



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

Manejo de Producción en la Superficie
de Pozos Geotérmicos

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

INGENIERO PETROLERO

P R E S E N T A N :

RENE GARCIA RODRIGUEZ

MARCO ANTONIO MENDOZA BUENROSTRO





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE INGENIERIA

Dirección
60-I-12

Señores GARCIA RODRIGUEZ RENE.
MENDOZA BUENROSTRO MARCO ANTONIO.
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Profr. M.I.- José Angel Gómez Cabrera, para que lo desarrollen como tesis - - para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO PETROLERO.

"MANEJO DE PRODUCCION EN LA SUPERFICIE DE POZOS GEOTERMICOS"

- INTRODUCCION.
- I LOCALIZACION DEL INTERVALO PRODUCTOR Y TERMINACION DEL POZO.
 - II CURVAS CARACTERISTICAS DE PRODUCCION PARA ESTIMACION DE PARAMETROS EN EL POZO Y EL YACIMIENTO.
 - III DISEÑO Y OPERACION DEL EQUIPO SUPERFICIAL.
 - IV MEDICION Y MANEJO DE PRODUCCION EN LA SUPERFICIE.
 - V PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN EN POZOS GEOTERMICOS (PRODUCTORES E INYECTORES).
- CONCLUSIONES.
BIBLIOGRAFIA.

Ruego a ustedes se sirvan tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesionales, deberán - - prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses - como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente.
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D.F., Enero 10 de 1986.
EL DIRECTOR

Dr. Octavio A. Rascón Chávez

I N D I C E

	PAG.
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I.- LOCALIZACION DEL INTERVALO PRODUCTOR Y TERMINACION DEL POZO,	6
I.1.- YACIMIENTOS GEOTERMICOS.	
I.2.- PARAMETROS A CONSIDERAR PARA LA SELECCION DEL INTERVALO PRODUCTOR.	
I.3.- TERMINACION DE POZOS GEOTERMICOS.	
I.4.- APERTURA E INICIO DE EXPLOTACION DE POZOS EN UN CAMPO GEOTERMICO.	
CAPITULO II.- CURVAS CARACTERISTICAS DE PRODUCCION Y ESTIMACION DE PARAMETROS EN EL POZO Y EL YACIMIENTO.....	32
II.1.- GENERALIDADES.	
II.2.- CURVAS CARACTERISTICAS DE PRODUCCION.	
II.3.- ESTIMACION DE PARAMETROS EN EL POZO Y EL YACIMIENTO.	
CAPITULO III.- DISEÑO Y OPERACION DEL EQUIPO SUPERFICIAL.....	51
III.1.- GENERALIDADES.	
III.2.- MECANISMOS DE SEPARACION.	
III.3.- EQUIPO DE SEPARACION PARA POZOS GEOTERMICOS.	
III.4.- SILENCIADORES DE VAPOR.	

	PAG.
CAPITULO IV.- MEDICION Y MANEJO DE LA PRODUCCION- EN LA SUPERFICIE.....	70
IV.1.- GENERALIDADES.	
IV.2.- POZOS INTEGRADOS AL SISTEMA.	
IV.3.- POZOS FUERA DEL SISTEMA.	
IV.4.- MEDICION DEL VAPOR SEPARADO, UTILI- ZANDO ORIFICIOS DE ESTRANGULAMIENTO.	
IV.5.- MEDICION DEL GASTO DE AGUA SEPARADA USANDO VERTEDEROS.	
IV.6.- MEDICION DE AGUA Y VAPOR POR EL ME- TODO DE RUSSELL-JAMES, UTILIZANDO - PRESION CRITICA DE LABIO.	
CAPITULO V.- PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN EN POZOS GEOTERMICOS (PRODUCTORES E INYECTO- RES).....	106
V.1.- GENERALIDADES.	
V.2.- PROBLEMAS EN POZOS PRODUCTORES.	
V.3.- PROBLEMAS EN POZOS INYECTORES.	
C O N C L U S I O N E S	125
A N E X O A	130
B I B L I O G R A F I A	131

I N T R O D U C C I O N

LA GRAN DEMANDA ACTUAL DE ENERGÉTICOS EN EL MUNDO PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL Y LAS NECESIDADES HUMANAS HAN DADO LUGAR A LA EXPLOTACION DE NUEVAS FUENTES ENERGÉTICAS, TAL ES EL CASO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA, ES DECIR, EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR INTERNO DE LA TIERRA MANIFESTADO EN EL VAPOR OBTENIDO DEL SUBSUELO, FUENTE QUE REPRESENTA AMPLIAS PERSPECTIVAS DEBIDO A QUE LA CONVERSIÓN DE ESTA ENERGÍA EN ELECTRICIDAD, REPRESENTA UNA FORMA PRÁCTICA, VERSÁTIL Y A LA VEZ MENOS CONTAMINANTE QUE LAS ACTUALMENTE UTILIZADAS.

EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA PARA LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD TIENE SUS ORÍGENES EN ITALIA, EN LOS CAMPOS DE LARDERELLO, POR EL AÑO DE 1904. EL HECHO DE QUE EN ESE LUGAR EL VAPOR QUE SE OBTIENE DEL INTERIOR DE LA TIERRA SEA SOBRECALENTADO, FUE DETERMINANTE PARA EL INICIO DE LA GEOTERMoeLECTRICIDAD, YA QUE PUDO SER POSIBLE EL USO DE LAS TURBINAS DE VAPOR CONVENCIONALES, AUNQUE ALGUNAS DE ELLAS CONSTRUI-

DAS CON MATERIALES ESPECIALES PARA RESISTIR LA CORROSIÓN Y LA EROSIÓN.

EXISTEN OTROS TIPOS DE YACIMIENTOS COMO SON-
LOS DE LÍQUIDOS DOMINANTES, EN LOS CUALES SU EXPLOTA-
CIÓN PUDO REALIZARSE HASTA 1958 CUANDO SE CONSTRUYÓ EN
WAIKAKAI, NUEVA ZELANDA. LA PRIMERA PLANTA EN ESTE TI-
PO DE CAMPOS GEOTÉRMICOS. EN ESTOS YACIMIENTOS EL ----
FLUÍDO OBTENIDO EN EL CABEZAL DE LOS POZOS EN UNA MEZ-
CLA LÍQUIDO-VAPOR, QUE ES NECESARIO SEPARAR PARA DES-
PUÉS APROVECHAR EL VAPOR EN UNA TURBINA CONVENCIONAL,-
PUES EL TIPO DE TURBINAS LLAMADAS DE FLUJO TOTAL (AGUA
VAPOR), CAPAZ DE MANEJAR LA MEZCLA, AÚN SE ENCUEN-
TRAN EN SU ETAPA EXPERIMENTAL.

EL TENER QUE SEPARAR LA MEZCLA NO FUE EL ÚNI-
CO FACTOR QUE RETRAZÓ EL APROVECHAMIENTO DE LOS YACI-
MIENTOS DE LÍQUIDO DOMINANTE CON RESPECTO A LOS DE VA-
POR SECO. OTRO DE LOS FACTORES FUE QUE EL LÍQUIDO SEPA-
RADO DE LA MEZCLA CONTIENE UNA GRAN CANTIDAD DE SÓLI-
DOS DISUELTOS, ALGUNOS DE ELLOS CON CARACTERÍSTICAS TÓ

XICAS, CORROSIVAS O INCRUSTANTES, POR LO QUE NO ES POSIBLE DESCARGARLO DIRECTAMENTE A LOS CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES, SIN ANTES HABERLE DADO UN TRATAMIENTO QUÍMICO, DE LO CONTRARIO SE CORRE EL RIESGO DE CAUSAR UN DAÑO ECOLÓGICO IRREVERSIBLE. UNA DE LAS SOLUCIONES A ESTE PROBLEMA QUE PARECE MÁS FACTIBLE TANTO DEL PUNTO DE VISTA TÉCNICO COMO ECONÓMICO, ES EL DE REGRESAR EL LÍQUIDO SEPARADO A LOS MANTOS ACUÍFEROS SUBTERRÁNEOS A TRAVÉS DE POZOS DE REINYECCIÓN.

APARTE DE LOS SÓLIDOS DISUELTOS EN LA FASE LÍQUIDA, LA MEZCLA TRAE CONSIGO UNA CANTIDAD CONSIDERABLE DE GASES INCONDENSABLES, QUE SON ALTAMENTE CORROSIVOS, ÉSTOS GASES TAMBIÉN SE ENCUENTRAN PRESENTES EN EL VAPOR DE LOS YACIMIENTOS DE VAPOR SECO, EN LOS QUE ADEMÁS SE ENCUENTRA OTRO CONTAMINANTE: POLVO DE SÍLICE -- SUSPENDIDO EN EL VAPOR.

EL USO DE LAS TURBINAS DE VAPOR IMPONE RESTRICCIONES SEVERAS A LA CANTIDAD DE HUMEDAD QUE LLEVA EL VAPOR. EN LAS PLANTAS TERMOELÉCTRICAS EL VAPOR QUE-

ADMITE LA TURBINA ES NORMALMENTE SOBRECALENTADO A PRE--
SIONES ALTAS, PERO A MEDIDA QUE SE EXPANDE Y YA EN LAS--
ÚLTIMAS ETAPAS DE LA TURBINA, EL VAPOR CAE DENTRO DE LA
ZONA DE SATURACIÓN, CON UNA CALIDAD INFERIOR AL 100%. -
ESTA HUMEDAD PUEDE OCASIONAR FUERTES EROSIONES A LOS --
ÁLABES DE LA TURBINA Y ES TAMBIÉN LA CAUSA DE QUE BAJE--
LA EFICIENCIA DE LA MISMA; SE HA DETERMINADO QUE POR CA
DA 1% QUE SE INCREMENTE LA HUMEDAD, LA TURBINA REDUCE -
SU EFICIENCIA EN 1%.

PARA LAS PLANTAS GEOTERMOELÉCTRICAS EL VAPOR--
UTILIZADO PUEDE SER SOBRECALENTADO O SATURADO. EN EL CA
SO DE VAPOR SOBRECALENTADO NO HAY PROBLEMAS CON LA HUME
DAD EN LA ADMISIÓN AUNQUE SI HAY PROBLEMAS CON POLVOS Y
ARENAS, QUE ES NECESARIO ELIMINARLE. EL VAPOR SATURADO--
NORMALMENTE SE ADMITE A LA TURBINA CON UNA CALIDAD DEL--
99.9% O MAYOR, DEPENDIENDO DE LA EFICIENCIA DE LOS EQUI
POS DE SEPARACIÓN, SIENDO EN ESTE CASO MÁS CRÍTICO EL -
PROBLEMA DE LA HUMEDAD, YA QUE ÉSTA SE ENCUENTRA PRESENE
TE EN LA TURBINA DESDE LA ADMISIÓN, INCREMENTÁNDOSE A -
MEDIDA QUE SE EXPANDE EL VAPOR, CONTANDO ADEMÁS CON LOS

SÓLIDOS DISUELTOS EN ELLA QUE PUEDEN CAUSAR INCrustaciones y erosiones.

EN BASE A LO EXPUESTO ANTERIORMENTE ES EVIDENTE LA NECESIDAD DE EQUIPO SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL PARA LA MEDICIÓN Y SEPARACIÓN DE HUMEDAD, ASÍ COMO UNA TERMINACIÓN OPTIMIZADA EN LOS POZOS GEOTÉRMICOS QUE PERMITAN EL ABASTECIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN A LAS TURBINAS PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD.

DADAS LAS AMPLIAS PERSPECTIVAS QUE PRESENTA LA ENERGÍA GEOTÉRMICA, SE HACE NECESARIO DE TÉCNICAS Y MÉTODOS CONFIABLES PARA LA TERMINACIÓN DE POZOS, MEDICIÓN Y MEJOR APROVECHAMIENTO DE ESTA FUENTE ENERGÉTICA; EN BASE A ESTO, EL PRESENTE TRABAJO TRATA ACERCA DE LOS MÉTODOS CONVENCIONALES USADOS EN EL DISEÑO, SELECCIÓN, MEDICIÓN Y MANEJO DE LA PRODUCCIÓN EN CAMPOS GEOTÉRMICOS.

I.- LOCALIZACION DEL INTERVALO PRODUCTOR Y TERMINACION DEL POZO,

I.1.- YACIMIENTOS GEOTERMICOS.

LA CORTEZA DE LA TIERRA ESTA CONSTITUIDA POR ENORMES PLACAS EN CONTINUO MOVIMIENTO, LO QUE DA LUGAR A PLIEGAMIENTOS, FRACTURAS Y FALLAS QUE CARACTERIZAN A LOS ESTRATOS DE LA PROPIA CORTEZA. ES AHÍ EN ESTAS ZONAS DE DEBILIDAD DE LA CORTEZA TERRESTRE DONDE LAS INTRUSIONES MAGMÁTICAS SON MAS FRECUENTES Y ÉSTAS SE APROXIMAN A LA SUPERFICIE. ESTAS FALLAS Y FRACTURAS FUNCIONAN COMO DUCTOS ENTRE UN ACUÍFERO Y LA ROCA ORIGINADA DEL MAGMA, PONIÉNDOSE EN CONTACTO AMBOS, CON LO CUAL EL CALOR DE LA ROCA ES TRANSMITIDO AL FLUIDO, YA SEA POR CONTACTO O CONVECCIÓN. A ESTE CONJUNTO DE EVENTOS SE LE LLAMA YACIMIENTO GEOTÉRMICO.

LOS ELEMENTOS NECESARIOS PARA LA EXISTENCIA DE UN YACIMIENTO GEOTÉRMICO SON:

- A).- LA EXISTENCIA DE UNA FUENTE DE CALOR.
- B).- LA EXISTENCIA DE UNA ZONA PERMEABLE QUE PERMITA LA PRESENCIA DE UN FLUIDO.
- C).- UNA CAPA SELLO QUE CUBRA EL YACIMIENTO.

D).- LA PRESENCIA DE UNA CARGA GEOHIDROLÓGICA QUE ALIMENTE AL YACIMIENTO GEOTÉRMICO.

DENTRO DE LOS REQUERIMIENTOS NECESARIOS CON RESPECTO AL APROVECHAMIENTO DEL YACIMIENTO GEOTÉRMICO SE TIENEN QUE PRESENTAR LAS SIGUIENTES CARACTERÍSTICAS:

- 1.- SU TEMPERATURA DEBE SER MAYOR O IGUAL A 200 °C.
- 2.- ESTAR LOCALIZADO A UNA PROFUNDIDAD NO MAYOR DE 3000 m
- 3.- CONTENER FLUIDOS EN CANTIDADES SUFICIENTES PARA TRANSMITIR EL CALOR DE LA SUPERFICIE HASTA LA PLANTA GEOTERMOELÉCTRICA.
- 4.- UN VOLUMEN DE YACIMIENTO ADECUADO (MAYOR DE 5 Km³).
- 5.- UNA PERMEABILIDAD TAL QUE PERMITA UN FLUJO ACEPTABLE DE FLUIDOS DEL YACIMIENTO - HACIA EL POZO.
- 6.- LA PRESIÓN DE VAPOR EN LA SUPERFICIE DEBE SER MAYOR DE 7 Kg/cm², DADO QUE ES LA PRESIÓN MÍNIMA A LA QUE OPERAN LA MAYOR PARTE DE LAS TURBINAS ACTUALES.

I.2.- PARAMETROS A CONSIDERAR PARA LA SELECCION DEL INTERVALO PRODUCTOR.

PARA CONSIDERAR UN INTERVALO DADO COMO POSI-

BLE PRODUCTOR, ÉSTE DEBE REUNIR DOS CONDICIONES BÁSICAS:

- 1.- BUENAS CONDICIONES DE PERMEABILIDAD, QUE PERMITA LA PRESENCIA DE UN FLUIDO Y LA POSIBLE PRODUCCIÓN DE ÉSTE.
- 2.- UNA TEMPERATURA ALTA, CON LO QUE EL FLUIDO QUE SATURA LA ROCA PUEDA CONSIDERARSE COMO EXPLOTABLE.

LA LOCALIZACIÓN DE UNA ZONA PERMEABLE, OCURRE DURANTE LA PERFORACIÓN DEL POZO Y EL INDICIO MÁS CONFIABLE SON LAS PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN, LO QUE PERMITE LOCALIZAR LAS ZONAS DE PÉRDIDA PARCIAL O TOTAL DE CIRCULACIÓN, CON EL FIN DE UBICAR LAS ZONAS PERMEABLES.

DICHAS PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN SE CLASIFICAN DE LA SIGUIENTE MANERA:

- A).- 0 - 15 m³/hr. , ZONA POCO PERMEABLE.
- B).- 15 - 45 m³/hr. , ZONA PERMEABLE.
- C).- 45 - 60 m³/hr. , ZONA ALTAMENTE PERMEABLE.

CABE ACLARAR QUE LOS VALORES ANTERIORES NO -

DEBEN TOMARSE COMO UNA REGLA, SINO COMO VALORES INDICATIVOS, CORRELACIONABLES CON PRUEBAS DE PRESIÓN DURANTE LA PERFORACIÓN, LO QUE PROPORCIONARÁ UN ÍNDICE DE TRANSMISIBILIDAD (K_h/μ).

YA UNA VEZ LOCALIZADA O ESTABLECIDA UNA ZONA PERMEABLE, SE PROCEDE A CORRELACIONARLA CON OTROS PARÁMETROS QUE DAN LA PAUTA, PARA DECIR QUE LA ZONA PUEDE SER POTENCIALMENTE PRODUCTORA O QUE ECONÓMICAMENTE NO SEA EXPLOTABLE; LOS PARÁMETROS CORRELACIONABLES SON LOS SIGUIENTES:

A).- LA DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN Y OCURRENCIA DE LOS PRINCIPALES MINERALES SECUNDARIOS, LOS CUALES SON EL RESULTADO DE LA ALTERACIÓN DE LA ROCA, OCASIONADA POR LOS FLUIDOS HIDROTERMALES Y SON UN ÍNDICE DE LAS PROBABLES ZONAS PRODUCTORAS.

B).- ES DETERMINANTE LA PRESENCIA DE MINERALES CUYA GÉNESIS ESTA INTIMAMENTE LIGADA CON LOS NIVELES TÉRMICOS DEL YACIMIENTO. EN LA FIG. 1.1.- SE INDICAN LAS TEMPERATURAS OBTENIDAS ESTADÍSTICAMENTE EN EL CAMPO DE -

PRESENCIA DE MINERALES HIDROTERMALES
ASOCIADOS A LA TEMPERATURA DE FORMACION

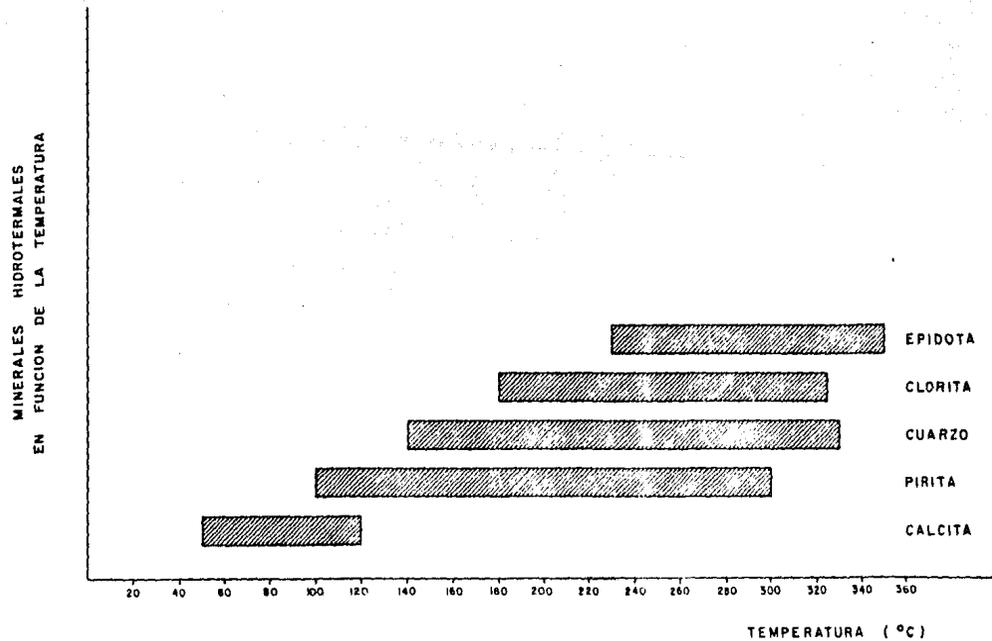


Fig. 1.-1

CERRO PRIETO, PARA DICHS MINERALES, LOS CUALES FUERON IDENTIFICADOS EN LAS MUESTRAS DE CANAL, DEDUCIENDO NIVELES TÉRMICOS QUE DEBEN EXISTIR EN LA ZONA DE ORIGEN DE LA MUESTRA.

c).-UNA HERRAMIENTA QUE EN ALGUNOS CASOS SE UTILIZA, PERO DE LA CUAL NO SIEMPRE SE DISPONE, DEBIDO A SU ALTO COSTO, SON LOS REGISTROS ELÉCTRICOS. DONDE EN BASE A LA EXPERIENCIA SE HA DETERMINADO QUE LAS ZONAS PRODUCTORAS, TIENEN VALORES BAJOS DE RESISTIVIDAD DE ALREDEDOR DE $10 \text{ Ohms} \cdot \text{m}$

d).- DURANTE LA PERFORACIÓN, SE HACEN MEDICIONES DE LA TEMPERATURA DE ENTRADA Y SALIDA DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN, LA CUAL SE USA EN FORMA CUALITATIVA, PARA DETERMINAR UNA ZONA DE ALTA TEMPERATURA.

e).- EL PARÁMETRO QUE DETERMINA EN FORMA CUANTITATIVA EL VALOR DE TEMPERATURA PARA UNA FORMACIÓN, SON LOS REGISTROS DE TEMPERATURA POR MEDIO DE UN ELEMENTO LLAMADO "KUSTER", LOS CUALES SE TOMAN A CIERTOS INTERVALOS DE TIEMPO DE REPOSO DEL POZO, AD-

JUNTO A ESTE REGISTRO SE CORRE UNO DE PRESIÓN.

CON LA INFORMACIÓN ANTERIOR DEBIDAMENTE ANALIZADA Y CORRELACIONADA, ES POSIBLE DEFINIR CON BUENA APROXIMACIÓN LA ZONA O ZONAS CON MAYOR PERMEABILIDAD Y TEMPERATURA, QUE EN RESÚMEN SERÁN LOS QUE PRODUZCAN EL MAYOR VOLUMEN DE FLUIDO HIDROTHERMAL MÁS CALIENTE.

EL OBJETIVO FUNDAMENTAL DE LO ANTERIOR, ES DEFINIR ÚNICAMENTE AQUEL ESTRATO O ESTRATOS QUE OFRESCAN LAS MÁXIMAS CONDICIONES TÉRMICAS FAVORABLES, A FIN DE EVITAR QUE SE FILTREN O ESCURRAN MEZCLAS DE AGUAS, CUYA TEMPERATURA SEA MENOR, YA QUE ÉSTO ORIGINARÍA VARIOS PROBLEMAS: PRIMERO, LA PÉRDIDA DE ENERGÍA TÉRMICA CON LA MEZCLA DE AGUA MENOS CALIENTE; SEGUNDO, LAS REACCIONES GEOQUÍMICAS AL MEZCLARSE AGUAS DE DIFERENTES CALIDADES; ORIGINARÍAN FACILMENTE INCRUSTACIONES EN EL "LINER", EN EL INTERIOR DE LA TUBERÍA DE PRODUCCIÓN Y EN EL YACIMIENTO, BLOQUEANDO CON EL PASO DEL TIEMPO, EL FLUJO NORMAL QUE DE ACUERDO AL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA DE PRODUCCIÓN DEBE OBTENERSE, DEBIENDO POR TANTO, HACER

CONTINUAMENTE, TRABAJOS DE MANTENIMIENTO, LIMPIEZA Y -
REPARACIÓN DE LOS POZOS, INVERSIONES MUY COSTOSAS.

UNA VEZ DEFINIDO EL INTERVALO PRODUCTOR, SE-
PROCEDE A LA COLOCACIÓN DE LA TUBERÍA CORTA "LINER", -
LA CUAL VA COMBINADA, CIEGA Y RANURADA. DANDO POR TER-
MINADO EL POZO Y LISTO PARA INICIAR A PRODUCIR, EVA---
LUANDO SU POTENCIAL PREVIAMENTE.

DE LAS TERMINACIONES REALIZADAS EN EL CAMPO-
GEOTÉRMICO DE LOS AZUFRES, SE CONSIDERAN DOS CASOS PA
RA ILUSTRAR LO ANTERIOR EN LAS FIGS. I.2 Y I.5, SE ---
MUESTRAN LAS TERMINACIONES DE LOS POZOS AZUFRES 26 Y -
AZUFRES 38 .RESPECTIVAMENTE.

EL POZO AZUFRE 26 FUE TERMINADO A LA PROFUN-
DIDAD DE 1241.00 m , YA QUE LA PERFORACIÓN DEL INTERVA
LO DE 1200.00 A 1241.00 m , SE LLEVÓ A CABO CON PÉRDI-
DA TOTAL DE CIRCULACIÓN, CON LO QUE SE CONSIDERÓ A ES-
TE INTERVALO COMO UNA ZONA ALTAMENTE PERMEABLE, CORRE-
LACIONABLE CON LAS ELEVADAS TEMPERATURAS DEL FLUIDO DE
PERFORACIÓN A LA SALIDA. (FIG. I.3) Y CON LA TEMPERATU

PARAMETROS USADOS PARA LA TERMINACION DEL POZO AZUFRES N° 26

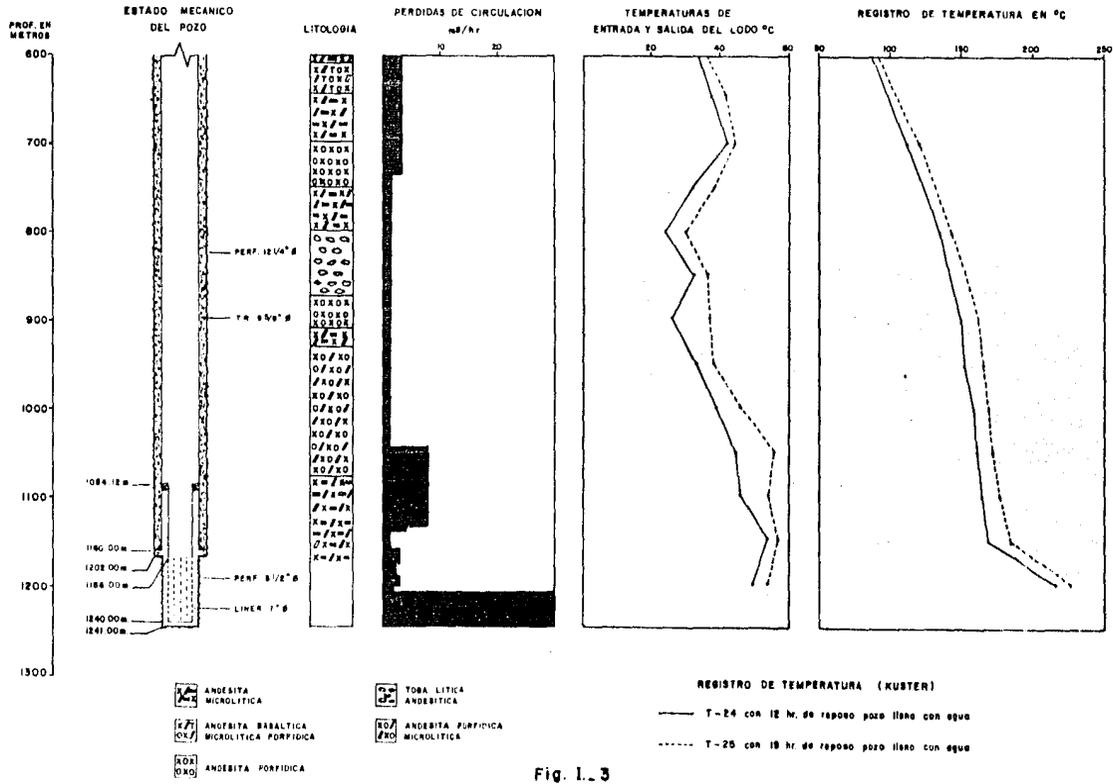


Fig. I.- 3

GRAFICA DE MINERALES SECUNDARIOS DE ALTERACION HIDROTHERMAL
 PROMEDIADOS A INTERVALOS DE 50m. EN EL POZO AZUFRES 26

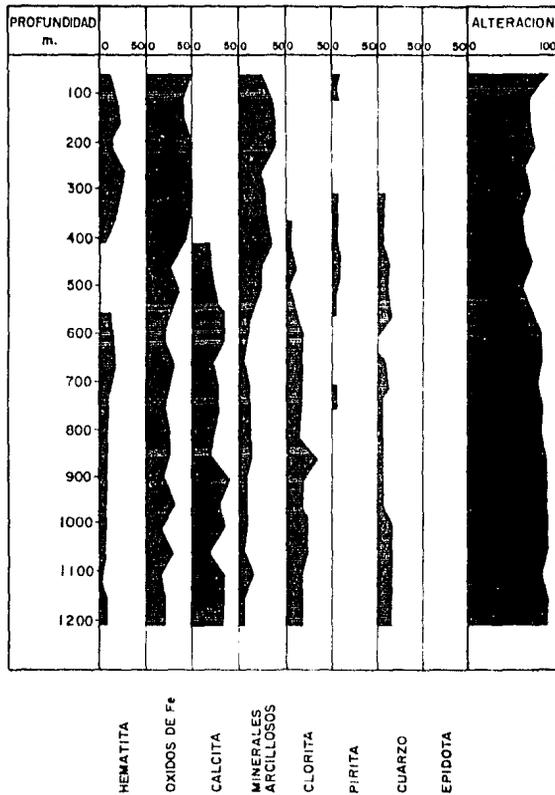


Fig. 1.-4

RAS DE MÁS DE 220°C REGISTRADAS CON EL ELEMENTO KUSTER.

EN LA FIG. I.4., DE LA COLUMNA LITOLÓGICA, ES VISIBLE EL GRADO DE ALTERACIÓN Y LA PRESENCIA DE LOS MINERALES SECUNDARIOS, ORIGINADOS POR EL FLUJO HIDROTHERMAL. LA CALCITA SE PRESENTA EN GRAN CANTIDAD DE LOS 400.00 m , HACIA ABAJO Y EN PROPORCIONES MUCHO MENORES LA CLORITA, PIRITA Y CUARZO; LO CUAL HACE SUPONER PARA ESTE HORIZONTE NIVELES DE TEMPERATURA DE 200°C O MAYORES.

EL POZO ÁZUFRES 38, SE TERMINÓ A LA PROFUNDIDAD DE 752.00 m , DURANTE LA PERFORACIÓN DE ESTE POZO SE PRESENTARON DOS INTERVALOS, EN DONDE SE PERFERÓ CON PÉRDIDA TOTAL DE CIRCULACIÓN. LA PRIMERA SE PRESENTÓ A 240.00 m , (FIG. I.6), ESTE INTERVALO SE EVALUO, MEDIANTE LA TOMA DE REGISTROS DE TEMPERATURA, LOS CUALES REPORTARON VALORES BAJOS DE TEMPERATURA; POR LO QUE SE DECIDIO OBTURARLO Y CONTINUAR CON LA PERFORACIÓN.

LA SEGUNDA ZONA, EN DONDE SE PERFORÓ CON PÉRDIDA TOTAL DE CIRCULACIÓN, SE PRESENTÓ DE 732.0m A

752.00 m. EL REGISTRO DE TEMPERATURA CON EL ELEMENTO - KUSTER, REPORTA UNA TEMPERATURA DE 275°C EN ESTE - INTERVALO. POR OTRO LADO, DE LAS TEMPERATURAS DE ENTRA DA Y SALIDA DE FLUIDO DE PERFORACIÓN, SE PUEDE VER QUE A PARTIR DE LOS 700.00 m , LA DIFERENCIA ENTRE ESTAS - TEMPERATURAS FUE MAYOR DE LOS 10°C., INFORMACIÓN SIGNI FICATIVA DEL PODER TÉRMICO DE LOS ESTRATOS PERFORADOS.

EN LA FIG. I.7., ES NOTABLE LA PRESENCIA DE- CUARZO DESDE 50.0m A 700.0 m ASÍ COMO LA CLORITA A - LAS MISMAS PROFUNDIDADES, ENCONTRÁNDOSE EN MENOR PRO-- PORCIÓN HEMATITA Y PIRITA. LA PRESENCIA DE CUARZO Y -- CLORITA EN MAYOR CONCENTRACIÓN, INDICAN QUE EN ES- TA ZONA, SE ALCANZAN TEMPERATURAS ALREDEDOR DE LOS --- 300°C.

ES OBVIO, QUE MIENTRAS MÁS INFORMACIÓN SE -- TENGA, SE PODRÁ DEFINIR CON MAYOR DETALLE EL INTÉRVALO PRODUCTOR. POR LO CUAL ES NECESARIO HACER USO DE TODOS LOS ELEMENTOS POSIBLES, PARA PODER DISPONER DE INFORMA CIÓN PRECISA Y ABUNDANTE.

GRAFICA DE MINERALES SECUNDARIOS DE ALTERACION HIDROTHERMAL
 PROMEDIADOS A INTERVALOS DE 50m. EN EL POZO AZUFRES 38

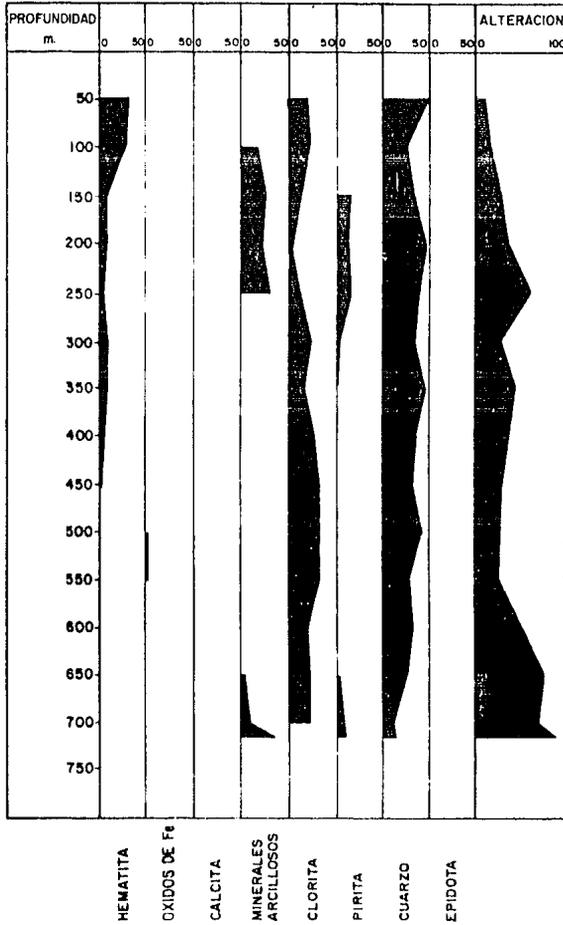


Fig. I..7

1.3.- TERMINACION DE POZOS GEOTERMICOS

LA FUNCIÓN DE UN POZO GEOTÉRMICO, ES PROPORCIONAR UN CONDUCTO DEL YACIMIENTO A LA SUPERFICIE, A TRAVÉS DEL CUAL LOS FLUIDOS PUEDAN SER PRODUCIDOS O INYECTADOS. LA EFECTIVIDAD DE LA COMUNICACIÓN ENTRE LA FORMACIÓN PRODUCTORA Y EL POZO, INFLUYEN EN LAS CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO, EN EL DRENE DE LOS FLUIDOS CONTENIDOS EN EL YACIMIENTO Y EN LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO.

