

TUES
1504
P222a
1995
EJ-2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA



"ANALISIS DEL SISTEMA PARA EL MONITOREO DE PRESION
UTILIZADO EN POZOS GEOTERMICOS DE EL SALVADOR"

Presentado por :

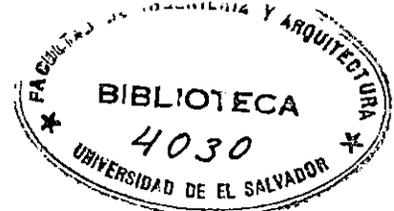
MARIA CELIA PARADA DIAZ
ELMER ARTURO SANCHEZ MASIN

15101352
15101352

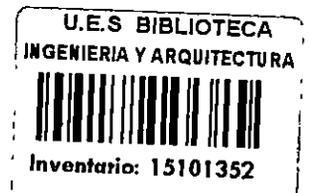
Para optar al título de :

INGENIERO ELECTRICISTA

Mayo, 1995



San Salvador, El Salvador, Centro América



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA

SECRETARIO GENERAL :

LIC. JUSTO ROBERTO CAÑAS LOPEZ

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR

SECRETARIO :

ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

DIRECTOR :



ING. SALVADOR DE JESUS GERMAN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

Trabajo de graduación previo a la opción al grado de :

INGENIERO ELECTRICISTA

Título: "ANALISIS DEL SISTEMA PARA EL MONITOREO DE PRESION
UTILIZADO EN POZOS GEOTERMICOS DE EL SALVADOR "

Presentado por :

MARIA CELIA PARADA DIAZ

ELMER ARTURO SANCHEZ MASIN

Trabajo de graduación aprobado por :

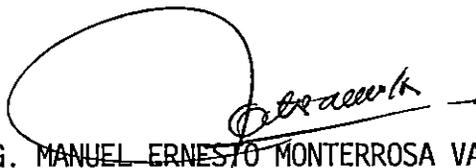
Coordinador :
y asesor



ING. MARTA LIDIA MERLOS ARAGON

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA
FACULTAD DE INGENIERIA
Y ARQUITECTURA
Universidad de El Salvador

Asesores :



ING. MANUEL ERNESTO MONTERROSA VASQUEZ



ING. JULIO EDUARDO QUIJANO CORTEZ

San Salvador, Mayo de 1995.

ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, 6 de Mayo de 1995,
en el local de Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica
a las diez horas, con la presencia de las siguientes autoridades de la
Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

- 1- Inq. Salvador de J. German
Director
- 2- Inq. Gerardo Marvin Jorge Hernández
Secretario

Firma



Y con el Honorable Jurado de evaluación integrado por las personas
siguientes:

- 1- Inq. José Luis Henríquez Miranda
- 2- Inq. José Raúl Romero Pineda
- 3- Inq. Arnoldo Cruz Parada
- 4- _____
- 5- _____
- 6- _____

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:
"ANALISIS DEL SISTEMA PARA EL MONITOREO DE PRESION, UTILIZADO EN POZOS
GEOTERMICOS DE EL SALVADOR"

A cargo del (los) Br(es):

María Celia Parada Díaz

Elmer Arturo Sánchez Masin

Habiendo obtenido el presente trabajo una nota final, global de 8.5

(ocho punto cinco)

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO:

Porque a través de este triunfo, me da una muestra de su amor y de su misericordia.

A mis padres:

MANUEL ANTONIO PARADA y MARIA GREGORIA DIAZ DE PARADA , por haberme dado el mejor regalo: su amor y su confianza.

A mis hermanos:

MARDO ARCIDES, por su apoyo sin condiciones, y por ser para mí, el ejemplo a seguir.

ANA GUADALUPE, porque en la vida, no habría sabido que hacer sin ella.

MARIO ANTONIO, por confiar en mí y por ser mi amigo.

JULIO ERNESTO, por todo lo que compartimos juntos y por mostrarme siempre el mejor camino

A mi tía:

CONSUELITO, mi madrina y mi amiga también.

A mis sobrinos, mis primos y todos los demás familiares:

Por todo el apoyo y el calor humano, que me brindaron.

A nuestros asesores:

MANUEL ERNESTO MONTERROSA y JULIO EDUARDO QUIJANO, por darnos su colaboración, su aprobación en las decisiones, y por donarnos su tiempo y sus conocimientos.

A ALEX ROGELIO:

A quien quiero muchísimo, por toda la alegría y el amor que me inspira.

A ELMER ARTURO:

Por haber sido el MEJOR compañero, que pude tener.

A mis maestros, compañeros y amigos.

María Celia

DEDICATORIAS

A Dios Todopoderoso:

Por haberme permitido vivir estos momentos.

A mi abuelo, ABRAHAM (Q.D.D.G.), y demás abuelos, por ser el cimiento de mis estudios.

A mi padre:

Por darme el impulso y el apoyo en cada momento.

A mi madre:

Por su aliento, apoyo y sacrificio para lograr cada reto.

A mi tío: Francisco por contar con él como un segundo Padre.

A mis hermanos:

Edgar Ernesto

Ruth Aracely

Oswaldo Vladimir

Rosa del Carmen

Por todo el ánimo y el apoyo en cada etapa de mi carrera.

A mi sobrino Gerardo, tíos, primos y demás familiares, quienes me inspiran para seguir adelante.

A todos ellos con mucho aprecio.

A mi compañera de tesis, por contar con ella para afrontar cada etapa del desarrollo de este trabajo.

Elmer Arturo.

PREFACIO:

En el presente trabajo de graduación, se ha hecho un análisis del sistema de monitoreo de presión de los pozos geotérmicos, que constituye una de las actividades de mayor importancia en la extracción de la energía geotérmica, ya que a través de esto, permite conocer los datos de presión en el fondo de los pozos y así poder evaluar las condiciones del reservorio geotérmico.

Es importante hacer un análisis minucioso del sistema de instrumentación, tomando en cuenta todos los factores que pudieran afectar su funcionamiento,

Se dispone de un sistema de monitoreo de presión, el cual proporciona datos, que se utilizan para conocer el estado termodinámico del reservorio, utilizado para la generación eléctrica de los campos de explotación de El Salvador, lo que hace posible continuar la operación confiable de las centrales geotérmicas.

En las condiciones en que se trabaja, se tiene cierta duda sobre la confiabilidad de los datos, debido a una serie de factores que intervienen en el monitoreo, por lo que se hizo un estudio amplio del sistema de medición, del mismo modo se sugieren criterios de selección de la instrumentación para el monitoreo de presión, en base a criterios obtenidos de este estudio, también se optimizó un programa de computadora para el cálculo de las constantes de corrección del sistema de transmisión de presión, se elaboró un manual de operaciones del equipo existente y se estudió la factibilidad de incorporar una válvula de inyección automática en el sistema.

De acuerdo a los alcances planteados, el único punto que no fue posible determinar, con exactitud es la incorporación de la válvula automática de gas, en el sistema de transmisión de presión, ya que no existe hasta el momento una manera de determinar el gasto de gas que ocurre en el sistema, por lo demás se cumplió con el objetivo prioritario, el cual era determinar la calidad de la medición, si el método de monitoreo es el más a propósito para esta tarea, como podrá observar el lector, se hicieron todos los análisis conocidos y se cumplió con los objetivos.

RESUMEN DEL TRABAJO:

En el primer capítulo, lo que se exponen, son algunos fundamentos sobre geotermia, para darle el lector una idea del área de trabajo, en que se desarrolla el monitoreo de presión, y las pruebas que se realizaron tanto en el laboratorio, como en el campo, y los resultados que se obtuvieron, tanto en un lugar como en otro, se hicieron los análisis respectivos sobre el comportamiento de los equipos, y se aportaron conclusiones respecto al trabajo de éstos, para lograr su instalación definitiva.

En el segundo capítulo, se analizó el ambiente de trabajo del equipo, el fluido de trabajo y sus características, y todos los factores que tengan incidencia sobre él, y se aportaron criterios de selección para elegir instrumentación en el futuro, basados en lo mencionado anteriormente y en los criterios que como estudiantes se podían añadir.

En el tercer capítulo se hace un estudio del sistema de fondo de pozo, llamado sistema de transmisión de presión, y de todas las situaciones que se pensaba que pudieran afectar la medición, se sacaron conclusiones positivas, así como también se sugieren sistemas de protección del equipo.

El trabajo contiene sus apéndices, que contienen las rutinas de la prueba de laboratorio, el manual de operaciones, el programa de computadora para el cálculo de las constantes de corrección.

Todo este trabajo pudo realizarse gracias a la asesoría de los ingenieros del Centro de Investigaciones Geotérmicas, de los ingenieros de las Escuelas de Ingeniería Eléctrica, de Ingeniería Mecánica y de Ingeniería Química, y del personal de los campos geotérmicos, de la investigación a través de la bibliografía consultada.

Los objetivos que se nos plantearon al comienzo de este trabajo fueron satisfechos en un alto porcentaje.

INDICE

	Pág.
CAPITULO I.	
REVISION Y PUESTA EN OPERACION DEL EQUIPO EXISTENTE.	
1.1 ORIGEN DE LA GEOTERMIA	1
1.1.1 EL FLUJO NORMAL DE CALOR.....	2
1.1.2 EL FLUJO ANOMALO DE CALOR.....	2
1.1.3 CAMPOS GEOTERMICOS.....	3
1.2 FORMA DE EXTRAER LA ENERGIA GEOTERMICA.....	8
1.2.1 TIPOS DE POZOS GEOTERMICOS.....	10
1.3 CONVERSION DE LA ENERGIA GEOTERMICA EN ENERGIA ELECTRICA.....	12
1.4 SISTEMA DE MONITOREO.....	16
1.5 PUESTA EN OPERACION DEL EQUIPO DE MONITOREO EN LA CENTRAL GEOTERMICA DE BERLIN.....	18
1.6 PUESTA EN OPERACION DE EQUIPOS EN PARALELO PARA EL MONITOREO DE PRESION EN LA CENTRAL GEOTERMICA DE AHUACHAPAN.....	19
1.7 CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS CONECTADOS EN PARALELO.....	20
1.8 RESULTADO DE LA PRUEBA DE LABORATORIO.....	22
1.9 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CAMPO.....	24
1.10 ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	26
1.11 BIBLIOGRAFIA.....	32

CAPITULO II.

DETERMINACION DE LOS CRITERIOS DE SELECCION DE LA INSTRUMENTACION ELECTRONICA.

2.1 CONDICIONES AMBIENTALES DE LOS CAMPOS GEOTERMICOS DE AHUACHAPAN Y BERLIN.....	33
2.1.1 CONDICIONES DE SUPERFICIE.....	33
2.1.2 CONDICIONES DE FONDO DE POZO.....	35
2.2 MATERIALES INOXIDABLES.....	36
2.2.1 ACERO INOXIDABLE.....	36
2.2.2 HASTELLOY.....	37
2.2.3 INCOLOY.....	38
2.3 CAMARA DE SUSPENSION Y TUBO CAPILAR.....	39
2.4 ACCESORIOS.....	40
2.5 TRANSMISOR DE PRESION.....	41
2.6 REGISTRADOR DE DATOS.....	48
2.7 BIBLIOGRAFIA.....	51

CAPITULO III.

ANALISIS DEL SISTEMA DE MONITOREO

3.1 ANALISIS DEL SISTEMA DE MONITOREO.....	52
3.1.1 VARIACION DE PRESION EN TUBO CAPILAR.....	52
3.1.2 TIPO DE GAS A UTILIZAR EN EL PTS.....	54
3.1.3 USO DE CONSTANTES A CHAMBER FULL Y BUIL-UP.....	61
3.1.4 INTERPRETACION DE CONSTANTES.....	62
3.1.5 DISEÑO DE LA CAMARA DE SUSPENSION.....	68
3.1.6 PROTECCIONES PARA EL EQUIPO DE SUPERFICIE.....	71
3.1.6.1 ESTABILADOR DE VOLTAJE.....	71
3.1.6.2 ATERRIZAJE.....	71
3.1.6.3 DESCARGADORES.....	71

3.1.6.3.1 DESCARGADORES DE ELECTRODOS DE CARBON.....	71
3.1.6.3.2 DESCARGADORES DE ELECTRODOS METALICOS.....	72
3.1.7 VALVULA AUTOMATICA DE GAS.....	74
3.1.8 BIBLIOGRAFIA.....	77
CONCLUSIONES.....	78
APENDICES.....	81
GLOSARIO.....	132

Introducción

La geotermia, es una valiosa fuente energética natural, con la que se cuenta en el país, para producir electricidad, a un bajo costo, sólo comparable al de la energía hidráulica, y a la que se genera con combustible fósil.

Desde la entrada en operación de la Central Geotérmica de Ahuachapán, en el año de 1975, El Salvador, es uno de los pioneros mundiales, en usar la geotermia para producir energía eléctrica. Actualmente, se conocen como campos productores, los campos geotérmicas de Ahuachapán y Berlín.

Para optimizar la explotación del recurso, es importante conocer con el mayor detalle posible, los parámetros significativos de producción, además resulta esencial, tener información sobre la evolución del reservorio bajo explotación, monitoreando continuamente las variaciones de presión en la profundidad.

Para ello, se ha estudiado el comportamiento del equipo que actualmente monitorea la presión, y se ha comparado con el equipo que se adquirió últimamente, que será instalado en los campos para monitorear la presión, se realizaron pruebas de laboratorio, y además pruebas de campo, y con los resultados obtenidos, se hicieron los análisis respectivos, para lograr la instalación definitiva de los equipos.

CAPITULO I
REVISION Y PUESTA EN OPERACION DEL EQUIPO EXISTENTE.

1.1 ORIGEN DE LA ENERGIA GEOTERMICA.

Conviene decirlo en términos sencillos, en previsión de que la terminología impida digerir la idea más esencial:

GEOTERMIA significa literalmente **calor terrestre**, sin embargo, el término se refiere en práctica al aprovechamiento industrial del **vapor de agua**, extraído, artificialmente con suficiente presión y temperatura como para mover un turbogenerador de electricidad, desde un **reservorio** situado a cientos o millares de metros por debajo del suelo y el cual fue o está siendo todavía calentado por el alto **flujo de calor** proveniente de una **fuente calórica natural** todavía varios kilómetros más profunda que el citado reservorio. Esta agua referida es en general meteórica, es decir agua lluvia, que se infiltra hasta grandes profundidades y se calienta y presuriza el reservorio geotérmico. Perforar el reservorio en forma controlada es lo que hace un **pozo geotérmico** y utilizar la fuerza y energía del vapor que se genera al despresurizar un agua encerrada con mucho más de 100°C de temperatura, es lo que hace un **turbogenerador**, o en términos más completos y usuales una **planta o central geotérmica**.

En cualquier sitio la temperatura de la corteza terrestre aumenta con la profundidad, existiendo por lo tanto un **gradiente de temperatura** o gradiente térmico, cuyo valor normal o de referencia es de 1 °C por cada 33 metros. El fenómeno se debe evidentemente a un **flujo de calor** directo desde el interior hasta el exterior de la tierra, cuya fuente debe estar directamente relacionada con la naturaleza interior de nuestro planeta y sus procesos físicos, descritos como sigue: La Tierra, de la superficie hacia el centro y de acuerdo al modelo dinámico vigente estaría formada por la corteza, el manto o magma y el núcleo central; siendo la primera conformada por unas doce placas rígidas (placas tectónicas), que tienen libertad de movimiento sobre el manto (figura 1.1).

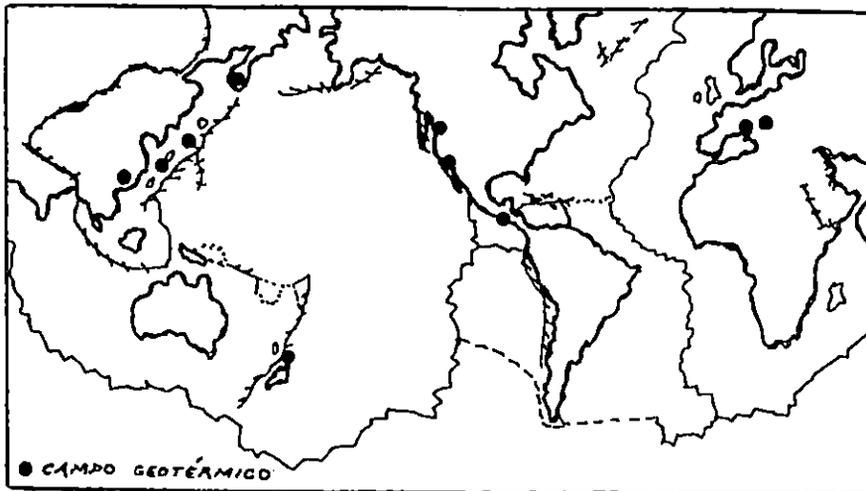


Figura 1.1. La Tierra y sus doce placas tectónicas.

Este modelo presupone que las placas están siendo movidas entre sí por corrientes convectivas que las hacen flotar y resbalar sobre el manto plástico. Las juntas entre las diversas placas están representadas por dorsales medio-oceánicos y por zonas de subducción, que son en general los medios naturales de escape o movimiento frecuente del magma y, consecuentemente focos de producción alta de calor terrestre.

Dondequiera que dos placas se separen, la abertura que queda entre ellas se llena inmediatamente del material caliente que fluye hacia arriba proveniente del manto. Este material hace crecer los extremos de las placas separantes y estos extremos crecidos forman las crestas o cordilleras.

Si se atraviesa una de estas placas a partir de la cresta, se llega a encontrar usualmente una gran trinchera, o depresión oceánica, que marca un sitio donde la placa más antigua y más fría se ha hundido debajo de otra (subducción) o ha sido reciclado hacia el manto.

1.1.1 El flujo normal de calor.

La parte granítica de la corteza terrestre es relativamente rica en elementos radioactivos de larga vida media, que en su proceso de decaimiento entregan calor. Otra fracción importante del calor proviene del manto, en cantidad variable de una región a otra. En las áreas oceánicas, en las cuales está ausente la parte granítica de la corteza y hay sólo unos 5 Km. de basaltos débilmente radioactivos, el flujo de calor es, contrariamente a lo que se espera, casi del mismo valor que en los continentes; de tal manera que en estas áreas la mayor parte de calor debe provenir del manto.

En la base de la corteza (es decir cerca de 35 Km. bajo los continentes y 5 Km. bajo el fondo de los océanos), se tendrían temperaturas de 600 a 700°C y 150 a 200°C; respectivamente; pero sea en áreas continentales como oceánicas, el valor medio de flujo de calor medido en superficie es casi igual y corresponde a 1.65 microcal/cm².seg. Este valor se considera un flujo de calor normal o de referencia, con el cual se puede cuantificar y calificar las anomalías de flujo de calor, que pueden ocurrir.

1.1.2 El flujo anómalo de calor.

Existen zonas de la tierra en las cuales las temperaturas indicadas para la base de la corteza (600 a 700°C y 150 a 200°C), son mucho más vecinas a la superficie y por lo tanto el flujo de calor tiene valores más elevados.

Las áreas geotérmicas son también zonas restringidas de la corteza, en las cuales el flujo de calor es anómalo; es decir decenas o cientos de veces superior al valor normal. Por ejemplo, para el área de Ahuachapán, alrededor de la zona ocupada por el campo geotérmico, se midió un flujo de calor de 100 microcal/cm².seg. y pérdidas de calor en superficie de aproximadamente 80000 kcal/seg.

El flujo anómalo de calor en un área geotérmica, es más asociado a los fenómenos específicos que provienen de una subducción de placas, particularmente el volcanismo. El volcanismo reciente o activo guardan una real y estrecha relación, que se explica así:

El calentamiento friccional y conductivo que origina la placa que se sumerge en una zona de subducción, funde parte de ella y es esta fracción fundida la que puede subir hasta la superficie formando los volcanes y arcos insulares.

Dado que las placas continentales pueden fracturarse en el proceso de una subducción, además de ocasionarse sismos, se producen fisuras por las que pueden subir "burbujas" de lava. Las "burbujas" que por alguna limitación se queden a unos pocos kilómetros de profundidad (5 a 15 Km.), forman las denominadas "intrusiones magmáticas".

Inicialmente estas intrusiones son por supuesto mucho más calientes que la roca que las rodea y por lo mismo les sigue un proceso un proceso de enfriamiento en el que ceden su calor (por conducción) a esas rocas circundantes. Las rocas superiores, tales como las situadas típicamente a unos 2 kilómetros de profundidad en un reservorio geotérmico, son las primeras receptoras potenciales de dicho flujo de calor vertical; otros estratos más superiores también reciben, almacenan y dejan escapar fracciones cada vez más reducidas de dicho flujo de calor, la fracción que finalmente se escapa a nivel del suelo puede ser alta.

1.1.3 Campos geotérmicos.

Un campo geotérmico propiamente dicho, es aquella área geotérmica, bajo la cual existen, de arriba hacia abajo, los siguientes elementos principales. (fig. 1.2).

1.1.3.1- Una "capa sello".

Es el estrato más superficial y de varios cientos de metros de espesor, cuya parte inferior está formada por rocas prácticamente impermeables, que impide escapes directos hasta la superficie del calor y de los fluidos almacenados por debajo de ella.

A manera de ejemplo, en los campos geotérmicos de Ahuachapán y Berlín, el fondo de esta capa sello alcanza una profundidad de 500 y 1500 metros, respectivamente.

La parte superior de este estrato está generalmente formada por materiales no compactos (permeables), por lo cual en ella pueden haber acuíferos sea no termales o poco termales de poca profundidad, así como fenómenos débiles de naturaleza geotérmica en la superficie; es decir, manifestaciones tales como fumarolas, geysers, fuentes de agua caliente, suelos humeantes o chorros de vapor.

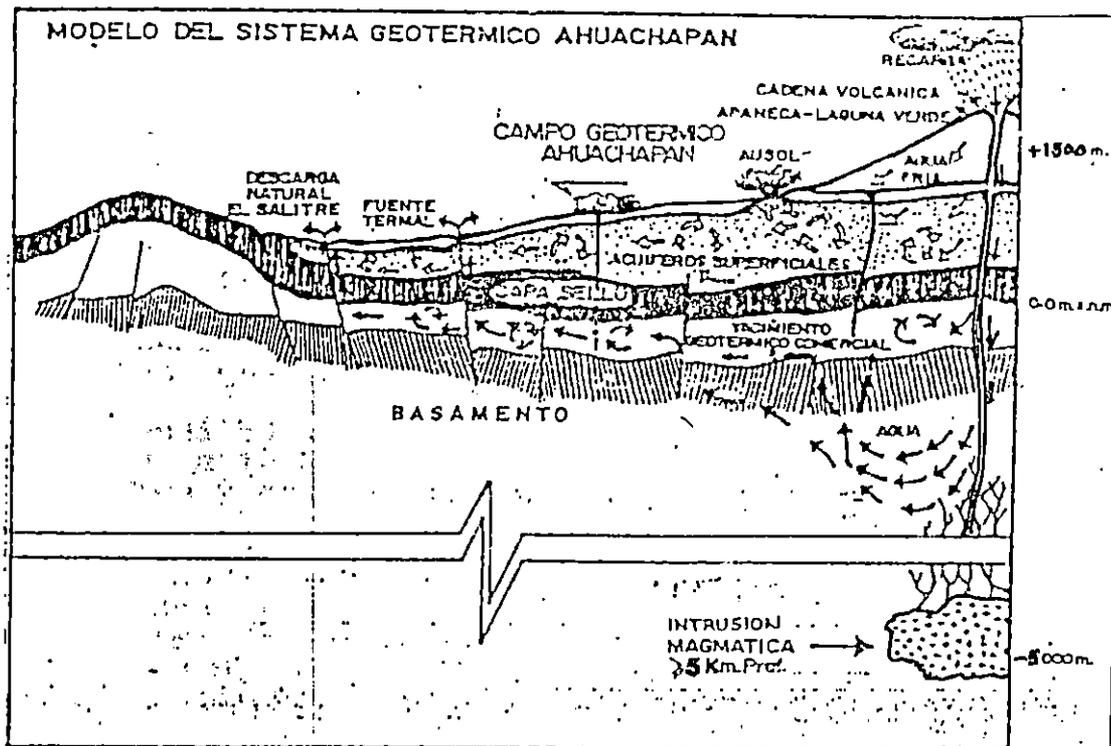


Figura 1.2. Modelo de campo geotérmico de líquido dominante.

1.1.3.2.- Un reservorio geotérmico.

Es un estrato de rocas permeables y calientes que normalmente alcanza varios cientos de metros de espesor (no menos de 1 Km. en Ahuachapán y Berlin). Estas rocas porosas o fracturadas permiten el almacenamiento y la circulación de fluidos en su interior (agua, gases) a los cuales les transmiten su calor, provocando que adquieran altas temperaturas y presiones. Para un reservorio "comercial", las temperaturas de interés deben de ser mayores que unos 200°C . Las presiones hidrostáticas alcanzan unas 30 a 40 atmósferas a la elevación del nivel del mar.

El agua que se almacena y se presuriza al interior de un reservorio no se fuga, ni pierde sus características de alta temperatura y presión, en virtud de la capa sello citada antes. La capa es la que impide que el líquido caliente interior se evapore descontroladamente, tal como ocurriría si se expone a una presión menor que la que tiene adentro.

Este estrato, almacenador del agua cuya fracción de vapor servirá posteriormente para impulsar una turbina, es el que tipifica a un campo geotérmico. Es el que se busca identificar en la exploración y hasta cuya profundidad se perforarán los pozos geotérmicos; es decir, en el rango de 600 hasta unos 3000 metros.

Los pozos geotérmicos son entonces una especie de "pajilla" con válvula, únicamente por medio de la cual se podrá dejar que salga a la superficie el agua presurizada y de alta temperatura que hay en un reservorio. Toda despresurización de un agua en fase líquida con temperatura mayor de 100° C origina que una parte se transforme en vapor. Esta parte de vapor será mayor en tanto más alta sea la presión a la que se deja evaporar. Excepto condiciones especiales entonces, a la boca de salida de un pozo geotérmico lo que sale usualmente es una mezcla de las fases líquida y vapor de agua.

Si el reservorio geotérmico fuera totalmente cerrado, no podría restituirse la masa y el calor que libera a través de un pozo y se agotaría rápidamente. En efecto no es el caso, el reservorio es recargado (lateralmente) de agua, la cual continúa extrayendo el calor almacenado en las rocas, en un proceso que puede durar varias decenas de años.

1.1.3.3.- Una recarga de fluido para el reservorio.

El fluido que se almacena en un reservorio para recibir el calor de las rocas y transportarlo hasta la superficie, debe provenir de alguna parte. Este fluido es en general el agua lluvia y meteórica, que se infiltra en zona aledañas al campo geotérmico, aprovechando fallas geológicas, chimeneas de volcanes, etc, hasta alcanzar grandes profundidades (3 a 5 Km. por ejemplo) y adquiere así altas temperaturas.

Al encontrar pasos preferenciales que le permiten su circulación horizontal (tales como zonas de contacto entre diferentes formaciones litológicas), puede abastecer a un reservorio geotérmico. Su contacto con las rocas no sólo la provee de temperatura y presión, sino también de una alta salinidad. La salinidad total del agua que hay en un reservorio es usualmente de varios miles de partes por millón (como ejemplo, 20000 ppm en Ahuachapán) y la sílice es generalmente uno de los componentes predominantes.

Esta circulación del agua de recarga, es importante observarlo, no es tan rápida; puede tomar decenas o cientos de años desde que el agua lluvia se empezó a infiltrar, hasta que llega a un reservorio.

1.1.3.4.- El basamento.

Este es un estrato impermeable que puede o no ser interceptado con la perforación. Es la base del reservorio, en donde la temperatura sigue aumentando hacia abajo. Existen campos geotérmicos en donde el techo de este estrato aún no ha sido identificado, lo cual es debido por una parte a que existe un límite tecnológico y económico en las profundidades que se pueden alcanzar en una perforación geotérmica; en general, del orden de los 3 Km. Por otra parte, no es un objetivo perforar hasta alcanzar el techo de un basamento, excepto bajo propósitos especiales de investigación de un determinado campo.

1.1.3.5.- Una fuente de calor.

A profundidades de 5 a 15 Km.; o en otras palabras hasta unos 12 Km. más abajo de la base de un reservorio, deben estar las intrusiones magmáticas o porciones de magna en proceso de enfriamiento; es decir, emanando hacia arriba el calor que reciben las rocas de un reservorio.

Este proceso de enfriamiento y solidificación no ocurre tan rápido, como es usual en la superficie, porque el calor se transmite a las rocas circundantes por conducción.

La magnitud de este flujo de calor conductivo obviamente será mayor, en tanto más reciente haya sido la actividad eruptiva o el movimiento tectónico que dio origen a la intrusión.

Si a este punto se recuerda el modelo dinámico de la tierra, se podrá ver la estrecha relación entre "volcanismo joven" y campos geotérmicos: Del primero depende la magnitud del calor que podría estar almacenado en las rocas del reservorio y el período adicional que dicho flujo pueda mantenerse a valores altos.

Ya que lo que se busca extraer para la utilización no es la fuente de calor en sí, sino el fluido (agua) calentada y presurizada por esa fuente, tanto el potencial de calor como la magnitud de una recarga de agua son los elementos que califican la importancia comercial de un reservorio y de un campo geotérmico.

Dependiendo de cual es el estado termodinámico inicial del agua en el reservorio, así existen los siguientes tipos principales de campos geotérmicos, englobados en forma genérica como sistemas hidrotermales convectivos y utilizados en producción de energía eléctrica con turbinas convencionales de vapor:

- a) Líquido dominante (vapor húmedo).
- b) Vapor dominante (vapor seco).
- c) Acumulaciones geopresionadas (sedimentos calientes).
- d) Formaciones secas (rocas calientes)

Los segundos se dividen como sigue:

- "de vapor seco saturado".
- "de vapor seco sobrecalentado".

Los dos primeros son los campos más comunes en el mundo y su principio de funcionamiento se esquematiza en las figuras 1.2 y 1.3. Los campos geotérmicos de Ahuachapán y Berlín, pertenecen a la categoría de líquido dominante, la diferencia entre ellos es que Berlín tiene mayor temperatura en el reservorio y por lo tanto mayor producción de vapor en el fluido producido por los pozos, en otras palabras mayor eficiencia desde el punto de vista de la generación eléctrica.

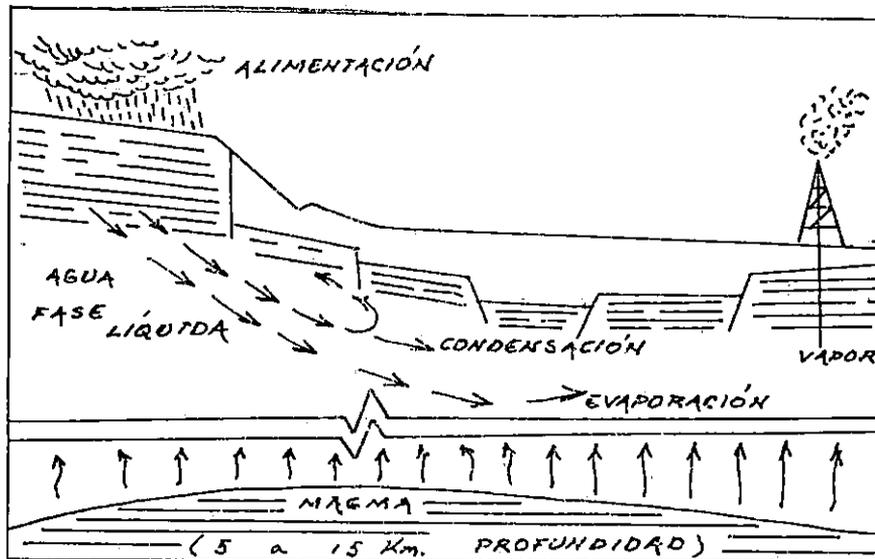


Figura 1.3. Modelo de campo geotérmico de vapor dominante.

Todos los sistemas anteriores tienen un potencial para la explotación, pero los sistemas de vapor dominante ofrecen las condiciones óptimas para la producción de electricidad. La tecnología corrientemente disponible para generación eléctrica hace uso del vapor. Basándose en conocimientos actuales, sobre el vapor geotérmico, hay algunos requerimientos que deben cumplirse para la generación de electricidad.

Se trata de lo siguiente:

- La temperatura de los reservorios debe ser alta (al menos 180°C), es preferible arriba de 200°C .
- La profundidad del reservorio menor a los 3 Km.
- Adecuado volumen del reservorio.
- El reservorio debería de tener fluidos naturales para la transferencia de calor a la superficie y a las plantas de energía.
- La permeabilidad del reservorio debe ser adecuada para la conducción de fluidos hacia los pozos y tener suficiente proporción para la producción de energía.
- No tener problemas de tecnología.

En los sistemas de líquido dominante, la presión del agua es controlada en su fase líquida, pueden contener algo de vapor encontrado como ebullición discreta en la superficie, en zonas de baja presión, el agua en estos reservorios es una solución acuosa diluida, conteniendo Sodio, Potasio, Litio, Calcio, Cloro, Bicarbonato, Sulfato, Boro y alto grado de Sílice.

1.2 FORMA DE EXTRAER LA ENERGIA GEOTERMICA

El fluido geotérmico es un recurso existente a considerables profundidades que sólo puede extraerse mediante pozos que se diseñan y perforan convenientemente para ese propósito.

Los pozos son una especie de válvula, únicamente por medio de la cual se podrá dejar que salga a la superficie el agua presurizada y de alta temperatura que hay en un reservorio. Toda despresurización de un agua en su fase líquida con temperatura mayor de 100°C , origina que una parte se transforma en vapor, esta parte de vapor será mayor, en tanto más alta sea la presión a la que se deje evaporar. Excepto en condiciones especiales, a la boca de salida de un pozo geotérmico, lo que sale es una mezcla de las fases líquida y vapor de agua.

Es claro que lo que se persigue extraer en geotermia es fluido, caliente y presurizado, por lo que se trata entonces de ver como se construyen pozos geotérmicos, para poder extraer el fluido en forma controlada y manejable.

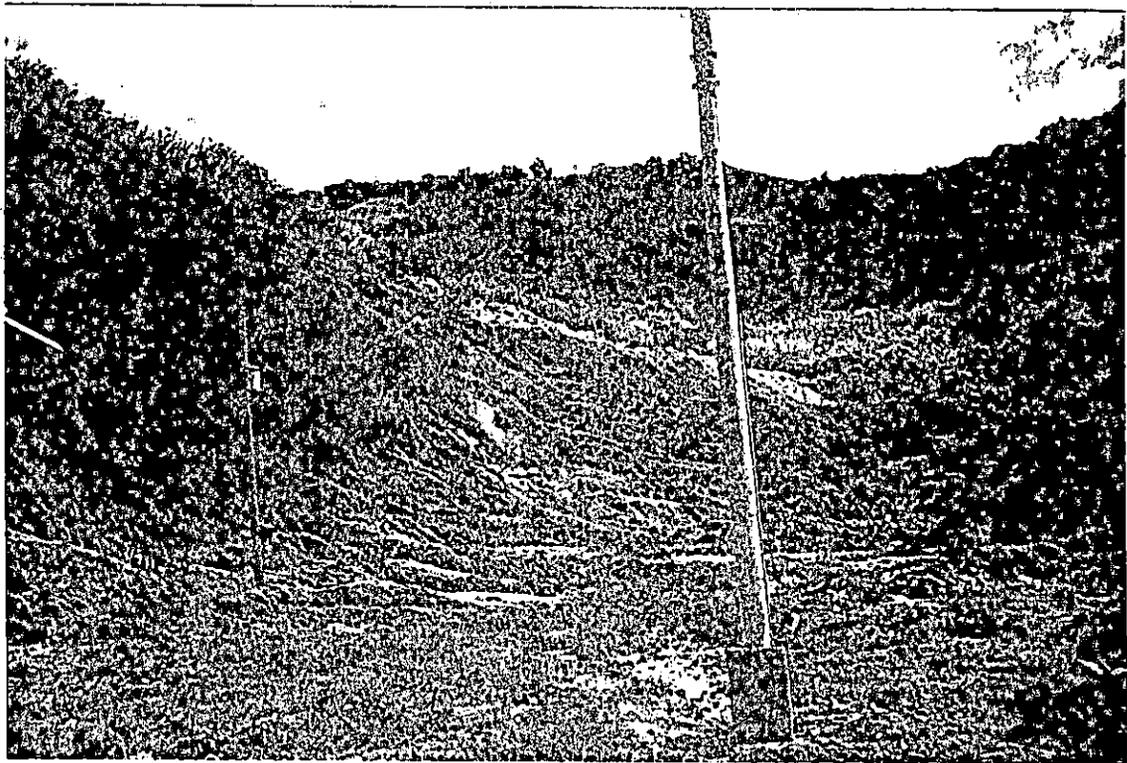


Figura 1.4. Manifestación geotérmica.

La exploración es un proceso que se comienza con una prospección o exploración en superficie, forma indirecta y a la vez económica de lograr la identificación del recurso, en la figura 1.4 se muestran algunos indicios superficiales de un campo geotérmico.

A partir de cierto momento y en función de resultados se complementa con exploración profunda, es decir "pozos exploratorios" de diferente profundidad y diseño dependiendo de su objetivo específico, con los cuales se posibilita una identificación directa y una delimitación de las zonas a perforar para "pinchar" el reservorio. En la figura 1.5 se muestra una exploración profunda. Esto significa que, antes de llegar a esa perforación destinada a extraer el "fluido comercial", hay otros tipos de pozos en general más pequeños y de menor costo, que se perforan en el proceso investigativo.

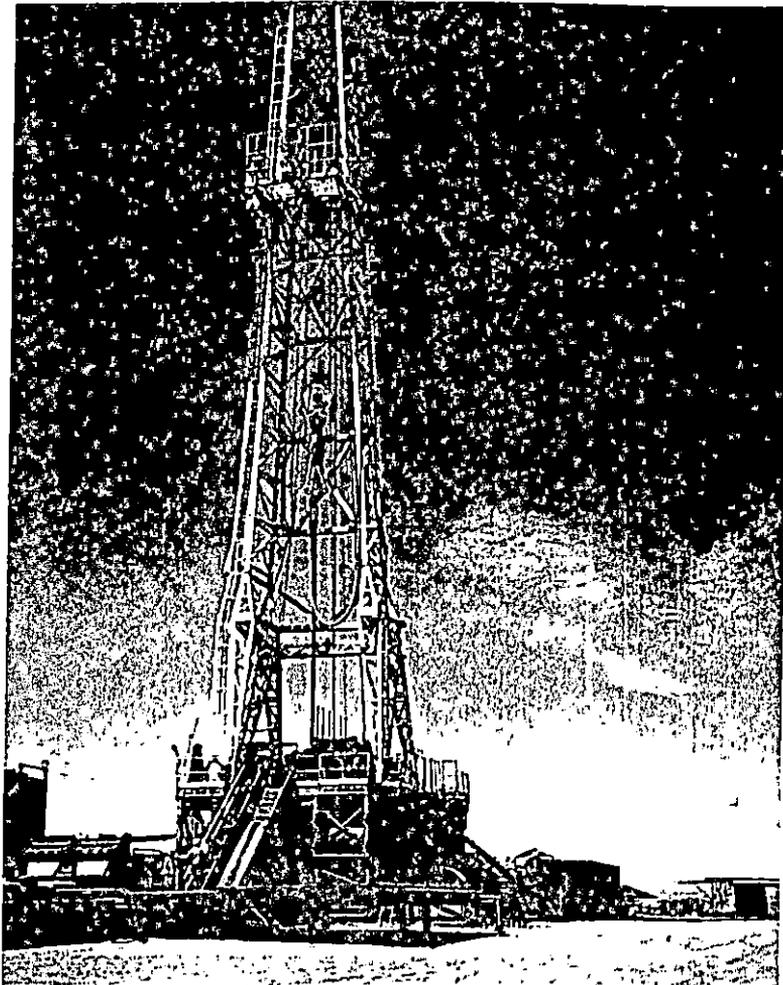


Figura 1.5. Perforación profunda. (Pozo TR-10).
Central Geotérmica de Berlín.

La perforación de pozos es una de las actividades más caras del proceso geotérmico y por esa razón se emplea a través de un proceso gradual de evaluación de resultados técnicos que cada vez permita ir reduciendo los subsiguientes riesgos mineros y financieros. En geotermia, este trabajo se aborda diseñando la exploración de una región en tres etapas: Reconocimiento, prefactibilidad y factibilidad (la última si se va a hacer explotación en gran escala). A todas estas denominaciones de etapa técnica se les agrega usualmente el nombre de "geotérmicos" para evitar que se asocie a otros usos de menor alcance de estos términos.

1.2.1 Tipos de pozos geotérmicos.

1.2.1.1- Pozos exploratorios.

a) De gradiente.

Usualmente en el rango de 30 a 150 m. de profundidad y unos 350 metros como máximo; diámetros pequeños en el rango de 2 a 4 plg. Se perfora con el fin principal de medir el gradiente de temperatura.

b) De testigo continuo.

"Testigo" significa de "muestra de roca en forma de núcleo cilíndrico"; a diferencia de las muestras trituradas obtenidas normalmente. El fin principal es estudiar en detalle la litología implicando mayor complejidad y costo aunque tengan similares dimensiones que los anteriores. Con el tiempo los dos tipos de pozos se han hecho uno solo, ampliando el rango de diámetros del tipo (b), y la profundidad y restringiendo a tramos el testigo continuo y conservando a medias el objetivo de medir el gradiente térmico. A éste se le llamó "de testigo continuo".

c) Exploratorio de múltiple propósito.

Reemplaza a los dos anteriores. Múltiple propósito de exploración significa aquí investigar litología, temperatura permeabilidad, quimismo, etc. Son pozos un poco más grandes de diámetros (agujero máximo en la parte superior de unas doce pulgadas) y en profundidad (400 a 500 m. como usual y 600 y 700 m. como máximo).

d) Exploratorio profundo.

Son pozos de diámetros y profundidades grandes (agujero inicial y final respectivamente de 26 y 8 1/2 plgs. con 600 a 1500 m. de profundidad; como referencia). Son los que tienen como fin principal interceptar un reservorio de calidad comercial. Estos pozos dan resultados útiles a los fines de una evaluación del potencial energético y de una delimitación de la zona de mayor interés para extraer el recurso.

1.2.1.2- Pozos de explotación.

Este grupo comprende los pozos de explotación, de reinyección y de propósitos especiales, éstos últimos en general combinados.

El término "explotación" abarca no solamente la acción principal de **producción**, (extracción del fluido); sino también el caso más general en que ésta pueda ser combinada con **reinyección** (retorno al subsuelo del líquido residual obtenido al haber separado el vapor utilizable para impulsar un turbogenerador) y **otros propósitos** o necesidades propias de una utilización como la expansión o delimitación del campo (en área y profundidad del mismo) o el perfeccionamiento de su manejo.

a) De producción.

Reúnen las máximas exigencias en todo sentido, si resultan no productivos o con déficit en la calidad comercial lo cual no es extraño dentro de la heterogeneidad de los reservorios geotérmicos pueden eventualmente servir como reinyectores si su ubicación relativa dentro del campo lo permite. En otros casos se usan como pozos de monitoreo para la presión y /o temperatura del reservorio.

b) De reinyección.

Se diseñan en relación a la profundidad y diámetro del agujero a reinyectar; pero su diseño mecánico satisface las mismas exigencias que un pozo productor. De hecho en algunos casos un pozo que fue provisto para reinyección puede operarse en producción si ese fue el resultado y la conveniencia final. La profundidad depende de si el esquema previsto de reinyección es arriba, al mismo nivel o por abajo del reservorio principal.

c) De propósitos especiales.

Si se hacen para verificar la extensión del territorio pueden ser más grandes que pozos productores existentes; pero su completamiento mecánico sigue siendo el mismo ya que requieren ser previstos como para operar en una eventual producción.

1.3 CONVERSION DE LA ENERGIA GEOTERMICA EN ENERGIA ELECTRICA.

1.3.1 Principios básicos.

La conversión de energía geotérmica en energía eléctrica vista en la forma más simple posible es la que realizan. Cada pozo tiene su propia relación de objetivo, diseño, (diámetros, profundidad y materiales), costo y uso al que puede destinarse. Yendo de los pequeños a los grandes secuencia normal de empleo en una exploración, estos tipos de pozo con sus características principales son los siguientes: dos equipos fundamentales: una turbina de vapor y un alternador o generador eléctrico que funcionan acoplados directamente o a través de un reductor de velocidad.

El principio básico se puede expresar así: La turbina recibe energía geotérmica (contenida en el vapor que viene del pozo) y entrega energía mecánica (disponibilidad de torque en el eje de la misma); el alternador recibe energía mecánica del eje de la turbina) y entrega energía eléctrica (a una subestación y línea de transmisión).

La turbina no es más que un "motor" constituido por su eje y su árbol con una o varias ruedas de álabes sobre los cuales actúa la fuerza de un fluido haciéndolas rotar y permitiendo así disponer de energía mecánica en el eje. Las turbinas de vapor que se usan en geotermia funcionan por la fuerza del fluido que proviene de la entalpía del vapor. La turbina geotérmica está formada por numerosas ruedas yuxtapuestas de diámetro creciente en el sentido seguido por el vapor.

El alternador es la máquina que hecha rotar por la turbina genera corriente alterna con base en los fenómenos de inducción electromagnética; está constituida por el eje de acople de la turbina, el rotor y el estator.

1.3.2 Proceso general de la utilización geotermoeléctrica.

El vapor geotérmico por supuesto hay que hacerlo llegar desde campo geotérmico donde está el pozo productor hasta la central geotermoeléctrica, donde está el turbogenerador y otros equipos importantes para la conversión de energía. Este esquema es el que ilustra la figura 1.6.

El fluido en el reservorio está a una temperatura no menor de unos 230°C y presiones de varias decenas de bares. Este reservorio genera y hace subir a través del pozo el fluido portador de energía geotérmica (calor temperatura y presión). Con una válvula maestra el fluido saldrá espontáneamente y si es posible lo hará por varias decenas de años.

El fluido disponible en el cabezal del pozo es por naturaleza "agua"; dependiendo del estado termodinámico del reservorio puede constituir una mezcla de las dos fases, el cual es el caso presente.

El vapor hay que separarlo de la mezcla inmediatamente después de que ésta sale del pozo aparece un elemento típico de las instalaciones de un campo: El separador ciclónico. Después de éste el vapor se transporta por tuberías hasta la central generadora.

