monterrey. No se va a considerar el caso para una vivienda existente porque generalmente estos casos no son factibles o muy difíciles a ejecutar.

En efecto, los edificios que convienen lo mejor a los sistemas geotérmicos son:

- los edificios nuevos
- los edificios que necesitan mucha energía para calentar los locales y el agua
- los edificios situados en regiones donde no se puede aprovisionarse en gas natural para la calefacción
- los edificios que necesitan mantener una buena apariencia exterior.

PARTE 1: INSTALACION DE UN SISTEMA GEOTERMICO EN UN EDIFICIO COMERCIAL

1. SECUENCIA DE CONCEPCION TIPICA

La concepción de un sistema geotérmico se efectúa generalmente según la secuencia siguiente [15]:

1. determinar las condiciones de concepción locales, los datos climáticos y las características térmicas del suelo.
2. establecer las cargas de calefacción y de climatización del edificio según las condiciones climáticas locales.
3. escoger los componentes de los otros sistemas de CVC (calefacción, ventilación y acondicionamiento del aire) y proceder al dimensionamiento según las necesidades. Escoger también el equipamiento que corresponde a la demanda.
4. Precisar las necesidades energéticas mensuales y anuales de calefacción y enfriamiento del edificio.
5. Efectuar la selección preliminar del tipo de aro subterráneo.
6. Concepción preliminar del aro subterráneo.
7. Determinar la resistencia térmica del suelo.
8. establecer la longitud necesaria del aro subterráneo, recalcular las temperaturas del agua a la entrada y a la salida según las cargas del sistema y la concepción del aro subterráneo.
9. Revisar la concepción del sistema para equilibrar las exigencias de cargas (calentamiento y enfriamiento) y el rendimiento del sistema.
10. analizar el costo global del sistema concebido.

La evaluación de las cargas del edificio constituye la etapa inicial, es una de las más importantes de un proyecto geotérmico.

2. EVALUACION DE LAS CARGAS DE UN EDIFICIO

La concepción de todo sistema CVC de un edificio comercial tiene que estar efectuada por un ingeniero. Esta concepción se basa sobre el análisis del edificio en su ensamble.

El malo dimensionamiento de las bombas de calor o del aro subterráneo constituye una de los problemas los mas frecuentes de los sistemas geotérmicos. Se debe seguir un proceso estricto de cálculo de la carga del edificio cuando se hace el dimensionamiento pero no hay reglas generales. La ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*) [16] ha establecido uno de los mas reconocidos y aceptados procesos para determinar las cargas de calefacción y de enfriamiento.

La evaluación de las cargas de los edificios comerciales es un ejercicio complejo y que necesita mucho tiempo. Existe algún software para ayudar los conceptotes a ejecutar esta evaluación pero las concepciones preliminares para los pequeños edificios pueden estar evaluadas por cálculos a la mano o tablitas rudimentales. Se debe evaluar las cargas netas del edificio completo más las cargas de punto de calefacción y enfriamiento de cada zona para la concepción del sistema.

Calculo de las cargas de calefacción y de enfriamiento:

La primera etapa del dimensionamiento consiste normalmente a calcular las cargas de calefacción y de enfriamiento de punta de cada zona, y también las cargas de punta coincidente del ensamble del edificio. Se debe tomar en cuenta los factores siguientes en la ejecución de estos cálculos:

- Beneficio solar por las ventanas: las ventanas estándares a doble acristalamiento pueden dejar entrar 75% del calor de la radiación solar, donde se vuelve una carga de enfriamiento. Las ventanas con acristalamiento teñidas o elementos de sombra pueden reducir los beneficios solares
- Beneficios de calor interna provenientes de los ocupantes (cada adulto produce 75 W de energía sensible y 55w de energía latente)
- Beneficios internos procediendo de iluminación y de los aparatos: la potencia de iluminación es con frecuencia de 20 W/m² en los edificios de oficinas pero pueden ser

hasta 40 a 50 W/m². La carga de equipamiento es muchas veces entre 2 a 5 W/m², pero puede alcanzar 15 a 20 W/m².

- Cargas de aire exterior (energía sensible y latente) procediendo de la ventilación y de la infiltración: todos los edificios deberían responder a las exigencias mínimas relativas al aire exterior impuestas localmente. La cantidad mínima de aire exterior proviene muchas veces de la norma 62 de la ASHRAE. El valor habitual del debito de aire exterior es de 15L/s por ocupantes.
- Beneficio o pérdida de calor por las ventanas, las paredes, los pisos y los techos: estas transferencias de calor influyen sobre todo la carga de calefacción pero pueden tener un impacto sobre la carga de enfriamiento, sobre todo las ventanas. La cantidad de transferencia de calor entre estos componentes puede estar estimada usando la siguiente formula:

Ganancia/perdida de calor= Superficie x (Temperatura de superficie exterior – temperatura de superficie interior) / valor RSI

Nivel de isolacion	Valor RSI - muros (W ² .°C)/W	Valor RSI - techos (W ² .°C)/W	Valor RSI - ventanas (W ² .°C)/W
pequeno	1,5	2	0,2
medio	3	4	0,3
grande	5	7	0,5

Figura 3.1: Tabla de resistencia térmica efectiva en el Sistema Internacional

Aquí van otros puntos importantes a conocer para el cálculo de la carga:

- La carga de calefacción de punta debe estar calculada sin tomar en cuenta los ocupantes ni los beneficios internos porque normalmente se produce durante la noche.
- Las cargas de zona se calculan tomando en cuenta los beneficios o pérdidas (para la calefacción) térmicas en periodo de punta únicamente.
- Las cargas de punta de enfriamiento de cada zona pueden ocurrir a diferentes momentos. pero para el cálculo manual de las cargas de enfriamiento de zonas, se considera el día el

más caliente del verano a tres horas diferentes. las cargas calculadas las más grandes son consideradas como las cargas de punta de la zona.

- Para las cargas de calefacción no se consideran los beneficios solares o internos. Pero considerando que es posible que algunas zonas en el centro del edificio necesitan enfriamiento todo el tiempo, se puede considerar beneficios internos en estas zonas incluso durante las condiciones invernales de cálculo.
- Las cargas netas se calculan tomando en cuenta de las cargas de todas las zonas. La hora a la cual se produce las cargas netas de puntas puede estar diferente de la de la carga de punta de una o de todas las zonas. Se necesita una simulación informática. Se puede estimar que la carga neta de enfriamiento corresponde aproximadamente a la más grande suma de cargas de zona por una de las tres horas utilizadas en el cálculo de las cargas de punta de zonas.

Los valores típicos por la carga de calefacción de un edificio varía entre 20 y 120 W/m². La carga de enfriamiento varía en general de 50W/m² en el caso de los edificios situados en los climas frescos y hasta 200W/m² y más en el caso de los edificios comerciales situados en los climas calientes.

Para realizar un cálculo profundo de las cargas de zonas y del ensamble del edificio, se debe usar uno de los tres métodos presentados en el manual de la ASHRAE:

- Método de la función de transferencia (MFT): es la más compleja de los métodos y se necesita un software informático o una hoja de cálculo sofisticada.
- Diferencia de temperatura de la carga de enfriamiento / factores de carga de enfriamiento: esta derivada de la MFT y utiliza datos totales para simplificar el cálculo, eso puede limitar este método.
- Diferencia de temperatura equivalente total / promedio temporal: método privilegiado por el cálculo manual.

3. CONCEPCION DEL ARO SUBTERRANEO

La concepción de un aro subterráneo es parecida a la concepción de un intercambiador de calor clásico: las cargas determinan las dimensiones necesarias. Para condiciones de suelo dadas, las cargas de enfriamiento y de calefacción son el factor principal que influye en el tamaño del aro subterráneo. Pero el tamaño final del aro está determinado por las elecciones de concepción. Para dimensionar un intercambiador de calor clásico, las temperaturas de entrada y de salida y los débitos son determinados por el diseñador. El tamaño final depende entonces de las exigencias del diseñador concertando las temperaturas de los líquidos que salen del intercambiador de calor. Este mismo principio se aplica al aro subterráneo: el tamaño final está determinado por las exigencias para las temperaturas mínimas o máximas permitidas a la salida del intercambiador durante el año.

Sin embargo, en el caso del intercambiador subterráneo, la escala de valores aceptables de temperaturas de salida máximas y mínimas está limitada. Por ejemplo, para las bombas de calor a escala de temperatura amplificada, la temperatura mínima de líquido de entrada es normalmente de -6°C y la temperatura máxima de 43°C , pero los valores principalmente utilizados son entre 27 y 32°C .

Un diseñador puede hacer variar estos valores para minimizar los costos iniciales comparado al rendimiento. Habitualmente, más la temperatura mínima aceptada a la salida del aro está grande, más el rendimiento anual del sistema está grande. Sin embargo, el aro correspondiente será más largo y el costo inicial más grande. Eso se aplica también a los valores más bajos para la temperatura de salida máxima.

Aquí vienen otros factores que influyen sobre la longitud del intercambiador subterráneo:

- El tipo y las propiedades del líquido que circula.
- La disposición física del aro (las distancias entre los hoyos de perforación y las cunetas).
- La profundidad de los hoyos de perforación y las zanjas.
- La transferencia anual neta de energía al suelo

- La configuración del intercambiador, es decir a una o dos tuberías horizontales, en serie o en paralela.
- La temperatura promedia del suelo
- Las propiedades del suelo
- Las condiciones hidrogeológicas locales (desplazamiento del agua en el suelo)
- El diámetro de la tubería y el debito, para conocer las turbulencias en la tubería en temperaturas de funcionamiento extremas.
- El rendimiento de la bomba a calor y el consumo de energía para el bombeo.

4. DIFICULTADES DE DIMENSIONAMIENTO

Una de las elecciones determinantes consiste a saber si el aro tendrá que responder a la carga de calefacción o la de enfriamiento. Estas dos cargas implican generalmente exigencias diferentes. En este caso, la concepción de un sistema según la más importante de los dos cargas no esta necesariamente la opción la más rentable, y el diseñador tiene que escoger la carga (de enfriamiento o de calefacción) que servirá de punto de inicio. En todos los casos, las cargas imputables a las bombas y a la calefacción del agua sanitaria deben estar consideradas en los cálculos finales de dimensionamiento del aro subterráneo.

Cuando el aro subterráneo no fue concebido para responder completamente a una de las cargas del edificio, se debe pensar en sistemas auxiliares. Por ejemplo, en las regiones de clima de moderado a caliente, la carga de enfriamiento domina la carga de calefacción. La selección de un intercambiador subterráneo para responder totalmente a la carga dominante puede entrenar un sistema demasiado grande que implicaría una energía del suelo no económica. En un tal caso, el aro podría estar dimensionado para responder solamente a la carga de calefacción y un sistema para evacuar el calor excedente (por ejemplo una torre de enfriamiento) podría estar agregado para compensar la demanda superior en enfriamiento.

En un clima frío, la situación puede ser inversada y el dimensionamiento del aro podría implicar un sistema más pequeño, pero que exigiría la utilización de un calentador complementario. Una mejor opción seria de disminuir la carga de calefacción optimizando la

concepción del edificio en su ensamble (utilizando por ejemplo un sistema de recuperación del calor del aire evacuado).

La selección de la concepción del sistema en función de las cargas de enfriamiento o de calefacción esta ligada con las variables económicas del proyecto, y deben estar evaluadas por el diseñador durante la análisis de prefactibilidad haciendo estudios de sensibilidad.