POR LO ANTERIOR ES INDUDABLE, QUE UNO DE LOS ASPECTOS MÁS TRASEDENTALES EN LA PERFORACIÓN DE UN POZO GEOTÉRMICO, ES LA QUE SE DENOMINA TERMINACIÓN; QUE EN NUESTRO CASO, SE REFIERE A TODAS AQUELLAS OPERACIONES, PROCEDIMIENTOS Y SISTEMAS, PARA DEFINIR EL DISEÑO DE LOS ADEMÉS Y LINER, QUE ESPECIALMENTE VAN A PERMITIR EL FLUJO DE FLUIDO GEOTÉRMICO DEL YACIMIENTO A LA SUPERFICIE.

LA TERMINACIÓN IDEAL DE UN POZO, MINIMIZA EL COSTO INICIAL DE OPERACIÓN AL MISMO TIEMPO QUE PUEDA -

SER EL CAMINO MÁS EFICIENTE DEL FLUJO DE LOS FLUIDOS GEOTÉRMICOS.

COMO SE APRECIA EN LA FIG. 1.2. Y 1.5., LA TERMINACIÓN TÍPICA EN EL CAMPO GEOTÉRMICO DE LOS AZUFRES, MICH., ES LA TERMINACIÓN EN AGUJERO DESCUBIERTO CON LINER. COLOCANDO FRENTE AL INTERVALO PRODUCTOR, TUBERÍA RANURADA, PARA IMPEDIR EL PASO DE LA ARENA, LOGRANDO DE ESTA MANERA CONTENER LAS PAREDES DEL POZO.

ESTE TIPO DE TERMINACIÓN ES POCO COSTOSO, OFRECIENDO LAS SIGUIENTES VENTAJAS:

1.- EL DAÑO CAUSADO A LA FORMACIÓN PRODUCTORA, SOLO ES CAUSADO POR LA INVASIÓN DE AGUA DEL FILTRADO Y DE LA ARCILLA DEL LODO UTILIZANDO DURANTE LA PERFORACIÓN; SIENDO MENOR QUE EN EL CASO DEL POZO COMPLETAMENTE ADEMADO.

2.- LA GRAN SUPERFICIE DE ROCA EXPUESTA POR LA PARED DEL POZO, AL FLUJO DE LOS FLUIDOS CONTENIDOS EN EL YACIMIENTO.

3.- ADEMÁS SE TIENE EL MÁXIMO DIÁMETRO DE TUBERÍA EXPUESTA AL FLUJO DE LOS FLUIDOS, OBTENIENDO UN GASTO MÁXIMO Y REDUCIENDO LAS PÉRDIDAS DE PRESIÓN POR FRICCIÓN DENTRO DE LA TUBERÍA.

DESVENTAJAS:

1.- CON EL TIEMPO, EN EL LINER, LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO QUE SIRVE COMO PRODUCTORA, SE PRESENTAN PROBLEMAS DE CORROSIÓN Y EROSIÓN, LO CUAL OCASIONA REPARACIONES MUY COSTOSAS.

2.- EL POCO CONTROL, QUE SE TIENE DE LOS INTERVALOS QUE ESTAN APORTANDO FLUIDOS. PUDIENDO APORTAR ALGUNO DE ELLOS, MEZCLA DE AGUA-VAPOR DE MENOR TEMPERATURA, BAJANDO LA CALIDAD DEL FLUIDO PRODUCIDO.

LOS CRÍTERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LAS TUBERÍAS PARA LA TERMINACIÓN DE LOS POZOS, INICIALMENTE SIGUIERON LOS COMUNMENTE USADOS EN POZOS PETROLEROS, PERO A MEDIDA QUE SE INVESTIGÓ, LA IMPORTANCIA DE LA TEMPERATURA Y LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUIDOS GEOTÉRMICOS,-

SE MODIFICÓ DICHO CRITÉRIO PARA OPTIMIZAR LAS TERMINACIONES, ALARGANDO LA VIDA DEL POZO.

DICHAS MODIFICACIONES SON:

A).- UTILIZACIÓN DE ROSCAS ESPECIALES, YA --
QUE EN UN PRINCIPIO SE UTILIZARON ROSCAS REDONDAS NOR-
MAS A.P.I., 8 HILOS POR PULGADA, CUYA CAPACIDAD MECÁNI-
CA FUE INSUFICIENTE.

B).- DIFERENTES ARREGLOS PARA LAS T.R.S. DEN-
TRO DE ESTE ASPECTO, MODIFICACIONES EN EL GRADO DE ACE-
RO DE LAS TUBERÍAS, QUE EN ALGUNOS CASOS SIGNIFICA, UN
INCREMENTO IMPORTANTE EN EL ESPESOR DE LA PARED DE LA-
TUBERÍA.

C).- MODIFICACIONES EN LOS DIFERENTES TIPOS-
DE MEZCLAS DE CEMENTOS Y ADITIVOS QUÍMICOS PARA ELABO-
RAR ESTAS, CON LO QUE SE HA OBTENIDO BUENOS RESULTADOS.

D).- LA UTILIZACIÓN DE DISTINTOS ACCESORIOS-
PARA T.R., Y AUN MODIFICACIONES EN EL TIPO DE ANCLAJE-
DE LOS ÁRBOLES DE VÁLVULAS, ASÍ COMO CIERTOS AJUSTES -

EN LOS DISEÑOS DE CRUCES, VÁLVULAS Y BRIDAS.

LAS CAUSAS PRINCIPALES QUE HAN MOTIVADO DICHAS MODIFICACIONES SON:

1).- FALLAS MÉCANICAS EN LOS ADEMES, OCASIONADOS POR ESFUERZOS DE TENSIÓN Y COMPRESIÓN, DEBIDO A LAS ELEVADAS TEMPERATURAS HABITUALES EN UN YACIMIENTO GEOTÉRMICO.

2).- LAS INCRUSTACIONES TANTO DENTRO DE LA TUBERÍA DE PRODUCCIÓN, TUBERÍAS CORTAS RANURADAS E INSTALACIONES SUPERFICIALES.

3).- EL PROBLEMA MÁS GRAVE HABIENDO TRANSCURRIDO CIERTO TIEMPO, DESPUÉS DE LA TERMINACIÓN DEL POZO, HA SIDO LA CORROSIÓN EN LOS EDEMES, ASOCIADO A LA DEGRADACIÓN DE LOS CEMENTOS DEBIDO A EFECTOS TÉRMICOS.

LAS MODIFICACIONES EN CUANTO A DIÁMETRO, GRADO, PESO Y TIPO DE ROSCAS EN LAS TUBERÍAS, SE PUEDEN APRECIAR EN LA TABLA NÚM. I.1. TAMBIÉN SE HAN MODIFICADO LOS ARREGLOS Y LAS PROFUNDIDADES A LAS QUE VAN COLO-

FECHA DE CONST.	TUBERIA CONDUCTORA				TUBERIA SUPERFICIAL				TUBERIA INTERMEDIA				TUBERIA DE PRODUCCION				LINER RANURADO (PRODUCCION)			
	Ø	PESO	GRADO	TIPO DE JUNTA	Ø	PESO	GRADO	TIPO DE JUNTA	Ø	PESO	GRADO	TIPO DE JUNTA	Ø	PESO	GRADO	TIPO DE JUNTA	Ø	PESO	GRADO	TIPO DE JUNTA
	pg.	lb./pie			pg.	lb./pie			pg.	lb./pie			pg.	lb./pie			pg.	lb./pie		
1964	22	45.24	B	SOLD	18	65	H-40	CCRR	11 3/4	47	J-55	R.B.					7 5/8	26.4	N-80	R.B.
1968 -- 1974					18	65	H-40	CCRR	11 3/4	47 60	J-55 K-55	R.B. R.B.	7 5/8	26.4	K-55	R.B.				
1977 -- 1978	22		CD. 40	SOLD	18	75	K-55	R.B.	11 3/4	65	K-55	R.B.	7 5/8	45.3	K-55	HYD. S.E.U.				
1978 -- 1980					20	94	H-40	CCRR	13 3/8	61	K-55	R.B.	9 5/8	43.5	N-80	H.B.	7	29	N-80	HYD. S.E.U.
1980	30	98.93	B	SOLD	20	106.5	J-55	R.B.	13 3/8	68.0	K-55	R.B.	9 5/8	47	C-75	HYD. S.E.U.	7	29	C-75	HYD. S.E.U.

CCRR — COPL. CORTO ROSCA REDONDA

R.B. — ROSCA BUTTRESS

SOLD — SOLDABLE

HYD S.E.U. — ROSCA HYDRILL SUPER E.U.

Tabla I..1

CADAS.

ESTOS CAMBIOS FUERON PARA INCREMENTAR, LAS --
CAPACIDADES MECÁNICAS TANTO EN LAS ROSCAS, COMO EN EL-
CUERPO DE LAS TUBERÍAS PARA SOPORTAR MEJOR LOS ESFUER-
ZOS QUE SE PRESENTAN DEBIDO AL EFECTO TÉRMICO. ADEMÁS-
CON LOS CAMBIOS EN CUANTO A GRADOS Y ESPESORES DE TUBE
RÍAS, SE HA INTENTADO DISMINUIR LA SEVERIDAD DE LA CO-
RROSIÓN.

LAS SOLUCIONES O MODIFICACIONES, QUE SE HAN -
INTENTANDO, PARA RESOLVER LOS DISTINTOS PROBLEMAS QUE-
SE HAN PRESENTADO, HAN PERMITIDO OBTENER UNA MEJORÍA -
CONSTRUCTIVA Y RESULTADOS GENERALES, QUE EN CONJUNTO,-
HAN CONTRIBUIDO EN ALARGAR LA VIDA ÚTIL DE LOS POZOS.

1.3.- APERTURA E INICIO DE EXPLOTACION DE POZOS EN UN CAMPO GEOTERMICO.

DEBIDO A QUE EN UN PRINCIPIO, EL ARRANQUE DE
UN POZO GEOTÉRMICO, ERA EL MISMO QUE EL DE UN POZO PE-
TROLERO, QUE FUE LA APERTURA INMEDIATA A LA TERMINACIÓN -
DEL POZO, ORIGINÁNDOSE UN INCREMENTO SÚBITO DE TEMPERATURA --

Y PRESIÓN. ESTO ORIGINÓ DILATACIONES QUE CAUSARON COMPLICACIONES MÉCICAS EN LA SUPERFICIE Y EN EL SUBSUELO, TALES COMO FALLAS, COLAPSOS, FRACTURAS. ETC., - SE HIZO UN CUIDADOSO ESTUDIO, CONCLUYENDO QUE UNA DE LAS CAUSAS MÁS SIGNIFICATIVAS DE TALES PROBLEMAS, FUE EL ARRANQUE SÚBITO DE POZO; POR TAL MOTIVO SE MODIFICÓ EL ARRANQUE DE LOS POZOS.

LA SECUENCIA PARA LA APERTURA DE LOS POZOS -- GEOTÉRMICOS, SE ESTABLECIERON LOS PERÍODOS SIGUIENTES:

- 1).- PERÍODO DE OBSERVACION.
- 2).- PERÍODO DE INDUCCIÓN (CUANDO SE REQUIERE).
- 3).- PERÍODO DE CALENTAMIENTO.
- 4).- PERÍODO DE DESARROLLO.

PERÍODO DE OBSERVACION.

DESPUÉS DE HABER EFECTUADO EL LAVADO DEL POZO, SE HACEN LAS INSTALACIONES NECESARIAS AL CARRETE ADAPTADOR DEL ÁRBOL PARA CONECTAR MANÓMETROS Y REGISTRADORES DE PRESIÓN, PARA QUE EN FORMA CONTÍNUA SE REUNA LA INFORMACIÓN NECESARIA QUE PERMITA JUZGAR SU EVOLUCIÓN. SIMUL-

TÁNEA A DICHA INSTALACIÓN SE COLOCA EL INDICADOR Y LA ESCALA ADECUADA PARA MEDIR EL CRECIMIENTO DE LAS TUBERÍAS DE ADEME, COMO RESULTADO DE LA EXPANSIÓN LONGITUDINAL POR EFECTO TÉRMICO.

TAMBIÉN SE INICIA UNA SERIE DE REGISTROS -- QUE TIENE COMO OBJETIVO CONFIRMAR LA ADECUADA COLOCACIÓN DEL LINER Y SOBRE TODO OBSERVAR EL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA CON RESPECTO AL TIEMPO.

INFORMACIÓN QUE SE CONSIDERA MUY IMPORTANTE, YA QUE DE SU ANÁLISIS PODRÁN DEFINIRSE LOS ESTRATOS -- QUE APORTAN LA MAYOR ENERGÍA TÉRMICA, PARA AFINAR EL CONOCIMIENTO DE LA ZONA PARA LAS SUBSECUENTES TERMINACIONES (FIG. I.9).

PARALELO A DICHOS REGISTROS SE INICIAN LOS -- DE CALIBRACIÓN, PARA VIGILAR LOS CAMBIOS DE DIÁMETRO DE LA TUBERÍA DE PRODUCCIÓN, A FIN DE DETECTAR CUALQUIER ANOMALÍA.

EN ESTA ETAPA SE TIENE ESPECIAL CUIDADO EN VIGILAR LA POSICIÓN QUE INICIALMENTE OCUPÓ EL NIVEL --

CURVAS DE REGISTROS DE TEMPERATURA DE UN POZO
 DURANTE DOS PERIODOS DE OBSERVACION
 (CURVAS A, B, C, D) Y CALENTAMIENTO (CURVAS E, F, G, H)

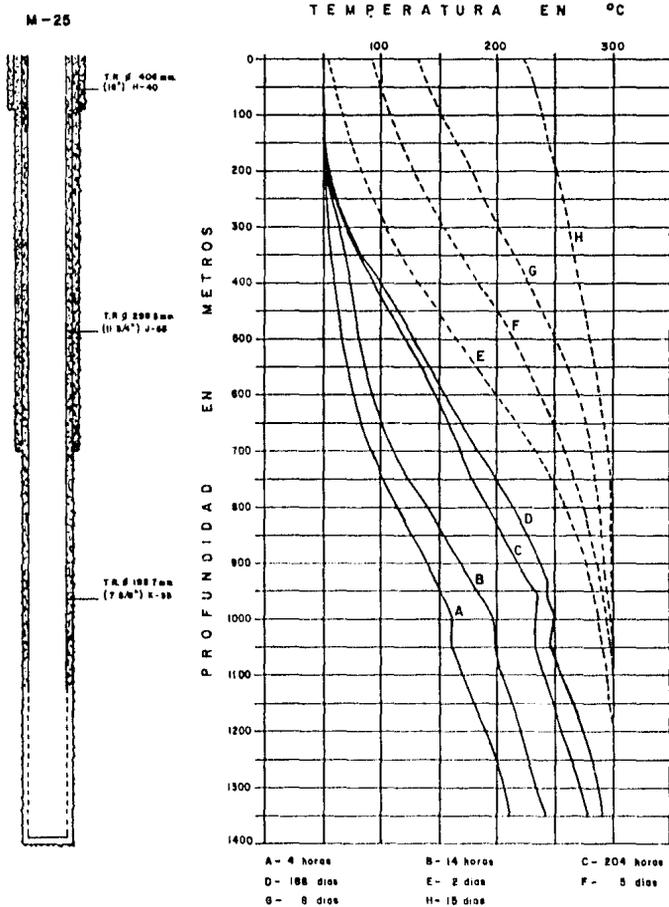


Fig. 1..9

DE ESPEJO DE AGUA AL TERMINAR EL LAVADO DEL POZO, VERIFICANDO EN FORMA PERIÓDICA SI EXISTE UNA ELEVACIÓN DEL MISMO. EN ALGUNOS CASOS HA SUBIDO RÁPIDAMENTE, EN CINCO DÍAS HASTA LA BOCA DEL POZO; EN OTROS EL ESPEJO QUEDA EN LOS PRIMEROS 100 m , DE PROFUNDIDAD, FENÓMENO LIGADO A LA MAYOR O MENOR CAPACIDAD ENERGÉTICA DEL YACIMIENTO Y AL PORCENTAJE DE GASES QUE FLUYAN A LA SUPERFICIE.

DURANTE ESTE PERÍODO, SE INSTALÁN LÍNEAS DE DESCARGA, LÍNEAS DE CALENTAMIENTO, ÁRBOL DE VÁLVULAS, SOPORTE DEL ÁRBOL PARA REDUCIR O AMORTIGUAR LAS VIBRACIONES, SOPORTES DE LAS LÍNEAS, SILENCIADORES, SEPARADORES, VERTEDORES Y EN GENERAL TODOS LOS ACCESORIOS -- COMPLEMENTARIOS A LA (FIG. I.10). ADECUADOS PARA LA -- EJECUCIÓN DE LAS SIGUIENTES ETAPAS.

PERIODO DE INDUCCIÓN.

EN AQUELLOS POZOS EN LOS QUE EL NIVEL DEL ESPEJO NO LLEGA A REBASAR EL NIVEL DE TERRENO, DENTRO DE UN TIEMPO RAZONABLE (30 DÍAS) SE REQUIERE ALGUN MEDIO-

INSTALACIONES SUPERFICIAES

EMPLEADAS PARA CALENTAMIENTO DESARROLLO Y MEDICION DE UN POZO

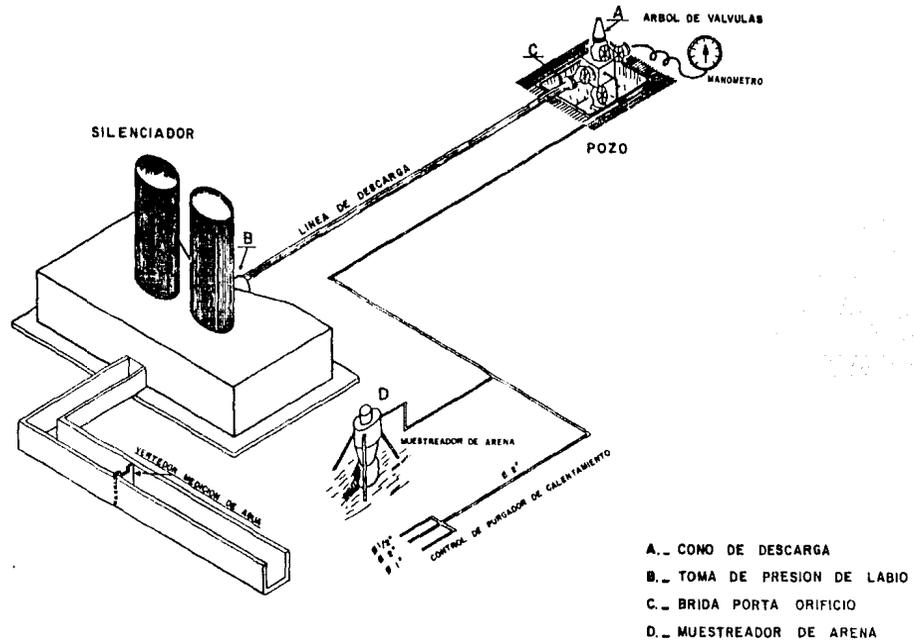


Fig. 1..10

PARA ESTIMULAR EL FLUJO, PARA LO CUAL SE UTILIZARÁN --
LOS SIGUIENTES PROCEDIMIENTOS: (1) BOMBEO Y (2) INYEC-
CIÓN DE AIRE, DIRECTA E INVERSA.

BOMBEO.- EN AQUELLOS POZOS EN QUE EL NIVEL --
DEL ESPEJO QUEDÓ PRÁCTICAMENTE ESTÁTICO, A UNA PROFUN-
DIDAD NO MAYOR DE 10 m , CON RESPECTO AL NIVEL NATURAL
DEL TERRENO, SE UTILIZA UNA BOMBA CENTRÍFUGA PARA REDU-
CIR (ACHICAR) LA COLUMNA HIDROSTÁTICA, ALIGERÁNDOLA Y
ASÍ PROPICIAR EL FLUJO DE AGUA. ESTE PROCEDIMIENTO ---
PUEDE CONSIDERARSE RAZONABLEMENTE SEGURO, YA QUE PUEDE
REGULARSE LOS VOLUMENES EXTRAÍDOS Y POR LO TANTO CON--
TROLAR EL CALENTAMIENTO DEL POZO. SIN EMBARGO SU LIMI-
TACIÓN ES LA PROFUNDIDAD A LA QUE PUEDE OPERARSE.

INYECCION DE AIRE.- ACTUALMENTE, ES EL PROCE-
DIMIENTO MÁS UTILIZADO Y TIENE DOS FORMAS DE APLICA---
CIÓN, SE EMPLEA UNA TUBERÍA DE 2 Pg. D.E., QUE SE IN--
TRODUCE AL POZO HASTA SOBREPASAR EL NIVEL DEL ESPEJO -
DE AGUA Y DAR UNA SUMERGENCIA, PREFERIBLEMENTE DE ----
100 m, ESTE SISTEMA SE HA APLICADO EN POZOS CON NIVEL-
DEL ESPEJO DE AGUA HASTA DE 200 m AMBOS PROCEDIMIEN--

PARA ESTIMULAR EL FLUJO, PARA LO CUAL SE UTILIZARÁN --
LOS SIGUIENTES PROCEDIMIENTOS: (1) BOMBEO Y (2) INYEC-
CIÓN DE AIRE, DIRECTA E INVERSA.

BOMBEO.- EN AQUELLOS POZOS EN QUE EL NIVEL --
DEL ESPEJO QUEDÓ PRÁCTICAMENTE ESTÁTICO, A UNA PROFUN-
DIDAD NO MAYOR DE 10 m , CON RESPECTO AL NIVEL NATURAL
DEL TERRENO, SE UTILIZA UNA BOMBA CENTRÍFUGA PARA REDU-
CIR (ACHICAR) LA COLUMNA HIDROSTÁTICA, ALIGERÁNDOLA Y
ASÍ PROPICIAR EL FLUJO DE AGUA. ESTE PROCEDIMIENTO ---
PUEDE CONSIDERARSE RAZONABLEMENTE SEGURO, YA QUE PUEDE
REGULARSE LOS VOLUMENES EXTRAÍDOS Y POR LO TANTO CON--
TROLAR EL CALENTAMIENTO DEL POZO. SIN EMBARGO SU LIMI-
TACIÓN ES LA PROFUNDIDAD A LA QUE PUEDE OPERARSE.

INYECCION DE AIRE.- ACTUALMENTE, ES EL PROCE-
DIMIENTO MÁ S UTILIZADO Y TIENE DOS FORMAS DE APLICA---
CIÓN, SE EMPLEA UNA TUBERÍA DE 2 Pq. D.E., QUE SE IN--
TRODUCE AL POZO HASTA SOBREPASAR EL NIVEL DEL ESPEJO -
DE AGUA Y DAR UNA SUMERGENCIA, PREFERIBLEMENTE DE ----
100 m, ESTE SISTEMA SE HA APLICADO EN POZOS CON NIVEL-
DEL ESPEJO DE AGUA HASTA DE 200 m AMBOS PROCEDIMIEN--

TOS CONSISTEN DE LO SIGUIENTE.

1).- UTILIZANDO UN COMPRESOR, SE INTRODUCE -
ÁIRE A 150 Lb/Pg^2 , POR MEDIO DE LA TUBERÍA DE 2 Pg. -
D.E., PARA BURBUJEARLO EN EL AGUA, CON EL OBJETO DE --
ALIGERAR LA COLUMNA HIDROSTÁTICA Y EN FORMA PAULATINA-
IR ACHICANDOLA. SE DEBE VIGILAR LA TEMPERATURA DE AGUA
EXTRAÍDA, PARA QUE CON TODA OPORTUNIDAD SE CONTROLE EL
CALENTAMIENTO DE LA TUBERÍA, LA OPERACIÓN SE PROLONGA-
HASTA EL INSTANTE EN QUE EL AGUA EMPIEZA A FLUIR ESPON
TÁNEAMENTE Y A PARTIR DE ESE MOMENTO SE PUEDE CONTROLAR
EL FLUJO POR MEDIO DE UNA LÍNEA DE PURGA, PROVISTA DE-
UNA VÁLVULA DE REGULACIÓN.

2).- EN EL SEGUNDO PROCEDIMIENTO SE UTILIZA-
EL MISMO EQUIPO, PERO EL ÁIRE SE INTRODUCE POR EL ESPA
CIO ANULAR, ENTRE LA TUBERÍA DE PRODUCCIÓN Y LA TUBE--
RÍA DE 2 Pg. D.E., DESPLAZANDO LA COLUMNA HIDROSTÁTICA
POR EL INTERIOR DE ESTA ÚLTIMA, COMO EN EL CASO ANTE--
RIOR SE CONTROLAN LOS VOLUMENES EXTRAÍDOS Y EL INCRE--
MENTO DE TEMPERATURA, HASTA EL MOMENTO EN QUE EL POZO-

FLUYE Y PASA SU CONTROL POR LÍNEAS DE PURGA.

PERIODO DE CALENTAMIENTO.

CONSISTE EN ELEVAR LA PRESIÓN Y TEMPERATURA, -
TANTO EN LA CABEZA DEL POZO, COMO A LO LARGO DEL MISMO,
BAJO ABSOLUTO CONTROL. ESTE INCREMENTO SE LLEVA HASTA -
ALCANZAR LA PRESIÓN QUE PROBABLEMENTE SE OBTENGA AL DES-
CARGAR CON UN CONO DE 3 Pg. DIAM.

EL PERÍODO DE CALENTAMIENTO SE INICIA CON EL-
FLUJO ESPONTÁNEO DE AGUA DEL POZO, QUE ES A TRAVÉS DE -
UNA PURGA PROVISTA DE UNA VÁLVULA DE REGULACIÓN, QUE --
PERMITA LIMITAR EL GASTO. ESTA OPERACIÓN SE HACE LENTA-
MENTE (FIG. 1,9), LA IDEA BÁSICA ES DAR OPORTUNIDAD PA-
RA QUE EL CALENTAMIENTO SE PROPAGUE A LA TUBERÍA INTER-
MEDIA, A LA SUPERFICIAL, AL CONDUCTOR Y SI ES POSIBLE -
CALENTAR LAS FORMACIONES QUE CIRCUNDAN AL POZO. LA DURA-
CIÓN DE ESTE PERÍODO ESTÁ LIMITADO POR LA URGENCIA CON-
QUE SE QUIERE APROVECHAR EL VAPOR Y POR FACTORES ECONÓ-
MICOS. SIN EMBARGO DE LA PRÁCTICA Y OBSERVACIONES REALI-
ZADAS, SE HA PRECISADO QUE ES CONVENIENTE LA DURACIÓN DE
ESTE PERÍODO NO MENOR DE 20 A 30 DÍAS. ES CONVENIENTE -

INSTALAR EN EL ÁRBOL DE VÁLVULAS, UNA LÍNEA DE DESCAR-
GA DE 2 Pg. D.E., CON UNA LONGITUD ADECUADA PARA QUE -
SU EXTREMO QUEDE A LA ORILLA DE LA PLATAFORMA EN LA --
QUE ESTÁ CONSTRUÍDO EL POZO. EN EL EXTREMO DE ESTA TU-
BERÍA SE COLOCAN 4 RAMAS, UNA DE $\frac{1}{2}$ Pg. D.E., OTRO DE -
1 Pg. D.E., Y UNA TERCERA DE 2 Pg. D.E., TODAS PROVIS-
TAS DE UNA VÁLVULA DE CONTROL Y FINALMENTE UNA CUARTA-
LÍNEA QUE IRÁ A CONECTARSE A UN MUESTREADOR DE ÁRENA.-
(FIG. I.10).

INICIALMENTE SE DESVÍA Y DESCARGA EL FLUJO -
POR LA LÍNEA DE $\frac{1}{2}$ Pg. D.E., YA QUE ES FÁCIL CONTROLAR-
LOS VOLUMENES PEQUEÑOS. EN BASE A EXPERIENCIAS Y OBSER
VACIONES REALIZADAS EN EL CAMPO DE CERRO PRIETO, SE HA
DETERMINADO QUE EL GASTO, QUE PERMITA EXTRAER EL AGUA-
DEL POZO POR LO MENOS EN DOS DÍAS, ES EL ADECUADO, DAN
DO APROXIMADAMENTE 9lt/min. HABIÉNDOSE CUMPLIDO LO AN-
TERIOR SE INCREMENTARÁ LA DESCARGA HASTA OBTENER UN --
AUMENTO DE LA PRESIÓN EN LA CABEZA DEL POZO DE -----
 $2 \text{ Kg/Cm}^2/\text{día.}$, HASTA ABRIR TOTALMENTE LA VÁLVULA DE ---
 $\frac{1}{2}$ Pg. D.E., PROSEGUIRÁ LA APERTURA APROXIMADAMENTE CON-

EL MISMO INCREMENTO DE PRESIÓN HASTA ABRIR LA VÁLVULA-
DE 1 Pg. D.E., Y FINALMENTE LA DE 2 Pg. D.E. (FIG. I,11).

EL LÍMITE FINAL DE PRESIÓN DEPENDERÁ DE: (1)
LA TERMINACIÓN DEL POZO, (2) LA TEMPERATURA Y PRESIÓN-
DEL YACIMIENTO, (3) LA DILATACIÓN DE LAS TUBERÍAS ----
(FIG. I,12.) Y (4) LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA PRO-
DUCIDA.

PERIODO DE DESARROLLO.

EN ESTA ETAPA EL POZO SE DESCARGA, POR UN --
DIÁMETRO RESTRINGIDO, EL QUE SE VA INCREMENTANDO HASTA
LLEGAR AL DIÁMETRO TOTAL DE PRODUCCIÓN, EL OBJETIVO ES
QUE DESALOJE TODOS LOS MATERIALES Y SUSTANCIAS QUE SE-
EMPLEARÓN DURANTE LA PERFORACIÓN, RECORTES ASENTADOS -
EN EL FONDO, EVITANDO ASÍ QUE AL CONECTARLO AL SEPARA-
DOR Y SISTEMA COLECTOR DE VAPOR, PUDIERA DAÑAR LAS INS-
TALACIONES SUPERFICIALES, TURBINAS DE LA PLANTA, Y CON
EL FIN DE EVALUAR LA CAPACIDAD DEL POZO.

EN UNA DE LAS DESCARGAS LATERALES DE 6 Pg. --
D.E., DEL ÁRBOL DE VÁLVULAS, PROVISTA DE BRIDAS ADE---

CUADAS, SE INSTALAN PLACAS PORTA ORIFICIOS DE DIÁME---
TROS VARIABLES. SOBRE LA VÁLVULA DE OPERACIÓN SE INSTA
LAN EN FORMA OPORTUNA UNA SERIE DE CONOS TAMBIÉN DE --
DIÁMETROS VARIABLES Y EQUIVALENTES A LOS ORIFICIOS ---
(3,4,5,6, Y 7 pg. DIAM.). NORMALMENTE SE INICIA EL DE-
SARROLLO INSTALANDO UN CONO SOBRE LA VÁLVULA DE OPERA-
CIÓN Y UN ORIFICIO DE 3 pg. DIAM., EN LA DESCARGA LATE
RAL (FIG. I.10.).

CUANDO YA EL POZO ESTA CALIENTE FLUYENDO POR
LA LÍNEA DE PURGA DE 2 pg. D.E., SE ABRE LA VÁLVULA -
DE OPERACIÓN Y ASÍ EL POZO DESCARGARÁ VERTICALMENTE A-
LA ATMÓSFERA POR EL CONO DE 3 pg. DIAM. EN ESTE MOMENTO
SE REALIZA EL MUESTREO Y RECOLECCIÓN DE PARTÍCULAS QUE
ARROJE EL POZO. EL AGUA ARROJADA COMUNMENTE ES COLOR -
OBSCURO DEBIDO A LOS RESIDUOS DEL LODO DE PERFORACIÓN,
LA PRESIÓN TIENDE A ELEVARSE DE 50 A 120 lb/pg²., SO--
BRE LA PRESIÓN A LA QUE HABIA LLEGADO CON LA LÍNEA DE-
PURGA Y ÉSTO EN LOS PRIMEROS MINUTOS, ENSEGUIDA LA PRE
SIÓN TIENDE A BAJAR Y A ESTABILIZARSE DE ACUERDO A LA
CAPACIDAD DEL POZO (FIG. I.11).

HABIENDOSE CONFIRMADO LA ESTABILIZACIÓN, SE HACE EN FORMA SIMULTÁNEA Y CON SUMO CUIDADO EL CAMBIO-DE FLUJO VERTICAL A LÍNEA LATERAL, CERRANDO LENTAMENTE LA VÁLVULA EN LA QUE ESTA APOYADA EL CONO Y CON EL MISMO CUIDADO Y RÍTMO SE ABRE LA VÁLVULA LATERAL, EN LA QUE ESTA CONECTADA LA LÍNEA DE DESCARGA, LA FORMA DE VIGILAR LA OPERACIÓN ES POR MEDIO DE UN MANÓMETRO DE PRESIÓN, DONDE SE CUIDA EVITAR VARIACIONES EN LA PRESIÓN DE DESCARGA, PARA NO ROMPER LA ESTABILIZACIÓN LOGRADA.

CERRADA LA DESCARGA VERTICAL, SE CAMBIA EL CONO INSTALADO POR UNO DE 4 pg.DIAM., HECHA ESTA OPERACIÓN SE INVIERTE EL PROCEDIMIENTO PARA DESCARGAR EL POZO EN FORMA VERTICAL NUEVAMENTE, LO CUAL SE APROVECHA PARA CAMBIAR EL ORIFICIO A UNO DE 4 pg.DIAM., EN LA LÍNEA DE DESCARGA. EN FORMA SUCESIVA SE OPERA PARA LOS CAMBIOS POSTERIORES DE CONOS Y ORIFICIOS, HASTA LLEGAR AL MÁXIMO DIÁMETRO DE DESCARGA, QUE COMUNMENTE ES DE 7 pg. DIAM. EN CONDICIONES NORMALES, TODA LA OPERACIÓN REQUIERE DE 3 A 7 DÍAS. POR LOS CAMBIOS DE CONOS DISMINUYE LA PRESIÓN EN LA CABEZA (FIG.I.11), Y LA ELONGA

CIÓN DE LAS TUBERÍAS (FIG. I.12).

