



471

Acceso:  
0631

D1

24

99

ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA

LATIN AMERICAN ENERGY ORGANIZATION



M E T O D O L O G I A   O L A D E

P A R A   L A

E X P L O T A C I O N   G E O T E R M I C A

O L A D E   M E T H O D O L O G Y

F O R

G E O T H E R M A L   E X P L O I T A T I O N



#### FOREWORD

OLADE's preparation of the "Methodology for Geothermal Exploration" constituted an important technical instrument of reference in formulating and designing specific geothermal projects and in orienting the countries that have this energy resource available, during the first phases of exploration activity.

The usefulness of this document was reflected in its broad acceptance worldwide and in its successful application at numerous geothermal projects, where it was possible to validate the methodology presented as the outgrowth of the experience of renowned experts of regional and international prestige.

Nonetheless, this effort would not be complete if bases were not laid for exploitation of the geothermal resource, as a logical consequence of exploration.

For that reason, at the Seminar on Geothermal Exploitation held by OLADE during March 17-21, 1986, in Managua, Nicaragua, with funding from the Inter-American Development Bank (IDB), a work group was formed from among the experts so that, parallelly to the seminar itself, a document containing the "METHODOLOGY FOR GEOTHERMAL EXPLOITATION" could be formulated, working on the basis of the preliminary version published by OLADE in November 1980, in order to review, update and expand it.

The present document constitutes a contribution to the efforts being made by the Member Countries to improve the standard of living of their inhabitants while rationally making use of natural resources, local efforts and the technical-scientific capacity of the Region.

#### PROLOGO

La elaboración, por parte de OLADE de la "Metodología de Exploración Geotérmica" constituyó un importante instrumento técnico de referencia para la formulación y planteamiento de proyectos geotérmicos específicos y para orientar a los países que cuentan con este recurso energético durante las primeras fases de la actividad exploratoria.

La utilidad de este documento quedó demostrada por la gran aceptación que tuvo a nivel mundial, y por su exitosa aplicación en numerosos desarrollos geotérmicos, con los que se validó la metodología ahí presentada, producto de la experiencia de expertos de connotado prestigio regional e internacional.

Sin embargo, no quedaría completa esta labor si no se establecieran las bases para la explotación del recurso geotérmico, consecuencia lógica de la exploración.

Por tal motivo, en el Seminario de Exploración Geotérmica realizado por OLADE del 17 al 21 de marzo de 1986 en Managua, Nicaragua, con financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), se formó un grupo de trabajo con participación de los conferencistas para que, paralelamente a la conducción del evento, se formulara un documento conteniendo la "METODOLOGIA DE LA EXPLORACION GEOTERMICA", para cuya elaboración se partió de la versión preliminar que sobre este tema editara OLADE en noviembre de 1980, la cual fue revisada, actualizada y complementada.

La presente obra constituye una contribución a los esfuerzos que realizan los Países Miembros para mejorar el nivel de vida de sus habitantes, aprovechando razonablemente los recursos naturales, los esfuerzos locales y la capacidad técnico-científica con que cuenta la Región.

- INDEX -

	Page
1 DEVELOPMENT.....	7
1.1 SITING OF PRODUCTION AND REINJECTION WELLS....	7
1.2 DRILLING AND COMPLETION OF WELLS.....	13
1.3 PLATFORM INSTALLATIONS AT THE SURFACE.....	31
1.4 DEVELOPMENT AND EVALUATION OF WELLS.....	41
1.5 GEOTHERMAL FLUID TRANSPORT SYSTEMS.....	49
1.6 DESIGN OF GEOTHERMAL POWER PLANTS.....	57
1.7 CONSTRUCTION OF GEOTHERMAL POWER PLANTS.....	69
1.8 WELLHEAD PLANTS.....	75
1.9 FLUID DISPOSAL AND ENVIRONMENTAL CONTROL.....	80
2 PRODUCTION.....	83
2.1 FIELD AND POWER PLANT OPERATION.....	83
2.2 WELL AND FIELD MAINTENANCE.....	89
2.3 BASIC CRITERIA FOR ANALYSIS, EVALUATION AND FORECASTING OF RESERVOIR BEHAVIOR.....	103
2.4 PRODUCTION POLICIES.....	111
2.5 BASIC CRITERIA FOR INVESTMENT AND GENERATING COST ANALYSES.....	115

- INDICE -

**OLADE**  
Organización Latinoamericana de Energía  
CENTRO DE INFORMACIÓN

	Página
1 DESARROLLO .....	8
1.1 UBICACION DE LOS POZOS DE PRODUCCION Y REINYECCION	8
1.2 PERFORACION Y TERMINACION DE POZOS .....	14
1.3 INSTALACIONES SUPERFICIALES EN PLATAFORMA .....	32
1.4 DESARROLLO Y EVALUACION .....	42
1.5 SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS GEOTERMICOS .....	50
1.6 PROYECTO DE CENTRALES GEOTERMICAS .....	58
1.7 CONSTRUCCION DE CENTRALES GEOTERMOELECTRICAS .....	70
1.8 PLANTAS A BOCA DE POZO .....	76
1.9 EVACUACION DE FLUIDOS Y CONTROL AMBIENTAL .....	79
2 EXPLOTACION .....	84
2.1 OPERACION DE CAMPO Y CENTRAL .....	84
2.2 MANTENIMIENTO DE POZOS Y CAMPO .....	90
2.3 CRITERIOS BASICOS PARA ANALISIS, EVALUACION Y PROGNOSTICO DEL COMPORTAMIENTO DE RESERVORIOS .....	104
2.4 POLITICAS DE EXPLOTACION .....	112
2.5 CRITERIOS BASICOS PARA EL ANALISIS DE COSTOS DE INVERSION Y DE GENERACION .....	116

#### SCOPE

In a geothermal program, the phases of development and production cover the stages subsequent to the methodology established by OLADE up through the commercial utilization of geothermal resources for generating purposes.

The development stage is the in-depth continuation of the geoscientific studies which form part of the reservoir assessment; the search for, and extraction of, the resource; and the elaboration of the final project, up to construction of the generating plant.

The production stage defines the most important parameters which allow overall optimization of handling of the geothermal fluids, from their extraction in the reservoir up to the continuous and reliable production of electric power, considering the evolution of the field over time.

The criteria expressed in this methodology do not intend to be exhaustive; they are the outgrowth of experience obtained in geothermal projects in the phases of development and production, considering the particularities of regional geological conditions, as well as the technological capacity of the Latin American and Caribbean countries.

#### ALCANCES

Las fases de desarrollo y explotación en un programa geotérmico, comprenden desde las etapas sucesivas de la metodología establecida por OLADE, hasta la utilización comercial de los recursos geotérmicos para fines de generación.

La fase de desarrollo, es la continuación en detalle de los estudios geocientíficos que forman parte de la evaluación del reservorio, la búsqueda y extracción del recurso y la elaboración del proyecto definitivo hasta la construcción de la planta generadora.

La fase de explotación, define los parámetros más importantes que permiten de una manera general la optimización en el manejo del fluido geotérmico, desde su extracción del reservorio hasta la producción de energía eléctrica en forma continua y confiable, considerando la evolución del campo en función del tiempo.

Los criterios expresados en esta metodología, no pretenden ser exhaustivos y son el resultado de las experiencias obtenidas en los proyectos geotérmicos en fase de desarrollo y explotación, considerando la particularidad de las condiciones geológicas regionales, así como la capacidad tecnológica de los países latinoamericanos y del Caribe.

## 1. DEVELOPMENT

### 1.1 SITING OF PRODUCTION AND REINJECTION WELLS

Taking into account the results obtained in the stages of reconnaissance, prefeasibility and feasibility (\*), the different criteria recommended for consideration in siting wells are discussed below.

#### 1.1.1 Geoscientific Criteria

##### 1.1.1.1 Geological-Volcanological

These should be based on a broad and suitable knowledge of the geological model of the field, including:

- Stratigraphic correlations of the wells drilled.
- Identification of hydrothermal alteration minerals.
- Formulation of an hypothesis on the location of the heat source.
- Preliminary definition of the limits of the field.
- Knowledge about the volcanic events which have occurred.
- Dating of the different lithostratigraphic formations.

##### 1.1.1.2 Structural

The criteria adopted on the basis of knowledge about the structural conditions of a field make it possible to reduce the probability of error in siting production wells.

The principal elements in this discipline are as follows:

- Definition of the regional structure.
- Definition of the local structure.
- Definition of the fracture systems.
- Definition of the fault systems.

##### 1.1.1.3 Stratigraphic

Knowledge of the stratigraphic conditions of the field contributes additional criteria for siting wells. The fundamental aspects to be covered are:

- Lithological sequence of the wells drilled.
- Preliminary definition of the lithological components of the field (cover, cap rock, reservoir and basement).
- If possible, correlations based on special petrographic studies of the alteration minerals.

##### 1.1.1.4 Geohydrological

The geohydrology of a geothermal field is a determining aspect in well siting. It encompasses:

- Definition of the recharge basin.
- Definition of the recharge zones and flows.
- Identification of the various aquifers of the zone.

## 1 DESARROLLO

### 1.1 UBICACION DE POZOS DE PRODUCCION Y REINYECCION

Tomando como base los resultados obtenidos en las fases de reconocimiento, prefactibilidad y factibilidad (\*) a continuación se exponen los diversos criterios que se recomienda tomar en consideración para ubicación de los pozos.

#### 1.1.1 Criterios Geocientíficos

##### 1.1.1.1 Geológicos-Vulcanológicos

Estos deben basarse en un conocimiento amplio y adecuado al modelo geológico del campo, incluyendo:

- Correlaciones estratigráficas de los pozos perforados
- Identificación de los minerales de alteración hidrotermal
- Formulación de una hipótesis sobre ubicación de la fuente calorífica
- Definición preliminar de los límites del campo
- Conocimiento de los eventos volcánicos ocurridos
- Datación de las diversas formaciones litoestratigráficas

##### 1.1.1.2 Estructurales

Los criterios adoptados, en base al conocimiento de las condiciones estructurales de un campo, permiten disminuir las probabilidades de error en la localización de pozos productores.

Los elementos primordiales de esta disciplina son los siguientes:

- Definición de la estructura regional
- Definición de la estructura local
- Definición de los sistemas de fracturamiento
- Definición de los sistemas de fallas

##### 1.1.1.3 Estratigráficos

El conocimiento de las condiciones estratigráficas del campo aporta criterios adicionales para la ubicación de los pozos. Los aspectos fundamentales que deben conocerse son:

- Secuencia litológica de los pozos perforados
- Definición preliminar de los componentes litológicos del campo (cubierta, capa sella, reservorio y basamento)
- De ser posible, correlaciones en base a estudios petrográficos especiales de los minerales de alteración

##### 1.1.1.4 Geohidrológicos

La Geohidrología de un campo geotérmico es un aspecto determinante en la ubicación de pozos, comprende:

- Definición de la cuenca de recarga
- Definición de zonas y flujos de recarga
- Identificación de los diferentes acuíferos de la zona

- Geohydrological features of the reservoir (transmissibility, permeability, porosity, etc.)
- Hydrochemical and isotopic features of the aquifers.
- Determination of the preliminary geohydrological model.

#### 1.1.1.5 Geochemical

A sound knowledge of the geochemical conditions of geothermal flows makes it possible to learn about their origin, the interactions they have undergone along the way, and their temperature of origin. Hence, it contributes to the definition of siting criteria. The fundamental points on which these are based are:

- Distribution of temperature in the reservoir, on the basis of geothermometers.
- Geochemical characteristics of the different aquifers existing in the field.
- Surface definition of the field through geochemical methods.

#### 1.1.1.6 Geophysical

The application of geophysical methods permits definition of the possible subsurface structures and thus aids in siting the wells. In each particular case, the method most adaptable to the geological environment in question should be applied. It is also recommendable to verify the anomalies detected through application of two or more methods. The application criteria are supported on the following methods:

- Determination and interpretation of electromagnetic, gravimetric and microseismic anomalies.
- Application of seismological methods.
- Determination of heat flow patterns.

#### 1.1.2 Thermodynamic Criteria

Knowledge about the thermodynamic parameters of existing wells contributes to siting the next wells to be drilled, through the interpretation of the following features:

- Distribution of temperature in the field.
- Enthalpy correlations in the wells.
- Variations in thermodynamic features.

#### 1.1.3 Other Criteria

In siting a well, the following factors should also be taken into account:

- Topography of the terrain: When the physiography of the drilling sites is rough, the construction of platforms and accesses proves costly and difficult. Therefore, given equal possibilities, the ones which offer less difficulty should be chosen.
- In selecting the drilling site, the mechanical features of the terrain should be taken into account, in order to avoid problems during drilling (cave-ins,

- Características geohidrológicas del reservorio (transmisibilidad, permeabilidad, porosidad, etc.)
- Características hidroquímicas e isotópicas de los acuíferos
- Determinación del modelo preliminar geohidrológico.

#### 1.1.1.5 Geoquímicos

Un buen conocimiento de las condiciones geoquímicas de los fluidos geotérmicos permite conocer su procedencia, interacciones que han sufrido durante su camino y su temperatura de origen. Por tanto, contribuye a definir los criterios de ubicación. Los puntos fundamentales sobre los que se basan son:

- Distribución de la temperatura del reservorio en base a geotermómetros.
- Características geoquímicas de los diferentes acuíferos existentes en el campo.
- Delimitación superficial del campo mediante métodos geoquímicos.

#### 1.1.1.6 Geofísicos

La aplicación de métodos geofísicos permite la definición de las posibles estructuras del subsuelo y por tanto, ayuda en la ubicación de los pozos. En cada caso particular deberá aplicarse el método de mayor adaptabilidad al medio geológico de que se trate. Es también recomendable la comprobación de las anomalías detectadas mediante la aplicación de dos o más métodos. Los criterios de aplicación se apoyan en los siguientes métodos:

- Determinación e interpretación de anomalías electromagnéticas, gravimétricas y microsísmicas.
- Aplicación de métodos sismológicos.
- Determinación de los patrones de flujo térmico.

#### 1.1.2 Criterios Termodinámicos

El conocimiento de los parámetros termodinámicos de los pozos existentes contribuye a ubicar los pozos siguientes a perforar, mediante la interpretación de las siguientes características:

- Distribución de temperatura en el campo
- Correlaciones entálpicas de los pozos
- Variaciones de las características termodinámicas.

#### 1.1.3 Otros Criterios

En la ubicación de un pozo se deben también tomar en cuenta los siguientes factores:

- Topografía del terreno: Cuando la fisiografía de los sitios de perforación es accidentada, la construcción de plataformas y accesos resulta sumamente costosa o difícil de realizar. Por lo tanto, a igualdad de posibilidades, se deberán seleccionar los sitios que presenten menos grados de dificultad.
- En la selección del sitio de perforación se deberán tomar en cuenta características mecánicas del terreno, para evitar problemas durante la perforación (hundimientos, deslaves, etc.).

landslides, etc.)

- If the permeability of the terrain on the platform is high, a cement plaster could be injected in order to consolidate the soil, thus improving its load capacity and integrating a protective shield for the drilling equipment.
- It is not advisable to locate wells in the proximity of springs, fumaroles, active faults, transmission lines, freshwater deposits, power plants, etc.

- Si la permeabilidad del terreno en la plataforma es elevada, podría inyectarse lechada de cemento, para consolidar el suelo, mejorando su capacidad de carga e integrando un "escudo" de protección al equipo de perforación.
- No es aconsejable localizar pozos en la vecindad de manantiales, fumarolas, fallas activas, líneas de transmisión, depósitos de agua dulce, centrales, etc.

## 1.2 DRILLING AND COMPLETION OF WELLS

### 1.2.1 General Aspects

Besides the number of wells required to supply the necessary steam to the power plant, some back-up wells should be drilled; gradually and as a function of time, they will be substituted for by new wells.

All of the supplementary drilling facilities should be executed in integral form, e.g.: offices, camps, stores, accesses, drains, water supplies, services, etc. All of the information gathered in drilling during the feasibility stage will be of prime importance in the planning and design of wells for exploitation of the geothermal field.

Geophysical and geological studies and investigations, etc., should be continued alongside development of the field, in order to provide feedback and adjust technical criteria and concepts, thus optimizing information.

### 1.2.2 Well Design

This information will be of great value in contracting the services of specialized companies to do the drilling, since it will be used to back the various technical and legal elements in order to structure a contract governing the relations between the contracting parties.

The model well design will be in keeping with the geological conditions, responding especially to the generic subdivision of:

- Fields in sedimentary rock.
- Fields in volcanic rock.

In line with the features of each one of the wells, the following should be considered:

**Objective:** The essential aim of well construction will be to obtain maximum flow under economical conditions; however, it is important to take into account drilling as well as production and maintenance; overall cost will determine, in the long run, whether or not the project was planned effectively.

**Type of Formations:** The design should include the drilling system to be applied, depending on the existing formations, whether of the sedimentary or igneometamorphic type, or a combination of the two.

**Depth:** In doing the drilling, the technical problems and difficulties, as well as the risks, increase in direct proportion to depth. It is recommended that the drilling problems be distributed with respect to the following depths: up to 1500 meters, from 1500 to 2500 meters, and from 2500 meters on. This circumstance will call for the utmost care in selection of the personnel, equipment, tools and work procedures which, according to the depths already mentioned, will be the most suitable.

## 1.2 PERFORACION Y TERMINACION DE POZOS

### 1.2.1 Generalidades

Además del número de pozos requeridos para suministrar el vapor necesario a la central, se deberán perforar algunos de respaldo. Paulatinamente y en función del tiempo transcurrido, se irán substituyendo con pozos nuevos.

Todas las obras complementarias para la perforación deberán ejecutarse en forma integral, tales como: oficinas, campamentos, almacenes, accesos, drenajes, suministro de agua, servicios, etc. Toda la información recabada en las perforaciones, durante la etapa de factibilidad, será determinante en la planeación y diseño de los pozos, para la explotación del campo geotérmico.

Deberán continuar las investigaciones y estudios geofísicos, geológicos etc., paralelos al desarrollo y explotación del campo, para retroalimentar, ajustando criterios y conceptos técnicos, optimizando información.

### 1.2.2 Diseño del Pozo

Dicha información será de gran valor para contratar los servicios de compañías especializadas que realicen las perforaciones, dado que podrán soportarse con toda seguridad los distintos elementos técnicos y legales para estructurar un contrato que rija las relaciones entre contratante y contratista.

El diseño del pozo tipo estará de acuerdo a las condiciones geológicas, sobre todo si se atiende a la subdivisión genérica de:

- Campo en rocas sedimentarias
- Campo en rocas volcánicas

Para las características de cada uno se deberá considerar lo siguiente:

**Objetivo:** El objetivo esencial al construir un pozo, será obtener el máximo caudal en condiciones económicas; sin embargo, es importante tomar en cuenta tanto su perforación como su explotación y mantenimiento; el costo del conjunto, evidenciará a la postre si el proyecto se planeó eficazmente.

**Tipo de Formaciones:** El diseño debe incluir el sistema de perforación que deba aplicarse, dependiendo de las formaciones existentes, ya sean del tipo sedimentario, igneo-metamórfico o su combinación.

**Profundidad:** Al realizar las perforaciones, las dificultades y problemas técnicos, así como los riesgos, se incrementan en razón directa con la profundidad. Se recomienda distribuir la problemática de perforación, en relación a las siguientes profundidades: hasta 1.500 m; de 1.500 m a 2.500 m y de 2.500 m en adelante. Esta circunstancia obligará a seleccionar con mayor cuidado al personal, equipo, herramienta y procedimientos de trabajo que de acuerdo a las profundidades ya señaladas sean los más adecuados.

**Casing Specifications:** With the experience and results obtained in the feasibility wells, it will be possible to specify the support casings for the production wells.

Analyzing the different alternatives and combining pipe diameters, flows, and number of wells, it will be possible to define the most convenient and economical combination.

The design should consider the possible placement of an extra casing, the diameter of which should be congruent with that of the production casing already installed so as to continue using the well, once repaired.

The diameter of the production casing having been defined, the diameters of the support casings and anchor casings, as well as the surface piping, conducting pipes, and short pipes that might be used in the production zone can be specified.

**Drilling Diameter:** Likewise, and in keeping with the established gaps, the drilling diameters considered most adequate for each stage can be selected; in geothermal wells, it is considered most convenient to have an annular space of 2.5 to 5 cm. between the casing and the formation, thus achieving the maximum compression capacity for the cement, increasing the insulation and the protection of the support, and reducing the possibilities of corrosion.

**Quality of the Support Casings and Mechanical Capacity:** In these aspects, two fundamental factors should be considered:

- The mechanical capacity of the casing to withstand collapses and tensional and compressive stress due primarily to thermal effects.
- Resistance of the alloys used to different types of corrosion and to the effects of hydrogen embrittlement.

Mild steels advantageously withstand the corrosive effect of geothermal fluids; however, they have less mechanical capacity. A careful analysis of the commercially available steels should therefore be done, balancing the factors of mechanical capacity and resistance to corrosion.

**Type of Joints:** This aspect is just as important as the one discussed above, since the round API threads has less capacity for bearing stress than the body of the casing does; thus, in order to maintain uniform capacity, Buttress thread or special thread is recommended for it would also provide a more effective seal. It is also important to avoid discontinuities in the interior of the production casings, since these give rise to turbulence and erosion problems due to cavitation, which could damage the joints, thus causing them to fail.

**Accessories for Cementing:** We can divide the different accessories needed to cement the casings into two groups: those which will be subject to normal temperatures within the API standards and those which will be subject to the temperatures foreseen in the feasibility stage. For the

**Especificaciones de los Ademes:** Con la experiencia y resultados obtenidos en los pozos de la factibilidad, se podrán especificar las tuberías de revestimiento, para los pozos de explotación.

Haciendo un análisis de diferentes alternativas, al combinar diámetros tubulares, caudales y número de pozos, se podrá definir la combinación más conveniente y económica.

En el diseño se debe considerar la eventual colocación de una tubería extra, cuyo diámetro deberá ser congruente con el de la tubería de producción, ya instalada y así continuar utilizando el pozo ya reparado.

Habiéndose definido el diámetro de la tubería de producción, podrán definirse los diámetros de la tubería de ademe y anclaje, así como las tuberías superficiales, conductoras y tuberías cortas que pudieran colocarse frente a la zona de explotación.

**Diámetro de Perforación:** En igual forma y de acuerdo a las tolerancias establecidas, podrán seleccionarse los diámetros de la perforación, que en cada etapa se consideren más adecuados, haciendo la aclaración que en pozos geotérmicos se considera más conveniente tener un espacio anular entre tubo y formación de 2.5 cm a 5 cm, y así lograr la capacidad máxima del cemento a la compresión, aumentando el aislamiento y protección del ademe, reduciendo las posibilidades de corrosión.

**Calidad de las Tuberías de Ademe y Capacidad Mecánica:** En este aspecto deberán considerarse dos factores fundamentales:

- La capacidad mecánica de la tubería para soportar colapsos, esfuerzos de tensión y compresión, que se originan principalmente por efectos térmicos.
- Resistencia de las aleaciones usadas a diferentes tipos de corrosión y a los efectos de fragilización por hidrógeno.

Los aceros suaves, soportan ventajosamente el efecto corrosivo de los fluidos geotérmicos; sin embargo su capacidad mecánica es menor, por lo tanto, deberá hacerse un análisis muy cuidadoso de los aceros disponibles comercialmente, balanceando factores de capacidad mecánica y resistencias a la corrosión.

**Tipo de Juntas:** Este aspecto es tan importante como el señalado anteriormente, ya que las rosas redondas API tienen menor capacidad a los esfuerzos que el cuerpo del tubo, por lo tanto, para conservar una capacidad uniforme se recomiendan rosas tipo Buttress o especiales que además tienen un sellado más efectivo. Asimismo, es importante evitar que existan discontinuidades en la superficie interior de la tubería de producción, ya que éstas originan turbulencias y problemas de erosión por cavitación que pudieran dañar las juntas provocando desprendimiento de las mismas.

**Accesorios para cementaciones:** Los distintos accesorios necesarios para cementar las tuberías, podemos dividirlos en dos grupos: aquellos que estarán sometidos a temperaturas normales dentro de normas API y aquellos que estarán sometidos a las temperaturas previstas en la etapa de factibilidad. Para el primer grupo podrán ser empleados accesorios convencionales pe-

first group, conventional petroleum accessories can be used; for the second, only those specially designed to withstand high temperatures and the corrosive action of geothermal fluids should be used.

**Cements:** In this aspect, it will be indispensable to use those which have offered the best results in the construction and production of geothermal wells, mainly of the G or H type, API standards, modified with silica flour, perlites and/or activated pozzolans. According to each case, the perlite can be recommended for production and anchor casings and pozzolan mixes for surface and conducting pipes. The use of adequate cement and good cementation will substantially reduce mechanical and corrosion problems; however, the results observed in the wells which have produced for several years have shown that the aforementioned mixtures undergo degradation with time, which can cause serious problems and even loss of control. Therefore, more research has to be done in this field.

**Completion:** Completion can be classified in three types:

- Open-hole, without supporting casing.
- Short, slotted casing without cement.
- Casings cemented at bottom and gun-perforated.

The open-hole well, without a casing, can be used with certain restrictions in formations which offer great stability and which even during exploitation do not give rise to cave-ins and landslides which could damage the well.

Completion using short slotted casing is recommended in formations which are not very stable. The zones open to production should be selected with great care, in order to avoid the entry of waters of a lower temperature than the ones which it is desired to exploit.

Finally, in those cases in which the decision is made to complete the well by cementing the casing all the way to the bottom, the casing should later be perforated using guns. This type of completion permits selection of the intervals which should be left open; however, a major difficulty in this procedure is the limitation of the perforating equipment in terms of temperature and high cost; there is also the risk of invading the producing formations with cement.

### 1.2.3 Drilling

#### 1.2.3.1 Drilling by Contract or Administration

Experience has shown that it is more economical and convenient to drill under contract when both the technical specifications and legal aspects are perfectly well established; these should always be subject to the decision of the contracting party's technical team. The reasons on which these recommendations are based are as follows:

- a) The drilling contractor should have personnel with sufficient know-how and adequate equipment to carry out

troleros, para el segundo se deberán utilizar solamente los diseñados especialmente para soportar altas temperaturas y la acción corrosiva de los fluidos geotérmicos.