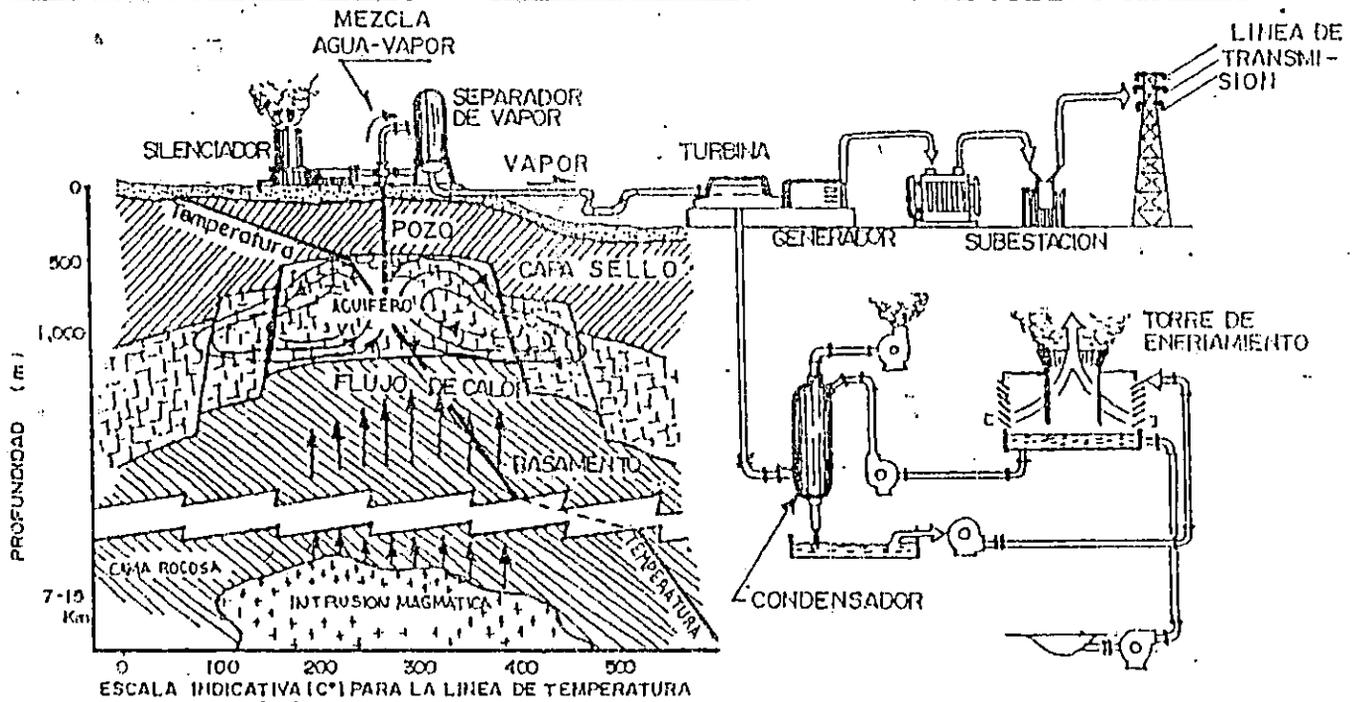


Figura 1.6. Esquema de la generación eléctrica.

Se puede observar que las tuberías de transporte del fluido geotérmico van en forma de "zig-zag"; son formas especiales que se emplean para controlar las dilataciones térmicas. Después de transmitir su energía a la turbina, el fluido sale por el escape de ésta hacia un condensador y luego al circuito de enfriamiento, o sea las torres de enfriamiento para luego ser desechado con una temperatura bastante baja alrededor de unos 40° C.

A partir de los terminales de salida del alternador, la energía eléctrica normalmente va a un grupo de transformadores (figuras 1.7 y 1.8), que se encargan de elevar el voltaje (subestaciones primarias o elevadoras) y de éstas a las líneas de transmisión primarias o de alto voltaje.

La energía eléctrica siempre es transmitida en voltajes muy altos desde la planta generadora hasta el área consumidora para reducir las pérdidas de energía. Se pueden transmitir cantidades iguales de energía sea mediante alto voltaje y poca corriente o viceversa; sin embargo las pérdidas de energía en los cables conductores son menoresen tanto menor sea la corriente. Así en el área consumidora hay normalmente subestaciones reductoras de voltaje.

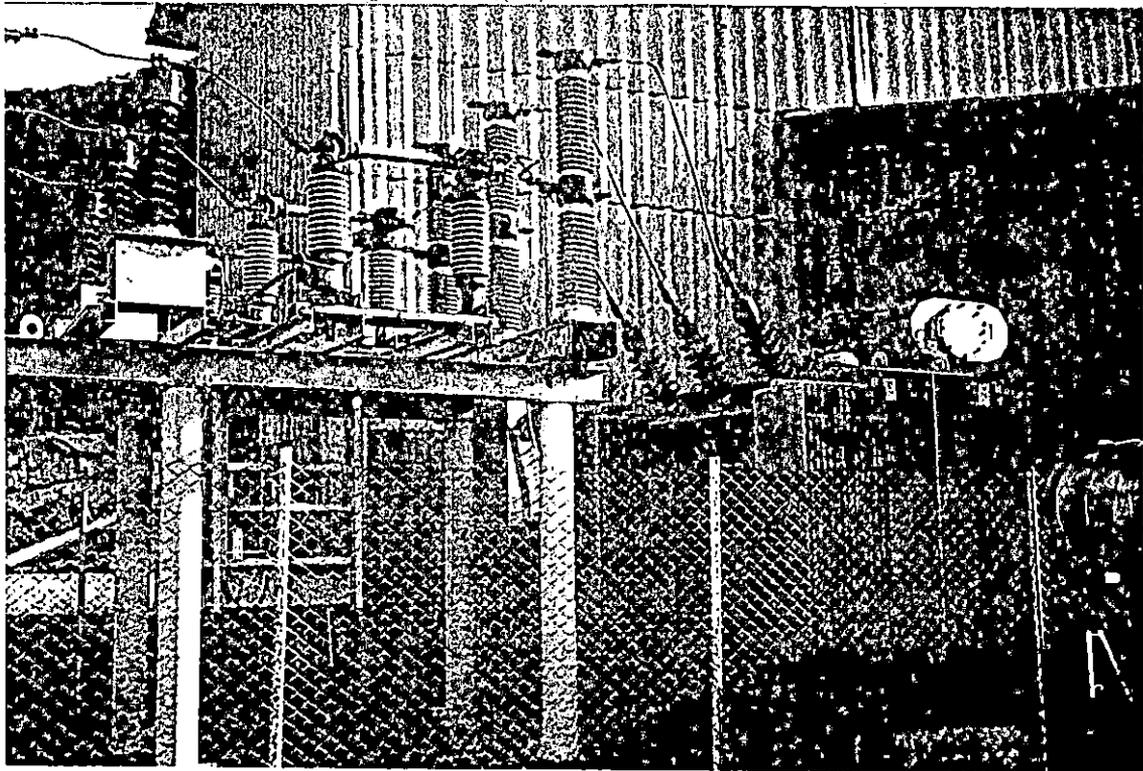


Figura 1.7.

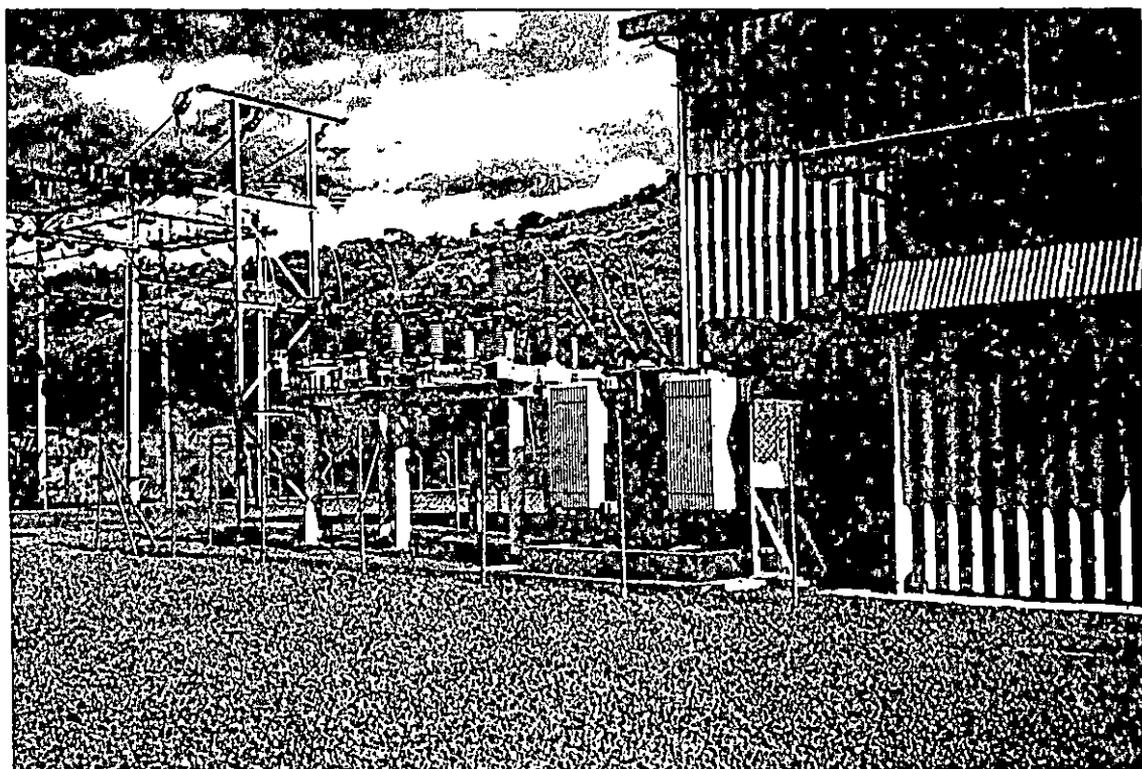


Figura 1.8.

Es a partir de estas subestaciones reductoras que se habla de líneas de distribución y transformadores ubicados en las cercanías del consumidor que reducen finalmente la tensión a valores bajos, ya que la energía será enviada a corta distancia hacia el usuario.

En todo el proceso, desde que el fluido geotérmico dejó el reservorio hasta que el usuario dispone de la electricidad, hay por supuesto procesos y pérdidas de la energía. Hay una serie grande de equipo e instalaciones sin los cuales no es posible realizar todos los procesos termodinámicos, mecánicos y eléctricos requeridos.

1.4 SISTEMA DE MONITOREO.

El sistema de monitoreo, utiliza como componentes de fondo de pozo, una cámara de suspensión y un tubo capilar de pequeño diámetro, y como componentes de superficie, un transmisor de presión y una unidad registradora de datos.

El sistema de medición está basado en el principio de operación de un manómetro, consiste básicamente, de una cámara de fondo conectada a un transmisor de presión por medio de un tubo caoilar. Durante la instalación, el sistema es llenado de un gas monofásico (en las centrales geotérmicas de El Salvador, se usa generalmente, Nitrógeno), de conocidas propiedades físicas, al cesar de aplicar el gas, las presiones de la cámara, así como las de punto de medición, entran en un proceso de equilibrio, de tal forma que, los cambios de presión dentro de la cámara, son transmitidos a la columna de gas, desde la cámara, hasta la superficie, obteniéndose arriba una señal equivalente a la del fondo del pozo, en este proceso, las propiedades físicas y termodinámicas del gas afectan la medición, por lo que deben calcularse constantes de corrección, para obtener la medición correcta, (llamadas Span y Cero), éstas deben introducirse a la unidad registradora de datos, para que la presión sea registrada correctamente.

1.4.1 Cámara de suspensión.

La cámara de suspensión, is instalada usando el tubo capilar como sostenimiento directo, la cámara cuelga sobre el fondo y permanece suspendida hasta que el tubo y la cámara son recuperados del pozo. Para prevenir que el fluido penetre en el tubo capilar, el volumen de la cámara es calculado para cubrir el rango de presiones del campo, encontrado dentro de un período de pruebas. La cámara de suspensión permite la interfase entre el fluido de trabajo y el gas, sin permitir al fluido, penetrar en el tubo capilar.

1.4.2 Tubo capilar.

El tubo capilar es intermediario entre la cámara de suspensión y el sistema de monitoreo, a través de él se introduce gas al sistema de transmisión de presión, durante las operaciones de instalación del equipo y cuando sea necesario, ya sea debido a que el equipo se descalibre o sea necesaria alguna operación de mantenimiento.

1.4.3 Transmisor de presión.

Es un dispositivo utilizado para convertir la señal producida por el sistema de transmisión de presión, a una señal eléctrica, ya sea de corriente o de voltaje, esta señal puede ser captada por un dispositivo que procese esta información.

1.4.4 Registrador de datos.

Esta unidad recibe la señal de un transmisor, para procesarla, ya sea como una lectura a través de una pantalla, a través de un impresor incorporado o enviar esta información a dispositivos de almacenamiento a través de computadoras. Es por medio de este dispositivo, que se pueden obtener conocimientos del estado de un reservorio, si la señal es transmitida correctamente. Para que estos registradores den una lectura confiable, deben permitir ajustárseles las lecturas a través de constantes de corrección.

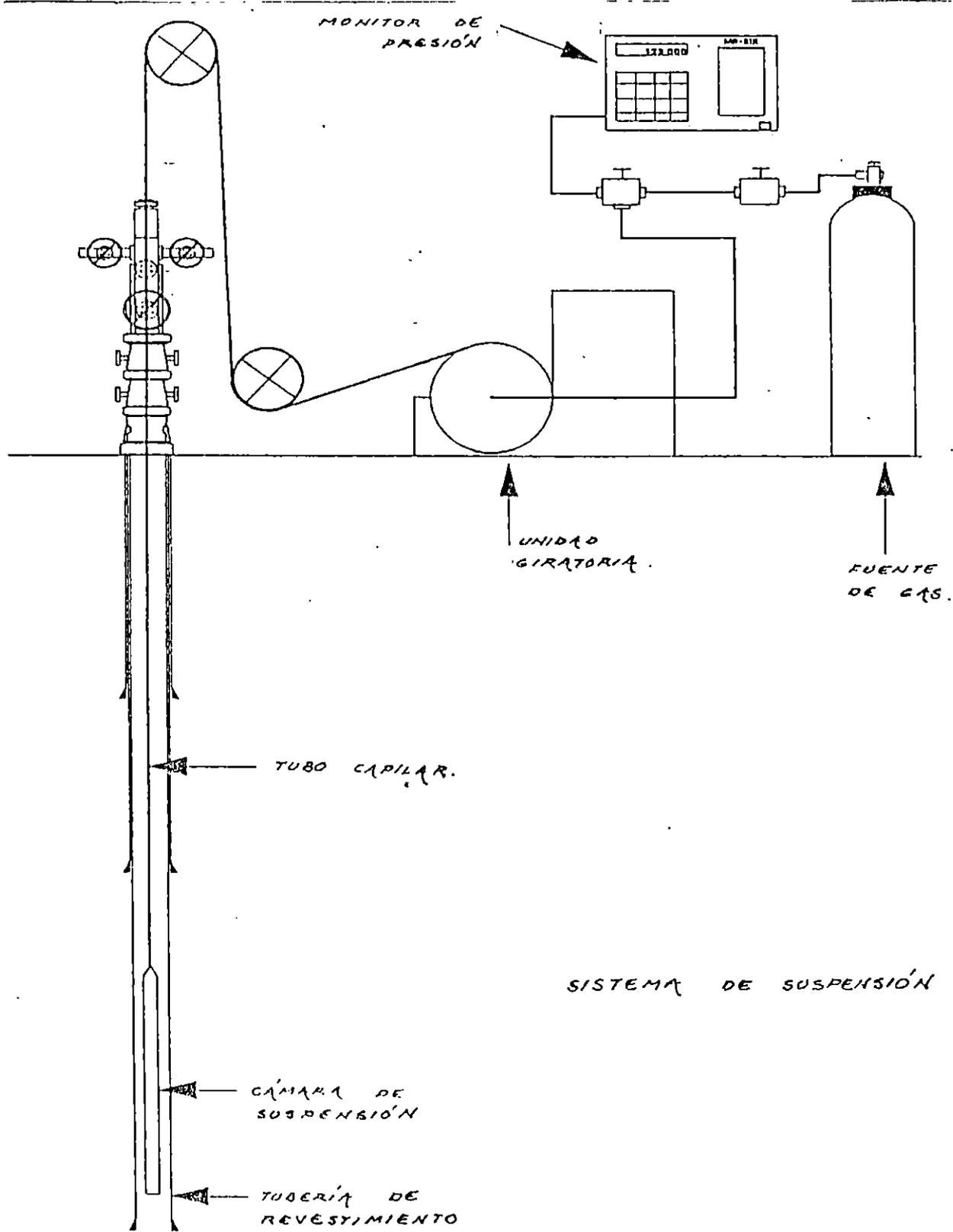


Figura 1.9. Sistema de suspensión.

1.5 PUESTA EN OPERACION DEL EQUIPO DE MONITOREO EN LA CENTRAL GEOTERMICA DE BERLIN.

1.5.1 Preparativos previos a la instalación del equipo.

Verificar el estado del tubo capilar (si está picado o perforado). Esto se hace colocando una válvula de dos vías y un manómetro (que cubra el rango de presiones de trabajo), en un extremo, en el otro se coloca un tapón, luego se inyecta gas en el extremo donde está la válvula, hasta obtener una presión, que sea aproximadamente la mitad de la escala del manómetro, esta lectura en el manómetro, debe mantenerse por lo menos durante 10 minutos, para verificar que el tubo capilar esté en buenas condiciones, teniendo en cuenta que no existan fugas de gas en los acoples de los accesorios.

Enseguida, se incorpora el contómetro, que es el instrumento que se utiliza para medir la profundidad a la cual desciende la cámara de suspensión dentro del pozo.

Debe colocarse una tubería de recuperación en el cabezal del pozo, especialmente en pozos que tienen presión de cabezal, verificándose que la válvula maestra esté completamente cerrada, se incorpora un lubricador en la parte superior de la tubería de recuperación, para evitar los escapes del vapor geotérmico a la atmósfera, aunque éste no es necesario cuando no existe presión de cabezal.

1.5.2 Instalación de la cámara y del monitor.

Se procede a acoplar la cámara de suspensión al tubo capilar, se coloca la cámara dentro de la tubería de recuperación y se coloca el lubricador, teniendo cuidado de no dañar el tubo capilar, y se abre la válvula maestra, para comenzar a descender la cámara, hasta el nivel del agua, y se inyecta gas durante 10 minutos, la cámara de suspensión se baja enseguida hasta el punto de medición donde se va a monitorear la presión del reservorio y se vuelve a inyectar gas durante el tiempo que sea necesario para llenar el tubo capilar y evacuar cualquier impureza, ya sea, gases o líquidos, que se filtren al capilar durante la instalación de la cámara. Luego se cierra la válvula conectada al tanque de gas, y se ajustan las constantes de corrección en el monitor de presión, que se conecta al sistema para hacer el registro de presión. La instalación completa se muestra en la figura 1.9.

1.6 PUESTA EN OPERACIÓN DE EQUIPOS EN PARALELO PARA EL MONITOREO DE PRESIÓN EN LA CENTRAL GEOTERMICA DE AHUACHAPÁN.

Debido a que ha estado un equipo monitoreando la presión, sólo es necesario utilizar una válvula de tres vías y dos vástagos para conectar el otro equipo de monitoreo, el cual ha sido previamente calibrado y ajustado en el laboratorio, la conexión se muestra en la figura 1.10.

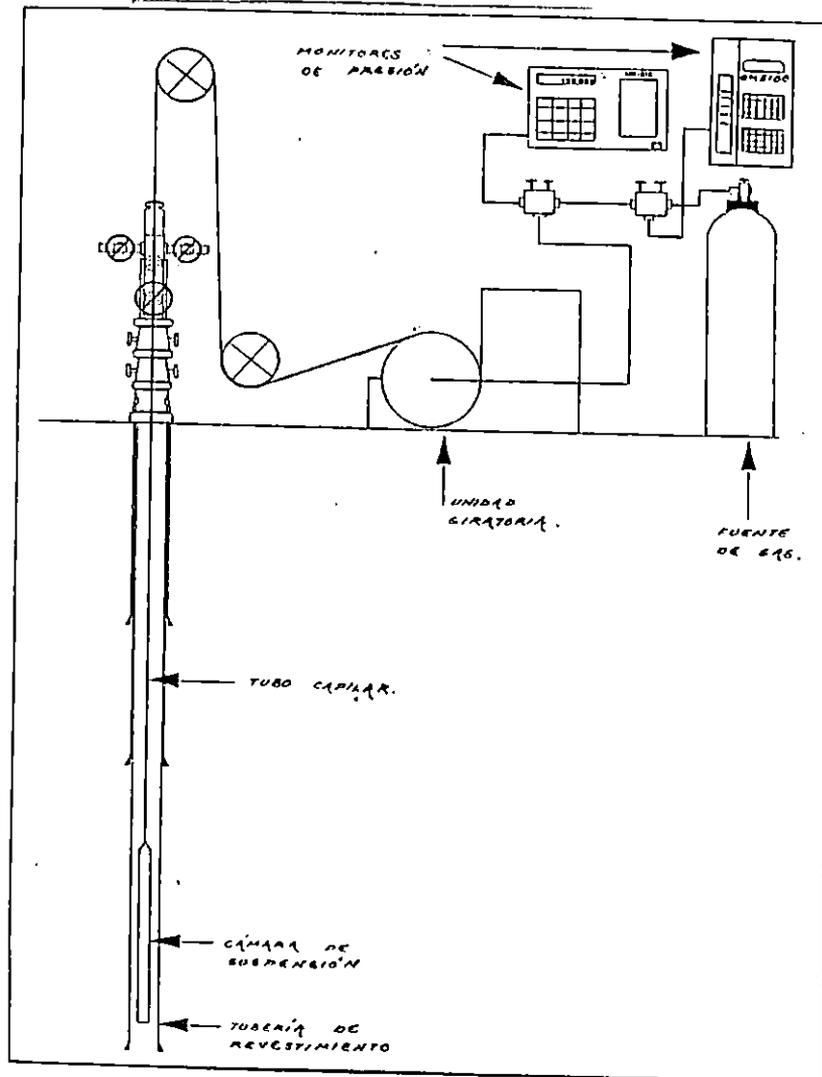


Figura 1.10 Conexión de equipos en paralelo.

1.7 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS CONECTADOS EN PARALELO.

Equipo: MR-SIX.

Exactitud: 0.3% a plena escala.

Resolución: 0.01379 Bars.

Rango de presión del transductor: 172 Bars.

El transductor de presión de superficie, es adecuado para trabajar con la tubería capilar, el sistema cerrado es llenado con nitrógeno, como la presión de fondo se incrementa, el gas en la cámara se comprime, y la presión es transmitida por medio del gas, contenido en el capilar, tal que en la superficie, el gas del fondo es afectado por el peso de la columna, tal que en la superficie, el gas es menos denso que en el fondo de la columna. La variación de densidad afecta el porcentaje de cambios de presión sensados en la superficie.

El operador debe usar un factor de corrección llamado Span, para compensar por esto. El peso de la columna de gas es corregido por el factor de corrección llamado Cero.

El transductor responde a cambios en la presión del gas, y sus salidas las cambia a señales eléctricas, este transductor tiene un diafragma que entra en contacto directo con el gas. La comprensión deflecta el diafragma que tiene un resistor de esfuerzo colocada en él. La corriente es transferida por medio del resistor puente y el voltaje de salida resultante, varía con la expansión o contracción del diafragma. La salida analógica es amplificada.

La salida del transductor es transmitida por medio de cables. Las señales analógicas decaen y captan ruido cuando se transmiten por cables, entonces la señal se distorsiona cuando llega a su destino. Para eliminar este potencial elemento de error, la salida del transductor es convertida a señal digital por la tarjeta convertidora A/D.

Este asigna una palabra binaria al nombre de la fuente de la señal: transductor de presión, transductor de temperatura o la termocupla y se asigna esta representación digital a la señal analógica amplificada. En lugar de transmitir la señal analógica que introduce el error, es transmitida la palabra binaria. Esto asegura que la señal es recibida por el monitor tan exactamente como fué medida.

El transductor de presión es afectado muy escasamente por los cambios de temperatura.

El monitor registrador, proporciona energía a los sensores, recibe datos de éste, los procesa, aplica factores de corrección y genera una impresión.

La tarjeta receptora de datos:

1. Recibe datos transmitidos desde la unidad sensora.
2. Acumula el "string" de datos para cargarse dentro de la memoria RAM, como palabras de presión y temperatura.
3. Avisa al microprocesador que el dato es leído para ser procesado.
4. Permite al procesador enviar comandos al sensor y al control de energía del sensor.

El microprocesador ordena al sensor enviar el contenido de su identificación y ordena al sensor que envíe los datos en bruto. Toma los datos recibidos por la tarjeta receptora de datos, los almacena en memoria RAM, les aplica factores de corrección, y calcula la presión de fondo y lee las temperaturas de cada sensor. El microprocesador formatea las lecturas y sus salidas a la pantalla, impresor o a dispositivos periféricos, almacena los programas del sistema, controla las funciones y proporciona hasta 16 Kbytes para los programas.

La tarjeta RAM proporciona 16 Kbytes de memoria volátil.

Este equipo de monitoreo es el que opera en la Central Geotérmica de Ahuachapán, desde el año de 1978, actualmente monitorea la presión en el pozo AH-25. Tiene sus rutinas normales de chequeo y mantenimiento.

Equipo: OMEGA.

Exactitud: $\pm 0.15\%$ del Span calibrado.

Resolución: menor que 0.02%

Tipo de transductor: Strain Gauge Piezoresistivo.

El transductor PX-725 está compuesto de una parte electrónica y un módulo sensor. La electrónica contiene la circuitería amplificadora y los terminales.

El sensor contiene una cámara de entrada de presión, un fluido para la cámara, un diafragma aislador y un microdiafragma que incluye un sensor de circuitería electrónica.

La presión de entrada causa que el diafragma aislador flexione en proporción a los cambios de presión. El movimiento de este diafragma causa un desplazamiento del fluido de relleno que es sentido por el microdiafragma, que contiene cuatro resistores de esfuerzo piezoresistivos, colocados en la superficie del diafragma y conectados en una configuración puente. La flexión del diafragma causa cambios en la resistencia del puente, que es energizado por una fuente de corriente constante, produciendo una señal de milivoltios, que corresponde a la presión medida. Una red termistor - resistor asociada al circuito puente provee estabilidad a la medida, para compensar los cambios en la temperatura ambiente. La señal de milivoltios, se aplica a un amplificador lineal de alta ganancia y convertida a señal de corriente de salida de 4 a 20 mA. Esta corriente se aplica a una resistencia de 100 Ohmios, lo cual proporciona una salida de 0.4 a 2 Voltios, para un dispositivo externo. El circuito amplificador contiene ajustes del Span y el Cero, para calibración.

El dispositivo externo a conectar con el transductor es un registrador de datos OM-5100. Posee una memoria para almacenamiento temporal de los datos registrados, que pueden ser impresos o enviados a una computadora.

Este registrador consiste de un microprocesador con memoria EEPROM interna y memorias externas RAM y ROM.

Los multiplexores llevan a cabo las funciones de acondicionamiento de la señal para el registrador. Las señales de entrada se amplifican y digitalizan en un convertidor A/D.

Este equipo es necesario someterlo a una rutina general de chequeo para su calibración.

1.8 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE LABORATORIO.

TABLA 1.

Presión en el manómetro (Psig)	Presión en el registrador		CORRIENTE		VOLTAJE	
	(Psig)	(Bars)	Medida (mA)	Calculada (mA)	Medido (Volts)	Calculado (Volts)
0.0	0.0	0.00	4.00	4.000	0.400	0.400
10	9.0	0.62	4.14	4.160	0.414	0.416
12	11.0	0.76	4.18	4.192	0.418	0.419
14	12.9	0.89	4.21	4.224	0.421	0.422
16	14.8	1.02	4.24	4.256	0.424	0.426
18	17.0	1.17	4.27	4.288	0.427	0.429
20	20.1	1.39	4.32	4.320	0.432	0.432
22	22.3	1.54	4.36	4.352	0.436	0.435
24	24.0	1.76	4.38	4.384	0.438	0.438
25	25.6	1.77	4.41	4.400	0.441	0.440
26	26.8	1.85	4.43	4.416	0.443	0.442
26.2	27.0	1.98	4.43	4.419	0.443	0.442
28	28.7	1.98	4.46	4.448	0.446	0.445

Con un análisis estadístico de regresión lineal, de los datos obtenidos, se obtiene la ecuación:

$$P = 626.4 * V - 250.7$$

que es aceptable con respecto a la respuesta teórica del registrador.

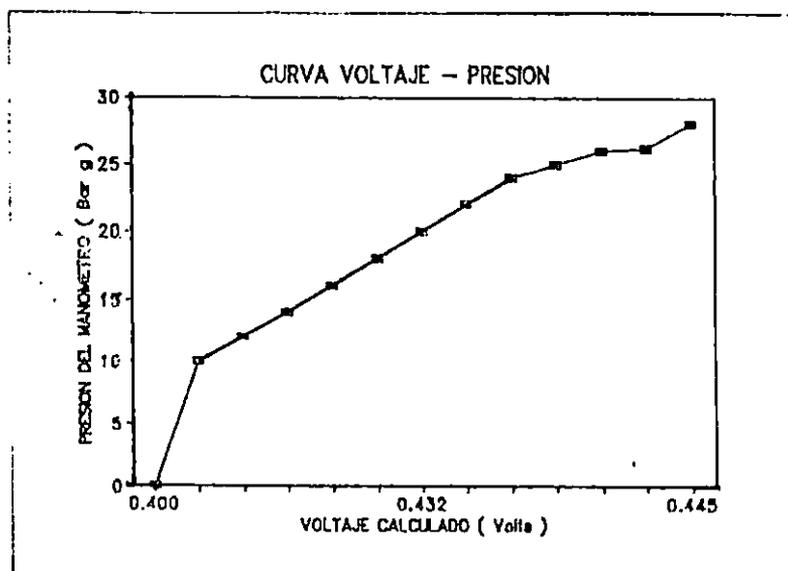


Figura 1.11.

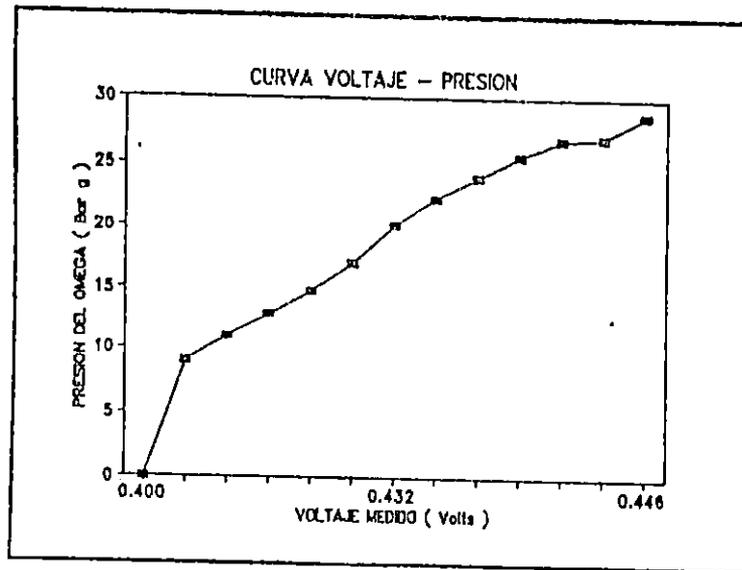


Figura 1.12.

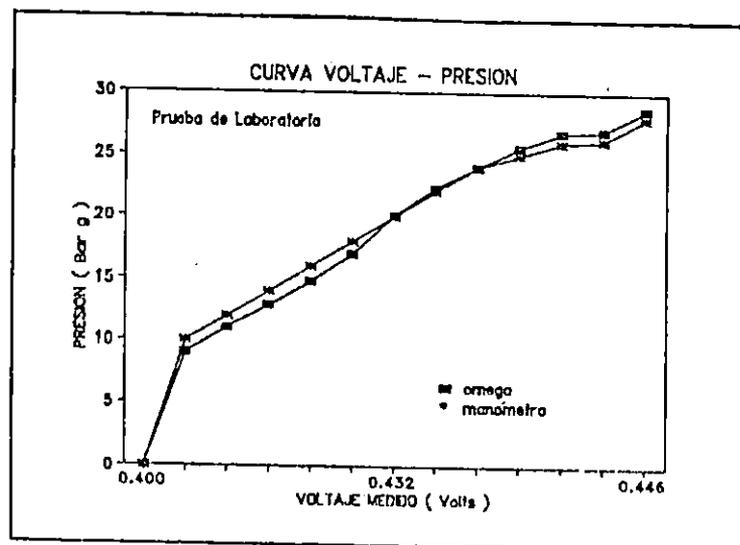


Figura 1.13.

En las gráficas 1.11, 1.12 y 1.13 se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio.

1.9 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CAMPO.

Se muestran a continuación los resultados de un día representativo del mes de Noviembre de 1994.

Tabla 1.2.
Registros de presión del día 30 de Noviembre de 1994.

TIEMPO (Horas)	OMEGA (Bars g)	MR-SIX (Bars g)
00:00	19.91	19.56
01:00	19.90	19.58
02:00	19.90	19.59
03:00	19.90	19.59
04:00	19.90	19.61
05:00	19.94	19.61
06:00	19.89	19.63
07:00	19.89	19.63
08:00	19.87	19.63
09:00	19.88	19.63
10:00	19.87	19.63
11:00	19.88	19.62
12:00	19.88	19.59
13:00	19.88	19.59
14:00	19.88	19.56
15:00	19.88	19.53
16:00	19.88	19.50
17:00	19.87	19.49
18:00	19.87	19.49
19:00	19.87	19.50
20:00	19.87	19.50
21:00	19.87	19.52
22:00	19.86	19.52
23:00	19.87	19.54

MONITOREO DE PRESION 1994
POZO AH-25 (cota 200 m.s.n.m.)

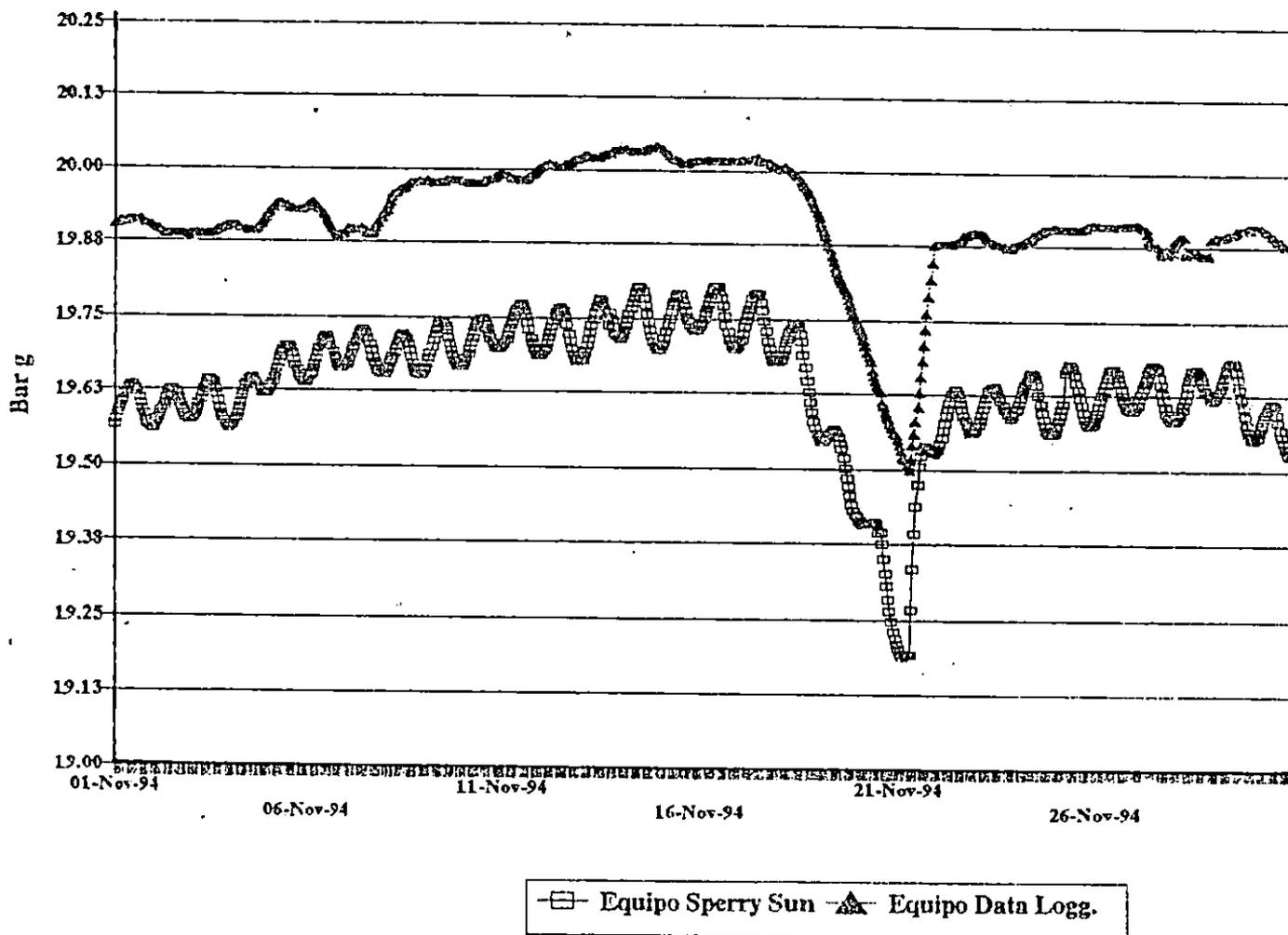


Figura 2.14

1.10 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

Las mediciones, generalmente, involucran la utilización de un instrumento, como un medio físico, para determinar una cantidad o variable. El medidor sirve como una extensión de las facultades humanas. El instrumento electrónico puede ser un dispositivo de construcción realmente simple como un medidor básico de CD., pero hay instrumentos que para ser utilizados inteligentemente, se necesita comprender sus principio de operación y apreciar su importancia para las aplicaciones requeridas.

Hay características fundamentales a considerar, entonces:

- a) Exactitud: Es la cercanía con la cual la lectura de un instrumento se aproxima al valor verdadero de la variable medida.
- b) Precisión: Una medida de la repetibilidad de las mediciones, esto es, dado un valor fijo de una variable, la precisión, es una medida del grado con el cual mediciones sucesivas, difieren unas de otras.
- c) Sensibilidad: La relación de la señal de salida o respuesta del instrumento al cambio de la entrada o variable medida.
- d) Resolución: El cambio más pequeño en el valor medido, para el cual el instrumento responderá.
- e) Error: La desviación del valor verdadero con respecto al valor medido.

Ninguna medición se puede efectuar con una exactitud perfecta, pero es importante hallar, cual es la exactitud y como los diferentes errores entran en la medición.

Los errores sistemáticos son instrumentales, son inherentes a los aparatos de medición, por su estructura mecánica, y los errores de calibración, por los cuales el instrumento, lee o más alto o más bajo a lo largo de toda su escala. Los errores instrumentales se pueden evitar; seleccionando el instrumento adecuado para la aplicación particular, y aplicando factores de corrección después de determinar la cantidad del error instrumental, y calibrando el instrumento contra un patrón, y los errores ambientales se deben a las condiciones del área que rodean al instrumento, tales como humedad, vibración, corrosión, estática, campos magnéticos, etc. Se pueden reducir incluyendo sellamiento hermético de ciertos componentes y el uso de blindajes magnéticos, también pueden haber errores por las limitaciones de los dispositivos de medida o por las ecuaciones físicas que los gobiernan, o porque el instrumento no responde lo suficientemente rápido para seguir los cambios en la variable medida.

Para considerar el funcionamiento de los equipos conectados en paralelo, se hace un experimento de laboratorio, en el cual se trabaja con la ecuación que procesa la señal de entrada del registrador, ($P=M*V+B$), en la cual se calculan las constantes, realizando la rutina detallada en la guía de laboratorio.

Los resultados se muestran en las figuras 1.11, 1.12 y 1.13 y en la tabla 1.1, que satisfacen la ecuación antes mencionada, las diferencias en los valores se deben a que se trabaja con un manómetro, el cual es un aparato mecánico, menos exacto que el transductor de presión.

El análisis estadístico de los datos de las mediciones, es una práctica común, ya que permite definir analíticamente, la incertidumbre final. El resultado de un método de medición se puede predecir con base en la muestra de datos, sin tener información detallada de los factores de disturbio. Para que los métodos estadísticos y su interpretación sean significativos, se requieren normalmente un gran número de mediciones.

Calculando la desviación estándar de los dos equipos de medición, tomando al equipo MR-SIX como base, y los registros de presión del mes de Noviembre, del pozo ah-25, de la Central Geotérmica de Ahuachapán, se obtiene:

$$\sigma_{MR-SIX} = 0.666291$$

$$\sigma_{\Omega} = 0.612617$$

Debido a que la desviación estándar del equipo omega es menor que la del equipo mr-six, significa que el equipo omega es más exacto, y por lo tanto se reducen los errores al azar.

Los errores humanos, se eliminan aquí, ajustando y calibrando el equipo correctamente.

Las gráficas de datos presión - tiempo, muestran el comportamiento de equipo MR-SIX, con una tendencia sinusoidal, en su variación diaria, haciendo un análisis que consiste en considerar el efecto de la temperatura ambiente sobre el sistema de transmisión de presión, para saber que tanto afecta la medición de presión.

La presión corregida por los equipos, está dada por la ecuación:

$$P_{restón} = (Presión.Leída + Cero) * Span$$

Por lo que deben calcularse las constantes Span y Cero.

Haciendo que los resultados sean significativos, tomando datos del pozo ah-25, y una longitud de tubo capilar, expuesta a la temperatura ambiente, extremadamente grande.

Teniendo en cuenta:

Profundidad del nivel de agua (NA) = 504 mts., profundidad a la cual entra la cámara (TVD) = 598.0 mts. y donde se involucra la presión al nivel del agua (PNA), se tiene:

$$P_o = GRA * (TVD - NA) + PNA$$

Donde GRA es el gradiente de presión = 0.082 Bar/mt.

Se procede a calcular el rango de presiones, que se espera sea leído por el equipo:

$$P1 = P_o - \Delta P$$

$$P2 = P_o + \Delta P$$

Donde ΔP es la variación de presión esperada, estimada según observaciones del comportamiento del reservorio.

En las tablas de compresibilidad de Nitrógeno, se encuentran los valores de compresibilidad Z_1 y Z_2 , a las presiones P_1 y P_2 , respectivamente.

Calculando entonces:

$$X_1 = \frac{(G * TVD)}{(Z_1 * T_{av})}$$

$$-X_2 = \frac{(G * TVD)}{(Z_2 * T_{av})}$$

Donde G es la constante para el Nitrógeno = 0.0181765
 $T(av)$ es la temperatura promedio.

Se calculan las constantes, para el rango de 20°C hasta 40°C. que podrían ser tomadas como la mínima y la máxima temperatura ambiente, respectivamente.

Se calculan las constantes intermedias:

$$C_1 = \frac{(2 + X_1)}{(2 - X_1)}$$

$$-C_2 = \frac{(2 + X_2)}{(2 - X_2)}$$

Los valores de las constantes se calculan como:

$$\text{Span} = (P2 \cdot C2 - P1 \cdot C1) / (P2 - P1)$$

Span =

$$\text{Cero} = P1 \cdot (C1 - \text{Span}) / \text{Span}$$

Y para cada valor de las constantes, se calcula el correspondiente valor de presión corregida:

$$\text{Presión} = (\text{Presión Leída} + \text{Cero}) \cdot \text{Span}$$

Los resultados se muestran en la tabla 1.3.

Tabla 1.3 Variación con la temperatura.

Temperatura (°C)	Span	Cero	Presión (Psig)
20	1.0585547	-0.05261	372.55
21	1.0583179	-0.04730	372.54
22	1.0578492	-0.03674	372.54
23	1.0578492	-0.03674	372.53
24	1.0576174	-0.03153	372.53
25	1.0573872	-0.02635	372.52
26	1.0571586	-0.02121	372.52
27	1.0569155	-1.4083E-7	372.52
28	1.0567222	-0.01389	372.51
29	1.0565156	-0.11699	372.50
30	1.0563097	-9.5169E-3	372.50
31	1.0561052	-7.3506E-3	372.50
32	1.0559021	-5.1982E-3	372.50
33	1.0557603	-3.0645E-3	372.49
34	1.0554999	-9.4256E-4	372.49
35	1.0553009	1.1645E-3	372.49
36	1.0551031	3.2549E-3	372.48
37	1.0549067	5.3314E-2	372.48
38	1.0547117	7.3936E-3	372.48
39	1.0545178	9.4424E-3	372.48
40	1.0543253	0.01147	372.47

La variación de presión que se tiene es de $P=0.078326$ psi.

Como puede verse, este valor, no es significativo, por lo tanto, la temperatura ambiente, no es responsable del comportamiento del equipo, ni afecta el valor de presión de reservorio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- El sistema de transmisión de presión, (cámara de suspensión y tubo capilar), debe ser adecuado al trabajo que realizan, permitir la interfase entre el fluido del pozo y el gas, sin que el fluido penetre en el tubo capilar.
- Una desventaja que posee el equipo omega, es que el fabricante sugiere, que sea calibrado cada seis meses, y debido a que esto se realiza con una entrada de dos voltios, se considera que es posible realizar esta calibración con una pila alcalina de 1.5 voltios en caso de no contar con una fuente de voltaje.
- Por medio de la prueba de laboratorio se comprueba que la respuesta (lectura), del registrador de datos, es lineal, de acuerdo a los datos obtenidos, y que la gráfica de los datos concuerda con la ecuación obtenida analíticamente.
- Según los resultados de la prueba de campo, y haciendo el análisis estadístico de los datos de presión, que reportaron los equipos conectados en paralelo (MR-SIX y OMEGA), se concluye que el mejor equipo de trabajo es el equipo OMEGA, debido a que posee una menor desviación estándar, y su error probable, referido al equipo MR-SIX también es menor.
- Una limitante de los equipos de medición de presión OMEGA, es, que el número de cifras decimales que se pueden introducir a través del teclado, para introducir las constantes de corrección esta limitado a un rango, especificado por el fabricante.
- Para la calibración de los equipos, es necesario hacer uso de un calibrador patrón de presión.
- Una alternativa para realizar las pruebas de laboratorio, es usar tubería de cobre y accesorios de bronce, los cuales son fácilmente adquiridos en el mercado a un bajo costo.

