

2 ej. 15

**Universidad Nacional Autónoma de México**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

---



**BREVE ESTUDIO DE LOS DOMOS SALINOS Y  
ALGUNOS ASPECTOS ECONOMICOS RELATIVOS,  
ENTRE ELLOS LA EXPLORACION Y EXPLOTACION  
DEL AZUFRE EN EL DOMO DE JALTIPAN,  
ESTADO DE VERACRUZ**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO GEOLOGO  
P R E S E N T A**

**TOMAS VAZQUEZ JIMENEZ**

MEXICO, D. F.

1979



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

## I N D I C E

	Pag.
I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCION	6
III. OBJETIVO Y ALCANCE	7
IV. DEPOSITOS DE EVAPORITAS EN LA PROVINCIA GEOLOGICA DE LAS CUENCAS TERCIARIAS DEL SURESTE.	9
V. ORIGEN Y CRECIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS SALINAS Y HUNDIMIENTO PERIFERICO.	15
VI. CONFIGURACION Y COMPOSICION DE LAS MASAS SALINAS Y ORIGEN DEL CAP - ROCK.	37
VII. CLASIFICACION DE LAS ESTRUCTURAS	42
VIII. SIGNIFICADO ECONOMICO DE LAS ESTRUCTURAS SALINAS	47
IX. ACUMULACION DE HIDROCARBUROS	51
X. EXPLORACION Y EXPLOTACION DEL AZUFRE DEL DOMO DE JALTIPAN, ESTADO DE VERACRUZ.	53
BIBLIOGRAFIA.	76
ANEXO	78

## I.- RESUMEN .

Los domos salinos son localizados generalmente en cuencas salinas, las cuales son de dos tipos bien definidos: Uno corresponde a aquellas que contienen la sal estratificada y su deformación resulta del - Halotectonismo ( fuerzas tectónicas compresivas) y el otro tipo pertenece a las que contienen estructuras salinas como resultado de Halo-kinesis (movimiento salino isostático autónomo).

Los depósitos de evaporita comprenden aproximadamente 40 sales diferentes, sin embargo unas cuantas se presentan en abundancia.

Las sales más comunes son los sulfatos de calcio, incluyendo yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ). Las mejores acumulaciones conocidas son los depósitos de sal de roca ( halita  $\text{NaCl}$ ) las cuales se encuentran como sal estratificada de bajo relieve y como estructuras salinas. Las sales de K y Mg son comercialmente importantes, pero constituyen solo una pequeña porción de las evaporitas.

La cristalización del agua madre de mar en realidad es más compleja de lo que ordinariamente se cree, ya que es influenciada por un número de variables como la concentración de agua salada, la temperatura y la solubilidad de las sales en el agua salada.

Actualmente hay dos escuelas que enseñan la edad y mo

do del depósito de la sal Louann de los domos de la Región del Golfo, Una sostiene que la sal es Pérmica en edad y equivalente estratigráfico de la Formación Castile del Pérmico de la Cuenca de Delaware en el -- Oeste de Texas. La otra postula que la sal es Triásica o Jurásica Me dia y representa depósitos evaporíticos ampliamente distribuidos en el -- golfo ancestral, similar en tamaño y forma a el actual Golfo de México,

De acuerdo a los nuevos conceptos se puede resumir --  
que:

1. La cuenca de depósito que acumuló sedimentos postorogénicos, incluyendo la sal Louann, fué similar en tamaño y forma a la Cuenca Cenozoica Costera del Golfo, incluyendo el presente Golfo de - México. Las subcuencas del Este de Texas y la Cuenca del Río Grande, probablemente fueron iniciados por debilidades en la corteza, causadas por arqueamiento del cinturón de plegamiento Ouachita.
2. La sal Louann es probablemente Triásica Superior a Jurásica Inferior en edad, a pesar de considerarse el hecho de que parte de ella puede ser de edad Pérmica o de tener un alcance del Pérmico al - Jurásico Medio.
3. La Sal Louann subyace o puede subyacer la totalidad de la Cuenca del Golfo incluyendo el actual Golfo de México, excepto en las - - áreas locales de no depósito, de erosión o flujo, responsables de -

de la ausencia de la sal.

4. Los depocentros de la Cuenca de la Costa del Golfo son también - locales en las conocidas cuencas de domos salinos.
5. La capa de sal Louann o capa de sal madre probablemente fue depositada contemporáneamente en toda la cuenca; sin embargo, el - desarrollo interno de la cuenca de domos salinos probablemente - fue anterior al desarrollo y crecimiento de los rasgos similares - en la cuenca de domos salinos costeros.

La teoría moderna del origen de los domos salinos postula que la sal ha fluido dentro de estructuras, por medio de la deformación - plástica en respuesta a la diferencia de densidad entre la sal y los sedimentos circundantes.

La configuración de las masas de sal en la región del Golfo son -- circulares y elípticas, en el sureste predominan las formas elonga- das o elípticas. Muchos domos de sal son largos y presentan for- mas bien desarrolladas y mejor descritos como conos truncados.

Varias teorías han sido escritas sobre el origen del "cap rock", - pero muchos de los geólogos están de acuerdo en que la anhidrita en esta unidad es una acumulación de residuos insolubles precipita- dos por aguas subterráneas que actúan en la sal de los domos.

Las estructuras de sal se presentan en una amplia variedad de -- formas, tamaños y relaciones entre los sedimentos huéspedes, co- mo un resultado de las condiciones estratigráficas y estructurales -

del área que los rodea, las cuales influyen de forma diferente en su desarrollo.

El domo de Jaltipán es una estructura salina que presenta una forma elíptica, con una orientación SE-NW y la cual está conectada con una masa mayor hacia su porción occidental.

Las formaciones encontradas en esta área son: Depósito, Encanto, Concepción Inferior, Concepción Superior y Filisola las cuales están localizadas cronológicamente del Mioceno al Reciente.

El casquete de este domo presenta una forma de manto sobre la superficie de la sal, en el cual la explotación del azufre se lleva a cabo dentro de la caliza y en muy raras ocasiones en el yeso.

La secuencia normal en el casquete es: Caliza o caliza con azufre, yeso o anhídrita y sal. En la caliza se han diferenciado cuatro cuerpos principales.

El proceso para la producción del azufre es el denominado Método Frash, que consiste en la inyección de agua caliente a la formación y la extracción por medio de presión de aire del azufre.

Existen tres tipos de pozos que son: Pozos de producción, pozos de desfogue y pozos de exploración, que son perforados y equipados de diferentes manera según su objetivo.

La clasificación descriptiva de las estructuras salinas está referida a la profundidad que se encuentran, forma y relaciones genéticas.

Por otra parte existe la clasificación de estructuras dómicas con -

relación a su fallamiento.

Referente a la acumulación del petróleo, ésta es controlada por el levantamiento de la sal. Prácticamente todos los tipos conocidos de trampas de hidrocarburos se presentan en las estructuras de los domos con o sin acumulaciones de hidrocarburos.

El significado económico de las estructuras salinas como característica geológica, es la exploración y explotación del azufre, la sal o halita, las sales de potasio y magnesio y por supuesto el petróleo que en mucho ha contribuido en la economía política del país.

## II. - I N T R O D U C C I O N

CONSIDERANDO LA GRAN IMPORTANCIA QUE EN LOS ULTIMOS AÑOS HA ALCANZADO LA INDUSTRIA AZUFRERA EN NUESTRO PAIS Y LO RELEVANTE QUE ES EL AZUFRE EN LA INDUSTRIALIZACION Y DESARROLLO DE LOS DEMAS PAISES, EN ESTE TRABAJO SE TRATA DE ESTUDIAR EL COMPORTAMIENTO DE LOS DOMOS SALINOS CON LAS IDEAS DE INVESTIGADORES EN CUANTO AL ORIGEN, DEPOSITO DE LAS CAPAS, CRECIMIENTO DE LOS DOMOS EN EL MUNDO Y SUS CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES; ACUMULACION DE PETROLEO Y GAS, IMPORTANCIA ECONOMICA Y LAS PRACTICAS INGENIERILES COMUNES EN LA EXPLORACION Y EXPLOTACION DE LOS RECURSOS MINERALES DE LOS DOMOS SALINOS.

### III.- OBJETIVO Y ALCANCE.

Los domos salinos ocupan un papel muy importante en geología estructural, ya que constituyen un buen ejemplo del movimiento plástico de grandes masas de roca y su evolución estructural es extraordinaria. Muy poca información se ha obtenido de exposiciones superficiales, en cambio, las perforaciones, los métodos geofísicos y algunas minas han sido los medios de información sobre los levantamientos salinos.

El geólogo y el geofísico petroleros han participado activamente en el conocimiento de los domos salinos debido a su importancia económica en la exploración y la explotación de los hidrocarburos. Reviste también importancia en la exploración y explotación del azufre, sal de roca y sales de potasio y magnesio.

Un domo salino consiste en un núcleo central de sal de roca y en un domo circundante de estratos sedimentarios. El núcleo de muchos domos salinos penetra o perfora las rocas sedimentarias suprayacentes constituyendo un diapiro o domo diapírico, el de otros domos establece únicamente un levantamiento estructural.

Los sedimentos suprayacentes que se apoyan sobre el núcleo de algunos domos están fracturados por fallas gravitacionales, --

las cuales pueden ser radiales pero generalmente pertenecen a un sistema más o menos paralelo en el cual se establecen "grabens".

Independientemente de la extraordinaria evolución estructural que desde el punto de vista académico suministran los domos salinos, su importancia económica es enorme, el petróleo por ejemplo, es atrapado en sedimentos suprayacentes a los núcleos salinos y en algunos casos dentro del "cap-rock". Por otra parte, se han obtenido grandes cantidades de azufre tanto del "cap-rock" como de la Formación Salina y sal de roca y sales de potasio del núcleo propiamente.

#### IV.- DEPOSITO DE EVAPORITAS EN LA PROVINCIA GEOLOGICA DE LAS CUENCAS TERCARIAS DEL SURESTE.

Los procesos que controlan la precipitación de sales -- fueron establecidos hace mucho tiempo por Usiglio (1849) de sus experimentos sobre la evaporación del agua de mar. Notó que las sales se precipitaban en las salmueras dentro de rangos de salinidad y densidad definidos.

La concentración de agua de mar normal, cuando se incrementa más allá de su constante equilibrio ocasiona que las sustancias se desprendan de la solución.

También demostró que cuando el agua de mar se reduce alrededor de un quinto de su volumen, se precipita sulfato de calcio (anhidrita). La reducción adicional resulta en la precipitación de halita, entonces las sales se estratifican en potasio o magnesio (bitterns-soluciones naturales en cuencas evaporíticas, especialmente en su alto contenido de magnesio.) Si una columna de agua de mar del orden de los 300.0 m, fué precipitada, los depósitos resultantes serán 4.51 m de halita y 0.91 m, de soluciones naturales especialmente de magnesio.

Ochsenius (1888) desarrolló la hipótesis de la "Teoría de la barrera" para explicar los depósitos de sal. La precipitación de grandes volúmenes de sal en la naturaleza requiere de un ambiente, en-

donde a través de largos períodos de tiempo geológico, la evaporación - exceda las aguas de lluvia y los escurrimientos superficiales con restricción a la circulación libre del agua de mar. La barrera de Ochsenius - suministró la barrera hacia el mar, restringiendo la mezcla de salmueras saturadas con el agua de mar, excepto bajo condiciones de tormenta que elevaron los niveles del mar. Durante los períodos breves de tormenta el agua de mar de salinidad normal derrama sobre la barrera y - rellena las salmueras que se estaban evaporando.

La cristalización de la salmuera actualmente es más - compleja de lo que se cree, ya que es influenciada por un número de - variables, incluyendo la concentración de salmuera, temperatura y solubilidad de las sales en la misma. Estos factores son controlados, al menos en parte por la configuración de la cuenca, la profundidad del -- agua, la batimetría de la cuenca y las características geomorfológicas - de los terrenos adyacentes, aunque el orden de precipitación bajo condiciones naturales, concuerda en general con los experimentos de Usiglio, con sus excepciones, entre ellas los geólogos que han estudiado secuencias evaporíticas en cuencas a través del mundo han ofrecido teorías diferentes para explicar su depósito.

El trabajo de Branson (1915) sugiere modificación a la teoría de Ochsenius, quien dice que las aguas marinas entraron en una cuenca árida en la que se precipitaron la mayor parte de los carbonatos y sulfatos y entonces se movieron sobre una cuenca árida adyacente, --

donde las sales de alta salinidad fueron depositadas. Adams (1944), en su trabajo sobre la Serie Ochoa del Pérmico de la Cuenca Delaware aplicó un concepto de barrera modificada. Para explicar parcialmente el depósito de la anhidrita Castile notó la predominación de anhidrita sobre la sal en la formación, la cual no es consistente con la relación de facies durante la evaporación de la salmuera. A juzgar por la ausencia de sales de sodio en la Cuenca Delaware, concluyó que la salmuera concentrada que contiene Na Cl debe haber escapado de la cuenca. Sugirió dos métodos de escape, uno y otro a través de una ramificación profunda y la subsecuente selladura de la barrera que creó la cuenca evaporítica, o más posiblemente, que las de fuerte espesor escaparon a través de una barrera permeable. Estableció, " que con permeabilidad limitada del flujo hacia afuera, ocurre cuando la gravedad y presión de la salmuera en la cuenca cerrada, es más grande que aquélla del agua del mismo nivel de afuera".

King (1947) amplió el proceso en el cual la anhidrita se deposita a expensas de la halita y propuso la teoría del refluo. La cuenca Delaware de acuerdo con King fue conectada al mar por un canal, por el cual el agua nueva del mar entró a la cuenca para reemplazar el agua pérdida por la evaporación. La salmuera concentrada en la zona, se hundió al fondo de la barrera de la cuenca y retornó como un refluo hacia el mar abierto, ya sea como refluo por arriba de la barrera o por percolación a través de ella. El cálculo de muestras dió una-

relación de reflujo de 10 a 1. La salinidad del Mar Castile dentro de la Cuenca Delaware fué casi saturada con  $\text{NaCl}$ , y así el  $\text{CaSO}_4$  y materiales menos salubres fueron precipitados, pero la salmuera soluble y pesada fué descargada como un reflujo antes de que pudiera asentarse.

Scruton (1953) revisó los resultados de algunos estudios oceanográficos en esteros y brazos de mar restringidos y apuntó la circulación particular de los patrones existentes. Estos patrones de circulación son debidos al flujo de agua menos salinas o aguas densas a regiones de mayor salinidad bajo influencia de la presión hidrostática, los cuales parecen adaptados a la teoría de King sobre el reflujo.