CONTROL DE LA PRESION DE DESCARGA DE UN POZO
 EN EL PERIODO DE CALENTAMIENTO Y DESARROLLO

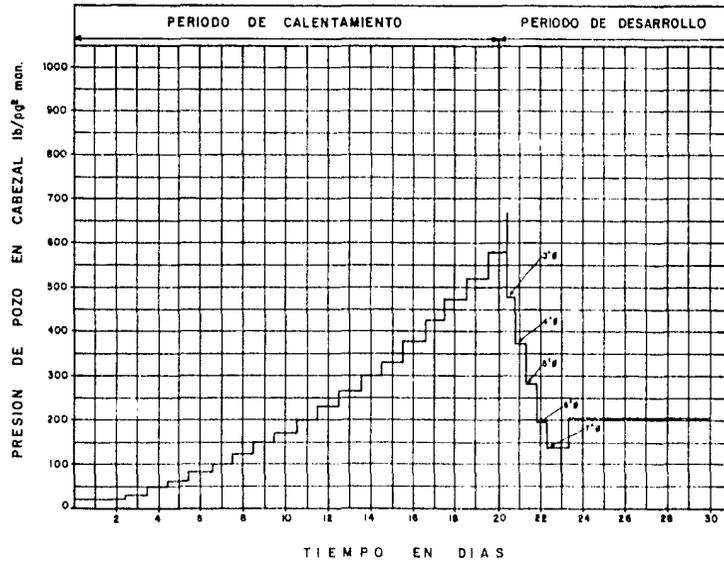


Fig. I.. II

DILATACION DE LA TUBERIA DE PRODUCCION Y ANCLAJE
DETECTADA EN LA SUPERFICIE DURANTE LOS PERIODOS DE CALENTAMIENTO Y DESARROLLO DEL POZO

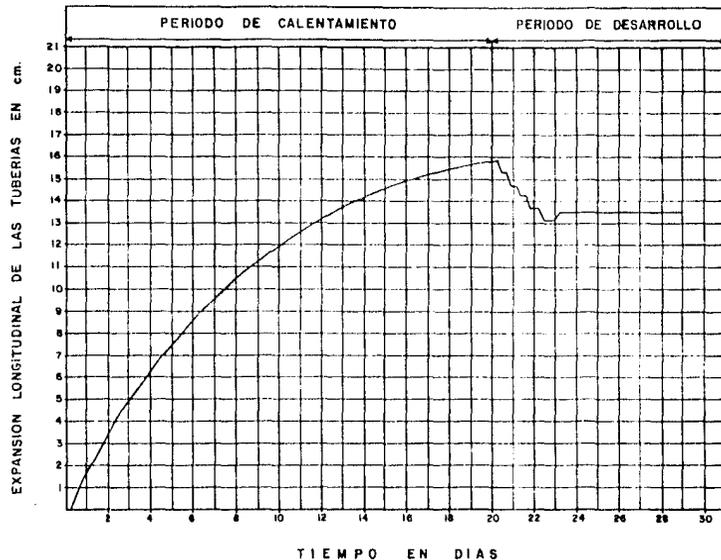


Fig. 1.-12

II.- CURVAS CARACTERISTICAS DE PRODUCCION Y ESTIMACION DE PARAMETROS EN EL POZO Y EL YACIMIENTO.

II.1 GENERALIDADES.

LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS EN LA NATURALEZA ES POSIBLE ENCONTRARLOS EN VARIAS FORMAS, SIENDO LAS PRINCIPALES LOS YACIMIENTOS DE VAPOR DOMINANTE, YACIMIENTOS DE AGUA CALIENTE, SISTEMAS GEOPREZURIZADOS Y EN FORMACIONES COMPUESTAS POR ROCA SECA MUY CALIENTE.

LOS YACIMIENTOS DE VAPOR SON LOS QUE SE BUSCAN CON MAYOR INTERÉS DEBIDO A QUE EL VAPOR ES UNA FUENTE DE ENERGÍA BASTANTE LIMPIA DESDE EL PUNTO DE VISTA DE CONTAMINACIÓN Y CON POCOS PROBLEMAS DE PRODUCCIÓN.

EN LOS YACIMIENTOS DE AGUA CALIENTE LA FASE PREDOMINANTE O CONTINUA ES EL AGUA, Y EL VAPOR, EN CASO DE EXISTIR, SE ENCUENTRA EN FORMA AISLADA EN LAS ZONAS DE BAJA PRESIÓN FORMANDO BOLSAS O PEQUEÑOS CASQUETES. EN LA GENERACIÓN DE ELÉCTRICIDAD POR MEDIO DE LA ENERGÍA ALMACENADA EN ESTE TIPO DE YACIMIENTOS SE EMPLEA EL

VAPOR QUE SE SEPARA DEL AGUA EN LA SUPERFICIE ORIGINANDO QUE LA ENERGÍA APROVECHABLE SEA MENOR QUE LA CORRESPONDIENTE A UN SISTEMA DE VAPOR DOMINANTE. UNA DIFICULTAD CON RESPECTO AL FLUJO EN ESTE TIPO DE YACIMIENTOS--ES CUANDO SE ALCANZAN CONDICIONES DE FLUJO DE DOS FA--CES (AGUA Y VAPOR), PROVOCANDO UNA POSIBLE DEPOSITACIÓN DE SALES QUE ORIGINALMENTE SE ENCONTRABAN DISUELTAS EN EL AGUA CALIENTE LO CUAL PRODUCE UNA DISMINUCIÓN EN --LAS CONDICIONES ORIGINALES DE PERMEABILIDAD.

II.2.- **CURVAS CARACTERISTICAS DE PRODUCCION.**

LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS PUEDEN CLASIFI--CARSE DE ACUERDO A LA LOCALIZACIÓN DE SU TEMPERATURA Y PRESIÓN INICIAL CON RESPECTO A UN DIAGRAMA PRESIÓN-TEMPERATURA. ES POR ESTO IMPORTANTE CLASIFICAR EL TIPO DE YACIMIENTO YA QUE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN, Y POR LO TANTO LAS INSTALACIONES SUPERFICIALES DE PRODUCCIÓN SERAN FUNCIÓN DEL TIPO DE YACIMIENTO QUE SE TENGA.

EN LA FIG. II.1., SE PRESENTA UN DIAGRAMA --

DIAGRAMA PRESION - TEMPERATURA PARA EL AGUA

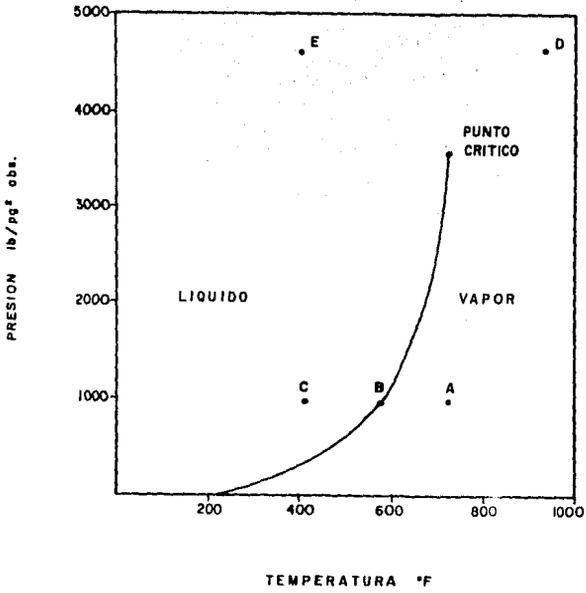


Fig. 1

DE PRESIÓN TEMPERATURA PARA EL AGUA, MOSTRÁNDOSE EL --
PUNTO CRÍTICO DEL AGUA Y OTROS PUNTOS QUE PRESENTAN PO
SIBLES CONDICIONES INICIALES PARA UN YACIMIENTO GEOTÉR
MICO.

EN EL CASO DE SISTEMAS DE AGUA CALIENTE, LA-
CURVA DE SATURACIÓN DEBE CORRESPONDER A UNA SALMUERA -
DE COMPOSICIÓN IGUAL A LA DEL YACIMIENTO. CON OBJETO -
DE SIMPLIFICAR LA SIGUIENTE DISCUSIÓN, SE SUPONDRÁ QUE
NO HAY RECARGA DE FLUIDOS AL YACIMIENTO, ES DECIR, EL-
ANÁLISIS SE LIMITA AL CASO MÁS SIMPLE DE UN SISTEMA --
CERRADO.

EL PUNTO "A" CORRESPONDE A UN YACIMIENTO CU-
YAS CONDICIONES INICIALES SE LOCALIZAN EN LA FASE VA--
POR.

EL PROCESO DE PRODUCCIÓN CAUSADO POR LA EX--
PANSIÓN DEL VAPOR ES APROXIMADAMENTE ISOTÉRMICO.

EL PUNTO "B" CORRESPONDE A UN YACIMIENTO CU-
YAS CONDICIONES INICIALES COINCIDEN CON LA CURVA DE --
PRESIÓN VAPOR. EN ESTE CASO Y DEPENDIENDO DE LAS CONDI
CIONES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA, LA PRODUCCIÓN DEL YA-

CIMIENTO PUEDE VARIAR DESDE AGUA SATURADA CON VAPOR A VAPOR SATURADO, A CUALQUIER MEZCLA DE AGUA Y VAPOR CON UNA ENTALPÍA QUE VA DESDE LA DEL AGUA HASTA LA DEL VAPOR, A LAS CONDICIONES ESPECIFICAS DE PRESIÓN Y TEMPERATURA.

EL PUNTO "C" REPRESENTA EL CASO EN QUE UN YACIMIENTO GEOTÉRMICO A CONDICIONES INICIALES CONTIENE SOLAMENTE AGUA CALIENTE, ESTA SITUACIÓN DIFIERE DE LA DISCUTIDA PARA EL PUNTO "A" EN QUE EVENTUALMENTE AL DECLINAR LA PRESIÓN DEL YACIMIENTO SE ALCANZARÁN CONDICIONES QUE COINCIDEN CON LA CURVA DE PRESIÓN DE VAPOR. A PARTIR DE AQUI EL MECANISMO DE PRODUCCIÓN SERÁ SIMILAR AL ANALIZADO PARA EL PUNTO "B".

EL FLUJO EN EL YACIMIENTO PARA CONDICIONES DE PRESIÓN, SUPERIOR A LA PRESIÓN DE VAPOR ES APROXIMADAMENTE ISOTÉRMICO E ISOENTÁLPICO.

LOS PUNTOS "D" Y "E" REPRESENTAN CONDICIONES DE PRESIÓN SUPERIORES A LA PRESIÓN CRÍTICA. EL PUNTO "D" ESTA A UNA TEMPERATURA MÁS ELEVADA QUE LA CRÍTICA, Y REPRESENTA UN YACIMIENTO GEOTÉRMICO EL CUAL AL DECLI-

NAR LA PRESIÓN, ALCANZARÁ CONDICIONES SIMILARES A LA -
DEL YACIMIENTO DE VAPOR CUYAS CONDICIONES INICIALES ES
TAN DADAS POR EL PUNTO "A".

UN YACIMIENTO GEOTÉRMICO CUYAS CONDICIONES -
INICIALES ESTAN DADAS POR EL PUNTO "E" AL DECLINAR LA-
PRESIÓN, COMO CONSECUENCIA DE LA PRODUCCIÓN DE FLUÍDO,
EVENTUALMENTE SU MECANISMO DE PRODUCCIÓN SERÁ SEMEJAN-
TE AL DISCUTIDO PARA LOS PUNTOS "C" Y "B".

LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN SE-
DETERMINAN RUTINARIAMENTE PARA LA MAYOR PARTE DE LOS -
POZOS GEOTÉRMICOS. ESTAS CURVAS RELACIONAN EL FLUJO MÁ-
SICO CON LA PRESIÓN DEL CABEZAL, NORMALMENTE SE EM----
PLEAN EN LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN CUALITATIVA ACER-
CA DE LAS PROPIEDADES DEL YACIMIENTO Y EL EFECTO DE --
LAS INCRUSTACIONES DE LOS POZOS, ESTIMACIONES DE LA --
ENTALPÍA A PARTIR DE LA PRESIÓN DE DESCARGA MÁXIMA ---
(MÉTODO DE R. JAMES), Y POR CONSIGUIENTE, LA PREDICCIÓN
DEL FLUJO MÁXICO PARA UNA PRESIÓN DE CABEZAL DADA Y VI
CEVERSA.

LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN SE OBTIENEN MIDIENDO EL GASTO MÁSIICO EN ESTADO ESTACIONARIO O SEMI-ESTACIONARIO, Y SU CORRESPONDIENTE PRESIÓN DE CABEZAL, PARA DIFERENTES GRADOS DE ESTRANGULAMIENTO DEL POZO. USUALMETE, ESTAS MEDICIONES CUBREN EL RANGO QUE VA DESDE EL MÍNIMO ESTRANGULAMIENTO COMPATIBLE CON LA EXISTENCIA DE FLUJO, HASTA FLUJO TOTAL.

LOS POZOS ALIMENTADOS CON LÍQUIDO EN CAMPOS GEOTÉRMICOS CON ALTA ENTALPÍA NORMALMENTE PRODUCEN MEZCLAS DE AGUA Y VAPOR EN LA SUPERFICIE. EN ESTE TIPO DE POZOS LAS PRUEBAS DE PRODUCCIÓN PROPORCIONAN DOS CURVAS; EL GASTO MÁSIICO DEL LÍQUIDO Y EL GASTO MÁSIICO DE VAPOR CONTRA LA PRESIÓN DEL CABEZAL. DE ESTAS CURVAS PUEDE OBTENERSE FACILMENTE LA ENTALPÍA DINÁMICA ESPECÍFICA (h_T) CORRESPONDIENTE A CADA PUNTO DE LA PRUEBA DE PRODUCCIÓN. LOS POZOS ALIMENTADOS POR VAPOR PROPORCIONAN, POR SUPUESTO UNA SOLA CURVA DE GASTO MÁSIICO TOTAL CONTRA LA PRESIÓN DEL CABEZAL.

LAS FIGS. II.2, Y II.3., MUESTRAN LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS CORRESPONDIENTES AL DESARROLLO EN UN PO

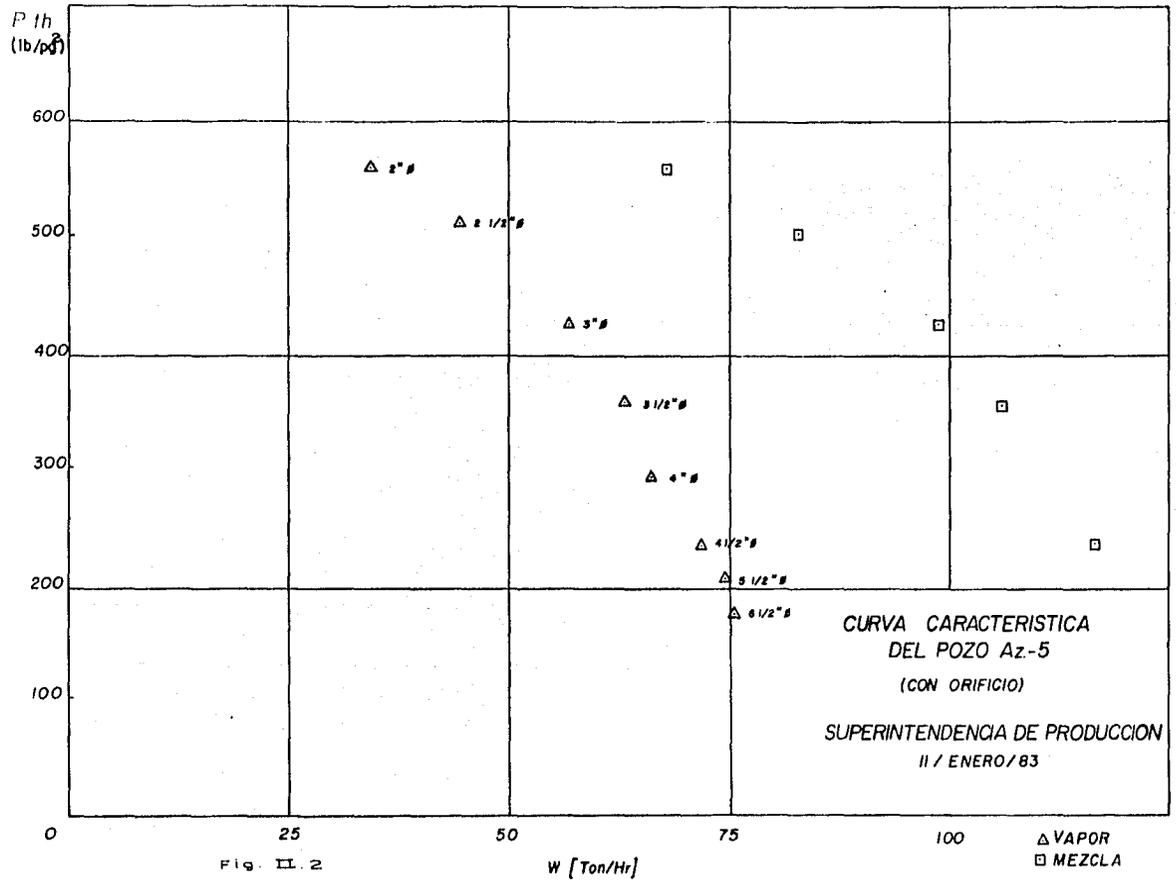


Fig. II. 2

W [Ton/Hr]

Δ VAPOR
 □ MEZCLA

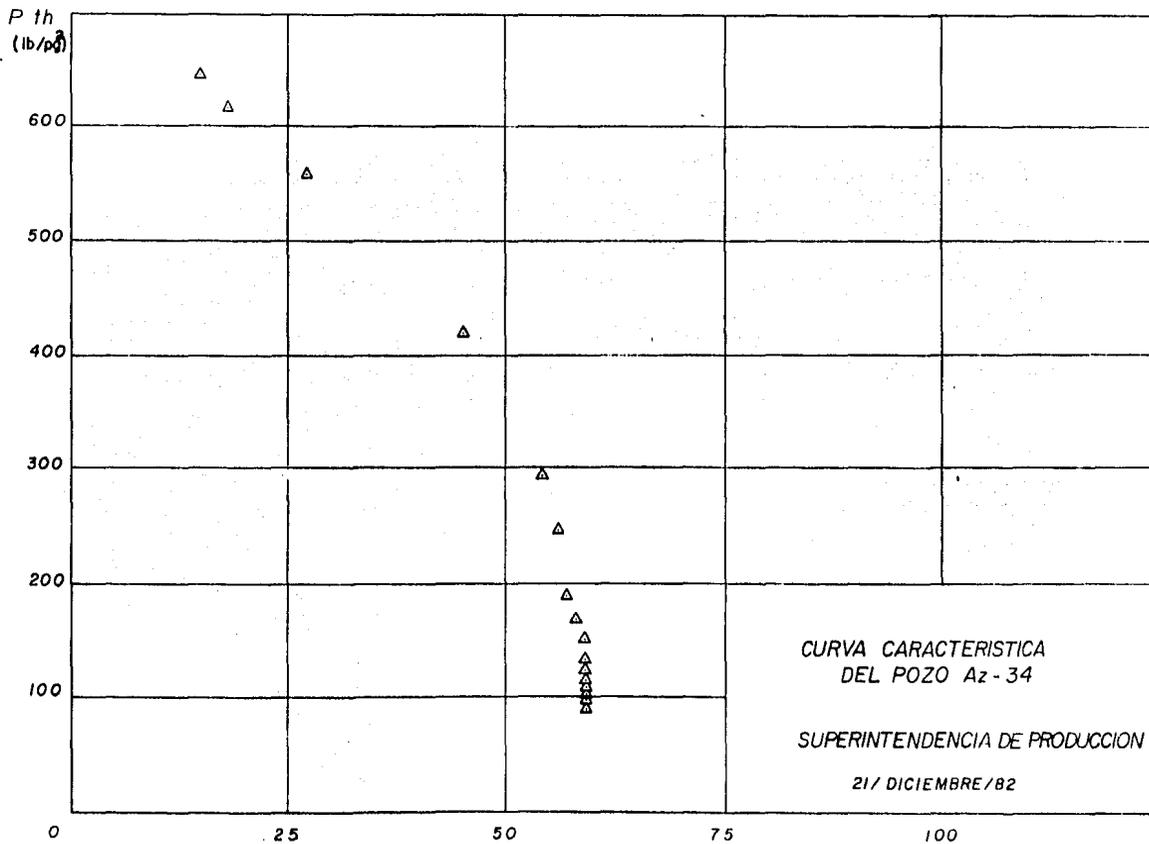


Fig. II. 3

W [Ton/Hr]

△ VAPOR

ZO DE MEZCLA Y UNO DE VAPOR RESPECTIVAMENTE.

HABITUALMENTE TAMBIÉN SE MIDE LA ENTALPÍA----
CORRESPONDIENTE A CADA PUNTO DE DICHA CURVA CARACTERÍS-
TICA.

II.3.- ESTIMACION DE PARAMETROS EN EL POZO Y EL YACI- MIENTO.

EL APROVECHAMIENTO GEOTÉRMICO ÓPTIMO ESTA ---
CONSTITUÍDO POR UN CONJUNTO DE ELEMENTOS CUYA INTERAC--
CIÓN DETERMINA EL RENDIMIENTO QUE DE EL PUEDE OBTENERSE.
PARA COMPRENDER COMO INTERACTUAN LOS ELEMENTOS ES NECE-
SARIO ENTENDER Y ESTIMAR CIERTOS PARÁMETROS. EN TÉRMI--
NOS GENERALES PUEDE DECIRSE QUE LOS PRINCIPALES ELEMEN-
TOS SON TRES; EL YACIMIENTO, EL EQUIPO SUPERFICIAL Y --
LOS POZOS QUE LIGAN A UNO Y OTRO.

UNA VEZ CONCLUIDA LA PERFORACIÓN, DESARROLLO-
Y MEDICIÓN DE LOS POZOS, ASÍ COMO EL ANÁLISIS QUÍMICO -
DE LOS FLUÍDOS PRODUCIDOS, SE PASA A UNA ETAPA EN LA --
CUAL ES NECESARIO REALIZAR UNA SERIE DE PRUEBAS QUE IN-
VOLUCRAN AL YACIMIENTO COMO UN TODO, CON OBJETO DE CONQ

CER LA REACCION DEL MISMO A PROBABLES CONDICIONES DE -
EXPLOTACIÓN Y PODER EFECTUAR UNA PRIMERA ESTIMACION DE
SU POTENCIAL.

ALGUNOS DE LOS DATOS NECESARIOS PARA EFEC---
TUAR ESTA ESTIMACIÓN, SE OBTIENE POR MEDIO DE LAS DENO
MINADAS, "PRUEBAS DE PRESIÓN EN POZOS", CUYO OBJETIVO-
ES EL DE ESTIMAR EN FORMA INDIRECTA PARÁMETROS EN EL -
YACIMIENTO. ESTE TIPO DE PRUEBAS PUEDE TAMBIEN LLEVAR-
SE A CABO DURANTE LA PERFORACIÓN DE POZOS. UNA PRUEBA-
DE PRESIÓN CONSISTE FUNDAMENTALMENTE EN REGISTRAR LA -
VARIACIÓN DE PRESIÓN EN EL FONDO DE UNO O VARIOS POZOS
EN UN DETERMINADO TIEMPO.

LA MEDICIÓN DE LA PRESIÓN DE FONDO CERRADO O
FLUYENDO SE OBTIENE MEDIANTE LA INTRODUCCIÓN PREVIA AL
POZO DE UN REGISTRADOR DE PRESIÓN ESPECIAL.

PARA LLEVAR A CABO EL ANÁLISIS DE LAS PRE---
SIONES DE FONDO REGISTRADAS, ES IMPORTANTE EL SELEC---
CIONAR U OBTENER UNA EXPRESIÓN MATEMÁTICA ADECUADA QUE
PUEDA EMPLEARSE PARA PROPÓSITOS DE INTERPRETACIÓN Y --

ANÁLISIS. EN OBTENCIÓN DE ESTA EXPRESIÓN MATEMÁTICA SE TIENE QUE EMPLEAR LAS LEYES FÍSICAS ADECUADAS PARA EL CASO, Y RESOLVERLAS SIMULTÁNEAMENTE DE ACUERDO A LAS CONDICIONES DEL PROBLEMA EN CUESTIÓN.

LAS TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE PRUEBAS TRANSITORIAS DE PRESIÓN HAN SIDO DESARROLLADAS PRINCIPALMENTE EN LAS DISCIPLINAS DE INGENIERÍA PETROLERA Y GEOHIDROLOGÍA, PERO LA APLICACIÓN DE ESTAS TÉCNICAS A LA INGENIERÍA DE YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS HA SIDO SATISFACTORIAMENTE DEMOSTRADA.

LA INFORMACIÓN QUE SE OBTIENE DEL ANÁLISIS DE PRUEBAS DE PRESIÓN ACERCA DE LOS PARÁMETROS DEL YACIMIENTO ES MUY ÚTIL PARA LOS ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN Y PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS. LOS PARÁMETROS QUE SE INTENTA CONOCER MEDIANTE ESTAS PRUEBAS SON:

A).- CAPACIDAD DE LA FORMACIÓN PRODUCTORA ALCANZADA PARA SUMINISTRAR EL VOLÚMEN SUFICIENTE DE FLUIDOS COMO PARA QUE SU POSIBLE PRODUCCIÓN SEA COMERCIALMENTE-

ATRACTIVA.

B).- FACTORES DE DAÑO A LOS POZOS, ES DECIR, EL DAÑO CAUSADO A LA FORMACIÓN PRODUCTORA DURANTE LA PERFORACIÓN Y TERMINACIÓN DE UN POZO.

C).- PRESENCIA DE BARRERAS IMPERMEABLES Y ZONAS DE DIRECCIÓN DE CONDUCTIVIDAD PREFERENCIAL DE FLUIDOS.

D).- CONDICIONES INICIALES DEL YACIMIENTO --- (PRESENCIA DE CAPA DE VAPOR, CAPA DE AGUA, LÍMITE DEL YACIMIENTO).

E).- PROPIEDADES DEL SISTEMA ROCA-FLUIDOS: POROSIDAD, COMPRESIBILIDAD Y FACTOR DE TRANSMISIBILIDAD- (kh/μ). ESTAS PROPIEDADES PUEDEN TAMBIÉN ESTIMARSE EN EL LABORATORIO EMPLEANDO UNA MUESTRA (NÚCLEO) DE LA ROCA DEL YACIMIENTO, PERO LOS RESULTADOS OBTENIDOS NO SON NECESARIAMENTE CONFIABLES YA QUE LA MUESTRA SÓLO PRESENTA UNA FRACCIÓN INFINITESIMAL CON RESPECTO AL TAMAÑO DEL YACIMIENTO Y A LOS POSIBLES CAMBIOS QUE ÉSTA PUEDE EXPERIMENTAR AL PASAR DE CONDICIONES DEL YACIMIENTO A CONDICIONES DE LABORATORIO. EL ANÁLISIS DE

LAS PRESIONES REGISTRADAS EN LOS POZOS PERMITE OBTENER ESTOS PARÁMETROS A LAS CONDICIONES REALES DEL YACIMIENTO.

LA CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS PRUEBAS DE PRESIÓN QUE SE REALIZAN A LO LARGO DE LA VIDA DE UN POZO GEOTÉRMICO ES LA SIGUIENTE:

- 1).- PRUEBAS DE PRESIÓN DURANTE LA PERFORACIÓN.
- 2).- PRUEBAS DE PRESIÓN EN POZOS DE PRODUCCIÓN.
- 3).- PRUEBAS DE PRESIÓN EN POZOS DE INYECCIÓN.
- 4).- PRUEBAS DE PRESIÓN QUE INVOLUCRAN MAS DE UN POZO EN FORMA SIMULTÁNEA (INTERFERENCIA).

UNA VEZ QUE DURANTE LA PERFORACIÓN DE UN POZO SE HA ALCANZADO UN HORIZONTE PROMISORIO, EN EL CUAL SE HA DETERMINADO QUE LA TEMPERATURA ESTÁTICA DE LA FORMACIÓN ESTÁ DENTRO DEL RANGO CONSIDERADO DE INTERÉS COMERCIAL Y ADEMÁS SE HA TENIDO UNA PÉRDIDA TOTAL O PARCIAL DE LODO, EL SIGUIENTE PASO CONSISTE EN DETERMINAR SI LA POSIBLE FORMACIÓN PRODUCTORA ALCANZADA, ----

TIENE LA CAPACIDAD PARA SUMINISTRAR AL POZO EN VOLÚMEN SUFICIENTE DE FLÚIDOS COMO PARA QUE SU POSIBLE PRODUCCIÓN SEA COMERCIALMENTE ATRACTIVA; LA MEDIDA DE ESTA CAPACIDAD LA PROPORCIONA EL FACTOR DE TRANSMISIBILIDAD (kh/μ).

CON OBJETO DE DETERMINAR ESTE FACTOR DE TRANSMISIBILIDAD SE RECOMIENDA EFECTUAR UNA PRUEBA DE **INYECCION-RECUPERACION** DE PRESIÓN. ESTA PRUEBA CONSISTE EN INYECTAR AGUA A LA ZONA DE INTERÉS A UN GASTO PREFIJADO DURANTE UN TIEMPO DADO SUSPENDIENDO LUEGO LA INYECCIÓN.

EN LA FIG. II.4 SE MUESTRA UNA GRÁFICA TÍPICA DE UN COMPORTAMIENTO DE LA PRESIÓN DURANTE LA PRUEBA, OBSERVÁNDOSE QUE DURANTE LA ETAPA DE INYECCIÓN LA PRESIÓN AUMENTARÁ HASTA ESTABILIZARSE, LO QUE SUCEDE DURANTE EL TIEMPO QUE TRANSCURRE DESDE EL LLENADO DEL POZO HASTA QUE SE SUSPENDE LA INYECCIÓN, POSTERIORMENTE EN LA ETAPA DE RECUPERACIÓN LA PRESIÓN VA DECLINANDO HASTA ESTABILIZARSE. EN LA MISMA FIGURA SE MUESTRA EL

COMPORTAMIENTO TIPICO DE LA PRESION Y EL GASTO
EN UNA PRUEBA DE INYECCION - RECUPERACION

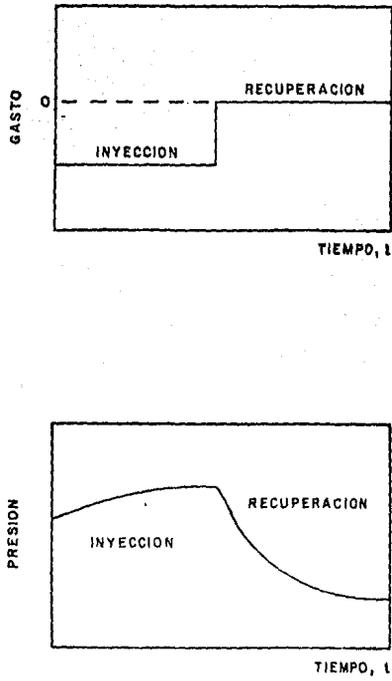


Fig. □ . 4

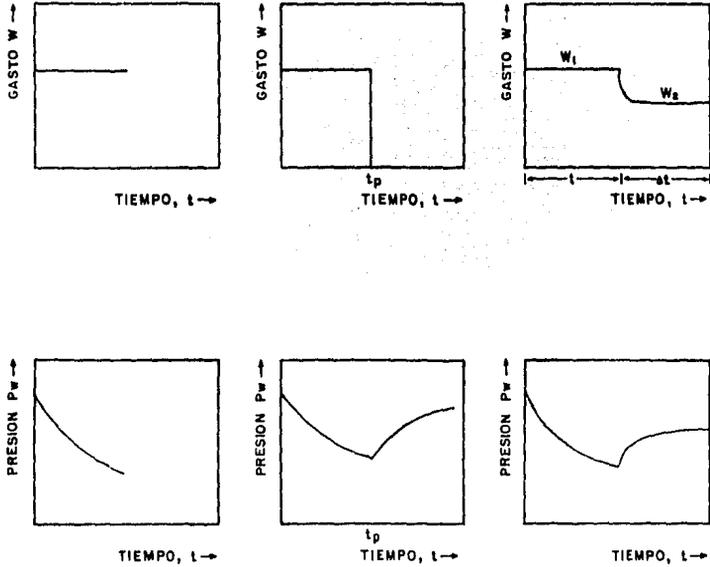
COMPORTAMIENTO DEL GASTO DURANTE LAS DOS ETAPAS, DONDE SE CONSIDERA QUE EL GASTO DE INYECCIÓN ES NEGATIVO.

EN LA FIG. II.5 SE MUESTRA LA VARIACIÓN DEL GASTO Y LA CORRESPONDIENTE VARIACIÓN DE LA PRESIÓN PARA EL CASO DE LAS PRUEBAS EN POZOS DE PRODUCCIÓN.

EN LA FIG. II.5 A) SE PRESENTA EL COMPORTAMIENTO DE DECREMENTO DE PRESIÓN, EN LA CUAL EL POZO PRODUCE CON UN GASTO CONSTANTE. EN LA FIG. II.5 B) SE MUESTRAN RESULTADOS PARA UNA PRUEBA DE INCREMENTO DE PRESIÓN, EN LA CUAL EL POZO PRODUJO CON UN GASTO W HASTA CERRARSE A UN TIEMPO t_D . EN LA FIG. II.5 C) SE PRESENTAN RESULTADOS PARA UNA PRUEBA DE DECREMENTO A DOS GASTOS; EL POZO PRODUCE CON EL GASTO W_1 , HASTA UN TIEMPO t EL CUAL SE CAMBIA SU GASTO A W_2 .

EN LAS PRUEBAS DE PRESIÓN DISCUTIDAS PREVIAMENTE SOLAMENTE SE EMPLEA UN POZO. HAY PRUEBAS LLAMADAS MÚLTIPLES EN LAS CUALES INTERVIENEN MÁS DE UN POZO, COMO SON LAS DE INTERFERENCIA O LAS PULSANTES. ESTE TIPO DE PRUEBAS SE EMPLEA PARA CUANDO SE DESEA CONOCER

**REPRESENTACION ESQUEMATICA
DE LA VARIACION DEL GASTO Y DE LA PRESION DE FONDO DEL POZO**



a).- PRUEBA DE
DECREMENTO DE
PRESION

b).- PRUEBA DE
INCREMENTO DE
PRESION

c).- PRUEBA DE
DECREMENTO A
DOS GASTOS

Fig. II.5

EL GRADO DE COMUNICACIÓN O INTERFERENCIA ENTRE LOS POZOS DEL YACIMIENTO O DATOS TALFS COMO LA POROSIDAD, LA CUAL NO PUEDE OBTENERSE, EN PRUEBAS QUE EMPLEAN UN SOLO POZO.