BIBLIOGRAFIA

- Miller, Irwin - Freund, John E.
Probabilidad y estadística para ingenieros.
Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.

- Cooper, William David.
Instrumentación electrónica y mediciones.
Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.
1978, México.

- Bonilla, Gildaberto.
Métodos prácticos de inferencia estadística.
UCA editores.
1988, El Salvador.

- Catálogos del Equipo MR-SIX y OMEGA.

Introducción

Otro de los objetivos del trabajo, es proporcionar los criterios de selección del equipamiento, para el monitoreo de presión, en los campos geotérmicos.

Para ello, se hizo una descripción de las condiciones ambientales de los campos geotérmicos, tanto del fondo del pozo, ya que acá se encuentran operando, la cámara de suspensión y la mayor parte de la tubería capilar, y también de la superficie, que es donde operan los transmisores de presión y los registradores de datos, ya que estas condiciones tienen incidencia considerable al elegir la instrumentación, y su conocimiento permitirá sugerir ciertos criterios de selección.

Se describen las características de los materiales, que son más funcionales, para la fabricación de los equipos, o de sus encapsulados, así como de los accesorios.

También se toman en cuenta las características eléctricas y de operación de los equipos, para definir los criterios de selección más importantes.

CAPITULO II

DETERMINACIÓN DE LOS CRITERIOS DE SELECCION DE LA INSTRUMENTACION ELECTRONICA.

2.1 CONDICIONES AMBIENTALES DE LOS CAMPOS GEOTERMICOS DE AHUACHAPAN Y BERLIN.

Antes de elegir la instrumentación que se utilizará en una área de operación determinada, deben tenerse en cuenta las condiciones ambientales del lugar, con el fin de obtener el mejor rendimiento y durabilidad de los instrumentos para que así proporcione los mejores resultados de operación. Teniendo presente lo anterior se presentan las condiciones ambientales de Ahuachapán y Berlín.

2.1.1 CONDICIONES DE SUPERFICIE.

El campo geotérmico de Ahuachapán, se encuentra ubicado en el departamento de Ahuachapán, en el Occidente del país, y el campo geotérmico de Berlín, en el departamento de Usulután, en el Oriente del país.

El sistema de monitoreo de presión, en estos campos geotérmicos, está sometido a ambientes corrosivos, alta humedad, cambios bruscos de temperatura, alta estática con descarga eléctrica en época lluviosa.

La altura promedio del reservorio de Ahuachapán es de 800 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas ambiente que oscilan en el rango de 25 a 35°C. El reservorio de Berlín, tiene una altura de 700 metros sobre el nivel del mar, y rango de temperaturas ambiente, entre 25 y 35°C.

Los reservorios geotérmicos de Ahuachapán y Berlín, están constituidos por agua con temperaturas de 220 y 300°C, respectivamente. Los pozos geotérmicos que penetran el reservorio presentan en condiciones estáticas un nivel de agua.

Los reservorios geotérmicos en condiciones de equilibrio, un nivel de agua estable (descarga y recarga), pero en condiciones de explotación hasta no conocer el punto de equilibrio del sistema geotérmico, la extracción de masa producirá una caída del nivel del agua.

El sistema geotérmico puede ser analizado con técnicas de control utilizadas para análisis de sistemas mecánicos y electrónicos, por lo que el monitoreo de los valores de extracción y el comportamiento de la presión en el reservorio geotérmico, es de suma importancia para la evaluación de las condiciones de equilibrio.

Debido a las condiciones de alta temperatura, el monitoreo de presión continuo no puede ser llevado a cabo por instrumentación electrónica, por lo que es utilizado un sistema de detección, donde los cambios del nivel del agua son transmitidos a través de un gas (Nitrógeno, Helio), como se muestra en la figura 2.1.

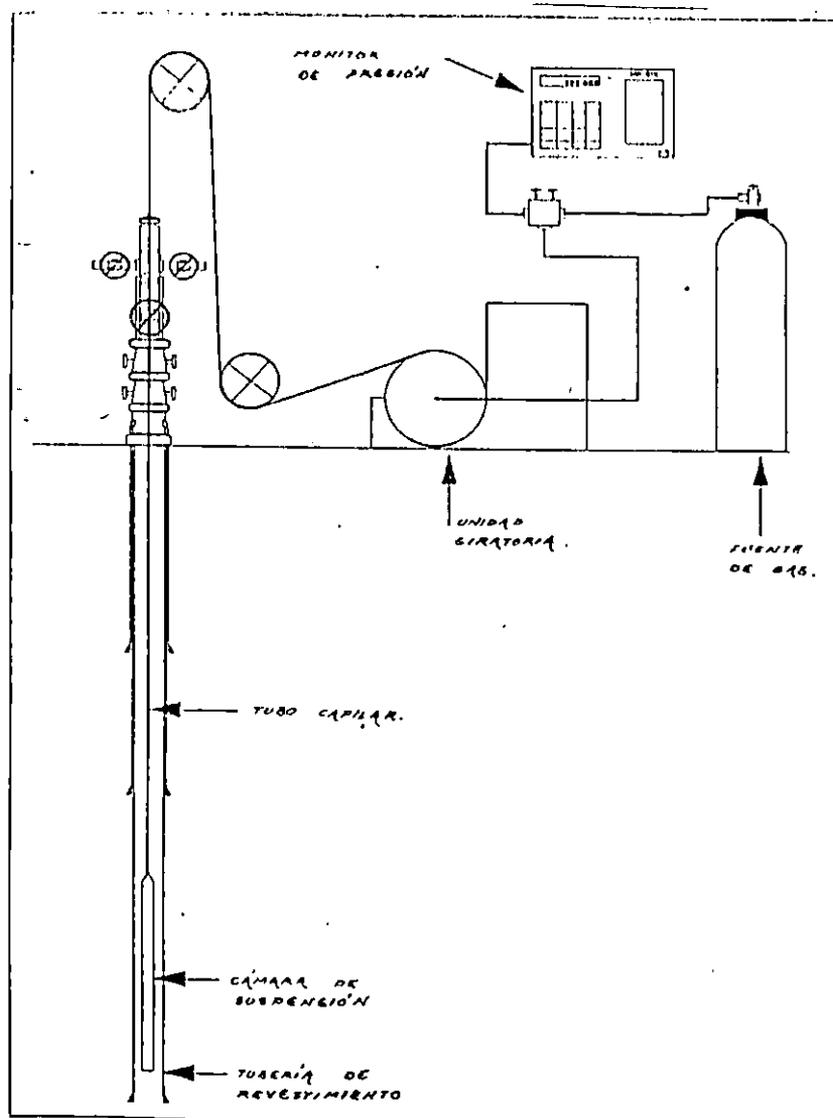


Figura 2.1 Sistema de transmisión de presión.

El sistema de monitoreo está constituido por una cámara de suspensión, ésta y la mayor parte de la tubería capilar, están colocados dentro del pozo, el transmisor, que recibe la señal del fondo del pozo, y el cilindro de gas, en una caseta, aproximadamente a 3 m. del pozo, y las unidades de procesamiento y comunicación de datos, en una sala de ambiente controlado.

Ambiente	Sala de maniobras	Campo
Temperatura	10 a 50°C	-15 a 60°C
Humedad relativa	20 a 95%	10 a 99%
Atmósfera	sin condensar Trazas de H ₂ S polvo	condensable Trazas de H ₂ S, SO ₂ y SO ₃
Polvo	5 mg/m ³ (máximo)	polvos varios 5 mg/m ³ (máximo)
H ₂ S	1 ppm (máximo)	1 ppm máximo)
Vibración	0.02 mm, 5-50Hz	0.02 mm, 5-5- Hz

Los componentes de la sala de maniobras están en un ambiente en el cual, en condiciones normales, está condicionado para temperaturas de 20 a 25°C, y humedad relativa del 45 al 55%.

Los equipos mecánicos, eléctricos y electrónicos que forman parte del monitoreo de presión, instalados en la superficie, están inmersos en una atmósfera, que contiene Acido Sulfhídrico, el cual, aún cuando esté presente en pequeñas cantidades, se vuelve muy agresivo contra el Cobre, en presencia de humedad. Las estrictas condiciones antes mencionadas, imponen por lo tanto una esmerada selección de los materiales que constituyen los equipos. Estos materiales deben poseer requisitos de resistencia a la corrosión química, a la erosión y a las vibraciones.

2.1.2 CONDICIONES DE FONDO DE POZO.

Los reservorios de los campos geotérmicos de Ahuachapán y Berlín, son de líquido dominante, saturados con sales de solución (Tabla 2.2) y otros gases disueltos tales como Dióxido de Carbono, Acido Sulfhídrico, Metano, Nitrógeno, Hidrógeno y Oxígeno. El vapor contiene un porcentaje de gases disueltos de 0.3% por peso (principalmente Dióxido de Carbono).

Tabla 2.2.

Elemento	Concentración
Na	4300 - 7.5 ppm
K	945 - 1170 ppm
Ca	90 - 231 ppm
Mg	0.05 - 0.07 ppm
Cl	7600 - 9200 ppm
SO4	16 - 20 ppm
B	150 - 190 ppm
SiO2	800 - 1200 ppm
CO3	18 - 60 ppm
As	11 - 13 ppm

Las temperaturas de operación de la sonda de presión están en el rango de 200 a 300°C, y las presiones de fondo de pozo de 20 a 50 bars.

La corrosión es un problema común en el ambiente de fondo de pozo, las fallas por corrosión, de uno de los componentes del sistema de transmisión de presión puede provocar inexactitud o mala operación del equipo.

2.2 MATERIALES INOXIDABLES.

Los materiales que deben utilizarse en la construcción de los equipos deben ser resistentes al fenómeno de la corrosión. Los únicos elementos que se encuentran dentro del pozo son la cámara de suspensión y el tubo capilar, por lo tanto son los que se encuentran expuestos a ser corroídos por los compuestos químicos del fluido del pozo, y para los cuales debe ser utilizado un material resistente. Para ello, se han seleccionado tres de los materiales más resistentes a la corrosión, los cuales son el Acero Inoxidable, el Hastelloy y el Incolloy.

2.2.1 ACEROS INOXIDABLES.

Estos aceros, conocidos como inoxidable, no son resistentes a todos los medios, ni a todas las condiciones de temperatura y concentración. Se consideran aceros resistentes a la corrosión los que sufren un desgaste de hasta 0.1 gr/m² por hora o de 2.4 gr/m² por día.

Antes de emplear los aceros inoxidable, es recomendable realizar ensayos que comprueben su empleabilidad o que excluyan la posibilidad de ataques locales, formación de picaduras y corrosión intercrystalina. Es necesario, entonces comprobar directamente el comportamiento frente al medio agresivo, en que va a trabajar el acero. Los aceros más frecuentemente empleados son los Austeníticos, para el comportamiento frente a la corrosión, es decisivo el contenido de Carbono, que se debe mantener abajo de 0.1%.

Tabla 2.2.

NORMA AISI ACEROS	Tipo de aleación aproximada (%)						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu
316	0.05	0.5	1.7	17.2	11.1	2.7	-
316L	0.03	0.5	1.7	17.4	12.9	2.7	-
310S	0.07	1.0	1.0	25.0	25.2	-	-
ASSAB 904L (Norma Sueca)	0.02	0.35	1.75	20.0	25.0	4.5	1.5

CARACTERISTICAS.

316: Acero inoxidable, resistente a la corrosión, especialmente en ácidos.

316L: Acero inoxidable Austenítico, resistente a ácidos, con bajo contenido de carbono.

310S: Acero inoxidable especial, Austenítico y refractario.

ASSAB 904L: Acero de alta resistencia a todo tipo de corrosión.

APLICACIONES TIPICAS.

316: Industria del petróleo, pulpa de madera, industria del papel, textil, plástico, alimenticia, química, etc.

316L: Industria del papel, química, farmacéutica, etc.

310S: Especial para usos en procesos de hasta 1200°C.

ASSAB 904L: Producción de ácidos sulfúricos, fosfóricos a alta temperatura y alta concentración.

2.2.2 HASTELLOY.

Este es otro tipo de material que se considera de los más resistentes a la corrosión, considerado en algunas aplicaciones de mejor resultado que el acero inoxidable.

Tabla 2.4.

Composición química (% peso)	NORMA AISI HASTELLOY				
	B-2	C Fundido	C Fraguado	C-276	C-4
Ni	0.02	25.0	25.0	25.0	25.0
C	1.0	0.08	0.12	0.02	0.15
Mn	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Fe	0.03	4.7	4.5-7	4-7	3.0
S	0.10	0.03	0.03	0.03	0.03
Si	1.0	1.0	1.0	0.05	0.08
Cr	-	14-16	15-17	14-16	14-18
Ti	1.0	-	-	-	0.7
Co	26-30	2.5	2.5	2.5	2.0
Mo	0.04	15-17	16-18	15-17	14-17
P	-	0.04	0.04	0.03	0.04
W	-	3-4.5	4-5	3-4.5	-
V	-	0.35	0.2-0.4	0.35	-

APLICACIONES:

Hastelloy B-2: Es resistente a la corrosión en soldaduras, ácidos hidrociorídricos a altas temperaturas y altas concentraciones, ácidos sulfúricos, acéticos y fosfóricos.

Hastelloy C: Esta aleación es resistente a oxidantes de Hierro y Cobre, minerales ácidos, solventes y Cloro, ácidos acéticos, anhídricos, hipoclorídricos y soluciones de óxido de Cloro, usado en la manufactura de celulosa.

Hastelloy C-276: Usado igual que el Hastelloy C y para algunas aplicaciones en soldadura en procesos químicos.

Hastelloy C-4: Tiene las mismas aplicaciones que las aleaciones C y C-276.

2.2.3 INCOLLOY.

Ofrecen alta resistencia a la corrosión, con mejores resultados que el acero inoxidable.

Tabla 2.5.

INCOLLOY NORMA AISI	Composición química (%)			
	Ni + Co	Fe	Cr	Otros
Incolloy 800	32.5	46.0	21.0	-
Incolloy 801	32.0	44.5	20.5	1.13
Incolloy 825	42.0	30.0	21.5	5.25

CARACTERISTICAS.

Incolloy 800: Fuerte y resistente a la oxidación y carburización a elevadas temperaturas, resiste el ataque del Sulfuro, la oxidación interna y la corrosión en una amplia variedad de atmósferas.

Incolloy 801: La misma resistencia que el 800, está establecido para ser usado en soldadura en condiciones donde la corrosión de una zona caliente es problema, excelente resistencia a tensiones por ácidos.

Incolloy 825: Excelente resistencia a amplia variedad de corrosivos, resistente a picaduras y a la corrosión intergranular, a ácidos reducidos y a químicos oxidantes.

APLICACIONES.

Incolloy 800: En intercambiadores de calor, procesos de bombeo, carburizantes, vapor nuclear.

Incolloy 801: Vapores de alta temperatura, ambiente de alta presión, tuberías de agua caliente, generadores de vapor nuclear, intercambiadores de SO₂ y de calor.

Incolloy 825: Para limpiar metales en evaporadores y en equipos para procesos químicos.

2.3 CAMARA DE SUSPENSION Y TUBO CAPILAR.

Como puede observarse, existen diferentes materiales, resistentes a la corrosión, entre los cuales, podría seleccionarse el más adecuado, para la construcción de la cámara de suspensión (Figura 2.2), según las condiciones en que ésta trabaja, ya que no está sometida a esfuerzos, ni tensiones altas, puede seleccionarse el acero inoxidable 316, que ha probados dar resultados satisfactorios, durante años anteriores, además que es económicamente más favorable y resistente a la corrosión, y es el método adecuado para la transmisión de la señal y evitar el efecto de vibración.

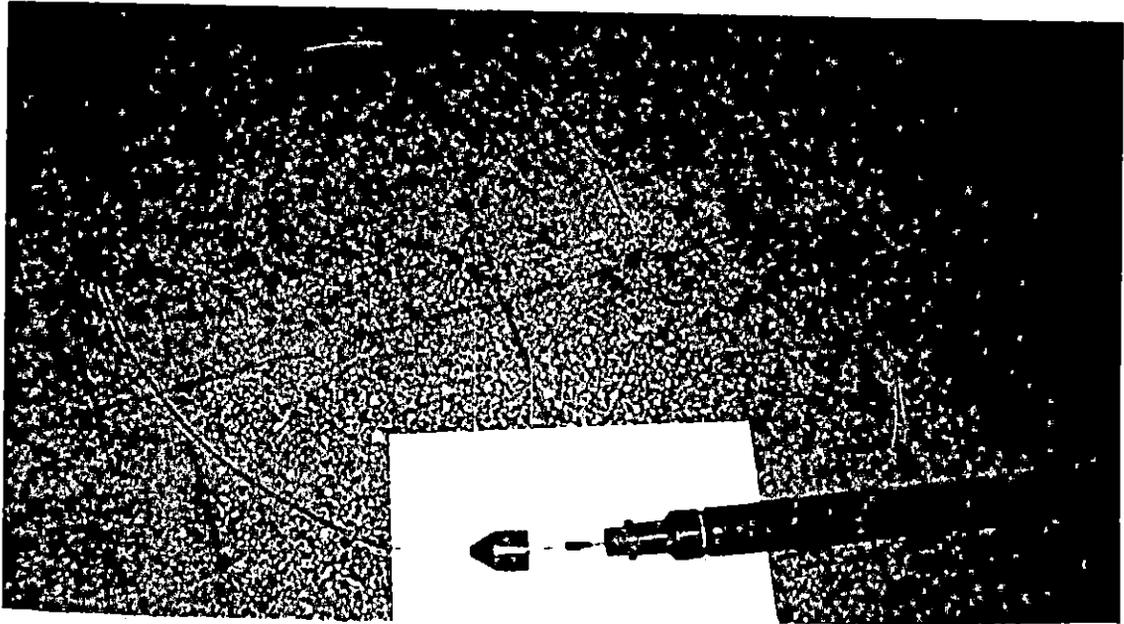


Figura 2.2 Equipo de fondo de pozo.

En relación a la selección del tubo capilar, deben considerarse los diámetros internos, para asegurar que la interfase entre el punto de medición y la superficie sea realizada sin distorsionar la señal. Los requerimientos para la selección del material del tubo capilar, son los mismos que para la cámara de suspensión, ya que se encuentran en el mismo ambiente corrosivo.

Los tubos capilares de diámetros pequeños, son menos pesados, pero menos resistentes a los esfuerzos, y más económicos, los tubos capilares de diámetros grandes, tienen la desventaja de ser más pesados, pero más resistentes a las tensiones, además de que su precio es más elevado, aunque le daría más estabilidad a la medición, evitando debido a su mayor diámetro, que el fluido del pozo penetre considerablemente en el tubo capilar. La tubería de recuperación, así como el lubricador, deben seleccionarse de materiales anticorrosivos, debido al contacto que mantienen con los gases internos del pozo y de la superficie. Debe tomarse en cuenta que la tubería de recuperación, tendrá incorporada una válvula de escape, para evitar descargas de presión a la superficie, que pueden dañar al personal, durante las operaciones (especialmente en pozos con presión de cabezal).

2.4 ACCESORIOS.

Los accesorios (figura 2.3), que se utilizan (válvulas, tuercas, balonas,etc.), deben tener compatibilidad con la tubería capilar, así como también con la entrada al transmisor de presión, y que si esto, no se toma en cuenta, pueden tenerse problemas de fuga y por consiguiente, se tendrán lecturas erróneas en la medición de presión de fondo de pozo.

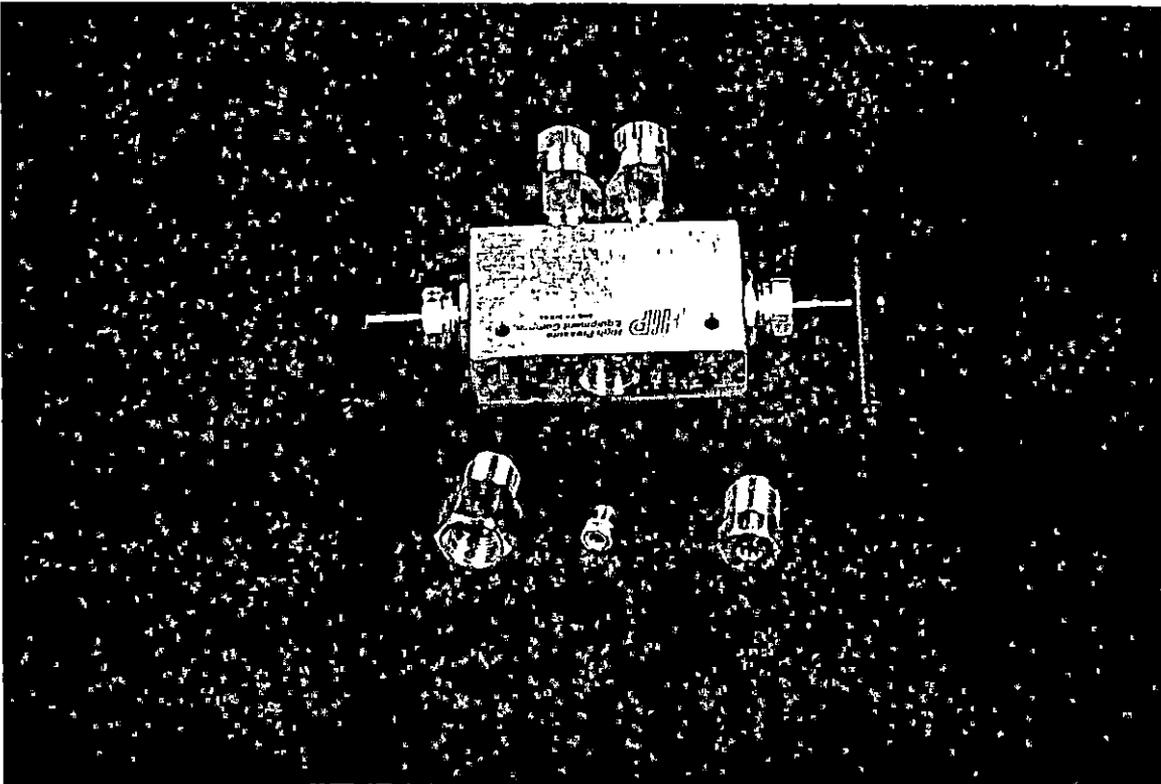


Figura 2..3 Accesorios.

Debido a que el acero inoxidable 316, es el más factible en el mercado y resistente a la corrosión, estos accesorios pueden ser fabricados de este material.

Cabe mencionar como parte de los accesorios de instalación, a las prensas que sostienen al tubo capilar, cuando está instalada la cámara de suspensión.

2.5 TRANSMISOR DE PRESION.

Cuando se intenta hacer una medición de una cantidad no eléctrica, convirtiéndola a una forma eléctrica, se debe seleccionar el transmisor adecuado, (o combinación de transductores), para llevar a cabo esta conversión. El primer paso en el procedimiento de selección, es definir con claridad, la naturaleza de la cantidad que se ha de medir. Esto debe comprender el conocimiento del rango de magnitudes y frecuencias que se ha de medir. Esto debe comprender el conocimiento del rango de magnitudes y frecuencias que se espera que muestre la cantidad. Cuando se ha establecido el problema, se deben examinar los principios del transmisor disponible para medir la cantidad deseada. Cuando se examinan las especificaciones de un transmisor en especial, se deben considerar los siguientes puntos, para determinar su capacidad para una medición en particular.

Rango: El rango del transmisor debe ser lo suficientemente grande, tal que abarque todas las magnitudes esperadas de la cantidad a ser medida.

Sensibilidad: Para obtener datos significativos, el transmisor debe producir una señal de salida suficiente por unidad de entrada a medir.

Efectos de carga: Como los transductores siempre consumirán algo de energía, del efecto físico que se está probando, debe determinarse si se puede despreciar esta absorción o si se pueden aplicar factores de corrección para compensar las lecturas por las pérdidas.

Respuesta a la frecuencia: El transmisor debe ser capaz de responder a la velocidad máxima de cambio en el efecto que se esté observando.

Formato de salida eléctrica: La forma eléctrica de la salida del transductor, debe ser compatible con el resto del sistema de medición. Por ejemplo, un voltaje de salida DC., no sería compatible con un amplificador que sólo pueda responder a señales AC.

Impedancia de salida: La impedancia de salida de un transmisor, debe tener un valor que lo haga compatible con las siguientes etapas del sistema. Si existe incompatibilidad de impedancias, se deben incorporar dispositivos modificadores de señal al sistema para superar este problema.

Medio físico: El transmisor seleccionado debe resistir las condiciones ambientales a las que estará sujeto mientras se efectúe la prueba. Parámetros, tales como temperatura, humedad y sustancias químicas corrosivas, podrían dañar algunos transmisores y a otros no.

Errores: Los inherentes a la operación del mismo transmisor o aquellos errores originados por las condiciones del ambiente en la medición, deben ser lo suficientemente pequeños o controlables para que permitan obtener datos significativos.

Una vez seleccionado el transmisor e incorporado en el sistema de medición, se deben seguir las recomendaciones que se presentan a continuación, para aumentar la exactitud de la medición.

1. **Calibración del transmisor:** Se debe calibrar la salida del transmisor tomando algún estándar conocido al emplearlo en las mediciones reales de la prueba. Esta calibración se debe llevar a cabo con regularidad a medida que se haga la medición.
2. Se deben monitorear en forma continua los cambios en las condiciones ambientales del transmisor. Si se sigue este procedimiento los datos medidos podrán corregirse posteriormente para tomar en cuenta cualquier cambio en las condiciones ambientales.
3. Controlando artificialmente el ambiente de la medición se pueden reducir errores posibles del transmisor. Los ejemplos del control artificial del ambiente, incluyen el encerramiento del transmisor en una caja de temperatura controlada y el aislamiento del dispositivo con respecto a golpes y vibraciones externas.

La presión se puede medir eléctricamente, si se modifica en forma directa algún parámetro eléctrico (como la capacitancia). También se puede medir si se produce un desplazamiento mecánico. El desplazamiento mecánico puede activar a un transductor de desplazamiento lineal, originando una señal eléctrica. Los dispositivos que se emplean para convertir la presión en un desplazamiento mecánico, se fabrican de muchas maneras, el primero es un fuelle flexible, como se muestra en la figura 2.4., pues permite que el fluido entre en el fuelle y su presión lo alarga en la dirección Y. En los fuelles de baja presión, no se tiene resorte externo, en este caso, la elasticidad del fuelle mismo se emplea para resistir la presión. Para presiones más altas se utiliza un resorte externo, para sumar su fuerza de restricción a la fuerza contra la presión. La extensión del fuelle debida a la fuerza, mueve una varilla que se conecta a un transductor de posición. Este transductor convierte el desplazamiento en una señal eléctrica.

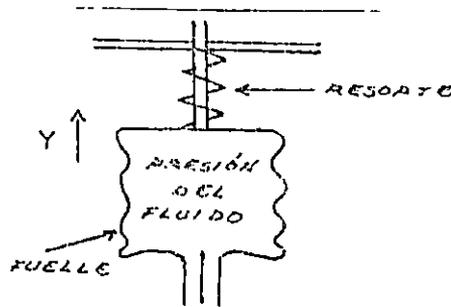


Figura 2.4. Fuelle.

Otro transductor muy común de presión a desplazamiento es el tubo de Bourdon. Es un tubo plano y hueco, que está curvado en forma espiral o helicoidal. Cuando se introduce en él un fluido a presión, el tubo trata de enderezarse. La cantidad de enderezamiento es proporcional a la presión. Para bajas presiones se emplea una forma como la de figura 2.5a. Para presiones mayores, se enrolla en forma helicoidal, como en la figura 2.5b. Como la salida de un tubo de Bourdon es un desplazamiento mecánico, el extremo del tubo se debe conectar a un transductor eléctrico adicional que convierta desplazamiento en una señal eléctrica.

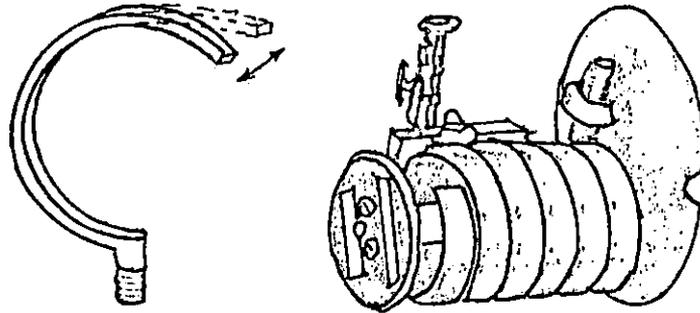


Figura 2.5 Tubos de Bourdon.

El invento del puente de Wheatstone hizo prácticos los sensores de presión electromecánicos, la figura 2.6 muestra el esquema básico del circuito de puente de Wheatstone.

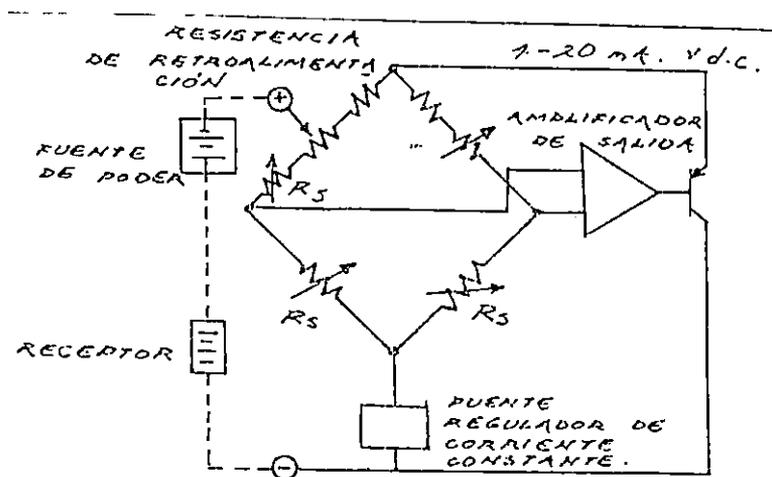


Figura 2.6 Puente de Wheatstone.

Los cuatro elementos del puente pueden ser inductancias, capacitores o resistencias, pero en el caso de medir presión, usualmente se utilizan resistencias. En cualquiera de los casos, un pequeño cambio en la corriente a través del puente produce un cambio en el voltaje de las esquinas del puente. Si el elemento contrario está colocado para disminuir en resistencia, mientras

su contraparte incrementa, el voltaje de salida se puede duplicar. Si el otro par de resistencias, están conectados en forma similar, el voltaje de salida es cuatro veces mayor. Si las resistencias de los cuatro elementos son afectados por la temperatura en la misma forma, cualquier cambio tenderá a balancearse (debido a que se producen errores por efecto de la temperatura).

Si la salida del sensor de presión es transmitida a los extremos del puente, resulta un desbalance en el voltaje, que puede ser amplificado, puesto a escala y calibrado como para reproducir una salida de presión.

En la figura 2.7 se muestra un transductor de capacitor variable. Un diafragma metálico se mueve dentro del transductor de capacitor, aproximándose o alejándose de una placa rígida y por tanto causa un cambio en la capacitancia de la estructura. Se hace que el valor de la capacitancia sea parte de un circuito oscilador, la frecuencia de este oscilador cambiará al cambiar el valor de capacitancia. Se pueden monitorear los cambios de frecuencia para indicar el cambio de presión.

El transductor de presión capacitivo es uno de los transductores más robustos para medir la presión. Se puede construir para que responda a un amplio rango de valores de presión así como a cambios de presión de alta frecuencia.

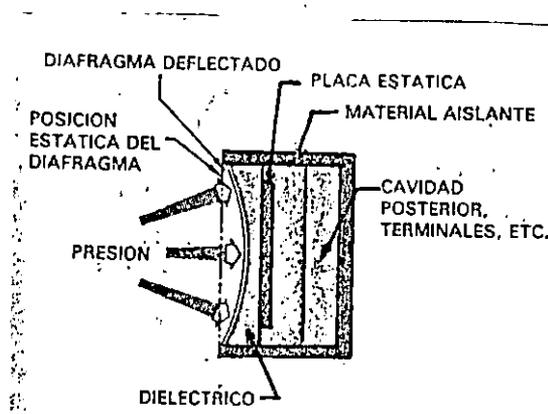


Figura 2.7 Transductor de capacitor variable.

Para la selección del transmisor de presión, deben tenerse en cuenta muchos factores, principalmente en los requerimientos eléctricos. Es preferible que se tengan sensores de presión electromecánicos, debido a que se obtienen mayor exactitud en la medida. Existen varios tipos de sensores electromecánicos, entre los cuales se pueden mencionar los de puente de Wheatstone, los que contienen sensores Strain Gauge (medidor de deformación), existen también los que contienen elementos piezoresistivos y los que tienen sensores capacitivos. Además existen los más sofisticados, como los transmisores tipo "Smart" (inteligentes).

Un transductor piezoresistivo, puede dar una salida de 4 a 20 mA. DC. con un rango de presión de 0 a 5000 psi. (0 a 345.2 bars) con una exactitud de +/- 0.5% a u bajo costo. Un transductor piezoresistivo o capacitivo tipo "Smart", puede mejorar la exactitud en +/- 0.1%, con un rango de presiones de 0 hasta 6000 psi (0 a 413.7 bars), pero debido a que es considerado inteligente, por la tecnología y el proceso de conversión de la señal, y la aplicación de tecnología computarizada, es de alto costo.

Además de ofrecer el modo convencional análogo de 4 a 20 mA. DC., los transmisores "Smart", ofrecen un modo auxiliar de comunicación digital, el cual aumenta nuevas posibilidades en las prácticas de operación y mantenimiento. Por ejemplo, existen transmisores que pueden corroborar calibraciones tan fácilmente, por un operario, y cambiar rangos y factores de corrección de uno o varios transmisores directamente desde un cuarto central de control.

Existen los sensores capacitivos, que ofrecen una alternativa entre, los piezoresistivos y los tipo "Smart", ya que se pueden tener rangos de presión desde 0 hasta los 6000 psi (413.7 bars), con una exactitud del +/- 0.2% y un costo levemente superior al piezoresistivo.

Tabla 2.6.

Ventajas	Limitaciones
SENSORES STRAIN GAUGE	
<ul style="list-style-type: none"> - Buena exactitud. - Amplio rango. - Periodos largos de estabilidad. - Señal de salida de alto nivel. - Es pequeño y compacto. - No tiene partes móviles. - Buena capacidad de sobrecarga. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere formato de lectura eléctrica. - Temperatura ambiente limitada.(600° C) - Necesita fuente de voltaje constante. - Disponible en materiales resistentes a la corrosión limitada. - De alto costo a moderado.

SENSORES DE PRESION PIEZORESISTIVOS.	
<ul style="list-style-type: none"> - Alta exactitud, linealidad y repetibilidad. - Baja histéresis. - Los tipo Smart pueden ser accesados en forma digital, desde un lugar remoto. - Son de tamaño compacto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Son de alto costo. - El sistema de medida se requiere que sea eléctrico. - Necesita compensación de temperatura, también para la presión con los modelos de presión diferencial.
SENSORES CAPACITIVOS DE PRESION.	
<ul style="list-style-type: none"> - Buena exactitud y linealidad. - Es fácilmente adaptado a lecturas digitales. - Es de costo moderado. - Los tipo Smart, son de tecnología avanzada, pero de alto costo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es deseable la compensación de temperatura. - Resistencia a la corrosión, limitada al acero y a la aleación de Níquel Ni-Span.

Entre la variedad de transmisores que se encuentran en el mercado, debe seleccionarse el que ofrezca las mejores características, de acuerdo a la aplicación y a las exigencias ambientales de los campos geotérmicos.

El encapsulado debe proporcionar la seguridad ante la corrosión, debido a los gases del campo. Los materiales que presentan buena resistencia a la corrosión son los aceros inoxidable 316, Hastelloy, y el Incolloy, por lo que puede considerarse que los transmisores fabricados de acero inoxidable 316, son adecuados, además, de tener un costo más bajo. Pero si el ambiente es demasiado corrosivo (donde los aceros ya no ofrecen garantía a la corrosión), el material que puede preferirse, es el Hastelloy C.

Aunque en términos generales debe tenerse cuidado que se cumplan algunas normas de seguridad, como las NEMA 4X. El transmisor debe tener un encapsulado hermético, sellado, con el fin de proteger la circuitería contra el polvo y la humedad, los cuales pueden ser dañinos, hasta cierto punto a la operación del transmisor.

Debe cumplir con las normas SAMA PCM 31.1, para proteger contra los efectos de vibración, y además para inmunizar contra el ruido que pueda afectar la señal. Además debe operar en un amplio rango de temperatura.

El acople con la tubería capilar deberá ser del mismo diámetro, con el fin de evitar las fugas de Nitrógeno.

El elemento sensor es preferible que sea de diafragma resistente a la corrosión, o al menos a la corrosión debida al Nitrógeno o al Helio, y con un amplio margen de seguridad de sobrepresión. Preferiblemente con fluido de relleno de Silicón, el cual tiene extremadamente buena elasticidad, dentro de su rango de operación, y sólo puede fallar por ruptura.

El transductor piezoresistivo ofrece una exactitud de 0.5% y a un costo relativamente bajo, por lo que son considerados de muy buena operación.

Una alternativa para mejorar la exactitud y la transmisión de la señal, la constituyen los transmisores piezoresistivos y capacitivos tipo "Smart", con los cuales se tiene una exactitud de hasta +/- 0.1%. Pero debido a la sofisticada tecnología en su fabricación, el costo comparado con los piezoresistivos se incrementa hasta tres veces. Además de necesitar una interfase para procesar la señal.

El transductor que ofrece una excelente exactitud (+/- 0.2%), comparada con el piezoresistivo, es el de sensor capacitivo, el cual casi tiene la misma exactitud que los tipo "Smart" y por lo tanto se podrían obtener resultados satisfactorios.

La señal de voltaje que proporcionaría el transmisor, podría ser de voltaje, ya que son menos costosos, debido a que las funciones de acondicionamiento de la señal, se encuentran más cerca del elemento sensor y por lo cual el transmisor es más pequeño, pero debido a que la señal en nuestro caso, necesita ser transmitida a largas distancias, se prefiere un transmisor que produzca una señal de corriente (4 a 20 mA.), para controlar la inmunidad al ruido y a la interferencia electromagnética.

Debe tener una salida para cable coaxial, y con fuente de suministro de energía entre 12 y 24 V.DC., con una variación mínima.

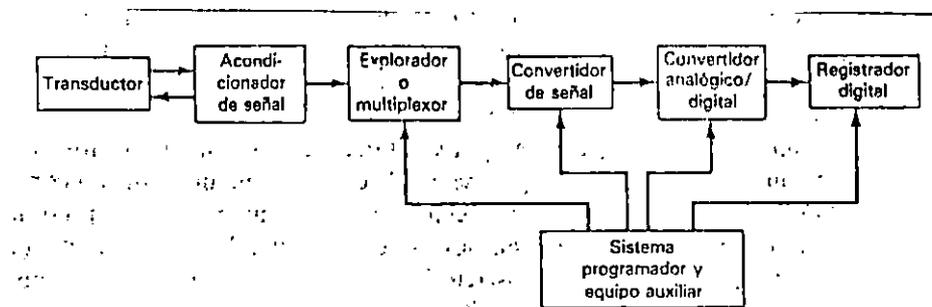
El transmisor debe tener preferentemente, calibración de fábrica.

La exactitud del instrumento deberá mantenerse alrededor de +/- 0.1%, con una resolución del 0.15% o menos, y deberá tener compensación por temperatura.

2.6 REGISTRADOR DE PRESION.

Un sistema de adquisición de datos digital, puede incluir algunos o todos los elementos que se muestran en la figura 2.7. Las operaciones esenciales dentro de un sistema digital incluyen manipulación de señales analógicas, medición, conversión y manejo de datos digitales, y programación y control interno.

La función de cada elemento del sistema se describe a continuación:



Elementos de un sistema de adquisición de datos digital.

Figura 2.7

- a) Transductor: Transforma parámetros físicos en señales eléctricas aceptables para el sistema de adquisición de datos. Algunos de los parámetros son: La temperatura, presión, aceleración, desplazamiento de pesos y velocidad, también es factible medir directamente cantidades eléctricas como voltaje, resistencia, frecuencia, etc.
- b) Acondicionador de señales: Por lo general incluye la circuitería de soporte para el transductor. Esta circuitería puede proporcionar la energía de excitación, circuitos de equilibrio y elementos de calibración. Un ejemplo de acondicionador de señales es un puente balanceado, con una galga extensométrica y una unidad de fuente de energía.
- c) Explorador o multiplexor: Acepta múltiples entradas analógicas, y las conecta secuencialmente a un instrumento de medición.
- d) Convertidor de señales: Transforma la señal analógica en una forma aceptable para el convertidor analógico digital, un ejemplo de este dispositivo es un amplificador de voltaje de bajo nivel generado por termopares o galgas extensométricas.

e) Convertidor analógico digital (A/D): Convierte el voltaje analógico a su forma digital equivalente. La salida del convertidor A/D se puede desplegar visualmente y estar disponible como voltaje en pasos discretos para procesamiento posterior o grabación a un registrador digital.

f) Equipo auxiliar: Esta sección contiene instrumentos para programación de sistemas y procesamiento digital de datos. Las funciones auxiliares incluyen linealización y comparación de límites. Estas funciones se pueden ejecutar mediante instrumentos individuales o mediante una computadora digital.

g) Registrador digital: Registra información digital en tarjetas perforadas, cinta de papel perforado, cinta magnética, páginas mecanografiadas o una combinación de estos sistemas. El registrador digital puede ir luego de una unidad de acoplamiento que transforma la información digital en la forma apropiada para la entrada del registrador digital seleccionado.

Los sistemas de adquisición de datos se utilizan en un gran número de aplicaciones (en constante aumento), en una variedad de áreas industriales y científicas, como la industria biomédica, aeroespacial y telemetría. El tipo de sistemas de adquisición de datos analógico o digital, depende del uso de los datos registrados, en general, los sistemas de datos analógicos se utilizan cuando, se requiere un amplio ancho de banda, o cuando se puede tolerar poca exactitud. Los sistemas digitales se aplican cuando el proceso físico, en estudio varía poco, y cuando se necesita una exactitud alta y bajo costo por canal. Los sistemas digitales varían en complejidad desde sistemas de un solo canal, para medición y registro de voltajes de c.d. hasta sistemas automáticos de múltiples canales, los cuales miden un gran número de parámetros de entrada, los comparan con respecto a condiciones o límites preestablecidos y llevan a cabo cálculos y se toman decisiones sobre la señal de entrada. Los sistemas digitales en general son más complejos que los analógicos, tanto en términos de volumen y complejidad de los datos de entrada que pueden manejar.

En base a lo anterior el registrador de datos debe cumplir con ciertos requisitos de utilización y durabilidad. Se prefiere digital, de precisión para la medición y almacenamiento de la información. Con alimentación de energía de 110 VAC. a 60 Hz. La entrada de la señal, debe ser compatible con la que proporciona el transmisor, es decir, si el transmisor proporciona salida de voltaje, la entrada del registrador deberá ser de voltaje, pero como se sugiere que el transmisor dé una señal de corriente, el registrador deberá tener una entrada de 4 a 20 mA. y de 0 a 5 Voltios opcional. Preferentemente debe trabajar con entrada de cable coaxial.

Este registrador deberá ser compacto, portátil, robusto, resistente a la intemperie, anticorrosivo y con hermetismo al polvo y a la humedad, inmune a interferencias magnéticas y que trabaje en un amplio rango de temperatura ambiente. Las entradas pueden ser de hasta 12 canales programables (de 4 a 20 mA y de 0 a 5 voltios DC), por medio de teclado. Debe ser calibrado de fábrica, con capacidad de almacenamiento de 640 Kbytes, y con alarmas bajas y altas de lectura, entrada para lectura de RTD y termocuplas de alta temperatura. La presentación de resultados a través de pantalla (display), e impresión a papel por medio de un impresor incorporado o salida a impresor externo en forma numérica y preferiblemente en forma gráfica, con sistema de unidades programables. Con batería interna para reloj, con suministro de cargador de batería a 110 VAC, 60 Hz. Podrá ser conectado con dispositivos periféricos, a través de un puerto RS-232.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- En cuanto a la cámara de suspensión, lo que se utiliza actualmente, es una cámara de 10 pies de longitud y 176" cúbicas de volumen, podría usarse una cámara más larga para asegurarse, que el fluido del pozo no penetre al tubo capilar, aunque esto añadiría peso al sistema.
- Para procesar la señal se utilizará el mismo tipo de transmisor de presión teniendo cuidado, que el equipo adicional, que se conectará con éste, sea compatible, en este caso el registrador de datos.
- Estandarizar el equipamiento referente al monitoreo de presión, para evitar problemas concerniente a compatibilidades, tales como acoples de la entrada/salida, roscas del mismo tipo, balonas, etc., usando el mismo tipo de accesorios.
- Debido al ambiente corrosivo que se encuentran en los campos geotérmicos, el tipo de material más conveniente para la fabricación de los componentes de pozo lo constituye el acero 316L, ya que por años ha demostrado resistir el medio corrosivo.
- Algunos tipos de normas de acero, que pueden encontrarse en el país son: el 316, 316L, 310S, que son normas AISI, y el ASSAB 904L, que es norma sueca, y debido a que presentan buena resistencia a la corrosión, a altas temperaturas y esfuerzo, la factibilidad de construcción de cámaras de suspensión, usando estos tipos de acero es una buena alternativa económica.
- Debido a que los diafragmas que contienen silicón como fluido de relleno presentan mayor elasticidad, por tanto transmiten la contracción y expansión del diafragma con mayor fidelidad, por lo que son los más indicados para ser utilizados en la transmisión de la señal.
- Se sugiere que el material que constituye el diafragma sensor sea anticorrosivo, según lo especifique el fabricante, a los gases que estén en contacto con él.
- Debido a que la señal de corriente es menos susceptible al ruido magnético y eléctrico, el transmisor debe utilizar este método para enviar la señal, con el objetivo de mantener la exactitud de la señal.
- El encapsulado del transmisor debe ser resistente a la corrosión y lo más hermético que se pueda para proteger la circuitería interna de la intemperie de los campos geotérmicos.
- Debe mantenerse la utilización de cable coaxial, como medio para enviar la señal desde el transmisor hasta el registrador de datos, debido al blindaje que ofrece, pero se recomienda que tanto el transmisor como el registrador tengan salida y entrada, para este tipo de cable respectivamente.
- Para la selección de los registradores de datos deben tenerse muy en cuenta la compatibilidad eléctrica con el transmisor. Considerando también que sean lo más resistentes al ambiente geotérmico y a las variaciones eléctricas a las que estará sometido.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Cooper, William David.
Instrumentación electrónica y mediciones.
Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.
1978, México.