**Cementos:** En este aspecto, será indispensable utilizar aquellos que han ofrecido mejores resultados en la construcción y explotación de pozos geotérmicos, principalmente tipo G o H, normas API, modificados con harina de sílice, perlitas y/o puzolanas activadas. Dependiendo de cada caso, son de recomendarse la perlita para tubería de producción y anclaje, y las mezclas con puzolana en las superficiales y conductoras. El uso de cementos adecuados y una buena cementación reducirán sustancialmente problemas mecánicos y problemas de corrosión; sin embargo, los resultados obtenidos en pozos que han trabajado varios años han mostrado que las mezclas antes mencionadas sufren degradaciones que pueden causar problemas graves y aún descontroles; por lo que se juzga necesario investigar más al respecto.

**Terminación:** La terminación podemos clasificarla en tres tipos:

- Agujero abierto sin ademe
- Tubería corta ranurada sin cemento
- Tubería cementada al fondo y disparos

El agujero abierto, sin revestimiento, se puede utilizar con cierta reserva en formaciones con gran estabilidad y que aún durante la explotación no originen derrumbes ni desprendimientos que pudieran dañar al pozo.

La terminación utilizando tubería corta ranurada se recomienda en formaciones poco estables, debiendo ajustar con gran cuidado las zonas abiertas a explotación para evitar el ingreso de aguas de más baja temperatura que la que se desea explotar.

Por último, en aquellos casos en los que se decida utilizar una terminación cementando la tubería hasta el fondo, se deberá posteriormente perforar la tubería utilizando disparos; este tipo de terminación permite seleccionar los intervalos que deben quedar abiertos; sin embargo, una gran dificultad en este procedimiento es la limitación del equipo a la temperatura y el alto costo; además se presenta el riesgo de invadir las formaciones productoras con cemento.

#### 1.2.3 Ejecución de la Perforación.

##### 1.2.3.1 Perforación por Contrato o Administración.

La experiencia ha demostrado que es más económica y conveniente la perforación por contrato, cuando quedan perfectamente establecidos en él mismo, tanto las especificaciones técnicas, como los aspectos legales, que siempre deberán estar sujetos a la decisión del grupo técnico del contratante. Las razones en que se basan estas recomendaciones son las siguientes:

- a) El contratista en perforación debe tener el personal con experiencia suficiente y el equipo adecuado para ejecutar los trabajos de perforación.

the drilling work.

- b) It is not recommended that drilling be done by administration, since this entails a higher cost, for the following reasons:
  - The cost of drilling equipment is very high and, thus, its amortization requires continuous use for at least ten years.
  - Statistics have shown that the yield of the drilling crews under the control of a contractor are 2 to 3 times greater than under an administration arrangement.

The contract which governs the relations between the two contracting parties should comprise the following groups of documents:

- a) A contract indicating the rights and obligations of the two contracting parties, according to the legal principles which each country establishes for this type of contract.
- b) A catalog of unit prices growing out of a very careful analysis to establish prices and detail their scope and limitations, as well as instructions for their application. Prices should be established per meter drilled, pershift, with or without drilling tools and per idle time.
- c) Special technical standards, according to each case in particular, including well construction plans.
- d) The work program, indicating the respective timetable.
- e) The program of use of contracted equipment.
- f) Location map of the contracted wells.
- g) Detailed inventories, with all of the specifications for drilling equipment which the contractor accepts for the work hired out under the contract.
- h) In the event that the contractor should need materials, equipment and services from the contracting party, these will be supplied following approval by the parties, indicating prices and conditions.

The preparation of reports by either one of the contracting parties should be an integral part of the established procedures. Its contents should detail the activities carried out previously, thus manifesting the control of the contractor. It will be imperative to gather the technical information necessary for preparation of the estimates corresponding to each well drilled.

- b) No se recomienda efectuar la perforación por administración, ya que esto significa mayor costo por las siguientes razones:
  - El costo del equipo de perforación es muy alto y para su amortización, se requiere utilizarlos en forma continua, por lo menos 10 años.
  - La estadística ha demostrado que los rendimientos de las brigadas de perforación bajo el control del contratista es de 2 a 3 veces mayor que por administración.

El contrato que rija las relaciones de contratante y contratista deberá estar formado de los siguientes grupos de documentos:

- a) Contrato que indique las obligaciones y derechos tanto del contratante como del contratista y de acuerdo a las normas legales que cada país establece para este tipo de contratos.
- b) Un catálogo de precios unitarios que surge de un análisis muy cuidadoso que establece los precios, detallando los alcances y limitaciones de los mismos, así como un instructivo para su aplicación. Los precios deben establecerse por metro perforado, por jornada, con o sin herramienta de perforación y por tiempos de espera.
- c) Las normas técnicas especiales y de acuerdo a cada caso en particular, incluyendo los esquemas constructivos de los pozos.
- d) El programa de trabajo, indicando el calendario respectivo.
- e) El programa de la utilización de los equipos contratados.
- f) Plano de localización de los pozos contratados.
- g) Los inventarios detallados, con todas las especificaciones, del equipo de perforación que el contratante acepte para realizar los trabajos, objeto del contrato.
- h) En caso de que el contratante requiera materiales, equipo y servicios del contratista, éste los suministrará previa aceptación de las partes, indicando precios y condiciones.

La elaboración de reportes preparados tanto por el contratante como por el contratista, deberán ser parte integral de los procedimientos establecidos. Su contenido debe detallar las actividades realizadas previamente establecidas, evidenciando así el control del contratista, será indispensable recopilar información técnica necesaria para preparar las estimaciones correspondientes a cada pozo realizado.

#### 1.2.3.2 Drilling

Both the personnel and the equipment should be adequate for execution of the wells to be drilled, taking into account the following factors:

- An in-depth analysis of the advantages and/or disadvantages of having equipment for drilling with chemical muds, water and air with foam.
- Preparation of a program of supporting casings.
- Features of the bits, rotary reamers and mills which should be available at the drilling site.
- Mechanical elements which should be integrated into the drilling stem, as well as type and class of drilling fluids.
- Program of procedures for control of losses of circulation, cave-ins, sticking, fishing, etc.
- Program of electrical and thermal readings.
- Special equipment as preventors which withstand the temperature of the geothermal fluids.
- Set of compressors and special wellhead equipment to eliminate cuttings when drilling with air.
- Guaranteed sufficient supply when drilling with water.

In general, drilling has developed broad and sophisticated technology in oil fields; however its application in geothermal fields should consider special aspects such as:

- Construction design should take into account temperatures, corrosion, drilling diameters larger than conventional ones in oil wells and threads in support casings.
- Greater circulation losses will be caused by a high degree of primary and secondary permeability in geothermal reservoirs.
- In electrical logs, the equipment and cable should be special in order to work at high temperatures and in corrosive environments.
- The need for adequate equipment should be considered, in order to obtain the temperature readings which are fundamental.
- The cement should withstand the effect of geothermal fluids, modifying them with perlite, spherulite, activated pozzolan, silica and specific doses of retardants at each temperature.
- The cementation will be designed so as to cover the total length of each one of the installed casings, which will be provided with special high-temperature accessories, with the exception of the short liners.

#### 1.2.3.3 Technical Program

Before beginning to drill a well, the contractor will prepare a technical program specifying the following:

#### 1.2.3.2 Perforación

Tanto el personal como el equipo deberán ser adecuados para la ejecución de los pozos que se deben realizar, tomando en cuenta los factores siguientes:

- Un análisis a fondo de las ventajas y/o desventajas de contar con los equipos para perforar con lodo químico, agua y aire con espuma.
- La preparación de un programa de tuberías de ademe.
- Características de barrenas, ampliadores y molinos, que deberán tenerse en el sitio de perforación.
- Elementos mecánicos que deberán integrar la sarta de perforación, así como el tipo y clase de fluidos de perforación.
- Programa de procedimientos para control de pérdidas de circulación, derrumbes, pegadura, pescas, etc.
- Programa de registros eléctricos y térmicos.
- Equipo especial, como preventores que soporten la temperatura de los fluidos geotérmicos.
- Banco de compresores y equipo especial a boca de pozo para eliminar los recortes, cuando se perfore con aire.
- Para perforar con agua, deberá preverse su disponibilidad segura y suficiente.

La perforación en general, ha desarrollado en campos petroleros, una tecnología amplia y sofisticada; sin embargo, su aplicación en campos geotérmicos debe considerar aspectos especiales, como son:

- El proyecto constructivo deberá tomar en cuenta temperaturas, corrosiones, diámetros de perforación mayores del convencional en pozos petroleros y rocas en tuberías de ademe.
- Mayores pérdidas de circulación ocasionadas por una elevada permeabilidad primaria y secundaria de reservorios geotérmicos.
- En registros eléctricos, el equipo y cable deberán ser especiales para trabajar a temperaturas elevadas y ambientes corrosivos.
- Debe considerarse la necesidad del equipo adecuado para obtener registros de temperatura, que son fundamentales.
- Los cementos deberán soportar el efecto de los fluidos geotérmicos, modificándolos con perlita, esferulita, puzolana activada, sílice y dosificaciones específicas de retardadores a cada temperatura.
- Las cementaciones se diseñarán para cubrir la longitud total de cada una de las tuberías instaladas, provistas de accesorios especiales para alta temperatura, exceptuando las tuberías cortas.

#### 1.2.3.3 Programa Técnico

Antes de iniciar la perforación de un pozo, el contratante elaborará un programa técnico que especifique lo siguiente:

- Well location, situating it with its three coordinates.
- Lithology expected to be drilled through, in relation to the well.
- Well objective, indicating the depth to be reached.
- Drilling equipment: type and capacity according to well.
- Sampling: In this case, the frequency of sample collection from the canal and the number and depth of the cores required will be indicated, and the frequency of sampling of drilling muds will be defined.
- Drilling: In this case, the type and diameter of bits, rotary reamers and mills to be used in each stage of drilling will be indicated.
- Logs: The quality and quantity of the necessary electrical and thermal logs will be indicated.
- Muds: The characteristics of the fluids to be used in each stage will be indicated, in keeping with the experience already obtained.
- Verticality: The tolerance of the maximum acceptable deviation should be indicated.
- Materials Anticipated for the Well: Before beginning a well program, it is convenient to have a list of all of the materials to be used.

#### 1.2.3.4 Drilling Equipment

The drilling equipment should be suitable for the type and features of the projected well, taking into account the following factors:

- The drilling mast and hoist should be able to withstand the heaviest casing weight in each well, with a safety factor of 100%.
- The capacity of the hoist and of the rotary drive should be congruent with the loads to be operated.
- A set of pumps adequate for the depth and diameter of the programmed drilling should be available, in order to have satisfactory annular velocities.
- Mud tanks provided with mechanical agitators and a cooling system capable of obtaining a minimum temperature differential of 20 °C for the chemical mud in circulation between the well's outlet and return should be obtainable during drilling.
- Equipment adequate for eliminating solids from drilling muds.
- Preventors provided with packings for high temperatures and, preferably, with a cooling system.

- La localización del pozo, situándolo con sus tres coordenadas.
- La litología que se espera atravesar, referida al pozo.
- Objetivo del pozo, indicando las profundidades a que se deberá llegar.
- Equipo de perforación; tipo y capacidad de acuerdo al pozo.
- Muestreo: En este caso, se indicará la frecuencia de recolección de muestras de canal, número y profundidad de los núcleos que se requieran, definiendo la frecuencia del muestreo de lodos de perforación.
- Perforación: En este caso, se indicarán el tipo y diámetro de barrenas, ampliadores y molinos que deberán utilizarse en cada etapa de la perforación.
- Registros: Se indicarán la calidad y cantidad de registros necesarios tanto eléctricos como térmicos.
- Lodos: Se indicarán las características de los fluidos que en cada etapa deben utilizarse, de acuerdo a la experiencia ya obtenida.
- Verticalidad: Se deberá indicar la tolerancia de la máxima desviación aceptable.
- Materiales previstos para el pozo: Antes de iniciar un programa de perforación de pozos, será conveniente disponer del listado de la totalidad de los materiales que van a utilizarse.

#### 1.2.3.4 Equipo de Perforación

El equipo de perforación debe ser adecuado al tipo y características del pozo proyectado, tomando en cuenta los factores siguientes:

- El mástil y aparejo de izaje debe ser capaz de soportar la tubería de revestimiento más pesada para cada pozo, con un factor de seguridad de un 100%.
- Los malacates y transmisiones deben ser congruentes en su capacidad a las cargas por operar.
- Se debe contar con un equipo de bombas adecuado a la profundidad y diámetros de perforación programados para tener velocidades anulares satisfactorias.
- Presas de lodos provistas de agitadores mecánicos y un sistema de enfriamiento capaz de obtener una diferencial de temperatura mínima de 20°C para el lodo químico de circulación, entre la salida y retorno al pozo, al estar perforando.
- Un equipo adecuado para eliminar sólidos del lodo de perforación.
- Preventores provistos de empaques para alta temperatura y de preferencia con un sistema de refrigeración.

For drilling in steam-dominant fields, equipment using air and foam or water could be used instead of drilling muds. In that case, the set of compressors, the control of cuttings at wellhead and spare parts for the drill stem are determining factors.

#### 1.2.3.5 Drilling Techniques

The fundamental parameters which should be taken into account are:

- Drilling Fluid: The most economical and adequate fluid should be chosen, according to each case; chemical additives should be used to withstand high temperatures, whenever necessary. In the event that air is used, the most critical aspects are excessive corrosion and the cost of the drill stem; a technical-economic analysis is required to justify the use of such a system.
- Sampling: The rate of sampling necessary to reconstruct the lithological column should be established.
- Cores: The cutting of cores should be monitored so that recovery will be maximum at the programmed depths.
- Electrical Logs: According to the characteristics and types of rocks, the most useful logs should be programmed. The cables and probes should be able to operate at well temperatures; special treatment of the muds will be necessary in order to facilitate descent of the equipment.
- Temperature Logs: When penetrating formations which show high temperatures, it is important to obtain temperature logs which, together with the electrical logs, will serve as support for well completion.
- Loss Zones: All possibilities should be exhausted in order to determine the circulation loss intervals accurately.
- Placement of the Casings: The programmed casings and their accessories should be easily placed at each one of the anticipated depths. In the sections in which high temperatures are evident, the mud should be treated with inorganic polymers in order to maintain the rheological properties of the drilling mud satisfactorily.
- Cements and Cementation: The type of cement and additives should be selected in keeping with the lithological characteristics and the temperatures in the section to be cemented. The accessories for directing and controlling cementation, in one or more stages, should be special for high temperatures. During cementation, high pressures should be avoided, because these could induce circulation losses in this operation.
- Cleaning Away of Cement, Plugs and Residues in Drilling Pipe and Couplings: Bits and preferably mills are used to eliminate plugs and cement residues in the drilling

Para la perforación en campos de vapor dominante, puede aplicarse el equipo que utilice aire y espuma o agua, en vez de lodo de perforación. En este caso son determinantes el banco de compresores, control de recortes a boca de pozo y repuestos para la sarta de perforación.

#### 1.2.3.5 Técnicas de Perforación

Los parámetros fundamentales que deben tomarse en cuenta son:

- **Fluido de Perforación:** Deberá escogerse el más económico y adecuado según el caso, utilizando aditivos químicos para soportar temperaturas elevadas cuando sea necesario. En el caso de usar aire, los aspectos más críticos son la corrosión excesiva y los costos de la sarta de perforación, necesitándose un análisis técnico económico para justificar el uso de dicho sistema.
- **Muestreo:** Se debe establecer el ritmo de muestreo de recortes necesarios para reconstruir la columna litológica.
- **Núcleos:** El corte de núcleos debe vigilarse para que su recuperación sea máxima a las profundidades programadas.
- **Registros Eléctricos:** De acuerdo a las características y tipo de roca, deberán programarse los registros más útiles. Los cables y sondas deberán ser capaces de operar a las temperaturas del pozo y será necesario un tratamiento específico del lodo para facilitar el descenso del equipo.
- **Registro de Temperatura:** Al penetrar formaciones que manifiestan alta temperatura, es importante obtener registros térmicos, que conjuntamente a los eléctricos servirán de apoyo para la terminación del pozo.
- **Zonas de Pérdida:** Deberán agotarse todas las posibilidades, para determinar con precisión los intervalos de pérdidas de circulación.
- **Colocación de la Tubería de Revestimiento:** La tubería programada y sus accesorios, deberán colocarse con toda facilidad a cada una de las profundidades previstas. En los tramos donde se manifieste temperatura elevada, el lodo deberá tratarse con polímeros inorgánicos para conservar satisfactorias sus propiedades reológicas del lodo de perforación.
- **Cementos y Cementaciones:** El tipo de cemento y aditivos se deberá seleccionar de acuerdo a características litológicas y a las temperaturas en el tramo por cementar. Los accesorios para dirigir y controlar la cementación en una o más etapas, deberán ser especiales para altas temperaturas. Durante la cementación deberán evitarse presiones elevadas que pueden inducir pérdida de circulación en esta operación.
- **Limpieza de Cemento, Tapones y Residuos en Tubería de Perforación y coples:** Se utilizan barrenas y preferentemente molinos para eliminar los tapones, restos de cemento en tubería de

pipe and couplings, in order to continue drilling as scheduled. In this operation, precautions should be taken to avoid damage to the supporting casing and loosening of casing sections. When drilling is continued, and during the change of bits, attempts should be made to avoid inducing circulation losses. For this purpose, the driller should introduce the tool circulating by stages until reaching the full depth, thus avoiding pressure increases when flocculated muds are encountered.

#### 1.2.3.6 Problems during Drilling

Some common problems during this phase are indicated below:

- **Differential Sticking:** This occurs when there are different densities between the inner and outer columns of mud in the drilling tool. This problem can be taken care of easily, using special products mixed with diesel, which make it possible to equalize the density of the drilling fluid.
- **Circulation Losses:** It is common for these to arise frequently both in igneous and sedimentary rocks, during drilling and cementing of the supporting casing. They can be solved by using conventional materials to provide seals and control losses. In cases of severe losses, it is recommended that inorganic polymers, recently developed specially for sealing purposes, be used and, if considered necessary, that the solution be to plug with cement.
- **Cave-ins and Traps:** In some cases formations which lend themselves to this problem may be encountered. If the cause is due to physical-chemical effects, an analysis should be done and a neutralizer should be used in the reagents developed for the drilling muds.

In other cases, the problem may be brought about by cave-ins in unstable formations. In this case, the solution may be to increase the weight of the muds or to cement and redrill the problem section until achieving the stability necessary for continuation of the drilling.

#### 1.2.4 Completion Criteria

For well completion, the following factors should be taken into account:

- Lithological column.
- Electrical logs.
- Temperature of drilling muds, at the entrance and exit of the well.
- Temperature logs.
- Mineralogical analysis of canal samples.

With the analysis of the aforementioned parameters, duly correlated, it is possible to pinpoint the most reliable zone in order to obtain optimal results.

In the case of wells in igneous rocks, there exists the possibility of testing permeability and/or production, de-

perforación y coples, para continuar la perforación de acuerdo a lo programado. En esta operación deben tomarse precauciones para evitar daños a la tubería de ademe y ocasionar desprendimiento de tramos de la misma. Al continuar la perforación y en los cambios de barrenas, se debe evitar inducir pérdidas de circulación, para lo cual el perforador introducirá la herramienta circulando por etapas hasta la profundidad total, evitando incrementos de presión al encontrar lodos flocculados.

#### 1.2.3.6 Problemas en la Perforación

Se indican a continuación algunos problemas comunes en esta fase:

- **Pegaduras Diferenciales:** Ocurren cuando en la columna de lodo interior y exterior de la herramienta de perforación existen diferentes densidades. Este problema se resuelve con facilidad, utilizando productos especiales mezclados con diesel que permitan igualar las densidades del fluido de perforación.
- **Pérdida de Circulación:** Es común y frecuente que se presenten tanto en rocas ígneas como sedimentarias, al perforar y cementar la tubería de ademe. Se pueden resolver utilizando los materiales convencionales para obturar y controlar la pérdida. En casos severos de pérdidas, es recomendable utilizar polímeros inorgánicos, recientemente desarrollados, especiales para obturadoras y si se considera necesario, recurrir a taponamiento con cemento.
- **Derrumbes y Atrapamientos:** En algunos casos pueden encontrarse formaciones que provoquen este problema. Si la causa es por efectos físicos-químicos, esta deberá analizarse con miras a utilizar un neutralizante dentro de los reactivos desarrollados para lodo de perforación.

En otros casos, se puede originar por derrumbes en formaciones inestables. En este caso la solución puede ser incrementar el peso del lodo o cementar y reforzar el tramo problema, hasta lograr la estabilidad necesaria para continuar la perforación.

#### 1.2.4 Criterios de Terminación

Para la terminación del pozo, se podrán tomar en cuenta los siguientes factores:

- Columna litológica
- Registros eléctricos
- Temperaturas del lodo de perforación, a la entrada y a la salida del pozo
- Registros de temperatura
- Análisis mineralógico de las muestras de canal.

Con el análisis de los parámetros anteriores, debidamente correlacionados, se puede precisar la zona más confiable para obtener resultados óptimos.

En el caso de pozos en rocas ígneas, existe la posibilidad de hacer pruebas de permeabilidad y/o producción dependiendo en cada

pending on each specific case and the prevailing situation.

**1.2.5 Cost Estimates**

The estimation of total drilling costs during the stages of development and production is influenced by the experience gained in the stage of exploratory drilling.

caso específico de la situación que prevalezca.

**1.2.5 Estimación de Costo**

La estimación de costos totales de perforación durante la etapa de desarrollo y explotación, están influidos por la experiencia alcanzada en la etapa de perforación exploratoria.

### 1.3 SURFACE INSTALLATIONS AT THE PLATAFORM

Surface installations at the platform can be divided into two types:

- Civil engineering works.
- Mechanical works.

#### 1.3.1 Civil Engineering Works

The principal activities developed are as follows:

##### 1.3.1.1 Topographical Siting and Layout

Once the area for development and production has been determined, and as a result of the feasibility stage of the previous exploration work, a detailed topographical survey should be done, permitting definition of the following parameters:

Determination and layout of the probable geothermal zone, determination of the system of coordinates to which the location of each well should refer. Within this aspect, it is necessary to define:

- a) Polygonal layout with the installation of landmarks in vertices.
- b) Astronomical orientation of the polygon.
- c) If possible, establishment of a link to pre-existing surveys or recognized landmarks.

With the foregoing information, it will be possible to put together a map containing the following:

- a) Distance between vertices.
- b) System of coordinates and coordination of vertices.
- c) Astronomical orientation of the sides of the polygon.

Opportunely, it will be necessary to do partial surveys, on which each one of the various facilities required for each well or group of wells will be supported. These surveys will logically be supported on the first one carried out.

##### 1.3.1.2 Design and Construction

A careful analysis providing support for project design should necessarily be done, geared to obtaining the most effective compromise with respect to construction and development of the geothermal field in question. Within this aspect, mention can be made of some of the most significant construction elements such as: access roads, platform, location of water supply sources or else construction of wells for that purpose, draining for disposal of drilling wastes and for handling the geothermal fluid from each well, which must be carefully controlled in order to avoid damage to the surrounding environment; cellar, silencer or vertical silencers; support base for both the separator and various supports for lines; instruments and ball valves.

### 1.3 INSTALACIONES SUPERFICIALES EN PLATAFORMA

Las instalaciones superficiales en plataforma por su importancia se dividen en dos tipos:

- Instalaciones de Obra Civil
- Instalaciones de Obra Mecánica

#### 1.3.1 Instalaciones de Obra Civil

Las principales actividades que se desarrollan son las siguientes:

##### 1.3.1.1 Localización y Trazo Topográfico

Una vez determinada el área para desarrollo y explotación, y como resultado de la fase de factibilidad en los trabajos exploratorios previos, deberá hacerse un levantamiento topográfico detallado, que nos permita definir los siguientes parámetros:

Determinación y deslinde de la zona geotérmica probable y determinación del sistema de coordenadas al cual deberán referirse las localizaciones de cada pozo. Dentro de este aspecto deberán definirse:

- a) Trazo de poligonal con la instalación de mojoneras en vértices.
- b) Orientación astronómica de dicha poligonal
- c) De ser posible, establecer una ligia con levantamientos pre-existentes o monumentos reconocidos.

Con la anterior información podrá integrarse un plano que contendrá lo siguiente:

- a) Distancia entre vértices
- b) Sistema de coordenadas y coordinación de los vértices
- c) Rumbos astronómicos de los lados de la poligonal

Oportunamente serán necesarios levantamientos parciales, en donde se apoyarán cada una de las distintas obras que para cada pozo o grupo de pozos se requiera. Dichos levantamientos, lógicamente, estarán apoyados en el primero que se ha mencionado.

##### 1.3.1.2 Proyecto y Construcción

Necesariamente deberá hacerse un análisis cuidadoso que permita apoyar la conformación de un proyecto, encaminado a obtener la resolución más eficaz con respecto a la construcción y desarrollo del campo geotérmico de que se trate; dentro de este aspecto, podemos mencionar algunos de los elementos constructivos más significativos, tales como: caminos de acceso; plataforma; localización de fuentes de suministro de agua, o en su defecto, construcción de pozo para dicho suministro; drenaje, tanto para dar salida a los desechos de la perforación como para el manejo del fluido geotérmico de cada pozo, que debe ser cuidadosamente controlado para evitar daños al medio ambiente circundante; contrapozo; silenciador o silenciadores verticales; base de soporte tanto de separador como de apoyos diversos para líneas; instrumentos y válvula, esférica.

This type of work includes, among others:

- Access Roads.

For an effective design, it is very important for the planning and execution of the accesses between the support camp, stores, offices and geothermal power plant or platform to be planned as a whole, taking into account some of the factors cited below:

- a) Each field should have its own features, which will definitely call for an individual design, taking into account whether or not the terrain is rough or level, since this will have a definite bearing on how the relative distribution and arrangement of platforms, road designs, collecting pipes, branches, drains, etc., can be most effectively and suitably placed.
- b) For the construction of roads in rough terrain, all of the dimensions and, above all, the slopes which the drilling equipment, cementation, and heavy equipment will transit must be carefully chosen, usually with longer lengths than the conventional ones.
- c) Where levels of rainfall are high, drainage should be provided for both rainwater and other water that might come from the wells during the development, measurement, and production stages.

- Platforms.

The dimensions of these are usually designed taking into consideration:

- a) The dimensions of the drilling equipment used, so as to permit adequate viability;
- b) The characteristics of the surface installations required by the well on the surface.

In flat terrain, the height above the natural level of the land is important, for it will aid in avoiding flooding due to rainfall and due to irrigation water or drilling fluids; furthermore, an adequate slope in the platforms should be considered, in order to avoid such flooding.

For the design of the platforms, the dominant wind direction should be taken into account. When the terrain so permits, it is recommended that they be built perpendicular to the direction of the wind, so that, when there are discharges to the air, the surface installations will be affected as little as possible, thus avoiding diverse problems.