Halbouty y Hardin (1956) para explicar el depósito de sal madre, razonaron que la cuenca salina empezó a hundirse con la Tierra Llanoria ( Provincia Tectónica Ouachita ), la cual fué mucho mas extensa que lo que anteriormente se creía. El hundimiento fué probablemente el comienzo del Geosinclinal de la Costa del Golfo y el actual Golfo de México. Sus informes dicen que durante el Pérmico Inferior y Medio y comienzo del Pérmico Superior, existió una gran cuenca restringida y los mares que cubrieron el Oeste de Texas también fueron restringidos; así que en el comienzo del tiempo Castile (Pérmico Superior), las tierras que rodearon la cuenca fueron bajas y de superficies planas. En el Este de la cuenca estas superficies no recibieron sedimentos ni fueron erosionadas. En dichas superficies existieron unos canales angostos con barreras permeables intermitentes, --

los cuales conectaron la cuenca del Golfo con el Mar Castile. El Mar Castile fué conectado intermitentemente y separado por un área de barrera con el mar por el Suroeste, haciendo así de esta cuenca una cuenca de barrera.

Murray (1961) dice:

Las anomalías del flanco Este del cinturón orogénico de la Sierra Madre Oriental, que aparentemente controla las estructuras del Cretácico Superior y Postcretácico en porciones adyacentes de la provincia costera, fueron posesionadas por los ahora alineamientos del Precámbrico y Paleozoico. Esto sugirió que las áreas (salientes y depresiones) del flanco de la Sierra Madre Oriental, reflejan respectivamente del cinturón o cinturones plegados Paleozoicos establecidos. En tal caso, las grandes anomalías negativas de la provincia costera en esta región, son asimismo adyacentes a las salientes del cinturón orogénico Paleozoico y viceversa.

Las Cuencas de Domo Salinas con los Estados de Veracruz y Tabasco de México, Río Grande, Este de Texas, Norte de Louisiana, las Cuencas del Este Central de Louisiana-Mississippi, son depocentros dentro de las cuencas salinas adyacentes a arcos salientes de los cinturones orogénicos Paleozoicos. Estos sitios de máximo depósito, probablemente fueron heredados de zonas de debilidad más tempranas, las cuales resultaron de la construcción, debajo de la corteza por ajuste isostático, como consecuencia de la Orogenia Paleozoica.

Las Cuencas de Domos Salinos de la Región del Golfo, se cree que son circundadas por cuencas salinas en donde han ocurrido pequeñas deformaciones de sal, al menos donde no se han observado estructuras diapíricas.

Muchos Geólogos generalmente concuerdan que una capa -- continua de sal Louann subyace la Región del Golfo incluyendo el Golfo de México.

Una sola cuenca de sal representativa de un vasto golfo - ancestral cerrado, ha sido sugerida por Lyons (1957) basado en parte - sobre los trabajos de Imlay (1943), quien cuidadosamente reconstruyó - la distribución de los sedimentos Jurásicos, los cuales corresponden a - una área extensa del Golfo. Las áreas de menos domos, que separan, las cuencas de domos salinos y rasgos tectónicos mayores tales como - el Arco de San Marcos, levantamiento de Sabinas, levantamiento de - - Monroe, Domo de Jackson, etc., pueden ser cubiertas en parte por -- una delgada capa exterior de sal Louann. En algunas áreas localizadas, sin embargo, la ausencia de sal puede ser debida a no depósito, ero - sión, o flujo de "altos" a "bajos" adyacentes.

## V.- ORIGEN Y CRECIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS SALINAS Y HUNDIMIENTO PERIFERICO.

La teoría moderna del origen de los Domos Salinos postula que la sal ha fluido dentro de las estructuras mediante la deformación plástica, en respuesta a diferencias de densidades entre la sal y los sedimentos que están a su alrededor. Este concepto es generalmente -- aceptado por los Geólogos del mundo.

La historia de ideas sobre la formación de Domos Salinos, comienza con las observaciones de Thomassy (1860), quien visitó cinco - islas del Sur de Louisiana y anunció que Petite Anse ( Isla Every) "viene de un volcán de agua, lodo y gas.

Posepny (1871) fué el primero en darse cuenta de la naturaleza diapírica de los domos salinos en Rumanía.

En general, todas las ideas avanzadas sobre el origen - de los domos salinos atribuyen a uno o más de tres conceptos básicos - que incluyen:

- 1.- La referencia más reciente al descubrimiento del domo de Spindle top en 1901 es caracterizado por ideas casuales, no relacionadas.
- 2.- De 1901 a 1916, el interés en los domos fué mostrado como un - resultado del impacto económico de Spindletop y otros gigantescos domos salinos de campos petrolíferos, considerado como área de

### Depósito-Solución.

3.- 1916 a 1924, fueron ampliamente aceptados los principales flujos de sal, para explicar la formación de los domos.

Degolyer (1919) y otros defendieron el tercer concepto, el cual podría ser razonablemente demostrado en las actuales estructuras de flujo en las paredes de las minas de los domos salinos. La actual teoría de flujo de la sal ha sido modificada y refinada a partir de conceptos más recientes.

Muchas de las ideas tempranas ofrecidas por geólogos americanos resultaron de los estudios de las cinco islas del Sur de Louisiana. Las Islas son circulares, de colinas boscosas, de relieve suave a moderado que se levanta por unos terrenos pantanosos. A partir de cierta distancia las colinas representan islas en el mar; los manantiales de salmuera, sal y depósitos de azufre de estas colinas fueron conocidos por los indios y moradores mucho antes de la expedición de Thomassy. El núcleo de sal de las islas está suprayacido por una capa delgada de material aluvial de estudio comparativamente fácil.

Lockett (1871), Hopkins (1870), y Hilgard (1872) abogaron las teorías estructural o erosional para la presencia de la sal de las cinco Islas. Hook Kins y Hilgard creyeron que los domos y masas salinas fueron remanentes erosionales de una cordillera del Cretácico Antiguo. Lockett concluyó que las colinas fueron segmentos de un ribero natural antiguo agrietado.

do por inundación de agua. Clendenin (1896), y Harris y Veatch (1899) - sostuvieron una explicación estructural para los Domos de Louisiana. - - Ellos reconocieron el levantamiento de las colinas con respecto a las áreas adyacentes, y creyeron que las colinas resultaban del plegamiento y fallamiento, durante un tiempo geológico reciente. Estas teorías antiguas -- pueden parecer humorísticas a la luz del actual conocimiento, pero si se considera lo poco que se conocía acerca de los rasgos similares en cualquier parte del mundo, estas ideas antiguas pueden ser apreciadas, especialmente desde que ellas fueron apoyadas por: 1) El criterio Geomórfico y 2) La evidencia de deformación estructural.

Las teorías sofisticadas recientes fueron mucho más especulativas e irrealizables que aquellas ideas.

Es interesante notar que las primeras teorías del origen de los Domos en Rumanía y Alemania, fueron teorías Tectónicas. Barton (1926) informó que en Mrazec, un estudiante de domos salinos en Rumanía, creyó que los diapiros representaron la primera etapa de un corrimiento.

Adams (1901) y Veatch (1902) publicaron informes que mostraban la localización de muchos otros rasgos similares de domos en la Costa del Golfo de Texas -Louisiana. Con los descubrimientos de domos salinos en Sour Lake en 1902, Humble 1905 y Goose Creek 1908, intensificaron grandemente las investigaciones para la búsqueda de otras acumulaciones petrolíferas asociadas con domos y con el alto interés de los geólogos

gos adelantaron las teorías de depósito-solución del origen del domo en sucesión rápida.

El concepto de depósito-solución originó años más tarde en Goessmann (1867) quien también informó sobre las sales en la Isla Every, - la conclusión de que la sal resultó de la evaporación de los manantiales de salmueras que asciende a través de depósitos más antiguos de sal estratificada.

Hubo tres líneas principales de pensamiento propuestas por defensores del concepto de depósito-solución. La primera y más sencilla explicación es esencialmente una nueva exposición de las ideas de Goessmann; esto es, las aguas salinas emanadas desde la profundidad de la tierra, se levantan hidrostáticamente a través de los sedimentos suprayacentes a lo largo de zonas de debilidad (fallas o fracturas). Entonces estas precipitan los minerales en solución cerca de la superficie, en la forma de masas parecidas al "stock".

Una variante en el concepto de la solución, sugerida por Harris (1907-1908) quien consideró las fuerzas de cristalización de la sal como el mecanismo para empujar la sal hacia arriba a través de los sedimentos suprayacentes. En resumen de Degolyer (1926), sobre la teoría de Harris dice: Las aguas artesianas captadas en las formaciones aflorantes al Norte de las áreas del domo salino general, descienden a grandes profundidades - a lo largo de capas previas, calentándose por las altas temperaturas de la -

tierra que existen a tales profundidades, toman posesión dentro de las sales de solución encontradas en las Formaciones Paleozoicas y Mesozoicas y se elevan bajo presión hidrostática en puntos de debilidad, manifestándose principalmente en el cruce de fallas en las Formaciones Preferciarias. El depósito de sal por el enfriamiento de esta solución salina caliente, trajo -- como resultado la formación de un cono similar a lápiz delgado de sal de roca. Las fuerzas ejercidas por la potencia de crecimiento de los cristales de la sal, especialmente en el fondo de este cono salino, provocaron que el cono fuera empujado continuamente hacia arriba, mientras que el depósito continuo siendo encabezado por solución en tanto alcanzaba la zona de circulación de aguas dulces subterráneas.

Las rocas sedimentarias suprayacentes fueron levantadas y las rocas contiguas inclinadas por el empuje del cono salino.

La teoría de Harris permaneció popular por muchos años -- y fué apoyada por Campbell (1911) y Matteson (1918) quienes revisaron las principales teorías del origen de los domos y sus publicaciones respectivas.

La tercera variación del concepto del depósito-solución sostenía vigorosamente alguna clase de influencia volcánica como el principal factor en la iniciación o continuación de la formación de domos. La primera mención del origen volcánico, fué hecha en el trabajo de Thomassy (1860).

Coste (1903) fué uno de los más seguros defensores del concep

to de la influencia volcánica; el creyó que los domos fueron un resultado de la acción volcánica, la cuál forzó el agua, la sal, el azufre y el aceite en un estado gaseoso, penetrando hacia arriba libremente a través de los planos de estratificación y condensarse cerca de la superficie. Hager (1904) consideró que las aguas calientes llevan sal y otros minerales, escapando a la superficie por canales previamente formados por gases volcánicos. La sal fué precipitada de las aguas salinas dentro de masas similares a cuellos.

Una de las últimas teorías que pone de relieve la influencia volcánica fué quizás la más especulativa; Norton (1916) concluyó que los domos fueron depositados en la porción disuelta de un conducto de material calcáreo, el cual acompañó la intrusión de rocas fundidas.

Los escritos que apoyaron la influencia volcánica reconocieron que no había evidencia positiva de actividad volcánica en las cuencas de domos salinos, sin embargo este concepto duró mucho tiempo.

Los primeros científicos europeos progresaron la idea de que la sal podría fluir en un estado plástico o semiplástico bajo condición natural y formar estructuras.

Las dos principales escuelas de pensamientos incluyen:

1) Las estructuras salinas producidas por compresión lateral o tangencial como una motivación tectónica y 2) Las estructuras salinas producidas por desequilibrio gravitacional resultante de las diferencias de densidad entre la sal y los sedimentos adyacentes como una motivación isostática.

Hasta que recientemente los domos salinos en el Norte de - Alemania, fueron reportados y explicados como estructuras controladas -- tectónicamente, Trusheim (1960) informó que la opinión a favor de los principales geostáticos, es similar a las corrientes de pensamiento Americano. Sin embargo, los conceptos isostáticos originales fueron desarrollados por las escuelas Alemanas.

Harbort (1910), opinó que la fuerza que motiva por lo menos en parte el empuje de la sal de los domos alemanes, fué debido a las car - gas de las masas salinas por los sedimentos suprayacentes.

Arrhenius (1912) propuso una hipótesis que viene a ser casi el establecimiento de la teoría moderna, la cual determina que el movimien - to hacia arriba de las masas salinas fue ocasionado por la gravedad específica menor, comparada con aquélla de las rocas adyacentes.

Lachmann (1910, 1917), estudioso eminente de los Domos Sa - linos en Alemania, propuso el problema diferente en defensa de un "ECZEMA" salino o proyección de tipo ulceroso de la sal a través de la corteza terres - tre. Sin embargo, su llamado "empuje autoplástico" de la sal, como llama - mó a dicha fuerza, fué más tectónica que isostática en principio. El reco - noció la importancia de fuerzas inherentes en las masas salinas y no en los sedimentos adyacentes. Esto es, las fuerzas localizadas sustancialmente en la sal fueron responsables del movimiento hacia arriba a través de las - rocas suprayacentes.

Los proponentes que motivaron tectónicamente el flujo de la sal, finalmente prevalecieron en Europa como en los Estados Unidos.

En Alemania, Stille (1911, 1917) fué el principal exponente de la idea de que el movimiento hacia arriba de la sal se presentó de la misma manera como el plegamiento de los sedimentos normales, por compresión lateral.

Degolyer (1926) contribuyó mucho al concepto del flujo de la sal en América, opinó una influencia tectónica para el flujo de la sal la cual fué la más aceptable y la teoría más razonable. Concluyó que los domos salinos de Norteamérica como las estructuras salinas de la Provincia de Texas-Louisiana, son tapones de sal introducidos previamente dentro de Formaciones Terciarias y Cretácicas casi sin perturbar, de una estructura salina sepultada profundamente. Los sepultamientos profundos de las estructuras salinas fueron formados por fuerzas --orogénicas y el flujo de la sal en un estado plástico o semiplástico de depósito estratificados, fué inducido por compresión resultante del plegamiento.

Barton (1926) revisó las ideas de los geólogos rumanos, Krejci (1926) propuso una combinación de teoría isostática para los domos en Rumania.

Tres pasos en el desarrollo de los domos salinos fue

ron postulados por Krejci, los cuales, Barton los expresó como sigue:

- 1.- La formación de los pliegues ondulantes en la componente, oculta completamente los efectos de empuje por el marco de sobrecorrimiento.
- 2.- La transformación de los pliegues diapíricos producidos hacia arriba de la formación suprayacente plástica móvil, bajo el efecto del mismo empuje, el movimiento hacia arriba es aumentado en los puntos de menor resistencia a lo largo de las cimas de los pliegues.
- 3.- La transformación de los pliegues diapíricos en intrusiones a través de la extrusión del núcleo plástico verticalmente hacia arriba dentro de los sedimentos suprayacentes, el movimiento toma lugar isostáticamente bajo el efecto de la presión de los sedimentos suprayacentes.

La idea de que la sal fué menos densa que los sedimentos adyacentes y que la diferencia en densidad constituye una fuerza ascensional que ocasionó el levantamiento de la sal, fue aludida algunas veces, después de la hipótesis original de Arrhenius. Sin embargo, -- el concepto fue solo mencionado casualmente y generalmente descartado, porque las fuerzas no fueron consideradas adecuadas para la magnitud de los levantamientos salinos.