- Catálogos del Equipo MR-SIX y OMEGA.

- Demorest Jr., William J.
Pressure Measurement.
Process Contrl Div., Honeywell Inc.
CHEMICAL ENGINEERING.
Vol. 92, No 20
Septiembre, 1985.
McGraw-Hill

- Pitcher, John H.
Stainless Steel: CPI Workhorses
Armco Steel Corp.
CHEMICAL ENGINEERING.
Vol. 83, No 25
Noviembre, 1976.
McGraw-Hill

- Hughson, Roy P.
High-Nickel alloys
for corrosion resistance
CHEMICAL ENGINEERING.
Vol. 83, No 25
Noviembre, 1976.
McGraw-Hill

Introducción

Se ha hecho un análisis del sistema de transmisión de presión, ya que en el proceso de monitoreo, se tienen algunas inquietudes, acerca de lo que sucede en el interior de los pozos de monitoreo, por ejemplo, como se afecta la medición de presión, si el fluido del pozo, llega a entrar a la tubería capilar, o que sucede al cambiar el Nitrógeno por el Helio, para ello se hacen análisis matemáticos, siempre teniendo cuidado de trabajar en el rango de presiones y temperaturas de los campos geotérmicos, y además hacer la interpretación física de las constantes de corrección, y en que momento del proceso de trabajo, deben ser usadas estas constantes.

Debido a que los equipos electrónicos se encuentran expuestos constantemente a perturbaciones eléctricas, es necesario protegerlos, se desarrolla un breve enfoque de algunas de las protecciones, que se sugieren con el fin de proteger tanto a los registradores de datos, como a los transmisores de presión.

Por último, se ha desarrollado un programa de computadora, para el cálculo de las constantes de corrección, que se utilizan para leer datos de presión de fondo de pozo, corregidos debido a las condiciones de pozo y propiedades físicas del Nitrógeno, se elaboró de una forma sencilla, con el fin de que sea fácilmente utilizable por cualquier operador de los campos geotérmicos.

También se proporciona el manual de operaciones del equipo que se instalará, una guía de laboratorio, el flujograma del programa, junto con su respectivo listado, para que pueda ser modificado para cualquier situación.

CAPITULO III

ANALISIS DEL SISTEMA DE MONITOREO.

Uno de los puntos principales, que se encuentran en la instrumentación, es el análisis de los errores en las mediciones, en esta etapa del trabajo, se analizarán algunos posibles causas, que afectan la medición de presión, en el fondo de los pozos geotérmicos.

3.1.1 Si el fluido entra al capilar, como se afecta la medición de presión.

En primer lugar, se analiza la probabilidad de que esto ocurra:

Normalmente, se sabe que en el punto de medición, el nivel de agua (NA), se encuentra dentro de la cámara de suspensión, pero surge la interrogante de querer saber como varía la presión, si este nivel de agua, llega a entrar al tubo capilar. Para ello se ha e re erencia a la figura 3.1.

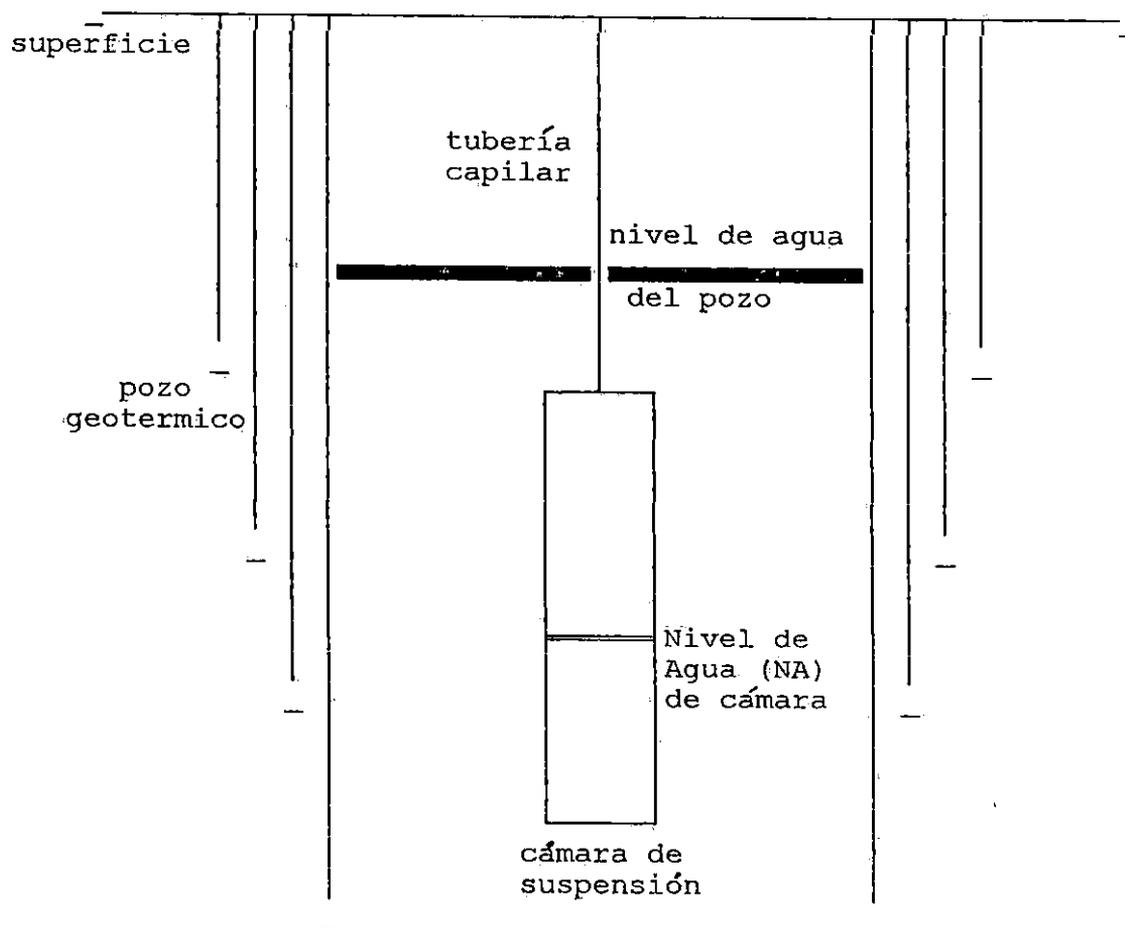


Figura 3.1. Sistema de transmisión de presión.

Hay que tener presente, que algunas razones, por las que el nivel de agua, podría llegar a la tubería capilar, (esto es después que el gas entra en equilibrio con el nivel de agua dentro de la cámara), son, esencialmente, debido a que existan fugas de gas, en los acoples, o porque el volumen de Nitrógeno, que se ha inyectado al sistema de transmisión de presión, no sea suficiente para llenar la cámara.

3.1.i VARIACION DE VOLUMEN EN LA CAMARA.

Tomando como referencia, una variación del nivel del agua de 10 cms.(0.1 m.), dentro de la cámara. Para trabajar con los diámetros de la cámara de suspensión (1.66" OD y 1.38" ID), (medidas de la cámara que se encuentra en operación), en pulg., se convierten los 10 cm. a pulg. = 3.937 pulgadas = L.

Con estos datos, se calcula el volumen de gas que se desplazaría:

$$V_{\text{camara}} = \frac{\pi * ID^2}{4} * L$$

$$V_{\text{camara}} = \frac{\pi}{4} (1.38^2) (3.937) = 5.889 \text{ pul}^3$$

Si esta situación estuviera ocurriendo en el tubo capilar, el volumen sería igual al anterior, y trabajando con un tubo capilar de (0.054 " ID).

$$V_{\text{capilar}} = \frac{\pi ID^2}{4} L_{\text{capilar}}$$

$$L_{\text{capilar}} = \frac{4V_{\text{capilar}}}{\pi(ID^2)} = \frac{4(5.889)}{\pi(0.054^2)} = 2571.2 \text{ pulg.} = 65.3 \text{ mts.}$$

Se sabe que una variación de longitud, de 1 m. de capilar, se manifiesta en un valor de presión de 0.1 bars (1.45 lb/pulg², una longitud de 29.198 m. será equivalente a 2.9198 bars (42.33 lbs.) de presión. Significa entonces que, un desplazamiento pequeño dentro de la cámara, se manifiesta en una variación de presión pequeña, si este desplazamiento se da dentro del capilar se manifestará, como altas variaciones de presión, por lo que el fenómeno se detectaría en el registrador produciendo inestabilidad en la lectura. Para asegurar que la cámara y el capilar estén llenos de gas, el volumen de la cámara, debe ser calculado anticipando el rango de variación de presiones del reservorio, o que se va a sensar.

3.1.2 Tipo de gas.

El gas que se ha utilizado para transferir la presión desde el fondo del pozo, hasta la superficie, ha sido el Nitrógeno, debido a su gran estabilidad a altas temperaturas y altas presiones, como lo muestra la figura 3.2, y ha mostrado dar buenos resultados, en el sistema de transmisión de presión.

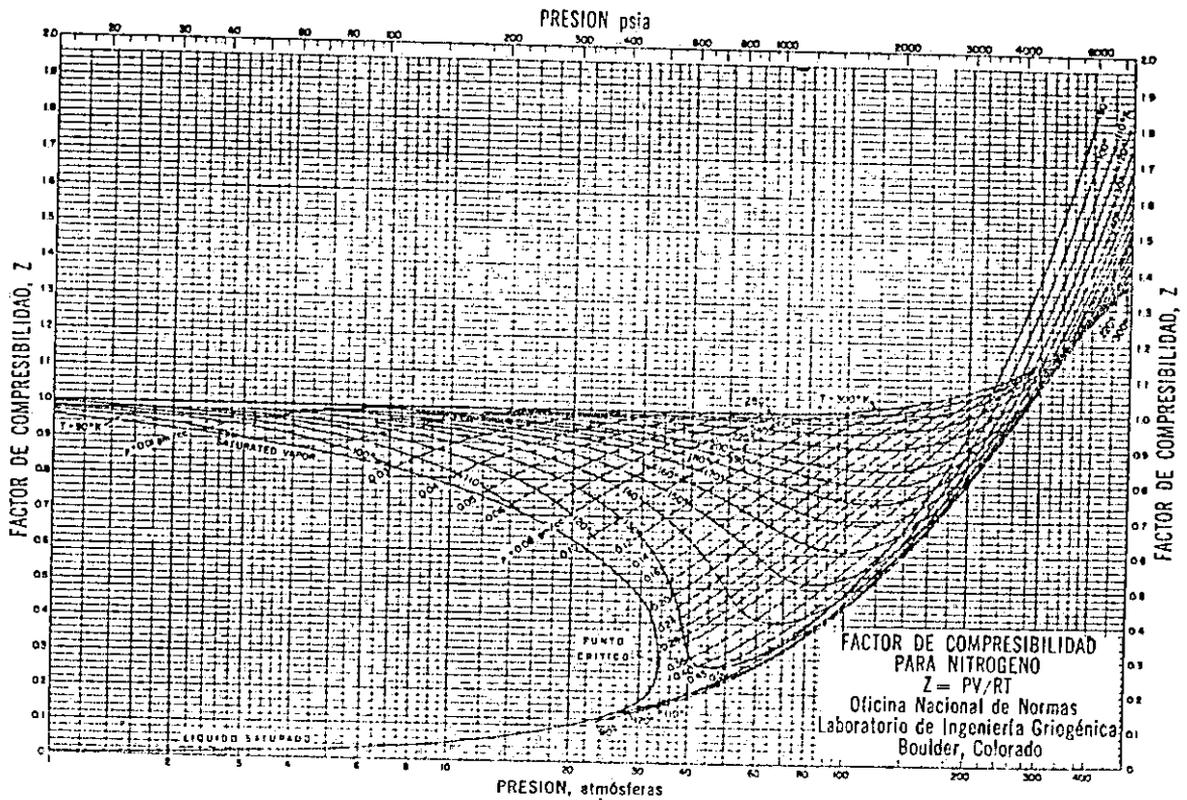


figura 3.2. Diagrama de compresibilidad para el nitrógeno.

Otro de los gases, que se utilizan en geotermia, es el Helio, para mostrar la funcionalidad de éste, se ha realizado el siguiente análisis:

Para determinar su comportamiento a distintas presiones y temperaturas, es necesario tener información, acerca de las características del gas, dentro del rango de temperaturas y presiones, a las cuales estará sometido en el ambiente geotérmico, por lo que se necesita obtener una tabla de factores de compresibilidad, la cual se obtiene de una tabla general (Tabla 3.1), de factores de compresibilidad de gases y líquidos puros, de la manera siguiente:

TABLA 3.1
TABLA GENERALIZADA DE FACTORES DE COMPRESIBILIDAD
PARA GASES Y LIQUIDOS PUROS.

T reducida	P reducida			
	8	10	20	30
1,8	1,052	1,156	1,744	2,33
1,9	1,061	1,158	1,714	2,29
2	1,07	1,159	1,691	2,24
3	1,068	1,13	1,5	1,84
4	1,065	1,12	1,4	1,66
6	1,064	1,1	1,3	1,5
8	1,063	1,085	1,25	1,4
10	1,062	1,08	1,185	1,3
15	1,061	1,07	1,14	1,2

A partir de la carta de compresibilidad generalizada (Figura 3.3), con valores de $P_{critica} = 33.2 \text{ lbs/pulg}^2$, (2.29 bars) y $T_{critica} = 5.3 \text{ }^\circ\text{K}$, para el Helio, (Tabla 3.2). (Constantes críticas), se calculan las $T_{reducidas}$ y $P_{reducidas}$, en el rango de temperaturas de 400 °K (127 °C) hasta 800 °K (527 °C), y para las presiones en el rango de 10 a 80 bars, con los cuales se determinan los factores de compresibilidad (Z), en la zona de compresibilidad de la carta generalizada, que se utiliza, la tendencia de las gráficas se considera lineal, por lo que la obtención de las compresibilidades, para el Helio, podrá hacerse haciendo extrapolaciones en la gráfica de la figura 3.3.

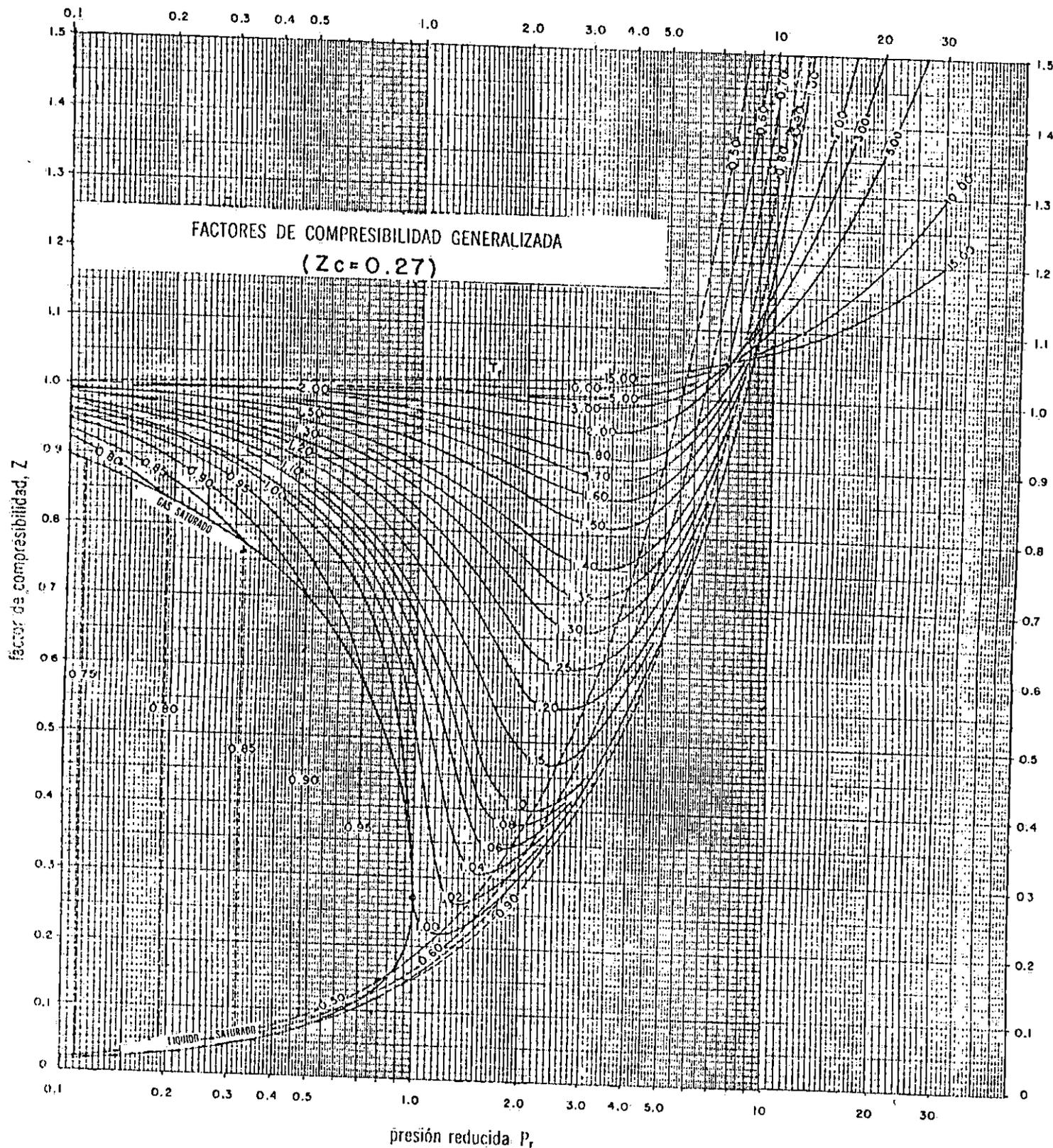


figura 3.3. Carta de compresibilidad generalizada.

TABLA 3.2
CONSTANTES CRITICAS.

SUSTANCIA	Temperatura (°K)	Presión (bars)
Amoníaco	405.5	112.82
Dióxido de Carbono	304.2	73.86
Monóxido de Carbono	133.0	34.96
Helio	5.3	2.29
Hidrógeno	33.3	12.97
Neón	44.5	27.24
Nitrógeno	126.2	33.93
Oxígeno	154.8	50.75
Agua	647.4	221.24
Etano	305.5	48.82
Metano	191.1	46.41
Propano	370.0	42.55

Una muestra del cálculo es la siguiente:

La compresibilidad del Helio a 70 °K y 10 bars:

$$T_{reducida} = \frac{T_{medir}}{T_{critica}} = \frac{70^{\circ}k}{5.3^{\circ}k} = 13.2075$$

$$P_{reducida} = \frac{P_{medir}}{p_{critica}} = \frac{10bar}{2.29bar} = 4.367$$

De la tabla 3.1

Tr	Pr	Pr	Pr
	4	4.367	6
10	1.020		1.035
13.2075		Z	
15	1.030		1.045

Mediante una interpolación, se encuentra el valor de Z.

Con este procedimiento, se sigue un proceso de extrapolación, para los siguientes valores de presión y temperatura, este resultado se muestra en la tabla 3.3.

TABLA 3.3 FACTORES DE COMPRESIBILIDAD DEL HELIO.

Tr	°K	5 bars	10bar	20 bar	40 bar	60 bar	80bar
13.207	70	1.0173	1.0291	1.0655	1.1352	1.2056	1.2753
15.094	80	1.0211	1.0329	1.0642	1.1216	1.1757	1.2271
16.981	90	1.0248	1.0367	1.0626	1.1079	1.1457	1.1789
18.867	100	1.0286	1.0404	1.0609	1.0943	1.1157	1.1308
22.641	120	1.0362	1.0480	1.0577	1.0670	1.0558	1.0344
26.415	140	1.0437	1.0555	1.0544	1.0397	0.9959	0.9381
30.188	160	1.0512	1.0631	1.0512	1.0124	0.9360	0.8418
33.962	180	1.0588	1.0706	1.0479	0.9852	0.8760	0.7455
37.735	200	1.0663	1.0782	1.0447	0.9579	0.8161	0.6491
47.169	250	1.0852	1.0970	1.0365	0.8897	0.6663	0.4083
56.603	300	1.1041	1.1159	1.0284	0.8215	0.5165	0.1675
66.037	350	1.1229	1.1348	1.0203	0.7533	0.3667	-
75.471	400	1.1418	1.1536	1.0122	0.6851	0.2168	-
84.905	450	1.1607	1.1725	1.0040	0.6169	0.0670	-
94.339	500	1.1795	1.1914	0.9959	0.5487	-	-
113.20	600	1.2173	1.2291	0.9797	0.4123	-	-
150.94	800	1.2928	1.3046	0.9472	0.1395	-	-
188.67	1000	1.3682	1.381	0.9146	-	-	-

Al observar las gráficas obtenidas de estos factores de compresibilidad del Helio y compararlas con las del Nitrógeno, (figuras 3.4 y 3.5), puede observarse, que a las mismas presiones y temperaturas, los factores de compresibilidad para el Helio, tienen mayor variación que los del Nitrógeno, por lo que se dice que el Helio es mucho más compresible que el Nitrógeno, por lo que la utilización del Helio, en el sistema de transmisión de presión, no garantiza una transmisión de presión sustancial, frente al Nitrógeno, además de que su precio en el mercado es 11 veces mayor, que el Nitrógeno, por lo que en el aspecto económico, tampoco presenta ventajas frente al Nitrógeno.

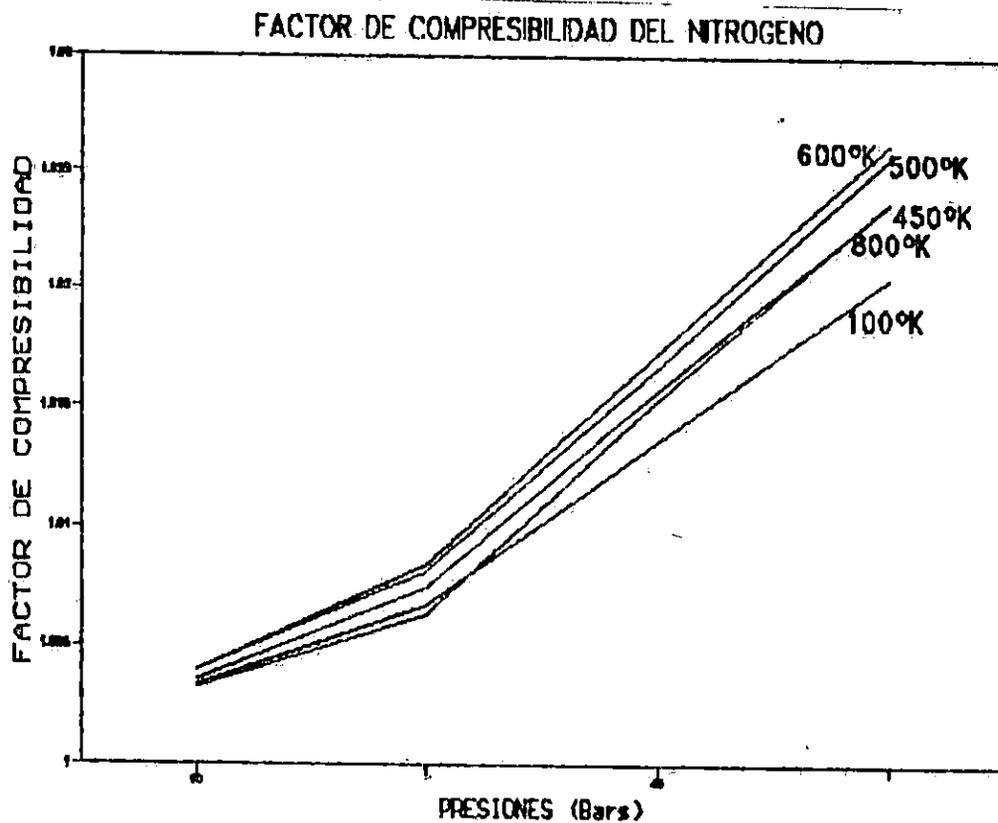


Figura 3.4. Gráfica de compresibilidad del Nitrógeno en el rango de presiones y temperaturas de los campos geotérmicos.

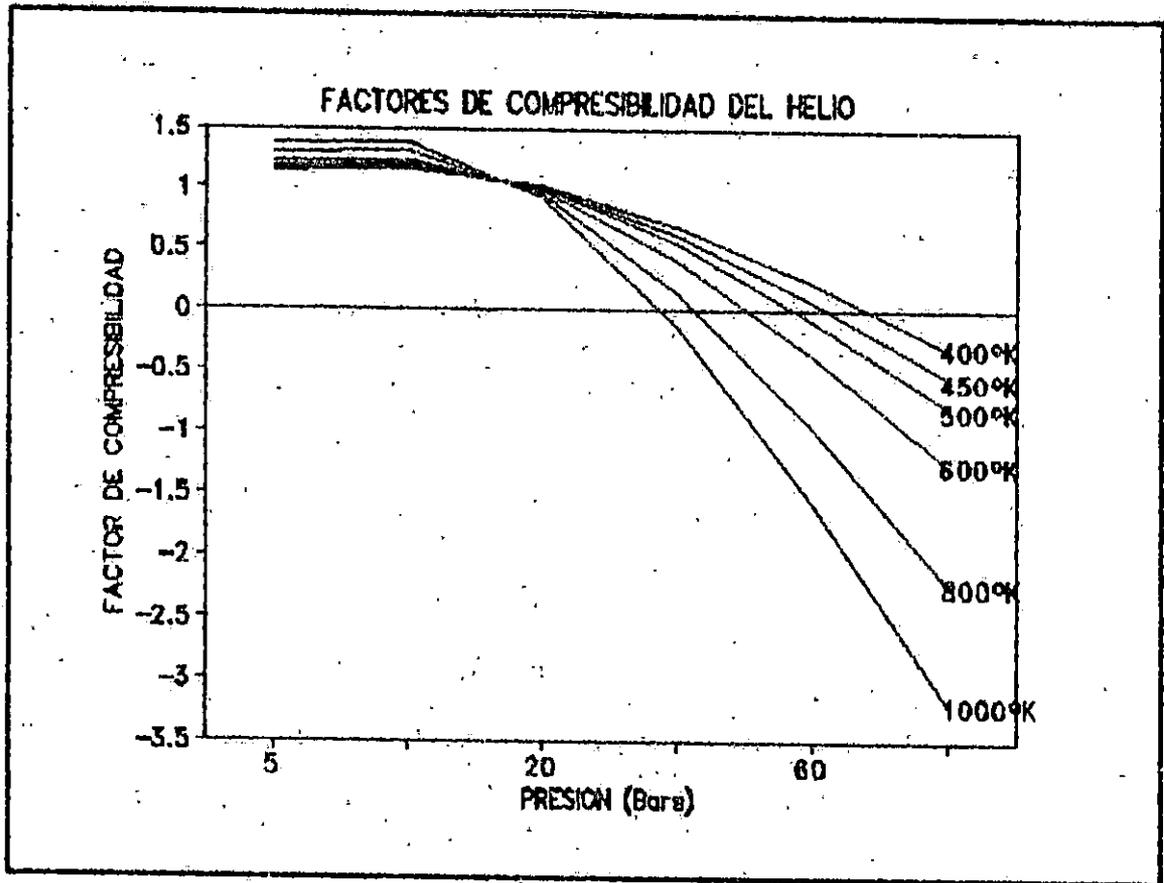


Figura 3.5. Gráfica de compresibilidad del Helio en el rango de presiones y temperaturas de los campos geotérmicos.

3.1.3 Uso de las constantes a cámara llena y build-up.

Debido a que los cambios de presión, en el fondo de los pozos, es transmitida por un gas monofásico, deben hacerse ajustes, los cuales dependen del tipo de gas utilizado, así como de las condiciones del pozo, en el sistema de transmisión de presión.

La densidad del gas del fondo es diferente a la densidad del gas en la superficie, se tiene una densidad mayor en el fondo del pozo, que en la parte superior de la columna de gas, para corregir la medición por este efecto, se introduce en los cálculos de presión, una constante multiplicativa, llamada Span, y una constante de compensación, llamada Cero, para corregir el cálculo por el peso de la columna de gas.

Estas constantes, se calculan a cámara llena (chamber full) y al aumentar la presión (build-up), por lo que se tendrán dos ecuaciones para el Span y dos ecuaciones para el Cero. (La rutina de cálculo está desarrollada en el CAPITULO I). Por lo tanto, debe determinarse en que situación, se usará uno u otro valor.

Cuando se definen los valores de presión máxima y mínima esperados, durante la explotación del reservorio, y se está monitoreando el valor máximo de presión, deben utilizarse las constantes a cámara llena, y esto debe permanecer hasta que no se alcance el mínimo valor de presión de fondo de pozo, esto garantiza lecturas corregidas durante este período, en el momento en que es alcanzado el valor de presión mínimo, los factores de corrección que deben usarse son los de build-up, los valores de estas constantes deben mantenerse para corregir las lecturas de presión, mientras el valor de la presión del fondo se recupera.

En el caso que los valores de presión en el punto de medición, sean menores que la presión mínima esperada (presión mínima de cámara, mayor que presión del fluido), parte del gas se escapará, y el nivel de agua subirá en la cámara cuando ocurra un incremento de presión del reservorio, en este caso, el sistema debe ser purgado, haciendo una reinyección de gas, para mantener la corrección de las lecturas de fondo de pozo.

Si el monitor de superficie, se cambia, el valor de las constantes no sufre ninguna modificación, debido a que éstas no dependen del equipo exterior, sino más bien de las condiciones del gas y del pozo. Si la instrumentación de superficie es cambiada, deben revisarse los principios de operación de los equipos y definir las ecuaciones que rigen a los instrumentos, para poder introducirles correctamente las constantes del Span y el Cero.

3.1.4 Interpretación de las constantes.

Se trabaja con el concepto del sistema estático.

$$P_{fondo} = P_{bh} = P_{\text{capilar}} + P_{hidrostatica} = P_s + P_{hi}$$

$$P_{hidrostatica} = \nabla_{gas} * (TVD)$$

$$\nabla_{gas} = \frac{G(\text{Pres. prom. Capilar})}{(Z * T_{promedio})}$$

$$\nabla_{gas} = \frac{G(P_{bh} + P_s)}{Z * T * 2}$$

Se define:

$$X = \frac{G * (TVD)}{Z * T}$$

entonces:

$$\nabla_{gas} = \frac{X}{TVD} \frac{(P_{bh} + P_s)}{2}$$

$$P_{bh} = X (P_{bh} + P_s) / 2$$

Sustituyendo en la ecuación (i):

$$P_{bh} = \frac{(2 + X)}{(2 - X)} * P_s$$

entonces:

$$S_{pm} = \frac{(2 + X)}{(2 - X)} = C \quad (ii)$$

$$P_{bh} = C * P_s$$

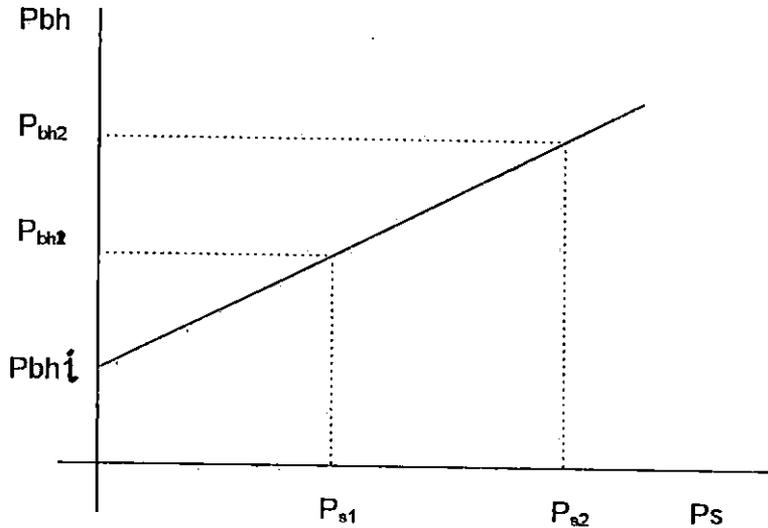
Se considera un sistema estático, en el cual la presión es constante. La presión de fondo, se obtiene de la ecuación anterior. C (Span), es una constante multiplicativa, que define la

variación de la presión de superficie, en función de la presión de fondo, depende de las características del gas, de las condiciones de presión y temperatura del fondo del pozo y de la profundidad donde esté colocada la cámara.

Teóricamente, no debe entrar fluido del pozo, (agua), sin embargo, el sistema es "dinámico", la presión cambia, tal que el cálculo estático debe ser modificado.

Se asume que la relación entre la presión del fondo y la presión de superficie, es lineal:

$$P_{bh} = P_s (\text{pendiente}) + (\text{constante})$$



$$P_{\text{pendiente}} = \frac{(P_{bh2} - P_{bh1})}{(P_{s2} - P_{s1})} \quad (\text{iv})$$

Si asumimos que P_{bh2} , es el valor máximo de presión, P_{bh1} , es el valor mínimo de presión, a monitorear.

De la ecuación (iii):

$$\frac{P_{bh2}}{P_{s2}} = C_2$$

$$\frac{P_{bh1}}{P_{s1}} = C_1$$

Se despejan entonces:

Se despejan entonces:

$$P_{bh2} = P_{s2} * C_1$$

$$P_{bh1} = P_{s1} * C_2$$

De la ecuación (ii):

$$C_2 = \frac{2 + X_2}{2 - X_2}$$

$$C_1 = \frac{2 + X_1}{2 - X_1}$$

X1 y X2, se han calculado a la correspondiente presión y temperatura.

Sustituyendo en ecuación (iv):

Entonces la pendiente:

$$\frac{P_{s2} * C_2 - P_{s1} * C_1}{P_{s2} - P_{s1}}$$

Se encuentra la constante:

$$C_{te} = P_{bhi}$$

$$\frac{P_{bh1} - P_{h1}}{P_{s1}} = P_{pendiente} = \frac{P_{bh2} - P_{h2}}{P_{s2} - P_{s1}}$$

$$P_{s1}(P_{bh2} - P_{h2}) = (P_{bh1} - P_{h1})(P_{s2} - P_{s1})$$

$$P_{bhi} = \frac{P_{bh1}(P_{s2} - P_{s1}) - P_{s1}(P_{bh2} - P_{h2})}{(P_{s2} - P_{s1})} = P_{bh1} - \frac{(P_{s1}(P_{bh2} - P_{h2}))}{(P_{s2} - P_{s1})}$$

$$P_{bh} = P_{bh1} - P_{s1} * (Pendiente)$$

Si:

$$P_{bh1} = C_1 * P_{s1}$$

Y sustituyendo:

$$Const. = P_{s1} * C_1 - P_{s1} * (Pendiente) = P_{s1} * (C_1 - Pendiente)$$

Para cámara llena, se define la constante como sigue:

$$P_{bh} = (P_s + D_f) * C_f$$

$$C_f = \frac{(P_{s2} * C_2 - P_{s1} * C_1)}{P_2 - P_1} = Span$$

y el factor de compensación:

$$D_f = \frac{P_{s1} * (C_1 - C_f)}{C_f}$$

La presión de fondo, se calcula apartir de la ecuación:

$$P_{bh} = (P_s + D_f) * C_f$$

De acuerdo a la definición de las ecuaciones, el Span, es la pendiente que relaciona la presión de fondo con la presión de superficie, en un sistema dinámico, a cámara llena, en términos termodinámicos representa la variación de presión en el fondo que se dan por la compresibilidad del gas, que además dependen de las condiciones de fondo de pozo.

El Cero, es el factor de compensación, que representa la diferencia entre el valor de presión dinámico y el valor de presión estático, necesario para suplir el faltante de presión provocado por las condiciones dinámicas del reservorio.

Para un sistema, donde el fluido del pozo penetra en la tubería capilar, (se analiza hasta el extremo superior de la cámara), a través de los puertos sensores, la ecuación anterior debe ser modificada.

Con la cámara llena de gas:

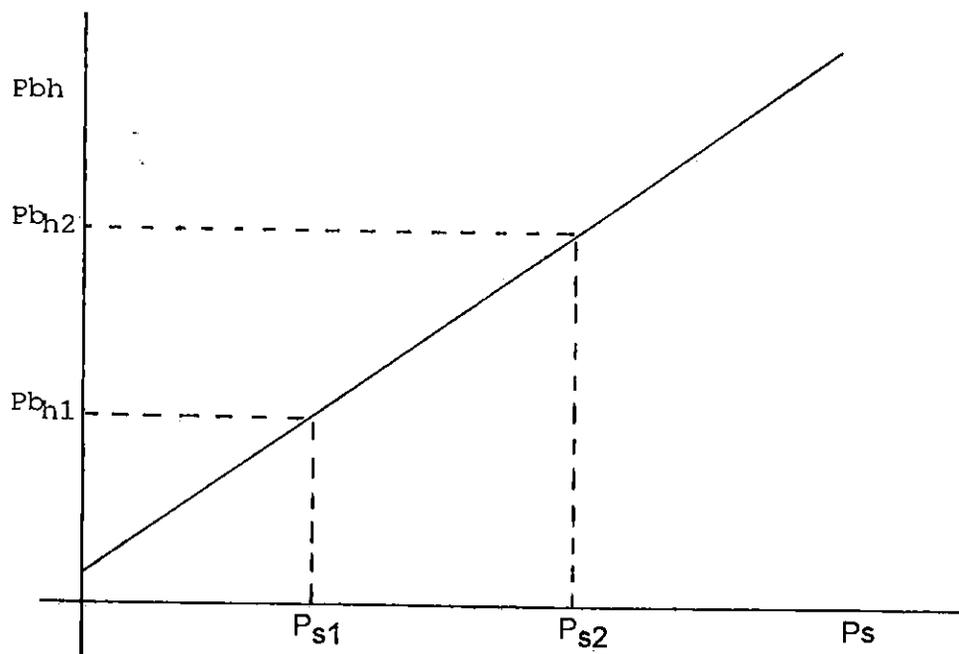
$$P_{bh1} = P_{s1} * C_1$$

Con la cámara llena de líquido:

$$P_{bh2} = P_{s2} * C_2 + (long.de.camara) * Gradiente.del.fluido$$

$$P_{bh2} = P_{s2} * C_2 + (LC * G)$$

Se asume una variación lineal, en el rango de presiones:



Se encuentra la pendiente:

$$Pendiente = \frac{(P_{s2} * C_2 + LC * G) - P_{s1} * C_1}{P_{s2} - P_{s1}}$$

Si $P_1 * V_1 = P_2 * V_2$, se aplica a nuestro sistema:

$$P_{s1} * (V_c + V_t) = P_{s2} * V_t$$

$$P_{s2} = \frac{P_{s1} * (V_c + V_t)}{V_t}$$

Sustituyendo en la ecuación (v):

$$Pendiente - Cf = \frac{Long.camara * \nabla.fluido}{P_{s1} * V_c}$$

Se define el término Incremento (Rise):

$$Incremento = \frac{Long.Camara * \nabla fluido}{P_{s1} * V_c}$$

entonces:

$$P_{bh} = P_s * (Incremento + Cf) + Const.$$

Se define entonces, la constante multiplicativa:

$$Cb = Cf + Incremento * (Span)$$

y el factor de compensación, se define:

$$Db = \frac{(Df * Cf) - Incremento * P_s}{Cb} = Cero$$

La presión de fondo a build-up, se calcula a partir:

$$P_{bh} = (P_s + Db) * Cb$$

El factor multiplicativo a cámara llena más el incremento representa la presión que necesita el gas, para desplazar el fluido de la cámara, por lo que las ecuaciones involucran el volumen desplazado en la cámara.

El Cero representa la diferencia entre el valor real de presión y el valor ideal, necesario para suplir el faltante de presión, provocado por los cambios del reservorio.

P_{bh} : Presión de fondo de pozo.

P_s : Presión de superficie.

P_h : Presión hidrostática.

TVD: Profundidad vertical verdadera.

G: Constante del gas.

Z: Factor de compresibilidad del gas.

T: Temperatura promedio.

LC: Longitud de la cámara.

V_c : Volumen de cámara.

V_t : Volumen de capilar.

∇ : gradiente de gas.

3.1.5 Diseño de la cámara de suspensión.

Para el diseño de la cámara de suspensión, deben tomarse en cuenta algunas suposiciones, o condiciones límites con el fin de garantizar un óptimo funcionamiento. Para ello se supondrá que el punto de medición estará a 1000 mts. de profundidad, y teniendo en cuenta, que el sistema estará libre de fugas de gas (Nitrógeno) con una temperatura media constante.

Aplicando la ecuación de estado para gases ideales y con temperatura constante, se tiene:

$$P_1 * V_1 = P_2 * V_2$$

Para la cual, en la figura 3.6 se muestran los dos estados del sistema:

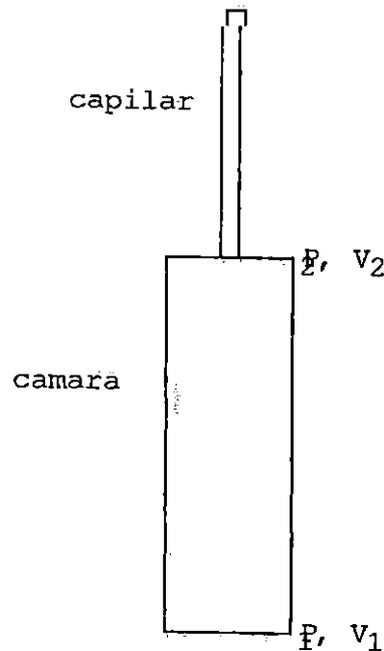


Figura 3.6

Para todo el sistema, el volumen 1 estará formado por el volumen del tubo capilar más el volumen de la cámara.

$$V_1 = V_{capilar} + V_{camara}$$

En el punto 2, en el cual la presión (P2) será la máxima ejercida por el reservorio sobre el sistema (suponiendo el caso extremo en el que el reservorio, varía su presión desde el punto 1 hasta el punto 2, esto se hace así con el fin de garantizar que el fluido no penetre al tubo capilar).

Se tiene que el volumen 2, será sólo el volumen del tubo capilar.

$$V_2 = V_{capilar}$$

Sustituyendo en la ecuación 1:

$$P_1 * (V_{capilar} + V_{camara}) = P_2 * V_{capilar}$$

Como se necesitan diseñar las dimensiones de la cámara, se despeja el volumen de la cámara:

$$P_1 * V_{capilar} + P_1 * V_{camara} = P_2 * V_{capilar}$$

Por lo que:

$$V_{camara} = \frac{V_{capilar}(P_2 - P_1)}{P_1}$$

Teniendo en cuenta un gradiente de presión de 0.082 Bar/mts. y a la profundidad de 1000 mts. (se elige 1000 metros con el fin de garantizar un margen de presión dentro de la cámara), se tiene:

$$P_0 = 0.082 \frac{\text{Bars}}{\text{Mts}} * (1000 - 500) + \text{Presión.de.cabezal}$$

donde la profundidad al nivel de agua es 500 mts. y la presión de cabezal 20 Bars.

$$P_0 = 61 \text{ Bars}$$

Si delta P representa el cambio de presión desde el estado 1 hasta el estado 2 en la cámara:

$$P_1 = P_0 - \Delta P$$

$$P_2 = P_0 + \Delta P$$

En ecuación (4) se tiene:

$$V_{camara} = \frac{V_{capilar} * [(P_0 + \Delta P) - (P_0 - \Delta P)]}{P_0 - \Delta P}$$

Por lo que:

$$V_{camara} = \frac{2 * V_{capilar} * \Delta P}{P_0 - \Delta P}$$

Si se ha de utilizar un tubo capilar de 0.054 pulg. de diámetro interno, puede calcular el volumen:

$$d = 0.054 \text{ Pulg} = 1.37195122 \times 10^{-3}$$

$$V_{\text{cap}} = 0.001478275 \text{ mts}^3$$

$$V_{\text{cap}} = 90.143 \text{ pulg}^3$$

Cuando se tiene una tubería de recuperación de 2 pulgadas de diámetro, la cámara puede tener un diámetro de 1.6 pulgadas = 0.041mts (con esto se tiene un juego de 0.2 pulgadas con la tubería de recuperación. como:

$$V_{\text{cámara}} = \frac{\pi * D^2 * Lc}{4}$$

Entonces:

$$L_{\text{cámara}} = \frac{8 * V_{\text{capilar}} * \Delta P}{\pi * D_{\text{cam}}^2 * (P_0 - \Delta P)}$$

De donde la longitud de la cámara:

$$Lc = \frac{2.2781 * \Delta P}{61 - \Delta P}$$

Si la diferencia de presiones entre el estado 1 y el estado 2 es 35 Bar, la longitud de la cámara deberá ser:

$$L_{\text{cam}} = 3 \text{ mts.}$$

3.1.6 Protección para el equipo de superficie.

En geotermia las lecturas de presión de fondo de pozo son muy importantes, por lo que los equipos que realizan el trabajo de medir presiones deben ser protegidos tanto física como eléctricamente. A continuación se darán algunas sugerencias para la protección del equipo electrónico, contra algunas fallas eléctricas que pueden darse, para ello se describirán algunos dispositivos.

3.1.6.1 Estabilizador de voltaje.

Este dispositivo, está formado por una circuitería que protege ante los cambios bruscos de voltaje de la red local, debido a su capacidad de mantener una salida de voltaje estable, es indispensable su utilización tanto para el registrador de datos, como en aquellos transmisores que necesiten de una fuente de energía externa, ya que una subida de voltaje podría dañar en forma permanente al equipo y por tanto las lecturas de registro.

Para controlar la falta de energía puede hacerse uso de baterías de C.D. con su cargador permanente y para mejorar el suministro incorporar filtros para la red local.

3.1.6.2 Aterrizaje.

Toda instalación de equipo electrónico debe contar con algún medio efectivo para conectar a tierra todas aquellas partes metálicas u otros elementos, que en operación normal no conduzcan corriente y que estén expuestos a energizarse, si por algún motivo ocurre un deterioro en el aislamiento de los conductores o del equipo, por lo que debe tomarse muy en cuenta esta consideración.

3.1.6.3 Descargadores.

La función de los descargadores es la de derivar a tierra las tensiones o corrientes excesivas que circulan a través del circuito.

Existen diferentes tipos y formas de descargadores, entre los cuales se pueden mencionar los de carbón con dieléctrico (separador) de papel de mica, de electrodos metálicos con dieléctricos de material plástico, bobinas térmicas, etc.