En fin, el dimensionamiento de un aro subterráneo cerrado hace intervenir también una más grande incertidumbre dado a las condiciones de suelo, que son variables. Un análisis de lugar para establecer la conductividad térmica y de otras propiedades de transferencia de calor del suelo puede estar requerido.

Torre de enfriamiento

Si el aro subterráneo fue dimensionado en función de las exigencias de calefacción, una torre de enfriamiento puede contribuir a responder a la carga del verano. Entonces se puede utilizar al mismo tiempo el aro subterráneo y una torre de enfriamiento para evacuar el calor en exceso. Porque la torre de enfriamiento se constituye habitualmente en un circuito abierto, un intercambiador de calor con placas está muchas veces requerido para evitar el contacto entre el agua de la torre y el líquido del aro subterráneo o del aro del edificio.

Además, las zonas centrales del edificio necesitan a menudo enfriamiento al fin de la temporada de calefacción. Las bombas de calor en estas zonas pueden en este caso beneficiar del enfriamiento gratis gracia a serpentines distintos, llamados serpentines ahorradores. Cuando la temperatura exterior es suficientemente baja, la torre de enfriamiento puede mantener el líquido del aro del edificio suficientemente frío para permitir el enfriamiento de las zonas centrales con los serpentines sin utilizar los compresores.

Otra solución es de utilizar un enfriador por evaporación a circuito cerrado. En este caso, el intercambiador de calor esta eliminado y el agua del aro subterráneo pasan por el serpentín

interno del enfriador. Si el empalme directo del aro subterráneo o del edificio a una torre de enfriamiento genera problemas, se puede llegar al mismo resultado con un enfriador a aire.

El sistema de evaporación nocturno representa una variante de la torre de enfriamiento, en la cual las torres de enfriamiento están utilizadas durante la noche para evacuar el calor en exceso que se acumula en el aro subterráneo (por causa de gran utilización del sistema geotérmico durante el día). Eso impide que el líquido en el aro pierda su eficacia como pozo de calor por causa de su temperatura. Estos sistemas son particularmente ventajosos con climas donde las jornadas son extremadamente calientes, pero las noches frescas, o cuando el servicio público local ofrece la opción de tarifas según la hora de consumo.

Calefacción complementaria

La calefacción complementaria puede revelarse una opción interesante para reducir las dimensiones del aro subterráneo para los edificios donde la calefacción predomina.

En muchos sistemas comerciales, un aparato calentador de agua empalmado al aro del edificio proporciona el calor complementario. Este método permite un margen de maniobra en el dimensionamiento de la caldera porque disminuye la potencia instalada. El funcionamiento de la caldera está vigilado para mantener una temperatura mínima del aro a la entrada de las bombas de calor.

La utilización de la calefacción complementaria debe ser evitada lo más posible porque reduce la eficiencia global del sistema. Una buena concepción del edificio concerniente a la fachada, el sistema de alimentación en aire nuevo, etc., puede permitir que un sistema geotérmico responda totalmente a la carga de calefacción sin recurrir a la calefacción complementaria, en un clima frío también.

5. TIPOS DE SISTEMAS

Existe una gran variedad de aros subterráneos. Aquí van los tipos los más utilizados.

Sistema a agua subterráneo.

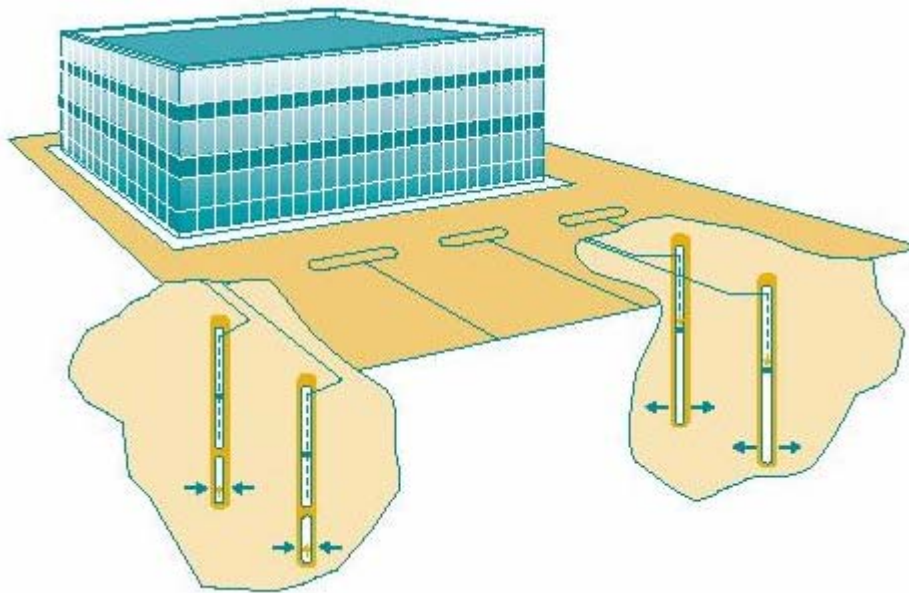


Figura 3.2: Esquema del sistema geotérmico a agua subterráneo para un edificio comercial

Cuando el agua de la capa freática está disponible en cantidad suficiente, que su calidad está adaptada a este tipo de instalación y que los reglamentarios del medio ambiente lo permiten, esta opción debe ser considerada. Los sistemas de este tipo son generalmente más económicos en el caso de gran edificios, dado que el costo de los pozos (alimentación e inyección) está proporcionalmente más bajo para grandes capacidades.

Los sistemas con agua subterránea fueron los primeros en aparecer en el mercado, y tienen buenos resultados desde algunas décadas. Sin embargo, los reglamentarios sobre el medio ambiente y la disponibilidad insuficiente del agua pueden limitar su utilización en algunas regiones. Su aro subterráneo está constituido de un pozo en el cual el agua de la capa acuífera está bombeada, y un segundo por el cual el agua está restituida al acuífero. En este caso los dos pozos deben ser espaciados para evitar la mezcla entre el agua de alimentación y el agua de

retorno. La potencia de bombeo necesaria es a menudo un factor importante cuyo se debe tomar en cuenta cuando se evalúa los sistemas con agua subterráneo.

Sistema con aro vertical.

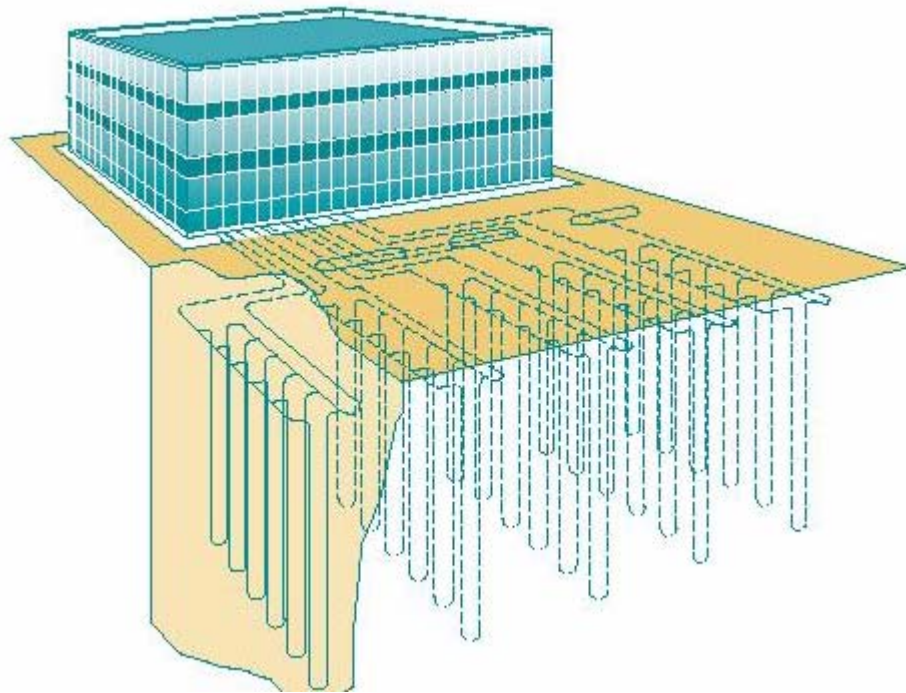


Figura 3.3: Esquema del sistema geotérmico vertical para un edificio comercial

Los sistemas con aro vertical convienen bien por la mayoría de los edificios comerciales, y son generalmente la opción a aro de suelo la menos costosa para los grandes edificios. El aro subterráneo puede estar situado bajo del edificio o bajo el terreno de estacionamiento, optimizando la utilización del suelo. Estos sistemas tienen muy poco impacto sobre el medio ambiente, y su aro subterráneo puede ser también utilizado, cuando esta bien diseñada, para el almacenaje de energía.

Este tipo de sistema conviene bien para la mayoría de los suelos y cuando tenemos por objetivo de minimizar el efecto sobre el acondicionamiento paisajístico. Consiste en una serie de hoyos verticales de 45 a 100 metros de profundidad en el suelo, en los cuales se pone uno o dos

tubos en U de polietileno alta densidad (un doblete compuesto de un conducto descendente y un conducto ascendente en el mismo hoyo). Después de la inserción de los tubos, el hoyo está llenado de terraplén y de mortero. La inyección del mortero consiste en llenar el hoyo de perforación con un material especial que impide el agua de superficie de penetrar en la capa freática, o que impide el agua de un acuífero de derramarse en un acuífero contiguo.

Habitualmente, los materiales de mortero transfieren el calor menos bien que el terraplén habitual y cuestan más, pero se puede conseguir también mortero con más grande conductividad térmica (por ejemplo la *betonite*). La inyección de mortero para llenar completamente los hoyos de perforación es a menudo recomendada para asegurar una protección adecuada contra el derrame de agua de un acuífero a otro. En todos los casos, se debe consultar los reglamentos locales. Después de la inyección de mortero y de terraplén, los tubos verticales son unidos a un tubo colector horizontal subterráneo. Este tubo colector transporta el líquido termoportador en los dos sentidos entre el aro subterráneo y las bombas de calor. Las instalaciones de los aros verticales son generalmente más caras que las de los aros horizontales (para los pequeños proyectos) pero necesitan una menor longitud de tubos dado al rendimiento térmico más importante obtenido a las profundidades más grandes.

Sistema con aro horizontal.