The platforms should be perfectly well compacted, in order for the drilling equipment not to sink, for that could make them lean and make drilling difficult, giving rise to well deviations or other problems.

Este tipo de obras comprenden entre otras:

- Caminos de Acceso

Es muy importante que la planeación y ejecución de los accesos entre el campamento de apoyo, almacenes, oficinas y central geotérmica o la plataforma, esté resuelta en conjunto, para un diseño eficaz, debiendo tomar en cuenta algunos de los factores que a continuación señalamos:

- a) En cada campo habrá características muy propias que definitivamente obligarán a un diseño en particular, tomando en cuenta si el terreno es accidentado o plano, ya que esto influirá en forma definitiva en que la colocación y distribución relativa de plataformas, proyectos de caminos, tuberías colectoras, ramales, drenes, etc., puedan resolverse en forma más eficaz y satisfactoria.
- b) En los terrenos accidentados, para la construcción de caminos deberán seleccionarse con todo cuidado las dimensiones y sobre todo las pendientes en las que deberá transitar el equipo de perforación, cementación y equipo muy pesado, comúnmente de longitudes mayores a las convencionales.
- c) En donde la precipitación pluvial sea elevada, deberá proveerse del drenaje, tanto para las aguas pluviales como de las que eventualmente provengan de los pozos en etapa de desarrollo, medición y de explotación.

- Plataformas

Las dimensiones de éstas, por lo general se proyectan tomando en consideración:

- a) Las dimensiones de los equipos de perforación utilizados, de tal manera que permitan una adecuada vialidad.
- b) Las características de las instalaciones superficiales de plataforma que requiera el pozo.

En terrenos planos es importante la altura sobre el nivel natural del terreno de modo que se evite la inundación por precipitación pluvial, por aguas de riego o por los fluidos de perforación; además, deberá considerarse una pendiente adecuada en las plataformas para evitar las inundaciones mencionadas.

Se debe tomar en cuenta, para el proyecto de las plataformas, la dirección del viento dominante. Se recomienda, cuando el terreno lo permita, construirlas perpendicularmente a la dirección de éste, con el propósito de que cuando existan descargas a la atmósfera, se afecten lo menos posible las instalaciones superficiales, provocando diversos problemas.

Las plataformas deben estar perfectamente compactadas, con el fin de que los equipos de perforación no tengan hundimientos que puedan inclinarlos y dificulten la perforación, dando lugar a pozos desviados u otros problemas.

- Cellar.

The main objectives of the cellar are:

- a) To provide maneuvering room, e.g., installation of the casing head, inspection of its welding, connection of the casing head to the expansion spool and of the latter to the master valve, as well as inspection and maintenance of the mechanical installations.
- b) To allow the upper level of the platform to be close to the valve tree, so as to facilitate maintenance operations.
- c) To support the valve tree.

- Silencers.

The principal applications of the silencers are:

- a) To buffer the noise from well discharge.
- b) To control the geothermal fluid in the well's atmospheric discharge.
- c) To facilitate measurement of the waterflow produced by the well.

Silencers may be horizontal or vertical. Horizontal silencers are simpler, since they consist of two or more pipes with a smaller-to-larger-diameter connection to the discharge line of the fluid, which can either be a mixture or separated water. The major drawback to these silencers is that they require a large discharge area, so that erosion of platforms and roads is easily produced, damaging the surface installations as a whole.

Vertical silencers may be simple, e.g., a couple of vertical pipes made out of plates of sheet iron, or more complex, for example reinforced concrete, depending on the use or application desired and/or whether it is temporary or permanent.

Silencers may also be stationary or portable. The stationary ones are built from reinforced concrete with chambers and with one or two stacks, which can be made from plates of sheet iron, wooden or made from polyester resin with fiber-glass for use in the wells which will enter into operation. The portable ones are built from metal plates and their stacks are made from the same materials used in the ones for stationary silencers. They can be transported from one platform to another and are used in the development and evaluation of wells.

Vertical silencers have the following advantages over horizontal ones:

- a) They are more efficient at noise reduction.
- b) They are more efficient at reduction of flow velocity.

- Contrapozo

Los objetivos principales del contrapozo son:

- a) Permitir la realización de maniobras con holgura, tales como la instalación del cabezal, la inspección de la soldadura del mismo, la conexión del cabezal con el carrete de expansión y la de éste con la válvula maestra, así como la inspección y mantenimiento de las instalaciones mecánicas.
- b) Permitir la cercanía del nivel superior de la plataforma al árbol de válvulas, de tal manera que se puedan facilitar las maniobras de mantenimiento del mismo.
- c) Apoyar el árbol de válvulas

- Silenciadores

Las aplicaciones principales de los silenciadores son:

- a) Amortiguar el ruido de la descarga del pozo
- b) Controlar el fluido geotérmico en la descarga atmosférica del pozo
- c) Facilitar la evaluación del caudal de agua producida por el pozo

Los silenciadores pueden ser: horizontales o verticales. Los silenciadores horizontales son los más sencillos, puesto que consisten en dos o más tubos conectados de menor a mayor diámetro a la líneaa de descarga del fluido, que puede ser mezcla o agua separada. El gran inconveniente de estos silenciadores, es el de afectar un área grande la descarga, con lo que fácilmente se producen erosiones en plataformas y caminos, dañando las instalaciones superficiales del conjunto.

Los silenciadores verticales pueden ser sencillos, como un par de tubos verticales de lámina, o más complejos, como los de concreto armado, dependiendo del uso o aplicación que se desee, lo cual está basado en las diferentes operaciones del pozo, tales como: inducción, calentamiento, desarrollo y operación continua del mismo.

Por otra parte, los silenciadores pueden ser fijos o portátiles. Los fijos son aquellos que se construyen de concreto armado con cámaras y con una o dos chimeneas, que pueden ser de lámina, madera o de resina poliéster con fibra de vidrio, para utilizarse en los pozos que entrarán en operación. Los del tipo portátil están construidos con placa metálica. Las chimeneas son de material idéntico al de los fijos. Pueden ser transportados de una plataforma a otra y son usados en el desarrollo y evaluación de pozos.

Los silenciadores verticales tienen las siguientes ventajas sobre los horizontales:

- a) Son más eficientes en la disminución del ruido
- b) Son más eficientes en la disminución de la velocidad del flujo

c) They permit waterflow measurements.

The dimensions of the silencers are defined in accordance with the following parameters: noise level, flow, fluid characteristics, possible water carryover through stacks, and cost.

- Support Bases and Separators.

The pipelines should be perfectly well fastened down and should not permit movements other than those anticipated by the calculations in the flexibility study. Thus, it is necessary for the anchors, in addition to adequately supporting the pipes, to withstand the loads imposed by displacements due to secondary effects and by any seismic events which could occur.

#### 1.3.2 Mechanical Works

The mechanical installations at the surface platform are subject to mechanical stress caused by the pressure and temperature of the fluids which they handle.

The technical criteria for the design and construction of the mechanical installations are based on the experience acquired in the different geothermal fields. Examples of these installations are:

- Valve Tree: It is made up of the following elements: casing head, expansion spool, master valve, operating valve. These elements may vary from field to field, depending on the characteristics of each one.

It is important to note that all of the elements should work with as wide a safety range as possible, in order to guarantee the security of the equipment and personnel which operate it.

For this reason, although they are normally done in the factory, hydrostatic tests should be run on all of the mechanical elements comprising the valve tree.

- Valve Tree Support: The tree is supported by the well's own casings and should be centered with a metal structure in order to avoid lateral movements which could endanger the personnel, the well, and the surface installations.
- Instrumentation: The instruments whose installation is recommended in every geothermal well consist basically of an indicator and continuous recording pressure gauge. It is recommended that an indicator having a graduated scale be installed in order to learn about the vertical displacements of the valve tree.
- Separator, Ball Valve and Complementary Installations: The separators most commonly used in water-dominant geothermal fields are of the centrifugal type, given their facility of operation and maintenance.

c) Permiten efectuar la medición del caudal de agua

Las dimensiones de los silenciadores se definen de acuerdo a los siguientes parámetros: nivel de ruido, caudal, características del fluido, posible arrastre de agua por las chimeneas y el factor económico.

- Bases de Soportería y del Separador

Las tuberías de conducción deben quedar perfectamente sujetas y no permitir otros movimientos que no sean los previstos por los cálculos en el estudio de flexibilidad. Es necesario entonces que los anclajes, además de soportar adecuadamente la tubería, resistan las cargas que imponen los desplazamientos por efectos secundarios así como los eventos sísmicos que se presenten.

#### 1.3.2 Instalaciones Mecánicas

Las instalaciones mecánicas superficiales en plataforma, están sometidas a esfuerzos mecánicos producto de las presiones y temperaturas de los fluidos que conducen.

Los criterios técnicos para el proyecto y construcción de las instalaciones mecánicas, están basados en las experiencias adquiridas en los diferentes campos geotérmicos. Ejemplo de estas instalaciones son:

- Arbol de Válvulas: Constan de los siguientes elementos: Cabezal, carrete de expansión, válvula maestra, válvula de operación. Estos elementos pueden variar de campo a campo dependiendo de las características de cada uno.
- Es importante hacer notar que todos los elementos deberán trabajar con un rango de seguridad lo bastante amplio, como para garantizar la seguridad del equipo y personal que lo opera.
- Por esta razón, aunque normalmente se efectúen en fábrica, se deben verificar las pruebas hidrostáticas de todos los elementos mecánicos que integran el árbol.
- Soporte del Arbol de Válvulas: El árbol es soportado por la propia tubería del pozo y debe centrarse con una estructura metálica, para evitar movimientos laterales que pongan en peligro al personal, al pozo y a las instalaciones superficiales.
- Instrumentación: La instrumentación recomendable a instalar en cada pozo geotérmico consiste básicamente en un indicador y registrador continuo de presión. Se recomienda instalar un indicador con una escala graduada para conocer los desplazamientos verticales del árbol.
- Separador y Válvula Esférica e Instalaciones Complementarias: Los separadores más comúnmente empleados en campos geotérmicos de agua dominante son el tipo centrífugo, por su facilidad de operación y mantenimiento.

The separator should be protected against counter pressures by means of rupture disks.

The water traps , also known as ball valves, are a safety device installed in the steamline in order to avoid water carryover which would damage the turbine.

The base and supports should be designed in such a way as to withstand the weights of the valve and of the water during the hydrostatic test, taking into account the normal weight of the valve during operation and the stress due to thermal expansion.

El separador deberá estar protegido contra sobrepresiones con discos de ruptura.

Las trampas de agua, también conocidas como válvulas de bola o válvulas esféricas, son un dispositivo de seguridad instalado en la línea de vapor para evitar el arrastre de agua que dañaría la turbina.

La base y soportes se deberán diseñar de tal manera que resistan los pesos de la válvula y del agua durante la prueba hidrostática, así como el peso normal de la válvula mientras se encuentra en operación aunado a los esfuerzos debidos a las expansiones térmicas.

#### 1.4 DEVELOPMENT AND EVALUATION OF WELLS

Once well construction is complete, several stages must be followed, up to evaluation, to learn also about the characteristics of the fluid produced.

The stages are as follows:

- Observation.
- Induction.
- Heating-up.
- Development.
- Evaluation.

##### 1.4.1 Observation

The drilling and cleaning operations having been finished, the monitoring equipment, consisting of manometers, pressure gauges, and axial dilation indicators for the casings, should be installed, to gather all of the information needed to assess well evolution.

In order to control the discharge of the gases freed by the reservoir, it is recommended that a bleeder be inserted with a steam trap to avoid the passage of water since, when gases accumulate, they will produce a downward displacement of the water level. If the gases are released suddenly, the water at the bottom, upon ascending, could bring about rapid casing heating and thus could damage it.

In this stage, the water within the well will heat up until reaching the temperature of the surrounding geological formations. If the natural heating process is accelerated in an uncontrolled fashion, problems may arise in the casings.

On the other hand, the pressures in the well will tend to equalize with the ones in the reservoir, so that it is recommended that readings be taken in order to learn about the thermal evolution of the well, the condition of the casings, and the static levels and pressures.

The duration of this stage will depend on each specific case. One very useful application of the temperature profiles during this stage is to identify hot and cold strata along the well and, later on, to distinguish anomalous situations, once the well has begun producing.

The pressure readings are necessary to determine the original reservoir pressures and, later on, to make comparisons.

The casing diameter calibration readings are necessary to detect any anomaly which might arise in this stage.

In the cases in which expansion spools are used, it is recommended that this stage be monitored by means of calibration readings on the position of the upper end of the production casing with respect to the master valve, so as not to run the risk of penetrating the master valve and leaving it inoperative.

#### 1.4 DESARROLLO Y EVALUACION DE POZOS

Una vez terminada la construcción de un pozo se deben cumplir varias etapas, hasta llegar a su evaluación, conociendo además las características del fluido producido.

Las etapas son las siguientes:

- Observación
- Inducción
- Calentamiento
- Desarrollo
- Evaluación

##### 1.4.1 Observación

Terminadas las operaciones de perforación y limpieza, se debe instalar el equipo de observación que consiste en manómetros, registrador de presión, e indicadores de dilatación axial de la tubería de revestimiento, reuniendo la información necesaria para juzgar su evolución.

Para controlar la descarga de gases liberados por el reservorio se recomienda colocar una purga con trampa para vapor, que evite el paso de agua, ya que de acumularse, producirán un desplazamiento del nivel de agua hacia el fondo. Si se liberan súbitamente los gases, el agua del fondo al ascender pudiera originar un calentamiento rápido en la tubería, que podría dañarla.

En esta etapa, el agua dentro del pozo se irá calentando hasta alcanzar la temperatura de las formaciones geológicas circundantes. Si se acelera el proceso natural de calentamiento en forma no controlada, se pueden provocar problemas en dicha tubería.

Por otra parte, las presiones en el pozo tenderán a equilibrarse con las del reservorio, por lo que se recomienda efectuar registros con el fin de conocer la evolución térmica del pozo, el estado de las tuberías, las presiones y los niveles estáticos.

La duración de esta etapa dependerá de cada caso específico. Una aplicación muy útil de los perfiles de temperatura durante esta etapa, es la de identificar los estratos calientes y fríos a lo largo del pozo y posteriormente distinguir las situaciones anómalas una vez que éste ha entrado en producción.

Los registros de presión son necesarios para determinar las presiones originales del yacimiento y posteriormente poder hacer comparaciones.

Los registros de calibración de diámetro de tuberías son necesarios para detectar cualquier anomalía que se presente en esta etapa.

Se recomienda, en los casos en que se utilicen carretes de expansión, vigilar en esta etapa, por medio de registros de calibración, la posición del extremo superior de la tubería de producción con respecto a la válvula maestra, con el fin de que no se presente el caso de que penetre en la válvula maestra y la deje inoperante.

#### 1.4.2 Induction

In those wells which do not flow by themselves, some means of stimulating the flow will be needed. Several methods have been used; among these, the following can be cited: pressurization by gases, pistonning, bailing, pumping, injection of thermal fluids, injection of air, etc.

Selection of the method to be used and of the speed of induction will depend on several factors. The most important are: temperature profiles, well completion, and reservoir characteristics.

During this stage, it is necessary to continue taking down-hole readings in order to determine the evolution of the well and to be able, if necessary, to speed up or slow down induction or change the method. It is particularly recommended that calibration readings be taken in order to determine the damage caused in the well during induction.

The most common methods of induction are described below:

##### a) Pressurization by Gases

This method can be applied either by using the gases produced from the reservoir itself or by injecting others. In both cases, the objective is to displace the water column as far down as the hot formations and then later to depressurize in a controlled way, thereby inducing the well; this method is not advisable since thermal shocks can easily be produced in the casings of the well.

##### b) Pistoning

This procedure uses packed pistons and it is the one which is commonly used for development and cleaning of water wells and occasionally of oil wells. This method is dangerous. Experience has shown that in some wells in which it is used pipe damage, collapses and fractures are caused.

##### c) Bailing

This method uses a bucket with a foot valve at the bottom, for the purpose of extracting water from the well. This system can produce sudden induction if not applied correctly and can lead to a loss of control.

##### d) Pumping

This method consists of using a surface or immersible pump, depending on depth and temperature profiles.

The use of immersible pumps is limited by their capacity to work at high temperatures; the use of control devices is recommended. What is desirable is to use pumps driven by hydraulic turbines.

#### 1.4.2 Inducción

En aquellos pozos que no lleguen a fluir por sí solos, se requerirá de algún medio para estimular el flujo. Se han utilizado varios métodos dentro de los cuales podemos señalar los siguientes: Presurización por gases, pistoneo, cubeteo, bombeo, inyección de fluidos térmicos, inyección de aire, etc.

La selección del método a utilizar y la velocidad de inducción dependerá de varios factores. Los más importantes son: perfil de temperatura, terminación de pozos y características del reservorio.

Durante esta etapa, es necesario continuar los registros de fondo, con el objeto de determinar la evolución del pozo y poder, en caso necesario, acelerar o disminuir la inducción o cambiar el método. Se recomienda particularmente, efectuar registros de calibración para determinar daños ocasionados al pozo durante la inducción.

A continuación se describen los métodos de inducción más comunes:

##### a) Presurización por Gases

Este método puede aplicarse ya sea utilizando los mismos gases producidos por el reservorio o inyectando otros. En ambos casos el objetivo es desplazar la columna de agua hasta las formaciones calientes y posteriormente despresurizar en forma controlada, con lo cual se logra inducir el pozo; este método no se aconseja, ya que fácilmente se pueden producir choques térmicos en el revestimiento del pozo.

##### b) Pistoneo

En este procedimiento se hace uso de pistones empacados y es el que habitualmente se ha utilizado para el desarrollo y limpieza de pozos de agua y ocasionalmente en pozos petroleros. Este método es peligroso. La experiencia ha demostrado que en algunos pozos en que se utilizó, se provocaron daños a la tubería, colapsos y fracturas.

##### c) Cubeteo

Este método utiliza una cubeta con una válvula de pie en el fondo, con el propósito de extraer agua del pozo. Este sistema puede llegar a producir una inducción súbita, si no se aplica correctamente y provocar un descontrol.

##### d) Bombeo

Este método consiste en utilizar una bomba superficial o sumergible dependiendo de la profundidad y perfil de temperatura.

El uso de bombas sumergibles está limitado por su capacidad de trabajo a altas temperaturas, recomendándose la utilización de dispositivos de control. Lo deseable, será utilizar bombas impulsadas por turbinas hidráulicas.

#### e) Injection of Geothermal Fluids

This method recurs to pressurized injection of fluids from another well in order to displace the column of cold water to the bottom, until the injected well has enough pressure to flow by itself; with this method, it is also possible to cause thermal shocks with risks for the support casings.

#### f) Injection of Air through Pipes

Air can be injected in two ways: through injection pipes or through the annular space around the injection pipes and the production casings. Its objective is to extract water in order to lighten the hydrostatic column and have hot water enter from the reservoir; this method, applied carefully, yields good results.

The use of foams facilitates this operation. This method has the broadest range of application.

##### 1.4.3 Heating

The heating stage follows induction. Its aim is gradually to heat up the casings and the surrounding geological formation.

It is important that this stage begins as soon after well completion as possible, in order to reduce corrosion problems in the casings.

The heating period ends when the temperature of the entire well column is close to the temperature of the producing formations.

Control of the flow and of the chemical characteristics of the fluids is recommendable in this stage. Duration depends on several factors such as: well completion, reservoir temperature and pressure, casing dilation and the fluids' chemical composition. It is also important that variations in the production casing's diameter be periodically checked using calibration readings.

The same controls (readings) that were recommended for the previous stage should be continued during heating. The actions to be taken will depend on the results obtained, and on that basis the decision will be made as to whether or not to continue with the following stage.

##### 1.4.4 Development

When the heating-up has ended, gradual opening will begin for the purpose of arriving at maximum discharge, until all of the drilling-derived materials and those from the formation have been cleaned away.

As in the previous stage, increases in flow should be gradual and controlled. These increases will be a function of the content of discharged solids and of the stabilization of pressure at the wellhead.

#### e) Inyección de Fluidos Geotérmicos

Este método consiste en inyectar a presión, fluidos de otro pozo, con el fin de desplazar la columna de agua fría hacia el fondo, hasta lograr que el pozo inyectado se presione lo suficiente, para que fluya por si solo; con este método también se pueden provocar choques térmicos con riesgo del ademe.

#### f) Inyección de Aire con Tubería

La inyección de aire se puede hacer en dos formas: por la tubería inyectora o por el espacio anular, entre la tubería de inyección y la tubería de producción. Su objetivo es extraer agua para aligerar la columna hidrostática y provocar la entrada de agua caliente del reservorio; este método aplicado con cuidado da buen resultado.

El uso de espumantes facilita esta operación. Este método es el que tiene un rango de aplicación más amplio.

##### 1.4.3 Calentamiento

La etapa de calentamiento continúa después de la inducción. Su objetivo es calentar gradualmente las tuberías y la formación geológica circundante a la misma.

Es importante que esta etapa se inicie lo más pronto posible, después de haberse terminado de construir el pozo, con el fin de reducir los problemas de corrosión en las tuberías de revestimiento.

El período de calentamiento termina cuando la temperatura en toda la columna del pozo se aproxima a la de las formaciones productoras.

El control de caudales y características químicas de los fluidos es recomendable en esta etapa. Su duración depende de varios factores como son: Terminación del pozo, temperatura y presión del reservorio, la dilatación de tuberías y la composición química de los fluidos. También es importante que se verifiquen periódicamente las variaciones de los diámetros de la tubería de producción, por medio de registros de calibración.

Los mismos controles (registros) que se recomendaron en la etapa anterior se deben continuar durante el calentamiento. Las acciones a tomar dependerán de los resultados obtenidos, decidiéndose en base a ellos, continuar o no con la siguiente etapa.

##### 1.4.4 Desarrollo

Cuando se ha terminado el calentamiento, se procede a la apertura gradual, con el objeto de llegar a su descarga máxima, terminando hasta lograr la limpieza de materiales derivados de la perforación y de aquellos provenientes de la formación.

Al igual que en la etapa anterior, los incrementos de flujo deberán ser graduales y controlados. Estos incrementos estarán en función del contenido de sólidos descargados y de que la presión en el cabezal alcance su estabilización.

Well development may be vertical or horizontal, depending on the particular problems arising in each case.

#### 1.4.5 Evaluation

The objective of this stage is to take readings to quantify the fluid discharged from the well. This information is used in preparing characteristic production curves for the well. These readings should be taken with different pressures at the wellhead.

The methods used to evaluate the discharged flows will mainly depend on the type of field which is being developed.

Hot water:

- Measurement of separate phases.
- Measurement of mixtures based on critical lip pressure.

Steam-dominant:

- Measurement using orifice plates.
- Measurement using cones.
- Measurement by means of electronic equipment.

##### 1.4.5.1 Mixture-Producing Fields (Water-Steam)

###### a) Measurement of Separate Phases

This is one of the most accurate methods to be had, but it is common at the level of this stage not to always have the final platform installations required for application of this method. Nonetheless, provisional installations may be used, with a separator. Within the separators used for geothermal purposes, the centrifugal type is the one which has yielded the best results. For measurement of the separated steam, conventional orifice, cone or Pitot tube methods may be used. For measurement of separated water, the most recommendable method is discharge to a silencer and measurement of the flow by means of a weir. For application of this method, it is necessary to simultaneously measure the waterflow and the pressure of the separator, in order to calculate the amount evaporated from the silencer.

###### b) Measurement of Mixtures on the Basis of Pressure Readings

Although this is an empirical method, it yields satisfactory preliminary results.

##### 1.4.5.2 Steam-Dominant

In a steam-dominant field, the flow is quantified using a method similar to those mentioned previously for measuring separated steam. Those cases in which superheated steam or steam with a high humidity content should be kept in mind.

El desarrollo del pozo podrá ser vertical u horizontal dependiendo de los problemas particulares que se presenten en cada caso.

#### 1.4.5 Evaluación

El objetivo de esta etapa es efectuar mediciones para la cuantificación del fluido descargado por el pozo, información que se utiliza para la elaboración de curvas características de producción del pozo. Estas mediciones deberán efectuarse a diferentes presiones en el cabezal.

Los métodos utilizados para la evaluación de los caudales descargados dependerán principalmente del tipo de campo que se esté desarrollando.

Aqua caliente:

- Medición de fases separadas
- Medición de mezcla a partir de presión crítica del labio

Vapor dominante:

- Medición utilizando orificios
- Medición utilizando conos
- Medición con equipo electrónico

##### 1.4.5.1 Campos productores de mezcla (agua-vapor)

###### a) Medición de Fases separadas

Este es uno de los métodos más exactos que se tiene, pero es común que al nivel de esta etapa no siempre se cuenta con las instalaciones superficiales en plataforma definitivas, requeridas para aplicar este método; sin embargo, se pueden utilizar instalaciones provisionales usando un separador. Dentro de los separadores conocidos para uso geotérmico, el tipo centrífugo es el que ha dado mejores resultados. Para la medición del vapor separado pueden utilizarse los métodos convencionales de orificio, cono o tubo Pitot. Para la medición de agua separada, el método más recomendable es descargar a un silenciador y medir el caudal por medio de un vertedor. Para la aplicación de este método se requiere medir simultáneamente con el caudal de agua la presión de separación, con el fin de calcular la fracción evaporada del silenciador.

###### b) Medición de la Mezcla a Partir de Presión

Aunque es un método empírico, da resultados preliminares satisfactorios.

##### 1.4.5.2 Vapor Dominante

La cuantificación del flujo en un campo del tipo vapor dominante se hace en forma similar a los métodos mencionados anteriormente para la medición de vapor separado. Se deberán tener en cuenta aquellos casos en los que se mide vapor sobrecalentado o vapor con alto contenido de humedad.

### 1.5 GEOTHERMAL FLUID TRANSPORT SYSTEM

As part of the preliminary project design, and once the production or injection wells and the power plant has been sited, the fluid transport system should be selected, considering the fluid to be transported, the mode of transport, the layout of the branches, and the respective dimensions.

The best fluid transport option will be the one which, with the lowest generating cost and without sacrificing reliability, will consider the following factors:

- Pipeline layout.
- Technical and fluid-dynamics design of the pipelines.
- Selection of materials to minimize corrosion and erosion.
- Mechanical design of the pipelines.
- Mechanical and civil design of the foundations, supports, and fixed points.
- Safety and control devices.