EL PARÁMETRO OBTENIDO EN LA APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DESCRITOS ES EL FACTOR DE TRANSMISIBILIDAD, -- (kh/μ) , DEBIDO A LA DIFICULTAD EN OBTENER LOS DATOS DE ESPESOR (h) Y VISCOSIDAD (μ).

EN BASE A LA EXPERIENCIA SE PUEDE CONCLUIR -- QUE EN UNA ZONA ANALIZADA POR UNA PRUEBA DE PRESIÓN, SE TIENE UNA FALLA O FRACTURAS DE ALTA CONDUCTIVIDAD. TOMANDO EN CUENTA LOS VALORES DE LA SIGUIENTE TABLA, OBTENIDA EN EL CAMPO "LOS AZUFRES" YA QUE ESTE YACI--- MIENTO ES DEL TIPO NATURALMENTE FRACTURADO.

$\frac{kh}{\mu}$	(md-m/cp)	CONSIDERACION
12000 - 25000		POZO ACEPTABLE.
25000 - 35000		POZO MEDIANAMENTE BUENO.
35000		BUEN POZO.

CON LA FINALIDAD DE OBTENER INFORMACION DE -
LOS POZOS, SE TOMAN MEDICIONES DE VALORES IMPORTANTES
PARA EVALUAR SU POTENCIAL Y COMPRENDER MEJOR EL COMPO-
TAMIENTO TANTO DE POZO COMO DEL YACIMIENTO. ESTAS ME-
DICIONES SON: DATOS DE PRODUCCION DEL POZO, PRESION -
DE CABEZAL, PRESION DE SEPARACION, PRESION CRITICA EN
EL LABIO, POR MEDIO DE LOS CUALES Y A PARTIR DEL MÉTO
TODO EMPÍRICO DE PRESION CRITICA DE **RUSSELL-JAMES** SE-
CONOCEN LOS VALORES DE FLUJO Y ENTALPIA. EL CONOCI-
MIENTO DE ESTOS VALORES ES IMPORTANTE PARA PODER DETER-
MINAR EL USO Y FUNCIONAMIENTO QUE SE LE DARÁ A UN PO-
ZO: ES DECIR SI ESTE PODRÁ SER PRODUCTOR, INYECTOR O-
UTILIZADO PARA CICLOS BINARIOS.

EL SISTEMA DE CICLO BINARIO, NO ES MAS QUE -
LA APLICACION DE UN CICLO **RANKINE** A UNA FUENTE DE CA-
LOR GEOTÉRMICO DE BAJA ENTALPIA (SUPERIOR A 420 kJ/kg
Y ABAJO DE 840 kJ/kg). ESTE TIPO DE ESTUDIOS SE ESTAN
EFECTUANDO CON DOS UNIDADES UNA DE 50 KW Y OTRA DE --
10 KW. EN EL CAMPO DE LOS AZUFRES, MICH., ACTUALMENTE
EN ETAPA EXPERIMENTAL. EL USO POTENCIAL DE ESTA ENER-

GÍA PUEDE APLICARSE A CENTROS INDUSTRIALES O EN COMUNIDADES RURALES, TANTO PARA PROCESOS INDUSTRIALES COMO PARA AGRICULTURA Y CRÍA DE ANIMALES.

PARA OBTENER LAS MEDICIONES DE ENTALPÍA EN LA CABEZA DEL POZO SE USAN PRINCIPALMENTE DOS PROCEDIMIENTOS CONFIABLES SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN DEL POZO:

A).- POZOS PRODUCTORES DE MEZCLA (AGUA-VAPOR).

CUANDO SE TIENE UN POZO CON PRODUCCIÓN BIFÁSICA (AGUA-VAPOR) SE MIDE EL GASTO DE CADA UNA DE LAS FASES CON EL MÉTODO CONVENCIONAL USADO EN GEOTERMIA, POR MEDIO DE UN ESTANQUE O VERTEDOR PARA DETERMINAR EL GASTO DE AGUA Y CON LA PRESIÓN CRÍTICA EN EL LABIO PARA GASTOS DE VAPOR. CON LOS DATOS OBTENIDOS EN EL DESARROLLO DEL POZO COMO SON: NIVEL CERO DEL VERTEDOR, ALTURA DE LA CARGA DE AGUA EN EL VERTEDOR, DIÁMETRO DE DESCARGA Y PRESIÓN CRÍTICA DEL LABIO Y USANDO EL MÉTODO **R-JAMES** QUE UTILIZA UN PROCESO ITERATIVO DE ENSAYO Y ERROR PUEDE OBTENERSE LA ENTALPÍA DE LA MEZCLA. GASTO-

DE AGUA, GASTO DE VAPOR Y CALIDAD DEL MISMO (ESTE MÉTODO SERÁ DISCUTIDO MÁS AMPLIAMENTE EN EL CAPÍTULO -- IV).

B). - POZOS DE VAPOR.

EL PROCEDIMIENTO USUAL EN POZOS DE VAPOR SATURADO O SOBREALENTADO ES EL SIGUIENTE:

SE MIDE LA PRESIÓN Y TEMPERATURA EN EL CABEZAL DEL POZO ANTES DEL ORIFICIO DE ESTRANGULAMIENTO; LA PRESIÓN SE MIDE CON UN MANÓMETRO DE BOURDON Y LA TEMPERATURA POR MEDIO DE UN TERMÓMETRO QUE SE INSERTA EN EL TERMOPOZO QUE ES COLOCADO EN LA TUBERÍA DE DESCARGA; EL TERMOPOZO SIRVE PARA PROTEGER EL TERMOMETRO DEL GOLPETEO DEL FLUJO. CON LOS DATOS DE PRESIÓN Y TEMPERATURA SE ENTRA A LAS TABLAS DE VAPOR Y SE LEÉ DIRECTAMENTE LA ENTALPÍA CORRESPONDIENTE.

EL GASTO EN ESTE CASO ES MEDIDO TAMBIÉN CON EL MÉTODO DE R-JAMES CONSIDERANDO UNA CARGA DE AGUA EN EL VERTEDERO MUY PEQUEÑA.

LOS PROCEDIMIENTOS ANTES MENCIONADOS SE USAN CUANDO SE DESARROLLA UN POZO.

LOS ELEMENTOS REGISTRADORES DE PRESION Y TEMPERATURA DE FONDO, UTILIZADOS EN EL CAMPO LOS AZUFRES SON LOS MARCA **KUSTER**. ESTE TIPO DE DISPOSITIVOS CONSISTE BASICAMENTE EN UN TUBO DE **BOURDON**, EL CUAL SE ENCUENTRA ENROLLADO HELICOIDALMENTE. EL CAMBIO O VARIACIÓN DE LA PRESIÓN O TEMPERATURA, ACTUA EN EL INTERIOR DEL TUBO DE **BOURDON**, CAUSANDO EN ESTE UN EFECTO DE GIRO O ROTACIÓN, EL CUAL ES TRANSMITIDO A UN ESTILETE, ÉSTE OPERA DENTRO DE UN PORTA-CARTAS, E IMPRIME UNA MARCA SOBRE LA CARTA, CON LO QUE CADA VARIACIÓN DE PRESIÓN O TEMPERATURA DURANTE EL TIEMPO QUE DURA LA PRUEBA, SERÁ REGISTRADA EN LA CARTA, LA QUE POSTERIORMENTE SERÁ OBSERVADA MEDIANTE EL USO DE UN LECTOR DE CARTAS DE DOBLE MOVIMIENTO. EL ELEMENTO REGISTRADOR CONTIENE UN RELOJ, EL CUAL ESTA CONECTADO AL PORTA-CARTAS, DÁNDOLE EL MOVIMIENTO EN UNA DISTANCIA DE 5 pg., CADA DETERMINADO TIEMPO.

LA INFORMACIÓN OBTENIDA CON ESTOS EQUIPOS ES

MUY VALIOSA PARA OBTENER LA PRESIÓN DE FONDO FLUYENDO, PRESIÓN ESTÁTICA, PERFIL DE PRESIÓN Y TEMPERATURA EN EL POZO, DATOS QUE SON UTILIZADOS PARA OBTENER ÍNDICES DE PRODUCTIVIDAD, PUNTOS DE FLASHEO, POTENCIAL DEL POZO, ETC.

III.- DISEÑO Y OPERACION DEL EQUIPO SUPERFICIAL.

III.1 GENERALIDADES.

EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA PARA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD Y EN LO REFERENTE A LA CONDUCCIÓN DE LOS FLUIDOS, SE HA TENIDO QUE ENFRENTAR AL PROBLEMA DE LOS ARRASTRES DE GASES Y SÓLIDOS, YA QUE ÉSTOS PRODUCEN LOS EFECTOS NOCIVOS DE CORROSIÓN, EROSIÓN E INCrustACIÓN. EL FLUÍDO GEOTÉRMICO LLEVA CONSIGO LOS SÓLIDOS EN SU MAYOR PARTE EN SOLUCIÓN. AL REDUCIR LA PRESIÓN, POR EFECTO DE LA FRICCIÓN, UNA PARTE DE LÍQUIDO SE EVAPORA CON LO QUE LOS SÓLIDOS DISUELTOS SE CRISTALIZAN QUEDANDO UNA PARTE EN SUSPENSIÓN Y LA OTRA DEPOSITÁNDOSE SOBRE LA SUPERFICIE DE LAS TUBERÍAS Y EQUIPOS EN CONTACTO CON EL LÍQUIDO.

EL EQUIPO MÁS SENSIBLE A ESTOS AGENTES ES LA TURBINA, ES POR ELLO QUE RESULTA NECESARIO ALIMENTAR LA TURBINA CON VAPOUR LO MÁS LIMPIO POSIBLE. LOS FABRICANTES DE TURBINAS HAN MARCADO LÍMITES MÁXIMOS TANTO A LA CANTIDAD DE SÓLIDOS COMO A LA HUMEDAD QUE PASA A LA TURBINA JUNTO

CON EL VAPOR; ESTOS LÍMITES TIENEN LOS SIGUIENTES VALORES:

SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS 5 mg/l

HUMEDAD EN LA ADMISIÓN 0.5 %

HUMEDAD EN LA DESCARGA 9 %

CON EL SIGUIENTE RAZONAMIENTO SE DETERMINA CUAL DE LOS DOS LÍMITES, ENTRE EL DE HUMEDAD DE ADMISIÓN Y EL DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS, ES EL CRÍTICO.

EL VAPOR SEPARADO V SE COMPONE DE VAPOR SECO V_s , Y LÍQUIDO ARRASTRADO V_f , ÉSTE CON LA MISMA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS Z QUE EL LÍQUIDO SEPARADO. ESTAS CANTIDADES SE RELACIONAN CON LA CALIDAD DE VAPOR X EN LA SIGUIENTE FORMA:

$$V_s = V X \text{ ----- (III.1)}$$

$$V_f = V (1-X) \text{ ----- (III.2)}$$

SI SE MULTIPLICA LA ECUACIÓN III.2 POR Z SE OBTIENE LA CANTIDAD TOTAL DE SÓLIDOS S , ARRASTRADOS POR EL VA
POR:

$$S = V f z$$

$$S = V (1-x) z \text{ ----- (III.3)}$$

DIVIDIENDO POR V LA EXPRESIÓN III.3 SE OBTIENE: -
LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS Z' EN EL VAPOR:

$$z' = \frac{S}{V}$$

$$z' = (1-x) z \text{ ----- (III.4)}$$

DESPEJANDO LA CALIDAD SE OBTIENE:

$$x = 1 - (z'/z) \text{ ----- (III.5)}$$

POR EJEMPLO UN VALOR CARACTERÍSTICO DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS Z EN EL AGUA SEPARADA DEL CAMPO GEOTÉRMICO LOS AZUFRES ES DE 6000 mg/l. SUSTITUYENDO EL VALOR ANTERIOR Y EL PERMISIBLE DE Z' EN LA ECUACIÓN III.5 SE OBTIENE LA CANTIDAD MÍNIMA QUE DEBE TENER EL VAPOR A LA ENTRADA DE LA TURBINA.

$$x = 1 - 5/6000$$

$$x = 99.92\%$$

COMO SE PUEDE OBSERVAR, EL LÍMITE IMPUESTO CON

LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS EN EL VAPOR ES EL CRÍTICO.

DE LO ANTERIOR SE CONCLUYE, QUE DEBE DISPONERSE DE EQUIPO DE SEPARACIÓN QUE ENTREGUEN VAPOR CON CALIDADES SUPERIORES AL 99.9%.

III.2.- MECANISMOS DE SEPARACION.

EXISTEN VARIOS MECANISMOS PARA SEPARAR LAS PARTÍCULAS DEL VAPOR, ENTRE LOS PRINCIPALES SE TIENEN LOS SIGUIENTES:

- A) ASENTAMIENTOS GRAVITACIONALES.
- B) IMPACTO INERCIAL.
- C) FUERZA CENTRÍFUGA

LOS EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA SEPARACIÓN DEL FLUÍDO GEOTÉRMICO PUEDEN EMPLEAR UNO O MÁS DE LOS MECANISMOS. LA EFICIENCIA DE ESTOS EQUIPOS DEPENDERÁN PRINCIPALMENTE DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS LÍQUIDAS, DE TAL FORMA QUE UN EQUIPO DADO PUEDE SEPARAR CON ALTAS EFICIENCIAS, PARTÍCULAS CON TAMAÑOS MENORES SON SEPARADAS CON BAJAS EFICIENCIAS. LAPPLE CLASIFICÓ LAS DISTINTAS FORMAS DE PAR

TÍCULAS LÍQUIDAS Y LOS EQUIPOS DE SEPARACIÓN DE ACUERDO AL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS; ESTA CLASIFICACIÓN SE PRESENTA - EN LA FIG. III,1

A CONTINUACIÓN SE DESCRIBEN LOS TRES MECANISMOS DE SEPARACIÓN MENCIONADOS ANTERIORMENTE.

A) ASENTAMIENTOS GRAVITACIONALES.

EL VAPOR HÚMEDO SE PASA POR UN RECIPIENTE EN EL CUAL REDUCE SU VELOCIDAD. LAS PARTÍCULAS LÍQUIDAS, DEBIDO A SU MAYOR DENSIDAD TIENDEN A CAER, SEPARÁNDOSE DEL VAPOR. EXISTE UNA VELOCIDAD DE LAS PARTÍCULAS, LLAMADA VELOCIDAD TERMINAL O DE ASENTAMIENTO, PARA LA CUAL LA FUERZA DE ARRASTRE, QUE EJERCE EL VAPOR SOBRE ELLAS, EQUILIBRA LA FUERZA DE GRAVEDAD. TODAS LAS PARTÍCULAS CON VELOCIDADES TERMINALES MAYORES O IGUALES QUE LA VELOCIDAD VERTICAL DEL VAPOR SON SEPARADAS DE ÉL. SE PUEDE OBTENER UNA MAYOR SEPARACIÓN SI SE ELIMINA LA COMPONENTE VERTICAL DE LA VELOCIDAD DEL VAPOR, FORZÁNDOLO A SEGUIR UNA TRAYECTORIA HORIZONTAL; SIN EMBARGO AÚN CON ESTE CAMBIO NO RESULTA ECONÓMICO LA SEPARACIÓN PARA PARTÍCULAS MENORES DE 40 MICRONES (μ).

DIÁMETRO DE PARTICULAS, MICRAS

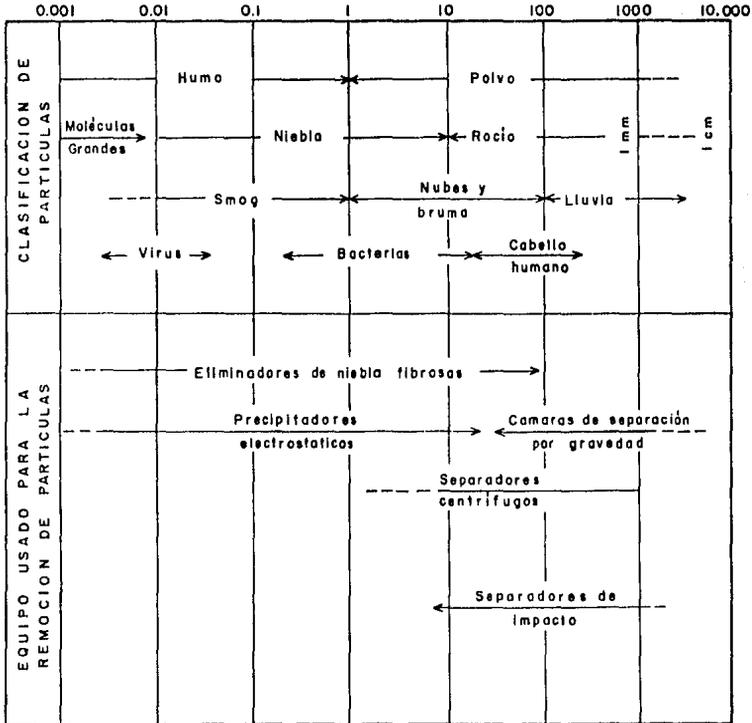


FIG. III. | CLASIFICACION DE LAPPLE

B) IMPACTO INERCIAL.

LAS PARTÍCULAS LÍQUIDAS EN VIRTUD DE SU MAYOR-CANTIDAD DE MOVIMIENTO, TIENE UNA MENOR FACILIDAD QUE - EL VAPOR DE ELUDIR LOS OBSTACULOS QUE SE ENCUENTRAN EN-SU CAMINO, CHOCANDO CONTRA ELLOS. ESTE EFECTO ES APROVE-CHADO EN ESTE TIPO DE EQUIPO PARA SEPARAR EL LÍQUIDO -- DEL VAPOR.

EN LA FIG. III.2 SE MUESTRAN VARIOS TIPOS DE -SEPARADORES DE IMPACTO. SE HAN DETERMINADO QUE EL VAPOR NO DEBE FLUIR A TRAVÉS DE ESTOS EQUIPOS CON VELOCIDADES MAYORES A UNA VELOCIDAD CRÍTICA. PARA EL CASO DE LOS SE- PARADORES DEL TIPO DE PLACAS ONDULADAS ESTA VELOCIDAD - ES:

$$v = \left[1.4 - 1.8 (1-x) \right] 10^{-0.0056p} \text{----- (III.6)}$$

DONDE:

v - VELOCIDAD CRÍTICA DEL VAPOR, m/seg.

x - CALIDAD DEL VAPOR (%)

p - PRESIÓN DEL VAPOR. (bars.)

OTRA EXPRESIÓN PARA LA VELOCIDAD CRÍTICA QUE DÁ

SEPARADORES DE IMPACTO TÍPICOS

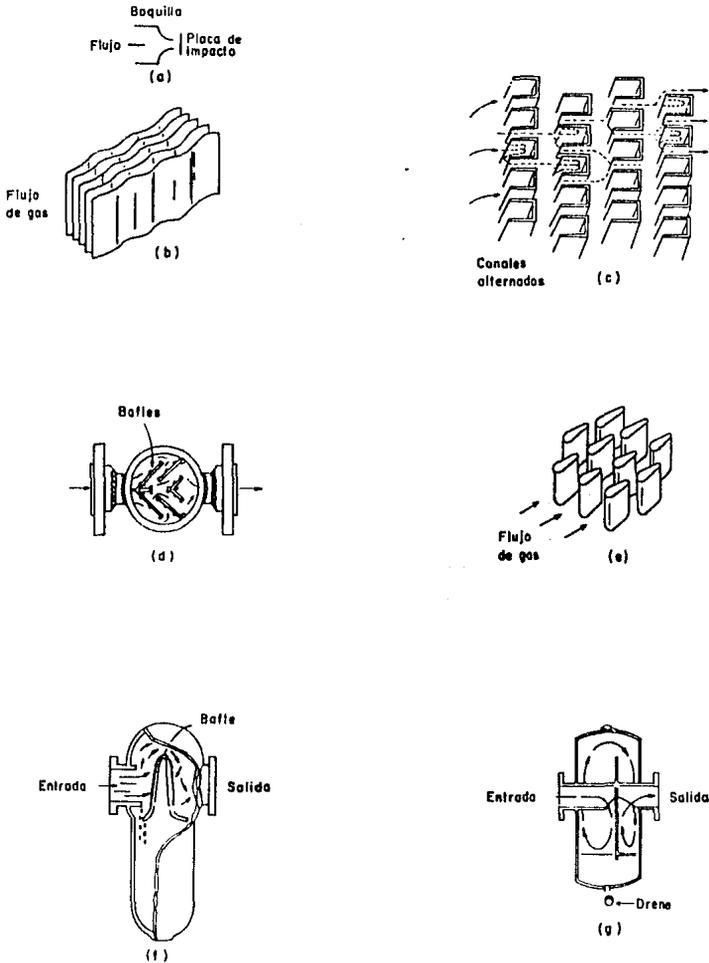


FIG. III-2 a) IMPACTACION POR CHORRO
 b) PLACAS ONDULADAS
 c) CANALES ALTERNADOS (BLAW KNOW CO.)
 d) SEPARADOR STRONG. (STRONG, CARLISLE AND HAMMOND)
 e) SEPARADOR KARBATE. (UNION CARBIDE CORP.)
 f) SEPARADOR HORIZONTAL TIPO E. (WRIGHT-AUSTIN CO.)
 g) SEPARADOR PL. (INGERSOLL RAND CO.)

RESULTADOS PARECIDOS A LOS DE LA ECUACIÓN (III.5) ES:

$$v = k \left(\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_l} \right)^{0.5} \text{ --- (III.7)}$$

DONDE:

$$k = \text{CTE.} = 0.4$$

v = VELOCIDAD EN (m /seg)

ρ_l y ρ_g DENSIDAD DEL LÍQUIDO Y VAPOR EN (kg/m³)

KATS OBSERVÓ QUE SI LA VELOCIDAD VARIABA DENTRO DEL RANGO $1/2v$ A $3v$, LA SEPARACIÓN NO ES AFECTADA APRECIABLEMENTE.

c).- FUERZA CENTRIFUGA.

ESTE TIPO DE MECANISMOS ES EL QUE SE EMPLEA EN LOS LLAMADOS SEPARADORES CICLÓNICOS. EN ESTOS EQUIPOS SE DESARROLLA UNA FUERZA CENTRÍFUGA SOBRE LAS PARTÍCULAS LÍQUIDAS, VARIOS CIENTOS DE VECES MAYOR QUE LA FUERZA DE GRAVEDAD, FORZÁNDOLAS A DEPOSITARSE SOBRE LA PARED EXTERNA DEL EQUIPO, MIENTRAS QUE EL VAPOR SIGUE EN TRAYECTORIA ASCENDENTE.

EN LAS FIGS. III.3 (A, B, C, D Y E), SE MUESTRAN ALGUNAS FORMAS DE SEPARADORES CICLÓNICOS.

EN LAS FIGS. III.4 Y III.5 SE MUESTRAN EL SEPARADOR **VORTEC**, SUS CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN, BÁSICAMENTE CONSISTEN EN LO SIGUIENTE: EL VAPOR HÚMEDO ENTRA TANGENCIALMENTE EN EL FONDO DE LA SECCIÓN DE VÓRTICE, AMBOS, LÍQUIDO Y VAPOR AVANZAN VERTICALMENTE EN ESPIRAL HACIA AFUERA DE ESTA SECCIÓN, EN LA PARTE SUPERIOR DE ELLA EL LÍQUIDO, GRADUALMENTE EMPIEZA A FLUIR CON UNA DIRECCIÓN OPUESTA A LA DEL VAPOR, ESTE RÉGIMEN DE FLUJO MINIMIZA EL POSIBLE REINGRESO DEL LÍQUIDO AL VAPOR Y MAXIMIZA EL ÁREA DE VÓRTICE PARA LA RECOLECCIÓN DEL LÍQUIDO.

D) COMBINACION DE MECANISMOS DE SEPARACION

EN GENERAL, LOS EQUIPOS COMERCIALES DE SEPARACIÓN COMBINAN LOS MECANISMOS DE FUERZA CENTRÍFUGA E IMPACTO.

UN EJEMPLO TÍPICO DE ESTOS SEPARADORES ES EL SEPARADOR Hi-ef DE LA COMPAÑÍA ANDERSON, FIG. III.6., EN EL QUE EL VAPOR HÚMEDO ES MANEJADO A TRAVÉS DE UNA SERIE DE -

SEPARADORES CENTRIFUGOS TÍPICOS

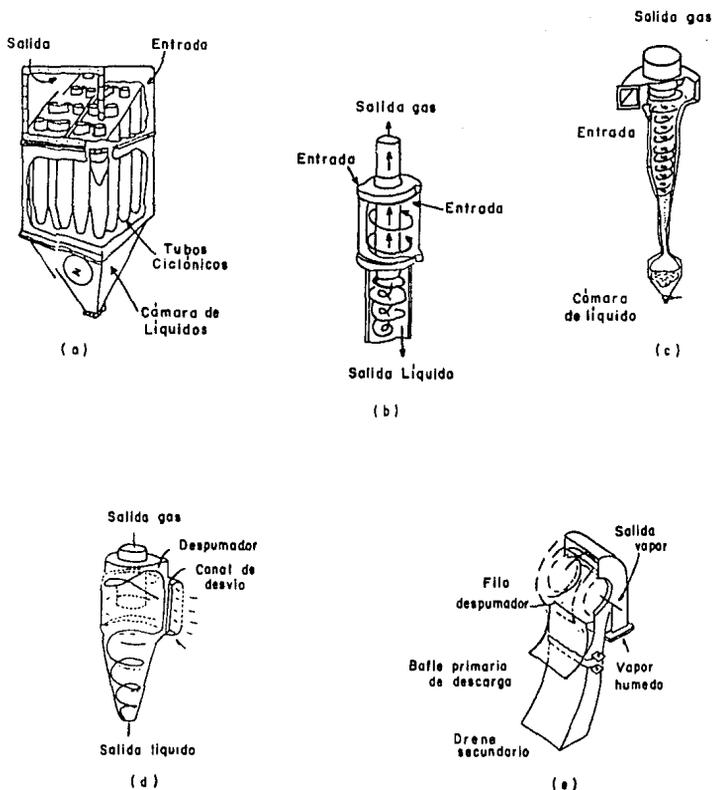
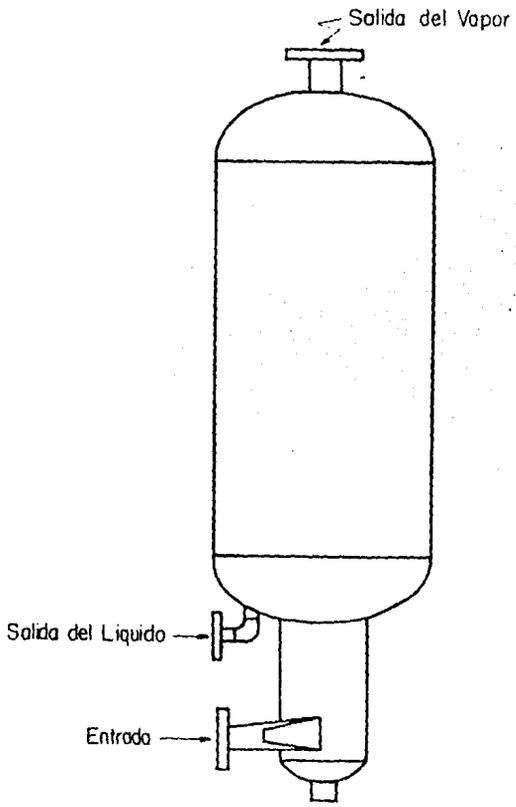


FIG. III - 3 (a) MULTICICLON (WESTERN PRECIPITATION CORP.)
 (b) TUBO CERAMICO THERMIX. (PRAT - DANIEL CORP.)
 (c) COLECTOR SIROCCO TIPO D. (AMERICAN BLOWER CORP.)
 (d) CICLON VAN TONGEREN (BUELL ENGINEERING CO.)
 (e) SEPARADOR DE VAPOR HORIZONTAL (FOSTER WHEELER CORP.)



Equipo de Separación marca Vortec.

Fig. III. 4

CARACTERISTICAS DE OPERACION DE LOS SEPARADORES VORTEC .

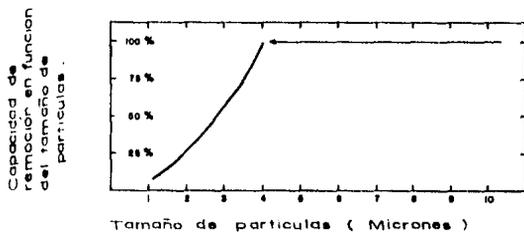
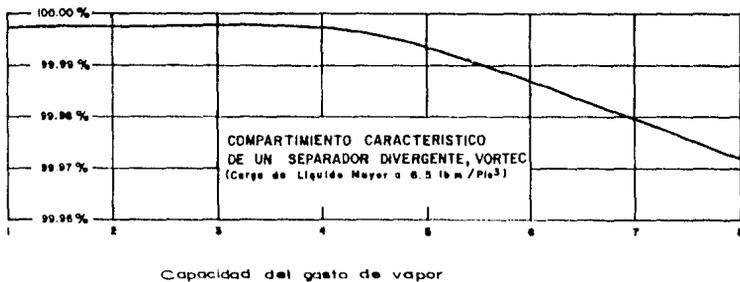
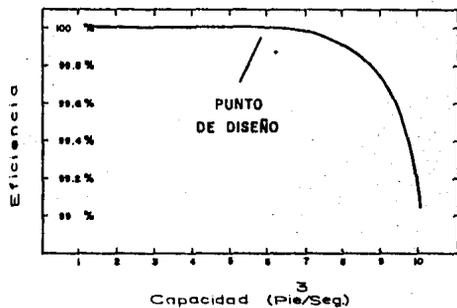
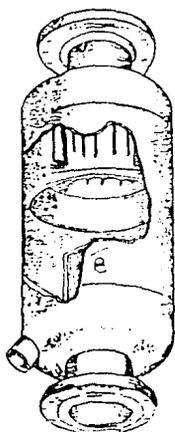


Fig. III . 5

SEPARADORES ANDERSON Hi-eF
 COMBINAN IMPACTO Y FUERZA CENTRIFUGA



TIPO L

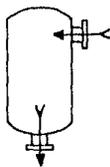


TIPO LU

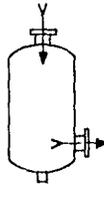
TIPO L



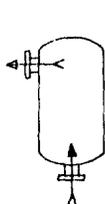
TIPO L



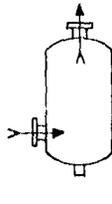
TIPO L



TIPO LU



TIPO LU



TIPO LU

Fig. III 6

ALETAS Y BAFLES. EN LA PRIMERA ETAPA DE SEPARACIÓN LA -- FUERZA DE IMPACTO REMUEVE LAS GOTAS GRANDES DE LÍQUIDO, EN LA SEGUNDA ETAPA DE SEPARACIÓN EL PURIFICADOR REMUEVE LAS PARTÍCULAS FINAS POR MEDIO DE FUERZA CENTRÍFUGA.

III.3.- EQUIPO DE SEPARACION PARA POZOS GEOTERMICOS.

EL SISTEMA DE SEPARACIÓN DE VAPOR QUE SE HA VENIDO EMPLEANDO EN LAS PLANTAS GEOTÉRMICAS ES EL SIGUIENTE: EN LA PLATAFORMA DEL POZO SE INTALA UN SEPARADOR DE VAPOR, EN DONDE LA MEZCLA PROVENIENTE DEL YACIMIENTO ES SEPARADA EN SUS COMPONENTES VAPOR Y LÍQUIDO, TANTO EL LÍQUIDO COMO EL VAPOR ARRASTRAN IMPUREZAS.

Á LO LARGO DE LA TUBERÍA DE VAPOR SE INTALAN UNA SERIE DE VÁLVULAS CON PURGAS CON EL PROPÓSITO DE ELIMINAR EL CONDENSADO.

FINALMENTE ANTES DE ENTRAR A LA TURBINA, EL VAPOR ES ENVIADO A TRAVÉS DE EQUIPO LLAMADO SEPARADOR DE HUMEDAD QUE HA LOGRADO ELUDIR LOS FILTROS ANTERIORES.

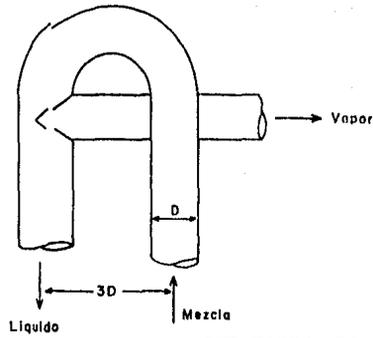
EN NUEVA ZELANDA, EL EQUIPO EMPLEADO COMO SEPA

RADOR DE VAPOR ES EL SEPARADOR CENTRÍFUGO O CICLÓN. ORIGINALMENTE EL SEPARADOR CENTRÍFUGO EMPLEADO TENÍA SALIDA SUPERIOR Y SE INSTALABA EN SERIE CON UN SEPARADOR DE TUBO EN U, EN EL CUAL SE ELIMINABA, PRIMERAMENTE LA MAYOR PARTE DE LÍQUIDO, AUNQUE SE TENÍAN PÉRDIDAS CONSIDERABLES DE VAPOR. EN LA FIG. III.7 SE MUESTRAN ESQUEMÁTICAMENTE ESTOS EQUIPOS.

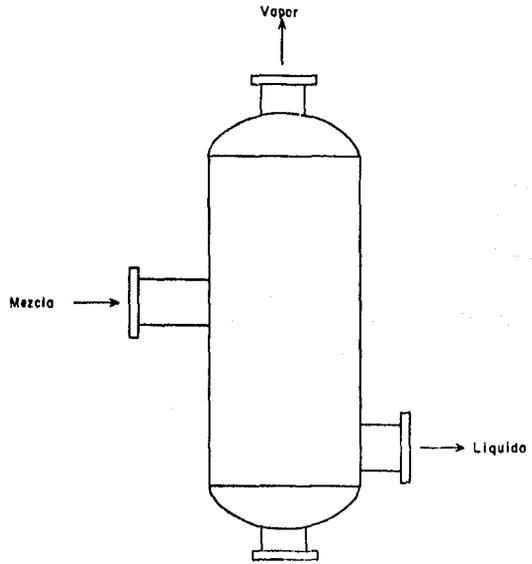
ESTUDIOS Y EXPERIMENTOS POSTERIORES CONDUJERON AL EMPLEO DEL SEPARADOR CENTRÍFUGO CON SALIDA INFERIOR, A ÉSTE SE LE CONOCE COMO SEPARADOR WEBRE, FIG. III.8, EN HONOR A SU DISEÑADOR.