Sustancialmente en base a evidencias geofísicas, Barton (1933) propuso la teoría de la construcción hacia abajo por isostacia, -

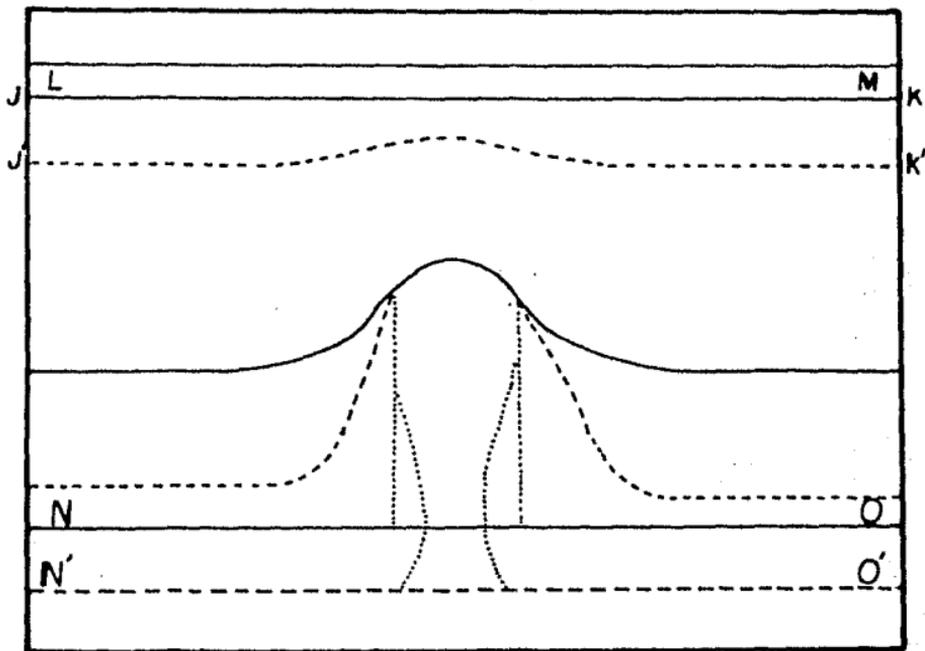


FIGURA 3

(

DIAGRAMA REPRESENTATIVO DE EL LEVAN —  
TAMIENTO DE UN DOMO SALINO.

(SEGUN BARTON 1933)

para explicar la fuerza motivo de los levantamientos salinos, mientras que Nettleton (1934) desarrolló una teoría algo similar independientemente - del conocimiento de Barton, conocido como concepto mecánico de fluido. Esto es básicamente la misma teoría que la que está ampliamente aceptada por los Geólogos Americanos de ahora.

La teoría de la construcción hacia abajo postula, que la estructura salina permaneció más o menos constante a profundidad, mientras que los sedimentos suprayacentes lo hundían hacia abajo, que con la subsidencia general de la sección sedimentaria, el flujo horizontal de sal de la capa salina generadora se movió hacia la base del núcleo salino y -- construyó la base de la sal en dirección hacia abajo respecto a la superficie.

Barton explicó el diagrama y los procesos del plegamiento como sigue (Fig.1):

La cima del basamento JK de la serie salina subside a una nueva posición JK, la superficie se mantiene a un nivel constante por depósito continuo del material sedimentario. Pero cualquier capa, LM, - se hunde conjuntamente a la subsidencia del basamento, JK, la capa de - sal madre NO se hunde conjuntamente a la nueva posición, N'O'. Si - la sal de la capa de sal madre fuera un sedimento ordinario al núcleo - de sal se hundiría con la misma relación como la serie de sal madre, - pero como la sal es más ligera que los sedimentos adyacentes al núcleo

de sal del domo, por su tendencia ascendente no se hunde con los sedimentos adyacentes. Bajo la presión de los sedimentos adyacentes la sal plástica de la capa madre de sal forzar $\acute{a}$  a fluir hacia adentro bajo la base del n $\acute{u}$ cleo de sal y por ah $\acute{ı}$  tiende a construir la raz del domo en direcci $\acute{o}$ n hacia abajo y en el espacio de la tierra y con referencia a la superficie. Tal movimiento de la sal no debe ser completamente horizontal hacia adentro de la capa madre de sal. Los flancos activos conjuntamente deben ser presionados hacia abajo y la sal de los flancos debe fluir pl $\acute{a}$ sticamente hacia arriba y suavemente hacia adentro. La l $\acute{i}$ nea vertical en la sal en la etapa de las l $\acute{i}$ neas continuas. La l $\acute{i}$ nea curva punteada muestra la posici $\acute{o}$ n a la cual la l $\acute{i}$ nea debe ser movida cuando es la etapa de la l $\acute{i}$ nea discontinua.

Esta construcci $\acute{o}$ n hacia abajo toma lugar continuamente -- con la subsidencia del basamento. La relaci $\acute{o}$ n del flujo de la sal dentro de las raíces del domo casi se acerca a cero, 1) cuando el espesor de la capa madre de sal se aproxima a cero, 2) cuando la sal y los sedimentos se acercan al equilibrio isost $\acute{a}$ tico, y 3) cuando la relaci $\acute{o}$ n de -- subsidencia decrece. La continuaci $\acute{o}$ n del flujo de la sal y de la construcci $\acute{o}$ n hacia abajo no es dependiente, sin embargo, sobre la continuaci $\acute{o}$ n del dep $\acute{o}$ sito de nuevo material sedimentario, el cese de aquel dep $\acute{o}$ sito puede afectar la relaci $\acute{o}$ n de flujo ligeramente.

La mec $\acute{a}$ nica de la formaci $\acute{o}$ n de los domos salinos fu $\acute{e}$  pro-

puesta por Nettleton en su "Teoría de fluido mecánico", y es una de las más respetadas, con respecto a los principios de flujo de sal citada por Barton, sin embargo, Nettleton consideró la intrusión hacia arriba de -- las masas salinas, en que ambos sedimentos adyacentes, se comportaban como un líquido altamente viscoso y fluía a través de períodos largos de tiempo geológico. Nettleton reconoció que el motivo que ocasionaba la fuerza era la densidad en contraste con la sal (gravedad específica 2.2) y los sedimentos (de una gravedad específica variando de 1.7 en la superficie y 2.4 a 2.8 a profundidad). El condujo experimentos de diferentes materiales para simular modelos de domos y concluyó que la forma final del domo depende en gran parte de los factores de fluidez que son:

1. La configuración inicial en la cual se localiza el domo.
2. El espesor de la capa madre de sal.
3. La resistencia o viscosidad de las rocas suprayacentes
4. La resistencia o viscosidad de la sal.

Nettleton consideró el inicio y crecimiento del domo por -- corto movimiento tectónico después del depósito de la capa madre de -- sal.

El levantamiento desde el punto de vista tectónico no altera el espesor de sal. En la etapa 2 el flujo ha empezado y los sedimentos continúan acumulándose sobre la intrusión de sal que se levanta.

En la etapa 3 del stock de sal ha presionado a través de la sobrecarga y acarrea algunas de las rocas, las cuales inmediatamente sobreyacen la parte superior de la sal.

La corriente se provee de sal, la cual fluye a través del domo que se corta por la caída del hundimiento periférico. El flujo es ahora fuera del domo y el crecimiento posterior es a expensas del material dentro del hundimiento periférico y el núcleo de sal. En la etapa 4 el material origina sobre el domo casi ha sido removido por la erosión. En la etapa 5 las rocas acarreadas por el domo han sido completamente erosionadas y el agua subterránea circulante que actúa en la sal ha producido el material del casquete o caprock. En la etapa 6, la etapa final del crecimiento del domo, representa el colapso de las capas inclinadas pronunciadamente, dentro del hundimiento periférico en la forma del bloque de falla.

Nettleton creyó que el esfuerzo de las rocas suprayacentes inhibirán el desarrollo del hundimiento periférico de manera que el flujo de sal sería cortado, con el encuentro de las rocas encima y abajo de la sal.

Halbouty y Hardin (1956), apoyaron las ideas generales expresadas en la teoría de mecánica de fluido de Nettleton. Pero dió más énfasis sobre el peso estático de los sedimentos suprayacentes, como fuerza motivo de la intrusión. Reconocieron que un impulso tectóni

co no era pre-requisito para la iniciación del crecimiento del domo salino y que cualquier irregularidad en los sedimentos suprayacentes, o en la sal, o los sedimentos bajo la sal, pueden influenciar la capa de sal - disparando la capa de sal plástica en un movimiento inicial hacia arriba. Ellos establecieron que el movimiento inicial hacia arriba de la sal madre, no empezó hasta que se depositaron sedimentos suficientes sobre la capa de sal, para ocasionar una diferencia apreciable en el peso sobre la capa de sal. El espesor y peso de los sedimentos sobre la capa madre, constituye el factor más importante en el movimiento hacia arriba de la sal, entonces el empuje que causa este movimiento hacia arriba, es un resultado de diferencia en las gravedades específicas de la sal y de los sedimentos.

Una vez que el movimiento inicial hacia arriba de la sal comienza, el "stock" de sal continúa moviéndose en etapas a través del tiempo geológico, dependiendo del espesor y peso resultante de los sedimentos encima al rededor de la intrusión salina. El movimiento hacia arriba del núcleo de sal gradualmente llegaría a ser más lento, pero no necesariamente, conforme se acerca a la superficie. Generalmente, cuando tal equilibrio se alcanza entre los sedimentos y la sal, una etapa de semiquietudes si no quietud completa prevalece. La erosión entonces predomina sobre el área de la superficie del domo, mientras que el depósito predomina sobre los flancos de la intrusión. Conforme más sedimentos son depositados sobre los flancos del área del núcleo de sal,

el peso estático de los sedimentos y la densidad de las capas están siendo sepultadas se incrementan. Así la presión diferencial es incrementada entre los sedimentos y la sal reviviendo las fuerzas ascensionales y ocasionando el movimiento hacia arriba de el "stock" de sal, empezándose otra vez el proceso.

Ciclo tras ciclo ocurren después de este proceso hasta que los domos salinos gradualmente perforan su camino a través de los sedimentos en sus posiciones actuales. Es aparente que hubo amplia variación en la relación del movimiento hacia arriba de varios "stocks" salinos. Algunos se movieron hacia arriba algo despacio, debido a la capa de sal madre en el área circundante del origen del domo, o debido a que encontró una o más formaciones resistentes, las cuales retardaron un levantamiento continuo del domo. La gran variación en la relación del levantamiento de sal resultó en el intrincado complejo estructural y sedimentológico que caracterizan los flancos de los domos salinos diapíricos. Cada levantamiento salino, aparentemente tiene su propia relación de penetración y los períodos tranquilos de un domo salino no corresponden con aquéllos de domos vecinos. Cada período de quietud generalmente resulta de la erosión de los sedimentos de los flancos y la formación de una discordancia local alrededor del levantamiento salino, ésta condición complica la interpretación de las condiciones estructurales alrededor de un domo salino, porque cada discordancia local debe ser completamente entendida en las secciones cortadas en pozos perforados pudiendo ser -

atribuida a fallamiento.

El levantamiento de algunos de los domos salinos no permitió el depósito rápido de sedimentos y el tapón salino eventualmente llega a ser enterrado por miles de metros de sedimentos. Estos domos son referidos como de "asentamiento profundo". Otros "stocks" salinos parecen haberse desarrollado bajo condiciones que resultaron de la intrusión salina que continua cerca de la superficie a través de su historia de crecimiento, permitiendo así que la sal perfora los sedimentos un poco después del depósito, estos domos salinos son comunmente referidos como domos de "tipo diapírico". Entre estos domos son referidos también como domos de tipo intermedios.

Obrien (1957) realizó un trabajo en el sur de Persia (Irán) en el cual sugiere una combinación de ambas fuerzas tectónicas e isostáticas para iniciar el flujo salino.

Visualizó la evolución de la estructura salina. El desarrollo de los diapíros fué atribuido a fuerzas de compresión de la sal dentro de los salientes salinos, como un resultado del incremento de la presión por el levantamiento del anticlinal. Conforme el plegamiento llegó a ser más intenso, fuerzas compresionales más grandes fueron ejercidas causando eventualmente que la sal se presente en láminas de flujo, cabalgando y casi sumergiendo el sinclinal.

Los diferentes experimentos sobre los modelos de domos-

se basan primeramente en la idea de que la fuerza motivadora del flujo de sal era tectónica.

Nettleton (1934) construyó los primeros modelos para producir domos artificiales por fuerzas puramente gravitacionales y sin presiones externas.

Alguna clase de levantamiento inicial fue inducido por -- agentes externos, pero después el crecimiento y la forma tomada por el domo resulta de el desequilibrio isostático debido a la diferencia en densidad entre los materiales.

Parker y McDowel (1915) y (1955), iniciaron el crecimiento de modelos de domos por diferentes métodos, que incluyen:

1. Irregularidades sobre la superficie de la sobrecarga, ya sea depresiones o proyecciones del nivel general de la superficie.
2. Las variaciones en el espesor de la sobrecarga.
3. Las variaciones naturales en la densidad de la sobrecarga.
4. Los esfuerzos externos que producen fallas o pliegues en la sobrecarga, que produjo variación de presiones diferenciales sobre la superficie equivalente de la sal.

Balk (1949) realizó estudios en los cuales se reflejó que la deformación salina puede resultar del esfuerzo cortante  $30 \text{ kg/cm}^2$  ( $427 \text{ lb/plg}^2$ ). Parker y McDowel determinaron que el esfuerzo cortante anterior, resultaría de una diferencia en esfuerzo compresivo de

853 lb/plg<sup>2</sup> y que si aquellas fuerzas actúan sobre un período largo de tiempo, y aún las fuerzas pequeñas pueden iniciar el flujo. Por lo que ellos reconocieron que el enterramiento muy profundo no es pre-requisito para el flujo salino y que las presiones diferenciales suficientes pueden ser establecidas, sin un área subyacente a la sal está cubierta por aproximadamente 300 m. más de sedimento que un área adyacente.

De acuerdo con Trusheim (1960), las cuencas salinas muestran que una sobrecarga de cerca de 1000 metros y un espesor al menos de 300 m. de sal fueron necesarias para iniciar el proceso de flujo.

El esfuerzo, la temperatura y la presión, influyen en la viscosidad de la roca, o en el caso de la sal, su plasticidad.

Halbouty cree que a una escala regional, un echado muy-pequeño en el basamento o en la superficie presalina es suficiente para iniciar el arrastre o flujo plástico.

Los experimentos conducidos por Parker y McDowel mostraron que después de un domo original, se empiezan a formar otros domos o cadenas de domos en forma concéntrica a dicho domo. Ellos llamaron el rasgo original un domo maestro y a las estructuras subsecuentes, domos secundarios.

Basado en el comportamiento de los modelos de domos, Parker y McDowel postularon que cuando un domo primario o domo --

maestro continuaba creciendo, un hundimiento periférico se desarrollaba en la capa madre de sal y una serie de "grabens" se desarrollarían alrededor de las márgenes del hundimiento. Un hundimiento periférico es aquella depresión en la capa fuente de sal, resultante del adelgazamiento de la capa fuente como flujo salino dentro del domo. El desarrollo de fracturas tipo "grabens" alrededor de las márgenes del hundimiento periférico, el desarrollo del hundimiento y el crecimiento del domo maestro, disturbó el equilibrio entre la sal y los sedimentos suprayacentes e iniciaron el crecimiento de pequeñas colinas o cordilleras en la orilla del hundimiento, lo cual eventualmente crecía dentro de levantamientos dómicos similares al domo maestro, pero generalmente -- más pequeño.