The most important parameters to be taken into account in the analysis are the following:

- The type of fluid to be transported.
- The curve for pressure and temperature reduction in the reservoir over time, in order to estimate the curve for production and decline at the wellhead and to select the most suitable pressure and flow.
- The chemical characteristics of the fluid and its scaling and corrosion characteristics under different conditions of pressure, temperature, fluid quality and velocity.
- The pressure or pressures selected for the process.
- The estimated cost of investments, operation and maintenance.
- The influence of scaling on the reduction of the internal diameter of the pipes and on the increased roughness of the inside surface.

In defining the pipeline layout, intersections with roads and canals should be considered, as well as the need not to restrict accesses (for example, to fields under cultivation) and the visual impact of the installations.

Work should start with a topographical survey, on a scale of no less than 1:1000, and preferably 1:200. When there are significant details, it is worthwhile to exaggerate the vertical scale.

The design of the heat insulation for the pipelines is conventional. For mechanical calculations, the ANSI B31.1 standard is followed, taking advantage of changes in direction imposed by topography in order to provide the necessary flexibility.

### 1.5 SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS GEOTERMICOS

Como parte del anteproyecto y una vez definida la localización de los pozos productores o inyectores y de la central, deberá seleccionarse el sistema de transporte de fluidos, que incluye el tipo de fluido a conducir, modo de la transmisión, trayectoria de los ramales y sus dimensiones respectivas.

La mejor opción para el transporte de fluidos será aquella que al menor costo de generación y sin sacrificio de confiabilidad considere los siguientes factores:

- Trazo de la línea.
- Diseño técnico y fluido-dinámico de los conductos.
- Selección de materiales para minimizar corrosión o erosión.
- Diseño mecánico de las tuberías.
- Diseño mecánico y civil del cimiento, soportes y puntos fijos.
- Dispositivos de seguridad y control.

Los parámetros más importantes a tomar en cuenta en el análisis son los siguientes:

- El tipo de fluido a conducir
- La curva de declinación de presión y temperatura del yacimiento con el tiempo, para estimar la curva de declinación de la producción en el cabezal y seleccionar la presión y gasto más recomendables.
- Las características químicas del fluido y sus características incrustantes y corrosivas a diferentes condiciones de presión, temperatura, calidad y velocidad del fluido
- La presión o presiones seleccionadas para el proceso
- Los costos estimados de inversión, operación y mantenimiento
- La influencia de la incrustación en la reducción de la sección transversal del ducto y el aumento de su rugosidad.

Al definir el trazo de las tuberías deben considerarse los posibles cruces con carreteras y canales y la necesidad de no imponer restricciones al libre acceso, por ejemplo a campos de labranza, así como el impacto visual de las instalaciones.

Se debe partir de un levantamiento topográfico, a escala no menor de 1:1000 y preferiblemente de 1:200. Cuando hay detalles significativos, exagerando la escala vertical.

El diseño del aislamiento térmico de las tuberías es convencional. Para el cálculo mecánico de las mismas se sigue la norma ANSI B31.1, aprovechando los cambios de dirección impuestos por la topografía para proporcionar la necesaria flexibilidad.

### 1.5.1 One-Phase Transport

In this system of transport, there are two variations:

- Liquid phase
- Gaseous phase (steam and/or gases).

For its design, the difference between the initial and final pressures in the pipeline is used as an input in the conventional equations to interrelate head loss, length, velocity and internal diameter.

The transport of water and steam in separate pipelines offers certain advantages and disadvantages:

#### Advantages.

- The transport of separated steam from the well to the power plant, with an adequate number of bleeders placed along the way, makes it possible to eliminate the condensate and the salts carried over due to deficiencies in separation, thus obtaining cleaner steam and permitting less frequent turbine maintenance.
- Operation of the pipelines used to transport separated water or steam is simple; and if the water pipeline becomes scaled, it is possible to continue piping steam to the power plant, since the water can be sent to the silencer in each well.

#### Disadvantages.

- The investment cost is high in some cases, since it is a function of the diameter of the pipe and of the required number of separators.
- When the fluid has a marked tendency to produce scaling, it creates problems in the water lines.
- The pipeline network becomes more complicated, the free area in the field is reduced, and the costs of field operation and maintenance increases.

### 1.5.2 Mixture Transport

The transported geothermal fluid is sometimes a mixture of water and steam. There are various analytical or empirical expressions for the fluid-dynamics design of these lines.

Just as with the transport of separate phases, the transport of a mixture offers certain advantages and disadvantages:

#### Advantages.

- It is possible to make better use of the fluid obtained from the reservoir.
- Since separators are not required at the platform of each well, there is enough free space to carry out repair operations.

### 1.5.1 Transporte en una Fase

En este sistema de transporte, se pueden tener dos modalidades:

- Fase líquida
- Fase gaseosa (vapor y/o gases)

Para su diseño la diferencia entre las presiones inicial y final del ducto se utiliza como dato de entrada en las ecuaciones convencionales, que interrelacionan pérdida de carga, longitud, velocidad y sección transversal.  
El transporte de agua y vapor en conductos independientes tiene ciertas ventajas y desventajas:

#### Ventajas

- El transporte de vapor separado desde el pozo hasta la central permite, por medio del número adecuado de "purgas" colocadas a lo largo de su trayectoria, eliminar el condensado y las sales que se arrastran por deficiencia en la separación, obteniendo un vapor de mayor pureza, lo que permite menor frecuencia de mantenimiento en las turbinas.
- La operación de tuberías de transporte de agua o vapor separado es sencilla y en el caso de que la tubería de agua se incruste, se puede continuar enviando vapor a la central, ya que se puede desviar al silenciador que se tiene en cada pozo.

#### Desventajas

- El costo de inversión en algunos casos, es más alto, ya que es función del diámetro de las tuberías y número requerido de separadores.
- Cuando el carácter incrustante de la salmuera es alto, crea problemas en las líneas de agua.
- Se complica la red de tuberías, se reduce el área libre en el campo y se incrementan los costos de operación y mantenimiento de la misma.

### 1.5.2 Transporte de Mezcla

En ocasiones, el fluido geotérmico conducido es una mezcla agua-vapor. Hay varias expresiones, analíticas o empíricas para el diseño fluidodinámico de estas líneas.

Al igual que el transporte en fases separadas, la conducción de mezcla tiene ciertas ventajas y desventajas:

#### Ventajas

- Es posible obtener un mayor aprovechamiento del fluido obtenido del yacimiento.
- Al no requerirse separadores en la plataforma de cada pozo, se deja suficiente espacio libre para efectuar maniobras de reparación.

#### Disadvantages.

- A change in the characteristics of the mixture may affect repercussions for pipe capacity.
- Only one pipeline is used per well. In the case of its obstruction or maintenance, it is necessary to suspend the fluid transport.
- In this type of conduction, pulsating flows are more common; these bring about considerable periodical movements in certain sections of the pipelines, with possible failures due to material fatigue.
- Periodical production measurements are made more difficult in each well, thus hindering in-depth knowledge about its evolution.

#### 1.5.3 Recommended Velocities

The range of velocities recommended for the pipeline design is as follows:

Water	1.5 to 3 m/s
Water-steam mixture	9 to 35 m/s
Steam	15 to 40 m/s

#### 1.5.4 Transport of Rejection Water

In those projects in which the technical-economic feasibility of water reinjection into the reservoir has been previously demonstrated, the design criteria will depend on the selected option, which may be:

- When there is only one turbine intake pressure: to reinject at the separation pressure, without treatment.
- When there are several evaporation stages: to reinject hot water without treatment after the last stage, in which case pumping may be required.
- To reinject water after treatment, in order to eliminate solids in suspension, in which case pumping may be required.

In the three cases, the criteria for pipe design follow conventional procedures, although in the first two it is more likely that scaling or deposits will form on the inside walls of the pipes, in the pumps or in the formation where reinjection takes place; for that reason, the design should take this into account, in order to facilitate maintenance.

#### 1.5.5 Transport of Noncondensable Gases

When it is necessary to transport noncondensable gases outside of the station area, it is recommended that epoxy resin pipes reinforced with fiberglass be used. The design criterion for calculating diameter is conventional.

#### Desventajas

- Un cambio en las características de la mezcla puede repercutir en la capacidad de la tubería.
- Se depende de una sola tubería por pozo. En caso de obstrucción o para su mantenimiento, se requiere suspender la conducción de fluidos.
- Son más comunes en este tipo de conducción los flujos pulsantes, que originan movimientos periódicos considerables en ciertos tramos de la tubería, con posibles fallas por fatiga del material.
- Se dificultan las mediciones periódicas de producción de cada pozo, lo que no permite conocer con detalle su evolución.

#### 1.5.3 Velocidades Recomendadas

El rango de velocidades que se recomiendan para el diseño de tuberías son las siguientes:

Agua	1.5 a 3 m/s
Mezcla agua-vapor	9 a 35 m/s
Vapor	15 a 40 m/s

#### 1.5.4 Transporte de Agua para Reinyección

En aquellos proyectos en los que se ha demostrado previamente la factibilidad técnico-económica de la reinyección de agua al yacimiento, el criterio de diseño dependerá de la opción que se seleccione, que puede ser:

- Cuando se tiene una sola presión de admisión a las turbinas, reinyectar a la presión de separación sin tratamiento.
- Cuando se tienen varias etapas de evaporación, reinyectar agua caliente sin tratamiento después de la última etapa, en cuyo caso puede requerirse bombeo.
- Reinyectar agua después de un tratamiento para eliminar los sólidos en suspensión, en cuyo caso puede requerirse bombeo.

En los tres casos los criterios de diseño de la tubería siguen procedimientos convencionales, aunque en los dos primeros se tienen mayores posibilidades de que se presenten incrustaciones o depósitos en las paredes interiores de los ductos, en las bombas, o en la formación en que se reinyecte; lo que se deberá tomar en cuenta en el diseño, de tal forma que se facilite el mantenimiento.

#### 1.5.5 Transporte de Gases Incondensables

Cuando se requiere conducir gases incondensables fuera del área de la central, se recomienda el uso de tuberías de resina epóxica, reforzada con fibra de vidrio. El criterio de diseño para el cálculo del diámetro es convencional.

#### 1.5.6 Technical-Economic Optimization

The management of geothermal fluids entails not only their transport from the standpoint of satisfying particular technical conditions in the installation, but also from the economic standpoint.

Economy in the design of a fluid transport system consists basically of finding the optimal combination of energy resource utilization, capital investment, and operating costs over a given period.

For each system of turbines in particular, it will be necessary to do an economic balance based on real costs, so as to obtain a solution which, while satisfying technical criteria, will provide maximum economy. For this purpose, there are standard optimization programs.

#### 1.5.7 Flow Measurement

The flow of the liquid-gas mixture can be determined directly, although approximately, by using the Russell James method of critical lip pressure or else by measuring the differential pressure at an orifice. However, when there is a separator, it is most convenient to measure indirectly by adding the separated water and steam flows.

For measurement of the steam flow, orifice plates are the most adequate. Other sensors such as Pitot tubes, Anubar, nozzles, etc., which meet ASME (American Society of Mechanical Engineers) standards, may also be used.

For water under pressure, the same methods used for steam are used, although the problems of scaling and evaporation complicate their use. For water at atmospheric pressure, the flow is determined through measurements at platform installations, using silencers and weirs.

#### 1.5.6 Optimización Técnico-económica

El manejo de fluidos geotérmicos implica no sólo su conducción desde el punto de vista de satisfacer condiciones técnicas particulares de la instalación, sino también desde el punto de vista económico.

La economía en el diseño de un sistema de transporte de fluidos consiste básicamente en encontrar la combinación óptima para el aprovechamiento del recurso energético, de la inversión de capital y de los costos de operación para un determinado período.

Para cada sistema de tuberías en particular, será necesario realizar un balance económico, basado en costos reales en forma de obtener una solución que, al mismo tiempo que satisface los criterios técnicos, proporcione la máxima economía. Para este propósito se cuenta con programas estándar de optimización.

#### 1.5.7 Medición de Caudales

El caudal de mezcla líquido-gas puede determinarse en forma directa aunque aproximada, utilizando el método de Russell James de presión crítica en el labio. Además, midiendo la presión diferencial en un orificio. Sin embargo, cuando se tiene un separador, es más conveniente hacerlo en forma indirecta por adición de los gastos separados de agua y vapor.

Para la medición de flujo de vapor las placas de orificio son las más adecuadas. Pueden usarse también algunos otros sensores como tubos de Pitot, Anubar, boquillas, etc. que cumplan con normas ASME (American Society of Mechanical Engineers).

Para agua a presión se utilizan los mismos métodos que para vapor, aunque los problemas de incrustación y evaporación complican su uso. Para agua a presión atmosférica se determina el caudal por medio de las mediciones en instalaciones de plataforma usando silenciadores y vertedores.

## 1.6 DESIGN OF GEOTHERMAL POWER PLANTS

The design of geothermal power plants can be divided into two main stages:

Basic engineering  
Detail engineering

### 1.6.1 Basic Engineering

#### 1.6.1.1 General Information

First of all, a general document must be produced, providing such information as:

- a) Name of the plant.
- b) Geographical location, electric grid to which it will be connected, access roads, facilities, climatology, etc.
- c) Location of the wells assigned to the plant, and their operating features (flows, pressures, enthalpies, chemical composition, etc.)
- d) Design temperature for cooling water.
- e) Design seismic coefficient.
- f) Economic parameters to be used in the optimization studies and evaluations: lifetime, plant factor, cost per kWh, cost per ton of steam, interest rate, etc.

#### 1.6.1.2 Optimization

A group of preliminary studies must also be developed to permit the definition of operating conditions; among these:

- a) Selection of the plant cycle.
- b) Study on siting of the unit and the surface equipment.
- c) Determination of the system of geothermal fluid transport.
- d) Optimization of operating pressure.
- e) Number and capacity of turbogenerating units.
- f) Optimization of disposal systems and circulating water.
- g) Study on environmental impact and alternatives for effluent disposal (reinjection, evaporation ponds, canals to receiving bodies, silica retaining ponds, etc.)
- h) Heat balances.

## 1.6 PROYECTO DE CENTRALES GEOTERMICAS

El proyecto de centrales geotermoelectricas se divide en dos grandes etapas:

Ingeniería básica  
Ingeniería de detalle

### 1.6.1 Ingeniería Básica

#### 1.6.1.1 Información General

En primer lugar, debe producirse un documento de información general en que se proporcionen datos como:

- a) Nombre de la Central
- b) Localización geográfica, red a que se conectará, vías de acceso, facilidades, climatología, etc.
- c) Localización de los pozos asignados a la planta y sus características de operación (flujos, presiones, entalpías, composición química, etc.)
- d) Temperatura de diseño del agua de enfriamiento.
- e) Coeficiente sísmico de diseño.
- f) Parámetros económicos a utilizar en los estudios de optimización y en las evaluaciones: vida útil, factor de planta, costo del kWh, costo de la tonelada de vapor, tasa de interés, etc.

#### 1.6.1.2 Optimización

Hay también que desarrollar un grupo de estudios previos que permitan definir las condiciones de operación. Entre ellos:

- a) Selección del ciclo de la central.
- b) Estudio para la localización de la unidad y el equipo de superficie.
- c) Determinación de la forma de conducción de los fluidos geotérmicos.
- d) Optimización de las presiones de operación.
- e) Número y capacidad de unidades turbogeneradoras.
- f) Optimización de los sistemas de vacío y agua de circulación.
- g) Estudio del impacto ambiental y de las alternativas para la disposición de los efluentes (reinyección, lagunas de evaporación, canales de conducción a cuerpos receptores, estanques de retención de sílice, etc.)
- h) Balances térmicos.

- i) Behavior of materials exposed to the environment (weathering) and to geothermal fluids.
- j) Soil mechanics study.

#### 1.6.1.3 Programs

A third group of activities is comprised by the detailed planning of the complete project and preparation of:

- a) Schedule of key dates.
- b) Investment schedule.
- c) Design personnel schedule.
- d) Manual of procedures and quality control.

#### 1.6.1.4 Design Criteria

As a fourth group of activities, there is the preparation of design criteria:

##### a) General ones, under the disciplines:

- Mechanical and
- Electrical.

##### b) Instrumentation and control (remote-control, manual, automatic operation)

##### c) Civil and architectural ones (including determination of whether the plant will be covered or not) for the following systems:

- Main steam.
- Steam to the turbine.
- Steam regulation and control.
- Steam separation.
- Management of separated water.
- Circulating water.
- Cooling water.
- Firefighting water.
- Service water.
- Lubricating oil and control.
- H<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> in the generator.
- Sealing oil for H<sub>2</sub>.
- Stator cooling.
- Compressed air for services and/or instruments.
- Handling of uncondensable gases.
- Chemical treatment.
- Indication, recording, control and protection.
- Cranes and hoists.
- Electric power and control inputs.
- Direct current.
- Grounding.
- Emergency electric power supply.
- Normal and emergency lighting.
- Internal and external plant communications.

- i) Comportamiento de materiales expuestos al ambiente y fluidos del campo geotérmico.
- j) Estudio de mecánica de suelos.

#### 1.6.1.3 Programas

Un tercer grupo de actividades está formado por la planeación detallada del proyecto completo y la emisión de:

- a) Programa de fechas clave.
- b) Programa de inversiones.
- c) Programa de personal para el diseño.
- d) Manual de procedimientos y aseguramiento de calidad del proyecto.

#### 1.6.1.4 Criterios de diseño

Como cuarto grupo de actividades está la preparación de los criterios de diseño:

##### a) Generales de las disciplinas

- Mecánica
- Eléctrica

##### b) De instrumentación y control (operación a control remoto, manual, automático)

##### c) Civil y arquitectónica (incluyendo la determinación de si la planta será intemperie o cubierta) de los sistemas de:

- Vapor principal
- Vapor a la turbina
- Regulación y control de vapor
- Separación del vapor
- Manejo del agua separada
- Agua de circulación
- Agua de enfriamiento
- Agua contra incendio
- Agua de servicio
- Aceite de lubricación y control
- H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> del generador
- Aceite de selllos para H<sub>2</sub>
- Enfriamiento del estator
- Aire acondicionado y ventilación
- Aire comprimido para servicios y/o instrumentos
- Manejo de gases incondensables
- Tratamiento químico
- Medición, control y protección
- Grúas y malacates
- Alimentación eléctrica de potencia y de control
- Corriente directa
- Tierras
- Suministro eléctrico de emergencia
- Alumbrado normal y de emergencia
- Comunicación interna y externa a la planta

Under the design criteria for each system, as a minimum, the following should be defined:

- a) System function.
- b) System limits (terminal points).
- c) Relation with other systems.
- d) Elements which comprise it, with their main features.
- e) Nominal operating conditions (flow diagram).
- f) Design conditions.
- g) Design parameters for each system component.
- h) Physical and chemical characteristics of the fluids to be handled.
- i) Instrumentation for indication, control and protection.
- j) Recommendations for manufacturing materials.
- k) Applicable standards and codes.
- l) Forms of operation (normal, shutdown, start-up and emergency).

#### 1.6.1.5 Drawings

Finally, in basic engineering, the following drawings should be prepared:

- a) General plant and well location.
- b) General arrangement of the plant and exteriors.
- c) Arrangement of plant equipment at each level of the powerhouse.
- d) Cross-sections and elevations.
- e) One-line general substation diagram, with system interconnection.
- f) Diagrams of pipelines and instrumentation in the different systems.
- g) Typical equipment arrangement at the well platform.
- h) Preliminary layout of field pipelines.

#### 1.6.1.6 Specifications

The specifications for the main equipment actually correspond to detail engineering, but may also be included in basic engineering in view of the fact that they are the components whose time of delivery is the most critical. Besides the technical specifications, all of the information needed for the manufacturer to prepare his proposals must be included, e.g.:

- a) Evaluation factors and sanctions for noncompliance.
- b) Molds for tunnels and bridges.
- c) Specifications for induction motors and control panels.
- d) Deviations, additions, supplements and exceptions.
- e) Performance warranties.
- f) List of drawings and diagrams to be supplied.
- g) Drawings and data required after placement of the order.

En los criterios de diseño de cada sistema debe definirse, como mínimo:

- a) Función del sistema
- b) Límites del sistema (puntos terminales)
- c) Relación con otros sistemas
- d) Elementos que lo integran con sus principales características
- e) Condiciones de operación nominales (diagrama de flujo)
- f) Condiciones de diseño
- g) Parámetros de diseño de cada componente del sistema
- h) Características físico-químicas de los fluidos a manejar
- i) Instrumentación para indicación, control y protección
- j) Recomendaciones sobre materiales de fabricación
- k) Normas y códigos aplicables
- l) Formas de operación (normal, paro, arranque y de emergencia).

#### 1.6.1.5 Dibujos

Por último, en la ingeniería básica, deben prepararse los siguientes dibujos:

- a) Localización general de planta y pozos
- b) Arreglo general de la planta y áreas exteriores
- c) Arreglo de equipo en planta de cada nivel de la casa de máquinas
- d) Cortes y elevaciones
- e) Diagrama unifilar general de la subestación, con la forma de interconexión al sistema
- f) Diagramas de tubería e instrumentación de los diferentes sistemas
- g) Arreglos de equipo típicos en plataforma de pozos
- h) Trazo preliminar de tuberías en el campo

#### 1.6.1.6 Especificaciones

Las especificaciones del equipo principal corresponden en realidad a la ingeniería de detalle, pero pueden también incluirse en la ingeniería básica, en vista de que se trata de componentes cuyo tiempo de entrega es más crítico. Además de las especificaciones técnicas deben incluir toda la información necesaria para que el fabricante prepare su propuesta, como es:

- a) Factores de evaluación y penas por incumplimiento.
- b) Gálibos de túneles y puentes.
- c) Especificaciones para motores de inducción y tableros de control.
- d) Desviaciones, adiciones, suplementos y excepciones.
- e) Garantías de comportamiento.
- f) Relación de dibujos y diagramas a suministrar.
- g) Dibujos y datos requeridos después de la orden.

h) Quotations.

i) Delivery schedules.

#### 1.6.2 Detail Engineering

The detail engineering should include all of the documentation necessary for implementing the project.

It should commence once the basic engineering is concluded; however, it is permissible for them to overlap. The detail engineering covers the following major activities:

##### 1.6.2.1 Preparation of Specifications

With the exception of the specifications cited under basic engineering, the detail engineering should prepare all of the project specifications.

The most important specifications for a geothermal power project can be classified under the following five major areas:

- a) Civil.
- b) Mechanical.
- c) Electrical.
- d) Plant design.
- e) Instrumentation and control.

##### 1.6.2.2 Evaluation of Quotations

The manufacturers' bids should be evaluated technically and economically, taking into account:

- a) Technical features.
- b) Delivery time.
- c) Price.
- d) Experience.

##### 1.6.2.3 Review and/or Approval of Manufacturers' Drawings

Once the order has been placed, the manufacturer must deliver the information, drawings and literature requested in the specifications. The most important part of this information is that it will permit continuation of the plant engineering, since many times the information about a piece of equipment is vital for specifications of other parts of the system.

##### 1.6.2.4 Preparation of Drawings and Models

The activity which represents the relative advancement or state of a project is the preparation of the drawings necessary for construction.

The use of an engineering model, although it is not indispensable, offers the following advantages:

- a) It reduces the number of drawings needed.

h) Precios de la oferta.

i) Programas de entregas.

#### 1.6.2 Ingeniería de Detalle

La Ingeniería de Detalle debe incluir toda la documentación necesaria para efectuar la obra.

Debe iniciarse una vez que la Ingeniería Básica está terminada, sin embargo, es permisible que exista un traslape entre las mismas. La Ingeniería de Detalle comprende las siguientes actividades principales:

##### 1.6.2.1 Elaboración de Especificaciones

Con excepción de las especificaciones que se anotaron en la Ingeniería Básica, la Ingeniería de Detalle deberá elaborar la totalidad de las especificaciones de un proyecto.

Las especificaciones más importantes de un proyecto geotermoelectrónico se pueden clasificar en las siguientes cinco áreas principales.

- a) Civil
- b) Mecánica
- c) Eléctrica
- d) Diseño de Planta
- e) Instrumentación y Control

##### 1.6.2.2 Evaluación de Ofertas

Las ofertas de los fabricantes deberán ser evaluadas técnica y económicamente, tomando en cuenta:

- a) Características técnicas
- b) Plazo de entrega
- c) Precio
- d) Experiencia

##### 1.6.2.3 Revisión y/o Aprobación de Planos de Fabricantes

Una vez colocado el pedido, el fabricante deberá entregar la información, planos y literatura solicitada en las especificaciones. Lo más importante de esta información es permitir continuar con la ingeniería de la central, ya que en muchas ocasiones la información de un equipo es vital para la especificación de otro en el sistema.

##### 1.6.2.4 Elaboración de Planos y Modelos

La actividad que representa en forma relativa el avance o estado de un proyecto es la emisión de planos, necesarios para la construcción.

El uso de un modelo de ingeniería, aunque no es indispensable, representa las siguientes ventajas:

- a) Disminuye el número de planos necesarios

- b) It reduces the errors in design and construction.
- c) It facilitates project interpretation for the builder.
- d) It facilitates initial knowledge about the plant for the operating personnel.
- e) It is useful for exhibition purposes.

#### 1.6.2.5 Detailed Engineering Schedules

On the basis of the key dates, the Detailed Engineering Schedules should be developed; these schedules, as their name indicates, detail project activities such as:

- a) Studies and calculations.
- b) Preparation of specifications.
- c) Preparation of drawings.
- d) Preparation of lists of materials.

#### 1.6.2.6. Plant Logbook

As the definitive information approved by the equipment manufacturers is received, it is necessary to elaborate what is known as a Plant Logbook, where all of the data on design, construction and equipment operation are recorded, to aid in plant maintenance and upkeep.

#### 1.6.2.7 Operations Manual

In designing a station, the way in which each one of the systems should operate is taken into account; therefore, it is necessary for the respective procedures to be laid out in a manual, together with the description of the systems.

#### 1.6.2.8 Other Documentation

In addition to the aforementioned documents, it will be necessary to cover the following:

- a) Welding procedures.
- b) Documentation on acceptance tests.
- c) Safety procedures manual.

It must be kept in mind that modifications are made in the original design during construction, so that a later stage will be a review of the installations, in order to modify the drawings accordingly.

#### 1.6.3 Typical Project Organization

The principal hierarchical levels of project organization are listed below:

- Project supervision.
- Technical advising.
- Programming and control.
- Supervision.
- Group supervision.