A continuación se describen las características de los descargadores más utilizados:

3.1.6.3.1 Descargadores de electrodos de carbón.

Los hay de dos formas, el primero está compuesto por dos piezas rectangulares de carbón, sueltas. Entre cada dos piezas, debe ser colocada una delgada lámina de papel mica dieléctrico), que se comporta como el separador de los carbones.

Los carbones, como se les conoce, tienen a ambos lados longitudinales, unos bordes que evitan el desplazamiento del descargador, una vez colocado en los muelles de la unidad de conexión.

Por un lado, el descargador hace contacto con la línea del circuito y por el otro, queda conectado a tierra.

El otro tipo de descargador de carbón, también está formado por dos piezas rectangulares de dicho material, unidos entre sí por unas gotas de material plástico (dieléctrico). Una de las piezas es de mayor tamaño que la otra, la que además tiene unos bordes longitudinales, que evitan el desplazamiento del descargador, después de colocado en la unidad de conexión.

La tensión de descarga para ambos descargadores es de aproximadamente 800 V.DC.

3.1.6.3.2 Descargadores de electrodos metálicos.

Este tipo de descargador está formado por dos piezas metálicas, las cuales están sujetas entre sí por un separador de material plástico. Los electrodos están ajustados a una separación relativamente pequeña, debido a la rigidez del dieléctrico. En caso de formarse un arco voltaico, provocado por una sobretensión desplazada a través de los electrodos, el calor disipado por ellos hará reblandecer el material plástico, y la fuerza ejercida por los muelles, en la unidad de conexión, vencerá la resistencia del material hasta poner en contacto los electrodos, derivándose a tierra, a través de ellos, la sobretensión inducida. Una muestra de ellos se da en la figura 3.7.

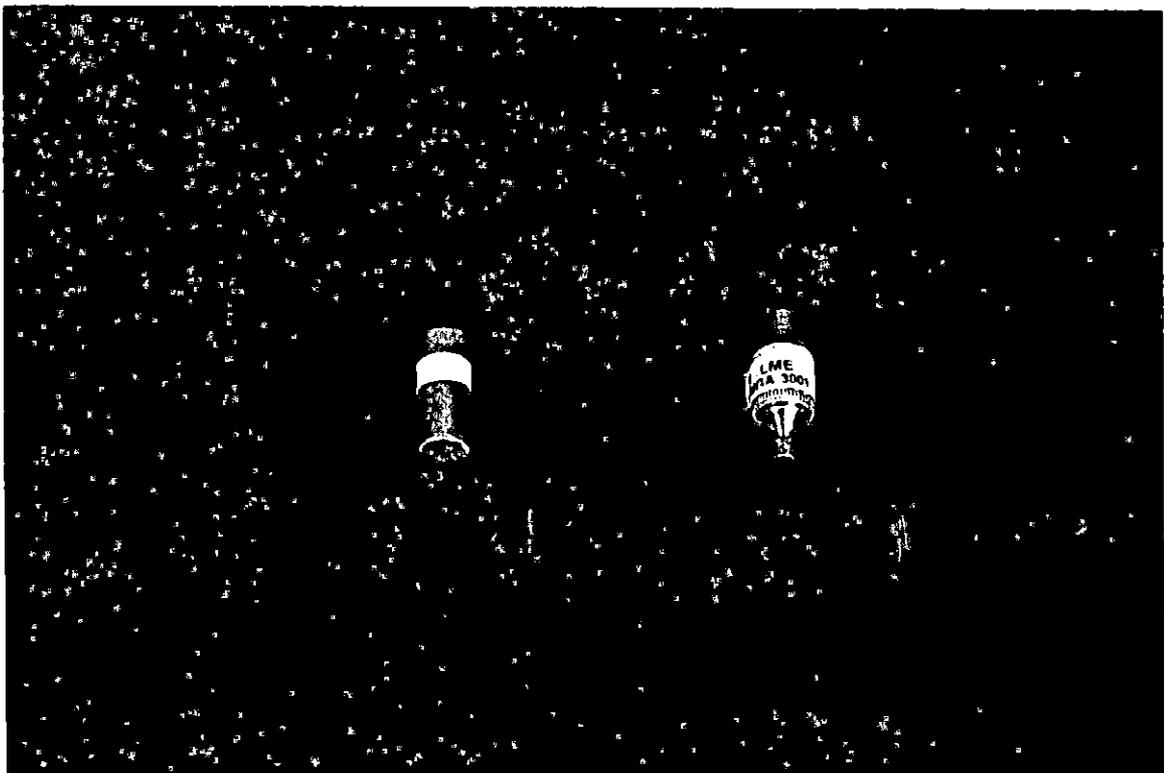


Figura 3.7 Descargadores de electrodos metálicos.

Debido a la distancia existente entre el pozo geotermico de monitoreo y la sala donde se registran los datos de presión; es bastante considerable, debe protegerse el cable de conexión ante perturbaciones o cargas estáticas que puedan dañar al equipo. Puede protegerse entonces con un blindaje al cable instalado en forma aérea, colocando un par de cables por encima de éste en su trayectoria y aterrizando en un punto. Una mejor opción la ofrece la canalización subterránea con tubería de PVC o tubería conduit, aunque esto, debido a su instalación produciría un costo más elevado.

3.1.7 VALVULÁ AUTOMÁTICA DE GAS.

Uno de los problemas con que se cuenta en la medición de presión de fondo de pozo, se da cuando el sistema de transmisión de presión pierde gas (Nitrógeno), se ha pensado en la posibilidad de incorporar una válvula automática que sea capaz de reinyectar gas al sistema cuando existe fuga, pero uno de los inconvenientes de saber que cantidad de gas se está escapando.

Primeramenté se consideran algunas de las posibles causas que provocan la entrada de líquido al sistema cuando este es llenado de gas.

Debido a que el reservorio está continuamente variando su presión, al ejercer cierta presión sobre el sistema, el gas; el cual tiene un factor de compresibilidad, tiende a ser comprimido, por lo que una cantidad de fluido del reservorio penetraría al sistema; en este caso se considera una función normal de trabajo por lo que el fluido entraría a la cámara hasta que las condiciones de compresibilidad del gas lo permitan, aquí se considera que no existe fuga alguna en cualquier otra parte del sistema.

En la realidad existe una fuga de gas, y debido a que la posibilidad que el gas se mezcle con el fluido, es mínima, se le atribuye el escape del gas a los acoples que existen entre la cámara de suspensión y el tubo capilar y entre el tubo capilar y el transmisor de presión, posiblemente debido a alguna incompatibilidad de los acoples.

Si se considera que la cámara permanece completamente llena de gas en un sistema estático, se tendría que la presión mínima del sistema se encontraría en el extremo inferior de la cámara y la cual sería igual a la columna de fluido sobre ese punto mas la presión al nivel del agua (ver figura 3.8)

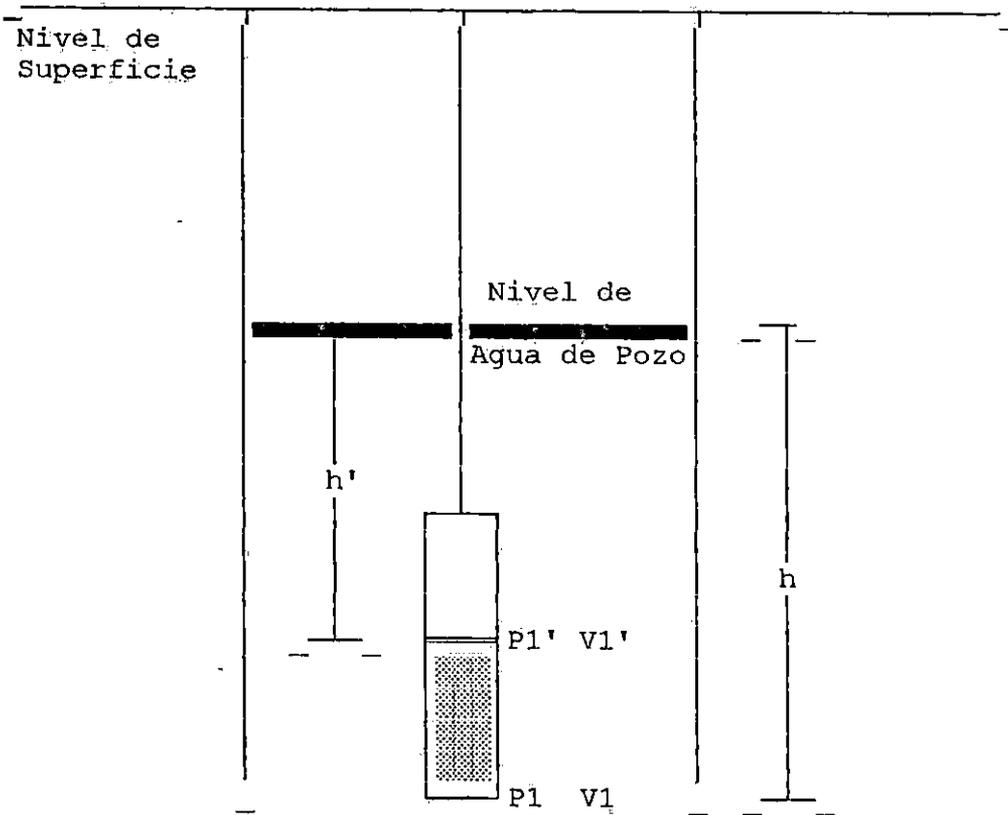


figura 3.8

Para las condiciones iniciales, (cuando no existe fuga alguna), la carga de presión en el punto 1 será:

$$P_1 = \gamma * h + P_{\text{nivel de agua}}$$

Pero cuando ha existido fuga de gas y el nivel de agua dentro de la cámara se encuentre en el punto 1', la presión mínima inicial ya no se logrará alcanzar, entonces la carga de presión en el nuevo punto (P1') estará dada por:

$$P'_{1} = \gamma * h' + P_{\text{nivel de agua}}$$

Entonces debe considerarse que si en un tiempo prudencial, no se alcance la carga de presión inicial, la válvula deberá actuar hasta lograr las condiciones iniciales.

Considerando que el gasto de gas sea bastante pequeño, se necesitará de hacer algunas pruebas de campo, para determinar el tiempo que transcurre en llegar hasta el punto P1'.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Debido a que los valores del factor de compresibilidad del gas Helio cambian en mayor proporción que los factores para el Nitrógeno, en un rango de presión específico, es preferible seguir utilizando el gas Nitrógeno como medio para transmitir la presión desde el fondo del pozo; y que económicamente aventaja al Helio ya que este tiene un precio once veces mayor, según cotización realizada en OXGASA, en Febrero de 1995.

- Las constantes utilizadas para corregir la presión de fondo de pozo, dependen de las condiciones de pozo, así como también de las propiedades físicas del gas, y no de las condiciones de superficie, por lo que al cambiar el equipo de monitoreo de presión, las constantes no cambiarán.

- En el reservorio, la presión de fondo está cambiando constantemente y debido a la relación de diámetros entre el tubo capilar y la cámara de suspensión, la variación de presión dentro del capilar, es mayor que dentro de la cámara, por lo tanto es preferible que el nivel de agua del punto de medición se encuentre en el rango de la longitud de la cámara con el fin de obtener lecturas de presión más estables.

- Las constantes de corrección son valores adimensionales que representan una relación directa entre la presión de fondo y la presión de superficie, así como también la compensación necesaria para ajustar el sistema real dinámico del pozo, al sistema estático.

- Debido a que no pudo determinarse el gasto de gas en el sistema de transmisión de presión, necesario para activar una válvula de reinyección de gas, se dejan plasmadas algunas ideas para continuar con un estudio más minucioso y experimental con el fin de determinar los parámetros que se utilizarían para que actúe la válvula.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

FUNDAMENTOS DE TERMODINAMICA
VAN WYLEN, GORDON J.
SONTAG, RICHARD E.
EDITORIAL LIMUSA
MEXICO, 1979.

CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES.

- El sistema de transmisión de presión, (cámara de suspensión y tubo capilar), debe ser adecuado al trabajo que realizan, permitir la interfase entre el fluido del pozo y el gas, sin que el fluido penetre en el tubo capilar.
- En cuanto a la cámara de suspensión, lo que se utiliza actualmente, es una cámara de 10 pies de longitud y 176" cúbicas de volumen, podría usarse una cámara más larga para asegurarse, que el fluido del pozo no penetre al tubo capilar, aunque esto añadiría peso al sistema.
- Para procesar la señal se utilizará el mismo tipo de transmisor de presión teniendo cuidado, que el equipo adicional, que se conectará con éste, sea compatible, en este caso el registrador de datos.
- Una desventaja que posee el equipo omega, es que el fabricante sugiere, que sea calibrado cada seis meses, y debido a que esto se realiza con una entrada de dos voltios, se considera que es posible realizar esta calibración con una pila alcalina de 1.5 voltios en caso de no contar con una fuente de voltaje.
- Por medio de la prueba de laboratorio se comprueba que la respuesta (lectura), del registrador de datos, es lineal, de acuerdo a los datos obtenidos, y que la gráfica de los datos concuerda con la ecuación obtenida analíticamente.
- Según los resultados de la prueba de campo, y haciendo el análisis estadístico de los datos de presión, que reportaron los equipos conectados en paralelo (MR-SIX y OMEGA), se concluye que el mejor equipo de trabajo es el equipo OMEGA, debido a que posee una menor desviación estándar, y su error probable, referido al equipo MR-SIX también es menor.
- Una limitante de los equipos de medición de presión OMEGA, es, que el número de cifras decimales que se pueden introducir a través del teclado, para introducir las constantes de corrección esta limitado a un rango, especificado por el fabricante.
- Para la calibración de los equipos, es necesario hacer uso de un calibrador patrón de presión.
- Una alternativa para realizar las pruebas de laboratorio, es usar tubería de cobre y accesorios de bronce, los cuales son fácilmente adquiridos en el mercado a un bajo costo.

- Estandarizar el equipamiento referente al monitoreo de presión, para evitar problemas concerniente a compatibilidades, tales como acoples de la entrada/salida, roscas del mismo tipo, balonas, etc., usando el mismo tipo de accesorios.
- Debido al ambiente corrosivo que se encuentran en los campos geotérmicos, el tipo de material más conveniente para la fabricación de los componentes de pozo lo constituye el acero 316L, ya que por años ha demostrado resistir el medio corrosivo.
- Algunos tipos de normas de acero, que pueden encontrarse en el país son: el 316, 316L, 310S, que son normas AISI, y el ASSAB 904L, que es norma sueca, y debido a que presentan buena resistencia a la corrosión, a altas temperaturas y esfuerzo, la factibilidad de construcción de cámaras de suspensión, usando estos tipos de acero es una buena alternativa económica.
- Debido a que los diafragmas que contienen silicón como fluido de relleno presentan mayor elasticidad, por tanto transmiten la contracción y expansión del diafragma con mayor fidelidad, por lo que son los más indicados para ser utilizados en la transmisión de la señal.
- Se sugiere que el material que constituye el diafragma sensor sea anticorrosivo, según lo especifique el fabricante, a los gases que estén en contacto con él.
- Debido a que la señal de corriente es menos susceptible al ruido magnético y eléctrico, el transmisor debe utilizar este método para enviar la señal, con el objetivo de mantener la exactitud de la señal.
- El encapsulado del transmisor debe ser resistente a la corrosión y lo más hermético que se pueda para proteger la circuitería interna de la intemperie de los campos geotérmicos.
- Debe mantenerse la utilización de cable coaxial, como medio para enviar la señal desde el transmisor hasta el registrador de datos, debido al blindaje que ofrece, pero se recomienda que tanto el transmisor como el registrador tengan salida y entrada, para este tipo de cable respectivamente.
- Para la selección de los registradores de datos deben tenerse muy en cuenta la compatibilidad eléctrica con el transmisor. Considerando también que sean lo más resistentes al ambiente geotérmico y a las variaciones eléctricas a las que estará sometido.
- Debido a que los valores del factor de compresibilidad del gas Helio cambian en mayor proporción que los factores del gas Nitrógeno, en un rango de presión específico, es preferible seguir utilizando el gas Nitrógeno como medio para transmitir la señal desde el fondo del pozo; y que económicamente aventaja al Helio, ya que éste tiene un precio once veces mayor, según cotización realizada en OXGASA en Febrero de 1995.

- Las constantes para corregir la presión de fondo de pozo, dependen de las condiciones de pozo, así como también de las propiedades físicas del gas, y no de las condiciones de superficie, por lo que al cambiar el equipo de monitoreo de presión, las constantes no cambiarán.

- En el reservorio, la presión de fondo de pozo está cambiando constantemente y debido a la relación de diámetros entre la cámara de suspensión y el tubo capilar, la variación de presión dentro del capilar, es mayor que dentro de la cámara, por lo tanto es preferible que el nivel de agua del punto de medición se encuentre en el rango de la longitud de la cámara, con el fin de obtener lecturas de presión más estables.

- Las constantes de corrección son valores adimensionales que representan una relación directa entre la presión de fondo y la presión de superficie, así como también la compensación necesaria para ajustar el sistema real dinámico del pozo al sistema estático.

- Debido a que no pudo determinarse el gasto de gas en el sistema de transmisión de presión, necesario para activar una válvula de reinyección de gas, se dejan plasmadas algunas ideas para continuar con un estudio más minucioso y experimental, con el fin de determinar los parámetros que se utilizarán para que actúe la válvula.

- La medición de la presión de fondo de pozo, en los campos geotérmicos es la actividad de mayor importancia, debido a que varía constantemente y es a partir de la cual se toman decisiones para adoptar la mejor estrategia de explotación del recurso.

APENDICE A

PUESTA EN OPERACION DE LA INSTRUMENTACION PARA EL MONITOREO DE LA PRESION DE LOS POZOS DEOTERMICOS (INDUSTRIAL PRESSURE TRANSMITER PX-725 Y PROGRAMMABLE DATALOGGER OM-5100)

Pruebas de laboratorio.

Objetivos.

- * Mostrar la secuencia de conexión de los instrumentos, que se utilizan para monitorear la presión de fondo de los pozos.
- * La calibración de los factores de corrección en el transmisor de presión (Cero y Span).
- * Verificar el correcto funcionamiento del transmisor de presión, comparando los valores de los medidores y los valores calculados.

Introducción.

Los aparatos que realizan el monitoreo de presión, están conectados con el equipo de fondo de pozo, una cámara de suspensión, conectada al transmisor de presión PX-725, por medio de un tubo capilar, durante la instalación el sistema se llena de gas, de propiedades físicas conocidas, al cesar de aplicar el gas, las presiones de la cámara, así como las de punto de medición, entran en un proceso de equilibrio, de tal forma, que los cambios de presión dentro de la cámara, son transmitidos a la columna de gas, desde la cámara, hasta la superficie, obteniéndose arriba una señal equivalente a la del fondo del pozo, en este proceso, las propiedades físicas y termodinámicas del gas afectan la medición, por lo que deben calcularse constantes de corrección, para obtener la medición correcta, (llamadas Span y Cero), éstas se introducen al registrador de datos OM-5100, para que la presión sea registrada correctamente, el cual está conectado al transmisor de presión.

Marco teórico.

TRANSMISOR INDUSTRIAL DE PRESION PX-725.

i) Descripción del instrumento.

El modelo OMEGA PX-725 convierte una medida de presión, en una señal de salida proporcional de 4 a 20 mA. DC., que puede ser aplicada a la entrada de un controlador, grabador, indicador o cualquier dispositivo similar.

El modelo PX-725 proporciona una salida standard de 1/2" NPT, para tubería de presión, por su tamaño compacto y su peso ligero, este modelo puede ser conectado directamente en la tubería del proceso. Para instalaciones que requieren otros arreglos para su montaje, el transmisor puede ser montado por medio de una abrazadera (Bracket) standard, ésta puede ser usada para asegurar la unidad a la tubería, o asegurarla en la estructura de soporte.

ii) Detalles del transmisor.

Sensor de presión: Sensores piezoresistivos, para obtener la medición de presión.

Rango de alcance: Este transmisor opera en rangos desde 0 a 5000 psi (0 a 344.7 bars) (máximo).

Señal para energizar el lazo: El transmisor requiere un voltaje nominal de 24 V.DC., para operar el lazo de la señal. Una señal de salida de 4 a 20 mA. es desarrollada a través de una carga nominal de 100 ohms.

Rangos de ajuste: El transmisor está provisto de un interruptor y ajustes para calibración. El Span es ajustable desde el 16 al 100 %, del límite superior del rango de medición y el Cero, es ajustable desde el -600 al 500 % del límite inferior del rango de medición.

Amortiguamiento: Un circuito puente selecciona el período de amortiguamiento de 1.5 segundos a 50 milisegundos. Para controlar la respuesta del transductor, para cada cambio de la señal medida.

iii) Teoría de operación.

El transmisor está compuesto de circuitería electrónica y de un módulo sensor, tal como lo muestra la figura A -1. La parte electrónica contiene la circuitería de amplificación y los terminales de conexión de campo. El módulo sensor contiene una entrada de presión de la cámara, una entrada al fluido de la cámara, al diafragma aislante, y al microdiafragma, que incluye circuitería sensora.

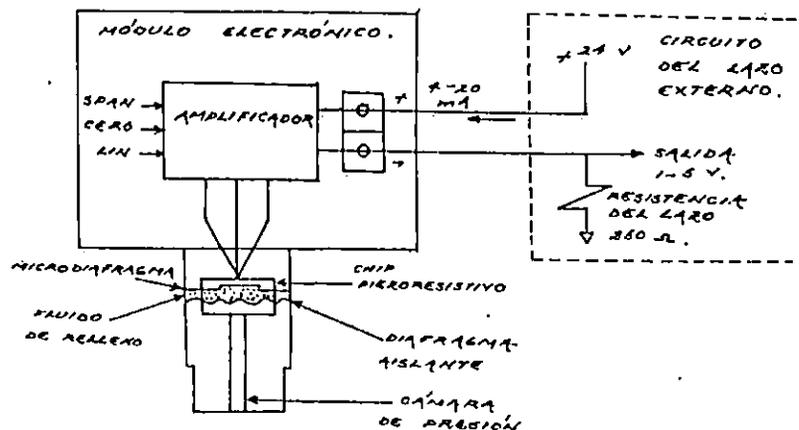


Figura A-1. Diagrama simplificado del transmisor PX-725.

La entrada de presión aplicada por la cámara, causa que el diafragma, flexione en proporción a los cambios de presión. El movimiento del diafragma causa un desplazamiento del fluido de relleno, que es sentido por el microdiafragma. El montaje del diafragma contiene cuatro elementos piezoresistivos, o sea resistencias de esfuerzo, que son implantadas por iones sobre la superficie del diafragma, y conectadas en una configuración puente.

La deflexión del diafragma causa cambios de resistencia en el puente. El puente es energizado por una fuente de corriente constante y produce una señal en milivoltios, que corresponde a la señal medida. Una red resistencia-termistor asociada con el circuito puente, proporciona estabilidad a la medida, porque compensa los cambios causados por la temperatura ambiente.

La señal de milivoltios desarrollada por el puente, es aplicada para alta ganancia, linealizada en el amplificador y convertida a dos alambres, o sea salida de 4 a 20 mA. La figura 1L muestra esta salida conectada a un lazo externo fijo, que usa una resistencia de carga de 100 ohms. y 24 V.DC. La corriente de 4 a 20 mA. fluyendo por la resistencia proporciona 0.4 a 2 V. de salida para el dispositivo externo. El circuito amplificador contiene ajustes para el Span y el Cero, para poder ajustar los rangos de calibración. Un circuito puente selecciona opciones de amortiguación y linealización.

Una de las principales aplicaciones del transmisor PX-725, es para la medición de la presión del vapor, de modo que debe tenerse cuidado que la máxima temperatura de la circuitería electrónica del transmisor, sea estrictamente observada. Las temperaturas arriba de los límites establecidos, pueden causar errores en la medida y posiblemente se dañe el transmisor.

REGISTRADOR DE DATOS OM-5100.

i) Descripción del instrumento.

El modelo OMEGA OM-5100 puede ser adecuado para trabajar con una variedad de multiplexores y otros circuitos para variadas tareas de registro. Está equipado con un impresor térmico de 24 columnas, teclado alfanumérico, un display de 16 dígitos, un reloj de tiempo real y el puerto RS-232.

Este registrador contiene memorias que almacenan la información para revisarlos, antes de imprimirlos o enviarlos a una computadora; accesorios que incluyen un impresor térmico de martillo; relés de contacto para señales de salida de alarmas bajas y altas; y una interfase serie aislada para usar con accesorios tales como tarjetas de alarmas de 20 relés. También puede disponerse de cables para operación desde una fuente de voltios D.C., puerto para comunicación RS-232.

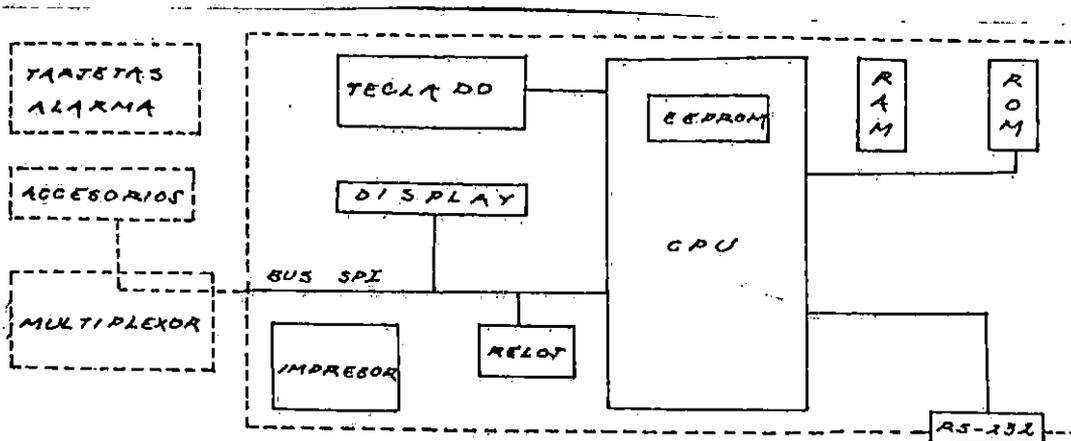


Figura A-2. Diagrama de bloques del registrador de datos.

MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR.

- * Registrador de datos OM-5100.
- * Transductor de presión PX-725. (1000 psi).
- * Fuente de energía de 24 V.DC.
- * Amperímetros.
- * Voltímetros.
- * Tanque de gas (Nitrógeno).
- * Manómetros (alta y baja presión).
- * Tubo capilar (2 m. 0.054" ID).
- * Válvula de tres vías y dos vástagos.
- * Resistencia de precisión de 100 ohms.

PROCEDIMIENTO.

1. Armar el circuito de la figura A-3:

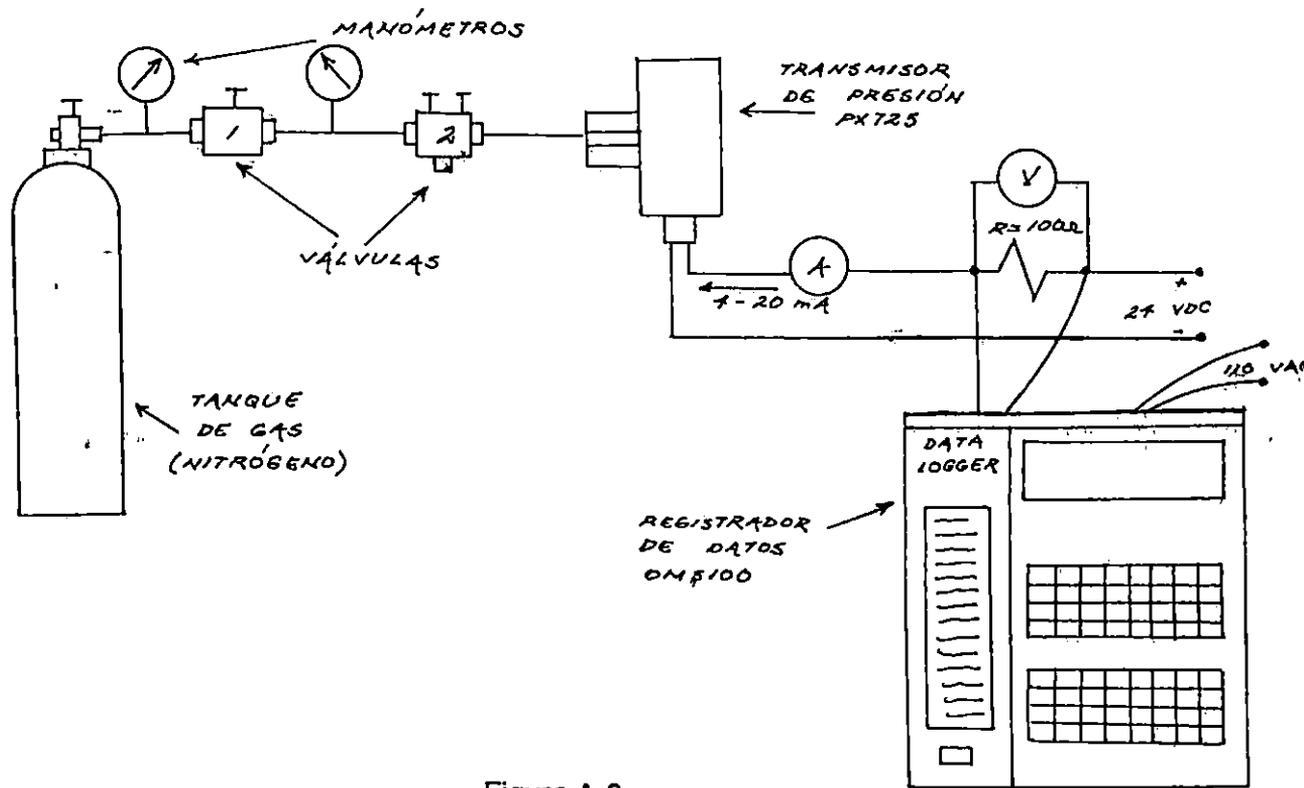


Figura A-3.

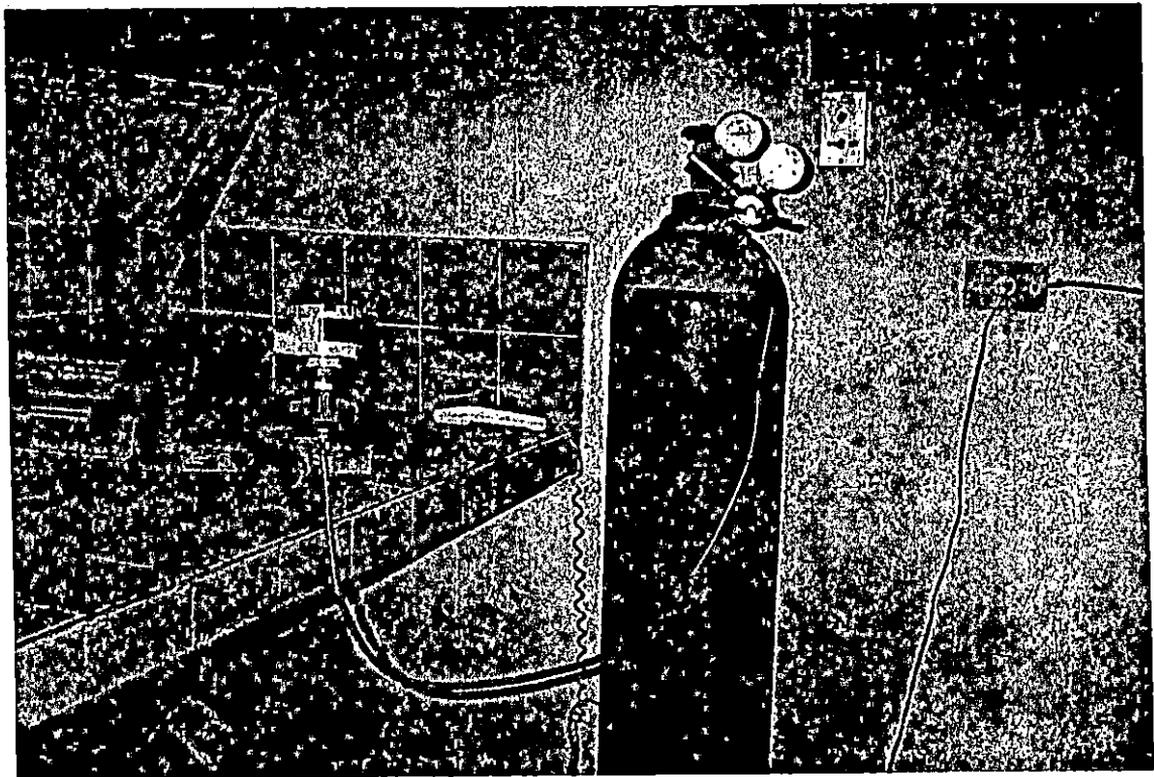


Figura A-4.

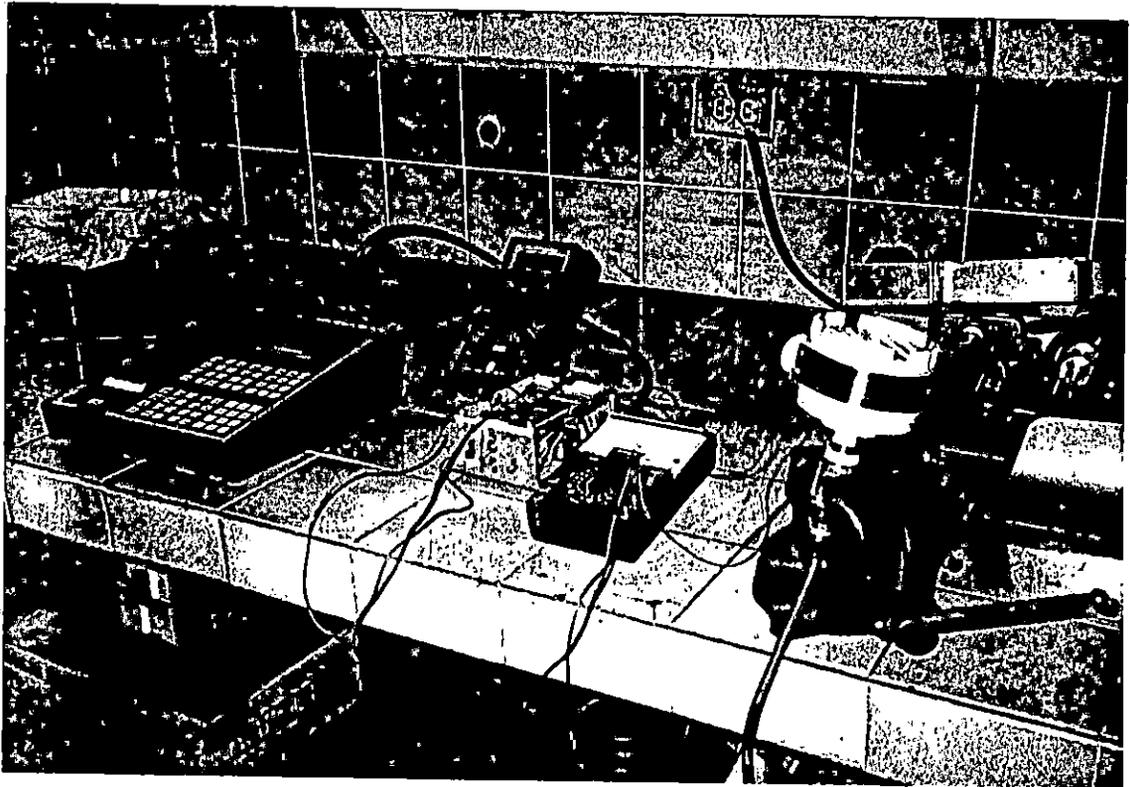


Figura A-5

2. Asegúrese que la válvula 1 esté cerrada y que el equipo esté calibrado.
3. Energizar el transductor de presión con un voltaje de 24 V.DC., como lo muestra la figura A-6.

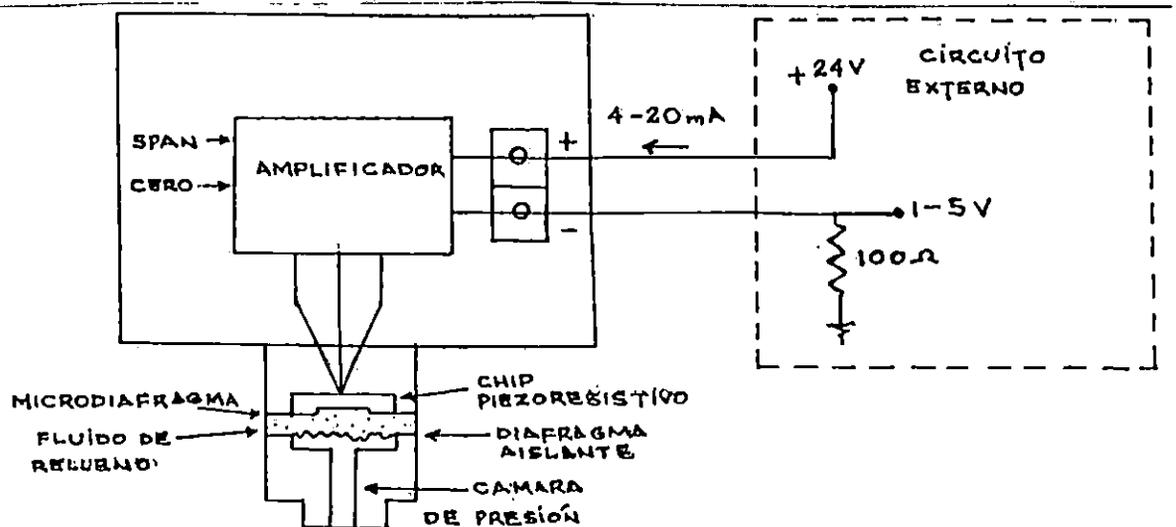


Figura A-6. Conexión del transmisor a la fuente de 24 V.DC.

4. Conecte la entrada del transmisor al multiplexor.

Para el modelo OM-5100, coloque el registrador de datos sobre el banco de trabajo, en la posición normal de operación y afloje los tornillos de oreja de la parte de atrás del registrador de datos. Deslice cuidadosamente, el chasis hacia adelante, quitando las grapas del canal a utilizar, presionando las teclas anaranjadas de conexión rápida, como lo muestra la figura A-7.

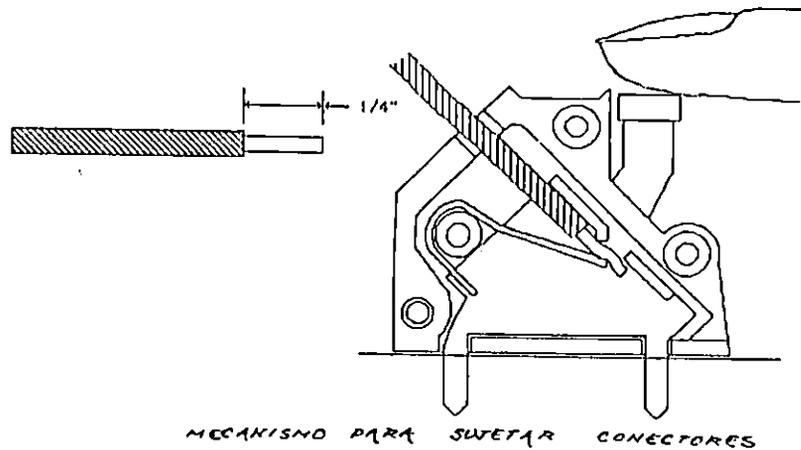


Figura A-7. Conexión del canal elegido.

Quitar 1/4" de aislante de los alambres que servirán para conectar a los canales.

Conecta la entrada del transmisor presionando las teclas anaranjadas próximas al conector, insertando los terminales dentro del agujero (aproximadamente 1 cm.) y luego suelte la tecla. Asegurándose de que el alambre quede bien sujetado, halándolas hacia afuera. Un problema que podría ocurrir, es que los alambres no estén suficientemente pelados y el aislante interfiera con la conexión.

5. Haga el ajuste del Cero, moviendo el potenciómetro R14, que se muestra en la figura A-8, hasta obtener en el amperímetro una lectura de 4 mA DC. +/- 0.024 mA. a 0% de presión.

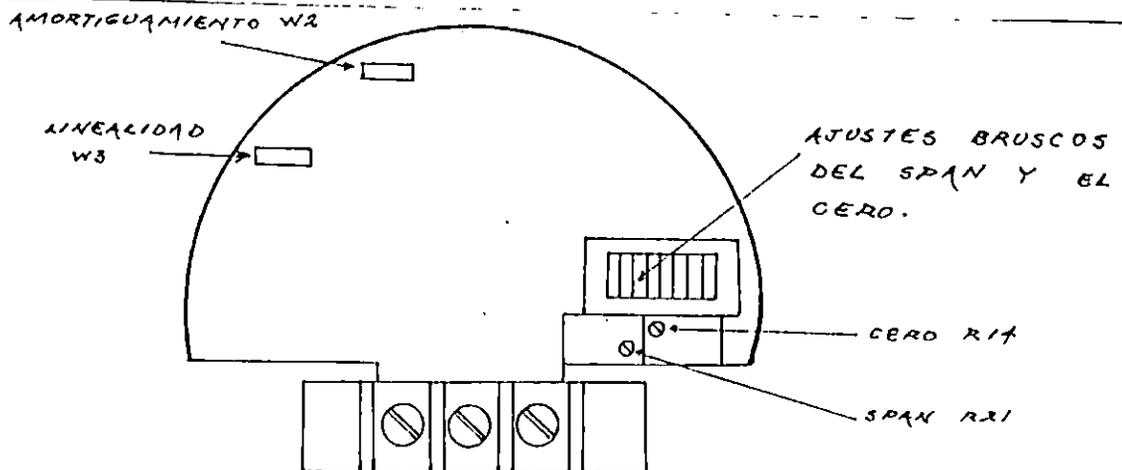


Figura A-8. Localización de los potenciómetros R14 y R21.

6. Abrir las válvulas (1) y (2), hasta obtener una lectura de 500 psi (50% del rango de presión), moviendo el potenciómetro R21, hasta obtener una lectura en el voltímetro de 1.2 V y en el amperímetro 10 mA. DC. +/- 0.024 ma.

La tabla y el valor calculado deben producir 0.025% de exactitud.

El máximo valor de presión de trabajo del transmisor será 1000 psi, que se ha seleccionado de manera que cubra el rango de presiones de los campos geotérmicos y que limita la capacidad del transmisor.

La ecuación que caracteriza al transmisor es: $P = MX + B$, por lo que se necesita hacer los cálculos de M y B, con los valores de presión para el eje Y, y los valores de voltaje o de corriente para el eje X.

Hay que tener presente que el rango de valores del transmisor es de 0 a 1000 psi y los valores de voltaje de 0.4 a 2 voltios, para el registrador de datos.

7. Llene la siguiente tabla de valores.

Presión (Psi)	Corriente (mA)	Voltaje (Voltios)
0		
100		
150		
200		
250		
300		
350		
400		
450		
500		

Con los valores obtenidos en la tabla hacer la gráfica Presión vrs. Voltaje, para comprobar la ecuación obtenida.

$$M = (1000 - 0) / (2 - 0.4)$$

Si hacemos $Y = 0$, entonces:

$$B = -0.4 * (625) = -250$$

Entonces:

$$P = 625 * V - 250$$

Para el registro de presión en los campos geotérmicos:

$$P_{sup} = (P_{transmisor} + Cero) * Span$$

El Cero y el Span, han sido calculados anteriormente y no dependen del instrumento, sino de las características del reservorio y del gas.

$$Cero = 0.19 \quad Span = 1.05598$$

La ecuación de trabajo para el registrador de datos conectado en el pozo AH-25 será:

$$P_{sup} = \{ (625 * V - 250) + 0.19 \} * 1.05598$$

$$P_{sup} = 659.9 * V - 263.79$$

Donde para el medidor se tendrá:

$$M = 659.9 \text{ y } B = -263.79$$

Para conectar el equipo en otro pozo, los valores de las constantes deberán recalcularse.

Programando la hora y la fecha y la hora al registrador de datos.

HORA.

El modelo OM-5100 mantiene la hora en un formato de 24 horas (HH:MM:SS). Para introducir la hora se presiona la tecla ALT seguido de la tecla LIST CONFIG. La hora programada aparecerá a los 3 segundos, entonces aparece TIME (HH:MM:SS), con el dígito listo para se introducido en forma intermitente. Si la fecha está correcta, al presionar la tecla CLEAR ésta se preservará. Para colocar la hora en 14:20:00 proceda como sigue:

FUNCION	TECLA PRESIONADA	MENSAJE EN PANTALLA
Busque tecla ALT	ALT	SELECT ALTERNATE
Seleccione hora	LIST CONFIG	TIME (HH:MM:SS)
Introduzca hora (MSD)	1	TIME (1H:MM:SS)
Introduzca hora (LSD)	4	TIME (14:MM:SS)
Introduzca minutos (MSD)	2	TIME (14:2M:SS)
Introduzca minutos (LSD)	0	TIME (14:20:SS)
Introduzca segs. (MSD)	0	TIME (14:20:0S)
Introduzca segs. (LSD)	0	TIME (14:20:00)

FECHA.

Cuando DATE es presionada, la fecha actual introducida en la memoria aparece por 3 segundos, después que una nueva fecha es introducida. Si la fecha que muestra está correcta, presione CLEAR para mantenerla. La fecha se incrementa, a medida que el tiempo pasa, desde 23:59:59 hasta 00:00:00. Una nueva fecha se introduce de la forma MM:DD:YY. Para colocar la

siguiente fecha se procede como sigue 06/10/88.

FUNCION	TECLA PRESIONADA	MENSAJE EN PANTALLA
Busque tecla ALT	ALT	SELECT ALTERNATE
Seleccione fecha	LIST ALARM	DATE (MM:DD:YY)
Introduzca mes (MSD)	0	DATE (0M:DD:YY)
Introduzca mes (LSD)	6	DATE (06:DD:YY)
Introduzca día (MSD)	1	DATE (06:1D:YY)
Introduzca día (LSD)	0	DATE (06:10:YY)
Introduzca año (MSD)	8	DATE (06:10:8Y)
Introduzca año (LSD)	8	DATE (06:10:88)

Programando el intervalo de registro.

INTERVALO DE REGISTRO.

El intervalo de registro tiene 6 dígitos para introducirse en la forma HH:MM:SS, Los rangos del intervalo de registro están entre 1 segundo hasta 23 horas, 59 minutos, 59 segundos, sin embargo el intervalo podría seleccionarse todos los canales, antes de que comience el otro intervalo de registro.