De acuerdo con Parker y McDowell, el mejor criterio para determinar los domos maestros y secundarios, es su distribución o patrón de arreglo. Un domo salino simple muy alejado de otro levantamiento salino sería considerado un domo primario o maestro. Un domo cerca del centro de un arco o círculo formado por otros domos, anticlinales o cordilleras puede ser un domo maestro, y los rasgos que incluyen el arco pueden ser considerados como estructuras salinas secundarias.

Parker y McDowell encontraron en algunos modelos que muchos domos secundarios alcanzaban un tamaño comparable con el do-

mo maestro, ya que el domo puede sufrir reducción en su volumen - por:

1. La derivación del "cap rock" de la porción superior de la masa salina.
2. La erosión subárea o submarina, o acción disolvente de aguas subterráneas sobre el volumen original de sal conforme la masa se acerca a la superficie.
3. El posible flujo hacia afuera de la sal del hundimiento periférico.

Considerando el posible flujo hacia afuera de la sal del hundimiento periférico, Nettleton (1934) demostró matemáticamente que si la sobrecarga sedimentaria es de baja fuerza y si el hundimiento periférico es suficientemente profundo, la presión salina por debajo de la parte inferior del hundimiento debe exceder a la presión de la capa -- fuente, afuera del hundimiento. Bajo estas condiciones la sal fluirá - hacia afuera del fondo del hundimiento así como hacia dentro del domo, de esta manera se reduce el volúmen aparente de sal que un domo - maestro debe tener.

Sannemamm (1965) se refiere a los grupos más grandes - de "stocks" salinos como familia de "stock" salino, el cual consiste de un número de domos salinos agrupados alrededor de un domo genética - mente más viejo o un "stock" de sal madre.

Trusheim postuló que las estructuras salinas empiezan con

una etapa de almohadilla y bajo continuo abastecimiento de sal de la -  
capa fuente, los flancos de la almohadilla crecen, aumentando su pen-  
diente hasta que la sal rompe a través de los sedimentos que la sobre-  
yacen y empieza una etapa de diapirismo.

## HUNDIMIENTO PERIFERICO

Un hundimiento periférico es considerado un atributo de desarrollo de almohadilla salina caracterizado por un adelgazamiento de los sedimentos suprayacentes dentro del borde del sinclinal hacia la estructura salina.

Trusheim expresó que la periferia de la superficie salina subsidie conforme la almohadilla salina se levanta y la depresión resultante se llena de sedimentos.

Con la culminación de la etapa de la almohadilla, un diapiro empuja hacia afuera de dicha almohadilla y como el "stock diapírico" crece, la almohadilla que reemplaza la sal del domo empieza a contraerse, ya que en esta etapa un diapiro se lleva a cabo a partir de la almohadilla. La destrucción gradual de la almohadilla es acompañada por una subsidencia de los sedimentos suprayacentes circundantes que aumentan de espesor hacia el domo y forman un hundimiento periférico secundario.

La descripción de Trusheim de los hundimientos periféricos no va de acuerdo con el pensamiento de los autores americanos, ya que no muestra marcada depresión en la capa fuente o almohadilla debido a un retiro de sal para formar el levantamiento de la estructura salina.

Los geólogos americanos han puesto menor énfasis sobre la máxima sedimentación de las unidades estratigráficas específicas subyacentes a un domo y en esto radica la importancia del trabajo de Trusheim.

Los modelos experimentales de Parker y McDowel (1955) muestran que el tamaño de los hundimientos periféricos de los domos está directamente relacionados al diámetro del domo o al volumen salino dentro del domo.

Con base a este principio Sannemann concluyó que la relación de flujo de sal en la escala de tiempo geológico promedió 0.3 mm. por año. Determinó que la relación media de flujo de 0.3 mm. por año fué constante tanto en el flujo lateral, durante la etapa de almohadilla salina, como en el flujo más vertical durante la etapa del diapiro. El decremento o incremento de una unidad estratigráfica particular o unidades, cuando se aplica una interpretación de relación genética de una estructura salina a otra, o como en el trabajo de Sannemann, a la relación de un diapiro a una almohadilla, es económicamente importante en la búsqueda de acumulaciones de hidrocarburos en domos salinos.

#### CONFIGURACION Y COMPOSICION DE LAS MASAS SALINAS Y ORIGEN DEL CAP - ROCK.

Configuración.- Las masas salinas en domos de la Región del Golfo son de forma circulares y elípticas amplias.

Los estratos tienen un promedio de 2 a 25 cms. de espesor y consisten de bandas de sal blanca y gris a negra, interestratificadas con pequeñas impurezas, principalmente anhídrita y dolomita.

Muchos domos de sal son largos y presentan formas bien de-

sarrolladas y pudiendo ser mejor descritas como conos de sal truncados. Algunos "stocks" son verticales a una profundidad e inclinados en otras. La superficie de la cima de las masas salinas puede ser plana o ligeramente convexa hacia arriba, en algunos casos, muy irregular e inclinada escarpadamente. El desarrollo parecido al hongo es común en el ápice del "stock" salino y puede manifestarse en todo o parte del "stock".

Composición.- La composición de los domos de masas salinas en la Región del Golfo es comúnmente cloruro de sodio (halita ) con pequeñas cantidades de sulfato de calcio (anhídrita).

De acuerdo con Kupfer (1963), el contenido de anhídrita en los domos de la costa del golfo es menos del 3%, prácticamente de todas las impurezas insolubles en la roca salina son anhídrita pero incluye trazas de otros minerales como calcita, dolomita, pirita, barita, cuarzo, - minerales de hierro, calestita y sulfuros.

Sobre la cima de los domos salinos diapíricos más someros está un manto de minerales asociados llamado "cap rock".

El "cap rock" está compuesto principalmente de anhídrita -- granular, pero en muchos casos es sólo un constituyente del material supradomal. Sobre los domos más someros la anhídrita gradúa hacia arriba a yeso y caliza con o sin minerales accesorios (sulfuros, barita). - Las cavidades son comunes dentro del "cap rock".

## ORIGEN DEL CAP ROCK

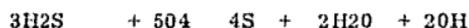
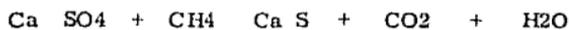
Goldman (1952) considera que la anhidrita que se presenta en la capa supradomal es una acumulación de residuos insolubles precipitados de aguas subterráneas que actúan en la capa de los domos salinos. Los minerales como el yeso, calcita, sulfuros y otros minerales son productos de la alteración de la anhidrita. Sobre el origen de la caliza en el "cap rock" hay una teoría bastante reciente de McLeod (1960), quien cree que las aguas subterráneas en el área supradomal que circula bajo la influencia de la presión osmótica, deposita la caliza en el "cap rock" arriba de la anhidrita. El sostiene teorías que han sido escritas previamente y que postulan una separación más completa del estrato de la caliza de la zona de anhidrita.

Feely y Kulp (1957) en contraste con McLeod, quienes hicieron experimentos y análisis isotópicos sobre los constituyentes mineralógicos del "cap rock" concluyeron que:

1. El sulfuro libre y el ácido sulfhídrico son formados por reducción bacteriana del sulfato que actúa sobre los iones del sulfato de la anhidrita.
2. El carbono de calcita del "cap rock" es derivado de la oxidación de hidrocarburos.

Experimentos realizados en laboratorio han demostrado que la

anhidrita se reduce en presencia de los hidrocarburos, cuya existencia se ha comprobado en los casquetes, formando caliza y azufre según las reacciones siguientes:



Se ha experimentado con hidrocarburos más pesados que el metano con resultados positivos. Cabe indicar que para que estas reacciones se realicen y se logre acumular azufre en las cantidades que se conoce, es necesario disponer de altas temperaturas (600-700°C) lo cual fué posible se presentara en los sedimentos.

Para satisfacer este requerimiento se ha demostrado que las bacterias anaeróbicas queman hidrocarburos como fuente de energía, usando azufre en lugar de oxígeno como captador del hidrógeno. Los productos finales son ácido sulfhídrico y calcita. El ácido sulfhídrico reacciona más lentamente con el ión sulfato produciendo azufre elemental y agua. El azufre disuelto en aguas saturadas con ácido sulfhídrico se transforma en polisulfuro y puede precipitarse posteriormente como azufre cristalino. También se ha observado que el bióxido de carbono redissuelve parte de la calcita produciendo cavernas en el casquete.



La ausencia de azufre en casquetes calcáreos posiblemente se

deba a escape del ácido sulfhídrico, reaccionando en ocasiones con hierro por ejemplo, por lo que es común encontrar pirita y marcasita -- en la caliza.

## VII.- CLASIFICACION DE LAS ESTRUCTURAS SALINAS.

Las cuencas salinas son de dos tipos definidos: Uno constituido por cuencas que tienen sal estratificada, la cual se deforma es por el resultado del halotectonismo ( fuerzas tectónicas compresivas) y el otro tipo corresponde a cuencas que contienen estructuras salinas como resultado del halo-kinesis (movimientos salinos isostáticos autónomos)

Estos términos son propuestos por Trusheim (1960) para la masa salina Zachstein en Alemania Noroccidental. Son tipos definidos de cuencas salinas aplicados en los depósitos salinos del Hemisferio Occidental, particularmente en la Región del Golfo de los Estados Unidos Mexicanos.

En cuencas salinas donde el Halo-Kinesis es evidente se les llama Cuencas de Domos Salinos.

Las estructuras de domos salinos están generalmente limitadas por depocentros (áreas de depósito máximo) donde un espesor más grande que el normal de sedimentos, suprayace la roca salina generatriz.

La sal puede estar presente sobre las partes de los elementos estructurales más grandes de la Región del Golfo, tal como las Penínsulas de Tamaulipas y Coahuila, pero indudablemente es de mucho menos espesor debido al menor depósito salino sobre rasgos estructurales positivos o al posible flujo de áreas de más alto a áreas de más bajo relieve.

Las Cuencas Terciarias del Sureste, se pueden considerar de acuerdo a Trusheim como de tipo Halo-Tectónico, ya que presenta manifestaciones de fuerzas tectónicas.

Los depósitos de evaporita comprende aproximadamente 40 sales diferentes, siendo las más comunes los sulfatos de calcio, incluyendo yeso ( $\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y anhidrita ( $\text{Ca SO}_4$ ). Las mejores acumulaciones conocidas son los depósitos de sal de roca (Halita,  $\text{Na Cl}$ ) la cual se encuentra como sal estratificada de bajo relieve y como estructuras salinas.

Las sales de potasio y de magnesio son comercialmente importantes, pero constituyen solo una pequeña porción de las evaporitas.

Los conceptos paleotectónicos y paleogeográficos aplicados en la Región del Golfo de México, tienen validez en la mayor parte de las grandes cuencas evaporíticas.

Las conclusiones importantes de estos conceptos son las siguientes:

1. La mayor parte de las cuencas salinas del mundo (Región del Golfo de México, Mediterráneo, Alemania NW, África Occidental) no son simples cuencas evaporíticas, llanuras de marea o supramarea ocasionalmente separadas de las aguas marinas abiertas, sino algo más, ellas reflejan la mayoría de los elementos negativos, los cuales están probablemente relacionados con la reactivación de la estructura

tura del basamento.

Las márgenes continentales actuales que incluyen la mayor parte de las cuencas salinas costeras y sus cinturones orogénicos y elementos cratónicos se localizan a lo largo de zonas ancestrales de orogénesis.

2. La premisa anterior explica por que muchas de las cuencas salinas costeras separadas ( Costa del Golfo de E.U., Veracruz, Tabasco y Chiapas, Africa del Norte, Adriático ) no pueden ser consideradas de evaporación intensa sino que deben ser vistas como segmentos - de muchas grandes cuencas marinas.
3. A lo largo de los depósitos salinos del mundo tienden a incrementar en espesor hacia la parte más profunda de la cuenca. La sal plástica que fluye dentro de las áreas bajas hace en parte explicar la - variación local en el espesor de la sal; sin embargo, sobre una base regional los dos factores que parecen tener mayor importancia - sobre el espesor de la sal son: 1) la subsidencia relacionada a orogénesis y 2) el depósito simultáneo. Los depocentros de cuenca de la Región del Golfo, los cuales contienen depósitos salinos más gruesos, están íntimamente relacionados con los más grandes cinturones orogénicos que describen la arquitectura de la cuenca. El depósito simultáneo por otra parte contempla un intervalo estratigráfico de - sal pura, representado por depósitos equivalentes de la mayoría de los constituyentes de una facies evaporítica ( Marga marina, dolo-

mita, anhidrita, yeso o lechos rojos no marinos).

Los domos donde la sal ha sido perforada actualmente se localizan al SW de Veracruz, Oeste y parte Central de Tabasco y Región Norte de Chiapas, dentro de la provincia geológica denominada - - Cuencas Tercisrias del Sureste y en la Plataforma Continental frente a - estas cuencas, así como en la zona de los montículos profundos de Sigsbee adyacentes a la Plataforma de Yucatán.

A propósito de los montículos de Sigsbee, John W. Antoine y William R. Bryant, hacen notar que los estudios geofísicos más recientes reflejan que la sal no está presente en toda la región del Golfo de México y que dicho montículo constituyen el límite norte de la migración de la sal, proveniente del Sureste de México.

Si se acepta que el Golfo de México es una cuenca muy antigua, se pueden inferir los conceptos siguientes:

- a) La sal fué depositada en las áreas marginales del paleogolfo.
- b) Sobre la sal se acumuló un gran espesor de sedimentos y debido a esto hubo movimientos de subsidencia.
- c) Se formaron altos salinos y parte de la sal migró echado abajo en la zona profunda de la cuenca como resultado de las grandes presiones del peso de los sedimentos terrígenos suprayacentes.
- d) En zonas en que suprayacen a la sal rocas carbonatadas, la compe-

tencia de estas posiblemente evita la formación de diápiros salinos y - en cambio se efectúa una migración horizontal de la sal hacia la zona profunda de la cuenca.

## VIII. - SIGNIFICADO ECONOMICO DE LAS ESTRUCTURAS SALINAS.

El significado económico de las estructuras salinas como características geológicas para controlar la acumulación de grandes cantidades de hidrocarburos, puede describirse en términos de acumulación y distribución, accesibilidad, productividad, y otros factores económicos fundamentales.

Especialmente, los domos salinos son económicamente importantes para hidrocarburos y otros minerales que se producen directamente desde el "cap rock" o masa salina o de las demás rocas sedimentarios adyacentes afectadas por la intrusión salina.

Ultimamente, se han utilizado cavernas artificiales en la sal como almacenaje para materiales volátiles y radioactivos.

Los domos salinos y las estructuras salinas son quizás las más fáciles de reconocer y localizar por geología de subsuelo, incluyendo la geofísica, en especial, la sismología, pero indudablemente están entre las complicadas en lo que respecta a sus características estructurales.

Acumulación y producción de azufre.

El azufre y los compuestos de azufre, son productos de gran importancia en los países industrializados. La mayor parte de la producción de azufre está asociada con domos salinos y estructurales controladas por la sal. El proceso de la fabricación del ácido sulfúrico y fertilizantes es de los más grandes, como lo es su uso.

Sin embargo el azufre también es importante en la fabricación de comestibles e innumerables artículos de uso personal e industrial.