- b) Disminuye los errores en el diseño y construcción
- c) Facilita al constructor la interpretación del proyecto
- d) Facilita al personal de operación el conocimiento inicial de la central
- e) Sirve como medio de exposición

#### 1.6.2.5 Programas Detallados de Ingeniería

En base al Programa de Fechas Clave se deberán desarrollar los "Programas Detallados de Ingeniería"; estos programas como su nombre lo indica, detallan las actividades del proyecto, tales como:

- a) Estudios y cálculos
- b) Elaboración de especificaciones
- c) Elaboración de planos
- d) Elaboración de lista de materiales

#### 1.6.2.6 Libro de Datos de la Central

Conforme se recibe la información definitiva y aprobada por parte de los fabricantes del equipo, es necesario elaborar lo que se denomina "Libro de Datos de la Central"; en éste se vierten todos los datos de diseño, construcción y operación del equipo, lo cual ayuda al mantenimiento y conservación de la central.

#### 1.6.2.7 Manual de Operación

Al diseñar una central, se toma en cuenta la forma en que debe operarse cada uno de los sistemas que intervienen, por lo tanto es necesario que los procedimientos respectivos queden asentados en un manual, junto con la descripción de los sistemas.

#### 1.6.2.8 Otra Documentación

Además de los documentos anteriores, será preciso emitir los siguientes:

- a) Procedimientos de soldadura
- b) Documentación de las pruebas de recepción
- c) Manual de procedimientos de seguridad

Hay que tener presente que durante la construcción se introducen modificaciones a lo proyectado, por lo que una siguiente etapa será la revisión de las instalaciones, para modificar los dibujos correspondientemente.

#### 1.6.3 Organización Típica de un Proyecto

A continuación se mencionan los principales niveles jerárquicos en la organización de un proyecto:

- Jefatura de Proyecto
- Asesoría Técnica
- Programación y control
- Supervisión
- Jefaturas de Grupos



#### 1.6.4 Engineering Procedures

The procedures establish the way in which the activities are to be carried out, but they should not hinder personnel initiative or development; they should be dynamic, which means that they will undergo modifications or adaptations in line with the changes in circumstances.

#### 1.6.5 Link to Construction

The link between the engineering group and the builder begins from the moment that the key dates are scheduled, and the two-way communication should be maintained until the plant begins commercial operation.

#### 1.6.6 Construction Criteria

The engineering group will be in charge of preparing general construction and cost-control criteria, in keeping with the codes in force and the standards of the firm.

For each project, three corrections are made in the original budget.

The first is prepared when design engineering has advanced between 1 and 5%; the second between 10 and 25%; and the third at approximately 40%.

Once the total budgeted cost has been established, the disbursement schedule is programmed on the basis of the schedule of key dates, taking into consideration the terms of payments for the different items involved.

#### 1.6.4 Procedimientos de Ingeniería

Los procedimientos establecen la forma de llevar a cabo las actividades, pero no deben bloquear la iniciativa o desarrollo personal; deben ser dinámicos, lo que significa que sufrirán modificaciones o adaptaciones conforme al cambio de las circunstancias.

#### 1.6.5 Enlace con Construcción

El enlace del grupo de Ingeniería con el constructor se inicia desde la elaboración del programa de fechas clave, y la comunicación en ambos sentidos debe permanecer abierta hasta la operación comercial de la planta.

#### 1.6.6. Criterios para Construcción

El grupo de Ingeniería se encargará de elaborar los criterios generales para la construcción y el control de costos, de acuerdo con los códigos vigentes y las normas de la empresa.

Para cada proyecto se hacen tres correcciones al presupuesto original.

La primera se prepara cuando el avance de la Ingeniería del Proyecto tiene entre el 1% y 5%; la segunda se hace cuando tiene entre el 10% y el 25% y la tercera se hace cuando se tiene un 40% aproximadamente.

Una vez que se establece el costo total presupuestado, la programación de las erogaciones se hace en base al Programa de Fechas Clave, tomando en consideración los términos de pago de las distintas partidas involucradas.

## 1.7 CONSTRUCTION OF GEOTHERMAL POWER PLANTS

### 1.7.1 General Construction Schedule

#### 1.7.1.1 Objective

A General Construction Schedule is the breakdown of all of the important construction and start-up activities of a project, in the framework of the Schedule of Key Dates.

The aim of the General Construction Schedule is to provide the project authorities responsible for its execution with a basic tool for planning and coordinating the construction activities; it also serves as a means of communication with the areas of engineering, supply and start-up.

The General Construction Schedule gives rise to intermediate schedules and these in turn to detailed schedules.

#### 1.7.1.2 Preparation

In the preparation of this schedule, it is necessary that the people in charge of the construction participate and that design information and statistical data for similar projects be available.

The general methods for preparing this schedule is as follows:

- The concepts applicable to the project are listed.
- The dates for delivery of the construction drawings to the site are indicated.
- The dates for delivery of the steel structures, equipment and materials to the site are indicated.
- Assembly of equipment, mounting of the main pipeline supports and installation of cable trays are scheduled.
- When there are known restrictions, these should be delineated with a broken line and an arrow indicating the direction of the restriction.
- The principal start-up activities should also appear, e.g.: turbine vacuum test, turbine spinning, and commercial operation.
- In all of the stages, the interrelation among all of the areas involved in or affecting the development of the project should be verified.

#### 1.7.1.3 Approval

The approval, updating, reprogramming and distribution of the schedule should be specified, indicating the reasons for modifications.

## 1.7 CONSTRUCCION DE CENTRALES GEOTERMOELECTRICAS

### 1.7.1 Programa General de Construcción

#### 1.7.1.1 Objetivo

Un Programa General de Construcción es el desglose de todas las actividades importantes de construcción y puesta en servicio de un proyecto, encerradas dentro de lo establecido en el Programa de Fechas Clave.

El objetivo del Programa General de Construcción es proporcionar a las autoridades del proyecto responsable de su ejecución, una herramienta básica para la planeación y coordinación de las actividades de construcción; sirve también como medio de comunicación con las áreas de Ingeniería, Abastecimientos y Puesta en Servicio.

El Programa General de Construcción origina los programas intermedios y éstos a su vez originan los programas detallados.

#### 1.7.1.2. Preparación

En la elaboración de este programa se requiere la participación de los responsables de la construcción, la información disponible del proyecto y de datos estadísticos de proyectos similares.

El método general para preparar este programa es el siguiente:

- Se listan los conceptos aplicables al proyecto.
- Se indican las fechas de entrega en la obra de los planos para la construcción.
- Se indican las fechas de entrega en la obra de la estructura de acero, equipos y materiales.
- Se programan el montaje del equipo, soportes de tubería mayor e instalación de charolas.
- Cuando las restricciones son conocidas, éstas deberán marcarse con línea punteada y una flecha que indica la dirección de la restricción.
- Las principales actividades de Puesta en Servicio también deberán aparecer, tales como: Prueba de Vacío de la Turbina, Rodado de la Turbina y Operación Comercial.
- En todas estas etapas debe verificarse la interrelación entre todas las áreas que intervienen o afectan el desarrollo de la obra.

#### 1.7.1.3 Aprobación

La aprobación, actualización, reprogramación y distribución del programa, deberán quedar especificados indicando la causa de la modificación.

#### 1.7.1.4 Historical Record

All of the documents generated during construction should be classified and filed for use in future programming of other projects.

#### 1.7.2 Intermediate Construction Schedules

Preparation of these schedules uses: the General Schedule of Key Dates, the General Construction Schedule (GCS), Intermediate Engineering Schedules, Record of Engineering Documents, General Project Layout and Construction Techniques To Be Used, as well as information available from drawings, man-hours, and estimated amount of work through Cost and Supply Engineering.

The principal areas of activity for developing the Intermediate Construction Schedules are mentioned below:

- Powerhouse, turbine and generator.
- Control building.
- Circulating water system.
- Outside areas.
- Substation.

#### 1.7.3 Detailed Construction Schedules

A Detailed Construction Schedule is a breakdown of the activities of a system of equipment assembly considered in an Intermediate Construction Schedule; it maintains the periods defined in the Intermediate Schedules, the General Construction Schedule and the Schedule of Key Dates. The objective of the Detailed Construction Schedules (DCS) is to provide a daily guide for construction activities.

#### 1.7.3.1 Supply Record

This forms part of the General Construction Schedule and permits quality control and follow-up on the purchases necessary for project implementation.

#### 1.7.3.2 Accounts Log

All of the projects for geothermoelectric stations, no matter what type or size, should use an accounts log. The degree of complexity and the level of detail should be such that they will facilitate separation of costs and significant sums, but using the minimum number of accounts permitting effective project follow-up.

The accounts log makes it possible to follow-up on costs and man-hours during project construction. It assures uniformity in the budgeting of new projects and provides points of reference for later studies.

#### 1.7.3.3 Budgets

Budgets provide basic information, estimate the amounts to be disbursed according to a schedule, and classify the

#### 1.7.1.4 Programa Histórico

Todos los documentos originados durante la construcción deberán clasificarse y archivarse para ser utilizados en futuras programaciones de otros proyectos.

#### 1.7.2 Programas Intermedios de Construcción

Para la elaboración de estos programas se utilizan: El Programa General de Fechas Clave, Programa General de Construcción (PGC), Programas Intermedios de Ingeniería, Registro de Documentos de Ingeniería, Arreglo General de la Obra y Técnicas de Construcción a usar, así como la información disponible de planos, horas-hombre y cantidades de obra estimadas por Ingeniería de Costos y Abastecimientos.

Para fines de desarrollo de los Programas Intermedios de Construcción, a continuación se mencionan las principales actividades:

- Casa de Máquinas, Turbina y Generador
- Edificio de Control
- Sistema de Agua de Circulación
- Áreas Exteriores
- Subestación

#### 1.7.3 Programas Detallados de Construcción

Un Programa Detallado de Construcción es un desglose de las actividades de un sistema o montaje de un equipo, contemplado en un Programa Intermedio de Construcción, conservando la duración definida en los Programas Intermedios, Programa General de Construcción y Programa de Fechas Clave. El objetivo de los Programas Detallados de Construcción (PDC) es constituir una guía diaria de las actividades de construcción.

#### 1.7.3.1 Registro de Abastecimientos

Forma parte del Programa General de Construcción y permite el control de calidad y el seguimiento de las adquisiciones necesarias para la ejecución de la obra.

#### 1.7.3.2 Catálogo de Cuentas

Todos los proyectos de centrales geotermoelectrivas, sin importar tipo o tamaño, deberán usar un Catálogo de Cuentas. El grado de complejidad y nivel de detalle deberá ser tal que facilite la separación de los costos y cantidades significativas, pero usando el número mínimo de cuentas que permita obtener un seguimiento efectivo del proyecto.

El Catálogo de Cuentas permite el seguimiento de los costos y las cantidades de horas-hombre durante la construcción de un proyecto. Asegura la uniformidad en el presupuesto de nuevos proyectos y proporciona puntos de referencia para estudios posteriores.

#### 1.7.3.3 Presupuestos

Los Presupuestos proporcionan la información básica y estiman las cantidades a ejercer de acuerdo a un calendario, clasificando las

investments to be made during project implementation.

They are prepared on the basis of the definition of project scope and in keeping with the Schedule of Key Dates.

#### 1.7.3.4 Record of Costs and Commitments

This is a document in which the commitments for materials and equipment purchases and their costs are recorded.

Two kinds of records should be kept on each project:

- a) Record of materials costs.
- b) Record of labor costs.

These records are used for follow-up on commitments and for preparation of budgets for materials, equipment and labor; they should be continuously reviewed and compared with the costs to date, in order to verify that payments have not been made in excess of the authorized commitments.

The following information should appear in this record:

- Order number for the equipment or materials in question.
- Issue date.
- Description of the item, including specifications and manufacturer.
- Amount and type of currency in which the commitment was made.

#### 1.7.3.5 Benefits and Other Labor Expenses

These accounts include all of the disbursements for personnel benefits and aids.

inversiones durante la ejecución de la obra.

Se elaboran en base a la definición de Alcance del Proyecto y de acuerdo al Programa de Fechas Clave.

#### 1.7.3.4 Registro de Costos y Compromisos

Es un documento en el que se registran los compromisos para la adquisición de materiales, equipo y su costo.

Para cada proyecto se deben llevar 2 tipos de registro:

- a) Registro de Costos de Materiales
- b) Registro de Costos de Mano de Obra

Estos registros se utilizan para hacer el seguimiento de los compromisos y elaborar presupuestos de materiales, equipo y mano de obra; se deben revisar continuamente y comparar con los costos a la fecha, para verificar que no se hagan pagos en exceso a los compromisos autorizados.

En este registro debe aparecer la siguiente información:

- El número del pedido del equipo o material en cuestión
- Fecha de emisión
- Descripción del concepto, incluyendo la especificación y el fabricante
- El monto y tipo de moneda en que se hizo el compromiso

#### 1.7.3.5 Prestaciones y Otros Gastos de Mano de Obra

Estas cuentan incluyen todas las erogaciones por prestaciones y ayudas otorgadas al personal.

## 1.8 WELLHEAD PLANTS

### 1.8.1 Background

Considering that the time elapsed between drilling of the first production wells in a geothermal field and construction of the definitive station can be between 3 and 10 years, and that geothermal wells represent a large investment, which in many cases exceeds one million dollars per well, the use of wellhead plants has been considered, that utilize the steam from the first exploratory wells needed for evaluations geared to electric power generation. These units, with a capacity of 3000 to 20,000 kW, aid in amortizing the investment in development of a geothermal field, while serving as a tool of assessment to quantify the geothermal potential of a field.

### 1.8.2 Type of Plants

#### 1.8.2.1 Total-Flow Plants

Currently, only 1000-kW experimental plants of this type are available; these are being tested in different fields around the world. They still have no industrial application.

#### 1.8.2.2 Conventional Small-Capacity Condensation Plants

On occasion, small-capacity condensation plants are installed at the head of the well. Their convenience is questionable, since there is no economy of scale in large plants, nor do they offer the versatility, simplicity of installation, and ease of transport of the atmospheric-discharge units.

#### 1.8.2.3 Portable Plants with Atmospheric Discharge

These plants are offered on the market with a capacity of up to 10,000 kW; they are package plants whose installation is relatively fast. This type of plant has a lower cost per installed kW than a condensation plant, but it is less efficient than the latter because of its higher specific steam consumption.

Its application is particularly useful in the initial production of geothermal fields, in the use of wells with a high gas content, and in other special cases. Due to the relatively low investment required, and to the speed with which well production can be started, they offer economic advantages which can even make them the most favorable alternative for the definitive generating station. Furthermore, they are less vulnerable to the risks related to uncertainty about reservoir capacity, to natural phenomena typical of volcanic zones and, due to their simplicity and size, to possible human error.

### 1.8.3 Selection Criteria

Selection of the most suitable plant for wellhead installa-

## 1.8 PLANTAS A BOCA DE POZO

### 1.8.1 Antecedentes

Considerando que el tiempo que transcurra entre la perforación de los primeros pozos productores de un campo geotérmico y la construcción de la central definitiva, que en ocasiones se prolonga, llegando a ser hasta de períodos que van de 3 a 10 años, y que los pozos geotérmicos representan una inversión alta, que en muchos casos excede al millón de dólares por pozo, se ha considerado la utilización de plantas a boca de pozo, que aprovechen el vapor de los primeros pozos exploratorios necesarios para la evaluación con fines de generación eléctrica. Las unidades de capacidad entre 3.000 y 20.000 kW sirven para amortizar las inversiones que representa el desarrollo de un campo geotérmico, a la vez que se utilizan como herramienta de evaluación para cuantificar el potencial geotérmico de un campo.

### 1.8.2 Tipo de Plantas

#### 1.8.2.1 Plantas de Flujo Total

Actualmente se dispone solamente de plantas experimentales de 1000 MW de este tipo que se están probando en diversos campos del mundo. Aún no hay ninguna aplicación industrial de las mismas.

#### 1.8.2.2 Plantas Convencionales de Condensación de Pequeña Capacidad

En ocasiones se instalan a pie de pozo plantas de condensación de pequeña capacidad. Su conveniencia es cuestionable pues no realizan las economías de escala de las centrales grandes, ni tienen la versatilidad en sencillez de instalación y facilidad de transporte de las máquinas de descarga atmosférica.

#### 1.8.2.3 Plantas Portátiles con Descarga Atmosférica

Estas plantas se ofrecen en el mercado, con una capacidad de hasta de 10.000 kW; se trata de plantas paquete, cuya instalación puede ser relativamente rápida. El costo por KW instalado de este tipo de plantas es menor que el de una planta de condensación, pero menos eficiente que éstas, porque tienen un mayor consumo específico de vapor.

Su aplicación es particularmente útil en la explotación inicial de campos geotérmicos, aprovechamiento de pozos con alto contenido de gas y otros casos especiales. Debido a la relativamente baja inversión requerida y a la prontitud con que puede iniciarse la explotación de los pozos, presentan ventajas económicas que, inclusive, las podrían hacer la alternativa más favorable para la central generadora definitiva. Además, son menos vulnerables a los riesgos relacionados a la incertidumbre de la capacidad del yacimiento, a los fenómenos naturales típicos de zonas volcánicas y, por su simplicidad y tamaño, a los eventuales errores humanos.

### 1.8.3 Criterios de Selección

Al seleccionar la planta más adecuada para una instalación a boca

tion should take into account the following:

- Characteristics of the wells and of the fluids they produce.
- Degree of portability.
- Cost per installed kW.
- Specific steam consumption.
- Type of materials used in construction.
- Electromechanical features of the design.
- Features of the system to which it will be connected.
- Environmental impact in the installations zone.
- Simplicity of equipment and associated infrastructure.
- Reliability.

#### 1.8.4 Infrastructure

For the case of portable plants, with or without condensation, the following infrastructure is needed:

- Steam pipelines and protection systems.
- Separators and humidity eliminators.  
The first are required only in the case of wells which produce both steam and water.
- Silencer in the turbine exhaust, with a suitable arrangement so that the electrical equipment will not be contaminated.
- This is required in any type of field and its design will depend on each specific case.
- Substation and transmission lines.  
Each case should be handled according to the local features of the system.
- System of fluid disposal.  
Evacuation systems should be available for disposal of separated, condensed, and bled water.
- Civil structures.  
Design and mass of foundation adequate for the machine vibrations; pipe supports capable of absorbing possible settling.
- Adequate platforms, accesses, roads and drains.

#### 1.8.5 General Recommendations

Due to the fact that this type of machine is sometimes installed in wells with a smaller capacity than the plant's nominal capacity, it should be ordered with a mechanism for partial obturation of the intake steam, so as to obtain the maximum possible efficiency at intermediate loads.

de pozo deben tomarse en cuenta las siguientes características:

- Características de los pozos y fluidos que producen
- Grado de portabilidad
- Costo por kW instalado
- Consumo específico de vapor
- Tipo de materiales utilizados en su construcción
- Características electromecánicas del diseño
- Características del sistema a que irá conectada
- Impacto ambiental en la zona de instalación
- Sencillez del equipo y su infraestructura asociada
- Confidabilidad

#### 1.8.4 Infraestructura

Para el caso de las plantas portátiles con o sin condensación, se requiere la siguiente infraestructura:

- Vaporductos y sistema de protección
- Separadores y eliminadores de humedad  
Los primeros son requeridos solamente en el caso de pozos que produzcan agua-vapor.
- Silenciador en el escape de la turbina, con un arreglo adecuado para que no se contaminen los equipos eléctricos.  
Se requiere en cualquier tipo de campo y su diseño dependerá de cada caso específico.
- Subestación y líneas de transmisión  
Cada caso, deberá resolverse de acuerdo con las características locales del sistema.
- Sistemas de evacuación de fluidos  
Se deberá contar con los sistemas de evacuación de agua separada, condensada y purgas.
- Obras civiles  
Cimentación de diseño y masa adecuados para tolerar las vibraciones de la máquina, soportera de las tuberías capaz de absorber posibles asentamientos.
- Plataformas, accesos, caminos y drenes adecuados.

#### 1.8.5 Recomendaciones Generales

Debido a que este tipo de máquinas son instaladas, en ocasiones, en pozos de capacidad inferior a la nominal de la planta, deben ordenarse con medios de obturar parcialmente la admisión de vapor, en forma que se obtenga la máxima eficiencia posible a cargas intermedias.

## 1.9 FLUID DISPOSAL AND ENVIRONMENTAL CONTROL

The Geothermal Exploration Methodology, Feasibility Phase, describes the most important environmental aspects to be considered in the assessment of a geothermal field, as well as waste disposal systems, with emphasis on reinjection.

Depending on the method adopted for disposal of the geothermal wastes, a program of systematic control can be established.

Aspects related to fluid disposal and waste control for environmental protection in the development and production stages are discussed below.

### 1.9.1 Discharge of Residual Water

#### 1.9.1.1 Reinjection

Reinjection into the subsurface is one of the methods which, in different magnitudes, is being used both in fields under production and in fields under development. It offers an adequate solution for environmental pollution problems; and if injected into the reservoir, it reduces the possibilities of land settling due to the effects of production, supplements the natural aquifer recharge and increases the extraction of heat stored in the formation.

In the wells selected for reinjection, the recommendations made under point 1.2 should be followed.

#### 1.9.1.2 Surface Currents through Canals and Receiving Bodies

The disposal system, consisting of canals or watercourses lined with concrete which transport the geothermal effluent from the surface installations to the receiving bodies has been used for many years; however, the scaling which forms must be periodically removed.

When the discharge of geothermal water takes place in rivers with sufficiently large flows, permitting the geothermal water to be diluted below the maximum levels accepted by established standards, it is considered an acceptable alternative, although it probably entails limitations for system expansion.

When the residues are fed into the ocean, it is advisable that the necessary research be undertaken to assure sufficient dilution and minimize changes in the conditions of the discharge area.

#### 1.9.1.3 Evaporation Ponds

These can be used under favorable conditions related to a high evaporation index. The present system could be combined with the extraction of specific chemical products and their exploitation in industry.

## 1.9 EVACUACION DE FLUIDOS Y CONTROL AMBIENTAL

En la Metodología de Exploración Geotérmica, Fase de Factibilidad, han sido descritos los aspectos ambientales más importantes que deben ser considerados en la evaluación de un campo geotérmico, así como los sistemas para la evacuación de desechos, con énfasis en la reinyección.

Dependiendo del método que sea adoptado para la evacuación de los desechos geotérmicos, se deberá establecer un programa de control sistemático.

A continuación se presenta lo relacionado con el desecho de fluidos y su control para protección ambiental, en las fases de desarrollo y explotación.

### 1.9.1 Descargas de Aguas Residuales

#### 1.9.1.1 Reinyección

La reinyección al subsuelo es uno de los métodos que, en diferentes magnitudes, está siendo realizado, tanto en campos en explotación, como en campos en fase de desarrollo. Se presenta como una solución adecuada a los problemas de contaminación ambiental, permitiendo, si se inyectan dentro del yacimiento, disminuir las posibilidades de asentamientos del terreno por efectos de la explotación, complementar la recarga natural de los acuíferos y aumentar la extracción del calor almacenado en la formación.

Se considera que en los pozos seleccionados para la reinyección deben observarse las recomendaciones hechas en el punto 1.2

#### 1.9.1.2 Corrientes Superficiales a Tráves de Cañales y Cuerpos Receptores

El sistema de evacuación consiste en canales ó cauces revestidos de concreto, que conducen el efluente geotérmico desde las instalaciones superficiales hasta los cuerpos receptores, ha sido utilizado por muchos años, sin embargo las incrustaciones que se depositan deben ser removidas periódicamente.

Cuando las descargas de aguas geotérmicas se efectúan en ríos que poseen caudales lo suficientemente elevados, que permitan diluir el agua geotérmica a abajo de los niveles máximos aceptados por las normas establecidas, se considera una alternativa aceptable; aunque probablemente con limitaciones para la expansión de los sistemas.

Cuando los residuos se conducen hasta el océano, es recomendable realizar las investigaciones necesarias que aseguren la dilución suficiente para minimizar los cambios de las condiciones en el área de descarga.

#### 1.9.1.3 Lagunas de Evaporación

Pueden ser utilizadas en condiciones favorables, relacionadas con un alto índice de evaporación; el presente sistema podría combinarse con la extracción de productos químicos específicos y su explotación en la industria.

Treatment methods for residual water are currently being studied, with the aim of reducing problems during reinjection and eliminating residues.

The selection of a waste disposal system will depend on the particular features of each case.

#### 1.9.1.4 Controls in Natural Watercourses through Surface Discharge

The following factors must be considered:

- a) Chemical characteristics of the receiving body.
- b) Chemical characteristics of shallow aquifers.
- c) Chemical sampling and analysis of outcrops and shallow wells near the discharge canal.
- d) Periodical soil sampling and analysis to verify deficiency or enrichment in particular chemical elements.

#### 1.9.2 Discharge of Noncondensable Gases

It is advisable to implement a program of analysis of hydrogen sulphur in the environment, in order for subsequent stages of expansion to have available sufficient information to predict its impact.

In the event that the H<sub>2</sub>S content exceeds permissible levels, it will be necessary to utilize chemical processes whereby the hydrogen sulphide is oxidized or reduced to lessen contamination.

#### 1.9.3 Settling of Land and Seismicity

Due to the reduction of temperature and pressure because of reservoir exploitation, there is the possibility that the land will settle and that the area's seismicity will vary; these effects can be attenuated through reinjection. For their detection, it is recommended to do:

- Topographical surveys First order within the field, with reliable reference stations located outside the area of production, in order to measure vertical and horizontal movements of the terrain. In some cases, microgravimetric studies are convenient for control of changes in reservoir mass.
- Installation of a seismic network will permit determination of whether there are seismic changes which could be related to exploitation.

Actualmente se estudian métodos de tratamiento de aguas residuales cuyo objetivo es disminuir los problemas durante la reinyección y eliminación de residuos.

La selección del sistema de evacuación de desechos dependerá de las características particulares de cada caso.

#### 1.9.1.4 Controles en Cauces Naturales por Descargas Superficiales

Se tienen que considerar los siguientes factores:

- a) Características químicas del cuerpo receptor
- b) Características químicas de acuíferos someros
- c) Muestreo y análisis químico de afloramientos y pozos someros cercanos al cauce de desecho
- d) Muestreo periódico de suelos y su análisis para comprobar su deficiencia o enriquecimiento en elementos químicos particulares

#### 1.9.2 Descarga de Gases No Condensables

Es recomendable implementar un programa de medición de niveles de sulfuro de hidrógeno en el medio ambiente, con el fin de que en subsecuentes etapas de expansión, se disponga de información suficiente para pronosticar su impacto.

En caso de que los niveles de H<sub>2</sub>S excedan de lo permisible, será necesario emplear procesos químicos por los que se oxide o reduzca el sulfídrico para abatir esta contaminación.