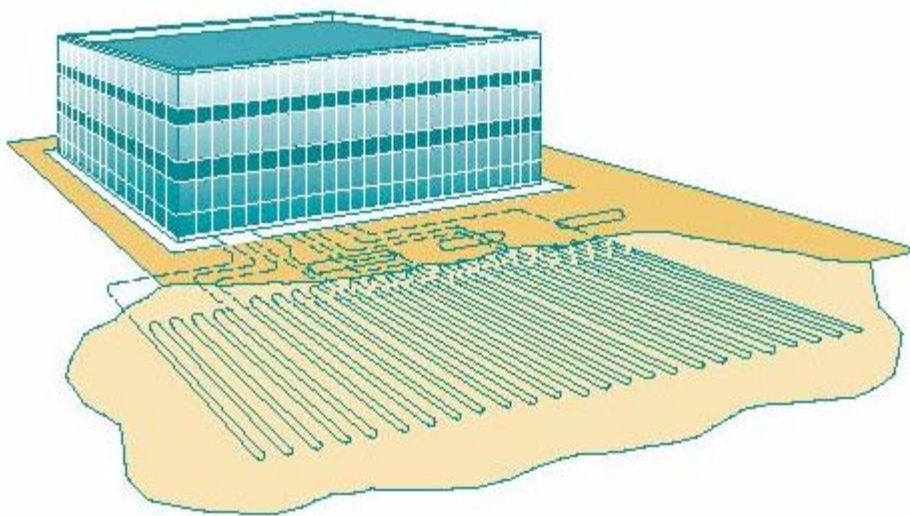


Figura 3.4: Esquema del sistema geotérmico horizontal para un edificio comercial

Los sistemas con aro horizontal son a menudo los más económicos a instalar dado a su costo inicial mas bajo. Sin embargo, tienen a menudo rendimientos de temporada inferiores dado a temperaturas subterráneas mas bajas, y necesitan una superficie de terreno más grande. En general, cuando la potencia de enfriamiento del sistema representa 70kW, la superficie del terreno de estacionamiento típicos no esta suficiente para recibir el aro subterráneo si no hay un secundo medio de evacuar el calor. Por estas razones, los sistemas con aro horizontal convienen mejor para pequeñas aplicaciones, como las habitaciones y los pequeños edificios comerciales. Los desequilibrios entre las cargas de calefacción y de enfriamiento deben estar vigilados en estos sistemas para asegurar una estabilidad térmica suficiente del suelo que permitiría de explotar la energía del suelo a largo plazo.

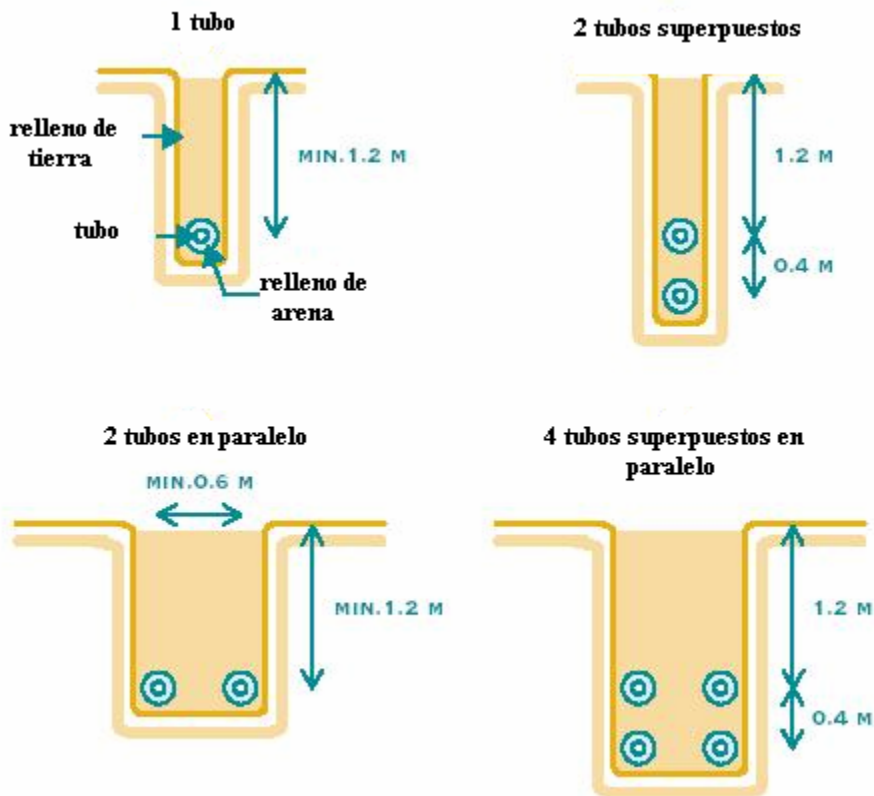


Figura 3.5: Esquema de los diferentes tipos de configuración de sistema horizontal

6. SUPERFICIE DE TERRENO REQUIRIDA :

La superficie del terreno no es habitualmente un factor crítico en el caso de un sistema a agua subterráneo. Se puede hacer la estimación apoyándose sobre un radio de 6 metros por pozo.

La superficie de terreno de los sistemas a aro cerrado vertical puede ser basada sobre una profundidad promedia de los hoyos de perforación de 91m y de un espaciamiento de 5 metros entre estos hoyos. La superficie de terreno necesaria puede variar mucho, pero esta generalmente entre 5 y 10 m²/kW.

Los sistemas con aro horizontales necesitan un terreno mas grande. La superficie requerida varía según la disposición del aro y de los tubos requeridos para minimizar la potencia de bombeo. Aquí van los valores típicos de superficie de terreno:

Configuración	Regiones con clima frío de america del Norte	Regiones con clima templado en America del Norte
1 tubo	79	79
2 tubos	53	93
4 tubos	40	66
6 tubos	40	66

Figura 3.6: Superficie de terreno requerida para un aro horizontal (en m²/kW)

Origen: Commercial/Institutional Ground-Source Heat Pump Engineering Manual, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), 1995.

Los aros subterráneos horizontales son constituidos de una serie de tubos dispuestos en unas zanjas, habitualmente a 1 o 2 metros bajo la superficie del suelo. Se puede prever hasta 6 tubos por zanja. Normalmente se instala 35 a 55 metros de tubo por kW de potencia de calefacción o de enfriamiento. Se puede también usar variantes de los aros horizontales. Si la superficie del terreno es limitada, se puede escoger un tubo en espiral para instalar más tubos en la zanja. Eso reduce la superficie de terreno utilizado pero necesita una mas grande longitud de tubo, entonces genera un costo adicional. Después de la colocación de los tubos, el terraplén esta derramado en la zanja.

7. **REGLAS APROXIMADAS DEL DIMENSIONAMIENTO DE LOS AROS VERTICALES**

Se puede establecer estimaciones iniciales para un aro vertical con reglas simplificadas de dimensionamiento o con formulas empíricas para sistemas tipos. La dimensión calculada con estas reglas aproximadas puede servir a obtener estimaciones preliminares para la longitud requerida y el costo del aro. Sin embargo, estos métodos muy simplifica no toman en cuenta las propiedades específicas del suelo, los desequilibrios térmicos a largo plazo o otros factores que influyen sobre la dimensión final y que son propio a cada proyecto. Entonces se puede utilizar pero solamente para una estimación grosera. Muchas herramientas de evaluación ofrecidas por los organismos públicos o les empresas privadas permiten una estimación mas precisa de la dimensión requerida.

Una regla de estimación simple esta disponible en el “Comercial/ Institucional GSHP Engineering Manual 1995” de l’ASHRAE. Este método esta basado sobre la cantidad de energía neta extraída del suelo para la calefacción, o transferida al suelo durante la temporada de enfriamiento. El diseñador debe escoger entre una concepción basada sobre las necesidades de calefacción o de enfriamiento. La estimación de la dimensión de un aro vertical por este método, para una concepción basada sobre las cargas de enfriamiento, presupone la utilización de tubos de 31,8mm de diámetro. Es importante de insistir sobre las limitaciones estos métodos simplificados en el caso de los sistemas geotérmicos comerciales. Se debe utilizar únicamente para estimaciones muy preliminares y se debe consultar los manuales de referencias para verificar la validez de las reglas siguientes:

Longitud de la tubería basada sobre el enfriamiento:

$$= 0,05105 * \frac{\text{Energía anual rechazada al suelo (MJ)}}{\text{Temperatura máxima del liquido a la entrada (°C) – Temperatura del suelo en profundidad (°C)}}$$

Longitud de la tubería basada sobre la calefacción:

$$= 0,05506 * \frac{\text{Energía anual absorbida al suelo (MJ)}}{\text{Temperatura del suelo en profundidad (°C) - Temperatura mínima del líquido a la entrada (°C)}}$$

Estas estimaciones de longitud pueden variar mucho dependiendo de algunos parámetros, el mas importante es la condición del suelo. Entonces, en los suelos que tienen propiedades mediocres (como los suelos compuestos de arcilla), la longitud prevista puede doblar.

Las estimaciones preliminares de la cantidad de energía extraída del suelo pueden estar calculadas con las cargas netas de punta de enfriamiento (CNPe) y de calefacción (CNPc) del edificio y de las estimaciones del numero de hora de funcionamiento a potencia máxima de los sistemas (HFPM).

$$\text{Calor extraído del suelo} = \text{HFPM} * \text{CNPc} * \frac{(\text{COPc} - 1)}{\text{COPc}}$$

$$\text{Calor rechazado al suelo} = \text{HFPM} * \text{CNPe} * \frac{(\text{COPe} - 1)}{\text{COPe}}$$

Estas formulas incluyen una variable para el rendimiento anual de la bomba de calor. Este valor es necesario porque el calor producido por el motor del compresor esta también evacuada en el suelo, además de la carga del edificio durante la temporada de enfriamiento, pero este mismo calor compensa una parte de la carga del edificio durante la temporada de calefacción.

Estas simples formulas de transferencia de calor entre el suelo y el edificio pueden estar sustituidas por estimaciones mejores si una modelización detallada del edificio fue ejecutada con la ayuda de herramientas de simulación.

Diametro nominal de los tubos	Regiones con clima frio de America del Norte (m/kW de carga)	Regiones con clima templado de America del Norte (m/kW de carga)
entre 3/4 in y 1 in	26	52
entre 1 in y 2in	17	39

Figura 3.7: Reglas aproximativas de dimensionamiento de un aro vertical según el clima y el diámetro nominal de los tubos (en m/kW de carga)

Origen: Commercial/Institutional Ground-Source Heat Pump Engineering Manual, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), 1995.

Ejemplo de cálculo de dimensionamiento de aro vertical:

Un edificio tiene una carga de enfriamiento neta de punta de 100kW y una carga de calefacción neta de punta de 84kW. Este edificio se sitúa en Halifax (Nueva Escocia, Canadá). Sus dueños quieren tener una idea aproximativa de la dimensión del aro subterráneo para instalar un sistema geotérmico.

Los datos de temperatura local indican que la temperatura anual promedio a Halifax es de 9°C. Los dueños evalúan que el número de horas por año de funcionamiento a potencia máxima del sistema de enfriamiento es de 1100h y de calefacción de 2200h. Se considera un coeficiente de resultado promedio de enfriamiento de sistemas verticales tipos es de 3,5 y de 2,5 para la calefacción. La cantidad anual de energía que sería extraída del suelo o evacuada en el suelo sería:

Energía rechazada:

$$= 100 \text{ kW} \times 1100 \text{ h} \times (1 + 3.5)/3.5$$

$$= 141\,429 \text{ kWh} \times 3.6 \text{ MJ/kWh}$$

$$= 509\,144 \text{ MJ}$$

Energía extraída:

$$= 84 \text{ kW} \times 2200 \text{ h} (2.5 - 1)/2.5$$

$$= 110\,880 \text{ kWh} \times 3.6 \text{ MJ/kWh}$$

$$= 399\,168 \text{ MJ}$$

Dado al hecho que es una estimación preliminar para este edificio vamos a usar las temperaturas tipo de entrada del líquido (mínima: 1,7°C, máxima: 29,4°C). Aquí vienen las estimaciones de la longitud del aro subterráneo:

Longitud de enfriamiento

$$= 0.05105 \times 509\,144 / (29.4 - 9)$$

$$= 1274 \text{ m}$$

Longitud de calefacción

$$= 0.05506 \times 399\,168 / (9 - 1.7)$$

$$= 3011 \text{ m}$$

La longitud necesaria del aro para la calefacción es mucho más elevada en este caso, dado a la temperatura relativamente baja del suelo en profundidad. Se podría considerar una longitud de 1998m si la temperatura de entrada mínima sería reducida hasta -2°C. Sin embargo, eso reduciría el rendimiento general del sistema. Pero no se puede establecer fácilmente el rendimiento real y su variación en función de la longitud del intercambiador. Si esta primera aproximación se sitúa en límites razonables para los dueños, un estudio de prefactibilidad detallada debería estar ejecutado para tomar en cuenta los parámetros como los cambios de COP según la variación de la longitud del aro subterráneo. Otro aspecto interesante de la concepción del aro subterráneo sobre la base de las cargas de calefacción es el siguiente: la dimensión del aro aumenta cuando las bombas de calor son más eficientes. Este fenómeno está dado al hecho que los compresores de las bombas de calor eficientes producen menos calor y entonces el suelo debe proporcionar más. Por ejemplo si el COP sería de 3,5 al lugar de 2,5, la longitud requerida sería de 3584 m y no de 3011 m. Escoger una solución óptima requiere un método bien planeado.