El azufre se obtiene por tres procesos principales:

1. Minería
2. Por productos asociados con petróleo y gas natural
3. Por la reducción de minerales de sulfuros.

El minado de azufre en el "cap rock" de los domos salinos se lleva a cabo por el método Frasch.

Este método fue desarrollado por el químico alemán, - - Ireman Frasch, este proceso utiliza vapor o agua caliente para derretir el azufre del cap-rock, en este método se utiliza la perforación de pozos por los métodos convencionales, en el caso particular del domo de Jaltipán los pozos son someros ya que la mayoría están comprendidos entre los 120 a 300 metros de profundidad.

El azufre producido por el método frasch es muy puro.

La vida productiva de un pozo fluctúa entre unas semanas y unos meses.

El vacío producido por la extracción del azufre puede originar hundimientos, aunque en esta zona no han ocurrido, ya sea por lo nuevo de dicha zona o por el poco espesor que alcanza el azufre.

El azufre como derivado se obtiene de gas sulfhídrico asocia-

do con ácido sulfúrico y vapor. Esta fuente se considera como azufre recuperado y comprende el 2.5% de la producción.

La sal común es una materia prima usada industrial y domésticamente, la cual se puede obtener de:

1. Depósitos de sal estratificada.
2. Evaporación del agua de mar.
3. Lagos salinos
4. Salmueras
5. Dómos salinos.

La sal se obtiene de los domos por:

1. Minado subterráneo convencional
2. Minado por disolución

Las 2 técnicas para el minado de la sal son:

- 1.- Extracción del techo (tumba sobre carga).
- 2.- Extracción del piso (por niveles).

El minado por disolución se efectúa cuando la sal se disuelve por medio de la circulación controlada de agua dulce y evaporación subsecuente de agua saturada salobre que es bombeada a la superficie.

EL minado por disolución es muy parecido al método frash del azufre. Almacenaje subterráneo en cavidades de disolución salina.

El uso de cavidades creadas por la disolución de la sal para el almacenaje subterráneo de productos de hidrocarburos y materiales de -

desecho radioactivos, se ha vuelto una función cada vez más importante.

El almacenaje en cavidades de disolución se usó por primera vez en Canadá en la Segunda Guerra Mundial y durante los últimos 20 -- años lo han usado en los Estados Unidos.

Por lo antes expresado se puede concluir que la gran importancia que tienen los domos salinos no sólo se limita a la obtención de los hidrocarburos y azufre, sino que también se puede obtener de ellos la sal y almacenaje subterráneo para materiales volátiles. Es por eso que se hace necesario tener un mayor conocimiento de los domos salinos, para tener todavía más productos benéficos que ayuden al desarrollo de la economía política del país y al desarrollo de la geología.

## IX. ACUMULACION DE HIDROCARBUROS

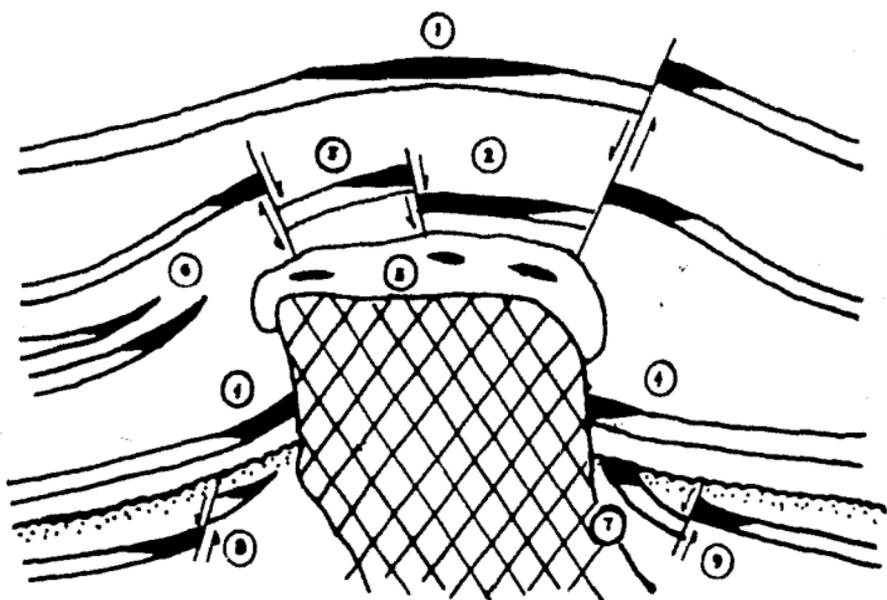
Los domos salinos establecen receptáculos de trampas de intrusión, gran parte de ellas constituyen magníficos yacimientos de hidrocarburos que a su vez se presentan en rocas interrumpidas por la intrusión de la sal impermeable, en la culminación del domo llamado casquete o "cap rock" en rocas carbonatadas y en sedimentos suprayacentes al "cap rock" que están fuertemente perturbados.

La Fig. No. 2 es una sección a través de un campo petrolero que indica algunos de los tipos comunes de yacimientos determinados en trampas asociadas precisamente con una intrusión salina. Dicha sección establece numerosas trampas estructurales estratigráficas y combinadas.

Trampas Estructurales.- Corresponden a este tipo de trampas la No. 1 de la figura que presenta un simple anticlinal cóncavo. La No. 2 establece una trampa en "grabens" sobre el domo.

En No. 3 inclusive el 2 y 0 representan receptáculos por fallamientos que generalmente son de tipo radial, afecta las unidades estratigráficas debido al empuje vertical del núcleo salino y propicia la acumulación en bloques estructurales.

Los números 4 indican trampas de intrusión donde las capas porosas son interrumpidas por intrusión tectónica.



SECCION, IDEALIZADA MOSTRANDO LOS  
DIFERENTES TIPOS DE TRAMPAS.

FIG: 2

Trampas Estratigráficas.- Dentro de esta clasificación el No. 5 corresponde a receptáculos en el "cap rock" en formaciones secundarias y alteradas constituidas por anhidrita, yeso, caliza y azufre con intercalaciones de lutitas. Se trata de receptáculos de permeabilidad lenticular rodeada por formación impermeable.

El No. 6 representa trampas de acuíferos estratigráfico de una capa porosa.

El No. 7 es una trampa asociada con superficie de discordancia, en este caso la roca almacenadora se presenta inmediatamente debajo del plano de discordancia.

Trampas combinadas.- Corresponde a este tipo de trampas el No. 8 - puesto que después del acuífero o elemento estratigráfico y después de la intrusión se presenta el afallamiento.

## X. EL DOMO DE JALTIPAN Y SU SIGNIFICADO ECONOMICO.

El azufre es probablemente el mineral químico más importante y un elemento esencial para la industria de fertilizantes, además - también es de gran importancia para la industria química pesada para - obtener principalmente el ácido sulfúrico. En la Provincia Geológica de las Cuencas Terciarias del Sureste de México, el azufre se presenta en el casquete rocoso ó "cap rock" de los domos o núcleos de sal, el cuál está asociado a caliza, yeso o anhidrita, materia carbónica y agua sulfúrica.

Los domos son en realidad apófisis que sobresalen de la - gran masa salina en forma de protuberancia, la que se presenta como -- grandes plataformas de sal en el subsuelo.

Estos domos aparecen muy someros en la parte occidental - y suroccidental de la Provincia, haciéndose más profundos hacia el noroeste.

La masa salina de la que se deriva las apófisis que constituyen los domos, parece haber sufrido una inclinación hacia el N y hacia - el E y haber surgido hacia el SW a tal grado que el domo de Texistepec y otros, todos en la parte SW de la provincia; el casquete rocoso o - - "cap rock" aflora y muestra la existencia de la oxidación de azufre, fenómeno de gran importancia para la prospección del mismo. El domo de -- Jaltipán es una intrusión salina que presenta una forma elíptica con su eje

mayor de orientación SW-NE. Parece ser una parte de una gran intrusión que hacia su porción Oeste y Sur-oeste se conecta con el domo de - Texistepec. Se puede considerar como un pequeño anticlinal de aproximadamente 8 Km. de eje o traza axial.

#### LOCALIZACION DEL AREA.

El domo de Jaltipán se encuentra localizado dentro de la Provincia Geológica de las Cuencas Terciarias del Sureste, que a su vez está limitada al norte por el Golfo de México, al Sur por las estribaciones de la Sierra Madre del Sur y zona metamórfica del Istmo, al Este por la -- Plataforma de Yucatán y al Oeste por los aparatos volcánicos y derrames basálticos que forman el macizo de San Andrés.

Políticamente está situado en el Estado de Veracruz, municipios de Jaltipán y Chinameca. Orográficamente corresponde a la parte alta de la llanura costera con algunos lomeríos de escasa altura y , geográficamente se encuentra aproximadamente a los 17°55' latitud Norte y 94°-40' de longitud oeste de Greenwich.

#### COMUNICACIONES

Para llegar al domo de Jaltipán se utilizan la carretera federal Veracruz-Coatzacoalcos y el ferrocarril. Para llegar a las instalaciones de APSA existe un camino accidentado con grava y en parte pavimentado, que comunica al Municipio de Jaltipán y la azufretera, transitable en to-

do tiempo. Para movilizarse dentro de la concesión, es decir, dentro de la zona de producción, existen caminos secundarios que solo funcionan en época de seca, ya que en la de lluvia sólo se puede transitar en tractores.

## FISIOGRAFIA

Orografia.- En el domo de Jaltipán no existen formas positivas importantes, el terreno sólo presenta pequeños lomeríos, entre ellos - las lomas alineadas que se manifiestan en el borde del domo, posiblemente como reflejo del núcleo salino.

## HIDROGRAFIA

Se cree que debido al fallamiento consecuente de la intrusión, las corrientes superficiales representen las trazas o afloramientos de las fallas que dan lugar a arroyos permanentes que cruzan la concesión, siendo el más importante el Arroyo Osoloapan, que más adelante recibe el pequeño caudal de Tapazulapan y aguas abajo cambia su nombre a Chacalapa, el cual se une junto con el San Pedro Soteapan al Arroyo Huazuntlán que - desemboca en el Rfo Calzadas; todas estas corrientes pertenecen a la red - Hidrográfica del Rfo Coatzacoalcos.

## GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Las formas adoptadas por la sal en los domos salinos es variada, probablemente se deban en parte, al molde que le formaron los sedi - mentos suprayacentes en el inicio de su concentración y en parte a la di--

ferencia de densidad de sus sedimentos adyacentes, como puede observarse el hecho de que a veces se formen columnas de sección horizontal más o menos circulares e elípticas, o bien, que se formen grandes levantamientos de masas salinas alargadas, es decir, que la configuración topográfica del terreno modula el crecimiento de la acumulación por efecto de la intrusión.

El domo de Jaltipán es una estructura formada por el diapirismo de la sal que aparentemente se inició antes de la sedimentación de la formación más antigua que la cubre, suponiendo que el depósito de la sal, es de edad Triásica-Jurásica, de acuerdo a la mayor parte de los autores, y los sedimentos suprayacentes al casquete son de edad Mioceno Inferior.

Se debe inferir que, durante el Mesozoico y principio del Cenozoico, la sal se estuvo depositando y en esta época comenzó la subsidencia del fondo marino, que gradualmente las evaporitas fueron cubiertas de sedimentos terrígenos. Durante el Eoceno se tuvo un fuerte espesor de depósito de sedimentos, ya que en áreas adyacentes al domo existen pozos perforados con espesores del orden de los 2,500 m., sin lograr atravesar dicha edad.

Estudios estratigráficos realizados sobre el domo han determinado que el Eoceno está ausente y la formación en contacto con la cima del casquete es de edad Miocénica. La geología superficial reporta espesores más uniformes en las formaciones suprayacentes al casquete, por lo que, se puede decir que el contacto entre el domo y la formación-

suprayacente es anormal, ya sea por erosión o no depósito, posiblemente se deba a una superficie de erosión, ya que si fuese no depósito, la sal habría estado expuesta mucho tiempo a la erosión subacuosa o área y - ambos fenómenos es poco resistente; por otra parte, se puede pensar - que el casquete sí estuvo expuesto a erosión subacuosa, comprobándose - ésto por la irregularidad del mismo en su parte superior y por la presen - cia de brecha de yeso y caliza en matriz arcillosa en los canales de la - parte superior, así como la presencia de arena de calcita que no es sino el resultado del intemperismo de la caliza del casquete.

Se puede deducir que los domos salinos, por su origen y -- formación dan lugar a formación de fallas y fracturas de las unidades se - dimentarias que penetran o suprayacen debido a:

a).- Disminución del volúmen de la sal al disolverse por la acción de - aguas subterráneas y concentrarse los residuos insolubles.

Este fenómeno produce un colapso local de la cubierta sedimentaria del domo.

b) El diapirismo de la sal que, aunque aprovecha zonas de debilidad - de las rocas suprayacentes, no deja de obrar como intrusivo produ - ciendo una fuerza de empuje, que a su vez genera una gran tensión sobre las capas sedimentarias, logrando a veces fracturarlas.

La presencia de estas fallas en el domo de Jaltipán ha sido - detectada por geología superficial, sin embargo, la geología de subsuelo - sólo muestra evidencias de las mismas, por la presencia de milonita o -

relieves planchados, y los trabajos que posteriormente se han hecho de exploración y desarrollo no le han dado importancia este aspecto geológico.

También se sabe que salvo casos notables, las fallas dentro del casquete son difíciles de determinar porque siendo el casquete y sus minerales de origen físico-químico, no obedecen a las leyes de la estratigrafía y su correlación como unidad litológica es muy compleja y arbitraria.

Geomorfológicamente se pueden reconocer las fallas mediante las formas topográficas predominantes, con alineaciones anormales de lomeros, zanjas que cortan terrenos de diferentes materiales, desniveles topográficos uniformes, por corrientes de agua que aprovechan las fracturas, sirviendo este último concepto para demostrar lo dicho en el caso particular de Jáltipan, ya que el arroyo Chacalapa que cruza casi la porción central del domo, así como su relación inequívoca con las fugas que se manifiestan en la parte más somera del mismo infiere, que las fallas existan por efecto del levantamiento del domo.