EN EL CAMPO GEOTÉRMICO DE CERRO PRIETO SE UTILIZA EL SEPARADOR WEBRE COMO SEPARADOR DE VAPOR. EL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELÉCTRICAS HA REALIZADO PRUEBAS CON ESTOS EQUIPOS Y APOYÁNDOSE EN ESTUDIOS ANTERIORES HA DESARROLLADO UN MODELO MATEMÁTICO PARA SU DISEÑO. ADÉMÁS DE LA VELOCIDAD NOMINAL DEL VAPOR DE ENTRADA CONSIDERA LA VELOCIDAD DE ASCENSO DEL VAPOR COMO UNO DE LOS PARÁMETROS CRÍTICOS PARA LA SEPARACIÓN.

SEPARADOR DE TUBO EN U Y SEPARADOR CENTRIFUGO CON SALIDA SUPERIOR



SEPARADOR DE TUBO EN U



SEPARADOR CENTRIFUGO

Fig. III. 7

SEPARADOR TIPO WEBRE EMPLEADO EN CAMPOS GEOTERMICOS

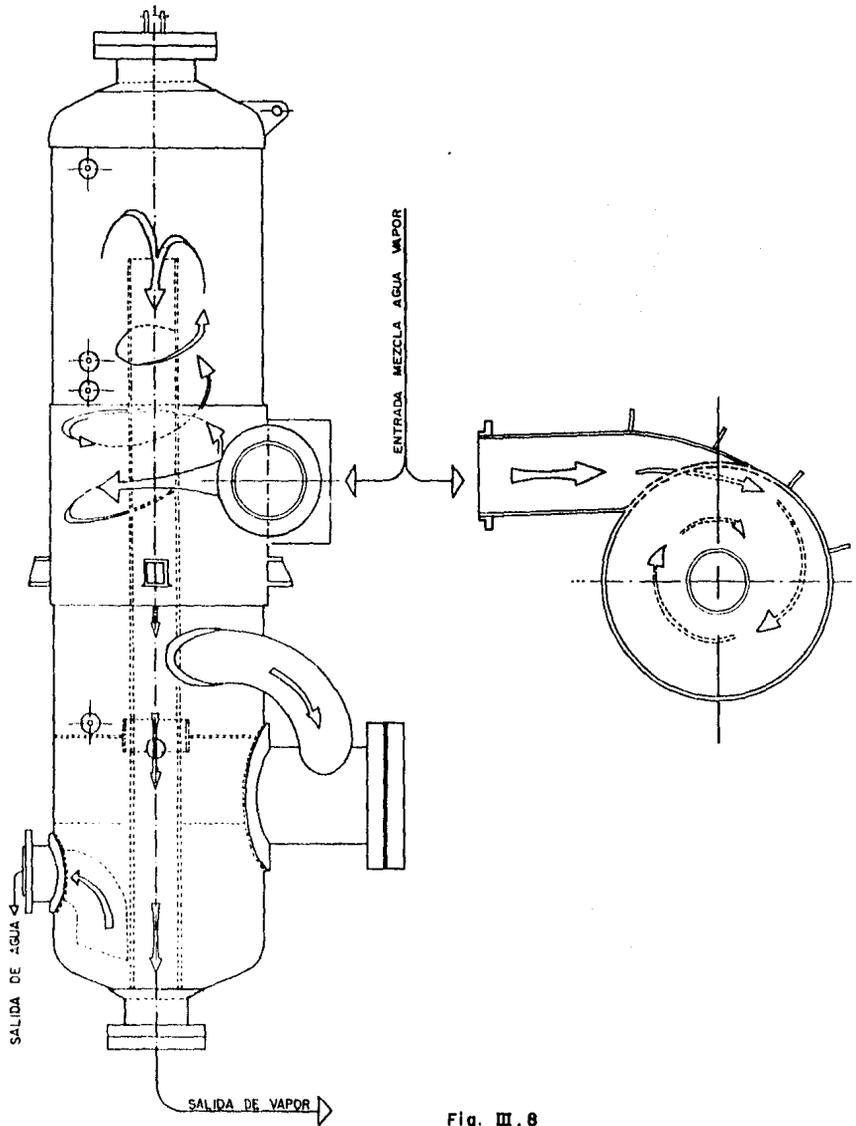


Fig. III.6

LOS SEPARADORES DE HUMEDAD EMPLEADOS EN CERRO - PRIETO FUERON ORIGINALMENTE UNOS SEPARADORES QUE COMBINAN EL IMPACTO Y LA FUERZA CENTRÍFUGA. EN LA ACTUALIDAD SE -- LES HAN HECHO MODIFICACIONES A ESTOS SEPARADORES DE MARCA CENTRIFIX DEBIDO A QUE LAS VIBRACIONES INDUCIDAS DESTRUYE RON LA TOBERA HELICOIDAL, ELEMENTO QUE CONSTITUÍA EL BLAN CO DONDE CHOCABAN LAS PARTÍCULAS LÍQUIDAS Y QUE ADEMÁS -- PROVOCABA QUE EL VAPOR ADQUIRIERA MOVIMIENTO HELICOIDAL - PARA SEPARAR POR FUERZA CENTRÍFUGA LA HUMEDAD, LAS MODIFI CACIONES HAN CONSISTIDO EN COLOCAR UNA PLACA DEFLECTORA - EN LA ENTRADA PARA DESVIAR EL FLUJO.

ACTUALMENTE SE ESTÁN INSTALANDO SEPARADORES DE_ HUMEDAD CENTRÍFUGA DEL QUE SE REPORTA BUEN FUNCIONAMIENTO,

EN LOS CAMPOS COMO LOS GEYSERS E.E.U.U. DONDE - EL VAPOR ES SOBRECALENTADO, NO SE USAN SEPARADORES DE VA- POR, SIN EMBARGO, EL VAPOR ARRASTRA ARENAS QUE SE NECESI- TA ELIMINAR. EN ESTOS CASOS SE UTILIZAN LOS DOS MECANIS-- MOS DE SEPARACIÓN IMPACTO Y FUERZA CENTRÍFUGA.

EN EL CAMPO GEOTÉRMICO DE LOS AZUFRES, SE UTILI ZA ACTUALMENTE 5 PLANTAS DE 5 MW CADA UNA, ESTAS TURBINAS

ESTAN COLOCADAS A BOCA DE POZO, LAS CUALES UTILIZAN SEPARADORES CENTRÍFUGOS DEL TIPO WEBRE, EL AGUA SEPARADA DE ESTOS POZOS SE TRANSPORTA HACIA POZOS INYECTORES YA QUE DEBIDO A SU CONTENIDO EN SALES MINERALES CONTAMINANTES -- (BORO, ARSENICO, SÍLICE, CLORUROS, ETC.) NO SE PUEDE TIRAR DIRECTAMENTE A LOS ARROYOS.

ACTUALMENTE EN LOS AZUFRES (ZONA SUR) SE CUENTA CON 22 POZOS PRODUCTORES DE VAPOR Y MEZCLA CON LOS CUALES SE CONTEMPLA EN UN CORTO PLAZO (2 AÑOS A PARTIR DE 1985), INSTALAR UNA PLANTA DE 50 MW.

PARA ENTREGAR VAPOR LIMPIO A LAS TURBINAS DE -- LAS UNIDADES DE 50 MW DE LOS AZUFRES SE HA CONSIDERADO EL SIGUIENTE ESQUEMA: INSTALAR UN SEPARADOR DE VAPOR CENTRÍFUGO EN CADA POZO Y UN SEPARADOR DE HUMEDAD QUE RECIBIRÁ EL VAPOR DE TODOS LOS POZOS QUE ALIMENTAN LA UNIDAD. ADEMÁS DADO QUE EL VAPOR DE LOS POZOS SECOS LLEVA EN SUSPENSIÓN SÍLICE, SE LE DEBERÁ SOMETER A UN PROCESO DE LAVADO PARA ELIMINÁRSELA.

LAS RAZONES POR LAS CUALES SE HAN SELECCIONADO LOS EQUIPOS CENTRÍFUGOS SON LAS SIGUIENTES:

- 1) SE PUEDE CONSTRUIR EN CUALQUIER TALLER DE -
PAILERÍA.
- 2) NO CUENTA CON COMPONENTES QUE PUEDEN SER DA-
ÑADOS FACILMENTE.
- 3) TIENEN BUEN FUNCIONAMIENTO, COMPARABLE AL -
DE LOS EQUIPOS COMERCIALES MÁS SOFISTICADOS.

PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SEPARADOR DE HUME-
DAD ES NECESARIO TENER EN CUENTA, EL GASTO DE VAPOR QUE-
MANEJARÁ LA PLANTA Y LA PRESIÓN DE SEPARACIÓN.

EJEMPLO:

GASTO DE VAPOR = 450 ton/hr.

PRESIÓN DE SEPARACIÓN = 10,5 bar abs.

CONSIDERANDO UNA VELOCIDAD DE 180 pie/seg. ---
(55m/seg), EL DIÁMETRO DE ENTRADA AL SEPARADOR TIENE EL
VALOR DADO POR LA EXPRESIÓN:

$$d = \left(\frac{4 v G}{\pi v} \right)^{0.5}$$

DONDE:

v: VOLUMEN ESPECÍFICO ($m^3/Kg.$)

G: GASTO DE VAPOR (Kg/s)

V: VELOCIDAD DE ENTRADA DE VAPOR (m/s)

d: DIÁMETRO INTERIOR DE LA BOQUILLA DE ENTRADA (m) SUSTI-
TUYENDO LOS VALORES APROPIADOS SE TIENE:

$$d = \left(\frac{4 \times 0.1856 \times 450\,000}{\pi \times 55 \times 3600} \right)^{0.5}$$

$$d = 0.73 \text{ m}$$

$$d = 29 \text{ PULGADAS.}$$

CON LO QUE SE PUEDE UTILIZAR, PARA ESTA BOQUILLA DE ENTRADA, UNA TUBERÍA DE 30 PULGADAS CON MEDIA PULGADA DE ESPESOR, YA QUE LA PRESIÓN QUE PUEDE SOPORTAR ES MAYOR DE LA PRESIÓN DE SEPARACIÓN COMO SE PUEDE VER A CONTINUACIÓN CON LA SIGUIENTE EXPRESIÓN: (ESPESOR Y PRESIONES DE TRABAJO PARA SEPARADORES CILÍNDRICOS, CÓDIGO ASME SECCIÓN 8):

$$p = \frac{S E t}{d + 0.6 t}$$

p = PRESIÓN DE DISEÑO (lb/pg^2)

S, ESFUERZO MÍNIMO ($1500 lb/pg^2$)

e, EFICIENCIA DE LA UNIÓN (E = 0.7)

t. ESPESOR MÍNIMO REQUERIBLE (pg)

d, DIÁMETRO INTERIOR (pg)

SUSTITUYENDO VALORES SE TIENE:

$$p = \frac{15\ 000 \times 0.7 \times 0.5}{(30 + 0.6 \times 0.5)}$$

$$p = 173.3 \text{ (lb/pg}^2\text{) MANOMÉTRICA}$$

$$p = 12.2 \text{ (bar) MANOMÉTRICA}$$

III.4.- SILENCIADORES DE VAPOR

LAS UNIDADES GEOTERMOELÉCTRICAS OPERAN NORMALMENTE COMO PLANTAS DE CARGA BASE DENTRO DEL SISTEMA AL QUE ESTÁN INTERCONECTADAS. OCASIONALMENTE, EL SISTEMA ELÉCTRICO PRESENTA REDUCCIONES DE CARGA IMPORTANTES QUE CONDUCEN A OPERAR LAS UNIDADES A MENOR CAPACIDAD, PROVOCANDO CON ELLO UNA DISMINUCIÓN EN LA DEMANDA DE VAPOR PARA LAS TURBINAS. EN CONTRASTE CON UN GENERADOR DE VAPOR DE UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA CONVENCIONAL, LOS POZOS GEOTÉRMICOS NO PUEDEN CONTROLARSE EN LA MISMA FORMA DEBIDO A QUE ES IMPOSIBLE MODIFICAR EL FLUJO DEL POZO SIN ALTERAR SIMULTÁNEAMENTE LA -

PRESIÓN. PARA GARANTIZAR EL SUMINISTRO DE VAPOR EN LA CANTIDAD Y PRESIÓN REQUERIDAS, AL PRESENTARSE REDUCCIONES EN LA CARGA DE LA UNIDAD GEOTERMOELÉCTRICA, SE ESTRANGULA LA ADMISIÓN A LA TURBINA Y SE DESCARGA A LA ATMÓSFERA EL VAPOR SOBRANTE. LOS INTENSOS NIVELES DE RUIDO QUE SE PRODUCE COMO CONSECUENCIA DE ESTAS DESCARGAS, SON UNA FUENTE DE CONTAMINACIÓN INADMISIBLE QUE DEBE AMORTIGUARSE MEDIANTE SILENCIADORES DE VAPOR.

III.4.1.- DISEÑO

EN EL DISEÑO DE UN SILENCIADOR SE DEBE TOMAR EN CUENTA LOS SIGUIENTES CRITERIOS: A) ACÚSTICO (ATENUACIÓN) B) MECÁNICO (MATERIALES), C) AERODINÁMICO (CAÍDAS DE PRESIÓN, TIEMPO DE VENTEO), D) GEOMÉTRICO (LIMITACIONES DE ESPACIO), E) ECONÓMICO (COSTO INICIAL Y DE MANTENIMIENTO).

EL INGENIERO, DEBE CONOCER, NO SOLO EL RUIDO ESPERADO POR LA DESCARGA ATMOSFÉRICA SIN SILENCIADOR, SINO TAMBIÉN EL NIVEL DE RUIDO ACEPTABLE PARA EL ÁREA DE TRABAJO EN DONDE SERÁ COLOCADO EL EQUIPO.

LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA DISEÑA DOS

TIPOS DE SILENCIADORES, EL SILENCIADOR DE REACCIÓN-ABSOR
CIÓN Y EL DE CAJÓN.

EL PRIMERO ESTÁ CONSTITUIDO POR DOS DIFUSORES -
(ACCIÓN REACTIVA) Y UNA SECCIÓN DE ABSORCIÓN (ACCIÓN DISI
PATIVA) MIENTRAS QUE EL DE CAJÓN ESTÁ FORMADO POR TRES CÁ
MARAS DE EXPANSIÓN (ACCIÓN REACTIVA) RECUBIERTAS CON AIS-
LANTE (ACCIÓN DISIPATIVA).

LOS PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES DE DISEÑO SE PRE
SENTAN EN LA TABLA III.1

CARACTERISTICAS GENERALES.

- LOS DOS TIPOS DE SILENCIADORES MENCIONADOS LOGRAN GRAN
DES ABATIMIENTOS DE RUIDO GENERADO POR EL VENTEO ATMOS
FÉRICO.
- PARA LAS MISMAS CONDICIONES DE DISEÑO EL SILENCIADOR DE
CAJÓN ES MÁS BARATO QUE EL DE REACCIÓN-ABSORCIÓN.

RECOMENDACIONES.

- SE RECOMIENDA UTILIZAR EL DE CAJÓN CUANDO NO EXISTAN -
LIMITACIONES DE ESPACIO; DE LO CONTRARIO EL DE REACCIÓN
ABSORCIÓN.

DISEÑO DE SILENCIADORES

SILENCIADORES		VAPOR		MEZCLA
CRITERIO	PARAMETRO	REACCION-ABSORCION	CAJON	VERTICAL TORRES GEMELAS
ACUSTICO	DIAMETRO (m)	$D \approx 0.03 G^{0.505}$	-	$D = \frac{4G}{60v}$
ACUSTICO	ALTURA O LONGITUD (m)	$h \approx 2.75 D^{0.56}$	-	$Z_v = 1.1 D$ $Z_l = 1.2 D$ $h = 3.2 D$
ACUSTICO	VOLUMEN (m ³)	-	-	$\approx 2 \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) h$
ACUSTICO	AISLANTE ACUSTICO	FIBRA DE VIDRIO	FIBRA DE VIDRIO	-
ACUSTICO MECANICO	VELOCIDAD DE VAPOR MAXIMA DE DESCARGA (m/s)	40	15	3.5
MECANICO	VELOCIDAD DE VAPOR MAXIMA INTERNA (m/s)	50	20	3.5
MECANICO	VELOCIDAD DE SALIDA DE AGUA (m/s)	-	-	1.5
MECANICO	MATERIALES	ACERO AL CARBONO	CONCRETO MADERA	CONCRETO ACERO AL CARBONO
GEOMETRICO	ESPACIO	UTILIZAR AL EXISTIR LIMITACIONES	UTILIZAR AL NO EXISTIR LIMITACIONES	

T A B L A III.1

III.4.2.- SILENCIADOR DE MEZCLA

EL SILENCIADOR DE MEZCLA FORMA PARTE DE LAS -
INSTALACIONES SUPERFICIALES DE LA PLATAFORMA DE UN POZO --
GEOTÉRMICO, EL CUAL SE EMPLEA PARA ABATIR EL RUIDO QUE SE_
PRODUCE CUANDO SE DESCARGA EN LA ATMÓSFERA MEZCLA (AGUA-VA
POR) GEOTÉRMICA. LOS CASOS MÁS FRECUENTES EN QUE SE UTILI-
ZA ESTE EQUIPO SON:

— DESCARGA DE FLUJO TOTAL DEL POZO.

EL POZO SE ENCUENTRA EN SU FASE DE "DESARROLLO"

OBTENCIÓN DE LA CURVA CARACTERÍSTICA DEL POZO.

CUANDO LA PLANTA ESTÁ FUERA DE SERVICIO (MANTENIMIENTO)

— DESCARGA DEL AGUA SEPARADA EN EL SEPARADOR A PIÉ DE POZO

OBTENER LA RELACIÓN AGUA-VAPOR DEL POZO.

REGISTRAR LA VARIACIÓN DEL FLUJO DEL POZO A TRAVÉS DEL_

TIEMPO.

SE SOSPECHA QUE EL POZO ESTÁ ARROJANDO ARENA.

CUANDO NO EXISTEN OTRAS ETAPAS DE EVAPORACIÓN Y EL AGUA

SE DESECHA POR LOS CANALES A UNA LAGUNA DE EVAPORACIÓN,

RÍO, ETC.

DISEÑO

LA TABLA III.1 PRESENTA LAS BASES MÁS IMPORTANTES DEL DISEÑO DE ESTOS EQUIPOS.

IV.- MEDICIONES Y MANEJO DE LA PRODUCCION EN LA SUPERFICIE.

IV.1.- GENERALIDADES.

LA NECESIDAD DE UN MÉTODO DE MEDICIÓN PARA LAS DIFERENTES CONDICIONES DE PRODUCCIÓN DE UN POZO, QUE REUNA LAS CONDICIONES DE EXACTITUD, SIMPLICIDAD Y BAJO COSTO, RESULTA EVIDENTE Y NECESARIO PARA EVALUAR LA COSTEABILIDAD EN LA EXPLOTACIÓN DE UN CAMPO GEOTÉRMICO. LOS PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN DE UN CAMPO DEPENDERÁ DE LAS CONDICIONES EN QUE SE ENCUENTRE EL POZO -

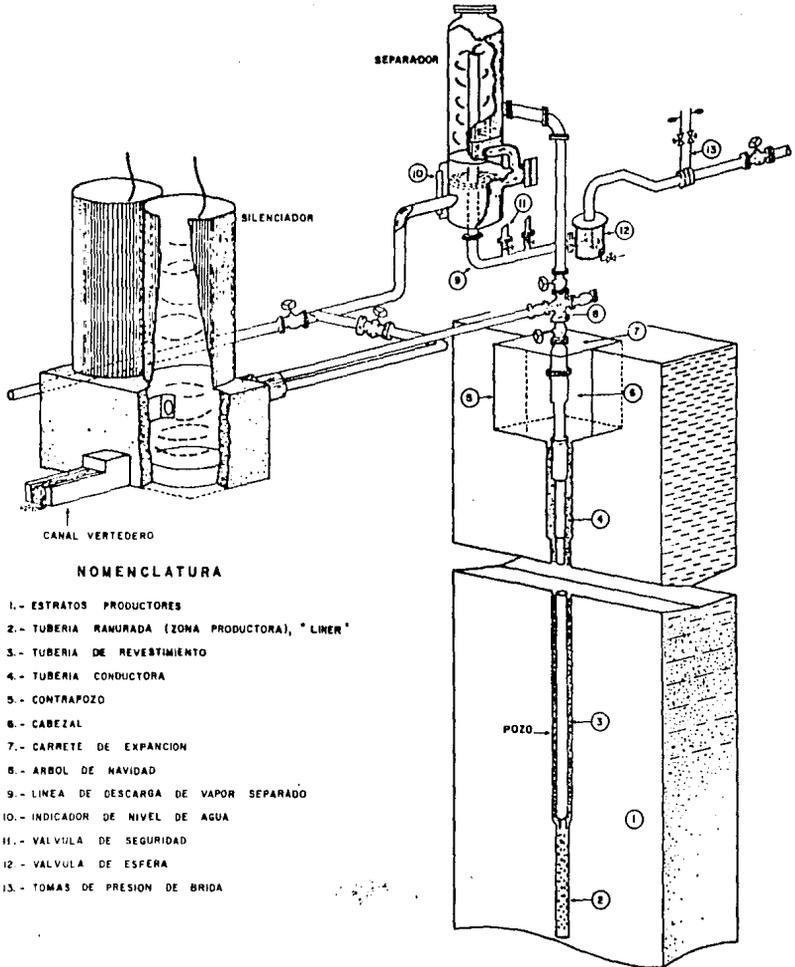
AGRUPADOS DE LA SIGUIENTE MANERA:

- A).- POZOS INTEGRADOS AL SISTEMA.
- B).- POZOS FUERA DEL SISTEMA.

IV.2.- POZOS INTEGRADOS AL SISTEMA.

LA PRODUCCIÓN DE LOS POZOS DE UN CAMPO GEOTÉRMICO GENERALMENTE CONSISTE EN UNA MEZCLA DE AGUA-VAPOR, LA CUAL PARA SER EXPLOTADA, NECESITA SEPARARSE PARA SER EMBIADO COMO VAPOR SECO A LAS TURBINAS DE LA CENTRAL GEOTERMOELÉCTRICA. LA FIG. IV.1 MUESTRA EL ARRE-

ARREGLO TIPICO DE INSTALACIONES SUPERFICIALES
EN UN POZO GEOTERMICO



NOMENCLATURA

- 1.- ESTRATOS PRODUCTORES
- 2.- TUBERIA RAMURADA (ZONA PRODUCTORA), "LINER"
- 3.- TUBERIA DE REVESTIMIENTO
- 4.- TUBERIA CONDUCTORA
- 5.- CONTRAPOZO
- 6.- CABEZAL
- 7.- CARRETE DE EXPANSION
- 8.- ARBOL DE NAVIDAD
- 9.- LINEA DE DESCARGA DE VAPOR SEPARADO
- 10.- INDICADOR DE NIVEL DE AGUA
- 11.- VALVULA DE SEGURIDAD
- 12.- VALVULA DE ESFERA
- 13.- TOMAS DE PRESION DE BRIDA

Fig. IV 1

GLO TÍPICO DE LAS INSTALACIONES SUPERFICIALES PARA UN-
POZO GEOTÉRMICO. LA SEPARACIÓN DE LA MEZCLA AGUA-VAPOR
SE LLEVA A CABO POR MEDIO DE UN SEPARADOR, EL AGUA SE-
PARADA ES DESCARGADA HACIA UN SILENCIADOR VERTICAL PA-
RA EFECTOS DE MEDICIÓN O EN CASO CONTRARIO A LA LAGUNA
DE DE EVAPORACIÓN; MIENTRAS QUE EL VAPOR SEPARADO ES -
EXTRAÍDO POR UN TUBO CENTRAL, POR EL QUE FLUYE HACIA -
LA RED DE RECOLECCIÓN.

EL SILENCIADOR VERTICAL SE LOCALIZA EN DIREC-
CIÓN DE UNA DE LAS DESCARGAS LATERALES DEL POZO Y ESTA
FORMADO POR UNA CÁMARA, QUE AL RECIBIR EL FLUJO ROMPE-
LA VELOCIDAD DE ESTE, LOGRÁNDOSE ASÍ UN FLUJO DE AGUA-
APARENTEMENTE LAMINAR QUE TIENDE A ESCURRIR POR UN VER-
TEDERO LOCALIZADO EN EL PISO DE LA PARTE POSTERIOR DE-
LA ENTRADA. EL VAPOR ES DESCARGADO POR DOS CHIMENEAS -
QUE ESTAN EN LA PARTE SUPERIOR DE LA CÁMARA DE RECEP-
CIÓN. CON LO CUAL SE CUANTIFICA EL VOLUMEN DE --
AGUA SEPARADA Y ADEMÁS AMORTIGUAR EL RUIDO PRODUCIDO -
POR LA DESCARGA DEL VAPOR O DEL AGUA A ALTA PRESIÓN A-
LA ATMÓSFERA.

EN ESTOS CASOS DE SEPARACIÓN LA MEDICIÓN DEL FLUIDO SE EFECTÚA POR LOS SIGUIENTES MÉTODOS.

PARA VAPOR SEPARADO. - MIDIENDO LA PRESIÓN DIFERENCIAL PROVOCADA POR UN ORIFICIO DE ESTRANGULAMIENTO EN LA LÍNEA DE VAPOR.

PARA AGUA SEPARADA. - MEDICIÓN DEL GASTO DE AGUA A TRAVÉS DE UN VERTEDERO INSTALADO EN EL CANAL DE AFORO A LA SALIDA DEL SILENCIADOR.

IV.3.- PARA POZOS FUERA DEL SISTEMA.

EN ESTE CASO LA MEZCLA TOTAL ES DESCARGADA POR LA LÍNEA LATERAL HACIA EL SILENCIADOR VERTICAL. LA EVALUACIÓN SE EFECTÚA POR EL MÉTODO DESARROLLADO POR **RUSSELL-JAMES**, EN BASE A EXPERIENCIAS OBTENIDAS EN EL CAMPO GEOTÉRMICO DE **WAIKAIKI**, NUEVA ZELANDA, EN DONDE TIENEN UNA MEZCLA "AGUA-VAPOR" SIMILAR A LA DE LOS CAMPOS MEXICANOS.

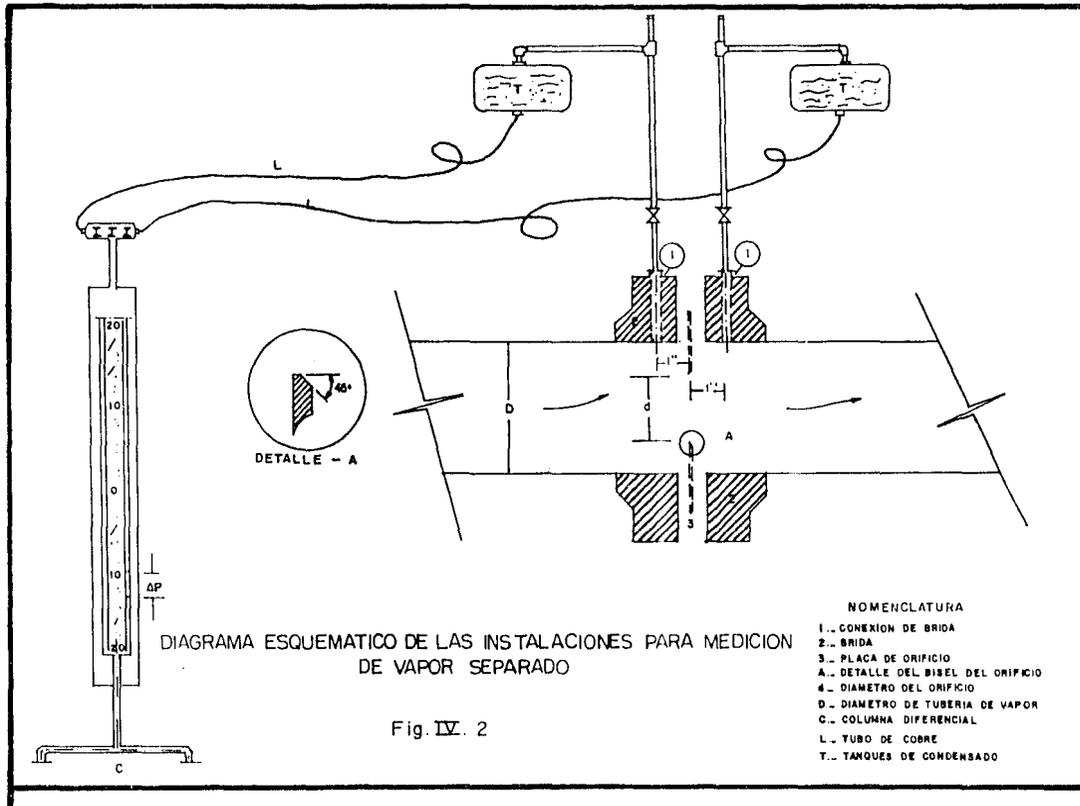
IV.-4.- MEDICION DEL VAPOR SEPARADO, UTILIZANDO ORIFICIOS DE ESTRANGULAMIENTO.

ES UN DISPOSITIVO EXTREMADAMENTE SENCILLO, PARA DETERMINAR INDICES DE FLUJOS (FIG. IV.2), MEDIANTE LA MEDICIÓN DE LA PRESIÓN DE FLUJO ANTES Y DESPUÉS DE UNA RESTRICCIÓN DEL DIÁMETRO LO CUAL SE LOGRA MEDIANTE LA INSERCIÓN DE UNA PLACA CON UN ORIFICIO.

LA RESTRICCIÓN HACE QUE EL FLUIDO SE CONTRAIGA Y UNA VEZ QUE EL FLUJO PERMANECE CONSTANTE, LA VELOCIDAD DE ÉSTE AUMENTA AL PASAR POR LA RESTRICCIÓN, LA PRESIÓN DISMINUYE AL MISMO TIEMPO, SEGUN LA LEY DE LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA. LA DIFERENCIA ENTRE LA PRESIÓN ANTES Y DESPUÉS DE LA RESTRICCIÓN SE LLAMA PRESIÓN DIFERENCIAL Y REPRESENTA UN ÍNDICE DE FLUJO.

IV.4.1.- CONSIDERACIONES DE LA PLACA DE ORIFICIO.

1).- LA PLACA DEBERÁ DE SER DE MONEL, ACERO INOXIDABLE O CUALQUIER ALEACIÓN DE ACERO ANTICORROSIVO, QUE TENGA UN COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICO APROXIMADAMENTE IGUAL, AL DE LAS BRIDAS PORTA ORIFICIO, CON UN ORIFICIO PERFORADO EN EL CENTRO.



2).- EL ESPESOR MÍNIMO DE LA PLACA DE ORIFICIO, EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DE FLUJO Y DEL DIÁMETRO DE TUBERÍA, SE PUEDE SELECCIONAR DE LA SIGUIENTE TABLA.

DIAMETRO DE LA TUBERIA (EN Pg.)	ESPESOR DE LA PLACA PARA -- TEMP. 600 °F (EN Pg.)	ESPESOR DE LA PLACA PARA -- TEMP. 600 °F (EN Pg.)
HASTA 3	$3/32 \pm 1/32$	1/4
4 A 6	$5/32 \pm 1/32$	3/8
7 A 8	$1/4 \pm 1/16$	1/2
MAYOR 10	$3/4 \pm 1/8$	1/2 A 3/4

3).- EL DIÁMETRO EXTERIOR DE LA PLACA DE ORIFICIO DEBERÁ SER TAL, QUE PUEDA EXACTAMENTE CENTRARSE DENTRO DE LA TUBERÍA, PERO PODRÍA ESTAR EXCENTRICO; EN ESTE CASO, LA EXCENTRICIDAD PODRÍA SER TAL QUE LA DISTANCIA DE LA PARED DE LA TUBERÍA A EL ORIFICIO NO SEA MENOR DEL 1% DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA.

4).- LAS PAREDES Y SUPERFICIE DE LA PLACA DE ORIFICIO, AGUAS ARRIBA, DEBERÁN FORMAR CON LAS PAREDES DE LA TUBERÍA, UN ÁNGULO RECTO BIEN DEFINIDO .

5).- LA CARA DE LA PLACA AGUAS ARRIRA DEBERÁ -
ESTAR COMPLETAMENTE LISA Y SIN PICADURAS, LIGERAS DES-
VIACIONES CON RESPECTO A ESTAS ESPECIFICACIONES PUEDEN
DAR LUGAR A ERRORES CONSIDERABLES.

6).- EL CANTO DEL ORIFICIO DEBERÁ BISELARSE -
FORMANDO UN ÁNGULO DE 30 A 45 GRADOS CON RESPECTO AL -
EJE DE LA TUBERÍA.

7).- LA RELACIÓN DE DIÁMETROS (β) ENTRE EL -
DIÁMETRO DEL ORIFICIO DE LA PLACA Y EL DIÁMETRO DE LA-
TUBERÍA, NO DEBERÁ SER MENOR DEL 25%, NI MAYOR DEL 75%

IV. 4.2.- INSTALACION DE LA PLACA DE ORIFICIO.

1).- LA INSTALACIÓN DE LA PLACA DE ORIFICIO -
DEBERÁ LOCALIZARSE EN UNA LÍNEA HORIZONTAL.

2).- LA PLACA DE ORIFICIO DEBERÁ COLOCARSE --
CON EL BISEL EN DIRECCIÓN AL FLUJO (DETALLE FIG. IV, 2)

3).- PARA ASEGURAR UNA MEDICIÓN EXACTA DEL --
FLUIDO, ES ESENCIAL QUE EL FLUIDO LLEGUE AL ORIFICIO -
CON UN PERFIL DE VELOCIDAD TURBULENTO COMPLETAMENTE DE

SARROLLADO, LIBRE DE REMOLINOS, ETC. LO QUE SE LOGRA -
CON EL USO DE LONGITUD ADECUADA DE TUBERÍA RECTA.

4).- PARA SU FÁCIL INSTALACIÓN O REEMPLAZO -
SE REQUERIRÁ DE BRIDAS PORTAORIFICIO EN LA LÍNEA, EN -
EL LUGAR ASIGNADO A LA INSTALACIÓN DE LA PLACA DE ORI-
FICIO.

5).- EL MATERIAL UTILIZADO COMO EMPAQUE EN -
LA INSTALACIÓN DE LA PLACA DE ORIFICIO, DEBERÁ SER DE -
UN TIPO Y COMPOSICIÓN QUE NO SE COMPRIMA MÁS DEL 20% -
BAJO UNA CARGA DE 4 000 lb/pg².

PARA BAJAS PRESIONES, UN EMPAQUE DE ASBESTO-
COMPRIMIDO PUEDE LLENAR ESTOS REQUISITOS.

PARA ALTAS PRESIONES SE REQUERIRÁ DE JUNTA -
ANULAR O EMPAQUE METÁLICO.