La evaluación de la dimensión del aro subterráneo con las reglas aproximativas presentadas en la tabla anterior tiene como resulta:

Longitud dado a las cargas de enfriamiento

= 100 kW x 17 or 26

= 1700 a 2600 m

Longitud dada a las cargas de calefacción

= 84 kW x 17 o 26

= 1428 a 2184 m

Las diferencias entre las dimensiones resultando de estos dos métodos son una buena indicación de las variaciones posibles que pueden ocurrir con estos tipos de aproximaciones. En este caso, los dueños pueden estimar a 2100m la longitud del aro para su edificio.

8. REGLAS APROXIMADAS DEL DIMENSIONAMIENTO DE LOS AROS HORIZONTALES :

En contrario de los aros verticales, los aros horizontales sufren de fluctuaciones de temperaturas dado al hecho que están situadas a una pequeña profundidad. Su dimensionamiento debe tomar en cuenta este factor suplementario. Algunas formulas simplificadas pueden también estar utilizadas en el caso de los aros horizontales para

proceder a estimaciones iniciales. Sin embargo, como para los aros verticales, estas estimaciones tienen un nivel de incertidumbre muy alto, y deben estar tratadas con mucho cuidado.

Un método simple de dimensionamiento de los aros horizontales esta presentada en la publicación "Closed-Loop/Ground-Source Heat Pump Systems: Installation Guide (University Oklahoma State, 1988). Se puede simplificar un poco este método escogiendo una resistencia aproximativa de las tuberías de 51 (m²·°C/kW) para poder aplicar las estimaciones generales (cargas en kW).

$$\text{Longitud del aro para la calefacción} = \frac{\text{Cargas de Calefacción} * [(\text{COPc}-1)/\text{COPc}] * (51 + \text{Rs} * \text{PLFc})}{\text{Temperatura del suelo en profundidad (°C)} - \text{Temperatura mínima del liquido a la entrada (°C)}}$$

$$\text{Longitud del aro para el enfriamiento} = \frac{\text{Cargas de Enfriamiento} * [(\text{COP}_e - 1) / \text{COP}_e] * (51 + R_s * \text{PLFe})}{\text{Temperatura máxima del líquido a la entrada (°C)} - \text{Temperatura del suelo en profundidad máxima (°C)}}$$

Los términos en estas ecuaciones son similares a los de los sistemas verticales pero se debe evaluar algunos otros parámetros como:

- la resistencia térmica del suelo, R_s (en $\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{kW}$)
- la temperatura mínima o máxima del suelo (°C)
- los factores de cargas parciales (FCP) de los meses de cálculos

La resistencia térmica del suelo es una indicación de la cantidad de energía que se puede transferir en el suelo. Un valor elevado indica que se necesitara una longitud más grande de tubería para evacuar o absorber una cantidad dada de energía. Las condiciones de suelo y la disposición del aro (sistema a una tubería comparado a dos tuberías superpuestas) tienen también un efecto sobre esta resistencia. Valores típicos correspondientes a una disposición corriente y una condición de suelo promedio son presentada en la tabla siguiente:

Sistema a un tubo	Sistema a dos tubos superpuestos	Sistema a 4 tubos (2x2)
742	970	1369

Figura 3.8: Tabla de resistencia típica del suelo (en $\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{kW}$)

Como para la temperatura promedio del suelo en profundidad, es posible de relacionar una primera estimación de la temperatura mínima del suelo sobre la temperatura promedio del aire durante la temporada de calefacción; de la misma manera, se puede estimar la temperatura máxima del suelo en función de la temperatura promedio del aire durante la temporada de enfriamiento.

Configuración	Regiones con clima frío de América del Norte (m/kW de carga)	Regiones con clima templado de América del Norte (m/kW de carga)
1 tubo	30	30
2 tubos	43	74
4 tubos	52	87
6 tubos	65	104

Figura 3.9: Reglas aproximativas de dimensionamiento de un aro horizontal según el clima y la configuración del sistema (Longitud de tubería necesaria en m/kW) :

Origen: Commercial/Institutional Ground-Source Heat Pump Engineering Manual, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), 1995.

Ejemplo de cálculo de dimensionamiento de aro horizontal

Algunos dueños de un edificio en Halifax (Nueva Escocia) han estimado la dimensión de un aro subterráneo vertical y quieren ahora obtener estimaciones para un aro horizontal. Ya han evaluado las temperaturas subterráneas para la disposición de su aro vertical. Este edificio tiene una carga de enfriamiento neta de punta de 100kW y una carga de calefacción neta de punta de 84kW.

Los dueños evalúan que el número de horas por año de funcionamiento a potencia máxima del sistema de enfriamiento es de 1100h y de calefacción de 2200h. Se considera un coeficiente de resultado promedio de enfriamiento de sistemas verticales tipos es de 3,5 y de 2,5 para la calefacción. Los dueños estiman que los factores de cargas parciales (FCP) de los meses de cálculos (verano e invierno) son alrededor del doble del promedio anual.

Dado al hecho que es una estimación preliminar para este edificio vamos a usar las temperaturas típicas de entrada del líquido (mínima: 1,7°C, máxima: 29,4°C). La resistencia del suelo está evaluada a 51.

Las longitudes del aro subterráneo para la calefacción y el enfriamiento se presentan así:

$$\text{Longitud del aro para la calefacción} = \frac{84 * [(2,5-1)/2,5] * (51+970*0.502)}{3,8 (^{\circ}\text{C}) + 1(^{\circ}\text{C})}$$

$$= 5646\text{m de tubería}$$

$$\text{Longitud del aro para el enfriamiento} = \frac{100 * [3,5-1]/3,5] * (51+970*0.502)}{29,4(^{\circ}\text{C}) - 14,2(^{\circ}\text{C})}$$

$$= 2500\text{m de tubería}$$

La longitud para la calefacción es mucho más grande que la del enfriamiento dado a la baja temperatura mínima del suelo. Se podría considerar una longitud de 3583m si la temperatura de entrada mínima sería reducida hasta -3,9°C. Sin embargo, eso reduciría el rendimiento general del sistema. Pero no se puede establecer fácilmente el rendimiento real y su variación en función de la longitud del intercambiador. Si esta primera aproximación se sitúa en límites razonables para los dueños, un estudio de prefactibilidad detallada debería estar ejecutado para tomar en cuenta los parámetros como los cambios de COP según la variación de la longitud del aro subterráneo. Como en el caso de los aros verticales, la dimensión del aro aumenta cuando las bombas de calor son más eficientes.

Evaluando la dimensión del aro con las reglas simplificadas presentadas en la tabla precedente, obtenemos las estimaciones siguientes:

Configuración	Longitud del aro considerando las cargas de calefacción (m)	Longitud del aro considerando las cargas de enfriamiento (m)
1 tubo	3000	2520
2 tubos	4300	3612
4 tubos	5200	4368
6 tubos	6500	5460

Figura 3.10: Tabla de resultado del dimensionamiento de un aro horizontal

Como para el aro vertical, las diferencias entre las dimensiones resultando de estos dos métodos son una buena indicación de las variaciones posibles que pueden ocurrir con estos tipos de aproximaciones. En este caso, los dueños pueden estimar a 4000m la longitud del aro para su edificio.

9. COSTOS DE SISTEMAS GEOTERMICOS

Costo de inversión

El costo de inversión de los sistemas geotérmicos es generalmente superior a los de los sistemas clásicos, pero eso es compensado por los costos de funcionamiento y de mantenimiento inferiores.

Además, los sistemas geotérmicos comportan una demanda reducida de electricidad para el edificio, lo que limita los costos de instalación y de los aparatos eléctricos. En comparación con un sistema de calefacción eléctrico, las economías son más importantes. Según una muestra de nueve edificios comerciales equipados de un sistema geotérmico, el costo promedio de inversión es de 105\$/m² contra 89\$/m² (18% de diferencia). A menudo, más grande es el proyecto, más el costo adicional es pequeño.

Costo de funcionamiento

Las economías del costo de la energía que ofrece un sistema extrayendo su energía del suelo compensan la diferencia de costo de las inmobilizaciones. Estas economías pueden alcanzar 60%. Las economías varían mucho según el proyecto y su emplazamiento, se debe evaluar esos factores previamente.

Costo de mantenimiento

Los sistemas geotérmicos proveen también economías en término de mantenimiento. Cuando se necesita mano de obra interna, el costo de mantenimiento promedio habitual para un aro de suelo es de 0,95\$/m² por año y de 2,33\$/m² por año en el caso de un sistema a agua subterránea.

Periodo de recuperación

El periodo de recuperación simple ligado a la inversión en un sistema geotérmico se establece generalmente entre 6 y 8 años. La tasa de rendimiento interno promedio de un sistema geotérmico es alrededor de 20%.

Por ejemplo, estudios indican un periodo de recuperación de 4 a 10 años en el caso de una torre de departamentos en copropiedad en comparación con un sistema de calentador con gas o un sistema a agua caliente. La duración del periodo depende de la ubicación, de la utilización o del escenario de referencia.

	Montreal	Toronto	Vancouver
Nuevas escuelas primarias (3000m ²)	13,6	18,3	1,3
Complejos para ancianos (7800m ²)	7,6	10,8	1,8
Instalacion de alta tecnologia (7000m ²)	-	inmediato	-
Estadio de Hockey (1100m ²)	4,8	inmediato	-
Hoteles de tamaño (10500m ²)	5,9	9,5	6,1
Moteles (2050m ²)	5,4	8,3	5,7
Edificio de oficinas (5200m ²)	inmediato	inmediato	inmediato
Centros comerciales	4,9	5,4	-

Figura 3.11: Tabla de ejemplos de periodo de recuperación para un sistema geotérmico en años en comparación a un sistema de referencia al gas en Canadá.

	Montreal	Toronto	Vancouver
Nuevas escuelas primarias (3000m ²)	6,6	8,5	0,8
Complejos para ancianos (7800m ²)	3,5	4,7	1,1
Instalacion de alta tecnologia (7000m ²)	-	inmediato	-
Estadio de Hockey (1100m ²)	4	inmediato	-
Hoteles de tamano (10500m ²)	2,8	4,2	3,6
Moteles (2050m ²)	2,7	4	3,5
Edificio de oficinas (5200m ²)	inmediato	inmediato	inmediato
Centros comerciales	2,9	3,1	-

Figura 3.12: Tabla de ejemplos de periodo de recuperaci3n para un sistema geot3rmico en a3os en comparaci3n a un sistema de referencia al fuel oil en Canad3.