#### 1.9.3 Asentamiento del Terreno y Sismicidad

Debido a la reducción de presión y temperatura por la explotación del yacimiento, existe la posibilidad de que se produzcan asentamientos del terreno y varíe la sismicidad del área, efecto que podrían ser atenuados por la reinyección. Para su detección, se recomienda efectuar:

- Levantamientos topográficos de primer orden, dentro del campo con estaciones de referencia confiables, localizadas fuera del área de explotación, para medir movimientos verticales y horizontales del terreno. En algunos casos son convenientes estudios microgravimétricos para el control de cambios de masa en el yacimiento.
- La instalación de una red sísmica permitiría determinar si hay cambios sísmicos que pudieran relacionarse con la explotación.

## 2. PRODUCTION

### 2.1 FIELD AND POWER PLANT OPERATION

#### 2.1.1 Well Operation

Well operation criteria in the production stage are the same as those laid out for the stage of development and evaluation (Topic 1.4).

Before integrating a new well into the system, care should be taken to blow out the section of the corresponding pipelines. During the production stage, a record should be kept on each well, in terms of:

- Wellhead pressure.
- Degree of opening.
- Steam and water flows.
- Thermodynamic and chemical characteristics of the fluid.
- Content of solids carried over.
- Temperature, pressure and caliper profiles.
- Detailed reports on interventions and maneuvers.
- Behavior of installed mechanical elements.

When there are reinjection wells operating, the same information should be compiled.

#### 2.1.2 Operation of Separation and Transportation Systems

The basic maneuvers of the operation and transportation systems can be summarized as a function of the following needs:

- Integration of the well into the station system.
- Control of the water level in the separator.
- Quantification of the flow and determination of the quantity of the separated steam.
- Maintenance or repair of installations.
- Chemical and solids sampling.
- Removal of a well from the plant system.

#### 2.1.2.1 Integration of the Well into the Plant System

The sequence of maneuvers for this operation is as follows:

- Heating of the separator and pipeline by means of a regulated well flow.
- Pressurization increasing the well flow, until reaching the separator's operating conditions.
- Interconnection to main branches or collectors which gather fluids from other wells.

During these maneuvers, it is recommended that special attention be paid to the following points:

- Water level within the separator.
- Wellhead pressures.
- Bleeding in the steam pipelines.

## 2 EXPLOTACION

### 2.1 OPERACION DE CAMPO Y CENTRAL

#### 2.1.1 Operación de Pozos

Los criterios de operación de pozos en la etapa de explotación son los mismos expresados para la etapa de desarrollo y evaluación (Tema 1.4).

Antes de integrar un nuevo pozo al sistema, deberá tenerse la precaución de soplar el tramo de tubería correspondiente. Durante la etapa de explotación se debe llevar un historial de cada pozo en lo que se refiere a:

- Presión en la cabeza.
- Grado de apertura.
- Gastos de vapor y agua.
- Características termodinámicas y químicas del fluido.
- Contenido de sólidos arrastrados.
- Perfiles de temperatura, presión y calibración.
- Informes detallados de intervenciones y maniobras diversas.
- Comportamiento de elementos mecánicos instalados.

Cuando se tienen pozos de reinyección en operación, se deberá recopilar la misma información.

#### 2.1.2 Operación de Sistemas de Separación y Transporte

Las maniobras de operación básicas de los sistemas de operación y transporte, pueden resumirse en función de las siguientes necesidades:

- Integración del pozo al sistema de la central.
- Control del nivel de agua en el separador.
- Cuantificación de flujo y determinación de la calidad del vapor separado.
- Mantenimiento o reparación de las instalaciones.
- Muestreos químicos y de sólidos.
- Salida del pozo del sistema de la central.

#### 2.1.2.1 Integración del Pozo al Sistema de la Central

La secuencia de maniobras para esta operación es la siguiente:

- Calentamiento del separador y tuberías por medio de flujo regulado del pozo.
- Presurización aumentando el flujo del pozo, hasta llegar a las condiciones de trabajo del separador.
- Interconexión a los ramales principales o colectores que reúnen los fluidos de otros pozos.

Durante estas maniobras se recomienda prestar especial atención a los siguientes puntos:

- Nivel de agua dentro del separador.
- Presiones de cabezal.
- Purgas en las tuberías de vapor.

- Pressure of the separator.
- Pressure in the collector.
- Possible leaks.

To quantify the separated water, the maneuvers consist basically of sending it to the silencer, where it is measured by means of a weir and losses due to flashing are estimated.

During quantification of the separated steam, a check should be made to see if there are any steam losses through the discharge pipes for the separated water. Simultaneously, quality is determined through sampling and chemical analysis of the steam and separated water.

The fluid samples for the chemical analyses and quantification of the solids which are carried over are taken through sampling valves installed in the water and steam discharge pipelines.

#### 2.1.2.2 Removal of a Well from the Plant System

The sequence of maneuvers to remove a well from the system is as follows:

- Operation of the tree valves in order to send the flow to the silencer, simultaneously closing:
  - a) The separator entrance, and attempting to maintain constant wellhead pressure.
  - b) The cut-off valve to the pipelines which collect fluids from other wells. This maneuver should take the same precautions as those indicated for the process of integrating a well into the system.

The operating maneuvers required for maintenance or repair of the installations, chemical sampling, solids carryover, and removal of the well from the system will depend on the arrangement of the equipment, pipelines and valves.

Quantification of the mass flow of individual wells, when the production of several of them is combined, is difficult and requires special facilities.

#### 2.1.3 Operation and Maintenance of Geothermal Power Plants

##### 2.1.3.1 Operation

Geothermal power plants are usually operated as baseload stations, in order to make better use of the energy from the geothermal field. Their operation is simpler than that of a conventional thermoelectric station since the steam generators and all of the auxiliaries are substituted for by the wells, requiring simpler controls; therefore, less personnel is needed to operate the plant, and the possibility of total or partial automation exists.

The steam used to drive the turbines generally contains

- Presión del separador.
- Presiones del colector.
- Posibles fugas.

Para cuantificar el agua separada, las maniobras consisten básicamente en enviarla hacia el silenciador, en donde por medio de un vertedor se efectúa su medición, estimándose las pérdidas por evaporación.

Durante la cuantificación del vapor separado, se debe verificar que no se tengan pérdidas de vapor a través de la tubería de salida de agua separada. La determinación de la calidad se hace en paralelo a esta maniobra por muestreo y análisis químico del vapor y agua separada.

El muestreo de fluidos para análisis químicos y cuantificación de sólidos arrastrados se realiza mediante las válvulas de muestreo instaladas en las tuberías de descarga de agua y vapor.

#### 2.1.2.2 Salida del Pozo del Sistema de la Central

La secuencia de maniobras que se realiza para sacar un pozo del sistema, es la siguiente:

- Accionamiento de las válvulas del árbol para enviar el flujo del pozo al silenciador; simultáneamente se deberá ir cerrando:
  - a) La entrada al separador, procurando mantener la presión del cabezal constante.
  - b) La válvula de corte a las tuberías que recolectan fluidos de los otros pozos. En esta maniobra se deberán tener las mismas precauciones que las indicadas para el proceso de integración del pozo al sistema.

Las maniobras de operación requeridas para el mantenimiento o reparación de las instalaciones, muestreo químico, arrastre de sólidos y salida del pozo del sistema, dependerán del arreglo de equipo, tuberías y válvulas.

La cuantificación del flujo másico de pozos individuales cuando la producción de varios de éstos se combina, es difícil y requiere instalaciones especiales.

#### 2.1.3 Operación y Mantenimiento de Centrales Geotermoeléctricas

##### 2.1.3.1 Operación

Las centrales geotermoeléctricas generalmente se operan como centrales de carga base, con objeto de aprovechar mejor la energía del campo geotérmico. Su operación es más simple que una central termoeléctrica convencional, ya que los generadores de vapor y todos sus auxiliares son substituidos por los pozos, requiriendo controles más sencillos; por lo tanto el personal que se requiere para operar la planta es menor, existiendo la posibilidad de automatización parcial o total.

El vapor empleado para impulsar las turbinas generalmente con-

noncondensable gases, condensates, dissolved solids and solids in suspension. The latter give rise to rapid scaling and erosion of in the turbines, diminishing their capacity and requiring more maintenance, so that the sound operation of the separators, filters and bleeders should be monitored at all times. Because of not having to return the condensate, it is possible to use direct-contact condensers instead of the surface type. Furthermore, due to the high content of noncondensable gases, it is necessary to operate these plants with a gas extraction system with a much greater capacity than that used in conventional thermal stations.

In geothermal power plants, the condensed vapor serves as make-up for the circulating water system; for this reason, they require a much smaller amount of external water supplies.

It is very important to know about the pollutants in the steam and the water with which the station operates, in order to prevent or resolve the problems that these could produce in the equipment and personnel. The type of treatment to be used will depend on the results of the water analyses, and it is recommended that special attention be paid to this aspect.

#### 2.1.3.2 Maintenance

Every geothermal field offers particular features which give rise to specific maintenance conditions in the plant; however, the following aspects can be regarded as common:

- Presence of scaling on the turbines, due to carryover of solids in the steam, whose cleaning it is recommended be done by means of sand-blasting in the dismantled turbine, to avoid damaging the mechanical elements.
- Presence of hydrogen sulphide giving rise to serious corrosion problems in all of that equipment which has copper or copper-alloy elements, especially in electrical equipment. Dissolved in the circulating water, the H<sub>2</sub>S attacks carbon steel, wood and concrete. Therefore, greater attention should be paid to maintenance of electrical equipment used for protection and measurement purposes, to oil and hydrogen coolers, to channels to circulate both cold and hot water, and to the cooling tower wood. This wood could also undergo degradation due to a chemical-biological attack.

In order to avoid environmental pollution and corrosion problems in the area of the plant, it is very important to dispose of the noncondensable gases and to keep that disposal system running smoothly. Due to the toxic nature of H<sub>2</sub>S, it is recommended that its concentration in the environment be monitored so that it will not exceed permissible levels. It is also recommended that there be personnel protection equipment for emergency situations. All of the other measures of security and hazard prevention taken in conventional plants are applicable to geothermal power plants and should be followed.

tiene gases no condensables, condensados, sólidos disueltos y en suspensión. Estos últimos originan una rápida incrustación y erosión en las turbinas, disminuyendo su capacidad requiriendo un mayor mantenimiento, por lo cual deberá vigilarse todo el tiempo la buena operación de separadores, filtros y purgas. Por no requerirse retornar el condensado, es posible utilizar condensadores de contacto directo, en lugar de los tipo de superficie. Por otro lado y debido al elevado contenido de gases no condensables, se requiere, para la operación de estas plantas, contar con un sistema de extracción de gases de mucha mayor capacidad que el de las centrales térmicas convencionales.

En las centrales geotérmicas el vapor condensado sirve de repuesto para el sistema de agua de circulación, razón por la cual en éstas se requiere mucha menor cantidad de suministro externo de agua.

Es de gran importancia conocer los contaminantes del vapor y del agua con que opera la central, con el fin de prevenir o resolver los problemas que éstos pudieran producir al equipo y al personal. De los resultados de los análisis del agua dependerá el tipo de tratamiento a emplear, en el cual se recomienda poner especial atención.

#### 2.1.3.2. Mantenimiento

Cada campo geotérmico presenta características particulares que originan condiciones específicas de mantenimiento en la central; sin embargo, pueden considerarse los siguientes aspectos comunes:

- Presencia de incrustaciones en las turbinas, por arrastre de sólidos en el vapor, cuya limpieza se recomienda hacer por medio de chorro de aire y arena en la turbina desmantelada, evitando dañar los elementos mecánicos de la misma.
- Presencia de sulfuro de hidrógeno que origina problemas fuertes de corrosión en todos aquellos equipos que tienen elementos de cobre y sus aleaciones, especialmente en los equipos eléctricos. Disuelto en el agua de circulación, el H<sub>2</sub>S, ataca al acero al carbón, a la madera y al concreto. Se deberá por lo tanto dar mayor atención al mantenimiento de equipos eléctricos de protección y medición, enfriadores de aceite y de hidrógeno, ductos de circulación de agua fría y caliente y a la madera de la torre de enfriamiento. Dicha madera puede además sufrir degradación por ataque químico biológico.

Para evitar problemas de contaminación ambiental y corrosión en el área de la central, es muy importante disponer y mantener operando adecuadamente el sistema de desecho de gases no condensables. Por el carácter tóxico del H<sub>2</sub>S, es recomendable vigilar que sus niveles de concentración en el ambiente, no sobrepasen los permitidos. Se recomienda disponer de equipo de protección personal para casos de emergencia.

Todas las demás medidas de seguridad y prevención de siniestros que se toman en las plantas de tipo convencional son aplicables a las centrales geotérmicas, y deberán igualmente ser seguidas.

## 2.2 WELL AND FIELD MAINTENANCE

### 2.2.1 Well Maintenance

This activity is geared to keeping the wells in the best possible operating conditions during their lifetime. It covers from the master valve to the bottom, including the expansion spool, anchor casings, production casings and short pipes.

#### Maintenance Criteria.

##### Master valve, spool and casing head.

It is necessary to review these elements periodically, both visually and using X-rays, for the purpose of verifying the condition of the body and the welding of the casing head and the spool to the casing. It is also important to run a periodical check on the operability of the master valve, since a great deal of the well security depends on it.

#### Production Casings.

If changes are observed in surface temperature and pressure in a well, it will be necessary to program a check.

Before starting, it is necessary to know the following data in detail:

- Design and construction of the well.
- Operational background.
- Prevailing conditions.

The problems which could arise in the casings are as follows:

#### 2.2.1.1 Scaling in the Production Casings

When a well begins to become scaled, this can be detected through the decline in flow production, which can be verified through gauging.

#### Alternatives for Cleaning Off Scaling:

##### a) Well without flowing

Depending on the particular features of each well, a method to depress it must be selected, in an attempt to avoid sharp temperature changes. Simultaneously, temperature, pressure and caliper readings are taken.

With the analysis of these results, the magnitude of the scaling and the program for their elimination is defined.

The equipment recommended for cleaning off the scaling is rotary drilling equipment.

## OLADE

### 2.2 MANTENIMIENTO DE POZOS Y CAMPO Organización Latinoamericana de Energía

### 2.2.1 Mantenimiento de Pozos CENTRO DE INFORMACIÓN

Esta actividad está destinada a mantener los pozos en las mejores condiciones de trabajo posibles durante su vida útil y comprende desde la válvula maestra hasta el fondo, incluyendo carrete de expansión, tubería de anclaje, tubería de producción y tuberías cortas.

#### Criterios de Mantenimiento.

##### Válvula maestra, carrete y cabezal

Es necesaria una revisión periódica de estos elementos, visual y radiográfica, con el objeto de verificar el estado en que se encuentra el cuerpo y la soldadura del cabezal y el carrete con la tubería de revestimiento. Asimismo, es importante revisar periódicamente la operabilidad de la válvula maestra, ya que de ella depende en gran parte la seguridad del pozo.

#### Tuberías de Producción.

Si se observan cambios en la presión y temperatura superficial de un pozo, será necesario programar su revisión.

Antes de iniciar esta revisión, es necesario conocer con detalle los datos siguientes:

- Diseño y construcción del pozo.
- Antecedentes operacionales.
- Condiciones prevalecientes.

Los problemas que se pueden presentar en las tuberías son los siguientes:

#### 2.2.1.1 Incrustaciones en las Tuberías de Producción

Cuando se inicia la incrustación de un pozo, se detecta en su disminución de producción de flujo y esto será comprobado mediante calibración.

#### Alternativas para limpiar las incrustaciones:

##### a) Con el pozo sin fluir.

Dependiendo de las características particulares de cada pozo, se deberá seleccionar el método para depresionarlo, tratando de evitar los cambios bruscos de temperatura. Simultáneamente se procederá a correr registros de temperatura, presión y calibración.

Con el análisis de estos resultados se define la magnitud de las incrustaciones y el programa de limpieza.

El equipo recomendado para limpiar estas incrustaciones es el equipo de perforación rotatoria.

#### b) Well flowing

It is possible to remove scaling in a production casing under these conditions, but keeping in mind the risks of a flowing well. The equipment used is rotary, with the variation that a cooling system is required as a preventive measure at wellhead, to permit operation of the drilling tools with the well under pressure. The pressures and flows at the wellhead should be as low as possible.

##### 2.2.1.2 Collapses and Fractures in the Production Casings

This is one of the most serious problems which can arise in a geothermal well, and its origin is directly related to the following factors:

- Casing design.
- Problems during drilling.
- Problems during the introduction of supporting and production casings.
- Type of cement and cementations.
- Aggressivity of geothermal fluids.
- Operating problems.

Options for the solution of these problems:

##### Collapses.

The operation consists of trying to reestablish the original casing diameter with the special set of tools which exist in drilling technology.

When the collapse is total and depending on the number, a workover program should be considered in order to allow the well to continue in use as a production well, or else it will have to be abandoned.

##### Fractures.

In the case that these are longitudinal, the same method described above is used. If the crack in the production casing is in the part protected by the support, it is possible to continue exploiting the well without a new production casing; when the fracture is outside that part, it is necessary to consider the use of a new casing because the risk is run that when the well is in production the fluid would flow outside the casing to the surface.

When the fracture is in the slotted part of the casing, opposite the producing stratum, it is possible to continue exploiting the well, but with due care in its operation.

##### 2.2.1.3 Corrosion in Production Casings

This can appear on the inside or outside of the production casings. The causes can be attributed to chemical and electrolytic attacks, associated also with a high concentration of hydrogen sulphide and salt water at high temperatures.

#### b) Con el pozo fluyendo.

Es posible realizar la desincrustación de una tubería de producción bajo esta condición teniendo presentes los riesgos de un pozo fluyendo. El equipo utilizado es rotatorio, con la variante de que se requiere, en la cabeza del pozo, un sistema preventor rotatorio refrigerado, que permita operar las herramientas de perforación con el pozo bajo presión. Las presiones y flujos que se deben tener en la cabeza del pozo deberán ser las más bajas posibles.

##### 2.2.1.2 Colapsos y Fracturas en las Tuberías de Producción

Es uno de los problemas más graves que se pueden presentar en un pozo geotérmico y su origen está relacionado en forma directa con los siguientes factores:

- Diseños de tubería de revestimiento.
- Problemas durante la perforación.
- Problemas durante la introducción de las tuberías de ademe y las de producción.
- Tipo de cemento y cementaciones.
- Agresividad de los fluidos geotérmicos.
- Problemas operacionales.

Opciones para la solución de estos problemas:

##### Colapsos.

La operación consiste en tratar de restablecer el diámetro original de la tubería, con el equipo de herramientas especiales que existen en la tecnología de perforación.

Cuando el colapso es total y dependiendo del número de ellos, se deberá considerar su programa de rehabilitación para continuar utilizándolo como pozo productor o abandono del mismo.

##### Fracturas.

En el caso que estas sean longitudinales, se emplea el mismo método anterior. Si la fractura de la tubería de producción está en la porción protegida por el ademe, es posible continuar explotando el pozo sin necesidad de colocar una nueva tubería de producción; cuando la fractura está fuera de esta porción, será necesario considerar el uso de una nueva tubería porque existe el riesgo de que cuando el pozo este en producción, el flujo avance por fuera de las tuberías hasta la superficie.

Cuando la fractura está en la parte de la tubería ranurada frente al estrato productor, es posible continuar explotando el pozo, con el debido cuidado en su operación.

##### 2.2.1.3 Corrosión en las Tuberías de Producción

Se puede presentar en la parte interna y externa de las tuberías de producción. Las causas se atribuyen a ataques químicos y electrolíticos, asociándolos también con una alta concentración de sulfuro de hidrógeno y agua salada a elevada temperatura.

These can bring about total failures in some sections of the production casing.

In these cases, for the workover of wells a new production casing should be placed within the one which developed a flaw, as long as the latter remains aligned.

Another repair option, when required, is to introduce, hang and cement a section of casing to cover the damaged part.

#### 2.2.1.4 Scaling of the Production Zone

When scaling forms in a slotted casing, so that the flow drops to non-commercial values, it is recommended that shots be fired in the casing, in that zone or another one, previously selected.

#### 2.2.1.5 Loss of Well Control

When a well is being operated, the possibility that it could go out of control should be borne in mind.

This can happen due to damage in:

- The valve tree.
- The well casings.

#### Loss of Well Control Due to Damage in the Valve Tree.

- The factors which give rise to this type of problems are related to quality, capacity and design of the materials, valves, and wellhead connections, as well as inadequate maintenance and incorrect valve tree operations.
- Other factors, just as important as the ones mentioned above, are increased production and the carryover of solids in the flow, which can cause erosion in the control valves.
- The solution for this type of problems is to undertake a series of operations with the well flowing.

#### Loss of Control Due to Damage in the Well Casings.

- This type of problem is more likely to occur when there is one single support casing, one anchor casing and one production casing. If the production casing cracks or collapses, the flow can leave the casing.

One of the advisable procedures to be followed is:

- To have vertical well discharge.
- To install lateral discharge lines and high-pressure injection pipes.
- To send the flow to the lateral discharges.
- To install preventors with high-temperature packings and a cooling system.
- To introduce a pipe of adequate diameter, with integral

Estos pueden originar desprendimientos totales en secciones de la tubería de ademe.

En estos casos, para la rehabilitación de pozos deberá colocarse tubería nueva de producción dentro de la que falló, siempre y cuando no se haya perdido la alineación de la anterior.

Otra alternativa de reparación, cuando el caso lo requiera, es introducir, colgar y cementar una sección de tubería de revestimiento cubriendo la parte dañada.

#### 2.2.1.4 Incrustación de Zona Productora

Cuando se presenta incrustación de la tubería ranurada a tal grado que el caudal disminuya a valores no comerciales, se recomiendan disparos en la tubería, en esa zona u otra previamente seleccionada.

#### 2.2.1.5 Descontrol de Pozos

Cuando se opera un pozo deberá tenerse presente la posibilidad de un descontrol.

Estos se pueden presentar por daños en:

- El árbol de válvulas.
- Las tuberías del pozo.

#### Descontrol del Pozo por Daños en el Árbol de Válvulas.

- Los factores que originan este tipo de problemas están relacionados con la calidad, capacidad y diseño de los materiales, válvulas, conexiones de la cabeza del pozo, así como mantenimiento inadecuado y operaciones incorrectas al árbol de válvulas.
- Otros factores tan importantes como los mencionados son el incremento de producción y el arrastre de sólidos aunados al flujo, que pueden erosionar las válvulas de control.
- La solución de este tipo de problemas es la de efectuar una serie de operaciones con el pozo fluyendo.

#### Descontrol por Daños en las Tuberías del Pozo.

- Este tipo de problemas tiene mas probabilidades de ocurrir cuando se tiene únicamente una tubería de ademe, una de anclaje y otra de producción, si se fractura o colapsa la de producción, el flujo puede avanzar por fuera de la tubería de reves timiento.

Uno de los procedimientos recomendables a seguir es el siguiente:

- Descargar verticalmente el pozo.
- Instalar líneas de descarga laterales y tubería de inyección para alta presión.
- Derivar el flujo a las descargas laterales.
- Instalar preventores con empaquetaduras para alta temperatura y sistema de enfriamiento.
- Introducir una tubería de diámetro adecuado, con juntas inte-

joints having an external diameter equal to that of the pipe, preferably down to the bottom of the well; to pump down mud; and then to cement.

What is described is a very general outline of this type of operation, which calls for experienced personnel and special equipment and materials.

#### 2.2.2 Field Maintenance

The maintenance of a geothermal field under exploitation basically covers the work geared to keeping the mechanical elements and civil structures at the surface in good condition.

The system which permits handling of the geothermal fluid while conducted to its final destination is subject to multiple and varied problems, with repercussions for deterioration of the function for which they were designed. The main ones are: scaling, corrosion, erosion, wet and salty environments, temperature, pressure, stress, reactions, differential settling of terrain, drainage and filtration.

The principal surface elements are listed below, with a brief description of their functions, problems and maintenance.

##### 2.2.2.1 Valve Tree of the Well

This controls the well outflow, by means of a set of valves which regulate the fluid discharge to the separators, silencers and pipelines.

The concentration of the chemical components of the fluids and high pressures and temperatures can cause failures in the packings and lubricating grease, thereby bringing about leaks, corrosion, scaling, and difficulties of valve operation, which require excessive operational efforts and may cause ruptures and deformations in the elements. When there is solids carryover, it is possible to cause wear and tear on the mechanical elements, favoring leaks.

For maintenance of the valve tree, cleaning and outside painting with high-temperature paint, continuous cleaning and lubrication of the exposed part of the rod, lubrication for high temperature, adjustments of the packing gland and replacement of the packing are recommended. It is convenient to run periodic opening and closing operations in the valves, in order to break off the thin layers of scaling. When some element of the tree must be replaced for reasons of operation and security, it is preferable to change the damaged part of the tree or the entire tree, without including the master valve, in order to proceed with maintenance of these parts in the workshop. Previously, the well pressure must be lowered, taking into account the recommendations for depressurization mentioned in the previous chapter.

graales con diámetro exterior igual al de la tubería, de preferencia hasta el fondo del pozo, bombear lodo y después cemento.

Lo descrito es un bosquejo muy general de este tipo de operaciones, que implica personal con experiencia, equipo y materiales especiales.

##### 2.2.2 Mantenimiento del Campo

El mantenimiento en un campo geotérmico en explotación comprende básicamente aquellos trabajos tendientes a conservar en buen estado de funcionamiento los elementos mecánicos y obras civiles de superficie.

El sistema que permite manejar el fluido geotérmico conducido hasta su destino final, se encuentra expuesto a múltiples y variados problemas, que repercuten en el deterioro de la función para la que han sido diseñados. Los principales son causados por incrustación, corrosión, erosión, medio ambiente húmedo y salino, temperatura, presión, esfuerzos, reacciones, asentamientos diferenciales del terreno, drenaje y filtraciones.

A continuación se mencionan los principales elementos de superficie haciendo una breve descripción de su función, problemas y mantenimiento.

##### 2.2.2.1 Arbol de Válvulas del Pozo

Controla el flujo a la salida del pozo, por medio de un conjunto de válvulas que regulan la descarga del fluido a separadores, silenciadores y ductos.

La concentración de los componentes químicos de los fluidos y las elevadas presiones y temperaturas pueden provocar fallas de las empaquetaduras y grasas lubricantes, ocasionando con esto fugas, corrosión, incrustaciones y dificultad de operación en las válvulas, lo que ocasiona esfuerzos excesivos al operarlas, pudiendo causar roturas y deformaciones en los elementos de éstas. Cuando se presenta arrastre de sólidos, se puede provocar erosión de elementos mecánicos, favoreciendo las fugas.