Si el intervalo de registro es más pequeño que el tiempo que utiliza el registrador para buscar datos de otros canales, el intervalo de registro puede "sobrecargarse", este efecto produce primero, que los datos no sean grabados, segundo, que los datos se almacenen en un lugar de prealmacenamiento (Cache memory).

FUNCION	TECLA PRESIONADA	MENSAJE EN PANTALLA
Busque tecla ALT	ALT	SELECT ALTERNATE
Seleccione intervalo registro	PRINT	INTRVL (HH:MM:SS)
Introduzca hora (MSD)	0	INTRVL (0H:MM:SS)
Introduzca hora (LSD)	1	INTRVL (01:MM:SS)
Introduzca minutos (MSD)	3	INTRVL (01:3M:SS)
Introduzca minutos (LSD)	0	INTRVL (01:30:SS)
Introduzca segundos (MSD)	1	INTRVL (01:30:1S)
Introduzca segundos (LSD)	5	INTRVL (01:30:15)

Introduciendo los valores de M y B al registrador de datos.

M y B.

El registrador permite cambiar la escala en la lectura para acomodar las diferentes entradas de los sensores, multiplicando por M y sumando b (como $Mx + b$; b puede ser negativo).

Nota: $Mx + b$ afecta todos los canales de voltaje.

En el siguiente ejemplo, la ecuación $Mx + b$ está colocada, tal que $M = +0.6666$ y $b = -00010$. (El

rango de valores disponibles para b son desde -32767 hasta 32767 y los valores disponibles para M son desde -9.9999 hasta 9.9999).

FUNCION	TECLA PRESIONADA	MENSAJE EN PANTALLA
Tecla ALT	ALT	SELECT ALTERNATE
Coeficiente M	NO	M COEF +N.NNNN
Seleccione signo	+	M COEF +N.NNNN
Pulse número (MSD)	0	M COEF +0.NNNN
Pulse número (NSD)	6	M COEF +0.6NNN
Pulse número (NSD)	6	M COEF +0.66NN
Pulse número (NSD)	6	M COEF +0.666N
Pulse número (LSD)	6	M COEF +0.6666
Coeficiente b	DOWN ARROW	B COEF +N.NNNN
Seleccione signo	-	B COEF -N.NNNN
Pulse número (MSD)	0	B COEF -0.NNNN
Pulse número (NSD)	0	B COEF -0.0NNN
Pulse número (NSD)	0	B COEF -0.00NN
Tecla ALT	ALT	SELECT ALTERNATE
Pulse número (NSD)	1	B COEF -0.001N
Pulse número (LSD)	0	B COEF -0.0010

PUNTO DECIMAL.

El punto decimal puede ser colocado en cualquier posición. En el siguiente ejemplo, cualquier número del 0 al 5 puede ser introducido al teclado cuando la pantalla muestra el mensaje DECIMAL POS = N, con N intermitente. El número introducido determina el número de lugares desde la derecha, adonde el punto saldrá.

En el ejemplo: El punto decimal es colocado en la posición de centésima (000.00), que son dos lugares desde la derecha. El rango de localizaciones posibles son .nnnnn hasta nnnnn.

FUNCION	TECLA PRESIONADA	MENSAJE EN PANTALLA
Tecla ALT	ALT	SELECT ALTERNATE
Punto decimal (intermitente)	^	DECIMAL POS = N
Introduzca posición	2	DECIMAL POS = 2

TECLAS DE UNIDADES.

ETIQUETAS DE UNIDADES.

El registrador tiene un total de 16 unidades de etiqueta. Las dos últimas, 14 y 15, son programables con hasta 3 caracteres cada una. Se introduce el número de etiqueta haciendo uso de la tecla ALPHA del teclado.

NOTA: sólo las etiquetas 14 y 15 se pueden programar.

En el siguiente ejemplo a la unidad de etiqueta 14 se le programa para que lea BAR.

FUNCION	TECLA PRESIONADA	MENSAJE EN PANTALLA
Tecla ALT	ALT	SELECT ALTERNATE
Seleccione unidad	8	UNIT LABEL NN CCC
Introduzca MSD de etiqueta	1	UNIT LABEL 1N CCC
Introduzca LSD de etiqueta	4	UNIT LABEL 14 CCC
Introduzca caracter de etiqueta de unidad.	B	UNIT LABEL 14 BCC
Introduzca caracter de etiqueta de unidad.	A	UNIT LABEL 14 BAC
Introduzca caracter de etiqueta de unidad.	R	UNIT LABEL 14 BAR

UNIDADES.

El registrador tiene programado 16 unidades de etiquetas, a las cuales se puede tener acceso para asignarlas a cualquier canal. La lista de las unidades disponibles se pueden imprimir presionando la tecla LIST CONFIG. En el siguiente ejemplo, se le asignará la etiqueta de unidad 03 (MV) al canal 01:

FUNCION	TECLA PRESIONADA	MENSAJE EN PANTALLA
Tecla alterna	ALT	SELECT ALTERNATE
Seleccione unidad UNIT CH 0N UU canal (MSD)	5	UNIT CH NN UU Seleccione número de 0
Seleccione número de canal (LSD)	1	UNIT CH 01 UU
Seleccione número de unidad (MSD)	0	UNIT CH 01 0U
Seleccione número de unidad (LSD).	3	UNIT CH 01 03

Calibración del registrador de datos.

Procedimiento inicial.

A. Apagar el registrador. Manteniendo la tecla CLEAR presionada encienda de nuevo el registrador.

B. Responda YES para limpiar el CPU (CLEAR CPU y CLEAR POD).

C. Presione la tecla LIST ALARM para verificar que la constante M=1.0000, y B=+00000 y que el canal #1 esta configurado como tipo V (voltaje), y el canal 02 configurado para una termocupla.

Señal de voltaje.

- A. Poner el registrador a leer el canal uno, presionando ALT HOLD y seleccionado 01.
 - B. Aplicar un voltaje estándar de 2.00000 voltios +/- 10 microvoltios al canal 1 (pin 2+, pin 3-).
 - C. Ajuste el potenciómetro hasta que la lectura sea de 2.0000 exactamente.
- El intervalo de calibración recomendado es de seis meses.

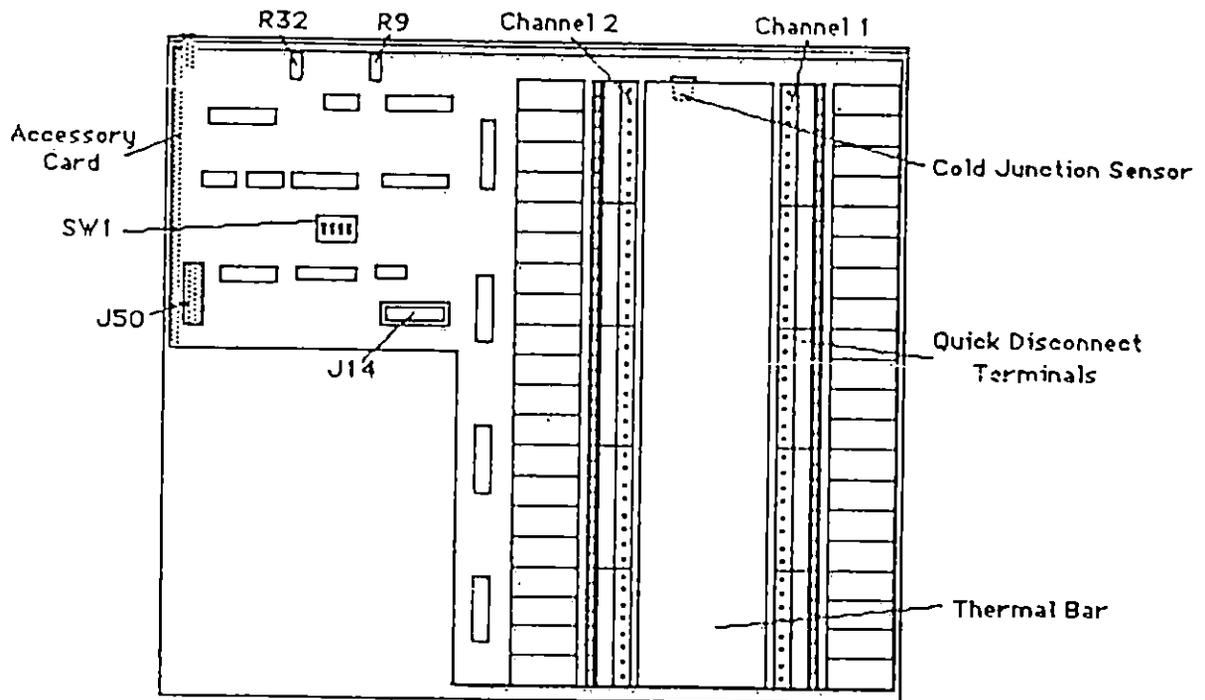


Figura A-9. Localización del potenciómetro R32.

APENDICE B. Programa de computadora.

Con el fin de calcular el valor de las constantes de corrección en una forma rápida y confiable se ha diseñado un programa de computadora para el cálculo en el lenguaje de programación Pascal, versión 4.0. A continuación se presenta el listado, con la finalidad que pueda ser modificado según convenga.

```
PROGRAM PTS(INPUT,OUTPUT);
USES CRT,DOS,PRINTER;
VAR
  UNIDAD,SELECCION,SELECT:INTEGER;
  S,I,J:INTEGER;
  F:TEXT;
  IOCODE:REAL;
  PSI,BAR,PASCAL,KG:REAL;
  CENTI,FARE,KELVI,RANK:REAL;
  METRO,PIES,PULG,CENT:REAL;
  SALTO,RR,COND1,COND2:INTEGER;
  DE:CHAR;
  GASS,NOMBRE,DEP:STRING[15];
  GAS,NA,T,TVD,PNA,GRA,DP,LC,ID:REAL;
  P,PO,P1,P2,K,R1,R2:REAL;
  X1,X2,C1,C2:REAL;
  CB,DB,VC,VT,RISE,CF,DF:REAL; { SPAN Y CERO }
  A,B,C,D,Z,Z1,Z2,S1,S2,S3,S4:REAL;
  LT,IC:REAL;
  KI:ARRAY[1..18] OF REAL;
  PI:ARRAY[1..12] OF REAL;
  ZZ:ARRAY[1..18,1..12] OF REAL;
PROCEDURE INICIALIZAR;
BEGIN
  A:=0;B:=0;C:=0;D:=0;Z:=0;Z1:=0;Z2:=0;
  S1:=0;S2:=0;S3:=0;S4:=0;X1:=0;X2:=0;
  P:=0;PO:=0;P1:=0;P2:=0;K:=0;R1:=0;R2:=0;
END;
PROCEDURE TEMPERATURA;
BEGIN
  KI[1]:=70;KI[2]:=80;KI[3]:=90;KI[4]:=100;KI[5]:=120;KI[6]:=140;KI[7]:=160;KI[8]:=180;
  KI[9]:=200;KI[10]:=250;KI[11]:=300;KI[12]:=350;KI[13]:=400;KI[14]:=450;KI[15]:=500;
  KI[16]:=600;KI[17]:=800;KI[18]:=1000;
END;
PROCEDURE PRESION;
BEGIN
  PI[1]:=1;PI[2]:=5;PI[3]:=10;PI[4]:=20;PI[5]:=40;PI[6]:=60;PI[7]:=80;PI[8]:=100;
  PI[9]:=200;PI[10]:=300;PI[11]:=400;PI[12]:=500;
END;
```

PROCEDURE CONSTANTES; { COMPRESIBILIDAD DEL NITROGENO }

BEGIN

ZZ[1,1]:=0.0057; ZZ[1,2]:=0.0287; ZZ[1,3]:=0.0573; ZZ[1,4]:=0.1143; ZZ[1,5]:=0.2277;
ZZ[1,6]:=0.3400; ZZ[1,7]:=0.4516; ZZ[1,8]:=0.5623; ZZ[1,9]:=1.1044;
ZZ[1,10]:=1.6308; ZZ[1,11]:=2; ZZ[1,12]:=2;
ZZ[2,1]:=0.9593; ZZ[2,2]:=0.0264; ZZ[2,3]:=0.0528; ZZ[2,4]:=0.1053; ZZ[2,5]:=0.2093;
ZZ[2,6]:=0.3122; ZZ[2,7]:=0.4140;
ZZ[2,8]:=0.5148; ZZ[2,9]:=1.0061; ZZ[2,10]:=1.4797; ZZ[2,11]:=1.9396;
ZZ[2,12]:=2.3879;
ZZ[3,1]:=0.9792; ZZ[3,2]:=0.0251; ZZ[3,3]:=0.0500; ZZ[3,4]:=0.0996; ZZ[3,5]:=0.1975;
ZZ[3,6]:=0.2938;
ZZ[3,7]:=0.3888; ZZ[3,8]:=0.4826; ZZ[3,9]:=0.9362; ZZ[3,10]:=1.3700;
ZZ[3,11]:=1.7890; ZZ[3,12]:=2.1962;
ZZ[4,1]:=0.9798; ZZ[4,2]:=0.8910; ZZ[4,3]:=0.0487; ZZ[4,4]:=0.0966; ZZ[4,5]:=0.1905;
ZZ[4,6]:=0.2823;
ZZ[4,7]:=0.3720; ZZ[4,8]:=0.4605; ZZ[4,9]:=0.8840; ZZ[4,10]:=1.2852;
ZZ[4,11]:=1.6707; ZZ[4,12]:=2.0441;
ZZ[5,1]:=0.9883; ZZ[5,2]:=0.9397; ZZ[5,3]:=0.8732; ZZ[5,4]:=0.7059; ZZ[5,5]:=0.1975;
ZZ[5,6]:=0.2822;
ZZ[5,7]:=0.3641; ZZ[5,8]:=0.4438; ZZ[5,9]:=0.8188; ZZ[5,10]:=1.1684;
ZZ[5,11]:=1.5015; ZZ[5,12]:=1.8223;
ZZ[6,1]:=0.9927; ZZ[6,2]:=0.9635; ZZ[6,3]:=0.9253; ZZ[6,4]:=0.8433; ZZ[6,5]:=0.6376;
ZZ[6,6]:=0.4251;
ZZ[6,7]:=0.4278; ZZ[6,8]:=0.4799; ZZ[6,9]:=0.7942; ZZ[6,10]:=1.0996;
ZZ[6,11]:=1.3920; ZZ[6,12]:=1.6726;
ZZ[7,1]:=0.9952; ZZ[7,2]:=0.9766; ZZ[7,3]:=0.9529; ZZ[7,4]:=0.9042; ZZ[7,5]:=0.8031;
ZZ[7,6]:=0.7017;
ZZ[7,7]:=0.6304; ZZ[7,8]:=0.6134; ZZ[7,9]:=0.8107; ZZ[7,10]:=1.0708;
ZZ[7,11]:=1.3275; ZZ[7,12]:=1.5762;
ZZ[8,1]:=0.9967; ZZ[8,2]:=0.9846; ZZ[8,3]:=0.9690; ZZ[8,4]:=0.9381; ZZ[8,5]:=0.8782;
ZZ[8,6]:=0.8125;
ZZ[8,7]:=0.7784; ZZ[8,8]:=0.7530; ZZ[8,9]:=0.8550; ZZ[8,10]:=1.0669;
ZZ[8,11]:=1.2893; ZZ[8,12]:=1.5105;
ZZ[9,1]:=0.9978; ZZ[9,2]:=0.9897; ZZ[9,3]:=0.9791; ZZ[9,4]:=0.9592; ZZ[9,5]:=0.9212;
ZZ[9,6]:=0.8882;
ZZ[9,7]:=0.8621; ZZ[9,8]:=0.8455; ZZ[9,9]:=0.9077; ZZ[9,10]:=1.0760;
ZZ[9,11]:=1.2683; ZZ[9,12]:=1.4631;

ZZ[10,1]:=0.9992;ZZ[10,2]:=0.9960;ZZ[10,3]:=0.9924;ZZ[10,4]:=0.9857;ZZ[10,5]:=0.97
41;ZZ[10,6]:=0.9655;

ZZ[10,7]:=0.9604;ZZ[10,8]:=0.9589;ZZ[10,9]:=1.0048;ZZ[10,10]:=1.1143;ZZ[10,11]:=1.
2501;ZZ[10,12]:=1.3962;

ZZ[11,1]:=0.9998;ZZ[11,2]:=0.9990;ZZ[11,3]:=0.9983;ZZ[11,4]:=0.9971;ZZ[11,5]:=0.99
64;ZZ[11,6]:=0.9973;

ZZ[11,7]:=1.0000;ZZ[11,8]:=1.0052;ZZ[11,9]:=1.0559;ZZ[11,10]:=1.1422;ZZ[11,11]:=1.
2480;ZZ[11,12]:=1.3629;

ZZ[12,1]:=1.0001;ZZ[12,2]:=1.0007;ZZ[12,3]:=1.0011;ZZ[12,4]:=1.0029;ZZ[12,5]:=1.0069;ZZ[12,6]:=1.0125;

ZZ[12,7]:=1.0189;ZZ[12,8]:=1.0271;ZZ[12,9]:=1.0810;ZZ[12,10]:=1.1560;ZZ[12,11]:=1.2445;ZZ[12,12]:=1.3405;

ZZ[13,1]:=1.0002;ZZ[13,2]:=1.0011;ZZ[13,3]:=1.0024;ZZ[13,4]:=1.0057;ZZ[13,5]:=1.0125;ZZ[13,6]:=1.0199;

ZZ[13,7]:=1.0283;ZZ[13,8]:=1.0377;ZZ[13,9]:=1.0926;ZZ[13,10]:=1.1609;ZZ[13,11]:=1.2382;ZZ[13,12]:=1.3216;

ZZ[14,1]:=1.0003;ZZ[14,2]:=1.0018;ZZ[14,3]:=1.0033;ZZ[14,4]:=1.0073;ZZ[14,5]:=1.0153;ZZ[14,6]:=1.0238;

ZZ[14,7]:=1.0332;ZZ[14,8]:=1.0430;ZZ[14,9]:=1.0973;ZZ[14,10]:=1.1606;ZZ[14,11]:=1.2303;ZZ[14,12]:=1.3043;

ZZ[15,1]:=1.0004;ZZ[15,2]:=1.0020;ZZ[15,3]:=1.0040;ZZ[15,4]:=1.0081;ZZ[15,5]:=1.0167;ZZ[15,6]:=1.0257;

ZZ[15,7]:=1.0350;ZZ[15,8]:=1.0451;ZZ[15,9]:=1.0984;ZZ[15,10]:=1.1575;ZZ[15,11]:=1.2213;ZZ[15,12]:=1.2881;

ZZ[16,1]:=1.0004;ZZ[16,2]:=1.0021;ZZ[16,3]:=1.0040;ZZ[16,4]:=1.0084;ZZ[16,5]:=1.0173;ZZ[16,6]:=1.0263;

ZZ[16,7]:=1.0355;ZZ[16,8]:=1.0450;ZZ[16,9]:=1.0951;ZZ[16,10]:=1.1540;ZZ[16,11]:=1.2028;ZZ[16,12]:=1.2657;

ZZ[17,1]:=1.0004;ZZ[17,2]:=1.0017;ZZ[17,3]:=1.0036;ZZ[17,4]:=1.0074;ZZ[17,5]:=1.0157;ZZ[17,6]:=1.0237;

ZZ[17,7]:=1.0320;ZZ[17,8]:=1.0402;ZZ[17,9]:=1.0832;ZZ[17,10]:=1.1264;ZZ[17,11]:=1.1701;ZZ[17,12]:=1.2140;

ZZ[18,1]:=1.0003;ZZ[18,2]:=1.0015;ZZ[18,3]:=1.0034;ZZ[18,4]:=1.0067;ZZ[18,5]:=1.0136;ZZ[18,6]:=1.0205;

ZZ[18,7]:=1.0275;ZZ[18,8]:=1.0347;ZZ[18,9]:=1.0714;ZZ[18,10]:=1.1078;ZZ[18,11]:=1.1449;ZZ[18,12]:=1.1814;

END;

```

PROCEDURE PANTALLA;
VAR I,Y:INTEGER;
    FALTA,DIA,MES,ANO:WORD;
    HORA,MINUTO,SEGUNDO,DECIMA:WORD;
BEGIN
    GETDATE(ANO,MES,DIA,FALTA);
    GETTIME(HORA,MINUTO,SEGUNDO,DECIMA);
    TEXTCOLOR(11);
    GOTOXY(59,2);WRITE('FECHA: ',DIA,'-',MES,'-',ANO);
    GOTOXY(59,3);WRITE(' HORA: ',HORA,':',MINUTO,':',SEGUNDO);
    TEXTCOLOR(4);
    GOTOXY(1,1);WRITE('É');
    GOTOXY(78,1);WRITE('»');
    FOR I:=2 TO 77 DO
    BEGIN
        GOTOXY(I,1);WRITE('í');
        GOTOXY(I,22);WRITE('í');
        GOTOXY(I,24);WRITE('í');
    END;
    TEXTCOLOR(7);
    GOTOXY(35,1);WRITE('** CEL **');
    TEXTCOLOR(4);
    GOTOXY(1,22);WRITE('í');
    GOTOXY(78,22);WRITE('í');
    GOTOXY(1,24);WRITE('É');
    GOTOXY(1,23);WRITE('º');
    GOTOXY(78,23);WRITE('º');
    GOTOXY(78,24);WRITE('¼');
    FOR I:=2 TO 21 DO
    BEGIN
        GOTOXY(1,I);WRITE('º');
        GOTOXY(78,I);WRITE('º');
    END;
END;

```

```

PROCEDURE PANTALLA1;
BEGIN
    TEXTCOLOR(7);
    GOTOXY(37,2);WRITE('P T S');
    GOTOXY(15,8);WRITE('1) CAMARA');
    GOTOXY(15,10);WRITE('2) CAPILAR');
    GOTOXY(15,12);WRITE('3) CONDICIONES DE POZO');
    GOTOXY(15,14);WRITE('4) TIPO DE GAS');
    GOTOXY(45,8);WRITE('5) CONVERSIONES');
    GOTOXY(45,10);WRITE('6) CALCULO');
    GOTOXY(45,12);WRITE('7) IMPRIMIR');
    GOTOXY(45,14);WRITE('8) SALIR');
END;

```

```

PROCEDURE ESCAPE;
BEGIN
  GOTOXY(23,23);TEXTCOLOR (30);
  WRITE('      PRESIONE ESC      ');
  REPEAT
  UNTIL KEYPRESSED;TEXTCOLOR (6);
END;

BEGIN  {** PROGRAMA PRINCIPAL **}
  GASS:='NITROGENO';GAS:=0.0181765;TEXTCOLOR(7);
  INICIALIZAR;LC:=10;VC:=120.4;{ EN PIES }
  REPEAT
  CLRSCR;
  PANTALLA;
  PANTALLA1;
  GOTOXY(33,23);WRITE('SELECCIONE: ');
  READ(SELECT);

```

CASE (SELECT) OF

1: BEGIN

```

  CLRSCR;PANTALLA;DE:='N';TEXTCOLOR(2);
  GOTOXY(25,2);WRITE('DATOS DE CAMARA DE SUSPENSION');
  TEXTCOLOR(7);
  GOTOXY(15,8);WRITE('      LONGITUD: 3.048 mts. ');
  GOTOXY(15,10);WRITE('      VOLUMEN: 3.412 mts 3 ');
  GOTOXY(25,23);WRITE('DESEA CAMBIAR DATOS [S/N]? ');
  REPEAT
  READ(DE);
  UNTIL (DE='S') OR (DE='s') OR (DE='N') OR (DE='n');
  IF (DE='S') OR (DE='s') THEN
    BEGIN
      GOTOXY(18,8);WRITE(' LONGITUD DE CAMARA [mts]:? ');
      READLN(LC);LC:=LC*3.28;
      GOTOXY(18,10);WRITE(' DIAMETRO INTERNO [Pulg]:? ');
      READLN(ID);
      VC:=ID*ID*LC*9.4248;
    END

```

END;

2: BEGIN

```

  CLRSCR;PANTALLA;TEXTCOLOR(2);
  GOTOXY(27,2);WRITE ('DATOS DEL TUBO CAPILAR');
  TEXTCOLOR(7);
  GOTOXY(15,8);WRITE ('      LONGITUD:[mts] ? ');
  GOTOXY(15,10);WRITE('DIAMETRO INTERNO:[Pulg]? ');
  GOTOXY(41,8);READLN(LT);LT:=LT*3.28;
  GOTOXY(41,10);READLN(IC);

```

END;

3: BEGIN

```
CLRSCR;PANTALLA;TEXTCOLOR(2);
NOMBRE:="";
GOTOXY(29,2);WRITE ('CONDICIONES DE POZO');
TEXTCOLOR(7);
GOTOXY(15,6);WRITE ('          DEPARTAMENTO: ');
GOTOXY(15,8);WRITE ('          NOMBRE DEL POZO: ');
GOTOXY(15,10);WRITE ('          NIVEL DE AGUA:[mts] ');
GOTOXY(15,12);WRITE ('          TEMPERATURA PROMEDIO:[øC] ');
GOTOXY(15,14);WRITE ('          PROFUNDIDAD DE LA SONDA:[mts] ');
GOTOXY(15,16);WRITE ('          PRESION AL NIVEL DEL AGUA:[Bars] ');
GOTOXY(15,18);WRITE ('          GRADIENTE DEL FLUIDO:[Bars/mt] ');
GOTOXY(15,20);WRITE ("VARIACION DE PRESION ESPERADA:[Bars] ");
DEP:="";
REPEAT
GOTOXY(52,6);READLN(DEP);
UNTIL DEP<>";
GOTOXY(52,8);READLN(NOMBRE);
GOTOXY(52,10);READ(NA);
GOTOXY(52,12);READ(T);
GOTOXY(52,14);READ(TVD);TVD:=TVD*3.28;
GOTOXY(52,16);READ(PNA);
GOTOXY(52,18);READ(GRA);GRA:=GRA*4.42;
GOTOXY(52,20);READ(DP);
END;
```

4: BEGIN

```
CLRSCR;PANTALLA;TEXTCOLOR(2);
GOTOXY(35,2);WRITE ('TIPO DE GAS');
TEXTCOLOR(7);
GOTOXY(15,10);WRITE('          GAS: ',GASS);
GOTOXY(15,12);WRITE('CONSTANTE DEL GAS: ',GAS:1:6);
ESCAPE;
END;
```

5: BEGIN

```
CLRSCR;PANTALLA;TEXTCOLOR(2);
GOTOXY(28,2);WRITE('CONVERSION DE UNIDADES');
TEXTCOLOR(7);
GOTOXY(10,8);WRITE('1) PRESION');
GOTOXY(10,10);WRITE('2) TEMPERATURA');
GOTOXY(10,12);WRITE('3) LONGITUD');
GOTOXY(10,14);WRITE('4) VOLUMEN');
GOTOXY(10,16);WRITE('5) SALIR');
GOTOXY(25,23);WRITE('SELECCIONE MAGNITUD ');
READ(SELECCION);
CASE SELECCION OF
```

```

1:BEGIN
  CLRSCR;PANTALLA;TEXTCOLOR(2);
  GOTOXY(25,2);WRITE('MAGNITUD: PRESION');
  TEXTCOLOR(7);
  GOTOXY(10,8);WRITE('1) Psig ');
  GOTOXY(10,10);WRITE('2) Bar ');
  GOTOXY(10,12);WRITE('3) Kg/cm2');
  GOTOXY(10,14);WRITE('4) Pascal');
  GOTOXY(10,16);WRITE('5) SALIR ');
  GOTOXY(25,23);WRITE('SELECCIONE SUS UNIDADES ');
  READ(UNIDAD);
CASE UNIDAD OF
  1: BEGIN
    GOTOXY(30,8);WRITE('Psig= ');READ(PSI);
    BAR:=PSI/14.5; KG:=PSI*0.07031; PASCAL:=PSI*6895;
    GOTOXY(30,10);WRITE(BAR:5:3,' Bar');
    GOTOXY(30,12);WRITE(KG:5:3,' Kg/cm2');
    GOTOXY(30,14);WRITE(PASCAL:5:3,' Pascales');
    ESCAPE;
  END;
  2: BEGIN
    GOTOXY(30,8);WRITE('Bars= ');READ(BAR);
    PSI:=BAR*14.5; KG:=BAR*1.02; PASCAL:=BAR*100000;
    GOTOXY(30,10);WRITE(PSI:5:3,' Psig');
    GOTOXY(30,12);WRITE(KG:5:3,' Kg/cm2');
    GOTOXY(30,14);WRITE(PASCAL:5:3,' Pascales');
    ESCAPE;
  END;
  3: BEGIN
    GOTOXY(30,8);WRITE('Kg/cm2= ');READ(KG);
    PSI:=KG*14.223; BAR:=KG*0.9807; PASCAL:=KG*98070;
    GOTOXY(30,10);WRITE(PSI:5:3,' Psig');
    GOTOXY(30,12);WRITE(BAR:5:3,' Bars');
    GOTOXY(30,14);WRITE(PASCAL:5:3,' Pascales');
    ESCAPE;
  END;
  4: BEGIN
    GOTOXY(30,8);WRITE('Pascales= ');READ(PASCAL);
    PSI:=PASCAL*0.000145;
    BAR:=PASCAL*0.0001; KG:=PASCAL*0.0000102;
    GOTOXY(30,10);WRITE(PSI:5:3,' Psig');
    GOTOXY(30,12);WRITE(BAR:5:3,' Bars');
    GOTOXY(30,14);WRITE(KG:5:3,' Kg/cm2');
    ESCAPE;
  END;
  5: ESCAPE;
  END;
END;

```

```

2: BEGIN
  CLRSCR;PANTALLA;TEXTCOLOR(2);
  GOTOXY(25,2);WRITE('MAGNITUD: TEMPERATURA');
  TEXTCOLOR(7);
  GOTOXY(10,8);WRITE('1) °Celsius ');
  GOTOXY(10,10);WRITE('2) °Fahrenheit ');
  GOTOXY(10,12);WRITE('3) °Kelvin ');
  GOTOXY(10,14);WRITE('4) °Rankine ');
  GOTOXY(10,16);WRITE('5) SALIR ');
  GOTOXY(25,23);WRITE('SELECCIONE SUS UNIDADES ');
  READ(UNIDAD);
  CASE UNIDAD OF
    1: BEGIN
      GOTOXY(30,8);WRITE('°C= ');READ(CENTI);
      FARE:=9*CENTI/5+32;
      KELVI:=CENTI+273;
      RANK:=FARE+460;
      GOTOXY(30,10);WRITE(FARE:5:3,' °F ');
      GOTOXY(30,12);WRITE(KELVI:5:3,' °K');
      GOTOXY(30,14);WRITE(RANK:5:3,' °R');
      ESCAPE;
    END;
    2: BEGIN
      GOTOXY(30,8);WRITE('°F = ');READ(FARE);
      CENTI:=(FARE-32)*5/9;
      KELVI:=CENTI+273;
      RANK:=FARE+460;
      GOTOXY(30,10);WRITE(CENTI:5:3,' °C');
      GOTOXY(30,12);WRITE(KELVI:5:3,' °K');
      GOTOXY(30,14);WRITE(RANK:5:3,' °R');
      ESCAPE;
    END;
    3: BEGIN
      GOTOXY(30,8);WRITE('°K = ');READ(KELVI);
      CENTI:=KELVI-273;
      FARE:=CENTI*9/5+32;
      RANK:=FARE+460;
      GOTOXY(30,10);WRITE(CENTI:5:3,' °C');
      GOTOXY(30,12);WRITE(FARE:5:3,' °F');
      GOTOXY(30,14);WRITE(RANK:5:3,' °R');
      ESCAPE;
    END;
    4: BEGIN
      GOTOXY(30,8);WRITE('°R = ');READ(RANK);
      CENTI:=(RANK-460-32)*5/9;
      FARE:=RANK-460;
      KELVI:=CENTI-273;
      GOTOXY(30,10);WRITE(CENTI:5:3,' °C');
      GOTOXY(30,12);WRITE(FARE:5:3,' °F');
      GOTOXY(30,14);WRITE(KELVI:5:3,' °R');

```

```
    ESCAPE;  
    END;  
5: ESCAPE;  
    END;  
END;
```

```
3:BEGIN
```

```
    CLRSCR;PANTALLA;TEXTCOLOR(2);  
    GOTOXY(25,2);WRITE('MAGNITUD: LONGITUD');  
    TEXTCOLOR(7);  
    GOTOXY(10,8);WRITE('1) Metros  ');  
    GOTOXY(10,10);WRITE('2) Pies  ');  
    GOTOXY(10,12);WRITE('3) Pulgadas  ');  
    GOTOXY(10,14);WRITE('4) Centimetros');  
    GOTOXY(10,16);WRITE('5) SALIR ');  
    GOTOXY(25,23);WRITE('SELECCIONE SUS UNIDADES ');  
    READ(UNIDAD);  
    CASE UNIDAD OF  
    1: BEGIN  
        GOTOXY(30,8);WRITE('Metros= ');READ(METRO);  
        PIES:=METRO*3.28;  
        PULG:=METRO*39.4;  
        CENT:=METRO*100;  
        GOTOXY(30,10);WRITE(PIES:5:3,' Pies');  
        GOTOXY(30,12);WRITE(PULG:5:3,' Pulg');  
        GOTOXY(30,14);WRITE(CENT:5:3,' Centimetros');  
        ESCAPE;  
    END;  
    2: BEGIN  
        GOTOXY(30,8);WRITE('Pies= ');READ(PIES);  
        METRO:=PIES*0.3048;  
        PULG:=PIES*12;  
        CENT:=PIES*30.48;  
        GOTOXY(30,10);WRITE(Metro:5:3,' Metros');  
        GOTOXY(30,12);WRITE(PULG:5:3,' Pulg');  
        GOTOXY(30,14);WRITE(CENT:5:3,' Centimetros');  
        ESCAPE;  
    END;  
    3: BEGIN  
        GOTOXY(30,8);WRITE('Pulg= ');READ(Pulg);  
        METRO:=Pulg*0.0254;  
        PIES:=Pulg/12;  
        CENT:=Pulg*2.54;  
        GOTOXY(30,10);WRITE(METRO:5:3,' Metros');  
        GOTOXY(30,12);WRITE(PIES:5:3,' Pies');  
        GOTOXY(30,14);WRITE(CENT:5:3,' Centimetros');  
        ESCAPE;  
    END;
```

```

4: BEGIN
  GOTOXY(30,8);WRITE('Centimetros= ');READ(CENT);
  METRO:=CENT*0.01;
  PIES:=CENT*0.0328;
  PULG:=CENT*0.3937;
  GOTOXY(30,10);WRITE(METRO:5:3,' Metros');
  GOTOXY(30,12);WRITE(PIES:5:3,' Pies');
  GOTOXY(30,14);WRITE(PULG:5:3,' Pulg');
  ESCAPE;
  END;
5: ESCAPE;
  END;
END;
4: BEGIN
  CLRSCR;PANTALLA;TEXTCOLOR(2);
  GOTOXY(25,2);WRITE('MAGNITUD: VOLUMEN');
  TEXTCOLOR(7);
  GOTOXY(10,8);WRITE('1) Metros 3 ');
  GOTOXY(10,10);WRITE('2) Pies 3 ');
  GOTOXY(10,12);WRITE('3) Pulgadas 3 ');
  GOTOXY(10,14);WRITE('4) Centimetros 3');
  GOTOXY(10,16);WRITE('5) SALIR ');
  GOTOXY(25,23);WRITE('SELECCIONE SUS UNIDADES ');
  READ(UNIDAD);
  CASE UNIDAD OF

1:BEGIN

  GOTOXY(30,8);WRITE('Metros3= ');READ(METRO);
  PIES:=METRO*35.32;
  PULG:=METRO*61023;
  CENT:=METRO*1000000;
  GOTOXY(30,10);WRITE(PIES:5:3,' Pies3');
  GOTOXY(30,12);WRITE(PULG:5:3,' Pulg3');
  GOTOXY(30,14);WRITE(CENT:5:3,' Cms 3');
  ESCAPE;
  END;

2: BEGIN
  GOTOXY(30,8);WRITE('Pies3= ');READ(PIES);
  METRO:=PIES*0.02832;
  PULG:=PIES*1728;
  CENT:=PIES*28320;
  GOTOXY(30,10);WRITE(Metro:5:3,' Metros3');
  GOTOXY(30,12);WRITE(PULG:5:3,' Pulg3');
  GOTOXY(30,14);WRITE(CENT:5:3,' Cms 3');
  ESCAPE;
  END;

```

```

3: BEGIN
  GOTOXY(30,8);WRITE('Pulg3= ');READ(Pulg);
  METRO:=Pulg*1.639E-5;
  PIES:=Pulg*0.000579;
  CENT:=Pulg*16.39;
  GOTOXY(30,10);WRITE(METRO:5:3,' Metros3');
  GOTOXY(30,12);WRITE(PIES:5:3,' Pies3');
  GOTOXY(30,14);WRITE(CENT:5:3,' Cmts3');
  ESCAPE;
  END;

```

```

4: BEGIN
  GOTOXY(30,8);WRITE('Centimetros3= ');READ(CENT);
  METRO:=CENT*0.000001;
  PIES:=CENT*3.532E-5;
  PULG:=CENT*0.061;
  GOTOXY(30,10);WRITE(METRO:5:3,' Metros3');
  GOTOXY(30,12);WRITE(PIES:5:3,' Pies3');
  GOTOXY(30,14);WRITE(PULG:5:3,' Pulg3');
  ESCAPE;
  END;
5: ESCAPE;
  END;

```

```

  END;
5: ESCAPE;
  END;
END;

```

```

6: BEGIN
  CLRSCR;PANTALLA;TEXTCOLOR(2);
  TVD:=TVD/3.28;
  GRA:=GRA/4.42;DE:='N';
  GOTOXY(25,2);WRITE ('CALCULO DE LAS CONSTANTES');
  TEXTCOLOR(7);
  GOTOXY(15,9);WRITE ('          DEPARTAMENTO: ',DEP);
  GOTOXY(15,10);WRITE ('          NOMBRE DEL POZO: ',NOMBRE);
  GOTOXY(15,11);WRITE ('          NIVEL DE AGUA:[mts] ',NA:3:3);
  GOTOXY(15,12);WRITE ('          TEMPERATURA PROMEDIO:[°C] ',T:3:3);
  GOTOXY(15,13);WRITE ('          PROFUNDIDAD DE LA Sonda:[mts]
',TVD:3:3);
  GOTOXY(15,14);WRITE ('          PRESION AL NIVEL DEL AGUA:[Bars]
',PNA:3:3);
  GOTOXY(15,15);WRITE ('          GRADIENTE DEL FLUIDO:[Bars/mt]
',GRA:3:3);
  GOTOXY(15,16);WRITE ('VARIACION DE PRESION ESPERADA:[Bars]
',DP:3:3);
  gotoxy(30,23);write('C PARA CONTINUAR: ');
  REPEAT
    READ(DE)
  UNTIL (DE='C') OR (DE='c');

```

```

TVD:=TVD*3.28;NA:=NA*3.28;DP:=DP*14.5;
GRA:=GRA*4.42;K:=T+273;
PO:=GRA*(TVD-NA)+PNA;
P1:=(PO-DP)/14.5; P2:=(PO+DP)/14.5;
TEMPERATURA;PRESION;
CONSTANTES;
{ ** inicia interpolaci#n ** }
  S:=1;
REPEAT
  {$I-}
  IF S=1 THEN P:=P1 ELSE P:=P2;
  I:=1;
  REPEAT
    IF P=PI[I] THEN COND1:=1
    ELSE IF P<PI[I] THEN
      BEGIN
        COND1:=0;
        RR:=I-1;
        A:=PI[I-1];
        B:=PI[I];
        WRITELN;
      END;
    I:=I+1;
  UNTIL (cond1=0) or (cond1=1);
  J:=1;
  REPEAT
    IF K=KI[J] THEN
      BEGIN
        COND2:=1;
        Z:=ZZ[J,I];
      END
    ELSE
      BEGIN
        if k<ki[j] then
          begin
            cond2:=0;
            c:=ki[j-1];
            d:=ki[j];
            s1:=zz[j-1,i-1];
            s2:=zz[j,i-1];
            s3:=zz[j-1,i];
            s4:=zz[j,i];
            if (cond1=1) and (cond2=0) then
              r1:=(k-c)*(s2-s1)/(d-c)+s1;
            if (cond1=0) and (cond2=1) then
              r2:=(k-c)*(s4-s3)/(d-c)+s3;
            if (cond1=1) and (cond2=0) then
              z:=r1;
            if (cond1=0) and (cond2=1) then
              z:=r2
          end
      end
  REPEAT

```

```

else
begin
r1:=(k-c)*(s2-s1)/(d-c)+s1;
r2:=(k-c)*(s4-s3)/(d-c)+s3;
z:=(p-a)*(r2-r1)/(b-a)+r1;
end;
end;
END;
j:=j+1;
UNTIL (cond2=0) or (cond2=1);
if s=1 then z1:=z
else z2:=z;
S:=S+1;
COND1:=3;COND2:=3;{ para segunda interpolacion}
{ $I+ }
UNTIL S>2;
{ ** CALCULOS DE SPAN Y CERO ** }
T:=T*9/5+32+460;
p1:=p1*14.5; p2:=p2*14.5;
{ ** CHAMBER FULL ** }
X1:=GAS*TVD/(Z1*T);
X2:=GAS*TVD/(Z2*T);
C1:=(2+X1)/(2-X1);
C2:=(2+X2)/(2-X2);
CF:=(P2*C2-P1*C1)/(P2-P1); { ** SPAN ** }
DF:=P1*(C1-CF)/CF; { ** CERO ** }
{ ** BUIL UP ** }
VT:=IC*IC*9.4248*LT;
RISE:=LC*GRA*VT/(VC*P1);
CB:=CF+RISE; { ** SPAN ** }
DB:=(DF*CF-RISE*P1)/CB; { ** CERO ** }

{ ** PRESENTACION DE RESULTADOS ** }
CLRSCR;PANTALLA;
GOTOXY(10,9);WRITE('CHAMBER FULL');
GOTOXY(15,10);WRITE('SPAN: ',CF:3:6);
GOTOXY(15,11);WRITE('CERO: ',DF:3:6);
GOTOXY(10,14);WRITE('BUILD UP');
GOTOXY(15,15);WRITE('SPAN: ',CB:3:6);
GOTOXY(15,16);WRITE('CERO: ',DB:3:6);
ESCAPE;
T:=5/9*(T-32-460);NA:=NA/3.28;DP:=DP/14.5;
IOCODE:=IORESULT;
IF IORESULT<>0 THEN
BEGIN
CLRSCR;PANTALLA;
GOTOXY(25,10);WRITE('CORREGIR DATOS');
END;
ESCAPE;
END;

```

```

7: BEGIN
  CLRSCR;PANTALLA;TEXTCOLOR(2);
  GOTOXY(30,2);WRITE ('IMPRIME RESULTADOS');
  ASSIGN(F,'PRN');
  REWRITE(F);
  {$I-}
  TEXTCOLOR(29);GOTOXY(28,12);WRITE('... IMPRIMIENDO ...');
  FOR I:=1 TO 10 DO
    WRITELN(F,' ');
  WRITELN(F,'          CONDICIONES PARA LAS CONSTANTES DE CORRECCION');
  WRITELN(F,'-----');
  WRITELN(F,'          DEPARTAMENTO: ',DEP);
  WRITELN(F,'          NOMBRE DEL POZO: ',NOMBRE);
  WRITELN(F,'          NIVEL DE AGUA:[mts] ',NA:3:3);
  WRITELN(F,'          TEMPERATURA PROMEDIO:[øC] ', T:3:3);
  WRITELN(F,'          PROFUNDIDAD DE LA SONDA:[mts] ',TVD:3:3);
  WRITELN(F,'          PRESION AL NIVEL DEL AGUA:[Bars] ',PNA:3:3);
  WRITELN(F,'          GRADIENTE DEL FLUIDO:[Bars/mt] ',GRA:3:4);
  WRITELN(F,'          VARIACION DE PRESION ESPERADA:[Bars] ',DP:3:3);
  WRITELN(F,'-----');
  WRITELN(F,' ');WRITELN(F,' ');WRITELN(F,' ');
  WRITELN(F,'-----');
  WRITELN(F,'          CHAMBER FULL');
  WRITELN(F,'          SPAN: ',CF:3:5);
  WRITELN(F,'          CERO: ',DF:3:5);
  WRITELN(F,'          BUILD UP');
  WRITELN(F,'          SPAN: ',CB:3:5);
  WRITELN(F,'          CERO: ',DB:3:5);
  WRITELN(F,'-----');
  CLOSE(F);
  TEXTCOLOR(7);GOTOXY(28,12);WRITE('          ');
  IOCODE:=IORESULT;
  {$I+}
  IF IOCODE<>0 THEN
    BEGIN
      CLRSCR;PANTALLA;
      GOTOXY(25,10);WRITE('... IMPRESOR NO DISPONIBLE ...');
      END;
    ESCAPE;
  END;

8: BEGIN
  CLRSCR;PANTALLA;TEXTCOLOR(2);
  GOTOXY(38,10);WRITE ('FIN');
  END;
END;
UNTIL SELECT=8
END.

```

SECCION 1.
INTRODUCCION.

1.1 DESCRIPCION DEL PRODUCTO.

El modelo OMEGA PX-725 convierte una medida de presión, en una señal de salida proporcional de 4 a 20 mA. DC., que puede ser aplicada a la entrada de un controlador, grabador, indicador o cualquier dispositivo similar.

El modelo PX-725 de la figura C.1.1 proporciona una salida standard de 1/2" NPT, para tubería de presión, por su tamaño compacto y su peso ligero, este modelo puede ser conectado directamente en la tubería del proceso. Para instalaciones que requieren otros arreglos para su montaje, el transmisor puede ser montado por medio de una abrazadera (Bracket) standard, ésta puede ser usada para asegurar la unidad a la tubería, o asegurarla en la estructura de soporte.

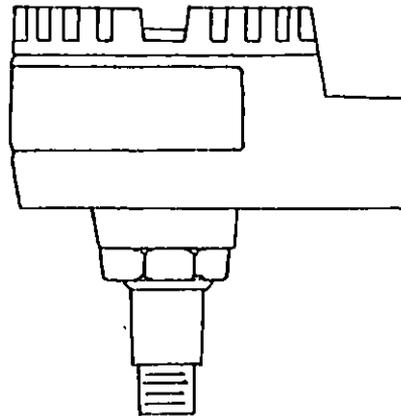


Figura C.1.1. Transmisor industrial de presión OMEGA PX-725.