#### ESTRATIGRAFIA.

En este trabajo se da una descripción estratigráfica de las formaciones de la Provincia Geológica de las Cuencas Terciarias del Sureste, asociadas con el domo de Jáltipán. Las formaciones definidas y relacionadas al domo son las siguientes:

TABLA ESTRATIGRAFICA DE LA CUENCA SALINA DEL ISTMO  
SEGUN BENAVIDES, CABRERA Y DOMINGUEZ

PERIODO	ETAPA	FORMACION	RELACION CON DOMOS SALINOS		
PLEISTOCENO		ALUVION, ARENAS DE PLAYA Y DEPOSITOS DE RIO			
PLIOCENO		SERIE ACALAPA.- CONGLOMERADO, ARENISCAS, ARENAS Y ARCILLAS			
MIOCENO		CEDRAL.- ARCILLAS, ARENAS Y GRAVAS	FORMACIONES POSTERIORES O SIMULTANEAS A LA FORMACION DE DOMOS SALINOS		
		AGUEGUEXQUITE		SUR SEDIMENTOS SALOBRES MED. ARENAS MARINAS INF. LUTITAS MARINAS	
		PARAJE SOLO.- ARENAS, LUTITAS Y GRAVA			
		FILISOLA.- ARENAS MARINAS			
	DURDIGALIANO SUPERIOR	CONCEPCION SUPERIOR		LUTITAS MARINAS ARENAS Y ARENISCAS	
	DURDIGALIANO INFERIOR			CONCEPCION INFERIOR	LUTITAS Y ARENAS
				ENCANTO.-	LUTITAS Y ARENAS
				DEPOSITO.-	LUTITAS, ARENISCAS Y TOBAS
				CONGLOMERADO NANCHITAL (LOCAL)	
	OLIGOCENO	AQUITANIANO		LA LAJA	
HIATUS		LUTITAS Y MARGAS CON			
RUPELIANO		ARENAS Y TOBAS			
TONGRIANO					
EOCENO	PRIABONIANO LUTICIANO Y PRESIANO	LUTITAS NANCHITAL CONGLOMERADO UZPANAPA	FORMACIONES ANTERIORES A LA FORMACION DE DOMOS SALINOS		
	CRETACICO			MENZEZ.- MARGAS	
		CALIZA SIERRA MADRE CALIZAS (AUSENTE EN LA PARTE CENTRAL DE LA CUENCA), AFLORA EN EL FRENTE DE LA SIERRA) DISCORDANCIA LOCAL.			
PORTLANOIANO KIMMERIGDIANO		CALIZA CHINAMECA.- CALIZA BITUMINOSA EN CAPAS DELGADAS			
JURASICO	OXFORDIANO DIVESIANO	FORMACION SALINA.- CONGLOMERADOS, ARENISCAS Y ARENAS			
TRIASICO					

MIOCENO INFERIOR	Depósito
	Encanto
	Concepción Inferior

MIOCENO MEDIO	Concepción Superior
	Agueguexquite.

Las descripciones y edades de estas unidades fueron hechas por los Ingenieros René Cabrera C., Gabriel Domínguez P., y otros.

#### EOCENO

Los sedimentos del Eoceno no se encuentran expuestos superficialmente, pero datos obtenidos en pozos cercanos al domo los dividen en dos edades.

#### Eoceno Medio y Superior

La litología de estas unidades las definen como cuerpos continuos de lutita gris claro con arena gris claro de grano fino, a veces bien cementadas por material calcáreo.

#### PALEOECOLOGIA

Los sedimentos presentan un conjunto de fósiles pelágicos que corresponden a un medio batial superior o abisal.

## OLIGOCENO

Aunque no se ha podido limitar con precisión el contacto de la formación de La Laja, con los sedimentos suprayacentes, en primera por su relativa pobreza de fauna y en segunda, por la transición petro-lógica de ambos sedimentos (La Laja-Depósito).

Por lo que muchos autores han incluido a esa formación dentro de las diferentes partes de lo considerado Oligoceno.

De acuerdo a los datos de Petróleos Mexicanos se ha dividido la formación La Laja en dos pisos, Tongriano y Rupeliano, el Chattino está ausente.

## Tongriano (Oligoceno Inferior )

Petrología. - Consta de lutitas gris obscuro a gris verdoso, alternando con areniscas de grano fino en algunas partes se aprecian lentes de cenizas volcánicas.

## Rupeliano ( Oligoceno Medio )

Petrología. - Lutitas de color gris o café con alternancias de arenisca gris de grano fino, bien cementada.

Paleoecología. - Ambos pisos corresponden a un medio uniforme de depósito batial inferior, con ligeras oscilaciones del fondo marino marcadas por la alternancia de clásticos finos y gruesos.

### Chattiano (Oligoceno Superior)

Este piso se encuentra omitido por efecto de una superficie de no depósito (hiatus)

### MIOCENO

Los sedimentos del Mioceno atestiguan una serie de cambios en las condiciones de depósito.

Los procesos sedimentarios están representados por diferentes cambios ambientales, los que indican emergencias y subsidencias del fondo marino, la presencia de foraminíferos bentónicos, permitió dividir los en dos pisos: Aquitaniano y Burdigaliano del Mioceno Inferior.

Aquitano.- Dentro de este piso quedan incluidos los sedimentos de la parte superior de la Formación La Laja.

Petrología.- Consta de lutitas arenosas de color gris verdoso, alternando con capas de arenas y areniscas de color gris con trazas de bentonita, pirita y material carbonoso.

Paleoecología.- El medio de depósito de los sedimentos es batial inferior.

Burdigaliano.- Corresponde a los sedimentos de las Formaciones La Laja (cima), Depósito, Encanto, Concepción Inferior y Concepción Superior, representada cada una de ellas por su cenozoona bentónica co --

rrespondiente. Faunfísticamente se puede dividir este piso en Superior e - Inferior.

Burdigaliano Inferior.- Corresponde a las Formaciones La Laja (cima), Depósito, Encanto y Concepción Inferior; la Formación Depósito descansa concordantemente sobre la Formación La Laja.

Petrología.- La Formación Depósito consta de lutitas gris claro con intercalaciones de arena y arenisca de grano fino a medio, con lentes y capas de ceniza volcánica y hacia la base una intercalación de conglomerado, formado por fragmentos de roca ígnea, lutita, areniscas, esporádicamente se presentan gravas de 3 a 5 mm. de diámetro de caliza color café - o gris claro.

Paleoecología.- El conjunto faunfístico de la Formación Depósito indica que al iniciarse su sedimentación, prevalecían condiciones nerfíticas, cambiando a abisales, esta variación muestra los clásicos movimientos oscilatorios de los fondos marinos asociados durante el Terciario.

La Formación Encanto descansa discordantemente sobre la Formación Depósito.

Petrología.- Está representada por lutitas arenosas de color - gris azul, con escasos lentes de arenas y areniscas; su espesor es muy -- irregular y en ocasiones no está presente.

Paleoecología.- Presenta también ciertas variaciones, ya que al Norte y Este de la Provincia es menos profunda que en el área cercana a Jáltipan, siendo para este lugar el medio francamente batial inferior.

La Formación Concepción Inferior presenta espesores muy irregulares, en ocasiones suprayace directamente a la Formación Depósito.

Petrología.- Consta de lutitas arenosas gris azul, con intercalaciones de arena y areniscas grises de grano fino.

Paleoecología.- Los sedimentos de esta cenozona corresponden a un medio batial inferior.

Burdigaliano Superior.- Comprende la Formación Concepción Superior que descansa concordantemente sobre la Formación Concepción Inferior.

Petrología.- Consta de lutitas arenosas de color gris obscuro con algunas gravas.

Paleoecología.- El conjunto faunístico de los sedimentos indica un medio de depósito batial superior.

Mioceno a Reciente.

Está representando por la Formación Agueguexquite. Es-

ta formación se presenta en el área de un modo especial, ya que todos los afloramientos conocidos están en la parte Norte de la Provincia.

**Petrología.** - En su parte inferior se presentan cuerpos de arena de color gris claro que alternen con arcillas de color verde gris a gris verdoso; en la parte superior, grava de color blanco, de diámetro variable, proveniente probablemente del macizo granítico de Oaxaca; están incluidas a la vez arenas de grano fino, fragmentos pequeños de moscovita y algo de pedernal, hay también material orgánico.

**Paleoecología.** - El conjunto faunístico indica para la parte inferior de la cenozona, un medio nerfítico externo y para la parte superior, un medio litoral, se puede apreciar que esta serie es francamente regresiva.

Las formaciones comprendidas del Mioceno al Reciente no se describieron por falta de fauna característica, sin embargo, se establece su posición estratigráfica en la tabla estratigráfica anexa a este trabajo.

## PETROLOGIA DEL CASQUETE .

Como es sabido el casquete de los domos salinos es debido a la acumulación de las impurezas de la sal y su manifestación es muy variada, en el caso del Domo de Jáltipan muestra una forma de manto sobre la superficie de la sal siguiendo la configuración de la misma y cortándose en ocasiones abruptamente hacia los flancos, excepto en la parte Oeste, ya que es la porción que conecta al domo con la masa salina mayor, donde la pendiente es muy suave. El espesor del casquete es muy variable como se puede apreciar en el plano de isopacas, también la relación del yeso con el casquete calcáreo como se puede apreciar en las secciones es muy variable. Esto es interesante ya que la producción de azufre se realiza en la caliza y en contables ocasiones en el yeso, por lo que es importante cuantificar bien el espesor de la caliza y su contenido de azufre.

La litología del casquete rocoso o "cap rock" y parte del núcleo salino se hace de manera generalizada, ya que a pesar del espaciamiento de los pozos, del orden de los 50 m, se observan grandes diferencias litológicas.

La secuencia litológica normal es:

Sal

Anhidrita y /o Yeso

Caliza y/o Caliza con azufre

## Lutita

Sal:

Roca de colores negro o gris, de brillo vítreo, en partes claro, con trazas de carnalita y delgadas bandas de anhidrita granular, poco consolidada, en partes presenta concentraciones de sodio de color azul.

Anhidrita y/o Yeso:

Esta unidad está constituida por una alternancia de yeso y anhidrita, predominando el yeso. La anhidrita se presenta compacta, gris claro a oscuro, a veces se puede encontrar con una coloración rojiza sobre todo en el contacto con la sal. El yeso es blanco a gris marmolado, en el contacto de la caliza con azufre y a consecuencia del intenso calor confinado debido al proceso de la producción, el yeso se presenta calcinado con espesor promedio de 7 metros. También es notable la alteración sufrida por la anhidrita en zonas donde se encuentra concentraciones de hidrocarburos, dándole una apariencia de arenisca y un color un poco más oscuro.

Caliza y/o caliza con azufre:

En esta zona es común pasar directamente de la lutita gris verdosa a la caliza con azufre, aunque existen áreas donde el casquete empieza con caliza estéril, la cual gradúa a caliza con azufre.

Esta unidad estratigráfica se puede separar en cuatro --

cuerpos litológicos, los cuales son:

a).- Caliza estéril.- Caliza gris claro a oscuro y negro, fracturada, en parte con fracturas rellenas de calcita, a veces se presenta arcillosa, alternando con lutita calcárea muy compacta de color negro.

En algunas partes del domo esta caliza ha estado expuesta a intemperismo o alteración subacuosa, dando lugar a una roca que se denomina arena de calcita, la cual consta de fragmentos de caliza o calcita parcialmente arredondados, finos a medianos, en una matriz arcillo-calcárea de color café obscuro y graduando de arena fina a arena con fragmentos de caliza gris a caliza gris con fracturas rellenas de arena de calcita.

En ocasiones se presentan cristales de azufre nativo en la mayor parte del yacimiento; cuando se presenta la arena de calcita, va fuertemente manchada de aceite. Este cuerpo presenta una alta porosidad.

b).- Caliza Fracturada.- Gris claro a café calcítica, en partes brechosa, porosidad promedio de 8 a 12% con fracturas rellenas de azufre y/o calcita. El azufre, como se indicó, generalmente se presenta en las fracturas o diseminado en la caliza.

c).- Brecha intraformacional. - Por costumbre se le ha llamado brecha de solución, consta de clásticos de caliza gris a negro en una matriz de calcita o azufre, con una porosidad promedio de 12 a 15%.

d).- Caliza bandeada.- Originada por la concentración diferencial de materiales homogéneos. Es una roca que presenta una alteración más o menos ordenada de capas muy delgadas (aproximadamente 1 cm) de caliza negra, calcita y azufre con algunas vesículas -- alargadas en sentido horizontal rellenas con cristales de calcita, porosidad promedio de 10 a 15%.

Las cuatro unidades de caliza con azufre pueden presentarse de un modo variable, alternantes, combinadas o una sola y son muy comunes en todo el yacimiento, diferenciándose en las distintas áreas por caracteres secundarios de espesor, componentes mineralógicos y estructura de la roca.

El porcentaje de azufre en la caliza es muy variable, ya que se puede encontrar caliza con 5 hasta 90% de azufre en espacios pequeños tanto horizontales como verticales.

Es importante hacer mención de la caliza que ha sufrido la invasión de agua caliente y que por tal motivo presenta ciertas características especiales, se trata de una caliza café obscuro a negro, muy porosa (porosidad secundaria), con vesículas y fracturas en cuyo interior existen pequeñas esferas de azufre residual de color café obscuro a amarillo, la calcita que previamente rellenaba las fracturas o que servía de matriz. Se halla alterada y se desmorona fácilmente debido al calor al que estuvo sometida. La coloración tan oscura de esta ro-

ca quizás se deba a los hidrocarburos preexistentes, como el calor.

Hacia la parte Sureste del domo se puede encontrar en la columna lo que se le ha llamado falso casquete, que no es sino otro cuerpo del casquete representado por caliza negra arcillosa, lutita negra calcárea, brecha de caliza negra arcillosa, en matriz de lutita negra calcárea y brecha de yeso blanco marmolado con matriz de lutita negra calcárea. Este falso casquete es muy variable tanto en espesor como en su composición mineralógica, ya que en un pozo se puede presentar un solo tipo de roca como todas las variedades a la vez. También es común encontrar en alternancia la caliza y el yeso.

## PRODUCCION DE AZUFRE

La producción en el Domo de Jáltipan se realiza por medio de una programación detallada, para tal objeto se tiene un programa de perforación de pozos de producción, desfogue, y exploración, - los pozos de producción son los que se encargan de explotar el azufre, los cuales se localizan en las partes estructuralmente más altas del do mo, es decir, para la explotación del azufre se tienen dos niveles, - uno superior que es el de producción y otro inferior, de desfogue.

Los pozos de producción se encuentran a un mismo nivel, tomando como base la cima del yeso o anhídrita y considerando - el espesor de la caliza con azufre que tenga dicho pozo, pues de - - acuerdo al contenido de azufre neto, es la estimación del tiempo de pro ducción de dicho pozo, es decir, que al ser muy pequeño el espesor de azufre, el pozo no es económicamente explotable. Una vez tomado el nivel de producción, el nivel de los pozos de desfogue se localiza a - una distancia que varía entre los 100 y 200 metros echado abajo de -- los pozos de producción.

El desfogue del yacimiento es de mucha importancia, ya que por medio del cual se contrilla la presión de mina, es decir, el - nivel de agua en el yacimiento. Los pozos de desfogue deben programarse bien en cuanto al espaciamiento y localización, a fin de evitar que contrarreste la producción y se altere el nivel del agua del yaci-

miento. Lo ideal de los pozos de desfogue es que se encuentren a una distancia considerable de la zona de producción y que la temperatura - del agua sea de 60° a 70° C.

Las características principales de los pozos de desfogue son las siguientes: Un pozo cercano a la zona de producción tendrá - una temperatura elevada de 80° a 90° C., los cloruros estarán alrededor de 1,000 a 10,000 PPM y el gasto será variable dependiendo de la permeabilidad de las rocas adyacentes. Un pozo alejado de la zona de - producción tendrá una temperatura de 30° a 40°, los cloruros estarán al- rededor de 100,000 a 150,000 PPM y el gasto será variable de acuerdo a la zona de producción, éstos van perdiendo sales y la temperatura va aumentando, además, el gasto es variable ya que en muchos pozos puede aumentar o disminuir dicho gasto.