Para el mantenimiento del árbol de válvulas, se recomienda limpieza y pintura exterior para alta temperatura, limpieza y lubricación permanente en la parte expuesta del vástago, lubricación para alta temperatura, ajuste al estopero y reposición de empaque; son convenientes las operaciones de apertura y cierre de válvulas en forma periódica, con objeto de romper espesores delicados de incrustación. Cuando por razones de operación y seguridad algún elemento del árbol tiene que reponerse, es preferible el cambio de la parte dañada del árbol, o del árbol completo, sin incluir la válvula maestra, para proceder con el mantenimiento de esas partes en taller, bajando previamente la presión del pozo tomando en cuenta las recomendaciones para despresurización que se mencionaron en el capítulo anterior.

#### 2.2.2.2 Well-Separator Interconnection

When the separation system is connected to the valve tree, there should be sufficient flexibility to absorb differential movements between the separator and the valve tree.

The most common problems in this section are: erosion and the consequent leaks which generally arise in changes of direction. One of the solutions to this problem is installation of a tee-connection instead of the 90° elbow joint.

#### 2.2.2.3 Equipment Protection System

The rupture disks, the safety or relief valve and the ball valve constitute the protection system against high pressure in the separator and against the carryover of water in the steam.

The action of a salty wet environment causes corrosion on the outside of the rupture disk and, therefore, leaks or ruptures below the design pressure can occur. In the ball valve there are problems of inoperability due to scaling in the space between the globe and the guide, as well as deformations, ruptures and wear and tear on the latter, and immobility of the globe due to rupture of the centering basket. As maintenance practices, it is recommended that:

The rupture disks be inspected, periodically replaced and protected against humidity with impermeable materials. It is also recommended that there be two with different rupture pressures, with a cutoff valve in the lowest range. Sight inspections and hydrostatic testing should be done as frequently as possible. Given the importance of sound functioning, it is also convenient to open the ball valve and repair it if necessary. Keep the thermal insulation in good condition.

#### 2.2.2.4 Separator

Its function consists of separating the phases for their later conduction. The principal problems in this equipment are: erosion due to carryover of solids and scaling. It is recommended that there be periodic checks, scale removal and cleaning through the accesses installed for that purpose; revision and verification of the pressure connections and level indicator; maintenance in good condition of the thermal insulation of the metal body of the separator, anticorrosive paint and enamel on the metal structure, screws and exposed parts.

#### 2.2.2.5 Cutoff Valves

These are needed to carry out the maneuvers to change the direction of the flows in the pipelines. The problems with these valves are similar to those mentioned in the case of the valve tree of the well. It should be mentioned that the problem of scaling does not occur in the case of separated steam. Maintenance similar to that of the valve tree of the well is recommended.

#### 2.2.2.2 Interconexión Pozo-separador

Cuando el sistema de separación esta conectado al árbol de válvulas, debe existir la suficiente flexibilidad para absorber movimientos diferenciales entre el separador y el árbol de válvulas.

Los problemas mas comunes que esta sección presenta son las erosiones y las consecuentes fugas que se presentan generalmente en los cambios de dirección. Una de las soluciones a este problema es instalar una conexión en forma de "T" en lugar del codo de 90°.

#### 2.2.2.3 Sistema de Protección del Equipo

Los discos de ruptura, la válvula de seguridad o alivio y la válvula esférica, constituyen el sistema de protección contra alta presión en el separador y contra el arrastre de agua en el vapor.

La acción del medio ambiente salino y húmedo origina corrosión en la parte exterior del disco de ruptura, ocasionando posibles fugas o rupturas por debajo de las presiones de diseño. En la válvula esférica se presentan problemas de inoperabilidad por incrustación del espacio entre el globo y la guía, también deformaciones, rotura y desgaste de esta última e inmovilidad del globo por rotura de la canastilla centradora. Como prácticas de mantenimiento se recomiendan:

En los discos de rompimiento, su inspección y reemplazo periódico y protección contra la humedad, con materiales impermeables, recomendándose que sean dos a diferente presión de ruptura, colocando una válvula de corte en el de rango mas bajo, inspección ocular y prueba hidrostática, tan frecuentemente como sea posible. Dado lo importante de su buen funcionamiento, también es conveniente destaparla y repararla en caso necesario. Conservar en buen estado el aislamiento térmico.

#### 2.2.2.4 Separador

Su función consiste en separar las fases para su posterior conducción. Los principales problemas en este equipo son: la erosión por arrastre de sólidos y la incrustación. Se recomienda revisión, desincrustación y limpieza en forma periódica, por los accesos instalados para tal efecto, revisión y verificación de las tomas de presión y del indicador de nivel; conservación en buen estado del aislamiento térmico del cuerpo metálico del separador, pintura anticorrosiva y esmalte a la estructura metálica, tornillería y partes expuestas.

#### 2.2.2.5 Válvulas de Corte

Se requieren para efectuar maniobras de cambios de dirección de flujos en tuberías conductoras. Los problemas en estas válvulas son similares a los mencionados en el caso del árbol del pozo. Cabe mencionar que el problema de incrustaciones no se presenta en el caso de vapor separado. Se recomienda un mantenimiento similar al del árbol de válvulas del pozo.

#### 2.2.2.6 Pipelines for Mixture, Steam and-Water

These conduct the geothermal fluids in their different phases to their final destination, within the electric power generation process. The conduction of mixtures and water presents some characteristic problems such as: formation of scaling that reduce capacity and, depending on the type of flow, displacement of the pipelines which in turn cause them to fall out of their supports. In the conduction of steam, the only problem that could arise is corrosion on the inside of the pipe. In the pipelines for mixtures and water, it is recommended that inspection handholes be placed to observe the degree of scaling and to clean the pipelines, mechanically or hydraulically, on the inside as well as to clean and coat them with paint for high temperatures on the outside. In the steam pipelines, it is recommended that enough appropriate condensate bleeders be installed.

#### 2.2.2.7 Thermal Insulation of Pipelines

Its function is to avoid heat losses in the fluid transported by the pipelines. The problem observed is deterioration of the insulation materials due to weathering.

It is recommended that deteriorated sections be replaced or repaired.

#### 2.2.2.8 Supports and Metal Structures

Their function is to transmit to the ground the loads due to the weight of the pipes and fluids. The main problems which arise are corrosion and deformation due to overstress in the elements and flaws in the foundations.

For maintenance purposes, anticorrosive coatings, repairs or replacements, according to the case, and periodical inspections of the sliding supports is recommended.

#### 2.2.2.9 Drainage System

This evacuates the condensate and the water from the pipeline system and from the pressure vessels. The problems observed are scaling, plugging and corrosion inside the equipment and pipes. Periodical cleaning of the bleeders and lubrication of the valves is recommended.

#### 2.2.2.10 Silencer and Weir

This lessens the noise caused by the discharge of fluids into the atmosphere and permits measurement of the water-flow.

The main problems observed are scaling and erosion and, in the case of metal silencers, corrosion. Periodical cleaning of the silencer chamber and the water canal is recommended.

#### 2.2.2.11 Cellar

This serves as support for the valve tree, controls the

#### 2.2.2.6 Tuberías Conductoras de Mezcla, Vapor y Agua

Conducen el flujo geotérmico en sus diferentes fases a sus destinos finales, dentro del proceso de generación de energía eléctrica. La conducción de mezcla, como la de agua, presenta algunos problemas característicos como son: formación de incrustaciones que disminuyen su capacidad y dependiendo del tipo de flujo, se pueden presentar desplazamientos de las líneas que originan caídas de sus soportes. En la conducción del vapor el único problema que se puede presentar es la corrosión de la parte interior de la tubería. En las tuberías de mezcla y agua se recomienda colocar registros para observación del grado de incrustación y efectuar la limpieza de las mismas, mecánica o hidráulicamente, así como limpieza y recubrimiento con pintura para elevada temperatura en la parte externa. En las tuberías de vapor, se recomienda instalar purgas de condensado suficientes y apropiadas.

#### 2.2.2.7 Aislamiento Térmico de Tuberías Conductoras

Su función es la de evitar la pérdida de calor del fluido conducido por las tuberías. El problema observado es el deterioro de los materiales de aislamiento por el intemperismo.

Se recomienda la reposición o reparación de tramos deteriorados.

#### 2.2.2.8 Soporterfa y Estructuras Metálicas

Su función es el transmitir al terreno las cargas debidas al peso de las tuberías y los fluidos. Los principales problemas que se presentan son la corrosión y la deformación por sobre-esfuerzos de los elementos y fallas en la cimentación.

Se recomienda, para su mantenimiento recubrimientos anticorrosivos, reparación o reposición, según sea el caso e inspección periódica de los soportes deslizantes.

#### 2.2.2.9 Sistema de Drenaje

Desaloja el condensado y el agua del sistema de tuberías y de los recipientes a presión. Los problemas observados son de incrustación, taponamiento y corrosión en el interior de los equipos y tuberías. Se recomienda la limpieza periódica de las purgas y lubricación de las válvulas.

#### 2.2.2.10 Silenciador y Canal Vertedor

Atenúa el ruido provocado por la descarga de fluidos a la atmósfera y permite la medición del caudal de agua.

Los principales problemas observados son la incrustación y la erosión; en el caso de los silenciadores metálicos, la corrosión. Se recomienda la limpieza periódica de la cámara del silenciador y del canal de agua.

#### 2.2.2.11 Contrapozo

Sirve de apoyo al árbol de válvulas, controla la presencia de

presence of phreatic water and avoids corrosion. The principal problems seen are filtration of mud through cracks and fractures, degradation of concrete, and accumulation of rainwater. It should be inspected and cleaned, sealing the cracks and fractures. The design should consider a drainage system to eliminate water from the cellar.

aguas freáticas, evitando la corrosión. Los principales problemas observados son las filtraciones de lodos por grietas y fracturas, la degradación del concreto y la acumulación de agua de lluvia. Debe inspeccionarse y limpiarse, sellando las grietas y fracturas. El diseño deberá considerar el sistema de drenaje, para eliminar el agua del contrapozzo.

### 2.3 BASIC CRITERIA FOR ANALYSIS, EVALUATION AND FORECASTING OF RESERVOIR BEHAVIOR

Reservoir studies, from evaluation and analysis of statistical data up through utilization as a tool for forecasting through empirical methods or mathematical models, began on the basis of oil and geohydrological techniques which over time have taken on a shape of their own and form part of geothermal technology.

#### 2.3.1 Statistical Information Analysis

Confirmation of the theories and conceptual models for reservoir behavior calls for a history of the basic parameters since these are the indicators of the evolution of a field under exploitation.

On the basis of the statistical analysis of the information, it is possible to structure reservoir production policies. Hence, the most important information to be considered within a program of statistical control is the following:

- a) Pressure profiles in the wells.
- b) Temperature profiles in the wells.
- c) Wellhead pressure.
- d) Well production.
- e) Characteristic production curves.
- f) Chemical variations in the geothermal fluids produced.
- g) History of enthalpy or temperature of the fluids produced or injected.
- h) Reinjecting flows.
- i) Monitoring behavior of observation wells.

The statistical methods used in this analysis are the conventional ones, and do not need to be described in this methodology.

##### a) Pressure Profiles in the Wells.

It is recommended that the results of these readings be presented in the following graphic forms:

- In coordinates for depth versus pressure, in order to present the variation in pressure along the well.
- In coordinates for pressure versus time, referring to one same uniform elevation for the entire field.

When the well conditions are considered with the minimum possible flow, the results are approximately representative of the state of the reservoir at the feed point.

##### b) Temperature Profiles in the Wells.

It is recommended that these be presented graphically as follows:

- In coordinates for depth versus temperature.
- In coordinates for temperature versus time.

### 2.3 CRITERIOS BASICOS PARA ANALISIS, EVALUACION Y PRONOSTICO DEL COMPORTAMIENTO DE RESERVORIOS

Los estudios del reservorio, desde la evaluación y análisis estadístico de datos hasta su utilización como una herramienta de predicción por medios empíricos o modelos matemáticos, se iniciaron a partir de técnicas petroleras y geohidrológicas que, con el tiempo, han tomado su fisonomía propia y forman ya parte de una tecnología geotérmica.

#### 2.3.1 Análisis Estadístico de la Información

La confirmación de las teorías y de los modelos conceptuales sobre el comportamiento del reservorio, requiere el contar con historia de los parámetros básicos, ya que éstos son los indicadores de la evolución del campo en explotación.

A partir del análisis estadístico de la información, se pueden estructurar las políticas de explotación del reservorio. De esta manera se recomienda que la información más importante a considerar dentro de un programa de control estadístico, es la siguiente:

- a) Perfiles de presión en los pozos.
- b) Perfiles de temperatura en los pozos.
- c) Presiones de cabezal.
- d) Producción de los pozos.
- e) Curvas características de producción.
- f) Variaciones químicas de fluidos geotérmicos producidos.
- g) Historia de la entalpía o temperatura de los fluidos producidos o inyectados.
- h) Caudales reinyectados.
- i) Comportamiento de pozos de observación.

Los métodos estadísticos utilizados en este análisis son los convencionales y no necesitan ser descritos en esta metodología.

##### a) Perfiles de presión de pozos.

Se recomienda presentar los resultados de estos registros en las siguientes formas gráficas:

- En coordenadas de profundidad contra presión, para disponer de una presentación de la variación de presión a lo largo del pozo.
- En coordenadas de presión contra tiempo, referidas a una misma elevación uniforme en todo el campo.

Cuando se consideran las condiciones del pozo al mínimo gasto posible, los resultados son aproximadamente representativos del estado del reservorio en el punto de alimentación.

##### b) Perfiles de temperatura de los pozos.

Se recomienda presentarlos gráficamente de la manera siguiente:

- En coordenadas de profundidad contra temperatura.
- En coordenadas de temperatura contra tiempo.

In this case, when the well is operated with a minimum flow during the run, the results are considered as approximately representative of the neighboring formations.

c) Wellhead Pressure in the Wells.

This information is collected for each well by means of continuous pressure recorders. The manometer connected to the valve tree thus provides the variation in this pressure at every moment, and it is useful to construct a graph of wellhead pressure versus time for each well.

d) Production in the Wells.

The program of measurements should include the total geothermal fluid production and the flows of the separated phases. It is convenient to represent the results in the following way:

- In a table or graph: the results of the monthly measurements of total production and of each phase, for each one of the wells integrated into the station system, indicating the reference pressure; similarly, the cumulative annual values.
- In a table or graph, the cumulative values of the results under the preceding point, presented in monthly form for the entire field under production, for total production and for each phase.
- In a table or graph: on the basis of the results of the first point, the overall average for total production from each well for each month and year; also, for each phase.

e) Characteristic Production Curves.

Curves are constructed on the basis of the well production under different head pressures and should be periodically updated in order to learn about the evolution of the reservoir. The curves should contain production data on water, steam, mixture and enthalpy.

f) Chemical Variations.

This program should include the chemical control of the fluid in its two phases.

Within the statistical control of the liquid phase, the following updated tables are recommended, as well as the corresponding graphs:

- Variations in the concentration of the chemical components dissolved in the liquid phase, by well, and calculated at atmospheric pressure and under reservoir conditions.

g) History of the enthalpy or temperature of the geothermal fluids produced.

En este caso, cuando se opera el pozo con el mínimo gasto durante la corrida, se consideran los resultados como aproximadamente representativos de las formaciones vecinas.

c) Presión de Cabezal en los Pozos.

Por medio de registradores continuos de presión se recolecta esta información por cada pozo. El manómetro conectado al árbol de válvulas proporciona, de esta manera, la variación en todo momento de esta presión, siendo conveniente construir una gráfica de presión de cabezal contra tiempo por cada pozo.

d) Producción de los Pozos.

El programa de medición debe incluir la producción total de fluido geotérmico y los flujos de las fases separadas. Es conveniente representar los resultados de la siguiente manera:

- En forma de tabla o gráfica, los resultados de mediciones mensuales de la producción total y de cada fase, para cada uno de los pozos integrados al sistema de la central, indicando la presión de referencia. En forma semejante los valores anuales acumulados.
- Presentar en forma de tabla o gráfica los valores acumulados de los resultados del inciso anterior presentados en forma mensual para todo el campo en explotación, para la producción total y de cada fase.
- En forma de tabla o gráfica, a partir de los resultados del primer inciso, el promedio en total de producción total de cada pozo para cada mes y por cada año. De igual forma para cada una de las fases.

e) Curvas Características de Producción

A partir de la producción del pozo a diferentes presiones en la cabeza se construyen curvas, las cuales se deberán actualizar periódicamente para conocer la evolución del reservorio. Estas curvas deberán contener datos de producción de agua, vapor, mezcla y entalpía.

f) Variaciones Químicas.

Este programa debe comprender el control químico del fluido en sus dos fases.

Dentro del control estadístico de la fase líquida, se recomiendan las siguientes tablas actualizadas, así como sus gráficas correspondientes:

- Variaciones de la concentración de los componentes químicos disueltos en la fase líquida por pozo y calculadas a la presión atmosférica y a las condiciones del reservorio.

g) Historia de la entalpía o temperatura de los fluidos geotérmicos producidos

- On the basis of the data under the preceding point, draw graphs for each well showing variations in the temperatures calculated from chemical indexes such as Na/K, Na/Ka and SiO<sub>2</sub> over time.

For the steam phase:

- For each well, the concentration of noncondensable gases and its variation over time.

### 2.3.2 Interpretation of Changes in Parameters over Time

The flow in the reservoir and in the wells depends on many factors, e.g., the characteristics of the reservoir (physical properties, boundary conditions, etc.); on the physical and chemical processes occurring therein (heat conduction and convection, mass flow, condensation/boiling, chemical reactions, etc.); on the operation, characteristics, number and location of the production and injection wells; and on the intensity of the energy resource exploitation.

Since these parameters and processes can change with the evolution of the system due to exploitation, the values measured through empirical methods to forecast the reservoir's future behavior usually cannot be extrapolated. This requires the use of mathematical models (analytical or numerical).

Before applying these models to the evaluation of the reservoir and predicting its behavior, as a function of the net extraction of subsurface heat and fluids, it is necessary to develop a conceptual model for the geothermal system, considering the principal phenomena which occur in the field before exploitation begins (natural fluid and heat recharge and discharge, mixture of fluids of different characteristics, segregation of the liquid and gaseous phases, fluid condensation and/or boiling, etc.). These conceptual models are quantified and, using mathematical methods, a model for the natural state of the geothermal system (prior to initiation of production) is developed.

This natural model should yield values (temperatures, pressures, chemical characteristics of the fluids, discharge of surface manifestations, etc.) which are comparable to the ones originally measured in the field (perfect coincidence is highly improbable). The development of this model can mean a great deal of work; but at the end of this stage, the properties of the rocks and fluids of the system, the circulation of heat and fluids in the subsurface and the physical and chemical processes which initially occurred in the reservoir, will have been evaluated.

The next step is to simulate, by means of these mathematical techniques, the changes resulting from exploitation of the resource and to compare the values observed with the ones calculated. Generally speaking, these require the adjustment of some properties, characteristics and configurations determined by the natural model. Once reasonable agreement has been reached between the measured and calculated parame-

- A partir de los datos del punto anterior, construir gráficas por pozo que muestran la variación en el tiempo de las temperaturas calculadas a partir de índices químicos, tales como Na/K, Na/Ka y SiO<sub>2</sub>.

Para la fase de vapor:

- Para cada pozo, la concentración de gases incondensables y su variación con el tiempo.

### 2.3.2 Interpretación de los Cambios de los Parámetros con el Tiempo

El flujo en el reservorio y en los pozos depende de muchos factores como son: las características del reservorio (propiedades físicas, condiciones de frontera, etc.); de los procesos físicos y químicos que ocurren en el mismo (conducción y convección térmica, flujo de masa, condensación/ebullición, reacciones químicas, etc.), de la operación, características, número y localización de los pozos productores e inyectores y de la intensidad de la explotación del recurso energético.

Como estos parámetros y procesos pueden cambiar con la evolución del sistema por la explotación, en general no se pueden extraer los valores medidos mediante métodos empíricos para pronosticar el comportamiento futuro del reservorio. Esto requiere el uso de modelos matemáticos (analíticos o numéricos).

Antes de aplicar estos modelos a la evaluación del reservorio y predecir su comportamiento a medida que continúa la extracción neta de calor y fluidos del subsuelo, hay que desarrollar un modelo conceptual del sistema geotérmico que considere los fenómenos principales que ocurren en el campo antes de que se inicie la explotación (recarga y descarga natural de fluidos y calor, mezcla de fluidos de diferentes características, segregación de las fases líquida y gaseosa, condensación y/o ebullición de los fluidos, etc.). Estos modelos conceptuales se cuantifican, desarrollando con métodos matemáticos un modelo del estado natural del sistema geotérmico (anterior al inicio de la explotación).

Este modelo natural deberá arrojar valores (temperaturas, presiones, características químicas de los fluidos, descarga de las manifestaciones superficiales, etc.) que sean comparables con los medidos originalmente en el campo (la coincidencia exacta es muy improbable). El desarrollo de este modelo puede ser trabajoso, pero al final de esta etapa se habrán evaluado las propiedades de las rocas y fluidos del sistema, la circulación de calor y fluidos en el subsuelo y los procesos físicos y químicos que ocurran inicialmente en el reservorio.

El próximo paso es el simular, mediante estas técnicas matemáticas, los cambios resultantes de la explotación del recurso y comparar los valores observados con los calculados. Generalmente esto requiere el ajuste de algunas propiedades, características y configuración determinados por el modelo natural. Una vez que se obtenga una concordancia razonable entre los parámetros medi-



ters, the system's future behavior can be estimated. As a general rule, it is not advisable for the period of estimation to exceed a period equal to the period for which the model has been validated. Thus, if the parameters for five years were favorably compared (for example, between 1980 and 1985), it would not be prudent to predict the future behavior of the deposit beyond the period 1986-1990. This situation is idealistic, since generally the engineer is requested to estimate what will happen in the system over the next 15 to 30 years, given a certain production schedule.

Currently, there are different methods for mathematical modeling. These not only differ in terms of the mathematical algorithms used but also in terms of the type of model.

Usually, the type is selected on the basis of the information available on the field. Before completion of the first well, only simple models can be used. When several wells have been drilled and field and office studies permitting characterization of the reservoir properties have been done, it is advisable to use models, generally numerical ones, in order to consider the complexity of a geothermal reservoir (heterogeneity, pore and/or fracture permeability, chemical reactions, etc.). The characteristics and applicability of the different mathematical models which can be used to simulate geothermal reservoir behavior is discussed in a paper soon to be published (Bodvarsson, G.S. Pruess, K. and Lippman, M.J. 1986, "Modeling of Geothermal Reservoirs," in the journal SPE Reservoir Engineering, LBL Report 18268).

dos y los calculados, se puede estimar el comportamiento futuro del sistema. Como regla general no es aconsejable que el período de estimación exceda un lapso igual al del período para el cual se validó el modelo. Así, si se compararon favorablemente los parámetros por cinco años (por ejemplo, entre 1980 y 1985) no sería prudente predecir el futuro comportamiento del yacimiento más allá del período 1986-1990. Esta situación es idealista, ya que generalmente se solicita al ingeniero, una estimación de lo que pasará en el sistema durante los próximos 15 a 30 años, bajo cierto programa de explotación.

Actualmente hay diferentes métodos de modelado matemático. Estos no solo difieren en los algoritmos matemáticos utilizados, sino también en el tipo de modelo.

Generalmente se selecciona el tipo en base a la información que se posee del campo. Al comienzo, antes de terminar el primer pozo, sólo se pueden utilizar modelos simples. Finalmente, cuando ya se han perforado varios pozos y realizado estudios de campo y de gabinete que permitan caracterizar las propiedades del reservorio, es aconsejable emplear modelos, generalmente numéricos, que permitan considerar la complejidad de un reservorio geotérmico (heterogeneidad, permeabilidad de poros y/o fracturas, reacciones químicas, etc.) Las características y aplicabilidad de los distintos modelos matemáticos que se pueden emplear para simular el comportamiento de reservorios geotérmicos se discute en un trabajo próximo a publicarse (Bodvarsson, G.S. Pruess, K y Lippman, M.J. 1986, Modeling of Geothermal Reservoirs, a publicarse en la revista SPE Reservoir Engineering, Informe LBL - 18268).

#### 2.4 PRODUCTION POLICIES

The production policies are those recommendations derived from knowledge about the field, the objectives of which are:

- Activities related to the form of reservoir production.
- Activities related to well operating conditions.
- Activities related to fluid disposal management.

##### 2.4.1 Activities Related to the Form of Reservoir Production (See Paragraph 2.3)

###### Objectives

- To recommend production policies guaranteeing the economic life of the reservoir (location, design, replacement, shutdown, etc.)
- To recommend actions geared to increasing or decreasing the total extraction of mass and energy.
- To recommend reinjection policies.

##### 2.4.2 Activities Related to Well Operating Conditions (See Paragraph 2.1.1)

On the basis of the construction history and behavior of each well, to recommend the policies for its operation (flow, maximum velocity, wellhead pressure, etc.)

##### 2.4.3 Activities Related to Fluid Disposal Management (See Paragraph 1.9.1)

If the fluid disposal is by means of reinjection, the controls that are recommended for reinjection wells are the following:

- Wellhead pressures.
- Periodical measurements of temperature and flows of injected fluids.
- Periodical determination of the chemical characteristics of the reinjected fluids.
- Determination of the reinjection zones by means of down-hole readings, for example using flow gauges or interpreting temperature readings.
- Control of scaling and blocking with sediments of the reinjection well.
- Periodical check of the mechanical conditions of the casings, by means of caliper profiles along the well.

In addition, it is necessary to take periodical measurements of flow, temperature, and chemical characteristics of the springs and nearby shallow aquifers, to determine possible contamination due to reinjection.

As long as reinjection is used as the method of waste disposal, there should be an alternative option (storage or evaporation pond), permitting the continuous operation of the plant during reinjection system repairs.

During the use of injection wells, it is recommended that

#### 2.4 POLITICAS DE EXPLOTACION

Las políticas de explotación son aquellas recomendaciones derivadas del conocimiento del campo y cuyos objetivos son:

- Acciones en cuanto a la forma de explotación del reservorio
- Acciones en cuanto a las condiciones de operación de los pozos
- Acciones en cuanto al manejo de fluidos de desecho

##### 2.4.1 Acciones en Cuanto a la Forma de Explotación del Reservorio (ver párrafo 2.3).

###### Objetivos

- Recomendar políticas de explotación que garanticen la vida económica del reservorio (localización, diseño, reposición, cierre de pozos, etc.)
- Recomendar acciones tendientes al incremento o disminución de la extracción total de masa y energía.
- Recomendar políticas de reinyección.