IV. 4.3.- TOMAS DE PRESION.

LAS FORMAS MÁS COMUNES DE INSTALAR LAS TOMAS
DE PRESIÓN PARA PLACAS DE ORIFICIO SON CONEXIÓN EN BRI-
DA Y CONEXIÓN EN VENA CONTRACTA.

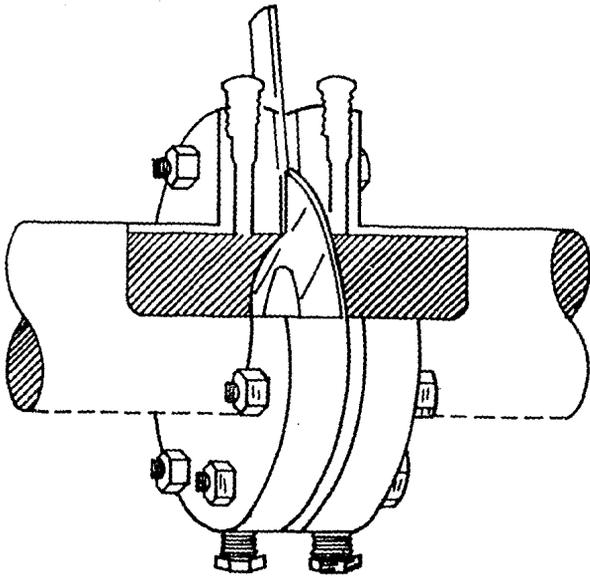
1).- **CONEXION EN BRIDA.** - LAS TOMAS DE ALTA Y-BAJA PRESIÓN, SE CONECTAN DIRECTAMENTE A LA BRIDA PORTA ORIFICIO, CUYAS PERFORACIONES ROSCADAS VIENEN HECHAS DE FÁBRICA A UNA DISTANCIA DE 1 pg., A AMBOS LADOS DE LA PLACA DE ORIFICIO (FIG. IV.3.).

2).- **CONEXION EN VENA CONTRACTA.** - SE EFECTÚA CUANDO SE DESEA APROVECHAR LA DIFERENCIAL MÁXIMA A TRAVÉS DEL ORIFICIO. LA DISTANCIA A LA CUAL SE ORIGINA LA MÁXIMA CONTRACCIÓN DE LA VENA CON RESPECTO A LA PLACA DE ORIFICIO DEPENDE DE LA RELACIÓN DE DIÁMETROS ENTRE EL ORIFICIO Y LA TUBERÍA.

LA TOMA DE BAJA PRESIÓN SE SITÚA A UNA DISTANCIA IGUAL A UN DIÁMETRO DE LA TUBERÍA, EN TANTO QUE LA TOMA DE ALTA PRESIÓN, SE INSTALA A UNA DISTANCIA IGUAL A LA MITAD DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA.

IV.4.4.- **MEDICION DE LA PRESION DIFERENCIAL.**

LA DIFERENCIA DE PRESIÓN EXISTENTE AGUA ARRIBA Y AGUA ABAJO, CON RESPECTO A LA PLACA DE ORIFICIO, COMUNMENTE SE REGISTRA CON UNA COLUMNA DIFERENCIAL Ó --



BRIDA Y ORIFICIO EN TUBERIAS DE CONDUCCION DE VAPOR

Fig. IV. 3

TAMBIÉN LLAMADA MANÓMETRO TUBO "U".

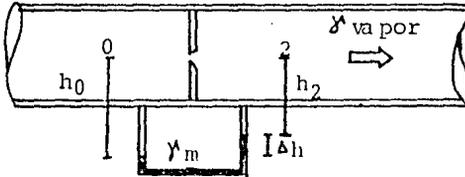
ESTE TIPO DE MANÓMETRO CONSTA DE UN TUBO CAPILAR EN FORMA DE "U" CON UNA ESCALA GRADUADA DOBLE, TOMANDO COMO CERO APROXIMADAMENTE LA MITAD DE LA LONGITUD Ó ALTURA DEL TUBO EN "U", LA CUAL SE LLENA AFORANDO A CERO CON UN LÍQUIDO DE PESO CONOCIDO; AL APLICAR PRESIÓN EN UNO O EN AMBOS EXTREMOS, DESPLAZARÁ LA COLUMNA DE LÍQUIDO Y LA PRESIÓN APLICADA SERÁ IGUAL A LA ALTURA DE LA COLUMNA DE LÍQUIDO BALANCEADO.

EL LÍQUIDO UTILIZADO DEBERÁ TENER BUENAS CARACTERÍSTICAS DE MOJABILIDAD Y SER CAPAZ DE FORMAR UN MENÍSCO CONSISTENTE EN EL TUBO INDICADOR PARA FACILITAR LA LECTURA; ESTE FLUIDO UTILIZADO AFECTA EL RANGO DE OPERACIÓN DEL MANÓMETRO; ASÍ POR EJEMPLO EL MERCURIO QUE ES 13.6 VECES MÁS PESADO QUE EL AGUA, SE MOVERA 1/13.6 DE LA DISTANCIA DEL AGUA EN RESPUESTA A UNA PRESIÓN DADA.

LAS UNIDADES COMUNMENTE USADAS PUEDEN SER PULGADAS Ó CENTÍMETROS DE MERCURIO USANDO MERCURIO COMO FLUIDO DE MEDICIÓN; PULGADAS O CENTÍMETROS DE AGUA EN CASO DE SER ESTE EL FLUIDO DE LA COLUMNA.

IV.4.5.- ECUACION PARA CALCULAR EL GASTO.

ANÁLISIS DEL PROBLEMA, CONSIDERANDO LA SIGUIENTE SECCIÓN DE TUBERÍA.



APLICANDO EL TEOREMA DE BERNOULLI, AL PUNTO -- "0" Y EL PUNTO "2".

$$\frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} + Z_0 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + H_{f_{0-2}} \text{ ---(IV.1)}$$

DONDE:

P = PRESIÓN MANÓMETRICA.

γ = PESO ESPECÍFICO DEL FLUIDO.

V = VELOCIDAD DEL FLUIDO.

g = GRAVEGAD.

Z = ALTURA ESTÁTICA.

H_f = PÉRDIDAS DE PRESIÓN POR FRICCIÓN.

COMO:

$$Z_0 = Z_2 \text{ -----(IV.2)}$$

Y

$$H_f = k \frac{v_1^2}{2g} \text{ - - - - - (IV.3)}$$

DONDE k ES UN COEFICIENTE DE DESCARGA.

DE LA ECUACIÓN DE CONTINUIDAD.

$$Q_0 = Q_1 = Q_2$$

DONDE: $Q = vA$

SE TIENE

$$\frac{v_0 \pi D^2}{4} = \frac{v_1 \pi d_1^2}{4} = \frac{v_2 \pi d_2^2}{4}$$

$$v_0 = v_1 \left(\frac{d_1}{D}\right)^2 \text{ TOMANDO } \beta = \frac{d_1}{D} \text{ QUEDA: } v_0 = v_1 \beta^2 \text{ - - (IV.4)}$$

$$v_2 = v_1 \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \text{ TOMANDO } \alpha = \frac{d_1}{d_2} \text{ QUEDA: } v_2 = v_1 \alpha^2 \text{ - - (IV.5)}$$

SUSTITUYENDO LAS ECUACIONES IV.2, IV.3, IV.4 Y IV.5 EN --
LA ECUACIÓN IV.1 SE TIENE

$$\frac{p_0}{\gamma} + \left(\frac{v_1 \beta^2}{2g}\right)^2 + Z_0 = \frac{p_2}{\gamma} + \left(\frac{v_1 \alpha^2}{2g}\right)^2 + Z_0 + K \frac{v_1^2}{2g}$$

SIMPLIFICANDO Y AGRUPANDO TÉRMINOS SE TIENE

$$\frac{2g}{\gamma} (P_0 - P_2) = v_1^2 (\alpha^4 + k - \beta^4) \text{ ----- (IV.6)}$$

POR OTRO LADO DEL ANÁLISIS DE PRESIONES ENTRE EL PUNTO "0" Y EL PUNTO "2" SE TIENE

$$P_0 + \gamma h_0 = P_2 + \gamma h_2 + \Delta h \gamma_m$$

$$P_0 - P_2 = \gamma h_2 - \gamma h_0 + \Delta h \gamma_m$$

$$P_0 - P_2 = -\gamma (h_0 - h_2) + \Delta h \gamma_m$$

COMO : $\Delta h = h_0 - h_2$

TENEMOS : $P_0 - P_2 = \Delta h (\gamma_m - \gamma)$

DESPRECIANDO γ YA QUE ES MUY PEQUEÑO COMPARADO CON γ_m DEL FLUIDO DEL MANÓMETRO (GENERALMENTE MERCURIO).

$$P_0 - P_2 = \Delta h \gamma_m \text{ ----- (IV.7)}$$

TRANSFORMANDO Δh DEL MERCURIO A Δh_a DEL AGUA:

$$P_0 - P_2 = \Delta h_a \frac{\gamma_a}{\gamma_m} \gamma_m = \Delta h_a \gamma_a \text{ ----- (IV.8)}$$

SUSTITUYENDO LA ECUACIÓN IV.8 EN IV.6 ---

QUEDA:

$$\frac{\Delta h_a \gamma_a}{\gamma} \frac{2g}{\gamma} = v_1^2 (\alpha^4 + k - \beta^4)$$

DONDE:

$$v_1 = \frac{1}{\sqrt{\alpha^4 + k - \beta^4}} \sqrt{\frac{\Delta h_a \gamma_a 2g}{\gamma}} \quad \text{--- (IV.9)}$$

DE LA ECUACIÓN DE CONTINUIDAD,

$$Q_1 = v_1 A_1 = \frac{\pi d^2}{4} \frac{1}{\sqrt{\alpha^4 + k - \beta^4}} \sqrt{\frac{\Delta h_a \gamma_a 2g}{\gamma}} \quad \text{--- (IV.10)}$$

PARA OBTENER FLUJO MÁSSICO ES NECESARIO MULTIPLICAR EL CAUDAL POR EL PESO ESPECIFICO DEL FLUIDO A TRAVÉS DEL ORIFICIO.

$$m = Q = \frac{\pi d^2}{4} \frac{1}{\sqrt{\alpha^4 + k - \beta^4}} \sqrt{\Delta h_a \gamma_a 2g \gamma} \quad \text{--- (IV.11)}$$

HACIENDO:

$$K = \text{CONSTANTE} = \frac{1}{\sqrt{\alpha^4 + k - \beta^4}} = CF \quad \text{--- (IV.12)}$$

DONDE:

CF = COEFICIENTE DE DESCARGA Y ES FUNCION DE LA RELACIÓN DE DIÁMETROS β Y EL NÚMERO DE REYNOLDS.

F = FACTOR DE VELOCIDAD DE APROXIMACION.

SUSTITUYENDO LA ECUACIÓN IV.12 EN IV.11 E INTRODUCIENDO ALGUNOS FACTORES DE CORRECCIÓN,

$$m = \frac{\pi d^2}{4} CFF_a \gamma \sqrt{\Delta h_a \gamma_a 2g \gamma} \quad \text{--- (IV.13)}$$

QUEDANDO FINALMENTE:

$$m = 359 C F F_a d^2 Y (\Delta h_a / v)^{0.5}$$

DONDE:

m = GASTO (lb/hr)

C = COEFICIENTE DE DESCARGA (ADIMENSIONAL)

F = FACTOR DE VELOCIDAD DE APROXIMACIÓN --

(ADIMENSIONAL). $F = (1 - \beta^4)^{-0.5}$

β = RELACIÓN DE DIÁMETRO DEL ORIFICIO Y --

DIÁMETRO DE LA TUBERÍA. $\beta = \frac{d}{D}$

d = DIÁMETRO DEL ORIFICIO (pg.)

D = DIÁMETRO DE LA TUBERÍA (pg.)

F_a = FACTOR DE EXPANSIÓN TÉRMICA PARA EL O-
RIFICIO (ADIMENSIONAL).

Y = COEFICIENTE DE FLUJO (ADIMENSIONAL).

Δh_a = PRESIÓN DIFERENCIAL (pg. DE AGUA).

v = VOLUMEN ESPECÍFICO DEL VAPOR (pie³/lb)

IV.4.6.- SECUENCIA DE CALCULO.

PARA ESTABLECER LA SECUENCIA DE CÁLCULO, SE --
HARÁ MEDIANTE EL SIGUIENTE EJEMPLO, TOMANDO VALORES REA-

LES DEL CAMPO DE LOS AZUFRES, MICHOACAN.

EJEMPLO: CALCULAR EL FLUJO DE VAPOR, A TRAVÉS DE UNA TUBERÍA DE 15 pg. DE DIÁMETRO INTERIOR, CON UNA PRESIÓN DE LÍNEA DE 27,5 lb/pg². MANOMÉTRICA, EN LA CUAL SE HA COLOCADO UNA PLACA DE ORIFICIO DE ACERO AL CARBÓN DE TIPO DE ORIFICIO CONCÉNTRICO DE 11.25 pg. DE DIÁMETRO, PROVOCANDO UNA DIFERENCIAL DE PRESIÓN DE 1005 mm DE Hg.

DATOS:

$$P_1 = 27,5 \text{ lb/pg}^2 \text{ man.}$$

$$D = 15 \text{ pg.}$$

$$\Delta h = 1005 \text{ mm DE Hg.} = 39,56 \text{ pg DE Hg.}$$

$$d = 11,25 \text{ pg.}$$

$$\text{TEMP. DE SAT.} = 263,2 \text{ }^\circ\text{F}$$

FÓRMULAS:

$$m = 359 C F d^2 F_a Y (\Delta h a / v)^{0,5} \text{ (APARENTE)}$$

$$m = 359 K d^2 F_a Y (\Delta h a / v)^{0,5} \text{ (REAL)}$$

SECUENCIA:

1).- DETERMINAR β

$$\beta = \frac{d}{D} = \frac{11,25}{15} = 0,75$$

2).- DETERMINAR EL FACTOR DE VELOCIDAD DE APROXIMACIÓN MEDIANTE LA SIGUIENTE FÓRMULA:

$$F = (1 - \beta^4)^{-0.5}$$

$$F = (1 - 0.75^4)^{-0.5} = 1.209$$

O USANDO LAS FIGS. IV.4A Y IV.4B DEL ANEXO A.

3).- CON LA PRESIÓN DE LÍNEA Y LA TEMPERATURA DE SATURACIÓN, ENCONTRAR EL FACTOR DE EXPANSIÓN TÉRMICA (F_a) EN LA FIG. IV.5 DEL ANEXO A. $F_a = 1.0031$

4).- EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN DE DIÁMETROS β Y LA RELACIÓN $\Delta h/p_1$, SE DETERMINA Y CON LA ECUACIÓN SIGUIENTE:

$$Y = 1 - (0.41 + 0.35\beta^4) \frac{x}{k}$$

DONDE: $x = \Delta h/p_1$

Δh = ALTURA DE LA COLUMNA DEL FLUIDO MANOMÉTRICO CONVERTIDO A SU PRESIÓN EQUIVALENTE EN lb/pg^2 .

p_1 = PRESIÓN DE LÍNEA EN lb/pg^2 .

y $k = C_p/C_v$

k = RELACIÓN DE CALORES ESPECIFICOS.

C_p = CALOR ESPECIFICO A PRESIÓN CONSTANTE.

C_v = CALOR ESPECIFICO A VOLUMEN CONSTANTE.

(EL ASME CONSIDERA $\kappa=1.3$ PARA VAPOR SATURADO).

ENTONCES:

$$1 \text{ pg. DE Hg.} = 0.49045 \text{ lb/pg}^2 \text{ A } 68^\circ\text{F}$$

$$39.56 \text{ pg. DE Hg.} = 19.4 \text{ lb/pg}^2$$

$$x = \frac{19.4}{27.5} = 0.7055$$

$$Y = 1 - (0.41 + 0.35(0.75)^4) \frac{0.7055}{1.3}$$

$$Y = 0.717$$

Ó USANDO LA FIG. IV.6 DEL ANEXO A.

5).- SUPONER UN COEFICIENTE DE DESCARGA $C=0.61$

Y DETERMINAR m (APARENTE).

$$m = 359 C F d^2 F_a Y (\Delta h_a / v)^{0.5}$$

$$1 \text{ pg. DE Hg.} = 13.6 \text{ pg DE AGUA.}$$

$$39.56 \text{ pg. DE Hg.} = 538.01 \text{ pg. DE AGUA.}$$

$$\text{CON LA PRESIÓN DE LÍNEA } P_1 = 27.5 \text{ lb/pg}^2$$

Y UTILIZANDO TABLAS DE VAPOR $v = 11.02$

$$\text{pie}^3/\text{lb.}$$

ENTONCES:

$$m = 359(0.61)(1.209)(11.25)^2(1.0031) \\ (0.717) \left(\frac{538.01}{11.02} \right)^{0.5}$$

$$m = 168,392.75 \text{ lbs/hr.}$$

7).- DETERMINAR EL COEFICIENTE REAL DE DESCARGA K.

A).- PARA CONEXIONES EN BRIDA.

$$K = K_o \left(1 + \frac{A}{R_d} \right)$$

$$K_o = K_e \left(\frac{10^6 a}{10^6 a + 15A} \right)$$

$$K_e = 0.5993 + \frac{0.007}{D} + \left(0.364 + \frac{0.076}{\sqrt{D}} \right)^4 \\ + 0.4 \left(1.6 - \frac{1}{D} \right)^5 \left[\left(0.07 + \frac{0.5}{D} \right) - \beta \right]^{5/2} \\ - \left(0.009 + \frac{0.034}{D} \right) (0.5 - \beta)^{3/2} \\ + \left(\frac{65}{D^2} + 3 \right) (\beta - 0.7)^{5/2}$$

$$A = a(830 - 5000\beta + 9000\beta^2 - 4200\beta^3 + \frac{530}{\sqrt{D}})$$

$$R_d = \frac{0.004244 \text{ m}}{d g \mu}$$

B).- PARA CONEXIÓN EN VENA CONTRÁCTA.

$$K = K_o + b \lambda$$

$$\lambda = 1000/\sqrt{Rd} = 1000/\sqrt{\beta Rd}$$

$$K = 0.5922 + 0.4252 \left(\frac{0.0006}{D^2 \beta^2 + 0.001D} + \right.$$

$$\left. \beta^4 + 1.25\beta^{16} \right)$$

$$b = 0.00025 + 0.002325(\beta + 1.75\beta^4 + 10\beta^{12} + 2D\beta^{16})$$

CON M APARENTE DETERMINAR EL NÚMERO DE REYNOLDS
USANDO LA SIGUIENTE EXPRESIÓN:

$$Rd = \frac{0.004244 \text{ m}}{d g \mu}$$

gμ SE DETERMINA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA Y
USANDO LA FIG. IV.7 DEL ANEXO A gμ = 0.000009

$$Rd = \frac{(0.004244)(168392.75)}{(11.25)(0.000009)} = 7 \ 061846.1$$

PARA CONEXIÓN EN BRIDA CALCULAR EL COEFICIENTE
REAL DE DESCARGA K.

$$K_e = 0.5993 + \frac{0.007}{15} + (0.364 + \frac{0.076}{\sqrt{15}})(0.75)^4$$

$$+ 0.4(1.6 - \frac{1}{15})^5 [(0.07 + \frac{0.5}{15}) - 0.75]^{5/2}$$

$$- (0.009 + \frac{0.034}{15})(0.5 - 0.75)^{3/2} +$$

$$(\frac{65}{15^2} + 3)(0.75 - 0.7)^{5/2} = .7230769$$

$$A = 11.25(830 - 5000(0.75) + 9000(0.75)^2 -$$

$$4200(0.75)^3 + \frac{530}{\sqrt{15}}) = 12459.042$$

$$K_0 = 0.7230769 \left(\frac{10^6 (11.25)}{10^6 (11.25) + 15(12459.042)} \right)$$

$$= 0.7112614$$

$$K = 0.7112614 \left(1 + \frac{12459.042}{7061846.1} \right)$$

$$K = 0.7125162$$

7).- POR ÚLTIMO CALCULAR m REAL.

$$m = 359 K d^2 F_a Y \left(\frac{\Delta h_a}{v} \right)^{0.5}$$

$$m = 359(0.7125162)(11.25)^2(1.0031)(0.717)$$

$$\left(\frac{538.01}{11.02} \right)^{0.5} = 162\ 690.41 \text{ lbs/hr.}$$

IV.5.- MEDICION DEL GASTO DE AGUA SEPARADA USANDO VER- TEDEROS.

LA CUANTIFICACIÓN SE EFECTÚA PASANDO EL FLU-
JO DE AGUA SEPARADA POR MEDIO DE UNA TUBERÍA QUE SALE-
DEL SEPARADOR AL SILENCIADOR VERTICAL, DEL CUAL SE -
DERIVA UN CANAL DE CONDUCCIÓN COMUNMENTE LLAMADO DE --
AFORO EN EL CAUL SE INSTALA UN VERTEDERO PARA EFECTOS-
DE MEDICIÓN.

UN VERTEDERO ES UNA PRESA POR ENCIMA DE LA -
CUAL O PASANDO POR UNA HENDIDURA EN SU CORONACIÓN, SE-

VIERTE EL LÍQUIDO QUE CIRCULA POR EL CANAL HORIZONTAL-ABIERTO. LOS TERMINOS VERTEDERO RECTANGULAR, VERTEDERO TRIANGULAR, ETC., SE REFIEREN, POR LO GENERAL, A LA FORMA DE LA HENDIDURA Ó CORTE DEL VERTEDERO.

LA TEORÍA DEL VERTEDERO ES MUY SIMILAR A LA DE UN ORIFICIO QUE DESCARGA EN UN ESPACIO LLENO DE UN GAS; EN REALIDAD, UN VERTEDERO PUEDE CONSIDERARSE COMO UN ORIFICIO DE ESTA CLASE QUE FUNCIONA BAJO UNA CARGA HIDROSTÁTICA TAN PEQUEÑA QUE LA ABERTURA NO SE LLENA POR COMPLETO. TAMBIÉN EN LO QUE RESPECTA A SU FUNCIONAMIENTO TIENEN LOS VERTEDEROS MUCHAS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ORIFICIOS; POR EJEMPLO, LA LÁMINA DE LÍQUIDO DERRAMADO SE CONTRAE POR LO GENERAL DESPUÉS DE ABANDONAR LOS BORDES DE LA ABERTURA COMO LO HACE EL CHORRO QUE SALE DE UN ORIFICIO.

IV.5.1.- SELECCION DE UN VERTEDERO.

EL TIPO DE VERTEDERO ELEGIDO PARA UNA SITUACIÓN DADA DEBERÁ SER EL QUE MEJOR SE ADAPTE A LAS CONDICIONES PARTICULARES.

UNA DE LAS RAZONES FUNDAMENTALES EN LA ELECCIÓN DE UN VERTEDERO ES, DETERMINAR LA SENSIBILIDAD A LOS CAUDALES QUE SE QUIEREN MEDIR, ASÍ POR EJEMPLO: SI EL ERROR EN LA CARGA MEDIDA H ES DE 3mm , SEGÚN EL TIPO DE VERTEDERO QUE SE UTILICE, ÉSTE ERROR PUEDE REPRESENTAR UNA VARIACIÓN DEL CAUDAL TAN GRANDE QUE RESULTA INADMISIBLE.

1).- EL VERTEDERO DEBERÁ CALCULARSE PARA UN RANGO DE CARGAS H PARA FLUJO MÁXIMO Y MÍNIMO. EL ERROR MÍNIMO EN UN VERTEDERO SE CONSIGUE UTILIZANDO EL VERTEDERO CON LA CARGA MÁXIMA (H MÁX.),

2).- LOS VERTEDEROS RECTANGULARES SIN CONTRACCIÓN LATERAL Y LOS TRIANGULARES SE ENCUENTRAN MÁS EXPERIMENTADOS QUE OTROS.

3).- PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES MENORES - DE $0,03 \text{ m}^3/\text{seg}$. DEBE DE PREFERIRSE EL VERTEDERO TRIANGULAR. PARA CAUDALES DE $0,03$ A $0,3 \text{ m}^3/\text{seg}$., EL VERTEDERO TRIANGULAR ES TAN PRECISO COMO CUALQUIER OTRO, POR LO QUE SE ADAPTA AL AFORO DE CORRIENTES DE AGUA VARIABLES, CUYO MÁXIMO NO SOBREPASE MUCHO DE $0,3 \text{ m}^3/\text{seg}$.

4).- PARA CUALQUIER VERTEDERO. LA CARGA MÁXIMA H MÁX., NO DEBERÁ SER MENOR DE 0.06 m , (0.2 pie) NO MAYOR DE 0.6 m (2 pie), LOS VALORES DE CARGA H MENORES DE 0.06 m , REPRESENTAN UN ALTO PORCENTAJE DE ERROR CON PEQUEÑAS DIFERENCIAS EN LA LECTURA. PODRÍAN UTILIZARSE VERTEDEROS PARA CARGAS ENTRE 0.03 Y 0.06m , SOLO SI LAS LECTURAS SE EFECTÚAN CON MUCHA EXACTITUD.

5).- LA LONGITUD DE LA CRESTA DEL VERTEDERO L DEBERÁ TENER UN VALOR MÍNIMO DE $3H$ MÁX., Y DE PREFERENCIA MAYOR DE $4H$ MÁX. ESTA LONGITUD DEBERÁ SELECCIONARSE DE MANERA QUE PERMITA POR LO MENOS UNA H MÁX. = 0.06 m , LAS CARGAS MAYORES DE 0.06 m , MINIMIZA LOS EFECTOS DE VARIACIÓN EN LA VELOCIDAD DEL AGUA A DIFERENTES PROFUNDIDADES AL ACERCARSE AL VERTEDERO Y MINIMIZA EL PORCENTAJE DE ERROR EN EL RESULTADO.

6).- LA ALTURA DE LA CRESTA DEL VERTEDERO TOMÁNDOLA DESDE EL FONDO DEL CANAL DEBERÁ SER DE POR LO MENOS $2.5 H$ MÁX., PERO DE PREFERENCIA MAYOR DE $3 H$ MÁX.

7).- LA CARGA EN CUALQUIER TIPO DE VERTEDE-
RO DEVERÁ MEDIRSE A UNA DISTANCIA DE POR LO MENOS ----
4H MÁX., O LO SUFICIENTEMENTE CORRIENTE ARRIBA PARA --
QUE NO INFLUYA LA DEPRESIÓN QUE SUFRE LA LÁMINA AL LLE
GAR A LAS PROXIMIDADES DEL VERTEDERO Y QUE APROXIMADA-
MENTE EMPIEZA A 2H.

8).- EL CANAL DE MEDICIÓN DEBERÁ SER RECTO-
Y NIVELADO CON PAREDES LISAS Y SUAVES, SU LONGITUD DE-
BERÁ SER MÍNIMO DE 20H MÁX., PARA PERMITIR UN FLUJO --
QUIETO. (VELOCIDAD DE APROXIMACIÓN DE 0.09 m/seg., ó -
0.3 pie/seg.),

9).- ANTES DE SU OPERACIÓN, EL VERTEDERO DE
BERÁ ESTAR PERFECTAMENTE CENTRADO Y NIVELADO DENTRO --
DEL CANAL DE MEDICIÓN.

10).- EL VERTEDERO DEBERÁ CONSTRUIRSE CON --
PLACA DE ESPESOR NO MAYOR DE 25.4 mm (1 pg.). PARA --
CARGAS BAJAS EL ESPESOR DE LA PLACA DEL VERTEDERO ----
PUEDE SER DE 3.2 A 6.4 mm (1/8 A 1/4 pg.). LA CRESTA-
DEBERÁ ESTAR BISELADA.

11).- TODAS LAS FÓRMULAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ESTAN TOMADAS CONSIDERANDO AGUA CON-- DENSIDAD = 1 ton./m^3 , PARA EL USO DE OTRO FLUIDO UNI CAMENTE MULTIPLICAR POR LA DENSIDAD RESPECTIVA.

IV.5.2.- APLICACION DE LAS FORMULAS PARA VERTEDEROS.

CASI TODAS LAS FÓRMULAS DE USO CORRIENTE - CON LOS VERTEDEROS SE HAN CONFORMADO EMPÍRICAMENTE PA RA AJUSTARSE A CIERTOS GRUPOS DE DATOS PARA EL DERRA- ME DE AGUA. NINGUNA DE ELLAS PUEDE USARSE CON ENTERA- CONFIANZA A MENOS QUE SE REPRODUZCAN CON EXACTITUD -- LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES A LAS QUE SON APLICA-- BLES, NO SE DISPONE DE DATOS SUFICIENTES PARA DETERMI NAR CON EXACTITUD CUANDO LOS DEMÁS LÍQUIDOS OBEDECEN- O NO A LAS MISMAS FÓRMULAS QUE EL AGUA.

CUANDO SE DESEA EXACTITUD, EN ESPECIAL CON FLUIDOS MUY VISCOSOS, ES MUY CONVENIENTE CALIBRAR TO- DOS LOS VERTEDEROS. SOLO PUEDEN EFECTUARSE MEDICIONES SATISFACTORIAS CUANDO AL VERTEDERO PRECEDE UN CANAL - DE LONGITUD Y ANCHURA SUFICIENTES PARA ASEGURAR UNA - CIRCULACIÓN REGULAR Y SUAVE POR ENCIMA DE LA PLACA --

DEL VERTEDERO, LOS VERTEDEROS SUELEN COMPORTARSE ERRÁTICAMENTE SI EL MANTO LÍQUIDO VERTIDO NO ES DE SALTO-LÍMPIDO EN LA PARTE SUPERIOR DE LA PLACA DEL VERTEDERO Y LLEGA IGUALMENTE AL LADO DE AGUAS ABAJO. POR CONSIGUIENTE EN EL CASO DE UN "MANTO ADHERENTE", NO PUEDE-CONFIARSE MUCHO EN LAS FÓRMULAS, E INCLUSO DESPUÉS -DE LA CALIBRACIÓN NO PUEDEN CONSIDERARSE LOS RESULTADOS DIGNOS DE CONFIANZA.

IV.5.3.- ~~VERTEDERO~~ TRIANGULAR.

LOS VERTEDEROS TRIANGULARES Ó CON HENDIDURA EN V TIENE CORTES EN FORMA DE V EN LA PLACA DEL --VERTEDERO CON EL VERTICE DIRIGIDO HACIA ABAJO Y CON --CADA LADO IGUALMENTE INCLINADO CON RESPECTO A LA VERTICAL. ES EL ÚNICO QUE SE USA EN EL CAMPO DE LOS AZUFRES.

SE RECOMIENDA PARA MEDIR FLUJOS MENORES DE $0.03 \text{ m}^3/\text{seg.}$ ($1.0 \text{ pie}^3/\text{seg.}$, 28.4 lts./seg. , 450 gal/min. ó 108 ton./hr.) Y PARA FLUJOS HASTA DE $0.3 \text{ m}^3/\text{seg.}$ --- ($10 \text{ pie}^3/\text{seg.}$, 1000 ton./hr.).

UNA DE LAS VENTAJAS QUE TIENE, ES QUE DÁ -
LECTURAS DE CARGA H MÁS GRANDE QUE UNA DESCARGA DADA-
QUE LA QUE NOS DARÍA OTRO TIPO DE VERTEDERO DEL MISMO
ANCHO EN LA SUPERFICIE DEL AGUA.

PUEDE TENER UN ÁNGULO DE CUALQUIER CANTIDAD
DESEADA, PERO EL DE 60° Y 90° SON LOS MÁS COMUNMENTE-
USADOS (FIG. IV.8).

FÓRMULA PARA CALCULAR EL CAUDAL A TRAVÉS -
DEL VERTEDERO.

$$Q = C H^{2.5} (2g)^{0.5} \tan \alpha \quad \text{--- (IV.5.3.1).}$$

$$\text{PARA: } \theta = 90^\circ, \alpha = 45^\circ$$

$$\text{ENTONCES: } Q = 2.48 H^{2.5} \quad \text{--- (IV.5.3.2).}$$

$$\text{PARA: } \theta = 60^\circ, \alpha = 60^\circ$$

$$\text{ENTONCES: } Q = 4.31 H^{2.5} \quad \text{--- (IV.5.3.3).}$$

DONDE:

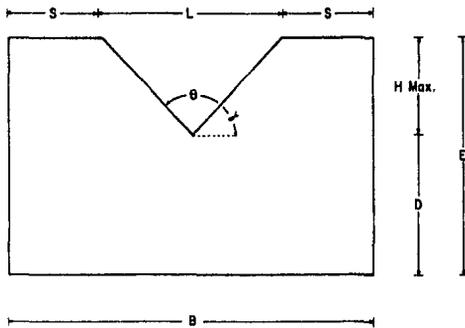
$$Q = \text{CAUDAL EN pie}^3/\text{seg.}$$

$$H = \text{CARGA DE FLUIDO MEDIDO EN pie.}$$

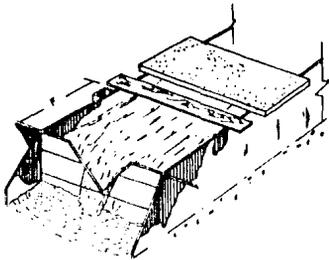
$$C = \text{COEFICIENTE DE DESCARGA DETERMINADO EX-
PERIMENTALMENTE (C = 0.31),}$$

$$g = \text{ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD EN pie/seg}^2.$$

ESQUEMA DE UN VERTEDERO TRIANGULAR



NOMENCLATURA



- B** = BASE DEL VERT. + ANCHO DE LA PLANTILLA DEL CANAL $B \geq 5H$ MAX.
- L** = LONG. DE LA CRESTA DEL VERTEDERO
 $L > 3H$ MAX. PREFERENTEMENTE $> 4H$ MAX.
- S** = DISTANCIA DESDE EL EXTREMO DE LA CAJA A LA CRESTA DEL VERTEDERO $C > 2H$ MAX.
- H Max.** = CARGA MAX.
- D** = DISTANCIA DESDE LA CRESTA AL FONDO DE LA CAJA DEL VERTEDERO
 $D > 5H$ MAX.
- E** = PROF. TOTAL DEL VERTEDERO
- F** = DISTANCIA DESDE EL VERTEDERO A UN PUNTO ALEJADO PARA EFECTUAR LA MEDICION
 $F > 5H$ MAX.

Fig. IV. 8

EL TIPO DE VERTEDERO USADO EN EL CAMPO DE-
LOS AZUFRES, ES EL REPRESENTADO POR LA ECUACIÓN -----
(IV.5.3.2.), PERO EN UNIDADES DE CAMPO ES:

$$Q = 4943.2 H^{2.5} \text{ - - - - - (IV.5.3.4).}$$

DONDE:

Q = CAUDAL EN ton./hr.

H = CARGA DE FLUIDO EN m

IV.6.- MEDICION DE AGUA Y VAPOR POR EL METODO DE- RUSSELL-JAMES, UTILIZANDO PRESION CRITICA - DE LABIO.