Los pozos de exploración son pozos de sondeo, es decir, que se perforan para obtener nuevos datos de zonas circunvecinas, los cuales son generalmente echado abajo de los pozos de desfogue.

Para la programación del espaciamiento de los pozos de producción generalmente se tiene un promedio de 50 metros, depen- diendo del espesor de la caliza, menor es el espaciamiento y vicever- sa. En el caso de los pozos de desfogue, se trata de que se equilibre la inyección de agua con el agua desfogada.

## EQUIPO DE LOS POZOS

El equipo de los pozos es variable, dependiendo de su objetivo. Los pozos de producción generalmente se equipan con tubería de revestimiento de 8 5/8" que se conoce con el nombre de "casing", es la tubería que cubre el agujero, la cual es cementada para evitar un posible derrumbe del pozo; dentro del "casing" se coloca una tubería de 6 5/8" en cuya parte inferior lleva una pichancha, se trata de un tubo con perforaciones por donde sale el agua caliente y entra el azufre; dentro de la tubería de 6 5/8" se coloca otra de 3" que es la tubería de producción y dentro de ésta va la tubería de 1" por donde se inyecta el aire para bombear el azufre.

Los pozos de desfogue se equipan con tubería de 13 3/8" hasta una profundidad de 150 metros y tubería de 9 5/8" hasta la cima de casquete, tubería que van cementadas.

Existen dos tipos de pozos, los que se equipan para que desfoguen con aire y los que se equipan para que desfoguen con bombas. Los pozos de desfogue con aire tienen tuberías de 6 5/8" dentro del "casing" hasta una profundidad de 200 metros abajo del nivel del agua y tubería de 1", 100 metros abajo del nivel del agua.

Los pozos de desfogue con bomba, no necesitan ninguna tubería sino solamente se le instala la bomba dentro del "casing" --

Los pozos de exploración no se les equipa con tubería, - sino que una vez cumplido su objetivo, se le aplica cemento en la cima del casquete en la superficie, y se le instala un monumento con el número del pozo.

## PERFORACION DE POZOS

Para la perforación de pozos, previamente se estiman las profundidades de las cimas del casquete y del yeso a fin de programar las tuberías antes mencionadas.

Generalmente al perforar un pozo se inicia la perforación con barrena de 17" para instalar un tubo conductor de 11 metros de largo, después se prosigue la perforación del pozo con barrena de 12 1/4" hasta 5 metros antes del casquete estimado, a esta profundidad el geólogo va al pozo para determinar la cima del casquete, una vez determinada esta se ordena continuar la perforación con barrena de 7 7/8" y muestrero para cortar núcleos de la formación y hacer la estimación del azufre., determinada a la cima del yeso, se manda equipar el pozo para producción; si el pozo que se está perforando es de desfogue, los pasos para la perforación son los mismos, nada más que al terminar la perforación se manda a ampliar con barrena de 17" hasta 150 metros para instalar el casing de 13 3/8" y se ensancha la formación de caliza con ensanchador de 14", si se trata de un pozo de exploración, la barrena con la que se perfora es de 11" hasta el casquete y también se ordena el corte continuo de núcleos; pero por lo general en estos pozos la perforación es hasta la cima de la sal.

Una vez teniendo todos los pozos perforados y equipados

debidamente, los de producción son conectados con la superficie, las -  
tuberías de 3" a las tuberías de 3" y 6 5/8" y la de 1" hasta el "relays"  
donde se recibe el azufre y se inyecta el agua caliente y el aire de los  
pozos. Generalmente un "relays" tiene una capacidad de 5 a 15 pozos  
de producción, es decir que un "relays" puede recibir y mandar a la  
vez agua caliente y aire a 15 pozos como máximo.

Una vez concentrado el azufre en los "relays" éstos bom-  
bean el azufre a los "VATS" que es donde se almacena el azufre para-  
ser enviado al comercio o a las plantas de tratamiento.

## B I B L I O G R A F I A .

- Halbouty "Dome salt in the Region of the Gulf and México"  
Bull AAPG ( 1967 ).
- Parker T. J and Mc Dowell, A.N. " Model Studies of salt Dome  
Tectonics". Bull AAPG (1955) V. 39 No. 12.
- Wallace, W.E. Jr. " Structure of Sourth". Louisiana Dep seated  
Domes, " Bull AAPG". (1944) V. 28 No. 9.
- Murray G.E. " Geology of the Atlantic and Gulf Coastol Province -  
of North America" Harper Bros. (1961) New York.
- Borton D.C. " The American salt Dome Problens in the light of the  
Rumania and Germain Salt.
- Domes. " Bull AAPG " (1925) V. 9 No. 9.
- Hedberg, Hollis, D. " Geologic Aspects of Origin of Petroleum "  
Bull AAPG (1954) V. 48 No. 11.
- Boletfn de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.  
Vol. VII No. 7-8 Julio-Agosto de 1955.

Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.

Vol. X No. 56 Mayo-Junio de 1958.

Tesis Profesional de René Cabrera Castor IPN.

"Estudio Bioestratigráfico de la Porción Occidental de la Cuenca Salina del Istmo".

Tesis Profesional de Gabriel Domínguez Portilla U.N.A.M.

" Estudio de las Condiciones Estratigráficas y Estructurales del Area - Limitrofe entre los Estados de Tabasco, Campeche y Chiapas".

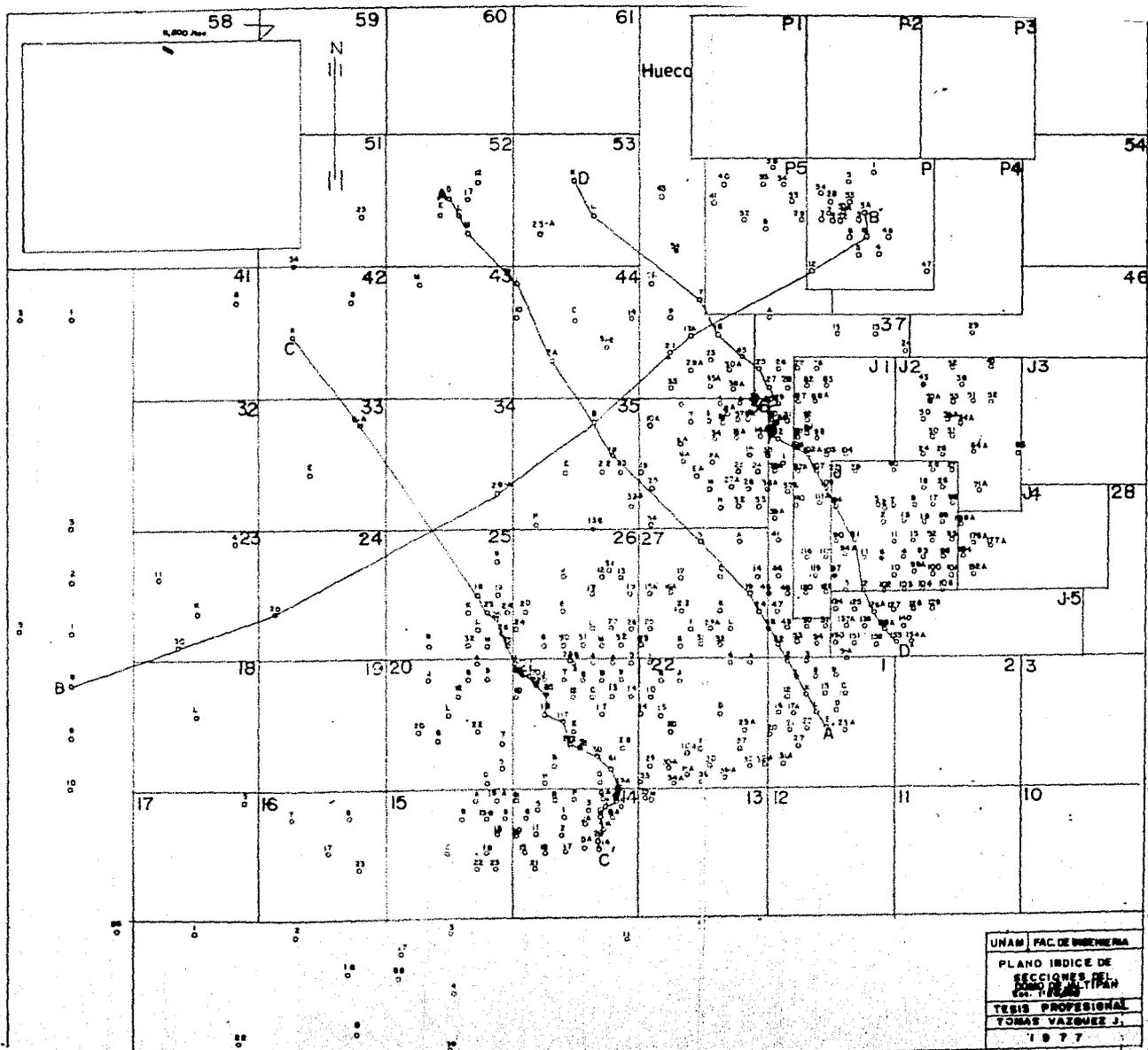
Tesis Profesional de Pedro Salmerón Ureña IPN.

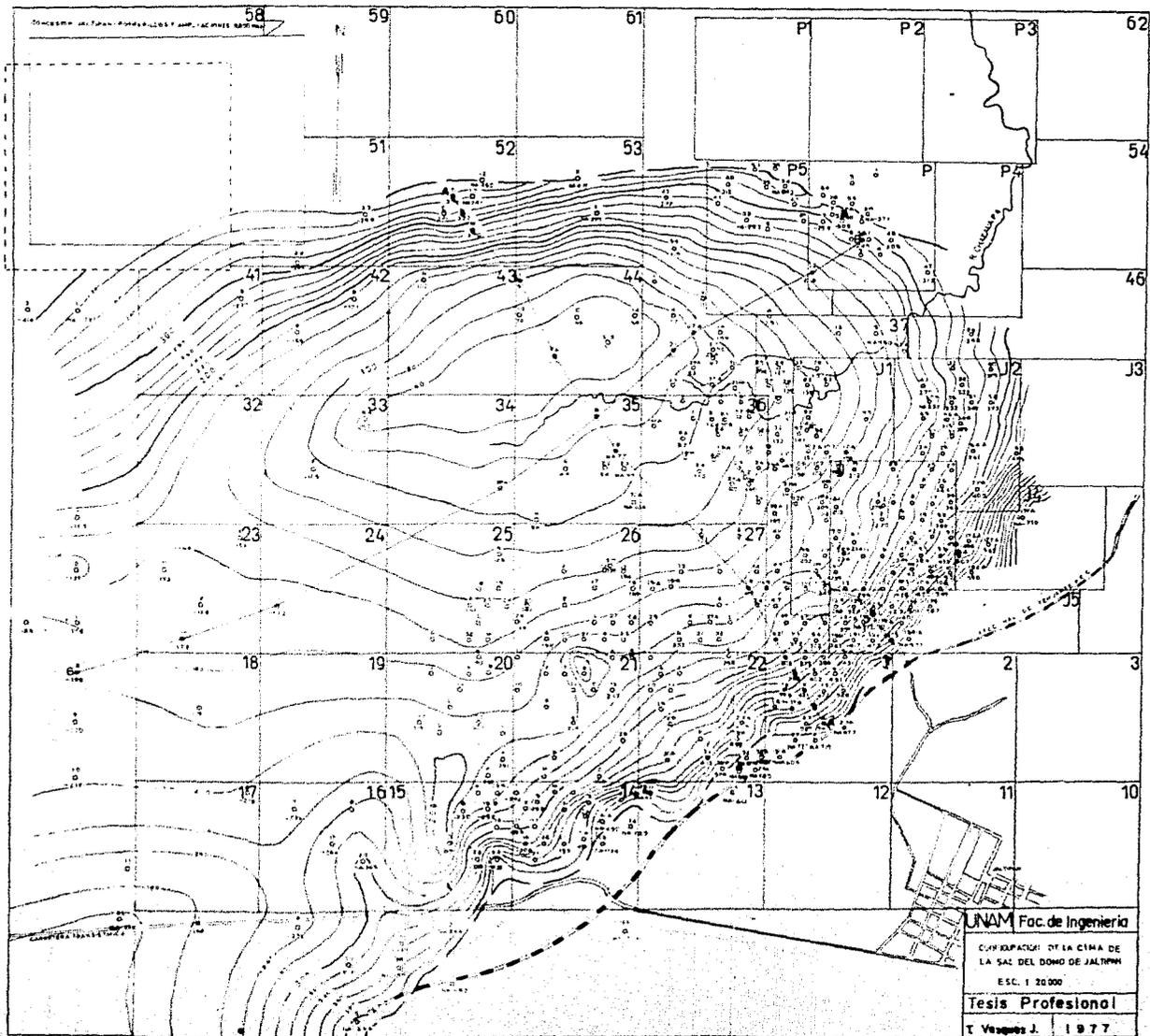
" Estudio Bioestratigráfico Preliminar de parte de la Región Meridional de la Cuenca de Veracruz".