1.2 DETALLES DEL TRANSMISOR.

Sensor de presión: Sensores piezoresistivos, para obtener la medición de presión.

Rango de alcance: Este transmisor opera en rangos desde 0 a 5000 psi (0 a 344.7 bars) (máximo).

Señal para energizar el lazo: El transmisor requiere un voltaje nominal de 24 V.DC., para operar el lazo de la señal. Una señal de salida de 4 a 20 mA. es desarrollada a través de una carga nominal de 100 ohms.

Rangos de ajuste: El transmisor está provisto de un interruptor y ajustes para calibración. El Span es ajustable desde el 16 al 100 %, del límite superior del rango de medición y el Cero, es ajustable desde el -600 al 500 % del límite inferior del rango de medición.

Amortiguamiento: Un circuito puente selecciona el período de amortiguamiento de 1.5 segundos a 50 milisegundos. Para controlar la respuesta del transductor, para cada cambio de la señal medida.

1.3 TEORIA DE OPERACION.

El transmisor está compuesto de circuitería electrónica y de un módulo sensor, tal como lo muestra la figura C.1.2. La parte electrónica contiene la circuitería de amplificación y los terminales de conexión de campo. El módulo sensor contiene una entrada de presión de la cámara, una entrada al fluido de la cámara, al diafragma aislante, y al microdiafragma, que incluye circuitería sensora.

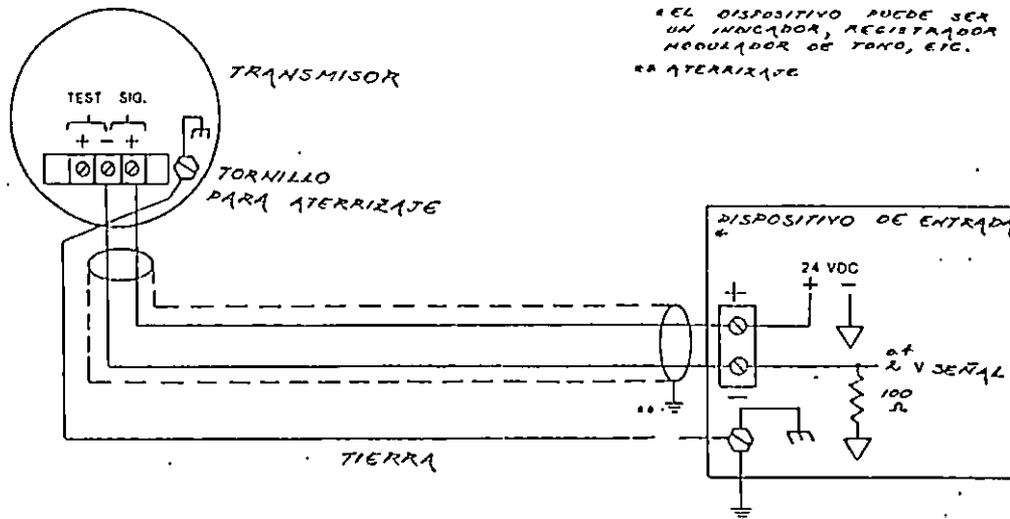


Figura C.1.2. Diagrama simplificado del transmisor PX-725.

La entrada de presión aplicada por la cámara, causa que el diafragma, flexione en proporción a los cambios de presión. El movimiento del diafragma causa un desplazamiento del fluido de relleno, que es sentido por el microdiafragma. El montaje del diafragma contiene cuatro elementos piezoresistivos, o sea resistencias de esfuerzo, que son implantadas por iones sobre la superficie del diafragma, y conectadas en una configuración puente.

La deflexión del diafragma causa cambios de resistencia en el puente. El puente es energizado por una fuente de corriente constante y produce una señal en milivoltios, que corresponde a la señal medida. Una red resistencia-termistor asociada con el circuito puente, proporciona estabilidad a la medida, porque compensa los cambios causados por la temperatura ambiente.

La señal de milivoltios desarrollada por el puente, es aplicada para alta ganancia, linealizada en el amplificador y convertida a dos alambres, o sea salida de 4 a 20 mA. La figura 1.2 muestra esta salida conectada a un lazo externo fijo, que usa una resistencia de carga de 100 ohms. y 24 V.DC. La corriente de 4 a 20 mA. fluyendo por la resistencia proporciona 0.4 a 2 V. de salida para el dispositivo externo. El circuito amplificador contiene ajustes para el Span y el Cero, para poder ajustar los rangos de calibración. Un circuito puente selecciona opciones de amortiguación y linealización.

1.4 MODELO APROBADO PARA AREAS PELIGROSAS.

El modelo del transmisor está certificado para operación en áreas peligrosas por Factory Mutual, el logo FM está inscrito en los datos de placa del instrumento. Estos modelos pueden usarse en las siguientes localizaciones peligrosas:

- A prueba de explosión, para clase I, División 1, grupos B, C y D.
- A prueba de polvo, para clase II, División 1, Grupos E, F y G.
- Apropiado para clase III, división 1, interiores y exteriores (tipo NEMA 4X) en localizaciones peligrosas.
- Para clase I, división 2, grupos A, B, C y D.

El Código Nacional Eléctrico (NEC), en su artículo 500 define las anteriores clases y divisiones como sigue:

- Atmósferas clase I: Contienen gases o vapores inflamables.
- Atmósferas clase II: Contienen partículas de polvo combustible.
- Atmósferas clase III: Contienen fibras inflamables.
- División 1: Donde los aparatos estén continuamente expuestos, o amenazados por fuego o explosión, debido a accidentes o situaciones no comunes.
- División 2: Donde no está presente la amenaza por fuego o explosión y no es probable que ocurran debido a sucesos anormales - Grupos A hasta D: Cubre varios gases y líquidos inflamables tales como el vapor del Etil-éter, Gasolina, Acetona, etc.
- Grupos E hasta G: Cubre varios polvos combustibles tales como polvos que resultan de la elaboración de metales, carbón de piedra, fibra, etc.

INSTALACION.

2.1 MONTAJE DEL TRANSMISOR.

El transmisor puede ser montado en varias posiciones. Sin embargo, está permitido calibrarlo para su operación en la posición vertical, con el encapsulado de la electrónica hacia arriba y conexión del proceso hacia el fondo, como lo muestra las figuras C.2.1. Si el transmisor es instalado en una posición diferente, puede requerir un pequeño ajuste del Cero. Este procedimiento se describe en la sección de CALIBRACION.

- Montaje con conexión apoyada: El transmisor proporciona una conexión de presión hembra (1/2" NPT para el modelo PX725), que es usada para el montaje. Este método de montaje permite que el transmisor sea conectado directamente a la tubería de presión o a los accesorios de la tubería. Si el montaje anterior no puede ser efectuado, el montaje con una abrazadera (bracket), puede ser considerado.

- Montaje opcional con abrazadera: La abrazadera mostrada en la figura C.2.2., puede ser usado si se desea montar el transmisor lejos del lugar de trabajo. Esta abrazadera permite que el transmisor sea sujetado a una tubería estándar de 2" con un perno de 2-1/4". La abrazadera puede ser colocada en el transmisor para acomodar la tubería de trabajo, ya sea de forma vertical u horizontal.

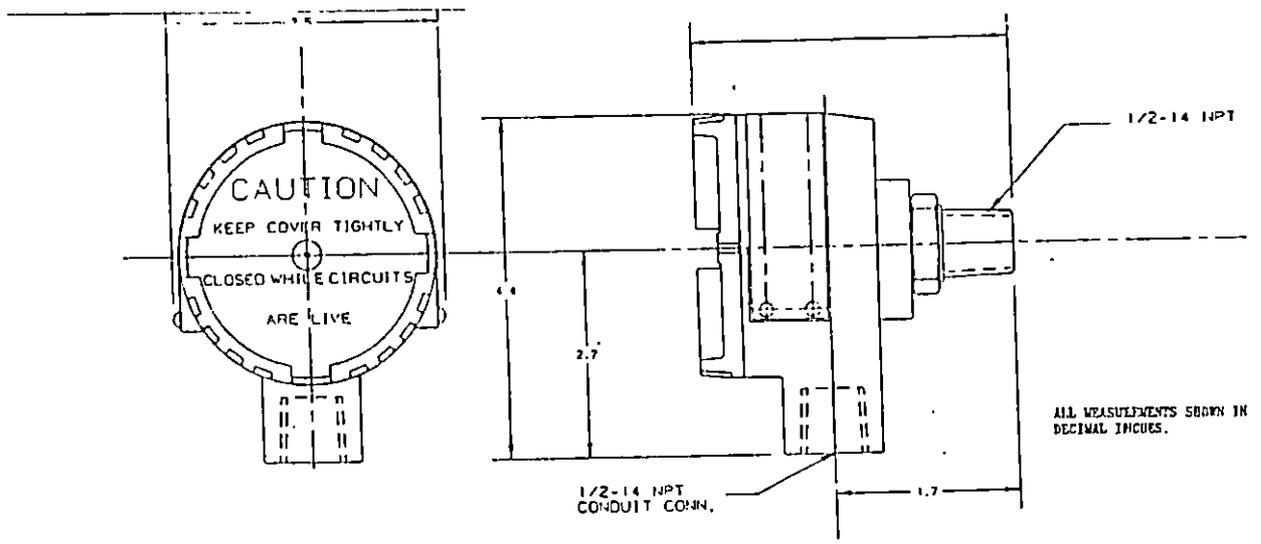


Figura 2.1 Dimensiones del modelo PX-725.

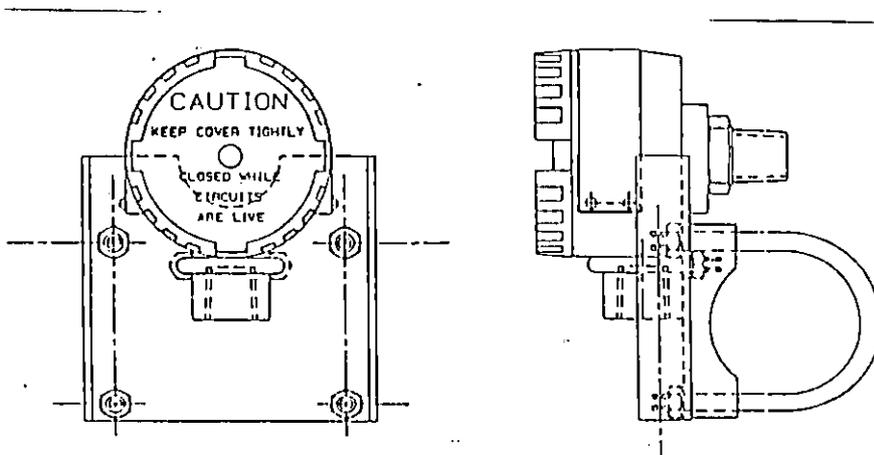


Figura 2.2 Montaje con abrazadera.

2.2 APLICACIONES EN MEDICION DE PRESION.

Aplicaciones en vapor. Cuando medimos la presión del vapor, la temperatura máxima de la circuitería electrónica del transmisor debe ser estrictamente observada. Las temperaturas arriba de los límites especificados, (vea el tema TEMPERATURA AMBIENTE), puede causar errores de salida y dañar el transmisor. Un método para proteger el transmisor puede ser conectar la línea de líquido de relleno como se muestra en las figuras C.2.3 y C.2.4. El líquido de relleno actúa como un buffer y evita que el vapor en actividad penetre al transmisor.

La línea de líquido de relleno es una manera para aislar el transmisor del proceso del vapor, como un método alterno, un separador (trap) de vapor puede ser instalado en la línea de conexión.

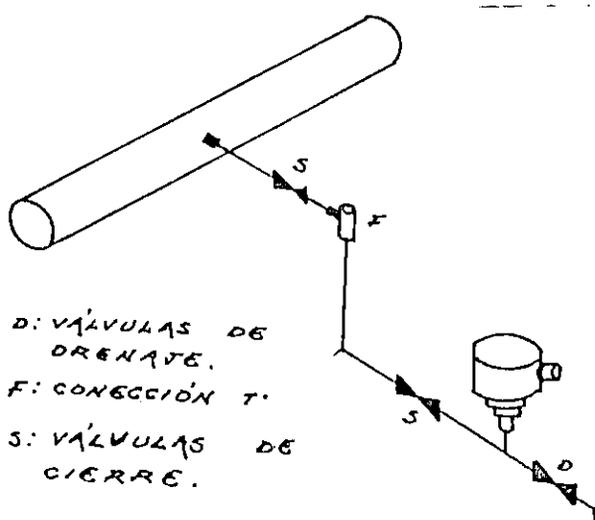


Figura C.2.3 Tubería de vapor horizontal.

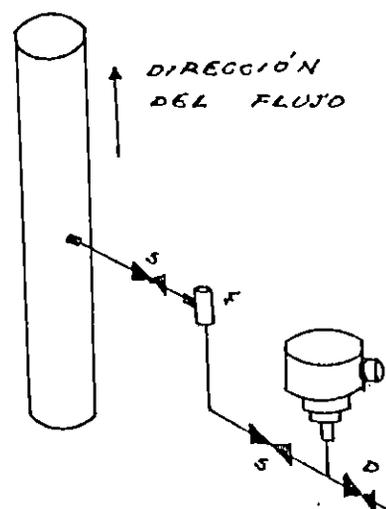


Figura C.2.4 Tubería de vapor vertical.

2.3 NOTAS DE INSTALACION.

Es importante para instalar el transmisor tomar en cuenta factores como la temperatura ambiente, acceso a mantenimiento, y también los materiales con que se ha fabricado el transmisor.

Temperatura ambiente: Los rangos de operación para los terminales húmedos y el montaje de la electrónica del transmisor son los siguientes:

- a) Terminal húmedo w/fluido de relleno DC 200 . -40 a 104°C
- b) Terminal húmedo w/fluido de relleno Fluorolube -18 a 104°C
- c) Tarjeta amplificadora -32 a 85°C
- d) Medidor digital -30 a 80°C

Cuando instalamos un transmisor, es importante considerar el rango de temperaturas de todos los puntos citados arriba, así como también sus diferentes límites. Por ejemplo, si el punto (a), donde el límite superior del rango es (104°C), el punto (c) podría estar varios grados arriba de su límite de 85°C. Debe tenerse cuidado con los límites, ya que puede causar errores de salida y

posiblemente dañarse el ensamblaje de la electrónica. También los límites inferiores de temperatura afectan el rendimiento o problemas de falla. Si las temperaturas extremas son anticipadas, el transmisor podría ser instalado en un ambiente más favorable o proveerlos de otros medios de protección.

Precaución

El transmisor deberá ser operado dentro de los rangos de temperatura, de sus terminales húmedos y su ensamblaje electrónico.

La operación prolongada bajo condiciones extremas podría resultar en un eventual daño al transmisor.

Acceso a mantenimiento: Debe instalarse en un lugar de fácil acceso para proporcionarle reparación y mantenimiento. El lugar debe revisarse para anticipar peligros potenciales, ya sea al equipo o a las personas. Se debe eliminar cualquier daño que no sea aparente, para los operadores del equipo.

Materiales de construcción: Es importante para montar el transmisor, chequear los materiales de que ha sido construido para asegurarse que sean compatibles con el medio de trabajo. Algunos gases o líquidos podrían reaccionar con ciertos metales y ocasionar un daño permanente al transmisor.

2.4 INSTALACION EN AREAS PELIGROSAS.

La información que sigue sólo debe aplicarse a modelos de transmisores que han sido aprobados para usarse en áreas peligrosas. La instalación del equipo en áreas peligrosas, debe completarse con los estándar del Código Nacional Eléctrico (NEC) siguientes ANSI/NFPA-70 y ANSI/ISA S82.01 y S82.03.

Los puntos de chequeo que siguen enfatizan algunos puntos claves, para asegurar la instalación en áreas peligrosas:

a) Toda conexión del transmisor que pase a través de áreas peligrosas debe ser encerrado en tubería conduit. El punto donde la conexión conduit alimenta a la instalación del transmisor, debe ser apropiadamente asegurado para prevenir la entrada de gases u otras sustancias inflamables dentro del transmisor. Un alambrado a prueba de explosión debe hacerse para prevenir chispas (flashback) a través del conduit.

b) La cubierta del transmisor debe ser atomillada , ajustada y colocada correctamente. La cubierta debe ser repuesta en caso de daño o si las roscas se han degradado.

c) La cubierta de la unidad debe estar siempre en su lugar y asegurada mientras el transmisor esté energizado. La cubierta nunca debe aflojarse o removerse a menos que el ambiente sea seguro o que la energía eléctrica sea cortada desde el transmisor.

ADVERTENCIA

Quitar la cubierta del transmisor, mientras está operando en una área peligrosa, puede dañarlo y ocasionaría llamas o explosión.

2.5 NOTAS SOBRE CONECCIONES ELECTRICAS.

Todas las conexiones citadas en el texto y las ilustraciones deben hacerse de acuerdo al Código Nacional Eléctrico (NEC) y las autoridades locales. Sólo personas técnicamente calificadas pueden realizar las conexiones.

Conexión del Conduit. El transmisor proporciona una rosca hembra de 1/2" NPT para conexión eléctrica al conduit. Esta rosca puede ajustarse por medio de conduit tenga rosca o cualquier adaptador de tubería con la rosca apropiada.

NOTA

La conexión conduit deberá ser asegurada,
con no menos de cinco vueltas,
para asegurar que quede bien sujeta.

En algunas aplicaciones, podrían formarse condensaciones en el conduit y filtrarse dentro de la instalación electrónica del transmisor. Si se permite que continúe, la humedad podría afectar el rendimiento del transmisor y, eventualmente causarle daños. Esta situación puede evitarse si se instala el transmisor sobre el nivel de la conexión del proceso. Cualquier humedad que se deposite en el conduit se drenará por gravedad.

Acceso a los terminales de conexión. Se remueve la cubierta roscada para tener acceso a los terminales de conexión. Si la cubierta no puede removerse manualmente, introduzca una alzaprima (pata de cabra) metálica plana o una herramienta similar entre la cubierta y aplique una fuerza moderada que la haga girar, después que reinstale la cubierta, asegúrese que esté limpia. Apriete la cubierta con la mano hasta que la rosca esté sujeta.

Arreglo de conexiones. A los conductores que alimentan el transmisor desde el conduit, deben añadirseles 6 pulgadas desde los terminales de conexión. Se colocan en una ruta circular como muestra la figura C.2.5. Este tramo adicional hace la conexión más manejable y evita daños mecánicos debido a tensiones, en los terminales y en el tablero del transmisor.

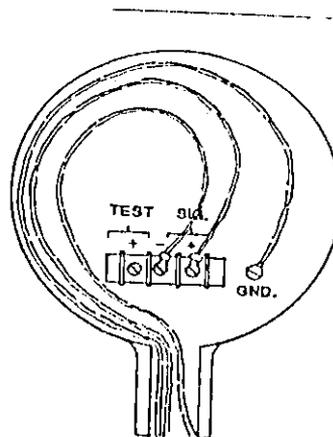


Figura C.2.5

2.6 CONEXION DE LA SEÑAL DE 4 A 20 mA/ LAZO DE ENERGIA.

La señal de 4 a 20 mA./lazo de energía puede ser energizada de dos maneras. La figura C.2.6 muestra el lazo energizado por el dispositivo receptor (controlador, registrador, etc.), mientras que la figura C.2.7 muestra el lazo energizado por una fuente externa. En ambos casos, la corriente de 4 a 20 mA. fluye por medio de una resistencia de carga (100 ó 250 ohmios) y desarrolla una salida correspondiente (0.4 a 2 V ó 1 a 5 V) para el dispositivo receptor.

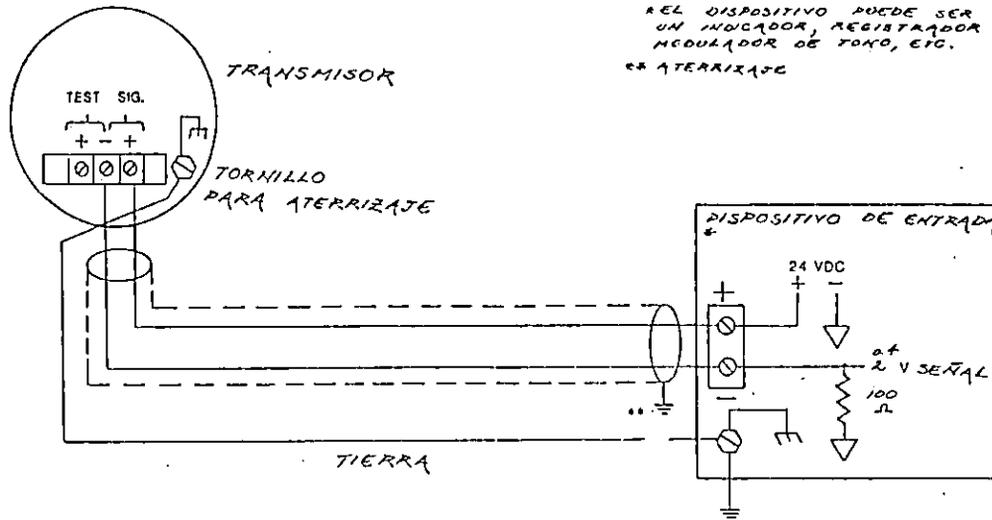


Figura C2.6 Conexión del transmisor a la fuente de energía del instrumento.

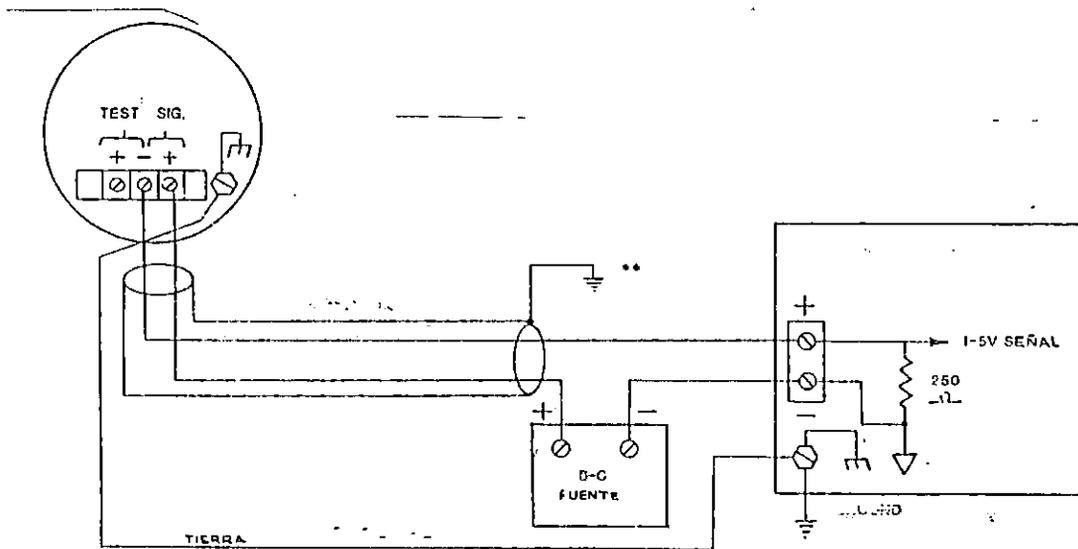


Figura C.2.7 Conexión del transmisor a una fuente DC. externa.

Protección de la señal. Use dos alambres, trenzados, con la pantalla de los cables cubierto de material aislante para la conexión de la señal/energía. Cuando aterrizza apropiadamente, este cable minimiza el efecto de captar interferencia de radio frecuencia o interferencia electromagnética.

La pantalla del cable está aterrizada a la entrada del dispositivo receptor como muestran las figuras C.2.6 y la figura C.2.7. Nunca conecte el otro terminal de esta pantalla al encapsulado del transmisor, ni tampoco trate de aterrizarse la pantalla a más de un punto terminal alrededor de la ruta de alambrado. Aterrizajes múltiples pueden causar errores en la señal a la entrada del dispositivo receptor.

Aunque la pantalla en las figuras C.2.6 y C.2.7, está conectada a la energía común de retorno desde el dispositivo de entrada, el punto de conexión actual puede ser diferente dependiendo del diseño y de la aplicación del dispositivo. En algunos casos, la mejor inmunidad al ruido puede lograrse conectando la pantalla del cable al chasis o al terminal designado en el dispositivo. Revise las instrucciones del manual del dispositivo receptor para conocer el punto de conexión recomendado.

Efectos de resistencia de carga y fuente de voltaje. El lazo de resistencia total consiste de la carga (resistencia de lazo), más la resistencia de ambos conductores del lazo de la señal/energía. Para cualquier fuente de voltaje, el lazo de resistencia total debe mantenerse dentro de los límites especificados. Las gráficas de las figuras C.2.8 y C.2.9 ilustran el mínimo y máximo lazo de resistencia que puede ser usado con varias fuentes de voltaje para modelos con o sin medidor digital.

La gráfica de la figura C.2.10, muestra el largo del cable vrs la resistencia de cable de ambos conductores, para medidas de alambres entre AWG 14 y AWG 22. Para trabajar con cables de menos de 304.878 m. (1000 pies), la resistencia puede ser despreciada.

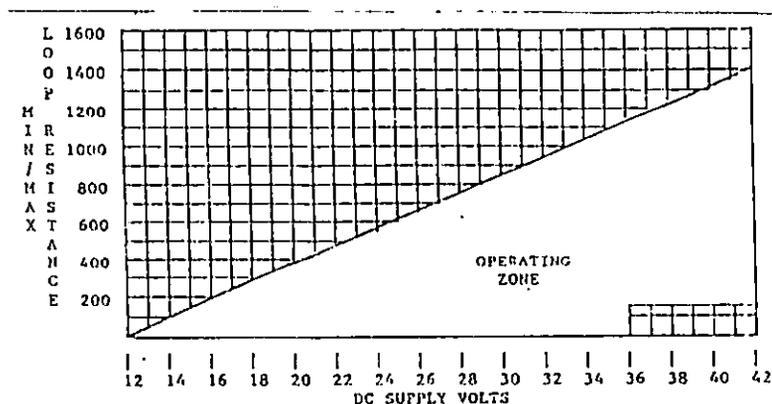


Figura C.2.8 Transmisor sin medidor digital.

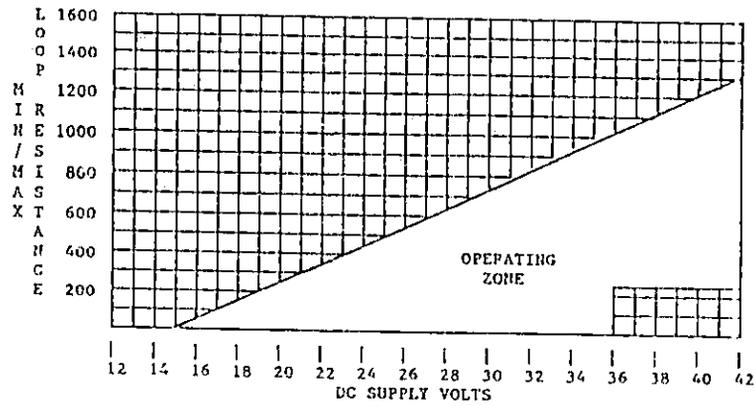


Figura C2.9 Transmisor con medidor digital.

NOTA

Las figuras C.2.8 y C.2.9, se aplican a transmisores que usan el tablero No. 392091-01-1. Este tablero puede ser fácilmente identificado, éste incluye un alambre de cierre (jumper) que compensa linealidad; llamado W3.

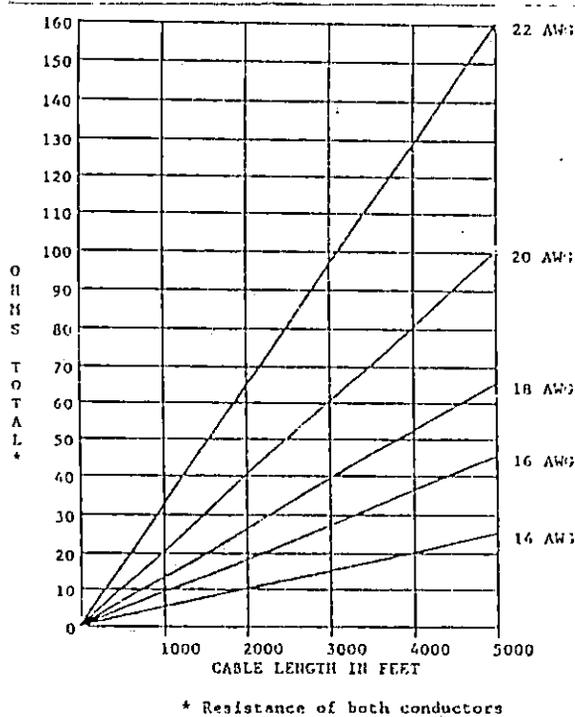


Figura C.2.10 Longitud de cable vrs. resistencia total.

SECCION 3.

CALIBRACION

Nota: Este procedimiento de calibración se aplica al tablero (pt. No. 392091-01-1).

3.1 CALIBRACIÓN.

Equipo requerido. La calibración del transmisor necesita de un laboratorio con el siguiente equipo:

- a) Fuente de prueba capaz de generar valores de presión fijos equivalentes al 0 %, 50 % y 100 % de los valores del rango del transmisor.
- b) Dispositivo monitor de presión para leer los valores de la fuente de prueba (0.025 % de exactitud).
- c) Fuente de energía eléctrica capaz de generar 24 VDC. para energizar el transmisor.
- d) Multímetro digital (DMM) con una escala de 5-1/2 dígitos (0.005 % de exactitud).

Laboratorio versus Ubicación de montaje. Aunque es más conveniente desarrollar este procedimiento usando un montaje de laboratorio, la calibración también puede hacerse en el sitio provisto, equipando la línea de conexión o a las bridas (flange) con un tap de calibración y un método apropiado para cortar el gas y una válvula derivación (bypass). Este equipo adicional le permite alimentar en una fuente de prueba de presión externa o usar la presión del proceso como una señal de referencia. En el último arreglo las válvulas son cerradas para mantener una presión fija en la línea de conexión.

Antes de realizar la calibración en la ubicación de montaje, revise cuidadosamente la aplicación. Si el transmisor es operado en una configuración de control de lazo cerrado, entonces el transmisor debe ser aislado del proceso o el proceso debe ser suspendido. Si no se hace esto, podría darse una situación crítica, que cause daños al equipo y a las personas.

NOTA: Antes de realizar esta prueba, asegúrese que el transmisor esté firmemente tumes en la posición de operación propuesta. Una diferente posición de montaje puede afectar la calibración del Cero para algunos rangos y necesitar reajustes.

Conecciones eléctricas: Las conexiones eléctricas para un montaje de calibración son hechas desde el transmisor, como lo muestra la figura C.3.1. El transmisor no requiere una resistencia de carga para esta prueba dado que el DMM lee la corriente de salida directamente a través de los terminales de prueba (TEST).

Sin embargo, si el transmisor es un modelo con un medidor digital, el arreglo de la figura C.3.1 no puede ser usado. Para estos modelos, conecte el DMM en serie con el negativo o el positivo de la fuente de + 24 VDC y que lea miliamperios.

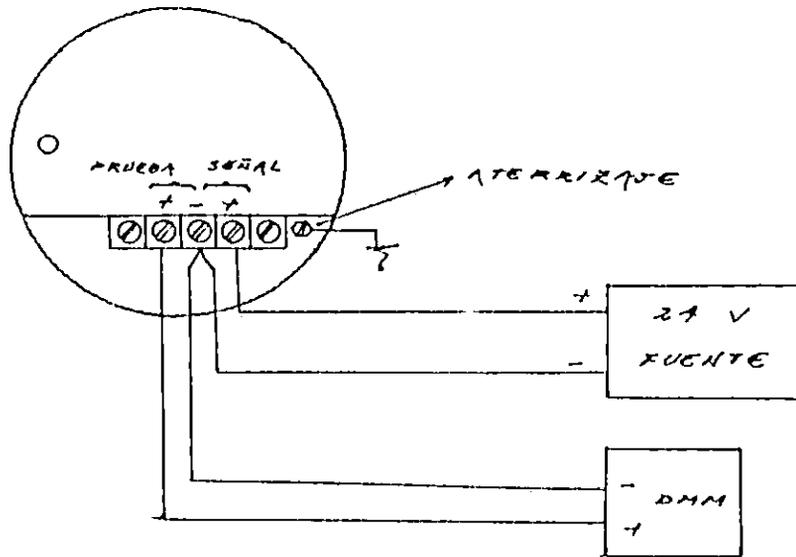


Figura C3.1 Montaje de la prueba de calibración.

3.2 ACCESO A LOS AJUSTES.

Los ajustes de calibración del transmisor son accedidos, removiendo la cubierta. Una vez que ésta es removida, los ajustes se muestran, como lo indica la figura C.3.2.

El tablero es cubierto con una placa plástica. Los potenciómetros del Span y el Cero (R14 y R21), son accesibles, sin embargo los ajustes W2 y W3, no. Algunas placas tienen una perilla que permite que sean ajustados fácilmente, las placas sin esta perilla pueden ser manipuladas con un destornillador, desde afuera. Asegúrese de colocar nuevamente la placa en su lugar, cuando la calibración haya sido hecha.

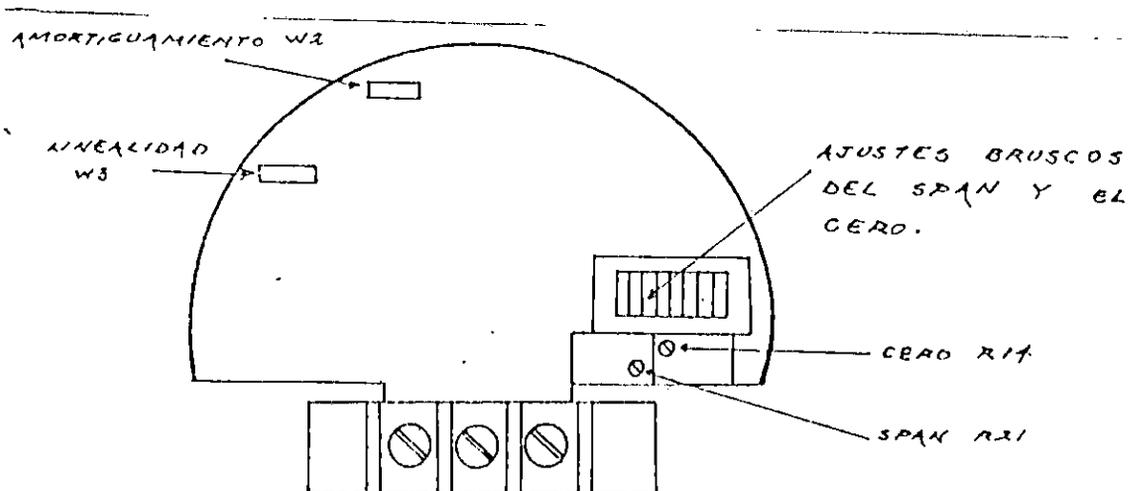


Figura C.3.2 Ajustes de calibración.

3.3 PROCEDIMIENTO GENERAL DE REVISION.

El procedimiento general de revisión determina la exactitud del transmisor y el rango de corriente de operación. Use los potenciómetros del Span y el Cero para corrección de calibraciones pequeñas.

Se procede de la siguiente manera:

1. Realice el montaje de prueba, que se muestra en la figura C.3.1. Asegúrese que el transmisor no esté energizado mientras realiza las conexiones.
2. Ponga el DMM a una escala que cubra el rango de 4 a 20 mA. DC.
3. Aplique una señal de 24 VDC. al transmisor. Trabaje con la fuente de prueba de presión para cada valor del rango del transmisor (0 a 100 %). El DMM debe mostrar un cambio correspondiente en el lazo de 4 a 20 mA.
4. Coloque la fuente de prueba de presión a un valor preciso del 0 % del rango del transmisor. El DMM debe mostrar una salida de 4 mA. DC., +/- 0.024 mA.
5. Similarmente, ajuste la fuente de prueba de presión, para un valor del 100 % del rango del transmisor. El DMM debe mostrar una salida de 20 mA. DC., +/- 0.024 mA.
6. Coloque la fuente de prueba de presión a un valor del 50 % del rango del transmisor. El DMM debe mostrar una salida de 12 mA. DC., +/- 0.024 mA.
7. Si las lecturas que se toman en pasos de 4 a 6 están dentro de las tolerancias, la calibración no es requerida. La prueba está completa. Sin embargo, si cualquier lectura muestra error, debe seguirse con el paso 8.
8. Vuelva la fuente de prueba de presión a 0 %. Si esta lectura está fuera de tolerancia, corrija girando el potenciómetro R14, de ajuste fino. El movimiento destrógiro de este potenciómetro incrementará la salida.
9. Coloque la fuente de prueba de poder al 100 %. Si esta lectura está fuera de tolerancia, corrija girando el potenciómetro R21, de ajuste fino. El movimiento destrógiro de este potenciómetro incrementará el Span.
10. Revise el Cero, Span y la lectura de media escala. Si un pequeño error está presente en cualquier punto, pruebe a alterar suavemente, los ajustes del Span y el Cero, para lograr que el punto esté dentro de la tolerancia correcta.
11. Si por medio de las tres lecturas no puede hacerse la calibración apropiada, el transmisor puede requerir reparación o ser reemplazado. Vea la Sección 5 Servicio para sugerencias sobre reparaciones.

3.4 AJUSTES PARA CALIBRACION.

El procedimiento para cambiar los rangos, usa el switch SW1, (coarse), de ajuste brusco, junto con los potenciómetros de ajuste fino R21 y R14. La localización de éstos se muestra en la figura C.3.2. El equipo requerido para el montaje es el mismo que el descrito en el segmento C.3.1.

Los switches del Span y el Cero, están contenidos en un sólo paquete de switch DIP. El transmisor está equipado con dos tipos de switches para esta aplicación. Un tipo está diseñado con las posiciones ON/OFF, y el otro con OPEN/CLOSE. Estas designaciones son equivalentes y operan como sigue:

Tipo ON/OFF	Tipo OPEN/CLOSE	Equivalente
		ON = CLOSE
		OFF = OPEN

Ajustes del Span. Los ajustes bruscos (coarse) del Span está provisto de los SW1 - 6 hasta SW1 - 8. Cuando estos switches están en OFF (OPEN), el máximo Span (100 %) del transmisor es proporcionado; cuando todos están puestos en ON/ (Close), el Span mínimo (16 %) es proporcionado.

Los ajustes finos son colocados con el potenciómetro. El movimiento destrógiro (clockwise rotation) (CW), de este potenciómetro incrementa el Span, mientras que el movimiento en sentido contrario (counterclockwise) CCW) minimiza el Span.

Ajustes del Cero. Los ajustes bruscos del Cero (coarse), son proporcionados por los switches SW-1 al SW-5. Cuando estos switches están colocados en ON (CLOSE), el máximo valor de disminución del Cero (500 %), es proporcionado, cuando todos están colocados en OFF (OPEN), el mínimo valor de elevación del Cero, (600 %), es proporcionado.

El ajuste fino del Cero es controlado por el potenciómetro R14. Cuando se da el movimiento destrógiro (clockwise) (CW), este potenciómetro incrementa la salida del transmisor, cuando se gira en sentido contrario (counterclockwise) (CCW), la salida disminuye.

3.5 TIPOS DE RANGO DE CALIBRACION.

Cuando selecciona un rango, uno de los tres tipos de calibración debe ser encontrada. Cada uno de los métodos enseña la manera en que 0 psi, (0 bars), de señal de entrada, están referenciados a la salida de 4 a 20 mA. del transmisor. Los tres métodos están definidos de la manera siguiente:

Calibración basada en el Cero.
 0 psi (0 bars) = 4 mA. de salida.
 Ejemplos de rango:
 0 a 50 psi. (3.44 bars).
 0 a 100 psi. (6.88 bars).

Calibración basada en la elevación del Cero.
 0 psi (0 bars) > 4 mA. de salida. (0 psi es un resultado mayor que 4 mA).
 Ejemplos de rangos:
 -10 (vacío) a 20 psi. (1.3 bars).
 -30 a 0" Hg. (-1.33 E-3 a 0 bars).

Calibración basada en la disminución del Cero.
 0 psi (0 bars) < 4 mA. de salida (0 psi. resulta en una salida menor que 4 mA.)
 Ejemplos de rangos:
 1 a 10 psi (0.68 bars)
 10 psi. (0.68 bars) a 60 psi. (4.13 bars).
 50 psi. (3.44 bars) a 100 psi. (6.88 bars).

Los procedimientos anteriores están descritos en los apartados 3.6, 3.7 y 3.8. Se selecciona el procedimiento requerido.

3.6 PROCEDIMIENTO BASADO EN EL CERO.

1. Determine el límite superior del rango (URL), del elemento sensor. El URL es la máxima entrada de presión que puede ser aplicada sin sobrepresurizar el elemento. El Span deseado debe ser siempre igual o menor que el valor URL o sea:
Span < URL.

2. Calcule la posición del Span (switches SW1-6 a SW1-8), usando la siguiente fórmula:

$$Sc = \frac{P_{max.} - P_{min.}}{URL} (100)$$

Donde:

P_{máx} = Rango máximo de presión de entrada deseado.
(Entrada del 100 % = 20 mA.)

P_{mín} = Rango mínimo de presión de entrada deseado.
(Entrada del 0 % = 4 mA.)

URL = Límite superior del rango del elemento de presión.

Sc = Posición del switch de ajuste brusco (coarse) del Span, (también expresado como porcentaje de URL).

Ejemplo: Si el rango deseado para el transmisor es de 0 a 30 psi, (0 a 2.68 bars) y el límite superior del rango del elemento medidor es 50 psi, (2.68 bars), el Span brusco (coarse) que debe colocarse es:

$$Sc = \frac{45 - 30}{50} (100) = 30$$

Para obtener un Span de 60, la selección de la línea 50-63 en la tabla 3-A puede ser tomada como punto de partida. Para esta selección, los switches SW1-6 están colocados en la posición OPEN, y los switches SW1-7 y SW1-8 están colocados en la posición CLOSE.

TABLA 3.C.
Colocaciones de los ajustes bruscos (coarse) del Span.

Span (% URL)	S1-		
	8	7	6
80-100	O	O	O
71-80	C	O	O
63-71	O	C	O
50-63	C	C	O
40-50	O	O	C
31-40	C	O	C
24-31	O	C	C
16-24	C	C	C

3. Revise que el contacto de compensación de linealidad (jumper) (W3), esté colocado en la posición L, como indica la figura C.3.3.



Figura C.3.3. Contacto de linealidad.

4. Coloque los switches bruscos (coarse), del Cero de SW1 en su punto de partida. Este punto es equivalente a colocar el switch mostrado en columna de la Tabla 3-C.

5. Con una entrada de presión del 0 % aplicada al transmisor, ajuste el potenciómetro R14 a 4 mA. de salida. Si la salida permanece bajo los 4 mA. con el potenciómetro en su máximo movimiento, tratar de colocar los switches en la posición mostrada en ROW 16, similarmente, si la salida permanece arriba de los 4 mA. con el potenciómetro en su máximo movimiento destrógiro contrario (CCW), trate de colocar el switch en la posición 18.

TABLA 3.C.
Colocación de los switches de ajuste brusco del Cero.

Columna	5	4	3	2	1	Columna	5	4	3	2	1
1	O	O	O	O	O	17	C	O	O	O	O
2	O	O	O	O	C	18	C	O	O	O	C
3	O	O	O	C	O	19	C	O	O	C	O
4	O	O	O	C	C	20	C	O	O	C	C
5	O	O	C	O	O	21	C	O	C	O	O
6	O	O	C	O	C	22	C	O	C	O	C
7	O	O	C	C	O	23	C	O	C	C	O
8	O	O	C	C	C	24	C	O	C	C	C
9	O	C	O	O	O	25	C	C	O	O	O
10	O	C	O	O	C	26	C	C	O	O	C
11	O	C	O	C	O	27	C	C	O	C	O
12	O	C	O	C	C	28	C	C	O	C	C
13	O	C	C	O	O	29	C	C	C	O	O
14	O	C	C	O	C	30	C	C	C	O	C
15	O	C	C	C	O	31	C	C	C	C	O
16	O	C	C	C	C	32	C	C	C	C	C

1-16 = Elevación del Cero.
 17 = Basado en el Cero.
 18-32 = Disminución del Cero.

6. Con el 100% de la presión aplicada a la entrada, gire el potenciómetro de ajuste fino del Span para salida de 20 mA. Si la salida permanece abajo de los 20 mA., con el ajuste fino en su máxima rotación (CW), trate de poner el switch de ajuste rudo de SW1 que corresponda con el valor bajo más próximo de % URL, en la columna de ROW. Convenientemente, use el valor más alto del % URL si la salida permanece arriba de los 20 mA., con el potenciómetro en su máxima rotación (CCW). Repita los pasos 5 y 6, si se requiere algún ajuste adicional. En este punto la calibración está completa.

3.7 CALIBRACIÓN BASADA EN LA ELEVACION DEL CERO.

Antes de hacer esta calibración, debe primero ser calibrado para un rango basado en el cero, de la siguiente manera:

1. Revise que el contacto de linealidad esté inicialmente presionado en la posición L. (Figura C.3.2).

2. Calcule el Span total requerido para el rango de aumento del Cero. Por ejemplo, si el rango de aumento de Cero es de -10 a 30 psi (-0.68 a 2.68 bars), el Span total sería: 30 - (-10) = 40 psi (2.7 bars).

3. Determine el rango equivalente para la calibración basada en el Cero. Para el ejemplo del paso, el rango equivalente para un valor de 40 psi (2.7 bars) podría ser: 0 a 40 psi (0 a 2.7 bars).

4. Inicialmente se busca una calibración basada en el Cero, usando los valores calculados en el paso 3. (ejemplo: 0 psi (0 bars) = 4 mA. y 40 psi (2.7 bars) = 20 mA.). El procedimiento para la calibración basada en el Cero está descrita en 3.6. Hasta que ésta ha sido hecha, el transmisor puede ser calibrado para el rango de aumento de Cero deseado.

5. Ajuste la entrada de presión para un valor equivalente al valor del rango más bajo deseado (LVR). Para el ejemplo del paso 2, LVR = -10 psi (- 0.48 bars).

6. Coloque los switches de ajuste rudo del Cero de SW1 en posiciones que proporcionen las lecturas para 4.000 mA. en el medidor digital. Los valores de aumento del Cero son obtenidos por medio de las posiciones de los switch listados para columna 1 hasta 16 de la tabla 3.B con columna 8, como el valor medio aproximado.