CUANDO UN FLUJO MODERADO DE UN FLUIDO COM-
PRESIBLE PASA A TRAVÉS DE UNA TUBERÍA CON DESCARGA A-
LA ATMÓSFERA, LA PRESIÓN DISMINUYE PROGRESIVAMENTE A-
LO LARGO DE LA TUBERÍA, PERO MÁ S RÁPIDAMENTE CERCA DE
LA SALIDA, DONDE LA VELOCIDAD DEL FLUIDO SE INCREMEN-
TA A UN MÁXIMO. ADEMÁS EL FLUJO ARROJADO ES CASÍ PARA
LELO A LA PARED DE LA TUBERÍA.

LA PRESIÓN POCO ANTES DEL FINAL DE LA TUBE
RÍA, SERÁ LA MISMA QUE LA DE LA ATMÓSFERA, Ó SEA QUE-
UN MANÓMETRO EN ESA POSICIÓN REGISTRARÁ 0. SIN EMBAR-

GO SI EL FLUJO SE INCREMENTA PROGRESIVAMENTE, PODRÁ -
EVENTUALMENTE APRECIARSE UNA PRESIÓN EN ESTE MANÓME--
TRO; CUANDO ESTO OCURRE, EL FLUJO NO DEJA LA TUBERÍA,
SI NO QUE TOMA LA FORMA DE UNA PARÁBOLA CON UN TAMAÑO
PROPORCIONAL A LA PRESIÓN DE SALIDA. EL FLUIDO DEJA -
LA TUBERÍA CON ESTA FORMA, DEBIDO A LA REPENTINA EX--
PANSIÓN, AL PASAR DE UNA PRESIÓN ALTA, DENTRO DE LA -
TUBERÍA, A LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA.

LA INDICACIÓN DE PRESIÓN EN EL MANÓMETRO -
MUESTRA QUE LA VELOCIDAD DEL FLUIDO A ALCANZADO UN --
MÁXIMO POSIBLE (TAL LÍMITE ES IMPUESTO POR LA VELOCI--
DAD DEL SONIDO EN EL FLUIDO) Y EL ÚNICO AJUSTE INHE--
RENTE QUE PERMITE UN AUMENTO DE FLUJO, ES POR EL IN--
CREMENTO DE DENSIDAD, PARA EFECTUAR ESTO, LA PRESIÓN--
A LA SALIDA NECESITA INCREMENTARSE.

IV.6.1.- DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE RUSSELL-JAMES.

DESPUÉS DE EFECTUAR NUMEROSAS PRUEBAS EN -
EL CAMPO GEOTÉRMICO DE WAIRAKEI MUESTRA COMO MEDIANTE
UN INJERTO DE PRESIÓN EN EL BORDE DEL EXTREMO DE UNA-
TUBERÍA DESCARGANDO FLUIDO GEOTÉRMICO A LA ATMÓSFERA,

BAJO LAS CONDICIONES USUALES DE FLUJO CRÍTICO (MEZCLA A LA VELOCIDAD DEL SONIDO), SE PUEDE HACER UNA ESTIMACIÓN BASTANTE PRECISA A LA CANTIDAD DE FLUIDO GEOTÉRMICO QUE EL POZO PRODUCE.

ESTO SE APLICA TANTO A POZOS CUYOS FLUJOS-PROVIENEN DE YACIMIENTOS DE VAPOR SECO COMO A LOS QUE SE BASAN EN SISTEMAS DE AGUA CALIENTE BAJO PRESIÓN.

ESTA SERIE DE PRUEBAS FUERON EFECTUADAS EN UN POZO GEOTÉRMICO DE **WAIRAKEI, NUEVA ZELANDA**, DONDE SE OBTIENEN GRANDES FLUJOS, LOS TAMAÑOS DE TUBERÍA -- USADA PARA ESTA PRUEBA FUERON 3,6 Y 8 pg. DE DIÁMETRO. EL PROPÓSITO DE ESTA PRUEBA FUÉ EL DE OBTENER LA RELACIÓN MASA-VELOCIDAD ENTALPÍA Y PRESIÓN CRÍTICA EN UN RANGO TAN AMPLIO COMO FUÉ POSIBLE Y PARA USAR LA PRESIÓN CRÍTICA COMO UN MEDIO DE DETERMINACIÓN DE UN FLUJO EVAPORABLE DE DOS FASES, DESCARGANDO A LA ATMÓSFERA, CUANDO LA ENTALPÍA ES CONOCIDA.

ESTE MÉTODO EMPÍRICO PARA DETERMINAR LA -- CANTIDAD DE AGUA Y VAPOR DESCARGADO DE UN POZO Y LA -- ENTALPÍA DE LA MEZCLA, FUE DESARROLLADO POR **RUSSELL** --

JAMES Y CONSISTE EN LA MEDICIÓN DE LA CAÍDA DE PRESIÓN EN UN ORIFICIO Y LA PRESIÓN CRÍTICA EN EL LABIO DE UNA TUBERÍA DESCARGANDO LA ATMÓSFERA. LA FÓRMULA EMPÍRICA-DESARROLLADA ES LA SIGUIENTE:

$$G = 1.052 \frac{P_c^{0.96} D^2}{h_o^{1.102}}$$

DONDE:

G = MEZCLA TOTAL DESCARGADA (ton/hr.).

P_c = PRESIÓN CRÍTICA DE LABIO (kg/cm² abs.).

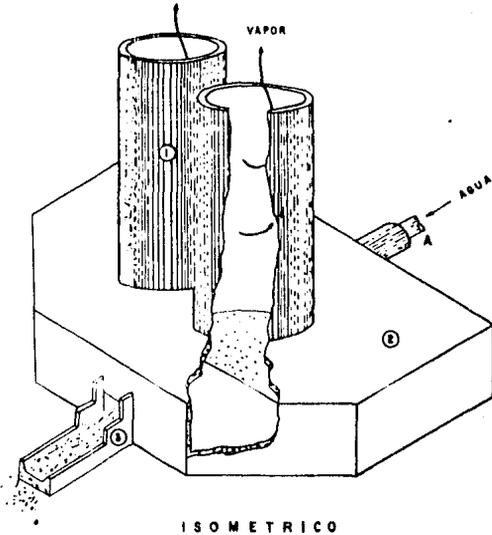
D = DIÁMETRO DE LA TUBERÍA DE DESCARGA (mm).

h_o = ENTALPÍA DE LA MEZCLA (kcal./kg.).

UNA FORMA FÁCIL Y RÁPIDA PARA MEDIR EL FLUJO DESCARGADO DE UN POZO GEOTÉRMICO, ES MEDIANTE EL -- USO DE UNA LÍNEA DE DESCARGA. PARA ESTO SE BASA EN EL MÉTODO EMPÍRICO DESARROLLADO POR RUSSELL-JAMES, EL-CUAL SE HA VENIDO APLICANDO EN LOS CAMPOS GEOTÉRMICOS- DE MÉXICO CUYA DESCRIPCIÓN SE HACE A CONTINUACIÓN.

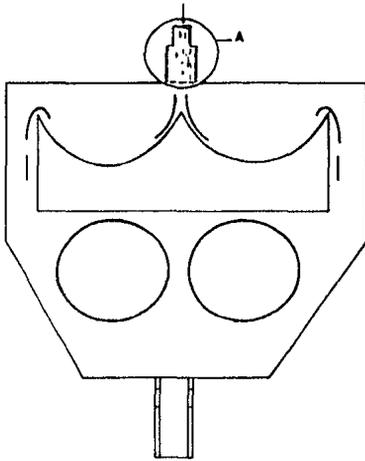
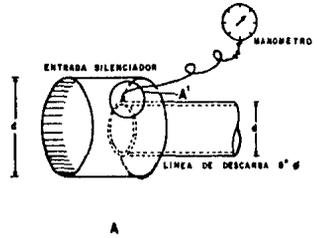
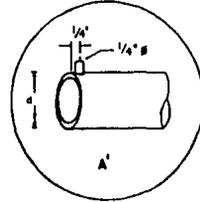
EL FLUJO TOTAL O MEZCLA TOTAL DE AGUA-VAPOR PROVENIENTE DEL POZO, SE HACE PASAR A TRAVÉS DE LA TUBERÍA DE DESCARGA A UN SILENCIADOR VERTICAL DOBLE Y ES

SILENCIADOR VERTICAL



NOMENCLATURA

- 1. CHIMENEAS
- 2. CAMARA DE RECEPCION
- 3. CANAL VERTEDERO
- A. TOMA DE PRESION
- 4. DIAMETRO TUBERIA



VISTA SUPERIOR

Fig. IX. 9

TE A LA ATMÓSFERA (FIG. IV.9.).

LAS PRESIONES CRÍTICAS SE TOMAN PERFORANDO UN AGUJERO DE 6 mm. (1/4 pg.), DESDE SU CENTRO AL EXTREMO FINAL DE LA TUBERÍA (DETALLE FIG. IV.9). EN POSICIÓN EXTERNA SE SOLDA UNA BOQUILLA DE 10 mm (3/8pg) Y CON UNA TUBERÍA SE ACONDICIONA LA TOMA DE MANÓMETRO, FUERA DEL SILENCIADOR VERTICAL DOBLE; INSTALANDO UNA VÁLVULA DE AGUJA A LA ENTRADA DEL MANÓMETRO.

EL FLUJO DE AGUA A LA PRESIÓN ATMÓSFERICA--DESCARGANDO DEL SILENCIADOR VERTICAL DOBLE SE MIDE --POR MEDIO DE UN VERTEDERO PREVIAMENTE SELECCIONADO Y--CALIBRADO DEPENDIENDO DE LA CANTIDAD DE AGUA A MEDIR.

EN CONCLUSIÓN SE TIENE QUE EMPLEANDO UNA--TOMA DE PRESIÓN EN EL EXTREMO DE LA TUBERÍA QUE DES--CARGA LA MEZCLA AL SILENCIADOR, ES POSIBLE CALCULAR -LA CANTIDAD DE FLUJO Y LA ENTALPÍA, EMPLEANDO ÚNICA--MENTE LOS VALORES DE LA PRESIÓN CRÍTICA DE DESCARGA Y LA CANTIDAD DE FLUJO EN EL VERTEDERO.

VI.6.2.- ~~BALANCE DE~~ **ENERGIA.**

$$\text{MEZCLA} = \text{VAPOR} + \text{AGUA.}$$

$$G h_0 \quad w_v h_v \quad w_1 h_1$$

DONDE:

G = MEZCLA TOTAL (ton./hr.).

h_0 = ENTALPÍA DE LA MEZCLA ($k\alpha l/kg.$).

w_v = GASTO DE VAPOR (ton./hr.).

h_v = ENTALPÍA DEL VAPOR A P. ATM, ($k\alpha l/kg.$).

w_1 = GASTO DE AGUA MEDIDO EN EL VERTEDERO (ton/hr.).

h_1 = ENTALPÍA DEL LÍQUIDO A P. ATM, ($k\alpha l/kg.$).

x = FRACCIÓN VAPOR

h_{fg} = CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN A P. ATM.
($k\alpha l/kg.$).

$$h_0 = h_1 + x h_{fg}$$

$$x = (h_0 - h_1) / h_{fg} \text{ ----- (IV.6.1.)}$$

$$G = w_1 + w_v$$

$$h_{fg} = h_v - h_1 \text{ ----- (IV.6.2.)}$$

$$h_v = h_{fg} + h_1$$

$$w_1 = (1 - x)G \text{ ----- (IV.6.3.)}$$

SUSTITUYENDO (IV.6.1.) EN (IV.6.3.),

$$w_1 = \left(\frac{1 - h_0 - h_1}{h_{fg}} \right) G$$

$$w_1 = \frac{(h_{fg} + h_l - h_o)G}{h_{fg}} \text{----- (IV.6.4.)}$$

SUSTITUYENDO LA EC. (IV.6.2.) EN (IV.6.4.)

$$w_1 = \frac{(h_v - h_o)G}{h_{fg}}$$

DESPEJANDO G DE LA EC. ANTERIOR:

$$G = \frac{w_1 h_{fg}}{h_v - h_o}$$

IV.6.3.- SECUENCIA DE CALCULO DE MEZCLA UTILIZANDO EL METODO DE RUSSELL-JAMES, COMPRESION -- CRITICA.

UTILIZANDO LA FÓRMULA QUE SE RESUELVE POR-TANTEOS PARA ENCONTRAR LA ENTALPIA.

SECUENCIA.

1.- DETERMINACIÓN DEL GASTO EN EL VERTEDERO.

$$w_1 = 4943.2 H^{2.5} \text{----- (VERTEDERO TRIANGULAR)}$$

DONDE:

w_1 = GASTO DE AGUA (ton./hr.).

H = CARGA MEDIDA EN EL VERTEDERO (m)

2.- RESOLVIENDO POR TANTEOS LA SIGUIENTE ECUACIÓN SE ENCUENTRA LA ENTALPÍA DE LA MEZCLA.

$$1.052 \frac{P_c^{0.96} D^2}{h_o^{1.102}} = \frac{w_1 h_{fg}}{h_v - h_o}$$

DESPEJANDO h_o

$$h_o^{1.102} = \frac{1.052 P_c^{0.96} D^2}{w_1 h_{fg}} (h_v - h_o)$$

DONDE:

h_o = ENTALPÍA DE LA MEZCLA ($k\alpha l/kg.$)

P_c = PRESIÓN CRÍTICA ($kg./cm^2$ abs.)

D = DIAMETRO DE LA TUBERÍA DE DESCARGA (mm)

w_1 = GASTO DE AGUA EN EL VERTEDERO (ton./hr.)

h_{fg} = CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN A P. ATM.
($k\alpha l/kg.$)

h_v = ENTALPÍA DEL VAPOR A P. ATM. ($k\alpha l/kg.$)

h_l = ENTALPÍA DEL LÍQUIDO A P. ATM. ($k\alpha l/kg.$)

3.- UNA VEZ DETERMINADA LA ENTALPÍA SE TIENEN

LA MEZCLA TOTAL G EN (ton./hr.).

$$G = h_{fg} w_1 / (h_v - h_o)$$

4.- ENCONTRAR EL GASTO DE VAPOR.

$$h_o = h_l + x h_{fg} ; \quad x = \frac{h_o - h_l}{h_{fg}}$$

$$\text{VAPOR} = x G \text{ (ton./hr).}$$

V.- PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN EN POZOS GEOTERMICOS
(PRODUCTORES E INYECTORES)

V.1.- GENERALIDADES.

CUANDO SE TERMINA UN POZO, YA SEA PRODUCTOR, -
INYECTOR O SE EFECTUA UNA REPARACIÓN, NO SIEMPRE LAS AC
TIVIDADES CONTINUAN NORMALMENTE, PUEDE SUCEDER QUE SE -
PRESENTEN ANOMALÍAS O VERDADERAS EMERGENCIAS CON EL A--
RRANQUE DE UN POZO. DEBIDO A ESTO ES NECESARIO, SEGUIR-
MUY DE CERCA ALGUNOS ASPECTOS IMPORTANTES QUE EN LA ---
PRÁCTICA HAN SERVIDO DE GUÍA PARA JUZGAR, SI EL COMPOR-
TAMIENTO DE UN POZO GEOTÉRMICO PUEDE CONSIDERARSE NOR--
MAL O ANORMAL.

OTRO ASPECTO IMPORTANTE QUE DEBE CONSIDERARSE,
EN UN CAMPO GEOTÉRMICO, ES LO RELATIVO A LA CONDUCCIÓN-
Y/O DESECHO DEL AGUA SEPARADA, ASÍ COMO PROBLEMAS DE IN
CRUSTACIÓN Y ARENAMIENTO.

TODOS ESTOS PARAMETROS PUEDEN RESUMIRSE EN LOS
PUNTOS SIGUIENTES:

- PRESIÓN.
- REGISTROS DE TEMPERATURA.

- CRECIMIENTO DE TUBERÍAS.
- REGISTROS DE CALIBRACIÓN Y SELLOS DE PLOMO.
- PORCENTAJE DE ARENA ARROJADO POR EL POZO.
- PROBLEMAS DE CORROSIÓN E INCRUSTACIONES.
- CONDUCCIÓN, DESECHO Y/O INYECCIÓN DEL AGUA -
SEPARADA.

V.2.- PROBLEMAS EN POZOS PRODUCTORES.

PARA UNA MEJOR COMPRENSIÓN DE LOS RESULTADOS -
DE LAS EVALUACIONES Y EXPERIENCIAS EN POZOS GEOTÉRMICOS,
LOS INCISOS SIGUIENTES ESTARAN LIGADOS A DOS ASPECTOS BÁ
SICOS; POZO NORMAL Y POZO ANORMAL.

PRESION

POZO NORMAL.- DESPUÉS DE QUE EL POZO QUEDA TER
MINADO Y LAVADO, SE DEJA EN OBSERVACIÓN DURANTE UN PE--
RÍODO APROXIMADO DE 30 DÍAS, SIN EMBARGO DICHO PERÍODO--
ESTA CONDICIONADO POR LA EVOLUCIÓN DE LA PRESIÓN, TEMPE
RATURA Y DEL NIVEL ESTÁTICO DEL ESPEJO DE AGUA, QUE SE
REGISTRARAN POR MEDIO DE LAS HERRAMIENTAS ADECUADAS.

SI LA EVOLUCIÓN DEL POZO HA SIDO NORMAL, CON--

SERVANDO SUS CONDICIONES CONSTRUCTIVAS SATISFACTORIAS, - LA PRESIÓN EN LA DESCARGA POR DIÁMETROS RESTRINGIDOS -- ($1/4$ pg ó $1/2$ pg), SE ELEVA EN FORMA CONTÍNUA, OBEDECIENDO A LA APERTURA O CIERRE DE LA VÁLVULA INSTALADA - EN LA PURGA. CUANDO SE OPERA CON DIÁMETROS MAYORES ---- (2 pg), AL INCREMENTAR ESTOS LA PRESIÓN TIENDE A DISMINUIR Y ESTABILIZARSE RAPIDAMENTE, SIN FLUCTUACIONES O VARIACIONES MARCADAS (5 ó 10 lb/pg²). ESTE COMPORTAMIENTO DEBE CONSERVARSE HASTA LA TOTAL APERTURA DEL POZO POR EL DIÁMETRO MÁXIMO.

POZO ANORMAL.- SI DURANTE LA ETAPA DE OBSERVACIÓN, ESTIMULACIÓN O CALENTAMIENTO Y DESARROLLO, LA TUBERÍA DE PRODUCCIÓN SE FRACTURA, COMUNICÁNDOSE EL INTERIOR DEL POZO CON EL TERRENO, LA PRESIÓN REGISTRADA EN LA CABEZA FLUCTUA CICLICAMENTE, CON VARIACIONES BRUSCAS (50 A 80 lb/pg² man.). ESTAS VARIACIONES DEPENDEN DE LA CANTIDAD O TAMAÑO DE LAS FRACTURAS DE LA TUBERÍA, -- ASÍ COMO DE LA PROFUNDIDAD EN QUE SE LOCALIZAN ESTAS, - SIENDO MENOR EL RANGO DE VARIACIÓN A MAYOR PROFUNDIDAD.

REGISTROS DE TEMPERATURA

POZO NORMAL.- EL REGISTRO DE TEMPERATURA EN UN POZO NORMAL, QUE SE MANTIENE FLUYENDO POR LO MENOS 72 - HRS. Y DESPUÉS SE CIERRA, MUESTRA UNA CURVA CON INCREMENTO PAULATINO HACIA EL FONDO, COINCIDIENDO LOS MÁXIMOS VALORES REGISTRADOS CON LOS ESTRATOS PRODUCTORES.

CUANDO UN POZO SE DESCARGA POR LA LÍNEA DE PURGA CON DIÁMETROS PEQUEÑOS, EL REGISTRO DE TEMPERATURA TIENE UN INCREMENTO NORMAL DENTRO DE LA TUBERÍA CIEGA (LINER) Y UN INCREMENTO MARCADO FRENTE A LA TUBERÍA RANURADA (LINER), COINCIDIENDO CON EL YACIMIENTO.

POZO ANORMAL.- EL COMPORTAMIENTO DEL REGISTRO DE TEMPERATURA DESPUÉS DE SUJETARLO A LAS MISMAS CONDICIONES DE FLUJO YA MENCIONADAS, CON FRACTURA EN LA TUBERÍA DE PRODUCCIÓN, DA UN REGISTRO MOSTRANDO UN INCREMENTO SÚBITO DE LA TEMPERATURA, EN LA ZONA DE DICHA FRACTURA, CUANDO ESTA COMUNICADA A LA FORMACIÓN. ESTA SITUACIÓN SE DEBE AL ESCAPE DE FLUIDO TÉRMICO A LAS FORMACIONES; ABAJO DE DICHA ZONA LOS VALORES EN EL REGISTRO REGRESAN AL INCREMENTO NORMAL, PARA QUE EN LA ZONA DE -

PRODUCCIÓN AUMENTE,

EN EL REGISTRO DE TEMPERATURA APARECEN INCREMENTOS BRUSCOS DE LA MISMA, FRENTE A CADA FRACTURA EN LA TUBERÍA DE PRODUCCIÓN. ES MUY IMPORTANTE HACER UNA DISCRIMINACIÓN CUIDADOSA, PARA NO CONFUNDIR DICHAS ANOMALÍAS TÉRMICAS CON ESTRATOS CALIENTES DEL YACIMIENTO (FIG.V.1). CUANDO LA FRACTURA ES VECINA A LA ZONA PRODUCTORA, DETECTA UN MARCADO QUIEBRE EN EL INCREMENTO NORMAL DE TEMPERATURA, COMUNMENTE DESCENSO DE LA MISMA Y OCASIONALMENTE AUMENTO FRENTE A DICHO PUNTO (FIG.V.2).

CRECIMIENTO DE TUBERIAS

LAS TUBERÍAS DE PRODUCCIÓN, ANCLAJE O INTERMEDIAS Y SUPERFICIAL, AL CALENTARSE SUFREN UNA DILATACIÓN TÉRMICA, EN SENTIDO AXIAL Y RADIAL. ESTA EXPANSIÓN SE DETECTA EN LA SUPERFICIE POR UNA ELEVACIÓN DEL ÁRBOL DE VÁLVULAS, REGISTRÁNDOSE CUIDADOSAMENTE CON UN INDICADOR Y ESCALA PREVIAMENTE INSTALADOS.

POZO NORMAL.- DURANTE EL PERÍODO DE OBSERVACIÓN, LAS TUBERÍAS PRÁCTICAMENTE NO DENOTAN EXPANSIÓN -

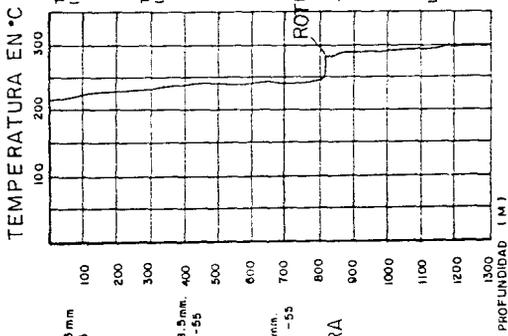
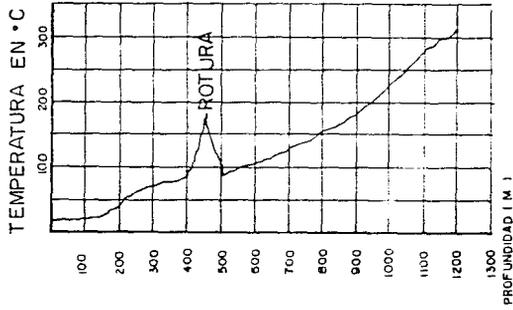


Fig. 1.1 Detección de roturas de tubería por medio de registros de temperatura en pozo cerrado después de un tiempo de haber fluido un tiempo determinado

Fig. 2. Detección de roturas de tubería por medio de registros de temperatura en pozo con flujo a la superficie.

LONGITUDINAL. COMO MÁXIMO SE HAN MEDIDO DE 6 A 10 mm. -
POR EFECTO TÉRMICO, AL ESTABILIZARSE LA TEMPERATURA EN
EL POZO. EN EL PERÍODO DE CALENTAMIENTO LA EXPANSIÓN ES
SUSCEPTIBLE DE CONTROLARSE SIMULTÁNEAMENTE CON EL CON--
TROL DE LA DESCARGA, HASTA UN MÁXIMO QUE DEBE COINCIDIR
CON LAS CONDICIONES PREVIAS A LA APERTURA PARA SU DESA--
RROLLO. ESTA ELONGACIÓN GENERALMENTE VARÍA EN UN RANGO--
DE 15 A 20 cm. (DEPENDIENDO DEL ESTADO MECÁNICO DEL PO--
ZO Y ADITIVOS QUÍMICOS QUE SE AÑADIERON A LA LECHADA PA--
RA LA CEMENTACIÓN). EN EL PERÍODO DE DESARROLLO AL DIS--
MINUIR LA PRESIÓN EN LA CABEZA POR EL AUMENTO DEL FLUJO
EN LA DESCARGA, EL CRECIMIENTO DE LAS TUBERÍAS SE REDU--
CE. LA DISMINUCIÓN TOTAL CUANDO SE TERMINA EL DESARRO--
LLO ES APROXIMADAMENTE DE 2 A 3 cm.

POZO ANORMAL.- SI EN EL PERÍODO DE OBSERVACIÓN
LA TUBERÍA SE ELONGA MÁS DEL PROMEDIO NORMAL HABITUAL -
EN EL CAMPO EN CUESTIÓN, ESTO INDICA QUE HAY UN CALENTA--
MIENTO ANÓMALO Y UNA SOBRE ELEVACIÓN DE PRESIÓN, FUERA--
DE CONTROL Y POR TANTO DEBE, DE INMEDIATO, INVESTIGARSE
LA CAUSA.

REGISTROS DE CALIBRACION Y SELLOS DE PLOMO

LOS REGISTROS DE CALIBRACIÓN DE LOS DIÁMETROS-
DE TUBERÍAS DE PRODUCCIÓN, DEBEN OBTENERSE SISTEMÁTICA-
MENTE, DETECTÁNDOSE DIFERENTES TIPOS DE SEÑALES. SI EL
POZO TIENE INCRUSTACIONES SE OBTIENE UN PERFÍL CÓNICO,-
SI ES UN COLAPSO O FRACTURA ES PROBABLE DETECTAR CORRI-
MIENTOS LATERALES EN LAS PAREDES DEL TUBO. LÓGICAMENTE-
EN EL CASO DE LA INCRUSTACIÓN, SERÁ EL CAMBIO DE DIÁME-
TRO MAYOR A MENOR EN FUNCIÓN DEL TIEMPO TRANSCURRIDO, -
CON EL POZO FLUYENDO, EN EL CASO DE COLAPSO O FRACTURA,
EL COLAPSO ES CASÍ INMEDIATO E INDEPENDIENTE DEL TIEMPO
TRANSCURRIDO DESDE SU APERTURA.

CUANDO CON UN REGISTRO DE CALIBRACIÓN SE DETEC-
TAN IRREGULARIDADES EN LOS DIÁMETROS, ES INDISPENSABLE-
INVESTIGAR LA NATURALEZA DE LA OBSTRUCCIÓN Y LA GRAVE--
DAD DE LA MISMA. ES POSIBLE QUE UN COLAPSO O FRACTURA -
EN LA TUBERÍA DE PRODUCCIÓN ESTE SITUADA FRENTE A UNA -
TUBERÍA DE ADEME Y NO EXISTA COMUNICACIÓN FRANCA AL TE-
RRENO VECINO, POR LO QUE LOS REGISTROS DE TEMPERATURA -
NO DETECTAN ESTA SITUACIÓN, PERO SI LOS SELLOS DE PLOMO

QUE PROPORCIONAN LA INFORMACIÓN NECESARIA PARA EFECTUAR LOS PROGRAMAS DE REPARACIÓN CONVENIENTES. EL SELLO DE PLOMO PERMITE OBTENER UNA IMPRESIÓN QUE DETERMINA LA CUANTÍA DEL DAÑO.

PORCENTAJE DE ARENA ARROJADA

ES CONVENIENTE TENER EN CUENTA QUE LA ARENA ARROJADA POR UN POZO EN CAMPOS CON PRODUCCIÓN EN ROCAS DE ORIGEN SEDIMENTARIO, PUEDE PROVENIR DE LAS ARENISCAS PRODUCTORAS O DE LAS LENTES ARENOSAS INTERCALADAS CON ARCILLAS PLÁSTICAS, TAL ES EL CASO DEL CAMPO GEOTÉRMICO DE CERRO PRIETO. CABE ACLARAR QUE EL PROBLEMA DE ARENAMIENTO NO EXISTE EN EL CAMPO DE LOS AZUFRES DEBIDO A QUE ÉSTE YACIMIENTO SE ENCUENTRA EN ROCA ÍGNEA DE PERMEABILIDAD SECUNDARIA POR FRACTURAMIENTO EN EL SUBSUELO.

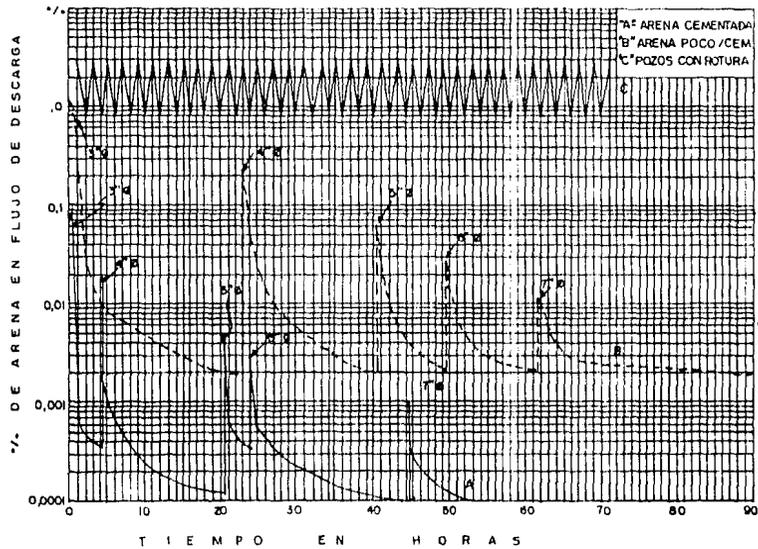
POZO NORMAL.- EL COMPORTAMIENTO CON RESPECTO AL PORCENTAJE DE ARENA, AL SER DESCARGADO UN POZO POR CONOS U ORIFICIOS, AL INICIARSE LA APERTURA ES EN PROMEDIO DEL 0.1% EN MASA (PARA EL CASO ESPECÍFICO DE CERRO PRIETO). PORCENTAJE QUE RAPIDAMENTE DISMINUYE, PERO AUMENTA CON LOS CAMBIOS DE DIÁMETRO EN LA DESCARGA. EN --

LOS POZOS CUYA ARENISCA PRODUCTORA ES DE UNA CEMENTACIÓN POBRE, LA VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE ARENA PUEDE SER MAYOR. EN LA FIG.V.3 PUEDEN APRECIARSE ALGUNOS COMPORTAMIENTOS TÍPICOS DEL PORCENTAJE DE ARENA ARROJADA POR UN POZO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO, DIÁMETRO DE DESCARGA Y TIPO DE FORMACIÓN PRODUCTORA.

POZO ANORMAL.- CUANDO EL ADEME DE PRODUCCIÓN-ESTA ROTO EN ALGUN PUNTO Y SE DESCARGA POR UN CONO DE 3 pg. DE DIÁMETRO, HAY UN ARRASTRE DE ARENA QUE FÁCILMENTE LLEGA AL 2%, CON VARIACIONES CÍCLICAS. ESTO DEPENDE INDUDABLEMENTE DE LA CANTIDAD DE ROTURAS QUE TENGA LA TUBERÍA, ASÍ COMO DE LA PROFUNDIDAD A LA QUE SE ENCUENTREN. ACOMPAÑANDO A LA ARENA OCASIONALMENTE SE HAN REGISTRADO COLORACIONES DEL AGUA, PRODUCIDAS POR MATERIALES ARCILLOSOS DILUIDOS EN ELLA Y OCASIONALMENTE, PARTÍCULAS DE CEMENTO.

PROBLEMAS DE CORROSION E INCRUSTACIONES

LA CORROSIÓN, EROSIÓN E INCRUSTACIONES SON PROBLEMAS DE IMPORTANCIA PRIMORDIAL EN LAS PLANTAS GEOTERMOELÉCTRICAS, POR LO QUE DEBE TRATARSE, CON ESPECIAL A-



Porcentaje de arena en la descarga de los pozos, con respecto a la apertura durante el período de desarrollo.

Fig. V. 3

TENCIÓN, LA ELECCIÓN DE LOS MATERIALES USADOS, ANTES -
DE DISEÑAR LOS COMPONENTES DE UNA PLANTA. ASÍ MISMO ES
NECESARIO CONOCER LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MEZCLA-
PRODUCIDA DEL CAMPO EN CUESTIÓN.

LOS PROBLEMAS RELACIONADOS CON EL USO DE VA--
POR Y LÍQUIDO GEOTÉRMICO SON PRINCIPALMENTE LOS SI----
GIENTES:

- CORROSIÓN POR LOS COMPONENTES QUÍMICOS DEL-
VAPOR Y DEL AGUA DEL FLUÍDO GEOTÉRMICO.
- EROSIÓN CAUSADA POR VELOCIDADES DE FLUJO --
MUY ELEVADAS.
- ABRASIÓN CAUSADA POR LA SUSPENSIÓN DE SÓLI-
DOS CONTENIDOS EN EL FLUIDO.
- INCRUSTACIONES DEBIDO A LOS CAMBIOS SÚBITOS
DE PRESIÓN Y TEMPERATURA EN LOS FLUÍDOS GEO
TÉRMICOS Y AL CONTENIDO QUÍMICO DE ÉSTOS.

LOS PRINCIPALES COMPONENTES QUÍMICOS DEL AGUA
EN EL YACIMIENTO, ASÍ COMO DEL VAPOR Y AGUA SEPARADA -
DEL CAMPO GEOTÉRMICO LOS AZUFRES, SE MUESTRA EN LA TA-
BLA V.1.

EN EL CAMPO GEOTÉRMICO DE LOS AZUFRES MICH.,-

T A B L A V . 1 .

PRINCIPALES COMPONENTES QUIMICOS EN EL AGUA
DEL YACIMIENTO Y EL AGUA SEPARADA A PRESION
ATMOSFERICA (EN p.p.m.)

COMPONENTE QUÍMICO	YACIMIENTO	AGUA SEPARADA	VAPOR SEPARADA
SODIO Na	1070	1879	0.40
POTASIO K	269	4718	0.60
CALCIO Ca	6	1	0.31
CLORUROS Cl	1976	3469	3.95
SÍLICE SiO ₂	741	1301	3.90
⊗ S.T.D.	3340	5568	112.0
ÁCIDO H ₂ S SULFHIDRICO	15	1	N.D.
BIOXIDO DE CARBONO CO ₂	154	258	272.5
AMONIO NH ₄	3	4	17.8

⊗ S.T.D. = SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS.