PARTE 2: INSTALACION DE UN SISTEMA GEOTERMICO EN UNA VIVIENDA NUEVA

1. CONCEPCION ARQUITECTURAL ECO-ENERGETICA

Cuando se construye una casa nueva con un sistema geotérmico, se debe considerar todo un sistema en su entero y que este sistema geotérmico es solamente un elemento. Las otras selecciones de concepción arquitecturales influyeron sobre el costo que se va a pagar en término de energía. Aquí vienen las selecciones que se debe considerar:

- el tipo y la espesura de aislamiento en los muros, los techos y los suelos.
- el tipo y la orientación de las ventanas
- el grado de hermetismo
- el sistema de ventilación
- los aparatos electrodomésticos e iluminación
- el acondicionamiento paisajístico alrededor de la casa.

Cuando se mejora la eficiencia energética de la casa, se reduce el tamaño y el costo del sistema geotérmico que se necesita. Se puede utilizar una bomba de calor, un aro subterráneo y un sistema de distribución más pequeño y menos costoso.

2. EMPLAZAMIENTO DEL EQUIPAMIENTO Y DE LOS SERVICIOS PUBLICOS SUBTERRENEOS

Se debe asegurar que el espacio entre el sistema geotérmico y las otras instalaciones subterráneas como la alberca, el pozo, la fosa séptica es suficientemente grande. Se debe asegurar también que las maquinas necesarias a la ejecución del sistema pueden circular sin problema. El lugar donde están colocados los tubos debe ser indicado en los planos para evitar los riesgos de daños futuros.

El aro no debe cruzar los otros servicios subterráneos (transporte de gas, agua, alcantarilla, teléfono y cables eléctricos).

3. CONCEPCION DE UN SISTEMA

Selección de una bomba de calor

Como lo vimos antes el primero paso para la concepción de un sistema geotérmico es la determinación de las cargas necesarias a la calefacción y al enfriamiento de la casa. Se debe determinar también las pérdidas de calor de la casa con las ventanas, las puertas, los techos...

Un sistema geotérmico tiene que responder a los 90% de las necesidades anuales de calor de la casa. Los aparatos de calentamiento o enfriamiento auxiliares pueden proporcionar la diferencia. Los factores que pueden influir sobre la capacidad de calefacción en la casa son el número de habitantes, el tipo de aparatos electrodomésticos y de la iluminación, la cantidad de energía solar captada por las ventanas, la calidad de la construcción y el clima.

De hecho los aparatos de iluminación, o el refrigerador, la televisión, las computadoras liberan calor, también las personas y los animales. Es porque un sistema geotérmico que produce el equivalente de 90% de las pérdidas energéticas calculadas en la casa cumplirá normalmente las necesidades de la casa.

El rendimiento de una bomba de calor está evaluado según la eficiencia de la calefacción y del enfriamiento que produce. Esta evaluación está también definida como el “coefficient of performance” (COP). Cuando trata de calefacción, el COP vuelve el CMPC y para el enfriamiento el COPE. Se puede calcular dividiendo la capacidad de calefacción o de enfriamiento del sistema por la energía utilizada para hacerlo funcionar.

Por ejemplo, si la capacidad de calefacción de un sistema es 10,4kW y que se necesita 3,25kW para hacer funcionar el compresor, la bomba y el soplador, el CMPC es de $10,4/3,25=3,2$. De la misma manera se calcula el COPE.

La eficiencia de un sistema geotérmico varía según los cambios de temperatura y de circulación del líquido y del aire bombeados en la bomba de calor.

Dimensiones de un aro:

Un aro subterráneo es como una batería recargable, conectada permanentemente a un cargador de batería. Si la “batería” esta suficientemente potente, es fácil de recargarla por la energía térmica extraída del suelo, del sol, de la lluvia, del calor evacuada durante el enfriamiento de la casa y del calor proviniendo del núcleo de la Tierra. Pero si el aro esta a menudo debilitado más rápidamente que esta recargado, no podría proporcionar suficientemente energía para hacer funcionar el sistema. Además, no existen medios fáciles de recargarlo rápidamente.

Como lo vimos antes, el aro subterráneo debe satisfacer las necesidades de la casa, los factores que influirán sobre las dimensiones del aro son los que vimos mas arriba (cargas de calefacción, grado de humedad y tipo de suelo, clima...).

4. SISTEMA DE DISTRIBUCION

El sistema de distribución representa un elemento importante de un sistema geotérmico y debe armonizarse con la bomba de calor. En el caso contrario, algunas salas de la casa podrían no estar suficientemente calentada en invierno o enfriada en verano. Se podría también imponer una tensión a la bomba de calor que podría reducir su tiempo de vida.

Si se instala un sistema de conducto como sistema de distribución, es muy importante de conocer la buena cantidad de aire que debe circular en el sistema para asegurar un buen funcionamiento. Si la circulación del aire esta limitada por culpa de los conductos demasiados estrechos, algunos lugares no estarán suficientemente calentados o refrescados; la circulación del aire puede crear ruido también.

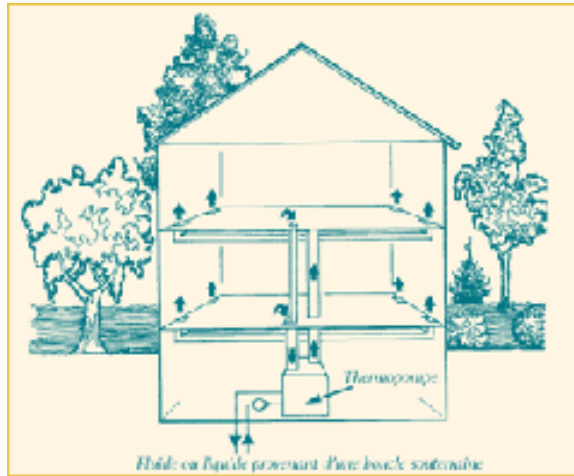


Figura 3.13: Esquema de un sistema de distribución

Si se escoge un sistema de calefacción con agua caliente, se debe verificar que una cantidad adecuada de aire fresco circula en todas las salas de la casa nueva. Un ventilador-recuperador de calor puede hacer esto. La ventilación es particularmente importante en las casas nuevas porque están construidas de manera más hermética que las más viejas.

El costo de un sistema de distribución puede alcanzar hasta 15 y 25% del total del sistema.

Ventilador-recuperador de calor (VRC).

Los sistemas de ventilación son instalados para asegurarse que el aire fresco se difusa en las casas nuevas, mientras que en las antiguas casas, se pensaba que las fisuras alrededor de las puertas, de las ventanas renovaban el aire fresco.

Un VRC reduce las pérdidas de calor por ventilación recuperando entre 60% y 80% del calor del aire que se escapa. El aire fresco introducido por el VRC disminuye el grado de humedad de la casa.

Filtración del aire

Hay dos razones de filtrar el aire que circula en la bomba de calor y en los conductos de la casa. Primero, un filtro a aire detiene las partículas de polvo y de polen para que no se expandan en la casa y segundo para evitar que el serpentín a aire de la bomba a calor se ensucie de polvo

para no perder eficiencia. Hay una gran diversidad de filtros a aire: filtros en fibras de vidrio estándar (10% de eficiencia), filtros plisados, filtros electroestáticos lavables y los filtros a aire electrónico (50% de eficiencia).

Para cualquier tipo de filtros, se debe cambiarlo regularmente para mantener la eficiencia de la bomba de calor.

5. COSTOS DE ADQUISICION DE UN SISTEMA GEOTERMICO

Costos de funcionamiento y de mantenimiento

Un sistema geotérmico saca del suelo más de los dos tercero de su energía. Es fácil de entender porque el costo de la energía obtenida por este sistema es mucho mas inferior a los de energía utilizando otros combustibles, incluyendo el gas natural.

Además, el costo de mantenimiento de los sistemas geotérmicos es mas barato que los otros sistemas de calefacción o de enfriamiento clásicos.

Costos de adquisición

a) De la bomba de calor

Los costos de instalación pueden variar según la región del proyecto. Normalmente el costo de una bomba de calor es comparable a un aparato de calefacción o de climatización de aire clásicos.

El costo de instalación de la bomba de calor es un poco inferior porque no se necesita los costos de instalación de un conducto de gas, de construcción de una chimenea o de una losa para recibir el aparato de condicionamiento del aire exterior.

b) De los conductos del sistema geotérmico

Los costos de instalación de los conductos son comparables con los de un sistema clásico. Pero el costo de instalación de un sistema de distribución de un sistema a agua caliente debe estar

un poco más alto que el de un aparato de calefacción al gas. En efecto, las temperaturas más bajas del agua proporcionada por el sistema geotérmico exigen la instalación de una más grande cantidad de tuberías de calefacción.

c) Del aro subterráneo.

La diferencia de precio entre un sistema geotérmico y un sistema clásico viene del precio del aro subterráneo.

La tabla siguiente puede dar una idea de los costos y de sus diferencias según el tipo de instalación y las dimensiones de la casa.

	Aro horizontal	Aro vertical (arcilla)	Aro vertical (roca)	Aro abierto
Casa de 120m ² 8,8kW	1200-1600\$	1400-1800\$	2400-3200\$	1000-5000\$
Casa de 160m ² 14kW	1800-2200\$	2000-2500\$	3500-4500\$	1000-6000\$
Casa de 240m ² 17,6kW	2400-3200\$	1800-3600\$	4800-6000\$	1000-7000\$

Figura 3.14: tabla comparativa de los costos del aro subterráneo según el sistema y el tamaño de la casa

Periodo de recuperación

Un aspecto importante es de saber cual va a ser el periodo de recuperación de la inversión. Muchos elementos determinen la duración de este periodo.

Aquí viene un ejemplo: Una pareja quieren construir una casa de 160m² con un gran terreno y quieren saber cual es la mejor opción para un sistema de calefacción y de enfriamiento comparando 3 soluciones: electricidad, gas propano y sistema geotérmico

Aquí viene el costo de las 3 opciones:

Solucion	Costo
Aparato electrico	5900\$
Aparato al gas propano	6400\$
Sistema geotermico	12800\$

Figura 3.15: Tabla de ejemplos de costos de diferentes opciones de sistemas de calefacción y climatización.

Aquí vienen los gastos anuales de cada sistema:

Solucion	Calefaccion	Enfriamiento	Agua caliente	Total
Aparato electrico	1208\$	119\$	400\$	1727\$
Aparato al gas propano	1228\$	119\$	497\$	1844\$
Sistema geotermico	356\$	54\$	270\$	680\$

Figura 3.16: Tabla de ejemplos de gastos anuales de diferentes opciones de sistemas de calefacción y climatización.

Para calcular el periodo de recuperación, se debe primero calcular:

- la diferencia entre los costos de las soluciones (entre sistema geotérmico y eléctrico)

$$12800 - 5900 = 6900\$$$

- la diferencia entre los gastos anuales de las soluciones

$$1727 - 680 = 1047\$$$

Y por fin, tenemos el periodo de recuperación:

$$6900 / 1047 = 6,6 \text{ años}$$

Es importante considerar estos factores:

- La duración de vida de una bomba de calor de un sistema geotérmico es de 18 a 20 años, mas o menos lo mismo de un aparato de calefacción clásico (un acondicionador de aire clásico dura entre 12 y 15 años porque esta situada al exterior y esta expuesto a las condiciones climáticas.
- La duración de vida de un aro subterráneo puede alcanzar entre 50 y 75 años. Mientras que la bomba de calor debe estar reemplazada cada 20 años, el aro subterráneo puede servir mucho más tiempo.
- También, el costo de los combustibles fósiles y de la electricidad aumentara más rápidamente que el costo de funcionamiento del sistema geotérmico, las economías estarán más importante en el futuro.