##### 2.4.2 Acciones en Cuanto a las Condiciones de Operación de los Pozos (ver párrafo 2.1.1).

Con base en la historia constructiva y de comportamiento de cada pozo, recomendar las políticas para su operación (gasto, velocidades máximas, presión de cabezal, etc.).

##### 2.4.3 Acciones en Cuanto al Manejo de Fluidos de Desecho (ver párrafo 1.9.1)

En el caso de que el desecho de fluidos se realice por medio de la reinyección, los controles que se recomienda efectuar para pozos de reinyección son los siguientes:

- Presiones en el cabezal.
- Mediciones periódicas de temperatura y gasto de los fluidos inyectados.
- Determinación periódica de las características químicas de los fluidos reinyectados.
- Determinación de las zonas de reinyección por medio de mediciones a fondo de pozo, por ejemplo usando medidores de flujo o interpretando registros de temperatura.
- Control de incrustaciones y azolve en el pozo de reinyección.
- Verificación periódica de las condiciones mecánicas de las tuberías de revestimiento, por medio de registros a lo largo del pozo.

Además se requieren mediciones periódicas de flujo, temperatura y características químicas de los manantiales y acuíferos someros cercanos, para determinar su posible contaminación por la reinyección.

Siempre que se aplique la reinyección como método de disposición del desecho se deberá contar con una opción alternativa (laguna de almacenamiento o de evaporación), que permita la operación continua de la planta durante la reparación del sistema de reinyección.

Durante la .....



periodical tests of injectability and follow-up of natural or artificial tracers be done, to determine the behavior of operation and, if necessary, to undertake adequate corrective measures in a timely fashion.

realizar periódicamente pruebas de inyectividad y seguimiento de trazadores naturales o artificiales, para determinar el comportamiento de la operación y, si es necesario, realizar actividades correctivas adecuadas con oportunidad.

## 2.5 BASIC CRITERIA FOR ANALYSIS OF INVESTMENT AND GENERATION COSTS

### 2.5.1 Methodology

It is indispensable to work with an accurate knowledge of the reservoir capacity. The uncertainty which can exist in this regard is only considered in the risk analysis in terms of the validity of the hypotheses and is not included in the economic analysis. The financial aspects are not included in this chapter either.

The costs of a geothermal power plant can be divided under:

- Investment costs: all that disbursed prior to commercial start-up of the plant.
- Generating costs: all that disbursed following initiation of commercial operation.

This division makes it possible to distinguish clearly between what is well repair and well replacement from what is drilling of the production wells necessary to begin operations.

From a strictly accounting standpoint, the activities corresponding to investments in a geothermal field can be divided into:

- Exploration: All that disbursed in a geothermal field up to the date of the economic analysis, without including wells.
- Exploratory wells: All the wells which have been drilled in the field up to the date of the economic analysis are considered exploratory, no matter if they have resulted in production wells, injection wells or failures.
- Production wells: All of the wells which in the opinion of the designers require drilling, from the moment of analysis until start-up of the station, including injection wells, failures, etc.
- Back-up wells: The back-up wells (injectors, producers and failures) which will have to be built before plant start-up. They usually represent 25% of the additional back-up steam for the plant.)
- Plant: Everything that takes part in plant construction within the perimeter or edge of the plant.
- Well and pipeline area: Separators, steam pipelines, reinjection lines, ball valves and stop valves, dryers, pressure regulators, disposal system for brine and all of the accessories to supply steam of suitable quality to the plant.
- Indirect: The expenses for central administration (overhead) and other support not considered under the six preceding points. These appear as a percentage of the

## 2.5 CRITERIOS BASICOS PARA EL ANALISIS DE COSTOS DE INVERSION Y DE GENERACION

### 2.5.1 Metodología

Es indispensable partir de la base de que se conoce con exactitud la capacidad del reservorio. La incertidumbre que sobre ella pueda haber, sólo se considera en los análisis de riesgo sobre la falsedad de las hipótesis, y no se incluyen en el análisis económico. Tampoco se incluyen los aspectos financieros en este capítulo.

Los costos de una geotermeléctrica se dividen en:

- Costos de inversión: Como todo aquello que se eroga antes de la puesta en operación comercial de la planta.
- Costos de generación: Como todo aquello que se eroga después del inicio de la operación comercial.

Esta división permite distinguir con claridad lo que es la reparación y reposición de pozos, de la perforación de los pozos productores necesarios para iniciar la operación.

Las actividades que corresponden a inversión en un campo geotérmico, desde el punto de vista estrictamente contable, se dividen en:

- Exploración: Todo lo gastado en el campo geotérmico hasta la fecha del análisis económico, sin incluir pozos.
- Pozos exploratorios: Se consideran exploratorios todos los pozos que se hayan perforado en el campo hasta la fecha del análisis económico. Esto aunque hayan resultado productores, inyectores o fallidos.
- Pozos productores: Todos los pozos que a juicio de los diseñadores se requiera perforar desde el momento del análisis hasta antes del arranque de la central, incluyendo inyectores, fallidos, etc.
- Pozos de respaldo: Se incluyen los costos de los pozos de respaldo (inyectores, productores y fallidos) que habrá que construir antes del arranque de la planta. Generalmente representan 25% de vapor adicional de respaldo para la central).
- Central: Todo lo que interviene en la construcción de la central dentro del perímetro o barda de la planta.
- Área de pozos y ductos: Separadores, vaporductos, líneas de reinyección, válvulas esféricas y de seccionamiento, secaderos, reguladores de presión, sistema de desecho de la salmuera y todos los accesorios para suministrar vapor de calidad adecuada a la planta.
- Indirectos: Los gastos por administración central y otros apoyos no considerados en los 6 puntos anteriores. Se dan como

cost of each investment, usually on the order of 11%.

These seven items comprise the investment in a geothermal power plant.

For generating costs, the items are grouped under:

- Operation and maintenance of the station: including labor, spare parts, special equipment, etc.
- Well repair: The cost of repairing the wells in case of pipe corrosion, scaling, mechanical failures, etc.
- Well replacement: The cost of drilling new wells, whether to replace those which have definitely failed or to complete steam production or the reinjection capacity due to the reservoir's own drawdown, including those which have to be drilled as exploratory wells for the plant.
- Field operation and maintenance: All of the costs of repair of steam pipelines, roads, wastewater treatment, etc. In general, any cost not directly imputable to the station or the wells.
- Indirect costs for administration: Generally on the order of 11%.

To compute the generation of a geothermal plant, the energy which is really delivered to the grid is considered, i.e., the nominal energy of the generator minus the electrical auxiliaries, multiplied by a certain plant factor.

The cost of each item (investment and generation) is calculated at constant prices as of the date of the realization of the economic analysis. The sum of the seven investment items, divided by the nominal power output of the station, will be the unit cost of the investment and will be shown in US\$/kW (dollars per installed kW).

Each item (investment and generation) is assigned a disbursement date. All of the costs are calculated and they pass to the present value at the date of the commercial start-up of generation in the plant. Equating the sum of these expenses at present value with what would be collected if this energy were sold, also in present values, the cost of the generated energy is obtained in US\$/kWh at prices of the date of analysis.

#### 2.5.2 Definitions and Basic Concepts

**Current prices:** The price which some activity or purchase had or would have in the year in which it takes place.

**Constant prices:** The price of the activity or purchase on a given date and applied without modification, to any other disbursement date.

**Discount rate or yield:** What an investment would yield annually in the productive activity of the country, in real terms, i.e., if inflation is considered zero.

porcentaje del costo de cada inversión. Generalmente del orden del 11%.

Estos siete conceptos conforman la inversión de una central geotermoelectrica.

Para los costos de generación, los conceptos se agrupan en:

- Operación y mantenimiento de la central: incluida mano de obra, refacciones, equipo especial, etc.
- Reparación de pozos: Los costos por reparar los pozos en caso de corrosión de tuberías, incrustaciones, fallas mecánicas, etc.
- Reposición de pozos: Los costos por perforar nuevos pozos ya sea para reponer los que definitivamente hayan fallado o para completar la producción de vapor o la capacidad de reinyección por el abatimiento propio del yacimiento, incluyendo aquí los que haya que hacer como exploratorios para esta central.
- Operación y mantenimiento de campo: Todos los costos de reparación de vaporductos, caminos, tratamientos de agua de desecho etc. En general todo gasto que no sea directamente imputable a la central ni a los pozos.
- Indirectos por administración: Generalmente del orden del 11%.

Para computar la generación de la planta geotérmica, se considera la energía que realmente entrega a la red. Es decir la nominal del generador menos los auxiliares eléctricos, multiplicada por un cierto factor de planta.

Se calcula el costo de cada concepto, tanto de inversión como de generación a precios constantes al día de la realización del análisis económico. La suma de los siete conceptos de inversión, dividida por la potencia nominal de la central será el costo unitario de la inversión y se dará en US\$/kW (dólares por kW instalado).

Se le asigna a cada concepto, tanto de inversión como de generación una fecha de erogación. Se calculan todos los costos y se pasan a valor presente a la fecha de inicio de la generación comercial de la central. Igualando la suma de estos gastos a valor presente con lo que se recolectaría, también en valor presente, al vender esta energía se obtiene el costo de la energía generada, US\$/kWh a precios del día del análisis.

#### 2.5.2 Definiciones y Conceptos Básicos

**Precios corrientes:** Los precios que tuvo o que tendría alguna actividad o adquisición en el año en que se efectúa.

**Precios constantes:** El precio de la actividad o adquisición en una fecha dada y que se aplica sin modificación, a cualquier otra fecha de erogación.

**Tasa de descuento o de rendimiento:** Lo que rendiría anualmente una inversión en la actividad productiva del país en términos reales, es decir si se considera inflación de cero.

Present value: Amount of money which would have to be invested in the present in order to handle a disbursement in the future.

Plant factor: Energy generated by the plant during one year divided by the total energy which it is capable of generating in the period.

#### 2.5.3 Breakdown of the Cost of a Geothermal Power Plant

The prices of a plant vary according to size, number of units, efficiency and other innumerable factors involved in optimization. In each comparative analysis it will be necessary to do a careful cost study. This manual presents the way to group costs and provides indicative percentages for each one with reference to the total value of the budget item. (Table No. 1)

The area of wells and steam pipelines has a cost which also depends a great deal on topography, distance from the wells to the station, etc. If this information is not available, it can be considered that this item represents approximately 15% of the cost of the entire installed plant. For the sake of illustration, see Table No. 2.

Valor presente: Cantidad de dinero que habría que invertir en el presente para enfrentar una erogación en el futuro.

Factor de planta: Energía generada por la central durante un año dividida por la energía total que es capaz de generar en ese tiempo.

#### 2.5.3 Integración del Costo de una Geotermoelectrica

Los precios de una central varían según su tamaño, número de unidades, eficiencia y de otro sinúmero de factores que intervienen en la optimización. En cada análisis comparativo habrá que estudiar detenidamente los costos. En este manual se presenta la forma de agruparlos y solo a manera indicativa se dan los porcentajes de cada uno referidos al valor total de la partida. Tabla No. 1.

El área de pozos y vaporductos tiene un costo que también depende mucho de la topografía, distancia de los pozos a la central, etc. Si no se cuenta con esta información se puede considerar que este concepto representa aproximadamente 15% del costo de la central completa, instalada. Como ejemplo ilustrativo se muestra la Tabla No. 2.

Table No. 1  
TYPICAL COSTS OF GEOTHERMAL POWER PLANTS

	2 x 110 MW	1 x 55 MW	1 x 5 MW
	%	%	%
Main equipment	37,0	37,0	71,3
Secondary equipment	11,4	11,4	10,7
Materials	19,8	19,8	0,3
Services	15,5	15,5	3,4
Labor	15,0	15,0	14,0
Engineering & design	2,0	2,0	2,2
Taxes	0,3	0,3	0,5
Total	100,0	100,0	100,0
Unit Total	460 US\$/kW	600 US\$/kW	450 US\$/kW

Table No. 2  
AREA OF WELLS AND PIPELINES

	2 x 110MW	1 x 55MW	1 x 5MW
	%	%	%
Equipment			
Materials			
Labor			
Others			
Total			
Approximate			
Unit Total	75 US\$/kW	100 US\$/kW	30 US\$/kW

TABLA NO. 1  
COSTOS TIPICOS DE CENTRALES GEOTERMICAS

	2 X 110 MW	1 X 55 MW	1 X 5 MW
	%	%	%
Equipo Principal	37,0	37,0	71,3
Equipo Secundario	11,4	11,4	10,7
Materiales	19,8	19,8	0,3
Servicios	15,5	15,5	3,4
Mano de Obra	15,0	15,0	14,0
Ingeniería y Diseño	2,0	2,0	2,2
Impuestos	0,3	0,3	0,5
Total	100,0	100,0	100,0
Total Unitario	460 US\$/kW	600 US\$/kW	450 US\$/kW

TABLA NO. 2  
AREA DE POZOS Y DUCTOS

	2 X 110 MW	1 X 55 MW	1 X 5 MW
	%	%	%
Equipo			
Materiales			
Mano de Obra			
Otros			
Total			
Total Unitario			
Aproximado	75 US\$/kW	100 US\$/kW	30 US\$/kW

The cost of a geothermal well varies a great deal from one field to another. It depends on the type of rock, the problems which might interfere with the drilling, depth, etc., so that it is indispensable to do detailed calculations in each case. However, for the sake of illustration, the table below gives representative percentages for wells of different depths in a field of volcanic rock where frequent problems are expected during drilling. (Table No. 3)

Table No. 3

APPROXIMATE PERCENTAGES FOR A WELL IN VOLCANIC ROCK

DEPTH (m)	MAT.	LABOR	MCH./EOP.	CEMENT	DRILL.	TOTAL
1000	29,0%	1,6%	5,6%	10,2%	53,6%	100%
1500	29,5%	1,7%	5,7%	7,8%	55,3%	100%
2000	29,8%	1,7%	5,8%	6,3%	56,4%	100%
2500	29,8%	1,7%	5,8%	6,1%	56,6%	100%

Well repairs, which will also depend on the particular features of each case, can be estimated as 20% of the cost. A replacement well can be considered to cost the same as a new well.

Operation and maintenance of the power plant is expressed as a cost per kWh generated. Experience has shown that this value is approximately 13% of the cost of a kWh. Operation and maintenance of the field is less than maintenance of the plant, and is estimated as 7% of the cost of a kWh generated.

The exploration of a geothermal field is quite variable, and even more so if a comparison is done between fields which are to be expanded as opposed to others which have recently been discovered. Nevertheless, this figure is negligible when compared with the cost of drilling. If there is no accurate information on exploration expenses, it is advisable to take 80% of the price of a well as the total exploration expenditure.

The number of wells that a power plant will require varies enormously from one field to another. This figure can only be determined on the basis of sound knowledge about the field. As support, it is convenient to increase the amount of available steam by 25%.

#### 2.5.4 Disbursement Schedule

For an economic comparison, it is indispensable to know the date on which each disbursement is made. The following case will be taken as an example, taking Year 0 as the last year

El costo de un pozo geotérmico varía mucho de un campo a otro. Depende del tipo de roca, problemas que interfieren con la perforación, profundidad etc. por lo que es indispensable calcularlo detalladamente en cada caso. Sin embargo, a modo de ilustración, a continuación se indican porcentajes representativos de un pozo a varias profundidades en un campo de roca volcánica, donde se esperan problemas frecuentes durante la perforación (Tabla No. 3).

TABLA NO. 3

PORCENTAJES APROXIMADOS DE UN POZO EN ROCA VOLCANICA

PROF. (mts)	MAT.	MANO DE OBRA	MAQ. Y EQ.	CEMENTO	PERF.	TOTAL
1000	29,0%	1,6%	5,6%	10,2%	53,6%	100%
1500	29,5%	1,7%	5,7%	7,8%	55,3%	100%
2000	29,8%	1,7%	5,8%	6,3%	56,4%	100%
2500	29,8%	1,7%	5,8%	6,1%	56,6%	100%

La reparación de un pozo que también depende de las particularidades de cada caso, se puede estimar igual al 20% del costo. Un pozo de reemplazo se puede considerar que cuesta igual que un pozo nuevo.

La operación y mantenimiento de la central se expresa como un costo por kWh generado. La experiencia ha mostrado que este valor aproximadamente es un 13% del costo del kWh. La operación y mantenimiento del campo es menor que el mantenimiento de la central, y se estima en 7% del costo del kWh generado.

La exploración de un campo geotérmico es muy variable, más todavía si se comparan campos que se pretende ampliar con otros recién descubiertos; sin embargo, esta cifra es despreciable en relación a la perforación. Si no se tiene información precisa de lo gastado en exploración, es recomendable tomar el 80% del precio de un pozo como erogación total en exploración.

La cantidad de pozos que requerirá la central varía enormemente de un campo a otro. Esta cifra sólo la puede determinar el conocimiento del campo. Como respaldo es conveniente aumentar en un 25% la cantidad de vapor disponible.

#### 2.5.4 Calendario de inversiones

Para una comparación económica es indispensable conocer la fecha en que se efectúa cada erogación. Se tomará el siguiente caso para ilustrar, tomando como año cero el final de la construcción

of construction of the plant and its testing and Year 1 as the start-up of generation.

Drilling Schedule (for the sake of illustration)

-YEAR-	-WELLS-
-8	1
-7	1
-6	1
-5	2
-4	3
-3	4
-2	4
-1	4
0	0

Disbursement Schedule for Exploration Costs

-YEAR-	-PERCENTAGE-
-9	20%
-8	30%
-7	30%
-6	10%
-5	10%

Disbursement Schedule for Power Plant Construction

-YEAR-	-PERCENTAGE-
-3	20%
-2	30%
-1	40%
0	10%

Disbursement Schedule for Construction of Steam Pipelines and Well Area

-YEAR-	-PERCENTAGE-
-4	20%
-3	30%
-2	40%
-1	10%

de la planta con sus pruebas y como año 1 el del inicio de la generación.

Calendario de Perforación (un ejemplo ilustrativo).

-AÑO-	POZOS
-8	1
-7	1
-6	1
-5	2
-4	3
-3	4
-2	4
-1	4
0	0

Calendario de Erogación de Gastos de Exploración.

-AÑO-	-PORCENTUAL-
-9	20%
-8	30%
-7	30%
-6	10%
-5	10%

Calendario de Erogaciones en Construcción de la Central.

-AÑO	-PORCENTUAL-
-3	20%
-2	30%
-1	40%
0	10%

Calendario de Erogación en Construcción de Vaporductos y Área de Pozos.

-AÑO-	-PORCENTUAL-
-4	20%
-3	30%
-2	40%
-1	10%

Disbursement Schedule for Well Repairs and Replacement  
(example)

-Year-	-Repairs-	-Replacement-
5	1	0
6	1	1
7	1	1
8	1	1
9	1	1
10	1	2
11	1	2
12	1	2
13	1	2
14	1	2

Schedule for Energy Sales (for typical 55-MW plant) 55,000  
kWh x 8760 ha/yr x 0.8 x (1-Ae) = 365 GWh.

where Ae = electric auxiliaries 0.052

1	365 GWh
2	365 "
3	365 "
4	365 "
5	365 "
6	365 "
7	365 "
8	365 "
9	365 "
10	365 "
11	365 "
12	365 "
13	365 "
14	365 "
15	365 "
16	365 "
17	365 "
18	365 "
19	365 "
20	365 "

Next, the disbursements are quantified annually in monetary terms at constant prices and then converted into present values, thus affecting the figures for the corresponding interest rate.

In order to obtain the cost of the total generated, the disbursements are added together, in present values, under the items of investment and generation. This figure is equated to energy sold, also in present value. From there, the cost of the generated energy can be determined, and the result can be broken down under production costs, wells, well areas, power plant, plant operation and maintenance, field operation and maintenance, well repairs, well replacement and indirect costs = (US\$/kWh).

Calendario de reparación y reposición de pozos (un ejemplo ilustrativo).

-Año-	-Reparar-	-Reposición-
5	1	0
6	1	1
7	1	1
8	1	1
9	1	1
10	1	2
11	1	2
12	1	2
13	1	2
14	1	2

Calendario de venta de energía (para una planta típica de 55 MW)  
55.000kWh x 8760 h/año x 0,8 x (1-Ae) = 365 GWh.

Donde Ae = Auxiliares eléctricos 0,052.

1	365 GWh
2	365 "
3	365 "
4	365 "
5	365 "
6	365 "
7	365 "
8	365 "
9	365 "
10	365 "
11	365 "
12	365 "
13	365 "
14	365 "
15	365 "
16	365 "
17	365 "
18	365 "
19	365 "
20	365 "

Luego se cuantifican en dinero a precios constantes, año a año, las erogaciones. Se pasan enseguida a valor presente, afectando las cifras para la tasa de interés que corresponda.

Para obtener el costo del total generado se sumarán las erogaciones, en valor presente, por concepto de inversión y de generación. Esta cifra se iguala a la energía vendida, también en valor presente. De allí se despeja el costo de la energía generada. El resultado se puede desglosar en costos por explotación, Pozos, área de pozos, central, operación y mantenimiento central, operación y mantenimiento campo, reparación pozos, reposición pozos, indirectos = (US\$/kWh).

### 2.5.5 Parameters for Optimization of a Geothermal Power Plant

When the decision has been made to install a geothermal power plant in a field where the capacity of the reservoir is already known, and where some characteristic curves are already available for the wells, it is necessary to determine the value of certain parameters in order to optimize the complete generating system later on.

#### 2.5.5.1 Additional Power in Self-Service

The cost of the energy consumed in self-service is very different if this consumption is electricity, power in the shaft of the turbine, or steam.

- a) Electric power auxiliaries: The installation of additional auxiliary electrical equipment is quantified at the average cost of electricity in the area, multiplied by the annual consumption of this auxiliary equipment. Hence, for 20 years of continuous consumption, it is necessary to multiply by the plant factor and by the present value factor.
- b) Auxiliaries which consume power at the shaft: The installation of a compressor or other rotary machine, coupled directly to the turbine shaft, is quantified with the following line of reason:

To satisfy the DEMAND for power in the compressor, a turbine a little larger or a little more powerful should be installed. Additional steam should be supplied to the plant, in order to satisfy this CONSUMPTION. The cost will then be:

Demand (C1): Unit cost of the power plant, by an expansion factor, by the additional power demanded.

Demand (C2): Cost per kWh calculated by steam production by the plant factor by the present value factor.

Total costs: the sum of C1 + C2

- c) Auxiliary equipment which consumes steam. Only the cost required to produce this steam is calculated, dividing the total cost of the field by the steam it produces; to this value is added the parts corresponding to field operation and maintenance, well repairs and replacement, and indirect costs.

#### 2.5.5.2 Cost of 1 kg/h of Additional Steam

In order to produce 1 kg/h of additional steam, it is necessary to increase the well availability proportionately, as well as the other field installations, with the following line of reasoning:

The total investment in the field produces a certain amount of steam per hour. To produce 1 kg/h will cost the proportional part.

### 2.5.5 Parámetros para la Optimización de una Planta Geotermoelectrica

Cuando se ha decidido instalar una planta geotermoelectrica en un campo donde ya se conoce la capacidad del yacimiento y algunas curvas caracteristicas de los pozos, es necesario determinar el valor de algunos parametros para luego realizar la optimizacion del sistema completo de generacion.

#### 2.5.5.1 Potencia Adicional en Servicios Propios

El costo de la energia consumida en servicios propios es muy diferente si este consumo es electrico, de potencia en la flecha de la turbina o de vapor.

- a) Auxiliares electricos: La instalacion de equipo auxiliar electrico adicional se cuantifica al costo de la energia electrica promedio en la zona, multiplicada por el consumo anual de estos auxiliares. Luego, para 20 años de consumo continuo, se multiplica por el factor de planta y por el factor de valor presente.
- b) Auxiliares que consumen potencia de la flecha: La instalacion de un compresor u otra maquina rotatoria, directamente acoplado a la flecha de la turbina, se cuantifica con el siguiente razonamiento:

Para satisfacer la DEMANDA de potencia del compresor debera instalarse una turbina un poco mas grande o de mas potencia. Ademas suministrar vapor adicional a la central para satisfacer ese CONSUMO. El costo sera entonces:

Demand (C1): Costo unitario de la central, por factor de ampliacion, por potencia adicional demandada.

Demand (C2): Costo del kWh calculado por produccion de vapor, por factor de planta, por factor de valor presente.

Costo total: la suma de ambas = C1 + C2.

- c) Auxiliares que consumen vapor.- Se calcula solamente el costo requerido para producir ese vapor, dividiendo el costo total del campo por el vapor que produce, a este valor se le suma la proporcion correspondiente a la operacion y mantenimiento del campo, reparacion y reposicion pozos e indirectos.

#### 2.5.5.2 Costo de 1 Kg/h de Vapor Adicional

Para producir 1 kg/h de vapor adicional se requiere incrementar proporcionalmente la instalacion de pozos y demas en el campo con el siguiente razonamiento:

La inversion total en el campo produce tantas toneladas de vapor por hora. Producir 1 kg/h costara la parte proporcional.

To provide maintenance to the field and wells, and to cover the indirect costs, as in the previous item, the calculations are done for the production corresponding to 1 kg/h. The total cost per kg/h of additional steam will be the sum of the two.

#### 2.5.5.3 Kilocalories Lost per Hour

Since in geothermal energy the steam that reaches the turbine is dry-saturated, the heat losses are quantified in monetary terms as follows:

For every 490 kilocalories that are lost, 1 kilogram of steam is lost as condensate. The cost of one kilogram of steam per hour over 20 years is calculated as indicated in the preceding paragraph; 1 kilocalorie per hour over 20 years will cost 1/490 of this value.

Para darle mantenimiento a campo y pozos, más indirectos, se calculó como en el punto anterior la producción que corresponde a 1 kg/h. Total costo por kg/h de vapor adicional será la suma de ambos.

#### 2.5.5.3 Kilocaloría Perdida por Hora

Como en geotermia generalmente el vapor que llega a la turbina es saturado seco, las pérdidas de calor se cuantifican en dinero de la siguiente forma:

Por cada 490 kilocalorías que se pierden, se condensa 1 kilogramo de vapor. El costo de un kilogramo de vapor por hora durante 20 años se calcula de acuerdo con lo indicado en el párrafo anterior, 1 kilocaloría por hora durante 20 años cuesta 1/490 de ese valor.



Los artículos de éste documento  
pueden ser reproducidos, en forma  
total o parcial, citando la fuente.

The articles herein may be  
reproduced in full or part, as  
long as the source is cited.