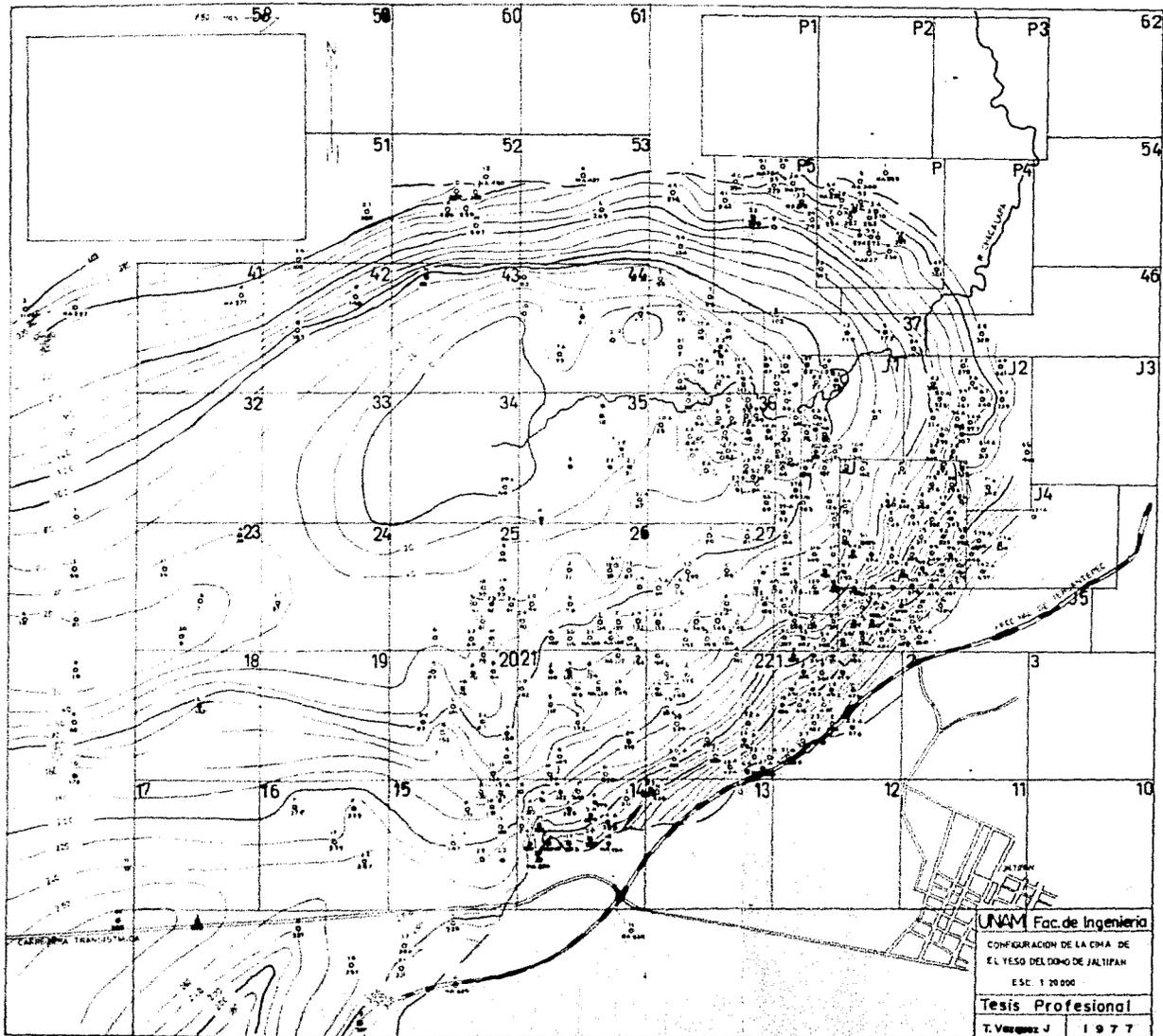
Sergio de los Santos Vázquez .- Apuntes de Geología del Petróleo --  
Facultad de Ingeniería - UNAM.\*

## A N E X O .

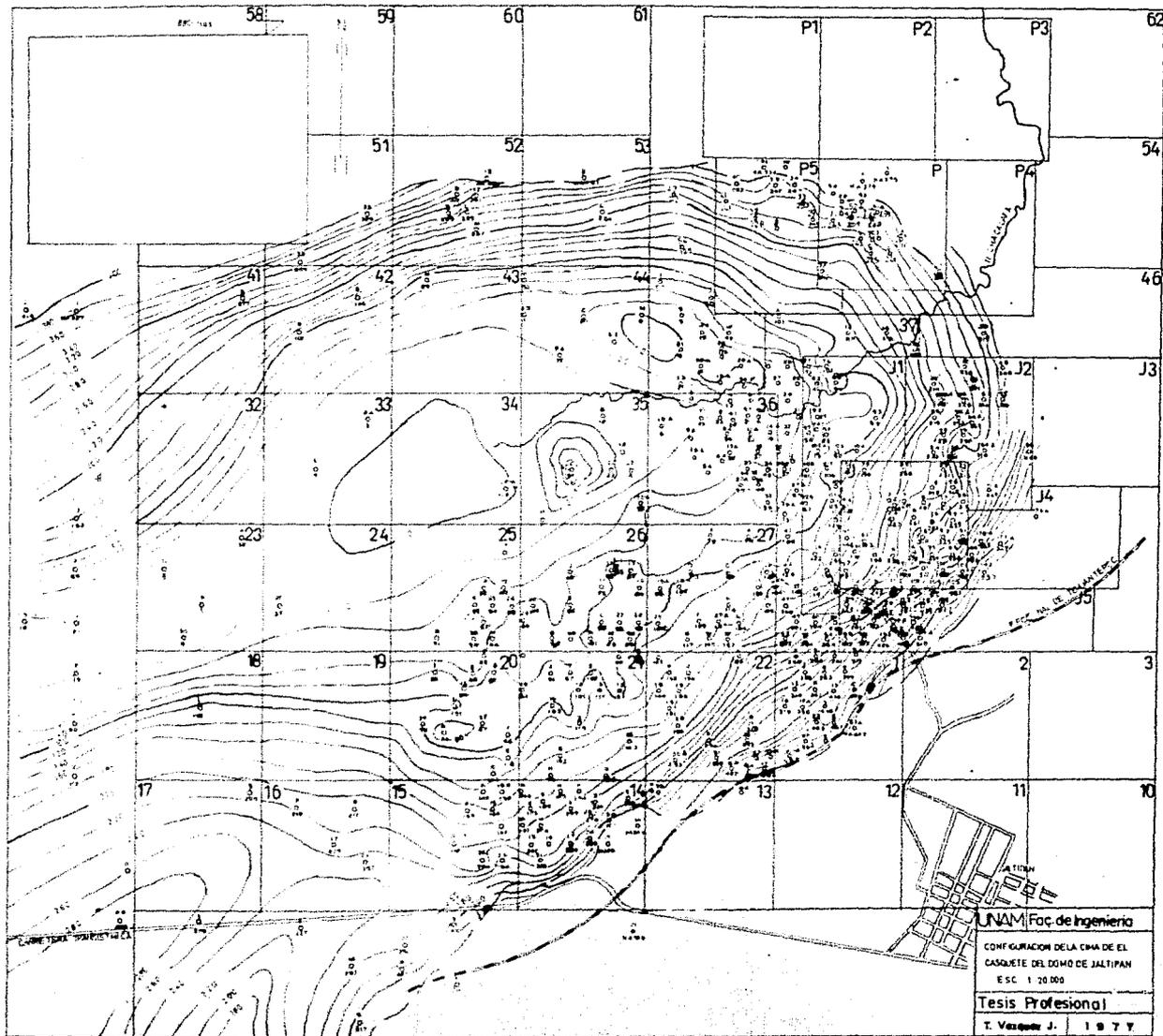
1. Plano Índice de Secciones del Domo de Jáltipan  
Esc. 1: 20,000.
2. Configuración de la Cima de la Sal del Domo de Jáltipan  
Esc. 1: 20,000.
3. Configuración de la Cima de El Yeso del Domo de Jáltipan  
Esc. 1: 20,000.
4. Configuración de la Cima de El Casquete del Domo de Jáltipan  
Esc. 1: 20,000.
5. Secciones Transversal y Longitudinal del Domo de Jáltipan  
Esc. 1:10,000
6. Secciones Norte Sur del Domo de Jáltipan  
Esc. 1: 8,000.



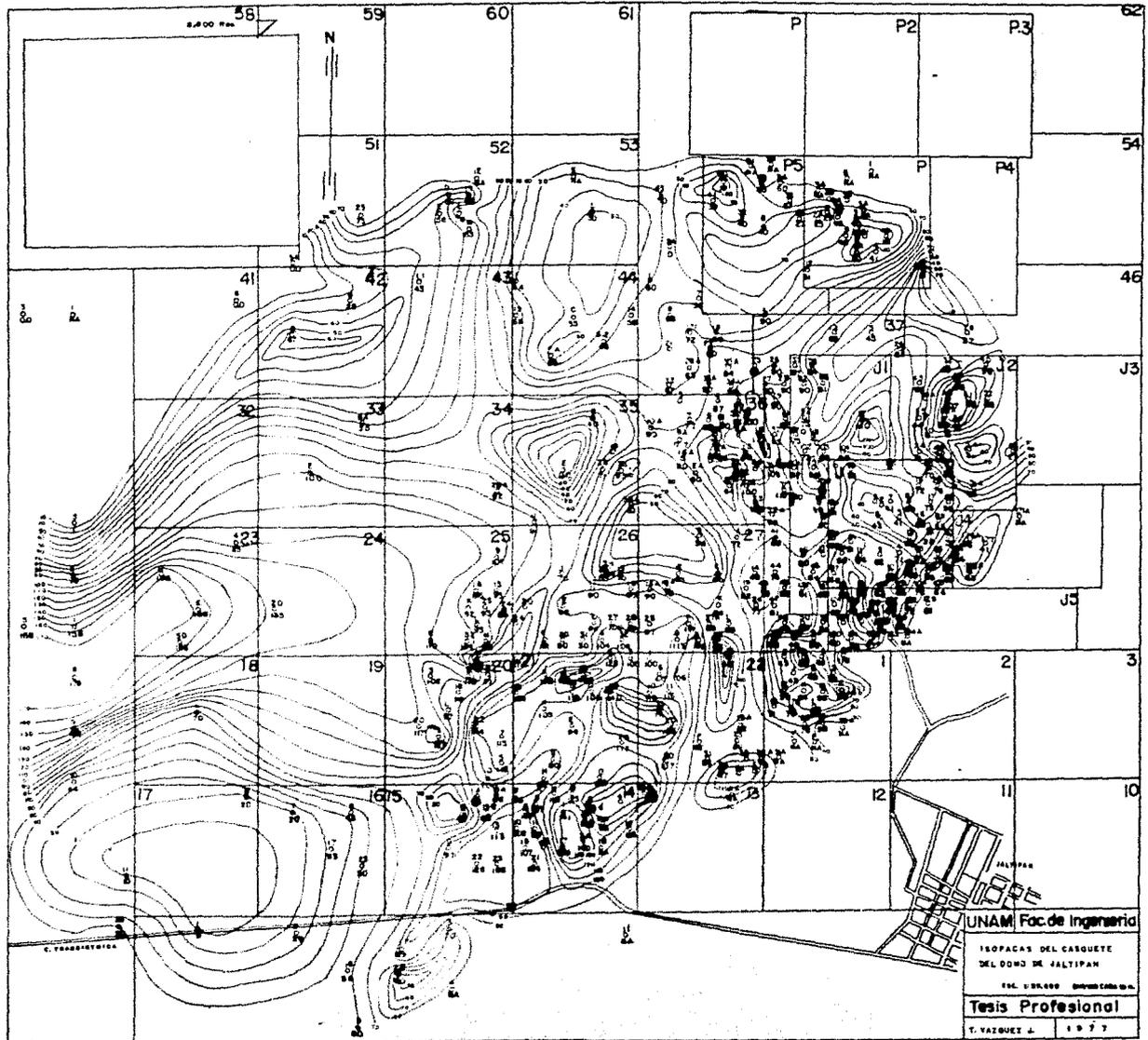




UNAM Fac. de Ingeniería  
 CONFIGURACION DE LA EMA DE  
 EL TESO DEL DOMINGO DE JALISCO  
 ESC. 1:20,000  
 Tesis Profesional  
 T. Vazquez J | 1977

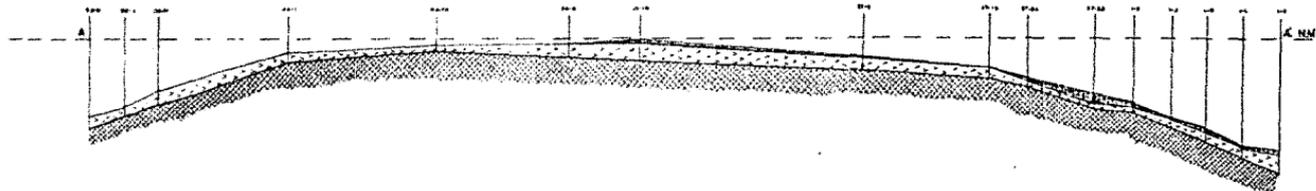


UNAM Fac. de Ingenieria  
 CONFIGURACION DE LA CMA DE EL  
 CASQUETE DEL DOMO DE JALTIPAN  
 ESC 1:20,000  
 Tesis Profesional  
 T. Valquez J. 1977



UNAM, Fac.de Ingeniería  
 ISOPACAS DEL CASQUETE  
 DEL OMO DE JALTIPAN  
 ESC. D. 50,000  
**Tesis Profesional**  
 T. VAZQUEZ J. 1977

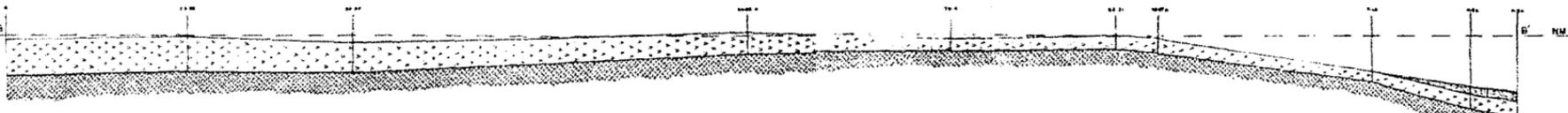
SECCION TRANSVERSAL NW-SE



LEYENDA

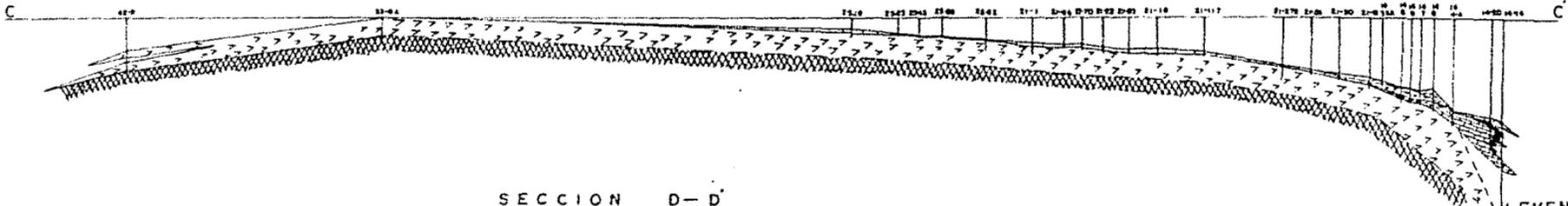


SECCION LONGITUDINAL SW-NE

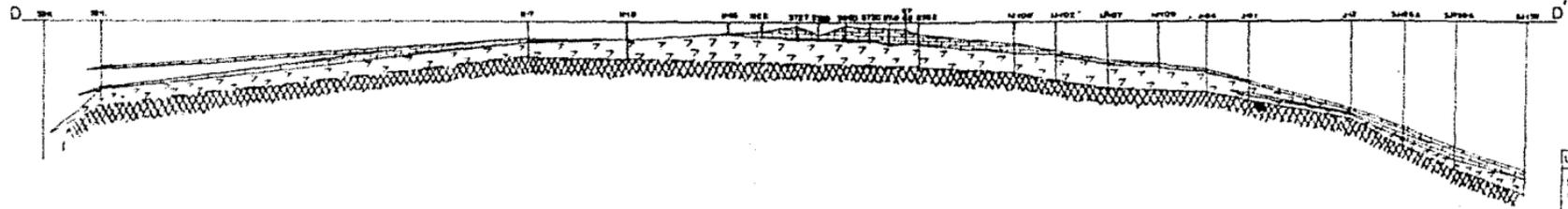


UNAM	Fac. de Ingeniería
SECCIONES NW-SE Y SW-NE DEL CENSO DE AJUTIPAN	
ESL. 1/2500	
Tesis Profesional	
E. Vázquez J.	1977

SECCION C-C'



SECCION D-D'



LEYENDA

-  LUTITA
-  CALIZA
-  YESO
-  SAL

UNAM FAC. DE INGENIERIA  
 SECCIONES NORTE-SUR  
 DEL DOMO DE JALTIPAN  
 Esc. 1:5,000  
 TESIS PROFESIONAL  
 TOMAS VAZQUEZ J.  
 1977