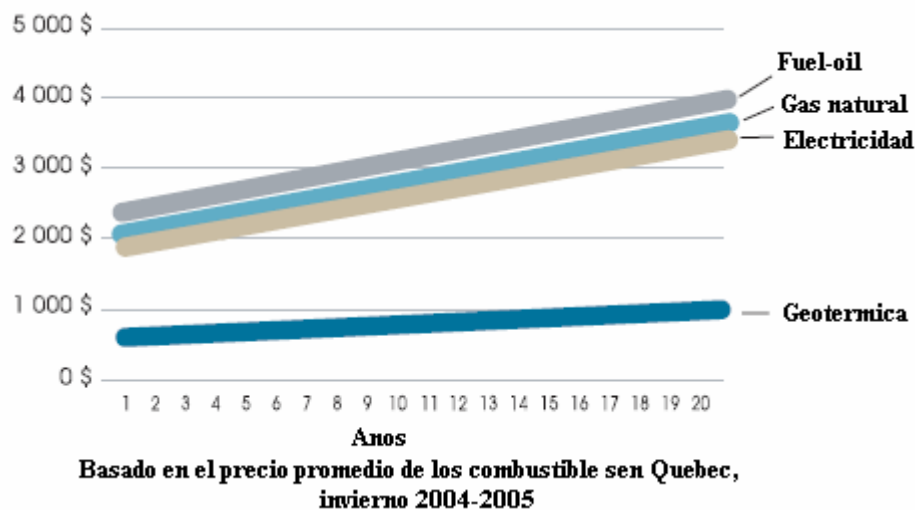


Figura 3.17: Previsión de incremento del costo de calefacción y climatización con las diferentes energías en los próximos 20 años

Origen: www.geoconfort.com

CAPITULO IV: ESTUDIO DE CASO CON LA
AYUDA DEL PROGRAMA RETSCREEN

PARTE 1 : EL PROGRAMA RETSCREEN

1. DESCRIPCION DEL PROGRAMA

El programa de análisis de proyectos de energías verdes RETSCREEN International [17] es una herramienta de ayuda a la toma de decisiones desarrollado en colaboración con expertos de la industria, del gobierno y del medio académico. Puede ser utilizado en cualquier parte del mundo para evaluar la producción y las economías de energías, el costo sobre el ciclo de vida, las reducciones de emisión de gases, la viabilidad financiera y el riesgo de las tecnologías.

Este programa es gratis y disponible en francés e inglés y es desarrollado por el Centro de ayuda a la decisión sobre las energías verdes de Canadá.

En este trabajo, se va a utilizar el modelo para proyectos de bomba de calor geotérmica. Este modelo se compone de diferentes partes:

- Modelo Energético
- Necesidades Térmicas
- Análisis de Costos
- Análisis de los gases a efecto invernadero
- Resumen Financiero

Para hacer el análisis se debe entrar algunos parámetros que permitirán al programa de calcular las cargas en calefacción y en enfriamiento, la superficie necesaria de terreno según el tipo de sistema geotérmico. Y esos parámetros permitirán de generar un análisis de costo para ver la factibilidad del proyecto.

2. INFORMACIONES REQUERIDAS PARA EL ANALISIS

a) Características del sitio:

- Nombre del proyecto
- Lugar del proyecto

- Superficie de terreno disponible
- Tipo de suelo

Tipo de suelo	conductividad (W/(m ² .°C))	Densidad kg/m ³	Calor específico kJ/(kg°C)
Suelo ligero y humedo (arena, cieno)	0,9	1600	1,05
Suelo ligero y seco (arena, cieno)	0,3	1400	0,84
Suelo denso y humedo (arena compactada, tierra)	1,3	2100	0,96
Suelo denso y seco (arena compactada, tierra)	0,9	2000	0,84
Roca desmenuzable y suave (caliza)	2,4	2800	0,84
Roca sana o dura (granito)	3,5	3200	0,84
Pergelisol ligero	1,4	1580	0,76
Pergelisol denso	2	2070	0,69

Figura 4.1: Tabla de valores de conductividad, densidad y calor específico del suelo según su tipo

- Estación meteorológica la mas cerca: (se usa las estaciones precargadas en el software)

Para determinar temperatura exterior para el cálculo en calefacción y en enfriamiento

- Nivel de humedad durante la temporada de enfriamiento

Nivel de humedad	Humedad relativa para una temperatura ambiente de 30°C
bajo	40%
medio	50%
alto	60%

Figura 4.2: Tabla de determinación del nivel de humedad

- Latitud y longitud del lugar del proyecto

Con la latitud y la longitud se puede encontrar la temperatura promediada de suelo y la amplitud máxima de la temperatura del suelo

b) Determinación de las cargas de calefacción y de enfriamiento:

- tipo de edificio (residencial, industrial o comercial)

1. análisis energético

- Carga de cálculo en calefacción:
- Demanda anual de energía en calefacción
- Carga de cálculo para el enfriamiento
- Demanda anual de energía para el enfriamiento

2. análisis arquitectónico

- superficie de suelo
- numero de pisos o niveles
- nivel de aislamiento térmico

Nivel de insolation	Valor de los muros W/(m ² .°C)	Valor del techo W/(m ² .°C)	Valor del sótano W/(m ² .°C)	Tasa de infiltracion CAH
bajo	0,5	0,33	0,5	0,5
medio	0,29	0,2	0,33	0,25
alto	0,2	0,11	0,25	0,1

Figura 4.3: Tabla de determinación del nivel de aislamiento térmico

Información específica para los edificios residenciales:

- tipo de cimentación (loza al suelo, sótano plena altura)

Información específica para los edificios comerciales o industriales:

- importancia de las ventanas (solamente para edificios comerciales)

Importancia de la superficie de ventanas	Ratio de superficie de ventanas sobre la de suelo
Media	0,15
Elevada	0,25
Muy elevada	0,35

Figura 4.4: Tabla de determinación del nivel de importancia de superficie de ventanas

- Tipo de ocupación del edificio (día, noche, 24h/24)
- Ganancia interna:

Nivel de utilización de equipamiento y de luz	Ganancia interna generada por los equipamientos W/m ²	Ganancia interna generada por la luz W/m ²
Bajo	5	5
Medio	10	15
Alto	20	25

Figura 4.5: Tabla de determinación del nivel de utilización de equipamiento y de luz

c) Parámetros del sistema

Sistema de referencia (que sería utilizada al lugar de la instalación geotérmica)

- El edificio está climatizado?
- Fuente de energía de la calefacción:

Energía de calefacción	Potencia calorífica
gas natural	37,2 MJ/m ³
propano	26,5 MJ/L
diesel	38,7 MJ/L
fuel-oil	40,5 MJ/L
electricidad	1 kWh

Figura 4.6: Tabla de determinación de la potencia calorífica según la energía de calefacción

- Rendimiento del sistema de calefacción

Tipo de sistema de calefaccion	Rendimiento de temporada tipico (%)
Caldera / hoguera con flama piloto	60 a 70
Caldera / hoguera de rendimiento medio con encendido electrico	70 a 80
Caldera / hoguera de alta rendimiento a condensacion	80 a 90
Calefaccion electrica	100
sistema de bomba de calor sobre aire exterior	130 a 200
sistema de bomba de calor geotermica	300 a 350

Figura 4.7: Tabla de determinación del rendimiento de temporada típico según el sistema de calefacción

- COP de temporada del acondicionador del aire

Tipo de sistema de climatizacion	COP de temporada tipica
de ventana	2,4
a expansion directa y bomba de calor a aire exterior (residencial)	3
a alta rendimiento (residencial)	3,5
comercial (residencial)	5
Bomba a calor geotermica	4,4

Figura 4.8: Tabla de determinación del COP de temporada típico según el sistema de climatización

Sistema de intercambio geotérmico

- Tipo de sistema:
 - a) Sistema horizontal y horizontal
 - Criterio de concepción: climatización o calefacción

- Configuración del intercambiador subterráneo

Tipo de configuración de intercambiador subterráneo	Distancia entre los perforaciones verticales en metros	Distancia entre las zanjas en metros
Estandar	6,1	3,7
Denso	3,7	2,4
Muy denso	2,4	1,5

Figura 4.9: Tabla de determinación de la configuración del intercambiador subterráneo

b) Agua subterráneo

- Altura de bombeo
- Profundidad de perforación
- Caudal de agua máximo por pozo

3) Bomba de calor

- Rendimiento promedio de la bomba de calor

Opcion de rendimiento promedio de la Bomba de calor	COP calefaccion T=10°C (agua) T=0°C (suelo) Tinterior=21°C	COP climatizacion T=21°C (agua) T=25°C (suelo) Tinterior=21°C
Estandar	2,8	3,5
Medio	3,2	4,5
Alto	4	5,5

Figura 4.10: Tabla de determinación del nivel de rendimiento de la bomba de calor

PARTE 2: TABLA COMPARATIVA DEL TIEMPO DE RECUPERACION DE LA INVERSION SEGÚN EL LUGAR DEL PROYECTO EN LA REPUBLICA MEXICANA

En esta parte, se va a comparar el tiempo de recuperación del sistema geotérmico para un tipo de vivienda en diferentes ciudades en la Republica Mexicana.

1. DESCRIPCION DEL PROYECTO, MODELO ENERGETICO Y NECESIDADES TERMICAS

Se considera un tipo único de vivienda cuyas características son las siguientes:

a) Características del sitio:

Superficie de terreno disponible: 55 m²

Tipo de suelo: suelo denso y seco

Lugar del proyecto: Monterrey, Chihuahua, Hermosillo, Toluca, Pachuca, Distrito Federal y Tijuana

b) Necesidades en calefacción y en climatización

Tipo de edificio: Vivienda (residencial)

Superficie de suelo: 70m²

Numero de piso: 2

Nivel de aislamiento térmico: bajo

Tipo de cimentación: loza al suelo

c) Parámetros del sistema:

¿Edificio de referencia climatizado? Si

Fuente de energía de calefacción: Electricidad o Gas natural

Rendimiento del sistema de calefacción: 100%

COP del aparato de climatización: 2.4 (climatización de ventana)

Tipo de sistema geotérmico: aro cerrado vertical

Configuración del aro: Denso

Rendimiento de la bomba de calor: Estándar (3,5 en climatización y 2,8 en calefacción) o elevado (5.5 y 4)

Con toda esta información, el software RETSCREEN calcula las cargas en calefacción, en climatización, el tipo de aro subterráneo, su longitud....

Por ejemplo, en el caso de Monterrey, con una bomba de calor con rendimiento elevado y un sistema de calefacción eléctrica, el software nos da:

Cargas de cálculo en calefacción: 1,3 kW

Cargas de cálculo en climatización: 6,6 kW

Superficie de terreno necesaria (con el sistema vertical): 32 m²

Longitud total de la perforación: 352 m

Todos estos valores son directamente integrados en las hojas para los siguientes pasos como el análisis de costos.

Se presenta en Anexo un ejemplo de la hora de calculo RETSCREEN para el modelo energético y las necesidades térmicas.

2. ANALISIS DE COSTOS

Para el análisis de costo se considera los precios siguientes (en US\$):

a) Costos de inversión:

Bomba de calor: 235\$/kW de referencia (rendimiento estándar) o 330\$/kW (rendimiento elevado)

Bomba de circulación: 400\$/kW

Líquido termoportador: 2400\$/m³

Perforación y relleno: 11\$/m

Tubería del intercambiador subterráneo: 2\$/m

Válvulas y empalmes del lado del suelo: 12\$/ kW de referencia

Aro del lado de la vivienda: 35\$/m

Formación: 20\$/hora

Sistema de climatización/calefacción de referencia: -2000\$

Ayuda INFONAVIT “Hipoteca Verde”: -800\$

b) Costos anuales:

Mano de Obra: 0.5\$/m³

Costo de 1 kWh de electricidad: 0.09\$

c) Costos periódicos:

Sustitución de la bomba de calor: 1500\$ cada 10 años.

Sustitución del aparato de climatización/calefacción: 2000\$ cada 8 años

Se presenta en Anexo un ejemplo de la hora de calculo RETSCREEN para el análisis de costo.

3. TABLA COMPARATIVA DEL PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSION

En esta parte se analizó el periodo de retorno de la inversión en el sistema geotérmico descrito más arriba en siete ciudades de la Republica Mexicana: Monterrey, Chihuahua, Hermosillo, Pachuca, Toluca, Distrito Federal y Tijuana. Para cada ciudad, se considera cuatro casos dependiendo del tipo de calefacción del sistema de referencia y del rendimiento de la bomba de calor.

En efecto, es importante de considerar el rendimiento de la bomba de calor porque una bomba con un rendimiento elevado es más cara y influye sobre el costo de inversión pero con este tipo de bomba, se hace economías de energía durante la producción de calor o de frío. Entonces se debe considerar este factor.

Además, se debe considerar el tipo de calefacción del sistema de referencia porque un sistema eléctrico o con gas natural no tiene el mismo costo de inversión y también no tienen el mismo costo de funcionamiento.

Tipo de calefaccion del sistema de referencia	Rendimiento de la bomba	Monterrey	Chihuahua	Hermosillo	Pachuca	Toluca	D.F	Tijuana
Electricidad	Elevado	13.6	7.2	12.1	10.8	6.8	7.3	7.4
	Estandar	23.5	10.8	23.0	22.8	22.8	14.7	15.2
Gas natural	Elevado	14.5	15.3	15.4	15.1	15.0	11.3	10.4
	Estandar	No	No	No	No	No	23.2	23.1

Figura 4.11: Tabla de valores del periodo de retorno de inversión en años en diferentes lugares de la Republica

En esta tabla se ve claramente que una bomba de calor con rendimiento elevado disminuye el tiempo de retorno en comparación con un rendimiento estándar de la bomba. También, el sistema geotérmico es más factible con un sistema de calefacción eléctrico de referencia que con un sistema de calefacción al gas natural de referencia.

Podemos identificar tres grupos de casos de viabilidad:

- Los casos con un periodo menor a 8 años del periodo de retorno significa que el sistema es viable en el caso de esta vivienda de 70 m². Esta situación ocurre en Toluca, Chihuahua, Tijuana y en el Distrito Federal para una bomba con un rendimiento elevado y un sistema eléctrico de referencia.
- Los casos con un periodo de retorno entre 8 y 12 años que puede ser interesante también en los casos de Hermosillo y Pachuca (alto rendimiento, sistema eléctrico), Chihuahua (rendimiento estándar, sistema eléctrico), Distrito Federal y Tijuana (alto rendimiento, sistema al gas natural).
- Los casos con un periodo mayor a 12 años no son interesante ni viable para el sistema geotérmico en el caso de la vivienda de 70m².

4. CASO EL MAS FACTIBLE EN LA AREA METROPOLITANA DE MONTERREY

En el párrafo precedente, se ha concluido que para la vivienda tipa que fue seleccionado para este estudio, el proyecto no es factible en Monterrey.

Pero se puede buscar en cuales condiciones y modificando cual parámetro se puede encontrar una solución factible.

Entonces se va a modificar las características arquitectónicas como la superficie de la vivienda y el nivel de aislamiento térmico.

		Superficie de la vivienda en m2					
		50 (1 piso)	70 (1 piso)	70 (2 pisos)	100 (2 pisos)	150 (2 pisos)	200 (2 pisos)
Nivel de aislamiento termico	bajo	12.2	15	13.6	15	15.6	15.9
	medio	7.4	12	11	13	14.6	15.1
	elevado	7.1	7.5	7.4	11	12.6	13.5

Figura 4.12: Tabla de valores los periodos de retorno de la inversión en Monterrey con diferentes tipos de aislamientos térmicos y diferentes superficies de casa (se considera un sistema de referencia eléctrico y una bomba de calor con rendimiento alto):

Se ve en esta tabla que el sistema geotérmico puede ser factible por una casa de 50 o 70 m2 con un nivel de aislamiento alto es decir que corresponde a la tabla siguiente:

Nivel de insolation	Valor de los muros W/(m ² .°C)	Valor del techo W/(m ² .°C)	Valor del sotano W/(m ² .°C)	Tasa de infiltracion CAH
bajo	0,5	0,33	0,5	0,5
medio	0,29	0,2	0,33	0,25
alto	0,2	0,11	0,25	0,1

Figura 4.13: Tabla de determinación del nivel de aislamiento térmico

Para respetar las condiciones de aislamiento alto, se debe tener como aislante 20cm de hielo seco, 10cm de aislakor o 12cm de poliuretano.

Aquí viene el cálculo de la espesor de la capa de aislakor (que tiene un $k=0.02019$) [19]

Composite wall with two sections		
DATA	Enter data	
heat transfer coefficient, h_1 [W/m ² K]	10	
heat transfer coefficient, h_3 [W/m ² K]	10	
contact resistance A-B, $R_{t,cont,AB}$ [m ² K/W]	0.001	
length of section A, L_A [m]	0.15	
length of section B, L_B [m]	0.1	
thermal conductivity of section A, k_A [W/mK]	1.8	
thermal conductivity of section B, k_B [W/mK]	0.02019	
free stream fluid temperature $T_{oo,1}$ [K]	350	
free stream fluid temperature $T_{oo,3}$ [K]	305	
RESULTS		
total thermal resistance, $R_{t,T}$ [m ² K/W]	5.237280337	U = 0.1909
overall heat flux q_x [W/m ²]	8.59	
free stream fluid temperature $T_{oo,1}$ [K]	350.00	
temperature T_1 [K]	349.14	
temperature T_{2A} [K]	348.42	
temperature T_{2B} [K]	348.42	
temperature T_3 [K]	305.86	
free stream fluid temperature $T_{oo,3}$ [K]	305.00	

Figura 4.14: Tabla de cálculo de espesor de aislante

5. INFLUYENCA DEL AISLAMIENTO TERMICO SOBRE LA DURACION DEL PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSION

Ahora, se puede investigar sobre la importancia del factor del aislamiento térmico sobre el periodo de retorno de la inversión considerando un sistema de referencia eléctrico con una bomba de calor con un rendimiento alto.

Eso da la tabla siguiente:

Nivel de aislamiento termico	Monterrey	Chihuahua	Hermosillo	Pachuca	Toluca	D.F	Tijuana
Bajo	13.6	7.2	12.1	10.8	6.8	7.3	7.4
Medio	11.0	7.3	12.3	11.6	7.1	7.3	7.2
Alto	7.4	7.4	11.9	7.4	7.2	7.3	7.0

Figura 4.15: Tabla de valores los periodos de retorno de la inversión en diferentes ciudades de la Republica con diferentes tipos de aislamientos térmicos y diferentes superficies de casa

Es difícil de concluir sobre esta tabla, porque un cambio de nivel de aislamiento térmico, no da el mismo resultado en todas las ciudades de la Republica. Con un nivel de aislamiento alto, el sistema es factible en cada ciudad estudiada excepto en Hermosillo. Pero en el caso de Chihuahua y Toluca, es preferible de tener un nivel de aislamiento bajo y en el Distrito Federal no importa.

Los cambios los más importante son en Pachuca y Monterrey donde un nivel de aislamiento alto de la vivienda permite de disminuir de manera significativa el tiempo de recuperación de la inversión.

CONCLUSIONES

Capítulo 1:

Las energías renovables entraron en una fase determinante de su desarrollo. El incremento continuo del precio de los hidrocarburos y de la electricidad, que provienen principalmente de los combustibles fósiles, plantea el problema de la capacidad de estas energías a mantener solas un crecimiento durable de la actividad económica.

Los programas de desarrollo de energías renovables se han multiplicado en los últimos años, pero se debe continuar en este sentido para mejorar la eficiencia de estos métodos, disminuir sus impactos en el medio ambiente y encontrar nuevas técnicas que permitirán participar a la resolución de los problemas futuros que son el calentamiento global, el agotamiento de las reservas mundiales de recursos energéticos no renovables.

Capítulo 2:

Los ejemplos que se vieron en este capítulo muestran que es posible de reducir de manera significativa el consumo de energía de los edificios. Se debe multiplicar los programas como los que se desarrollan en Europa en todo el mundo y aplicarlos a todas las fases de diseño, de construcción, de operación y de demolición.

Estos programas serán beneficiosos no solo para el medio ambiente sino para la cartera de los usuarios y entonces se debe promover estas tecnologías a los usuarios y a los constructores.

Capítulo 3:

En este capítulo, se he presentado una metodología a seguir para la implementación de un sistema geotérmico en los edificios comerciales y también para la vivienda. Es muy importante de considerar todos estos puntos para tener una solución técnica la más factible posible.

Capítulo 4:

Se ha estudiado la factibilidad de un sistema geotérmico para la climatización y la calefacción de la vivienda en el área metropolitana de Monterrey y en otros lugares de la Republica Mexicana. Se puede concluir de este trabajo que estos sistemas muy utilizados en países como Canadá o Suiza pueden ser factible por el tipo de vivienda que fue considerado en este proyecto en algunos lugares en México como Chihuahua, Toluca o el Distrito Federal que tienen clima extremo. Estos sistemas podrían permitir de hacer economías para el consumidor después de un periodo de 7 años y tener comodidades de calefacción y de climatización a lo largo del año.

Conclusiones Generales:

El consumo de energía en todas las fases de la construcción es un factor muy importante a considerar en estos tiempos con todo los problemas ecológicos, económicos que van a ocurrir durante este siglo dado al incremento del consumo mundial y de las faltas de recursos de las energías fósiles.

México está atrasado en el uso de las energías renovables en sistemas para economizar energía en las viviendas en comparación con otros países norteamericanos o europeos. Pero las empresas, los consumidores, el gobierno tienen que hacer esfuerzos para desarrollar programas de utilización de energías renovables que pueden disminuir el impacto sobre el medio ambiente y proveer economías para el consumidor.

Por el caso de Monterrey, la primera cosa que se debe hacer para reducir el consumo de energía sería de proponer un mejor aislamiento de las viviendas y de cuidar los desperdicios de energía en la vida cotidiana como no utilizar la climatización cuando no es necesario, cerrar las puertas y las ventanas usando los sistemas de calefacción y de climatización. Estos ejemplos de desperdicios de energía desgraciadamente se encuentran cotidianamente en Monterrey.

Entonces, se puede recomendar de continuar los esfuerzos de búsqueda de soluciones ecológicas para disminuir el consumo de energía y de hacer conocer lo más posible la existencia de soluciones alternativas en México

También, se debería informar a la población que una inversión más importante en un sistema alternativo al principio puede ser muy económica después y durante un periodo importante. Esta idea no parece ser muy extendida en las mentes en México.

RECOMENDACIONES

Como trabajos futuros, sería interesante extender el estudio de factibilidad técnica y económica a otros tipos de edificios más importantes como centros comerciales, edificios de oficina o residenciales altos, salas de recepción o de eventos. Es decir multiplicar los casos estudiados con diferentes parámetros para encontrar soluciones interesantes a proponer a las constructoras para aplicar los conceptos de sistemas geotérmicos a proyectos reales.

Igualmente, se debería investigar más profundamente las capacidades de importación de los componentes de estos sistemas en Estados-Unidos o en la Republica Mexicana para afinar los aproximaciones del costo del sistema.

Por fin, sería interesante estudiar más en detalle los resultados de impacto del sistema geotérmico sobre el medio ambiente en comparación con sistemas tradicionales.

BIBLIOGRAFIA

- [1] www.manicore.com de Jean-Marc Jancovici
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC 2001.
- [3] <http://unfccc.int>: United Nations Framework Convention on Climate Change.
- [4] EurObserver, Wind Energy Barometer, febrero 2006.
- [5] Tesis de Guillermo Sánchez Corral “Evaluación del recurso eólico, factibilidad técnica y aportación de potencia eólica-eléctrica a un sistema de bombeo en Soto La Marina Tamaulipas”.
- [6] EurObserver, Solid Biomass Barometer, diciembre 2006.
- [7] EurObserver, Hydropower Barometer, agosto 2006.
- [8] EurObserver, Solar thermal Barometer, octubre 2006.
- [9] Electricité de France (EDF).
- [10] <http://www.ambiente-ecologico.com>
- [11] EurObserver, Geothermal Barometer, diciembre 2005.
- [12] Clase de Construcción Sostenible del Dr. Salvador García Rodríguez, profesor al TEC de Monterrey, Campus Monterrey.
- [13] Rendez-vous du CSTB: « Vers des bâtiments à énergie positive »- les enjeux de la consommation énergétique dans les bâtiments. Olivier Sidler, ENERTECH.

- [14] Centre Scientifique et Technique du Bâtiment: Bâtiment basse consommation, un meilleur confort pour moins cher ?

- [15] www.canren.gc.ca: Canadian Renewable Energy Network

- [16] www.ashrae.org: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

- [17] www.retscreen.net: RETSCREEN International, National Resources Canada.

- [18] www.conae.gob.mx

- [19] Tesis de Marc Laurent “Modelo de eco diseño de un edificio habitacional para la área metropolitana de Monterrey”

ANEXOS

Aquí viene el ejemplo de la utilización del programa RETSCREEN para el cálculo del periodo de retorno de la vivienda considerada en Monterrey con una bomba de calor de alta rendimiento y en comparación con un sistema a la electricidad.

1- “Modelo Energético”:

Modèle énergétique RETScreen® - Projet de pompe à chaleur géothermique

Formation et aide

Caractéristiques du site		Données	Notes/Plage
Nom du projet (Nombre del proyecto)		Margaritas XII sector	voir le Manuel de l'utilisateur en ligne
Lieu du projet (Lugar del proyecto)		Apodaca, N.L., Mexico	
Surface de terrain disponible (Superficie de terreno disponible)	m ²	55	
Nature du sol (Tipo de suelo)	-	Sol dense et sec	
Charge de calcul en chauffage (Cargas en calefaccion)	kW	1.3	compléter la feuille Besoins thermiques
Charge de calcul en climatisation (Cargas en climatizacion)	kW	6.6	

Paramètres du système		Données	Notes/Plage
Système CVAC de référence			
Bâtiment climatisé ? (Edificio climatizado?)	oui/non	Oui	
Source d'énergie de chauffage (fuente de energía de calefacción)	-	Électricité	
Rendement saisonnier du système de chauffage	%	100%	55% à 350%
COP saisonnier du climatiseur	-	2.4	2,4 à 5,0
Système d'échange géothermique			
Type de système (Tipo de sistema)	-	Boucle fermée verticale	
Critère de conception (Criterio de concepcion)	-	Climatisation	
Surface typique nécessaire de terrain (Superficie de terreno necesidada)		32	
Configuration de l'échangeur souterrain (Configuración del aro)		Dense	
Longueur totale de forage (longitud total acumulada de los pozos)	m	352	
Pompe à chaleur			
Rendement moyen de la pompe à chaleur (Rendimiento de la bomba)		Elevé	
COP standard de climatisation	-	5.50	
COP standard de chauffage	-	4.00	
Puissance nominale suggérée de chauffage	kW	4.8	
	million Btu/h	0.016	
Puissance nominale suggérée de climatisation	kW	6.9	
	tonne de réf.	2.0	
Chauffage d'appoint et puits de chaleur supplémentaire			
Puissance d'appoint suggérée en chauffage	kW	#NAME?	
	million Btu/h	#NAME?	
Évacuateur de chaleur additionnel suggéré	kW	0.0	
	million Btu/h	0.000	

2-“Necesidades en calefacción y en climatización”

Évaluation des besoins en chauffage et en climatisation RETScreen® - Projet de pompe à chaleur géothermique

(Evaluación de las necesidades en calefacción y en climatización RETScreen - Proyecto de bomba a calor geotérmica)

Caractéristiques du site		Données	Notes/Page
Station météorologique la plus proche du projet		San Antonio, TX	voir la base de données météorologiques
Température extérieure de calcul en chauffage	°C	8.9	-40,0 à 15,0
Température extérieure de calcul en climatisation	°C	35.3	10,0 à 40,0
Écart moyen des températures quotidiennes en été	°C	10.3	5,0 à 15,0
Niveau d'humidité pendant la saison de climatisation	-	Élevé	
Latitude du lieu du projet	°N	29.5	-90,0 à 90,0
Température moyenne annuelle du sol	°C	19.3	visiter le site Web des données-satellite de la NASA
Amplitude annuelle des températures du sol	°C	15.1	5,0 à 20,0
Profondeur des mesures de la température du sol	m	3.0	0,0 à 3,0

Besoins en chauffage et en climatisation du bâtiment		Données	Notes/Page
Type de bâtiment (Tipo de edificio)	-	Résidentiel	
Information disponible sur le bâtiment (Información disponible del edificio)	-	Architecturale	
Surface de planchers (Superficie de piso)	m ²	70	
Nombre d'étages (Numero de piso)	étage	2	1 à 6
Niveau d'isolation thermique (Nivel de aislamiento termico)	-	Faible	
Type de fondation (Tipo de cimentación)	-	Dalle au sol	
Charge de calcul en chauffage	kW	1.3	
	million Btu/h	0.004	
Demande annuelle d'énergie en chauffage	MWh	#NAME?	
	million Btu	#NAME?	
Charge de calcul en climatisation	kW	6.6	
	tonne de réf.	1.9	
Demande annuelle d'énergie en climatisation	MWh	#NAME?	
	million Btu	#NAME?	retour à la feuille Modèle énergétique

3-Análisis de costos

Analyse des coûts RETScreen® - Projet de pompe à chaleur géothermique

(Análisis de costos RETScreen)

Type d'analyse : **Pré faisabilité**

Devises : **\$**

Coûts de référence : **Canada - 2000**

Coûts d'investissement (crédits)	Unité	Quantité	Coût unitaire	Montant	% du total	Plage/quantité	Plage/coût
Étude de faisabilité							
Autres - Étude de faisabilité	Coût	1	\$ -	\$ -			
Sous-total:				\$ -	0.0%		
Développement							
Autres - Développement	Coût	0	\$ -	\$ -			
Sous-total:				\$ -	0.0%		
Ingénierie							
Autres - Ingénierie	Coût	0	\$ -	\$ -			
Sous-total:				\$ -	0.0%		
Équipements énergétiques							
Pompes à chaleur	kW de réf.	6.9	\$ 330	\$ 2,271		(Bomba de calor)	\$200 - \$570
Pompes d'extraction	kW	0.0	\$ -	\$ -			\$425 - \$3 400
Pompes de circulation	kW	0.1	\$ 400	\$ 47		(Bomba de circulación)	\$250 - \$1 900
Fluide caloporteur	m³	0.06	\$ 2,400	\$ 149		(fluido caloportador)	\$2 400 - \$5 300
Échangeurs de chaleur	kW	0.0	\$ -	\$ -			\$7,00 - \$20,00
Travaux de terrassement	m	0	\$ -	\$ -			\$4,00 - \$3,00
Forage et remplissage	m	352	\$ 11.00	\$ 3,876		(Perforación y llenado)	\$11,00 - \$38,60
Tuyaux de l'échangeur souterrain	m	705	\$ 2.00	\$ 1,410		(Tubería del aro)	\$1,50 - \$3,50
Valves et raccords côté sol	kW de réf.	6.9	\$ 12.00	\$ 83			\$8,00 - \$20,00
Aide sistema verde	Crédit	1	\$ 800	\$ (800)		(Ayuda Verde)	
Système central de climatisation	Crédit	1	\$ 2,000	\$ (2,000)		(Sistema de climatización del sistema de referencia)	
Sous-total:				\$ 5,035	87.7%		
Infrastructures connexes							
Chauffage d'appoint	kW	0.0	\$ -	\$ -			\$35 - \$110
Évacuateur de chaleur additionnel	kW	0.0	\$ -	\$ -			\$500 - \$750
Boucle côté bâtiment	kW de réf.	6.9	\$ 35	\$ 241		(Aro del lado edificio)	\$20 - \$70
Autres - Infrastructures connexes	Coût	0	\$ -	\$ -			
Crédits - Infrastructures connexes	Crédit	1	\$ -	\$ -			
Sous-total:				\$ 241	4.2%		
Divers							
Formation	h-p	2	\$ 20	\$ 40		(formación)	- 16 \$40 - \$100
Frais imprévus	%	8%	\$ 5 316	\$ 425		(Reservado)	10% - 40%
Frais annuels (crédits)							
Exploitation et entretien							
(Explotación y mantenimiento)							
Taxes foncières et assurances	projet	0	\$ -	\$ -			
Main-d'œuvre	m²	70	\$ 0.50	\$ 35		(Mano de obra)	\$1,00 - \$3,00
Voyages et hébergement	voyage-p	0	\$ -	\$ -			
Autres - Exploitation et entretien	Coût	0	\$ -	\$ -			
Crédits - Exploitation et entretien	Crédit	0	\$ -	\$ -			
Frais imprévus	%	0%	\$ 5,276	\$ -			2% - 15%
Sous-total:				\$ 35	6.7%		
Combustible/Électricité							
(Combustible y Electricidad)							
Électricité	kWh	5,389	\$ 0.090	\$ 487		(Electricidad)	
Puissance souscrite supplémenta	kW	-1.1	\$ -	\$ -			
Sous-total:				\$ 487	93.3%		
Total des frais annuels				\$ 522	100.0%		
Coûts périodiques (crédits)							
Compresseur de PAC	Coût	10 ans	\$ 1,500	\$ 1,500		(Compresor de PAC)	
Remplacement du climatiseur	Crédit	8 ans	\$ 2,000	\$ (2,000)		(Cambio del climatizador)	
				\$ -			
Valeur résiduelle du projet	Crédit	-	\$ 2,000	\$ (2,000)			<i>aller à la feuille Analyse des GES</i>

4- Resumen financiero

**Flux monétaires cumulatifs du projet de pompe à chaleur géothermique
Margaritas XII sector, Apodaca,N.L, Mexico**

(Flujo monetario cumulativo del proyecto de bomba de calor geotermica)

Investissement total : \$ 5,741
(Inversion total)