7. Ajuste el potenciómetro de ajuste fino para un valor exacto de 4 mA. de lectura en el medidor. Si la salida eléctrica se encuentra bajo los 4 mA., entonces con el movimiento (CW) de este potenciómetro, trate de colocar los switches de ajuste rudo a un valor de columna pequeño (i.e. 7, 6, 5, etc.). Haga esto hasta que un valor de 4 mA. de salida sea obtenido. Si la salida está arriba de los 4 mA., trate de poner un valor de Columna (i. e. 9, 10, 11, etc.), hasta que el potenciómetro de ajuste fino proporcione un rango de ajuste aceptable.

8. Aplique un valor de presión de entrada del 100 % al transmisor, equivalente al valor superior del rango (URV). Para este ejemplo, URV = 30 psi (2.68 bars).

9. Si la salida del transmisor no es de 20 mA., ajuste el potenciómetro de ajuste fino para hacer una corrección pequeña.

10. Revise la salida del transmisor con entradas de 0 %, 50 % y 100 % de presión. El medidor digital debe dar lecturas de 4 mA., 12 mA. y 20 mA. (+/- 0.15 % del valor de plena escala).

NOTA.

Si los valores de aumento de Cero exceden 50 % del rango del elemento sensor, errores de linealidad se darían a la mitad del rango. Si encuentra errores, trate de poner el contacto de linealidad (W3) en la posición N (figura 3.2). Repita el procedimiento anterior y revise los resultados.

12. Si es necesario, repita los pasos de ajuste de ajuste fino de los potenciómetros del Cero y el Span.

3.8 CALIBRACION BASADA EN LA DISMINUCION DEL CERO.

Antes de calibrar el transmisor con un rango de disminución de Cero, primero debe ser calibrado para un rango basado en el Cero, equivalente al Span deseado, como sigue:

1. Revise que el contacto de linealidad (W3), esté en la posición L (Figura C.3.3).
2. Calcule el Span total requerido para el rango de disminución del Cero. Por ejemplo, si el rango de disminución deseado es 15 a 80 psi (1.03 a 5.5 bars), el Span total requerido es: $80 - 15 = 65$ psi (4.4 bars).

3. Determine el rango equivalente para una calibración basada en el Cero. Para el ejemplo del paso 2, el rango equivalente basado en el Cero para un Span de 65 psi (4.4 bars) será: 0 a 65 psi (0 a 4.4 bars).

4. Inicialmente se hace una calibración basada en el Cero usando el valor calculado en el paso 2, (Ejemplo: 0 psi = 4 mA. y 65 psi = 20 mA.). Este procedimiento está descrito en 3.6. Hasta que el Cero y el Span han sido calibrados en base al Cero, el transmisor puede ser calibrado para el rango de disminución del Cero deseado.

5. Coloque la fuente de prueba de presión para un valor equivalente del valor mínimo del rango deseado (LRV). Para el ejemplo del paso 2, LRV = 15 psi (1.05 bars).

6. Coloque los switches de ajuste rudo de SW1 en posiciones que proporcionen lecturas de 4 mA. en el medidor digital. Los valores de disminución del Cero son obtenidos por medio de las posiciones de los switch listados en Columna 18, de la tabla 3.C, donde la Columna 25 representa la posición media.

7. Los potenciómetros de ajuste fino para un valor exacto de 4 mA. de lectura en el medidor. Si la salida permanece abajo de los 4 mA. aún con la máxima rotación del potenciómetro de ajuste fino, intente ajustarlos con los switches de ajuste brusco del Cero a un valor menor de fila, por ejemplo 24, 23, 22, etc. Si la salida eléctrica permanece arriba de 4 mA., intente ajustar los switches de ajuste brusco a un valor próximo mayor de fila, por ejemplo 26, 27, 28, etc., hasta que el potenciómetro de ajuste fino del Cero, proporcione un rango de ajuste adecuado. Pruebe con cada posición de ajuste, hasta obtener una salida de 4 mA.

8. Aplique una entrada de presión del 100 % al transmisor, equivalente al valor superior del rango (URV). Para el ejemplo anterior, URV = 80 psi (5.5 bars).

9. Si el transmisor no da una salida de 20 mA., ajuste el potenciómetro del Span.

10. Revise la salida del transmisor con 0 %, 50 % y 100 % de valores de presión de entrada. El medidor digital debe proporcionar las lecturas respectivas de 4, 12 y 20 mA. (+/- 0.15 % a plena escala).

11. Si es necesario, repita los procedimientos de ajuste fino del Cero y el span.

3.9 AMORTIGUAMIENTO SELECCIONABLE.

El amortiguamiento proporciona compensación para aplicaciones que causan a la salida del transmisor, oscilaciones excesivas. Esta condición se puede minimizar controlando el tiempo de respuesta de la salida del transmisor.

El contacto W2 puede ser colocado para aplicar un factor de amortiguamiento a la salida. La posición de estos contactos, se muestran en la figura C.3.4. La posición OUT proporciona una respuesta de 50 mseg., mientras que la posición IN, una respuesta de 0.15 seg. Intente ambas posiciones para ver cual le proporciona mejores resultados.

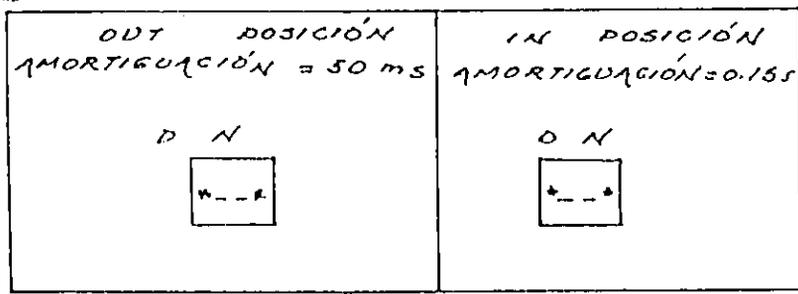


Figura C.3.4. Contacto de amortiguación (W2).

SECCION 4. MANTENIMIENTO.

El mantenimiento deber ser realizado por personal competente en el uso de equipo de prueba neumático y electrónico, y además que tenga conocimientos de los procedimientos de reparación. Cuando se terminan los operaciones de mantenimiento, la cubierta del transmisor debe ser colocada de nuevo y asegurada apropiadamente. Una falla al asegurar la cubierta podría ocasionar que el encapsulado pierda sus propiedades para proteger del polvo, la humedad y su rango de soporte contra las explosiones.

PRECAUCION.

No trate de darle mantenimiento al transmisor, mientras esté energizado, o esté operando en un ambiente inflamable. Para realizar estas operaciones, el transmisor debe ser desenergizado, desconectado y llevado a un lugar donde esté fuera de peligro.

TABLA C.4.

Revisión de fallas.

Síntoma	Revisión recomendada
<p>La salida es baja, o no existe salida.</p> <p>Errores de salida.</p> <p>Salida constante.</p> <p>Salida errónea.</p>	<p>Revise la fuente de energía por si hay salida de DC muy baja.</p> <p>Revise las conexiones del campo, por si existen cortos, circuitos abiertos, aterrizajes o resistencia excesiva.</p> <p>Revise que cualquier válvula (shutoff), esté completamente abierta.</p> <p>Revise por si hay una fuga en la línea de conexión o en la conexión del transmisor.</p> <p>Revise por si hay residuos o atoramientos , en la tubería capilar o en la conexión al transmisor.</p> <p>Revisar si hay algún líquido en las tuberías de gas.</p> <p>Revise los ajustes del Cero y el Span, haciendo la prueba de calibración.</p> <p>Revise que la válvula (shutoff), esté completamente abierta.</p> <p>La presión puede quedarse atrapada en la tubería capilar.</p> <p>El tablero del amplificador puede estar dañado.</p> <p>Revise la conexión del lazo por si hay cortos, circuitos abiertos, aterrizajes o desconexiones.</p> <p>Revise la tubería capilar, por si hay líquidos en el gas.</p> <p>El tablero amplificador puede estar arruinado.</p>

SECCION 5.

ESPECIFICACIONES.

5.1 ESPECIFICACIONES FUNCIONALES.

Rango máximo de entrada: 0-100" H₂O hasta 0-1000 psi (0-68 bars).

Fuente de voltaje: 24 VDC. nominal.

12.5 VDC. mínima al transmisor.

36 VDC. máximo al transmisor.

42 VDC. con carga externa especificada.

Posee protección contra polarización en reversa.

Salida: Salida de 4 a 20 mA. DC.

35 mA. de corriente límite.

3.5 mA. de corriente mínima.

Calibración de los: Ajuste del Span: 100 % URL.

ajustes. Ajuste del Cero: 500 % LRL.

Amortiguación y respuesta: Constante de tiempo: tiempo requerido para un cambio del 63 % en en el tiempo. la salida, si hay un cambio del 100 % en la entrada.

Amortiguamiento: Use el puente opcional:

OFF = > 50 mS.

ON = 0.15 seg +/- 25 % de la constante de tiempo.

Linealidad: La corrección de linealidad puede ser seleccionada en el jumper, colocando ya sea ON u OFF.

5.2 ESPECIFICACIONES DE RENDIMIENTO.

Exactitud: (Incluye independientemente linealidad, histéresis y repetibilidad).
+/- 0.15 % del Span calibrado.

Resolución: Menor que el 0.02 %.

Efecto de la temperatura ambiente: Efecto total incluyendo Cero y Span.
+/- .015% de URL por F desde -25 a 75 F +/- .01% de URL por F desde 75 a 185 F +/- .02% de URL por F.

Efecto de fuente de voltaje: +/- .005 %/V.DC.

Efectos de sobrepresión: +/- .2% URL a máxima presión de operación.

5.3 ESPECIFICACIONES AMBIENTALES.

Límites de temperatura: Si usa DC 200 como fluido de relleno, en los terminales húmedos:
(-40 a 104°C)
Si usa Fluorolube como fluido de relleno, en los terminales húmedos:
(-17.8 a 104°C).
Amplificador: (-32 a 85°C).
Almacenamiento: (-40 a 100°C).

* La máxima temperatura permisible dentro del encapsulado es 85 °C para el tablero amplificador.

Límites de humedad: Especificado para la instalación electrónica con la cubierta puesta.
15 al 95% de HR a 60°C.
15 al 50% de HR a 85°C.

Interferencia electromagnética: +/- 1% de URL a 10 V/M, 20 MHz a 500 Mhz.
Según la norma SAMA PMC-33-1C con la cubierta del transmisor puesta y las conexiones aterrizadas.

Efectos de vibración: Menores que +/- .1% de URL para 10 a 500 Hz.
Vea SAMA PMC-31-1.

5.4 ESPECIFICACIONES FISICAS.

Fluido de relleno: Silicón DC 200 o fluorolube.

Instalación electrónica: Aluminio bajo en cobre, acabado epóxico, rango NEMA 4X.

Conecciones eléctricas: Conexión Conduit de 1/2" NPT con la conexión interna de los terminales de campo.

Materiales de los terminales húmedos: Modelo PX-725: 316 SS o Hastelloy C.

Conecciones del proceso: Modelo PX-725: Conector hembra de 1/2" NPT.

APENDICE D

MANUAL DE OPERACION.

1.1 INTRODUCCION Y TEORIA DE OPERACION.

El modelo OMEGA OM-5100 puede ser adecuado para trabajar con una variedad de multiplexores y otros circuitos para variadas tareas de registro. Está equipado con un impresor térmico de 24 columnas, teclado alfanumérico, un display de 16 dígitos, un reloj de tiempo real y el puerto RS-232.

Este registrador contiene memorias que almacenan la información para revisarlos, antes de imprimirlos o enviarlos a una computadora; accesorios que incluyen un impresor térmico de martillo; relés de contacto para señales de salida de alarmas bajas y altas; y una interfase serie aislado para usar con accesorios tales como tarjetas de alarmas de 20 relés. También puede disponerse de cables para operación desde una fuente de voltios D.C., puerto para comunicación RS-232.

Estos instrumentos pueden ser programados directamente desde el teclado o desde una computadora remota. Las funciones programables incluyen las funciones:

1. Fecha y hora actual, y tiempo de registro.
2. Los contenidos y formatos de impresión.
3. La configuración de cada canal para acoplar con la clase de sensor que será utilizado, tales como termocuplas, entradas de voltajes, RTD, sensores de pH, etc.
4. El número de canales que serán registrados y cuales canales serán omitidos. También el tiempo de cada canal que permanece mostrando su registro, antes de mostrar el siguiente y el comando que mantiene permanente el registro (Hold) de un canal seleccionado.
5. Lectura de los canales en escala que se acomoda a los distintos tipos de sensores, multiplicando, y sumando o restando de acuerdo a la ecuación $(Mx+b)$.
6. Puntos de alarmas altas y bajas.
7. Unidades de ingeniería.
8. Unidades de temperatura ($^{\circ}\text{C}$ o $^{\circ}\text{F}$).
9. Configuración de almacenaje no volátil para su sistema en una ROM electrónicamente programada.

1.1.1 ESTRUCTURA DEL REGISTRADOR DE DATOS.

La estructura del registrador de datos, consiste de un microprocesador con memoria EEPROM interna y memorias externas RAM y ROM. El impresor, la pantalla, y el reloj de tiempo real, se comunican con el CPU a través de un bus serie. El procesador también recibe datos desde un teclado, y es capaz de realizar comunicación externa, con computadoras o dispositivos a través del puerto serie RS-232. El bus serie SPI, se utiliza para control de comunicación y para introducir información al multiplexor, a los accesorios y a las tarjetas de alarma.

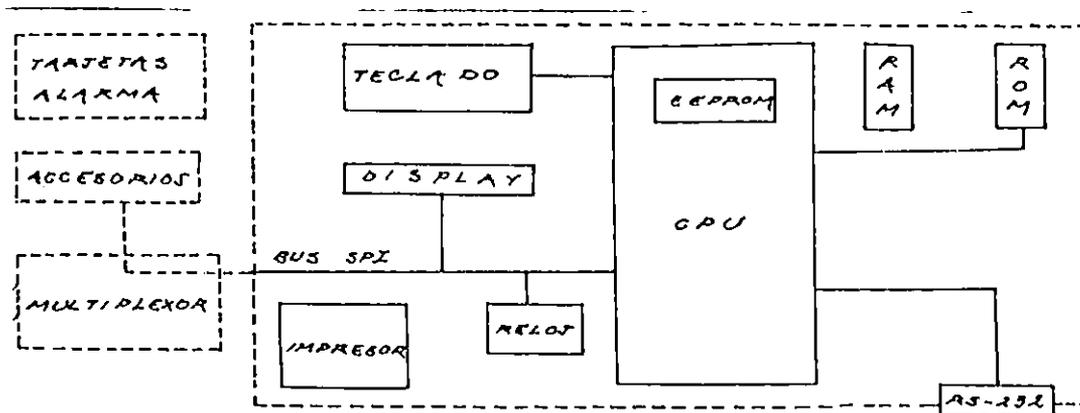


Figura D.1.1 Diagrama de bloques del registrador de datos.

1.1.2 MULTIPLEXOR.

Los multiplexores llevan a cabo las funciones de condicionamiento de la señal para el registrador. Las señales de entrada. En el diagrama de abajo, de un multiplexor típico, el relé selecciona que entrada va a ser leída. Las señales de entrada son amplificadas y digitalizadas en un convertidor analógico/digital. El CPU controla el rango de interrupción, colocado de acuerdo al tipo de entrada, que es seleccionada. La información, sobre el tipo de canal, unidades de medida, y puntos de alarma son almacenados en la memoria EEPROM en el multiplexor, permitiendo cambiar el multiplexor sin perder la información de la configuración del canal.

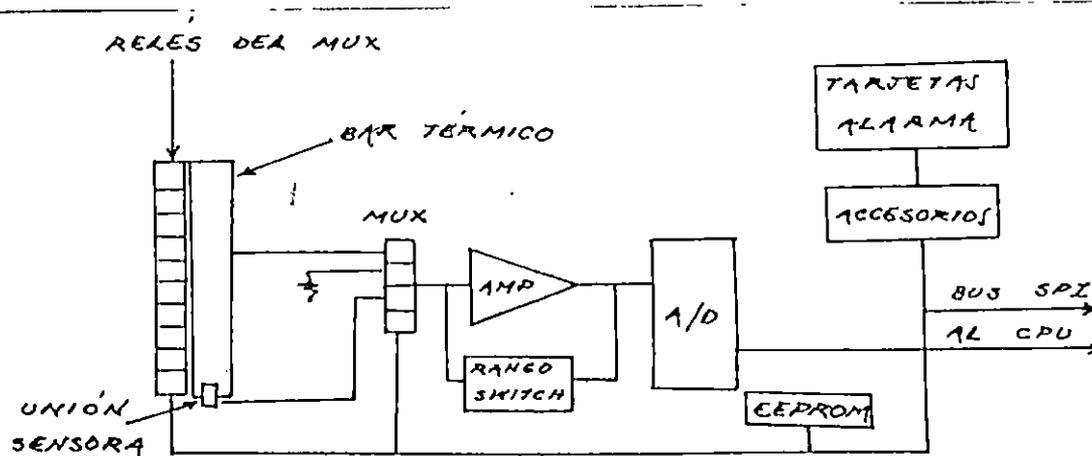


Figura D.1.2 Diagrama de bloques de un multiplexor típico.

1.2 ESPECIFICACIONES.

Entradas de voltaje.

Rango : +/- 2 V.

Impedancia de entrada: 1 Mohms.

CMV máxima: 1500 V. AC.

Protección máxima: 120 V. AC.
de sobrevoltaje.

Exactitud: +/- 400 microV.

Resolución: 100 microV.

Convertidor A/D.

Máxima velocidad: (Conversiones/seg): 10

Resolución: +/- 20000

Capacidad.

Canales de entrada: 10

Medio ambiente.

Rango de operación: 0 a 50 °C.

Rango de almacenamiento: -25 a 75 °C.

Requerimientos Energía/Corriente.

120 V.AC. pico: 500 mA.

12 V.DC. pico: 7 A.

Calibración.

Frecuencia del ciclo: 6 meses.
de calibración.

Conecciones.

Entrada de multiplexores: AWG # 16 (máximo).

Energía AC.: 3 alambres aterrizados.

2.0 PREPARACION Y MONTAJE.

2.1 CONEXIÓN DE LA ENTRADA DEL TRANSDUCTOR AL MULTIPLEXOR.

Para el modelo OM-5100, coloque el registrador de datos en la posición normal de operación, sobre el banco de trabajo, afloje los tornillos de oreja o de mariposa de la parte de atrás del registrador. Cuidadosamente, deslice el chasis hacia adelante, quitando las grapas

del canal a utilizar, presionando las teclas anaranjadas de conexión rápida, como muestra la figura D.2.1.

Quitar 1/4" del aislante de los alambres, que servirán para conectar los canales. Conecte la entrada del transductor, presionan las teclas anaranjadas, próximas al conector, insertando los terminales dentro del agujero, (aproximadamente 1 cm.), y luego suelte la tecla. Asegúrese de que el alambre quede bien sujetado, halándolas hacia afuera. Un problema que podría ocurrir es que los alambres no estén suficientemente pelados y el aislante interfiera con la conexión.

3.0 OPERACION.

3.1. PANEL FRONTAL.

3.1.1 PANTALLA.

La pantalla del registrador es usada para proporcionar los datos del canal y la información necesaria, la hora, la fecha, el canal seleccionado, el valor de los datos del canal y las unidades seleccionadas. Toda la información que muestra la pantalla, ha sido programada por el operador.

3.1.2 IMPRESION.

3.1.2.1 LISTA DE CONFIGURACION.

Presionando la tecla LIST CONFIG el registrador muestra la configuración a través del impresor. La configuración de impresor del registrador muestra la fecha, la hora, así como la identificación del registrador, y la información acerca de los tipos de accesorios que utiliza, su frecuencia de operación, una tabla de unidades, que pueden ser asignadas a cada canal y la lista de valores de alarma que han sido asignadas a cualquier canal.

3.1.2.1.1 CONFIGURACION DE UNIDADES.

La lista de unidades se muestra en una tabla, las cuales pueden ser asignadas a cualquiera de los canales del registrador. Por ejemplo, si se le asigna a un canal la unidad 04, en la pantalla y en el impresor se mostrará el dato del canal seguido de una A. Las unidades etiquetadas en 14 y 15, son programables por el usuario, y aceptan hasta tres caracteres para ser programados en esas posiciones de la tabla.

Etiquetas de unidades.

00 °C	08 pH
01 °F	09 mS
02 V	10 microS
03 mV	11 lbs
04 A	12 Kgs
05 mA	13 G
06 P	14 US1
07 psi	15 US2

3.1.2.1.2 CONFIGURACION DE LOS VALORES DE ALARMA.

De una manera similar al utilizado para etiquetar unidades, los valores de alarma se asignan a los canales, seleccionando de una tabla los posibles números. Todos los valores de alarma, excepto el 00 (ninguno), se programan por el usuario, y pueden ser negativos o positivos.

Los valores de alarma son solamente números y asumen el formato de impresión decimal de los canales, al cual han sido asignados. Después que los valores de alarma han sido asignados a los canales, se puede imprimir una lista completa, presionando la tecla LIST ALARM.

3.1.2.1.3 INTERVALO DE REGISTRO.

El intervalo de registro mostrado en la impresión de LIST ALARM, es el tiempo entre impresión de todos los canales que han sido registrados.

3.1.2.2 LISTA DE ALARMAS.

3.1.2.2.1 MODO DE IMPRESION.

El modo de impresión que se muestra en LIST ALARM determina la cantidad de datos, que se están enviando al impresor. Si el modo de impresión está activado en HOLD, todos los datos y la información de las alarmas son enviadas al impresor. Si el modo de impresión está colocado en ALARM, sólo las alarmas fuera del rango se imprimen. Si el modo de impresión está colocado en NONE, ningún dato se imprime.

3.1.2.2.2 ESCALA DE VOLTAJE.

Los parámetros M, B y DP, que se muestran en la impresión de la lista de alarmas, indican la escala actual y el formato de las constantes utilizadas para los canales configurados como voltaje.

La lectura de voltaje desde el multiplexor, se multiplica por la constante M y se le agrega la constante B, antes de ponerlos en pantalla. El parámetro DP determina el número de lugares decimales que aparecerán a la derecha del punto decimal, cuando se imprime.

3.2 PROGRAMACION.

3.2.1 INTRODUCCION AL TECLADO.

Cuando se está programando el registrador de datos, puede escucharse un "beep", cuando se presiona alguna tecla, así responde el CPU. La mayoría de las teclas, ejecutan una función primaria, una alfa y una alterna. Cuando se están programando los datos que están siendo introducidos, se muestran en forma intermitente, el cual indica que los datos están siendo introducidos. Si un dato está fuera del rango para la función que está siendo programada, el registrador no acepta los datos. A continuación, en la figura D.3.1, se muestra el teclado normal.

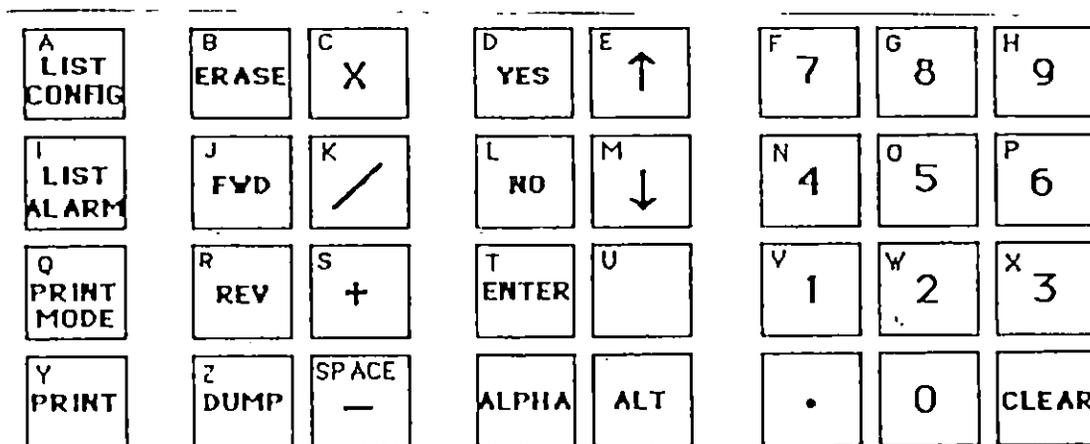


Figura D.3.1 Teclado normal.

3.2.1.1 LA TECLA ALPHA.

Los caracteres ALPHA son introducidos al teclado, presionando la tecla ALPHA, los cuales cambian las funciones a las letras en rojo, que se encuentran en la parte superior izquierda de cada tecla. El teclado permanece en el modo ALPHA, hasta que la tecla ALPHA, es presionada de nuevo.

3.2.1.2 LA TECLA ALT.

Las funciones alternas, para las teclas son activadas presionando la tecla ALT, para cambiar las funciones de las teclas que se leen en la parte superior del teclado. Las funciones de la tecla ALT, tienen acceso sólo por pulsar una vez la tecla. El teclado se muestra en la figura D.3.2.

TIME	J	K	Volt	DP	ALARM VALUE	UNIT LABEL	MAX CHANS
DATE	T	E	Mx	B	HI	UNIT	DWELL
BAUD	B	S	Pt	Tadj	LOW	C/F	HOLD
LOG INTRVL	R	SKIP					

Figura D.3.2 Funciones de la tecla ALT.

3.2.1.3 LA TECLA CLEAR.

La tecla CLEAR, se usa cada vez que se desea regresar al modo de operación normal, y este teclado retorna a la función primaria y todas las funciones en proceso de programación se cancelan. Los datos que se programan son automáticamente almacenados en memoria, cuando el último dígito o caracter es introducido para esa operación.

3.2.2 FUNCIONES DE PROGRAMACION PRINCIPAL.

3.2.2.1 PROGRAMA DE ALMACENAMIENTO PRINCIPAL.

Las variables para el programa principal son almacenadas en el reloj de tiempo real, o en el CPU, en la memoria RAM Eléctricamente Alterable. Las variables permanecen en el programa principal si los multiplexores son cambiados.

3.2.2.2 TIEMPO.

El modelo OM-5100 mantiene la hora en un formato de 24 horas (HH:MM:SS). Para introducir la hora se presiona la tecla ALT seguido de la tecla LIST CONFIG. La hora programada aparecerá a los 3 segundos, entonces aparece TIME (HH:MM:SS), con el dígito

listo para se introducido en forma intermitente. Si la fecha está correcta, al presionar la tecla CLEAR ésta se preservará. Para colocar la hora en 14:20:00 proceda como sigue:

FUNCION	TECLA PRESIONADA	MENSAJE EN PANTALLA
Busque teclado ALT	ALT	SELECT ALTERNATE
Seleccione hora	LIST CONFIG	TIME (HH:MM:SS)
Introduzca hora (MSD)	1	TIME (1H:MM:SS)
Introduzca hora (LSD)	4	TIME (14:MM:SS)
Introduzca minutos (MSD)	2	TIME (14:2M:SS)
Introduzca minutos (LSD)	0	TIME (14:20:SS)
Introduzca segs. (MSD)	0	TIME (14:20:0S)
Introduzca segs. (LSD)	0	TIME (14:20:00)

3.2.2.3 FECHA.

Cuando DATE es presionada, la fecha actual introducida en la memoria aparece por 3 segundos, después que una nueva fecha es introducida. Si la fecha que muestra está correcta, presione CLEAR para mantenerla. La fecha se incrementa, a medida que el tiempo pasa, desde 23:59:59 hasta 00:00:00. Una nueva fecha se introduce de la forma MM:DD:YY. Para colocar la siguiente fecha se procede como sigue 06/10/88.

FUNCION	TECLA PRESIONADA	MENSAJE EN PANTALLA
Busque teclado ALT	ALT	SELECT ALTERNATE
Seleccione fecha	LIST ALARM	DATE (MM:DD:YY)
Introduzca mes (MSD)	0	DATE (0M:DD:YY)
Introduzca mes (LSD)	6	DATE (06:DD:YY)
Introduzca día (MSD)	1	DATE (06:1D:YY)
Introduzca día (LSD)	0	DATE (06:10:YY)
Introduzca año (MSD)	8	DATE (06:10:8Y)
Introduzca año (LSD)	8	DATE (06:10:88)

3.2.2.4 INTERVALO DE REGISTRO.

El intervalo de registro tiene 6 dígitos para introducirse en la forma HH:MM:SS, Los rangos del intervalo de registro están entre 1 segundo hasta 23 horas, 59 minutos, 59 segundos, sin embargo el intervalo podría seleccionarse todos los canales, antes de que comience el otro intervalo de registro.

Si el intervalo de registro es más pequeño que el tiempo que utiliza el registrador para buscar datos de otros canales, el intervalo de registro puede "sobrecargarse", este efecto produce primero, que los datos no sean grabados, segundo, que los datos se almacenen en un lugar de prealmacenamiento (Cache memory).

FUNCION	TECLA PRESIONADA	MENSAJE EN PANTALLA
Busque teclado ALT	ALT	SELECT ALTERNATE
Seleccione intervalo registro	PRINT	INTRVL (HH:MM:SS)
Introduzca hora (MSD)	0	INTRVL (0H:MM:SS)
Introduzca hora (LSD)	1	INTRVL (01:MM:SS)
Introduzca minutos (MSD)	3	INTRVL (01:3M:SS)
Introduzca minutos (LSD)	0	INTRVL (01:30:SS)
Introduzca segundos (MSD)	1	INTRVL (01:30:1S)
Introduzca segundos (LSD)	5	INTRVL (01:30:15)

3.2.2.5 TECLAS DE REGISTRO DE CANALES.

3.2.2.5.1 SOSTENER.

La función permite al usuario revisar continuamente cualquier canal individual. El canal mantenido continúa así hasta la tecla CLEAR es presionada.

En el ejemplo siguiente el canal 10, es designado para ser mantenido:

FUNCION	TECLA PRESIONADA	MENSAJE EN PANTALLA
Teclado ALT	ALT	SELECT ALTERNATE
Función HOLD	3	HOLD CHANNEL CC
Introduzca # canal (MSD)	1	HOLD CHANNEL 1C
Introduzca # canal (LSD)	0	HOLD CHANNEL 10

3.2.3 FUNCIONES DE PROGRAMACION DEL MULTIPLEXOR.

3.2.3.1 TECLAS PARA LA ESCALA DE VOLTAJE.

3.2.3.1.1 M y b

El registrador permite cambiar la escala en la lectura para acomodar las diferentes entradas de los sensores, multiplicando por M y sumando b (como $Mx + b$; b puede ser negativo).

Nota: $Mx + b$ afecta todos los canales de voltaje.

En el siguiente ejemplo, la ecuación $Mx + b$ está colocada, tal que $M = +0.6666$ y $b = -00010$. (El rango de valores disponibles para b son desde -32767 hasta 32767 y los valores disponibles para M son desde -9.9999 hasta 9.9999).

FUNCION	TECLA PRESIONADA	MENSAJE EN PANTALLA
Teclado ALT	ALT	SELECT ALTERNATE
Coeficiente M	NO	M COEF +N.NNNN
Seleccione signo	+	M COEF +N.NNNN
Pulse número (MSD)	0	M COEF +0.NNNN
Pulse número (NSD)	6	M COEF +0.6NNN
Pulse número (NSD)	6	M COEF +0.66NN
Pulse número (NSD)	6	M COEF +0.666N
Pulse número (LSD)	6	M COEF +0.6666

FUNCION	TECLA PRESIONADA	MENSAJE EN PANTALLA
teclado ALT	ALT	SELECT ALTERNATE
Coefficiente b	DOWN ARROW	B COEF +N.NNNN
Seleccione signo	-	B COEF -N.NNNN
Pulse número (MSD)	0	B COEF -0.NNNN
Pulse número (NSD)	0	B COEF -0.0NNN
Pulse número (NSD)	0	B COEF -0.00NN
Pulse número (NSD)	1	B COEF -0.001N
Pulse número (LSD)	0	B COEF -0.0010

3.2.3.1.2 PUNTO DECIMAL.

El punto decimal puede ser colocado en cualquier posición. En el siguiente ejemplo, cualquier número del 0 al 5 puede ser introducido al teclado cuando la pantalla muestra el mensaje DECIMAL POS = N, con N intermitente. El número introducido determina el número de lugares desde la derecha, adonde el punto saldrá.

En el ejemplo: El punto decimal es colocado en la posición de centésima (000.00), que son dos lugares desde la derecha. El rango de localizaciones posibles son .nnnnn hasta nnnnn.

FUNCION	TECLA PRESIONADA	MENSAJE EN PANTALLA
Teclado ALT	ALT	SELECT ALTERNATE
Punto decimal (intermitente)	^	DECIMAL POS = N
Introduzca posición	2	DECIMAL POS = 2

3.2.3.2 TECLAS DE ALARMA.

3.2.3.2.1 VALORES DE ALARMA.

El registrador permite que se le asignen hasta 15 valores de alarma. Estos valores de alarma están puestos en una tabla, y pueden ser asignados a cualquier canal, como alarmas altas o bajas (Vea la sección ALTAS y BAJAS, abajo). Los valores son de formato fijo (sólo números enteros) y pueden ser, ya sea positivos o negativos. Los valores de alarma pueden ser impresos, si se presiona la tecla LIST CONFIG. En el ejemplo, asignamos un valor de +100 para la alarma número 01, y un valor de -100 a la número 2.

FUNCION	TECLA PRESIONADA	MENSAJE EN PANTALLA
Teclado ALT	ALT	SELECT ALTERNATE
Valor de alarma	7	ALARM NN+XXXXX
Introduzca canal (MSD)	0	ALARM 0N+XXXXX
Segundo # de canal	1	ALARM 01+XXXXX
Signo positivo	+	ALARM 01+XXXXX
Introduzca MSD	0	ALARM 01+0XXXX
Introduzca NSD	0	ALARM 01+00XXX
Introduzca NSD	1	ALARM 01+001XX
Introduzca NSD	0	ALARM 01+0010X
Introduzca LSD	0	ALARM 01+00100

Seleccione tecla ALT	ALT	SELECT ALTERNATE
Seleccione alarma	7	ALARM NN+XXXXX
Introduzca canal (MSD)	0	ALARM 0N+XXXXX
Segundo valor de Canal	2	ALARM 02+XXXXX
Signo negativo	-	ALARM 02-XXXXX
Introduzca MSD	0	ALARM 02-0XXXX
Introduzca NSD	0	ALARM 02-00XXX
Introduzca NSD	1	ALARM 02-001XX
Introduzca NSD	0	ALARM 02-0010X
Introduzca LSD	0	ALARM 02-00100

3.2.3.2.2 ALARMAS ALTAS Y BAJAS

El registrador ofrece 16 valores de alarmas que pueden ser asignadas a cualquier canal como alarmas altas o bajas. Se asigna primero el canal, y después el valor de alarma (HH o LL). Para no asignarle alarma al canal, se le debe asignar el valor de alarma de 00. La etiqueta que por defecto tienen los valores de alarma alta y baja es NONE. En el siguiente ejemplo, al canal 01 se le asigna un valor de alarma alta de +100, el cual fue asignado al valor 01 de alarma, en la sección de ALARM VALUE.

Al canal 05 se le asigna un valor de alarma baja de -100 el cual fue asignado al valor de alarma número 02 en la sección de ALARM VALUE.

FUNCION	TECLA PRESIONADA	MENSAJE EN PANTALLA
Teclado ALT	ALT	SELECT ALTERNATE
HI para alarma alta	4	HI ALM CH CC HH
Introduzca MSD del canal	0	HI ALM CH 0C HH
Introduzca LSD del canal	1	HI ALM CH 01 HH
Introduzca MSD de alarma	0	HI ALM CH 01 0H
Introduzca LSD de alarma	1	HI ALM CH 01 01
Tecla ALT	ALT	SELECT ALTERNATE
LOW para alarma alta	1	LO ALM CH CC LL
Introduzca MSD del canal	0	LO ALM CH 0C LL
Introduzca LSD del canal	5	LO ALM CH 05 LL
Introduzca MSD de alarma	0	LO ALM CH 05 0L
Introduzca LSD de alarma	2	LO ALM CH 05 02

3.2.3.3 TECLAS DE UNIDADES.

3.2.3.3.1 ETIQUETAS DE UNIDADES.

El registrador tiene un total de 16 unidades de etiqueta. Las dos últimas, 14 y 15, son programables con hasta 3 caracteres cada una. Se introduce el número de etiqueta haciendo uso de la tecla ALPHA del teclado.

NOTA: sólo las etiquetas 14 y 15 se pueden programar.

En el siguiente ejemplo a la unidad de etiqueta 14 se le programa para que lea RPM, y la unidad 15 para leer MG.

FUNCION	TECLA PRESIONADA	MENSAJE EN PANTALLA
Teclado ALT	ALT	SELECT ALTERNATE
Seleccione unidad	8	UNIT LABEL NN CCC
Introduzca MSD de etiqueta	1	UNIT LABEL 1N CCC
Introduzca LSD de etiqueta	4	UNIT LABEL 14 CCC
Introduzca caracter de etiqueta de unidad.	R	UNIT LABEL 14 RCC
Introduzca caracter de etiqueta de unidad.	P	UNIT LABEL 14 RPC
Introduzca caracter de etiqueta de unidad.	M	UNIT LABEL 14 RPM

FUNCION	TECLA PRESIONADA	MENSAJE EN PANTALLA
Teclado alterna	ALT	SELECT ALTERNATE
Seleccione etiqueta	8	UNIT LABEL NN CCC de unidad.
Introduzca etiqueta de unidad (MSD)	1	UNIT LABEL 1N CCC
Introduzca etiqueta de unidad (LSD).	5	UNIT LABEL 15 CCC
Introduzca caracter de etiqueta de unidad.	SPACE	UNIT LABEL 15 CC
Introduzca caracter de etiqueta de unidad.	M	UNIT LABEL 15 MC
Introduzca caracter de etiqueta de unidad.	G	UNIT LABEL 15 MG

3.2.3.3 UNIDADES.

El registrador tiene programado 16 unidades de etiquetas, a las cuales se puede tener acceso para asignarlas a cualquier canal. La lista de las unidades disponibles se pueden imprimir presionando la tecla LIST CONFIG. En el siguiente ejemplo, se le asignará la etiqueta de unidad 03 (MV) al canal 01:

FUNCION	TECLA PRESIONADA	MENSAJE EN PANTALLA
Teclado ALT	ALT	SELECT ALTERNATE
Seleccione unidad	5	UNIT CH NN UU
Seleccione número de canal (MSD)	0	UNIT CH 0N UU
Seleccione número de canal (LSD)	1	UNIT CH 01 UU
Seleccione número de unidad (MSD)	0	UNIT CH 01 0U
Seleccione número de unidad (LSD).	3	UNIT CH 01 03

4.0 CALIBRACION.

4.1 PROCEDIMIENTO INICIAL.

A. Apagar el registrador. Manteniendo la tecla CLEAR presionada encienda de nuevo el registrador.

B. Responda YES para limpiar el CPU (CLEAR CPU y CLEAR POD).

C. Presione la tecla LIST ALARM para verificar que la constante $M=1.0000$, y $B=+00000$ y que el canal #1 esta configurado como tipo V (voltaje), y el canal 02 configurado como tipo PA (RTD, $\alpha=0.00385$) y sus unidades son F.

4.2 SEÑAL DE VOLTAJE.

A. Poner el registrador a leer el canal uno, presionando ALT HOLD y seleccionado 01.

B. Aplicar un voltaje estándar de 2.00000 voltios +/- 10 microvoltios al canal 1 (pin 2+, pin 3-).

C. Ajuste el potenciómetro hasta que la lectura sea de 2.0000 exactamente.

GLOSARIO

1. ACUIFERO: Manto de agua en una roca permeable.
2. AGUA METEORICA DE RECARGA: Agua lluvia que infiltrada hacia el subsuelo a través de rocas no consolidadas, fallas geológicas, chimeneas de volcanes, etc, puede alcanzar grandes profundidades, circular durante tiempos muy grandes adquiriendo alta temperatura y salinidad, constituyéndose en recarga natural de un reservorio.
3. ANOMALIA: Ampliamente usado en exploración geotérmica, se refiere a variaciones o valores marcadamente diferentes de un parámetro físico, químico o termodinámico.
4. ARBOL DE CABEZAL: El conjunto de accesorios mecánicos que se instalan en la cabeza o extremo superior del pozo geotérmico: incluye elementos como el carrete de expansión, derivaciones en forma T, cruz o L, la válvula maestra y otras derivaciones para medición, drenaje o muestreo de fluido.
5. BASALTO: Roca ígnea de grano fino, dominada por minerales de color oscuro, (calcio, sodio, aluminio, silicatos presentes en cantidades mayores del 50%) y silicatos ferromagnéticos.
6. BASAMENTO: Geológicamente, las rocas ígneas más antiguas de la corteza terrestre, en términos de explotación geotérmica, son el lecho de un reservorio.
7. CALIBRACION: Es una prueba durante la cual, valores conocidos del proceso son aplicados al transmisor, y las lecturas de salida son registradas bajo condiciones específicas.
8. COEFICIENTE TERMICO DE RESISTENCIA: El cambio en resistencia de un semiconductor por unidad de cambio en temperatura sobre un rango específico de temperatura.
9. CONDENSADOR: La transformación de gases o vapores a la forma líquida o sólida, el condensador reduce a líquido el vapor geotérmico que sale por el escape de una turbina de vapor a condensación después de haber realizado trabajo.
10. CONDUCCION DE CALOR: La forma de transferencia de calor que involucra el movimiento de partículas no-macroscópicas y cuyo impulsor es el gradiente de temperatura. El flujo conductivo de calor se calcula mediante la formulación de la ley de Fourier, la cual relaciona el gradiente de temperatura en una determinada dirección espacial y la conductividad térmica del medio:

$$Q = K \frac{(dT)}{(dz)}$$

11. CURVA DE CALIBRACION: Una representación gráfica del registro de calibración.
12. ELEMENTO SENSOR: La parte del transductor que reacciona directamente a los cambios en la variable medida.

13. **ENERGIA GEOTERMICA APROVECHABLE:** El producto de la potencia eléctrica (en vatios, kilovatios o megavatios), obtenible a partir de un determinado potencial calórico del reservorio geotérmico y el tiempo (normalmente años), en el cual sus condiciones termodinámicas se reducirán a niveles no suficientes para continuar impulsando un turbogenerador eléctrico tomado como referencia. El potencial de un área geotérmica se expresa sea en términos de energía (por ejemplo 2000 Mw-año), o con el producto potencia-tiempo (100 Mw por 20 años, para el mismo ejemplo).
14. **ENTALPIA:** Calor total contenido en un fluido. Es la suma de la energía interna (U) y el factor de trabajo presión-volumen.
15. **ERROR:** La diferencia entre el valor indicado por el sensor y el valor verdadero de la medida de la variable, que está siendo sensada. Expresada usualmente en porcentajes de salida a plena escala.
16. **EXACTITUD:** El total de todas las desviaciones de una línea recta específica. Usualmente es la suma de la no linealidad, repetibilidad e histéresis, expresada como un porcentaje de la salida a plena escala.
17. **FALLA:** En geología, una fractura o zona de fracturas de la corteza, superficial o profunda, a lo largo de la cual ha ocurrido un desplazamiento de bloques litológicos.
18. **FUELLE:** Instrumento que recoge aire y lo lanza en una dirección determinada.
19. **GALGA:** En mecánica, es un instrumento de medida para longitudes y ángulos.
20. **GRADIENTE TERMICO:** La razón de incremento de la temperatura con la profundidad. Cerca de la superficie de La Tierra, varía de un lugar a otro dependiendo del flujo de calor en la región y de la conductividad térmica de las rocas. Un rango aceptado para el gradiente promedio de la corteza terrestre en general es, de 25 a 30 °C/Km.
21. **HISTERESIS:** La diferencia en la salida, cuando el valor de presión es primero aproximado con incrementos y luego con decrementos. Expresado en porcentaje a plena escala durante un ciclo de calibración.
22. **LINEALIDAD:** La cercanía de la curva de calibración a la línea recta. La linealidad es expresada como la máxima desviación de cualquier punto de calibración en una línea recta específica, durante cualquier ciclo de calibración.
23. **MANIFESTACIONES GEOTERMICAS:** Las diferentes formas de descarga natural de un suelo geotérmico (suelos humeantes, geysers, fumarolas, manantial caliente, etc), cada una con diferencias en el fluido y en el proceso físico que las origina.
24. **PIEZORESISTENCIA:** Resistencia eléctrica que cambia con la tensión o esfuerzo.
25. **PSIA:** Libras por pulgada cuadrada absolutas, referidas al vacío.
26. **PSIG:** Libras por pulgada cuadrada manométricas, referidas a la presión atmosférica.
27. **RANGO:** El valor de la variable que el medidor se propone medir, especificados por límites inferiores y superiores.

28. REINYECCION: La acción de devolver hacia el interior de un pozo, el líquido residual que obtuvo después de separar y utilizar el vapor que tenía la mezcla original extraída de otro pozo. Puede hacerse mediante bombeo o utilizando como impulsores la presión propia del líquido (a la que se separó el vapor) y la gravedad (si el pozo reinyector está a menor elevación del productor).

29. RESTRICCION: Limitación o reducción de los límites menores.

30. SATURADO (LIQUIDO, VAPOR): Una fase líquida (o de vapor), que está en equilibrio con su otra fase a una presión y temperatura dadas. El estado de saturación del agua en un diagrama P-V, es una zona donde existen la mezcla de las dos fases a lo largo de una isoterma y una isóbara, desde el punto que identifica al "líquido saturado", (inicio de la transformación gradual a vapor), hasta el punto de "vapor saturado" seco, (final de la transformación total a un vapor sin humedad).

31. SPAN: La diferencia algebraica entre los límites del rango.

32. TECTONICA: Pertenece a, o designante de las estructuras y formas externas resultantes de la deformación de la corteza terrestre.

33. TIEMPO DE RECUPERACION: El tiempo que le toma al transductor, retomar a la normalidad, después de aplicarle una prueba de presión.

34. TIEMPO DE RESPUESTA: El tiempo requerido por la salida desde el sensor o transductor para aumentar en un porcentaje especificado un valor final, como resultado de un cambio gradual en la medida.

35. TRANSDUCTOR: Un dispositivo o medio que convierte energía de una forma a otra.

36. TRANSDUCTOR MEDIDOR DE PRESION: Un sensor o transductor que mide presión en relación a la presión atmosférica.

37. VAPOR DOMINANTE: Sistema geotérmico en el cual la presión y la temperatura está controlada por la fase vapor. Diferentemente, en un sistema líquido dominante, estos parámetros son independientes y controlados en mayor medida por la fase líquida que predomina en el reservorio.