SE TIENE A PARTIR DE AGOSTO DE 1982, 5 UNIDADES A BOCA DE POZO DE 5 MW^{**} CADA UNA. DOS DE ESTAS PLANTAS ESTAN INSTALADAS EN POZOS QUE PRODUCEN VAPOR SECO Y TRES EN POZOS QUE PRODUCEN UNA MEZCLA AGUA-VAPOR.

POR EXPERIENCIA Y ESTUDIOS REALIZADOS EN LAS PLANTAS DE MATZUKAWA Y BIG GEYSERS, SE HA ENCONTRADO QUE EL SÍLICE (SiO_2), ARRASTRADO POR EL VAPOR SEPARADO DE UNA MEZCLA AGUA-VAPOR, EN OCASIONES FORMA UNA CAPA DE PROTECCIÓN Y/O ACTÚA COMO INHIBIDOR DE CORROSIÓN DE METALES. ÉSTA ES LA RAZÓN POR LA CUAL NO SE HA PRESENTADO CORROSIÓN EN LOS ÁLABES DE LAS TURBINAS DE CERROPRIETO Y WAIRAKEI. SIN EMBARGO ES NECESARIO DAR MANTENIMIENTO DE LIMPIEZA A LAS TURBINAS YA QUE, AUNQUE LA INCRUSTACIÓN NO PROVOCA ATAQUE A LOS ÁLABES, ES NECESARIO ELIMINARLA. ESTO SE EFECTÚA COMUNTE MEDIANTE -- CHORROS DE ARENA, UNA VEZ DESMONTADA LA TURBINA,

EN ITALIA, SE HAN UTILIZADO MÉTODOS PREVENTIVOS PARA EVITAR LA INCRUSTACIÓN, LO QUE A DADO RESULTADOS ALENTADORES; ÉSTO SE HA LOGRADO ELIMINANDO LOS SÓLIDOS EN EL CONDENSADO QUE SE DESECHA EN EL TRAYECTO,-

* MEGAWATTS,

A TRAVÉS DE PURGAS Y TRAMPAS DE VAPOR. DEBIDO A QUE EN LOS CAMPOS DE ITALIA, SE TIENE VAPOR SECO, SE PRESENTA EL PROBLEMA DE INCRUSTACIONES DE BORO, LAS CUALES SE ELIMINAN CON SOPLETE.

UNO DE LOS OBJETIVOS DE LAS UNIDADES DE 5 MW INSTALADAS EN LOS AZUFRES, ES ADQUIRIR EXPERIENCIA SOBRE LA OCURRENCIA Y CONTROL DE INCRUSTACIONES, ASÍ COMO DE LA CORROSIÓN EN LAS TURBINAS, LO CUAL SERVIRÁ PARA OPTIMIZAR LA PUESTA EN MARCHA DE LAS FUTURAS UNIDADES DE 55 MW PROGRAMADAS, ASEGURANDO SU OPERACIÓN CONTÍNUA Y/O DISMINUYENDO LOS TIEMPOS DE PAROS EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

ES NECESARIO ACLARAR QUE EN EL CAMPO GEOTÉRMICO LOS AZUFRES, NO HAN EXISTIDO PROBLEMAS GRAVES DE EROSIÓN, CORROSIÓN O INCRUSTACIONES, PERO NO SE DESCARTA LA POSIBILIDAD DE QUE ESTOS PROBLEMAS PUEDAN OCURRIR AL INSTALARSE LAS UNIDADES DE 55 MW, YA QUE EN ESTE CASO SE INCREMENTARÁ EL GASTO MÁSIICO Y POR LO TANTO LA ENERGÍA CINÉTICA QUE PUEDA PROVOCAR RUPTURAS POR EL IMPACTO MECÁNICO DE LAS PARTÍCULAS (CAUSADO POR TURBU-

LENCIA LOCAL). ADEMÁS, SE DEBE CONSIDERAR QUE EN ESTE CASO EL VAPOR SEPARADO VIAJARÁ MAYOR DISTANCIA QUE EN LAS UNIDADES DE 5 MW A BOCA DE POZO, PROVOCANDO MAYORES CAÍDAS DE PRESIÓN Y TEMPERATURA, QUE PUEDEN ORIGINAR CAMBIOS FÍSICO-QUÍMICOS MÁS DRÁSTICOS EN LA MEZCLA PRODUCIDA.

OTRO FACTOR DE GENERACIÓN DE FALLAS QUE SUELE PRESENTARSE EN LOS CAMPOS GEOTÉRMICOS, ES EL EFECTO DEL ÁCIDO SULFHÍDRICO SOBRE LOS MATERIALES METÁLICOS.

COMO PUEDE VERSE EN LA TABLA V.1. EN EL CAMPO LOS AZUFRES, EL CONTENIDO DE ÁCIDO SULFHÍDRICO EN EL AGUA ES MUY BAJO Y DESPRECIABLE EN EL VAPOR SEPARADO, POR LO QUE EL EFECTO DE ESTE EN LOS EQUIPOS Y TUBERÍAS NO ES CONSIDERABLE EN ESTE CAMPO EN PARTICULAR.

V.3.- PROBLEMAS EN POZOS INYECTORES.

CONDUCCION, DESECHO Y/O INYECCION DEL AGUA SEPARADA.

LOS PROBLEMAS RELACIONADOS CON LA CONDUCCION,

DESECHO Y/O INYECCIÓN DEL AGUA SEPARADA EN CAMPOS GEOTÉRMICOS, ES UNA TAREA QUE INVOLUCRA EL APOYO Y COOPERACIÓN DE MUCHAS ÁREAS PARA SU SOLUCIÓN. ESTE PROBLEMA ES DE GRAN IMPORTANCIA DESDE EL PUNTO DE VISTA PRODUCTIÓN, IMPACTO AMBIENTAL, YACIMIENTOS, GEOQUÍMICA Y PROBLEMAS RELATIVOS A LA CORROSIÓN Y CONDUCCIÓN DEL AGUA-SEPARADA.

LA SOLUCIÓN QUE SE HA DADO AL PROBLEMA DEL -- AGUA SEPARADA, EN EL CAMPO GEOTÉRMICO DE CERRO PRIETO, HA SIDO FACILITADA EN PARTE, POR LAS CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS Y TOPOGRAFÍA DE ESTA REGIÓN.

PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA RELATIVO AL AGUA-SEPARADA, SE HA CABADO UNA LAGUNA DE EVAPORACIÓN, EN LA CUAL SE DESECHA EL CONDENSADO DE AGUA REMANENTE.

EN LO QUE RESPECTA A LA SOLUCIÓN DE ESTOS PROBLEMAS EN EL CAMPO DE LOS ÁZUFRES, HA SIDO MÁS DIFÍCIL DAR UNA SOLUCIÓN AL PROBLEMA DEL DESECHO Y/O INYECCIÓN DEL AGUA SEPARADA, YA QUE ESTA AGUA NO PUEDE SER TIRADA A LOS ARROYOS SIN ANTES DARLE UN TRATAMIENTO ADECUA

DO, PARA EVITAR DAÑOS ECOLÓGICOS EN LA ZONA, EL PROBLEMA, QUE SE HA PRESENTADO PARA TRATAR EL AGUA REMANENTE ES EL ALTO COSTO DE ESTE PROYECTO, POR LO QUE SE HA OPTADO POR APROVECHAR ALGUNOS POZOS QUE FUERON PERFORADOS CON EL OBJETIVO DE SER PRODUCTORES Y QUE HAN RESULTADO CON BUENAS CARACTERÍSTICAS DE PERMEABILIDAD, PERO POCO ATRACTIVOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE TEMPERATURA Y PRODUCCIÓN.

PARA LA SELECCIÓN DE LOS POZOS REINYECTORES, EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE YACIMIENTOS, REALIZÓ LOS ESTUDIOS NECESARIOS, PARA QUE AL INYECTAR EL AGUA SEPARADA A LOS POZOS SELECCIONADOS, NO SE CORRIERA EL RIESGO DE CONTAMINAR ACUÍFEROS SUPERFICIALES, Y ADEMÁS EVITAR DAÑOS AL YACIMIENTO; YA QUE DESDE EL ENFOQUE DE FLUJO DE FLUIDOS Y CALOR EN MEDIOS POROSOS, AL INYECTAR AGUA FRÍA AL YACIMIENTO SE OCASIONAN, DAÑOS A LA FORMACIÓN, ASÍ COMO POSIBLES MODIFICACIONES A LAS LÍNEAS DE FLUJO NATURAL, LO CUAL PUEDE OCASIONAR INTERFERENCIA ENTRE LOS POZOS PRODUCTORES E INYECTORES. ADEMÁS DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS POR YACIMIENTOS, SE HA CONTADO TAMBIÉN CON LOS MÉTODOS DE ESTUDIOS GEOQUÍMICOS PARA -

DEFINIR LAS POSIBLES ZONAS DE INYECCIÓN.

LA ACTIVIDAD GEOQUÍMICA INCLUYE EL ANÁLISIS EN EL LABORATORIO PARA DEFINIR EL MARCO GEOQUÍMICO REGIONAL, PARA LA MEJOR INTERPRETACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CIRCULACIÓN DE AGUA, ORIGEN DE LOS FLUIDOS Y SU INTERRELACIÓN CON EL SUBSUELO. ASÍ COMO LA DETERMINACIÓN DE LOS DATOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS E ISOTÓPICOS DE LAS MUESTRAS Y ESTUDIOS DE GEOTERMOMETRÍA QUE PERMITEN HACER INTERPRETACIONES EN RELACIÓN A:

- 1).- CÁLCULO DE TEMPERATURAS DEL YACIMIENTO - UTILIZANDO GEOTERMÓMETROS QUÍMICOS.
- 2).- ORIGEN DE LAS AGUAS, ZONAS DE RECARGA Y GEOHIDROLOGÍA DEL CAMPO.
- 3).- LIMITACIÓN DE ZONAS ATRACTIVAS DEL CAMPO.
- 4).- DEFINICIÓN DE LAS ZONAS DE INYECCIÓN DE AGUA DE DESECHO.

PARA LA CONDUCCIÓN DEL AGUA SEPARADA Y DEBIDO A LO SINUOSO DEL TERRENO EN EL CAMPO DE LOS AZUFRES, SE HAN EMPLEADO LÍNEAS DE POLIETILENO QUE RESULTAN MÁS PRÁCTICAS, ECONÓMICAS Y MENOS SUSCEPTIBLES A LA EROSIÓN Y CORROSIÓN DEL MEDIO, EN COMPARACIÓN CON LAS LÍNEAS DE

ACERO. LA INYECCIÓN EN ESTE CAMPO SE HACE POR GRAVEDAD, POR LO QUE SE TIENE UN GRAN AHORRO EN EQUIPO DE BOMBEO.

EN LO QUE SE REFIERE AL ANÁLISIS DE REGISTROS-RELATIVOS A LA CORROSIÓN POR FLUIDO REMANENTE, SURGIO - LA IDEA DE LLEVAR UN MONITOREO DE CORROSIÓN PARA POZOS-DE REINYECCIÓN. MIDIENDO LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN POR-EL PROCEDIMIENTO DE PÉRDIDA DE PESO PARA ALGUNOS MATE--RIALES QUE SON UTILIZADOS COMO MUESTRAS O TESTIGOS; DI--CHOS ELEMENTOS SON INSTALADOS EN CÁMARAS, IDENTIFICÁN--DOLOS DE ACUERDO AL PROGRAMA DE SU MUESTREO, LO CUAL --PERMITIRÁ ACUMULAR MEDICIONES MENSUALES Y SEMESTRALES -Y/O EVALUACIONES DE LOS PROCEDIMIENTOS ANTICORROSIVOS -EN PRUEBA, ASÍ COMO COMPARAR LOS REGISTROS EN FUNCIÓN -DE LA TEMPERATURA, PRESIÓN Y GASTO, PARA APRECIAR LAS -VARIACIONES QUE SEAN NECESARIAS.

LOS PROCEDIMIENTOS MENCIONADOS PERMITIRÁN GRAFICAR TANTO MEDICIONES DE PENETRACIÓN POR ROTURAS, COMO REGISTROS DE INTENSIDAD, GRAVEDAD Y VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN LOS POZOS REINYECTORES. POR EL MOMENTO ESTE PROYECTO SE ENCUENTRA EN OPERACIÓN, POR LO QUE AÚN NO ES -

POSIBLE MENCIONAR RESULTADOS EN LO QUE A ESTE FENÓMENO
SE REFIERE.

CONCLUSIONES

EL PROPÓSITO DEL PRESENTE TRABAJO, HA SIDO -
MOSTRAR UNA VISIÓN EN LAS TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS -
USADOS EN UN CAMPO GEOTÉRMICO, REFERENTE AL MANEJO DE
PRODUCCIÓN EN SUPERFICIE. PARA LA MEJOR COMPRENSIÓN -
DE ESTE TEMA SE HA HECHADO MANO DE OTROS ASPECTOS QUE
SE CONSIDERARON IMPORTANTES.

DE ACUERDO CON EL MATERIAL EXPUESTO SE PUEDE
APRECIAR QUE LA TECNOLOGÍA Y MÉTODOS EMPLEADOS EN LA-
EXPLOTACIÓN DE UN CAMPO GEOTÉRMICO ES, EN MUCHOS AS--
PECTOS, SIMILAR A LOS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA PE--
TROLERA. CON REFERENCIA A LAS TÉCNICAS PARA EL MANEJO
DE LA PRODUCCIÓN EN LA SUPERFÍCIE, SE HAN CREADO ALGU
NAS NUEVAS, BASADAS EN LA EXPERIENCIA DE CAMPO, PARA-
LA MEDICIÓN Y MANEJO DE LOS FLUIDOS PRODUCIDOS (MÉTO-
DO DE **RUSELL-JAMES**). SIN EMBARGO, SE HA ENCONTRADO --
QUE BAJO CIERTAS CONDICIONES, EXISTEN PEQUEÑAS FALLAS
EN LO QUE SE REFIERE A ALGUNOS MÉTODOS DE MEDICIÓN, -
DEBIDO A QUE MUCHAS DE ESTAS TÉCNICAS FUERON DESARRO-
LLADAS PARA CAMPOS ESPECÍFICOS; POR LO QUE LAS CONS--

TANTES QUE SE INVOLUCRAN EN LAS ECUACIONES, DEBEN SER AJUSTADAS A CADA CAMPO EN PARTICULAR.

HASTA EL MOMENTO SE HA CONTADO, PARA EL DESARROLLO Y EXPLOTACIÓN DE ESTA FUENTE ENERGÉTICA, CON LA EXPERIENCIA Y TÉCNICAS PETROLERAS; PERO TAMBIÉN -- CON LOS CONOCIMIENTOS Y TECNOLOGÍA PROPIA QUE HA DESARROLLADO LA INDUSTRIA GEOTÉRMICA (PARA LA PERFORACIÓN DE LOS POZOS GEOTÉRMICOS SE HA UTILIZADO EQUIPOS Y -- TÉCNICAS SIMILARES A LOS USADOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA). LA TÉCNICA DE PERFORACIÓN HA EVOLUCIONADO LOGRANDO EXPERIENCIAS, A PARTIR DE LA PERFORACIÓN DE -- LOS PRIMEROS POZOS GEOTÉRMICOS, SOLUCIONANDO PROBLEMAS, TALES COMO LA PERFORACIÓN EN ROCA ÍGNEA, LA PRESENCIA DE ELEVADAS TEMPERATURAS, LA INESTABILIDAD DE LAS PAREDES DE LOS POZOS EN LAS ZONAS ALTERADAS, ETC. LAS PRINCIPALES DIFERENCIAS CON LA PERFORACIÓN PETROLERA SON:

- A).- LA NECESIDAD DE ENFRIAMIENTO EN LOS Lodos DE PERFORACIÓN.
- B).- EL REQUERIMIENTO DE UNA TUBERÍA DE PRO-

DUCCIÓN DE MAYOR DIÁMETRO, CONSTRUIDA -
CON ACEROS ESPECIALES CON UNIONES DE --
ROSCA DE MAYOR RESISTENCIA.

C).- EMPLEO DE CEMENTOS CON ADITIVOS ESPE---
CIALES PARA LA COLOCACIÓN Y CEMENTACIÓN
DE LOS ADEMES.

UNA VEZ LOCALIZADA LA ZONA PRODUCTORA SE PRO-
CEDE A COLOCAR LA TUBERÍA RANURADA, CUYO OBJETIVO ES-
PROTEGER LAS PAREDES DEL POZO E IMPEDIR DERRUMBES QUE
PUEDAN OCASIONAR PROBLEMAS EN LAS ZONAS PRODUCTORAS.

LAS PRINCIPALES ACTIVIDADES DESARROLLADAS PA-
RA LA LOCALIZACIÓN DE LAS ZONAS PRODUCTORAS DURANTE -
LA ETAPA DE PERFORACIÓN SON:

- 1.- REGISTROS DE TEMPERATURA Y PRESIÓN A DI-
VERSAS PROFUNDIDADES CON DIFERENTES TIEM-
POS DE REPOSO UTILIZANDO MEDIDORES MARCA
KUSTER.
- 2.- MEDICIÓN DE TEMPERATURA DE ENTRADA Y SA-
LIDA DEL LODO.
- 3.- MUESTREO DE RECORTES DE ROCA PERFORADA.

4.- LOCALIZACIÓN DE ZONAS PERMEABLES POR MEDIO DE ZONAS DE PÉRDIDA PARCIAL O TOTAL DE CIRCULACIÓN DEL LODO.

DESPUÉS DE FINALIZAR LA CONSTRUCCIÓN DE UN POZO O UNA REPARACIÓN ES MUY IMPORTANTE EL MANEJO DE LA PRODUCCIÓN EN LA SUPERFICIE. EN EL CASO EN QUE UN POZO SEA PRODUCTOR DE MEZCLA AGUA-VAPOR, ES NECESARIA LA SEPARACIÓN DE AMBAS FACES, UTILIZANDO UN SEPARADOR CENTRÍFUGO, ASI COMO LA MEDICIÓN DEL VAPOR Y MANEJO DEL AGUA SEPARADA, DE DONDE EL VAPOR SERA ENVIADO DIRECTAMENTE AL TURBOGENERADOR.

EN LA CONDUCCIÓN DEL VAPOR Y CON EL FIN, DE QUE ÉSTE LLEGUE A LA PLANTA EN CONDICIONES ÓPTIMAS ES NECESARIO UN BUEN DISEÑO DE VÁLVULAS, TRAMPAS DE AGUA Y SEPARADORES DE HUMEDAD. DE ESTA MANERA CON LA LLEGADA DEL VAPOR AL TURBOGENERADOR PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, SE CIERRA EL CICLO DEL MANEJO DE LA PRODUCCIÓN EN LA SUPERFICIE, DE POZOS GEOTÉRMICOS QUE CULMINA CON LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CENTRAL GEOTERMOELÉCTRICA.

PUEDE DECIRSE, QUE DEBIDO A LAS CARACTERÍSTICAS FAVORABLES DE VARIAS REGIONES DEL PAÍS Y EL HECHO DE QUE LA TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA GEOTÉRMICA ES SIMILAR A LA PETROLERA Y AUNADA LA EXPERIENCIA QUE SE HA LOGRADO EN LA PRÁCTICA DE POZOS GEOTÉRMICOS, SE TIENE UNA AMPLIA PERSPECTIVA QUE PERMITIRÁ AMPLIAR EL USO DE ESTA FUENTE DE ENERGÍA.

ANEXO A

VALORES DEL FACTOR DE VELOCIDAD DE APROXIMACION

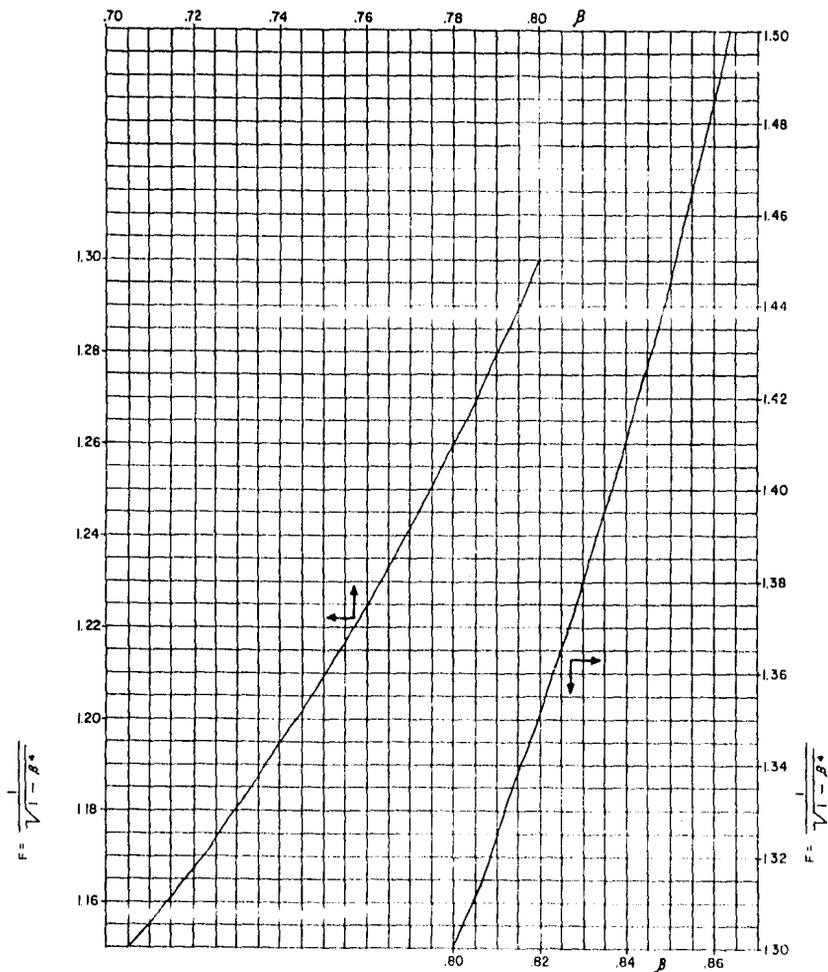


Fig IV 4 B

VALORES DEL FACTOR DE VELOCIDAD DE APROXIMACION

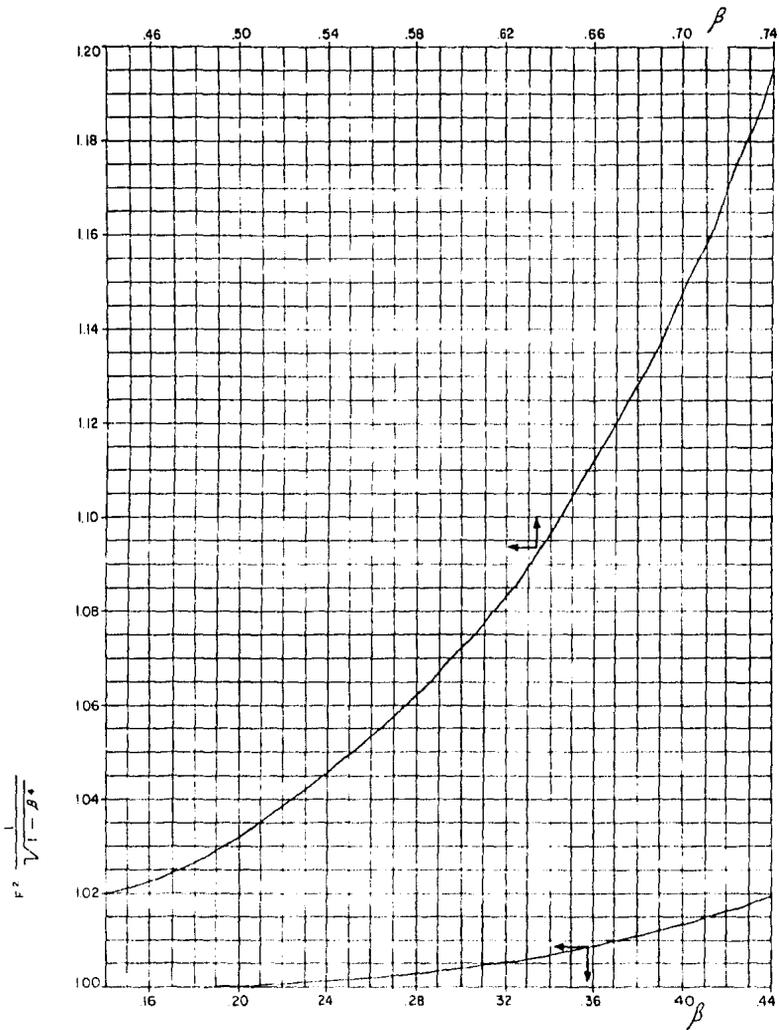


Fig. IV 4 A

FACTOR DE AREA DE EXPANCIÓN TERMICA DEL ELEMENTO PRIMARIO

(Nota: EL USO DEL BRONCE EN TUBERIAS ES RESTRINGIDO A TEMPERATURAS INFERIORES A 406 °F)

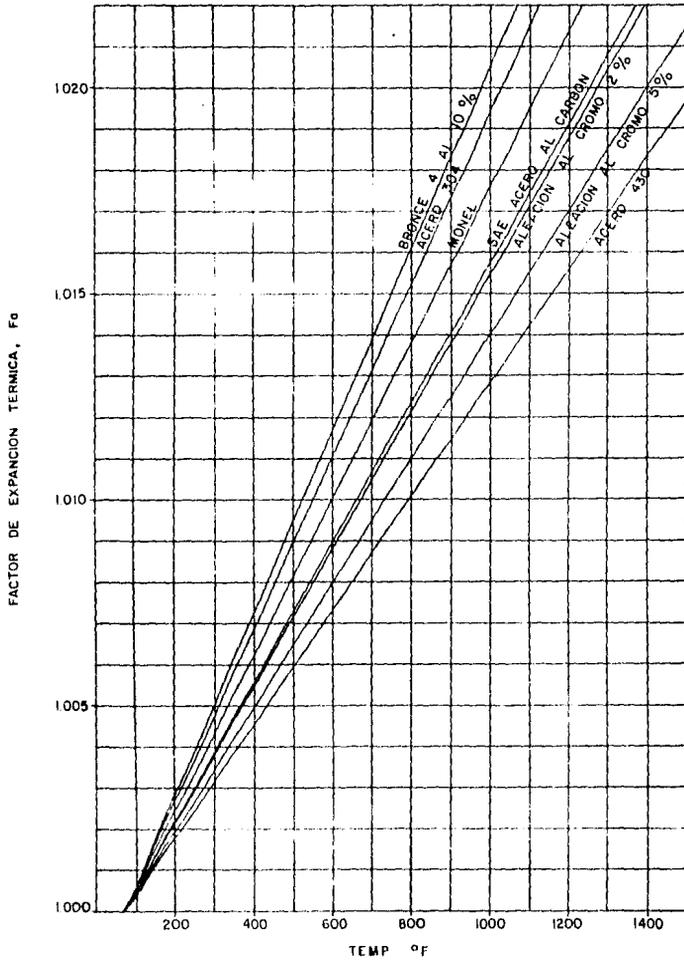


Fig IV 5

VALORES DEL FACTOR DE EXPANSION Y

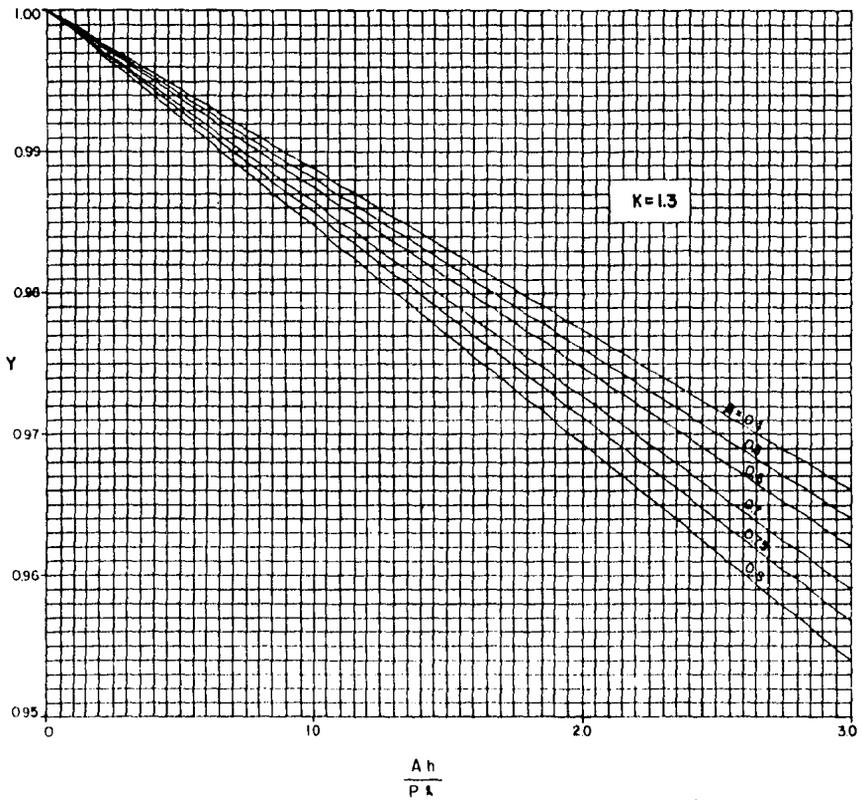


Fig. IV 6

VISCOSIDAD DEL VAPOR

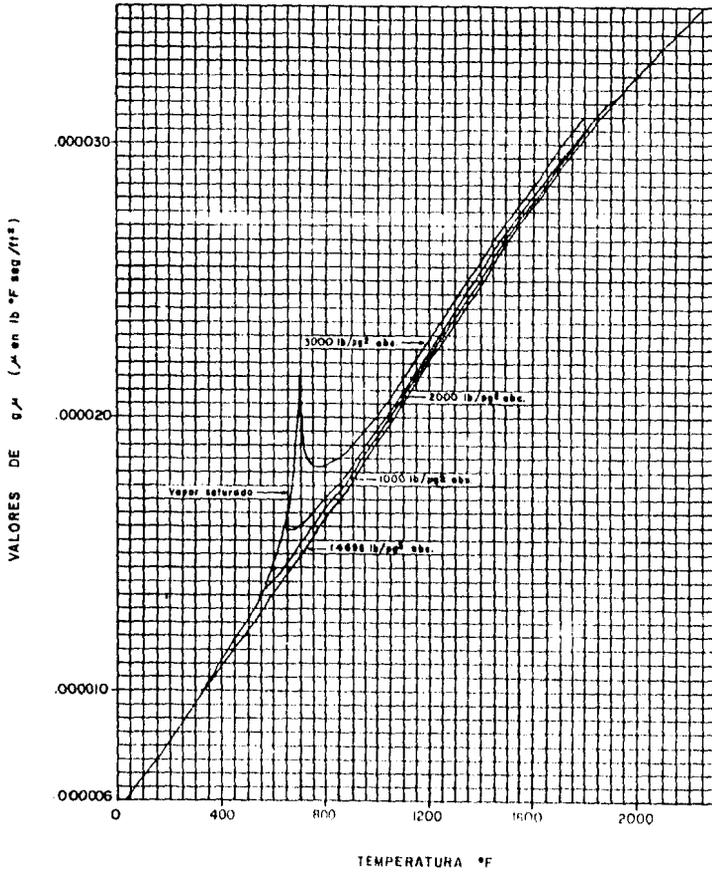


Fig. IV /

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- COMENTARIOS DE ALGUNOS PROBLEMAS DE PERFORACIÓN Y TERMINACIÓN DE POZOS GEOTÉRMICOS DE CERRO PRIETO.
B. DOMÍNGUEZ A. Y G. SÁNCHEZ G.
COORDINADORA EJECUTIVA DE CERRO PRIETO.
MEXICALI, BAJA CALIFORNIA MÉXICO.

- 2.- COMPORTAMIENTO DE ADEMÉS EN POZOS PRODUCTORES DE CERRO PRIETO.
B. DOMÍNGUEZ A., F. VITAL B., F. BERMEJO M. Y G. SÁNCHEZ G.
COMISIÓN FEDERAL DE ELÉCTRICIDAD.
COORDINADORA EJECUTIVA DE CERRO PRIETO.
MEXICALI, BAJA CALIFORNIA MÉXICO.

- 3.- INFORMES GEOLÓGICOS DEL POZO AZUFRES 26 Y POZO AZUFRES 38 .
SUPERINTENDENCIA DE GEOLOGÍA.
COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD.
LOS AZUFRES, MICHOACAN MÉXICO.

- 4.- INFORME "SEPARADORES DE VAPOR Y DE HUMEDAD".

SERAFIN LÓPEZ RIOS.

FACTIBILIDAD DE PROYECTOS.

COMISIÓN FEDERAL DE ELÉCTRICIDAD.

MORELIA, MICHOACAN MÉXICO.

5.- MÉTODOS DE MEDICIÓN DE FLUJO AGUA-VAPOR.

CARLOS ESQUER P., FCO. X. NAVARRO, FELIX CASTILLO,

FABIO DE LA CRUZ, HECTOR PÉREZ VILLA.

SUPERINTENDENCIA DE PRODUCCIÓN.

COMISIÓN FEDERAL DE ELÉCTRICIDAD.

CERRO PRIETO, MEXICALI, B.C. MÉXICO.

6.- PART II OF FLUID METERS.

SIXTH EDITION 1971.

APPLICATION OF FLUID METERS ESPECIALLY DIFERENTIAL
PRESURE TYPES.

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS.

7.- CORROSION AND EROSION EFFECTS OF ENDOGENOUS LARDE-

RELLO FLUID ON METAL USED IN ANSALDO GEOTHERMAL --
POWER-PLANTS.

GEOTHERMAL RESOURCES COUNCIL.

8.- GEOTHERMAL SCALE CONTROL BY CRISTALLIZATION.

L. AWERBUCH AND A.N. ROGER.

ANUAL GEOTHERMAL AND WORKSHOP, NOV. 1981.

9.- MÉTODO ACTUAL PARA LA APERTURA E INICIO DE EXPLO-
TACIÓN DE POZOS EN EL CAMPO GEOTÉRMICO DE CERRO -
PRIETO.

B. DOMÍNGUEZ A., F. BERMEJO M.

COMISIÓN FEDERAL DE ELÉCTRICIDAD.

MEXICALI, BAJA CALIFORNÍA MÉXICO.

10.- ESTUDIO DE CORROSIÓN EN EL POZO AZUFRES 40

DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN Y YACIMIENTOS.

INFORME INTERNO NO PUBLICADO.

MORELIA, MICHOACAN 1984.

11.- CORROSIÓN EN POZOS GEOTÉRMICOS.

H.B. SIERRA ALCAZAR Y R. NABOR.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS.