



**MINISTERIO REPÚBLICA DE CUBA.
MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD DE GEOLOGÍA – MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERIA**

Título: Calculo de las dimensiones de pilares de techo e intercameral en la explotación del yacimiento de sal por el Método de disolución.

Autor: Maydelin Cabrera Guerra

Tutor: Ing. Francisco Rodríguez Elia

Dr. Roberto Watson Quesada



Pensamiento.

Mayor que la tristeza de no haber vencido esta la vergüenza de no haber luchado.

José Martí Pérez.





Dedicatoria.

A mis queridos padres Lilia Caridad Guerra del Risco y Eduardo julio Cabrera Samonet.

A mi Tío Oreste Cabana y Clarisbel Araujo.

A mis amigas Yuliet martines y Madisley cuba.

A mis tutores Ing. Francisco Rodríguez Elia y Dr. Roberto Watson Quesada.

Al colectivo del grupo, y a todos los compañeros que me han apoyado en todo este largo y fructífero camino de formación como profesional.



Agradecimientos.

A la Revolución Cubana por contribuir en mi formación profesional, a Raúl, y al compañero Fidel que lo considero el hombre de la humanidad.

Agradecimiento especial para mi mamá y papá por el apoyo incondicional que me ha brindado en todo este tiempo a los cuales les dedico mi tesis.

A mis tutores Ing. Francisco Rodríguez Elia y Dr. Roberto Watson Quesada.

A mis amigas de la universidad Yamilet de la Cruz, Yaneris Molina, Anicel González y Ramón Fernández

Colectivo de profesores del Departamento de Minas.

Un gran agradecimiento para Lázaro Ruiz Batistapau por su ayuda incondicional y para mis compañeros de aula y amistades.



RESUMEN

El trabajo, "Cálculo de las dimensiones de pilares de techo e intercámara en la explotación del yacimiento de sal por el Método de disolución, surge por la necesidad de comprobar las dimensiones de los pilares de techo e intercámara diseñados para la explotación del yacimiento de Sal Gema por el Método de disolución, del cual no se cuenta con experiencia en Cuba. Para lo cual se desarrollo una metodología de cálculo de las dimensiones de los pilares que garantizan la estabilidad de las cámaras, para esto se emplearon los métodos de Protodiakonov, Hipótesis de la viga por Slesarev, de W. Ritter, basado en los procedimientos de la teoría de la bóveda de equilibrio, cálculos fundamentados en las curvas de presión y de resistencia de materiales. Lo que permite comprobar que los cálculos realizados en muchos casos permiten trabajar reservas de resistencia es decir con seguridad.



SUMMARY

The work, I Calculate of the dimensions of the roof pillars and inter-cameral in the exploitation of the location of salt for the breakup method, the necessity arises of checking those of the roof pillars and inter-cameral designed for the exploitation of Salt Gem by the breakup method, which is not, had the experience in Cuba. For for that which you development a methodology of I calculate of the dimensions of the pillars that guarantee the stability of the camera for this the methods of Protodiakonov they were used, hypothesis of the beam for slesarev, of W.Ritter, based on the vault of balance fundamental calculations in the curves of pressure and of resistance of the materials. What allowed to check the I calculate carried out in many cases they allow to work resistance reservations that is to say with security.



INDICE

INTRODUCCION.....	8
CAPITULO I SITUACIÓN ACTUAL DEL TEMA Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	9
1.1 ESTADO ACTUAL DE ESTA PROBLEMÁTICA EN CUBA	9
1.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	11
CAPITULO II INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA ZONA DEL YACIMIENTO	13
2.1. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS	13
2.2. RELIEVE, OROGRAFÍA, HIDROGRAFÍA Y CLIMA.....	13
2.3 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS	15
2.4 PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS Y QUÍMICAS DEL MINERAL Y LAS ROCAS ENCAJANTES	27
2.5 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	29
2.6 ECONOMÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN.	30
CAPITULO III MÉTODO DE EXPLOTACIÓN RECOMENDADO.....	31
3.1. <i>Tecnología de explotación mediante minado por disolución.</i>	31
3.2 CONSTRUCCIÓN DE LOS POZOS DE EXPLOTACIÓN.....	32
3.3 EXPLOTACIÓN DE LOS POZOS.....	33
3.4 CONTROL DE LA DISOLUCIÓN.	37
3.5 TECNOLOGÍA DEL PROCESO	38
CAPÍTULO IV CÁLCULO DE LOS PILARES DISEÑADOS EN EL PROYECTO.....	40
4.1 CALCULO DE LA PRESIÓN SOBRE EL PILAR DE TECHO	41
4.1 a) <i>Cálculo por Resistencia de los materiales.</i>	41
4.1 b) <i>Criterio de la carga total</i>	44
4.2 CALCULO DE LAS DIMENSIONES DEL PILAR DE TECHO.....	45
4.3 PRUEBAS PARA DETERMINAR QUE EL PILAR INTERCÁMARA (ENTRE TANQUE) CUMPLE LAS CONDICIONES DE SOSTENIMIENTO.	54
4.4 CALCULO DE LA PRESIÓN EN LA PARED DEL POZO POR PROTODIAKONOV.....	59
4.5 CÁLCULO DEL ESPESOR DE HORMIGÓN MONOLÍTICO DEL ENCAMISADO DEL POZO.	60
4.6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.	61
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES.....	64
BIBLIOGRAFÍA.....	65
ANEXO.....	66



INTRODUCCION

Aunque muchos productos minerales resultan de importancia para el desarrollo del hombre, solamente unos pocos pueden clasificarse como esenciales, como podemos observar en este caso la sal común, un compuesto de sodio y cloruro. El cloruro de sodio (NaCl), conocido por halita en la terminología mineralogía, se encuentra ampliamente distribuido en todo el mundo, siendo este un hecho que a ejercido influencia en tanto en el la historia como en la ubicación de la industria.

La sal se encuentra en disolución en el agua mar, así como en las aguas de algunos lagos manantiales y lagos y en forma sólida en yacimiento subterráneo y en la superficie. Sabiendo que en los mares se encuentra la mayor reservas de sal, (las cifras generales citadas es de más del 50% del volumen de total del todo el continente de norte América que se eleva sobre el nivel del mar) y contribuyen con sustanciales de sal obtenida por medio de evaporación solar a la producción mundial anual, los yacimientos subterráneos estatificados y de domo son los que suministran la mayor parte de las necesidades mundiales de sal.

Hasta el momento, en cuba sólo se a utilizado el método de evaporación solar del agua de mar para la producción de de sal proceso comúnmente empleado en climas cálidos y áridos. Por lo que se pretende realizar la explotación por disolución de la mina de sal gema en Punta Alegre por el métodos de cámaras y pilares consiste en perforar pozos hasta el Yacimiento, insertar un sistema de tubos como el usado en otras minas de sal gema en otros países, bombear agua por el pozo dejando que disuelva la sal, bombear la salmuera resultante hacia la superficie y recuperar allí la sal disuelta. Según las minas, se puede utilizar el tubo exterior para el agua y el intermedio para la salmuera o al contrario. En cualquier caso, el tubo interior se emplea para inyectar aire comprimido para elevar la salmuera. En otros países existen numerosas minas de disolución para extraer sal común.

En Cuba es la primera vez que se realizará una explotación con estas características, por lo que surgen interrogantes sobre las dimensiones de los pilares diseñados y su capacidad portante, así como la posibilidad de fallo y el riesgo de subsidencia en el terreno de superficie.



CAPITULO I Situación actual del tema y Metodología de la Investigación

1.1 Estado actual de esta problemática en Cuba.

Desde 1930 se suponía la existencia de sal bajo el lomerío Punta Alegre, tanto por la presencia en la superficie de yeso y calizas como por el mínimo gravimétrico que se reflejaba en la zona.

En el año 1957, durante la perforación del pozo petrolero Collazo I, el yacimiento fue cortado por primera vez, atravesando toda la potencia al sur de Lomas de Yeso, con el cual quedó comprobada la existencia de sal bajo el lomerío

En 1965 se realizaron trabajos de exploración geológica en el yacimiento a cargo del geólogo checoslovaco Mijail Lukac; con el objetivo de encontrar la sal lo más cerca posible a la superficie, para poder efectuar la extracción a una profundidad no mayor de 500 m. La exploración se realizó a base de perforaciones (11 pozos), (anexo gráfico No.1), en general de 500 m, con los correspondientes análisis de sal de los pozos. Al mismo tiempo se realizó el levantamiento geológico del área y después de conocer las características de la sal se procedió a las pruebas de extracción por disolución, acondicionando dos pozos perforados a una profundidad de 500 m para este fin.

Como resultado de este trabajo se calcularon reservas en la categoría $C_1 + C_2$ y pronóstico (probables, posibles y recursos potenciales), así como se demostró la posibilidad de explotación del yacimiento por el método de disolución mediante pozos tanto con el empleo de agua dulce como el agua de mar.

En el año 1981, se realizaron trabajos de exploración detallada en el sector oriental del yacimiento, a cargo del ing. Jesús Martínez Salcedo; con el objetivo de delimitar reservas extraíbles suficientes en categoría B (probadas) en un



sector del yacimiento donde el techo del cuerpo salino se encontraba a la menor profundidad. Se perforaron para ello seis pozos de 500 m, en una red de 600X600 m, añadido a la red los pozos P-10 y P-13 de Lukac, (anexo gráfico No.3). Acompañaron a la perforación trabajos de levantamiento geológico, trabajos geofísicos, topográficos, de tecnología y laboratorio evaluativos. Como resultado de estos trabajos se delimitó un bloque de reservas con categoría B (probadas), quedando las reservas del yacimiento en las categorías B + C₁ + C₂ y recursos pronósticos (probadas, probables, posibles y recursos potenciales). Conjuntamente con estos trabajos se realizó una explotación experimental mediante pozos, con buenos resultados.

Entre los años 1983 y 1984 se realizaron trabajos de Búsqueda Evaluativo en los flancos sur y oeste del yacimiento, a cargo de los ingenieros Jesús Martínez Salcedo y Jorge Guerrero Reyes, los cuales no se concluyeron por la cancelación del proyecto por intereses económicos del país; motivo por el cual sólo se perforaron 8 de los 15 pozos de 500 m previstos en el proyecto, ni se realizaron todos los análisis de laboratorio previstos así como tampoco se confeccionó informe geológico de los trabajos realizados. De los 8 pozos perforados, 5 de ellos se encuentran ubicados en un perfil con dirección E-W que pasa por el pozo Collazo 1 con una distancia entre pozos de 2400 m, completando el perfil con el pozo Collazo 1 que está entre los pozos SG-1 y SG-2 a 2400 m de ambos, (anexo gráfico No.3); los otros tres pozos están ubicados en un perfil N-S con una distancia entre pozos de 1200m, (anexo gráfico No.3).

Estos trabajos permitieron comprobar la prolongación del yacimiento hacia el sur y el oeste, precisando además la profundidad del contacto yeso-sal en estas partes del yacimiento la cual resulta mucho menor que la que se suponía sobre la base de datos imprecisos del pozo Collazo 1, en correspondencia con los cuales se había establecido que el techo del horizonte salino se hundía hacia el sur y el oeste, cuando en realidad se mantiene prácticamente horizontal como puede apreciarse en el anexo gráfico No.4



Durante estos años se han perforado diferentes pozos profundos para petróleo en las proximidades del yacimiento, entre ellos tenemos el pozo Caldera, Punta Alegre 1, 1A y 2.

En 1984 Ingrid Guerra Oliva realizó el trabajo de diploma "Proyección de la Extracción por disolución del yacimiento Sal Punta Alegre", tutorado por el Profesor Ing. Alfredo Grimón Hernández y el Ing. José Luis González Valdez, el cual respondió a una solicitud de la Unión de Empresas de Minería y Sal de La Habana con el objetivo de proyectar la explotación por el modo tradicional subterráneo y por disolución y realizar el análisis técnico-económico. Las variantes analizadas fueron calculadas técnicamente con el grado de detalle suficiente para realizar las valoraciones económicas, de las que resultó que la variante por disolución fue la más viable. Sin embargo las dimensiones de los cilindros o cámaras de disolución difieren en sus dimensiones de las que presenta el proyecto actual de explotación, así como el orden de ejecución de los trabajos de explotación.

A inicios de 1999 se realizó un estudio conceptual para la explotación del yacimiento por parte de la Empresa Geominera Camagüey y Proyecto de la Unión Geominera, donde se analizaron diferentes variantes de explotación de la sal, tanto por minería convencional, como por métodos de dilución por pozos, así como variantes de procesamiento mediante cristalización por evaporación solar y planta de elaboración; además de la utilización de Refinería. Se efectuó una valoración económica de estas variantes.

1.2 Metodología de la Investigación

PROBLEMA CIENTIFICO: Necesidad de comprobar las dimensiones de los pilares de techo e intercámara en la explotación del yacimiento de sal Punta Alegre por el método de disolución.

OBJETO: Los pilares de techo e intercámara en la explotación del yacimiento de sal Punta Alegre por disolución.

OBJETIVO GENERAL: Calcular las dimensiones de los pilares que garantizan la estabilidad de las cámara.



HIPOTESIS: Si se comprueba mediante los calculo, las dimensiones de los pilares de techo e intercameral en la explotación del yacimiento de sal gema Punta Alegre, por el Método de disolución, se podrá prevenir la ocurrencia de subsidencia en la superficie.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Analizar la información existente sobre explotación de sal por disolución.
2. Caracterizar el yacimiento de Sal Punta Alegre.
3. Caracterizar el método de explotación propuesto.
4. Calcular los pilares diseñados y evaluar los resultados.



CAPITULO II Información General sobre la zona del Yacimiento

2.1. Características geográficas

El yacimiento de Sal Gema Punta Alegre está ubicado en la provincia Ciego de Ávila, en su costa norte, municipio Chambas, poblado de Punta Alegre (Anexo gráfico No-1). Se extiende por debajo de todo el lomerío conocido por Lomas de Yeso, así como por los terrenos llanos del este, sur y oeste del lomerío y por debajo de la Bahía de Buena Vista, rumbo norte, noreste y este, en dirección al Cayo Ladrones, cubriendo un área del orden de los 15X6.5 Km.

Las coordenadas aproximadas del centro del yacimiento, según la proyección cónica conforme Lambert, sistema Cuba norte son:

X: 723 500

Y: 281 500

Localizable en las hojas topográficas 4483-III y 4482-IV, escala 1:50 000, así mismo el sector con reservas en categoría probadas, tiene en su centro en las coordenadas Lambert:

X: 729 280

Y: 284 627

Localizable en la hoja topográfica 4483-III, escala 1:50 000

2.2. Relieve, orografía, hidrografía y clima.

El lomerío de Punta Alegre, Lomas de Yeso, es un sistema de elevaciones de 100-120 m de altitud, siendo su punto culminante la Loma de Ajá con 141 m, S.N.M. Estas lomas en su vertiente norte están paralelas a la costa con una longitud de 10 Km. y es en esta parte donde están las más uniformes y mayores elevaciones. Hacia el sur va desapareciendo la configuración de uniformidad apareciendo elevaciones individuales dentro del propio sistema montañoso, con forma de cono, abundantes cavernas casi siempre derrumbadas y pequeños valles y depresiones. Así las faldas al norte son abruptas y las del sur transicionan suavemente a llanuras, lo mismo sucede hacia el este y oeste.



Hacia el oeste de Lomas de Yeso, a 3 Km. corre el río Los Perros del cual son tributarios los arroyos Brazo, Blanco y el Canal Rivero. A 2.5 Km. al oeste del río Los Perros corre el río Hatibonico del Norte, estos corren con dirección general de sur a norte. Al sureste se encuentra el arroyo Esterón que corre de oeste a este. Tanto uno como otro desembocan en la Bahía de Buena Vista.

Las condiciones climáticas en la región varían notablemente según los años y los lugares. Los meses de mayo hasta octubre son las caracterizadas por las lluvias y traen aguaceros de hasta 70-80 mm de agua. De noviembre hasta abril se presenta la época de sequía, no obstante, en algunos meses han habido precipitaciones de consideración. Anualmente las lluvias varían entre 800-1200 mm. En la época de sequía ésta oscila de 0-60 mm.

Los meses que presentan condiciones invernales son los de diciembre a marzo, con temperaturas mínimas de hasta 21°C y máximas de hasta 25°C.

Los meses de verano, comprenden de abril a noviembre, con mínimas de 23.9°C y máximas de 28.6°C, siendo el promedio anual 25°C.

La dirección predominante de los viento es E-NE con velocidad promedio de 16-17 Km /h.



Fig. #1 Plano de ubicación de la concesión.

2.3 Características geológicas

Según la zonación tectónica que comprende a la provincia Ciego de Ávila, dentro del contexto de Cuba centro-oeste, la región del yacimiento se ubica en la unidad geotectónica del Margen Continental de Las Bahamas. En correspondencia con la composición y estructuras que la forman, ésta se divide en cinco zonas estructuro-faciales y dentro de ellas la región del yacimiento se presenta en la zona estructuro-facial de Remedios. En esta zona, en la región del yacimiento están presentes en superficie las formaciones Brecha Punta Alegre y el Grupo Remedios.

El yacimiento se ubica dentro de la Fm. Brechas "Punta Alegre", constituido por sedimentos evaporíticos brechosos y su localidad tipo es Lomas de Yeso, en Punta Alegre, al norte de Ciego de Ávila, los que consisten en un sistema de elevaciones constituidas por rocas yeso-calizas, que se elevan en una llanura extensa compuesta por rocas cuaternarias representadas por arcillas y arcillas



Arenosas. Al sur de Loma de Yeso aparecen sedimentos del Mioceno, representados por calizas de la Fm. Güines que yacen sobre la serie yesífera.

La Fm. Brechas Punta Alegre consta de dos horizontes, uno superior representado por brechas yesíferas y otro inferior por brechas de sal gema, el cual constituye el yacimiento en sí. El horizonte de las brechas de yeso presenta una potencia entre 150 y 170 metros en las áreas de relieve llano, la cual se incrementa en las partes más elevadas del relieve, donde llegan a sobrepasar los 250 metros de potencia.

Litología.

El horizonte de brechas yesíferas, está compuesta por múltiples cambios de todas las variedades de yeso: yeso puro, yeso brechado, yeso arcilloso y brechas de yeso con predominio de yeso gris verdoso poco arcilloso y poco brechado, hasta arcilloso y brechado, presentando además intercalaciones de calizas, dolomitas, arcillas y anhidritas. Podemos observar en esta tabla la litología de los pozos que se explotara.

Tabla # 1

P-10	0.00	0.50	Tierra con capa vegetal de color carmelita.	Brecha Alegre	Punta
P-10	0.50	5.50	Arcilla poco arenosa de color gris y gris pardo, con pequeños fragmentos de caliza. En 5.3 m material brechado arcilloso, alterado de color abigarrado.	Brecha Alegre	Punta
P-10	5.50	14.10	Yeso brechado, con grandes cantos (10-15 cm) de yeso, lutita, pizarra y con grandes cristales tabulares de yeso cristalino.	Brecha Alegre	Punta
P-10	14.10	16.16	Arcilla poco arenosa de color pardo hasta carmelita oscuro, en algunas partes algo brechada.	Brecha Alegre	Punta
P-10	16.16	35.60	Yeso brechado a veces con grandes cantos de yeso, con muchos cantos de lutita y pizarra.	Brecha Alegre	Punta
P-10	35.60	72.20	Yeso brechado con grandes cantos de yeso, lutita, pizarra y caliza y con cristales tabulares de yeso en algunos intervalos. Buzamiento de 30°-50°. En 43.30 m hay 30 cm de yeso puro, blanco, cristalino; en 45.40 m hay 20 cm de yeso puro, de color gris blanco	Brecha Alegre	Punta
P-10	72.20	78.40	Yeso muy recristalizado con abundantes cantos de lutita rojo-pardo, yeso y pizarra.	Brecha Alegre	Punta
P-10		132.00	Yeso brechado con cantos de 2-5 cm de yeso, lutita y pizarra, prolongados cristales tabulares de yeso. En 104 m hay 1 m de yeso brechado con cantos de hasta 10 cm de polihidrato de yeso blanco.	Brecha Alegre	Punta



P-10	132.00	138.00	Yeso brechado muy arcilloso, con muchos cantos de arcillita rojo-pardo, con cantos de anhidrita gris -blanca, a veces sustituida por polihidrato hasta yeso y pocos cantos de pizarra y caliza.	Brecha Alegre	Punta
P-10	138.00	148.10	Arcillita brechada con muchos cantos pequeños mayormente de yesos blancos y raros de anhidrita y pizarra. Desde 145 m la arcillita brechada está salada.	Brecha Alegre	Punta
P-10	148.10	179.80	Brecha compacta de sal, medio cristalina; cristales prolongados con buzamiento de 40°-60°, con muchos cantos pequeños de lutita, arcillita y pizarra y algunos cantos de hasta 5 cm de anhidrita.	Brecha Alegre	Punta
P-10		182.20	Anhidrita bandeada, con algunos nidos de sal grueso-cristalina, cristales hasta 0.5 cm.	Brecha Alegre	Punta
P-10	182.20	349.00	Brecha compacta de sal de grano cristalino, con pequeños cantos de lutita, pizarra y cantos de 2 - 5 cm de anhidrita. Cristales de sal a veces alargados con buzamiento de 20°-40° y forma a veces nidos con algunos cantos de caliza. En 215 m hay 25 cm de an	Brecha Alegre	Punta
P-10	349.00	352.10	Caliza cristalizada con algunas veticas de sal de 1-3 mm y nidos y veticas de anhidrita.	Brecha Alegre	Punta
P-10	352.10	376.60	Brecha compacta de sal con muchos cantos pequeños de arcillita, en menor proporción anhidrita y pizarra. Buzamiento de 20-30°, cristales de sal, a veces contiene pequeñas intercalaciones de arcilla.	Brecha Alegre	Punta
P-10	376.60	377.60	Brecha anhidrítico- salina.	Brecha Alegre	Punta
P-10	377.60	401.00	Brecha compacta de sal con pequeños cantos mayormente de anhidrita, pizarra y lutita. Cristales de sal alargados e inclinados hasta 40°.	Brecha Alegre	Punta

P-13	0.00	1.50	Arcilla brechada, abigarrada, con fragmentos y cristales tabulares de yeso.	Brecha Alegre	Punta
P-13		4.00	Yeso brechado y plegado con vetas, nidos y cristales de yeso	Brecha Alegre	Punta
P-13	4.00	31.50	Yeso gris oscuro, gris-verde, arcilloso, con pequeños fragmentos de lutita, pizarra y escasos de caliza dolomítica. Se presentan algunas intercalaciones de yeso casi puro, gris oscuro. En 15.00 m hay 80 cm de yeso puro, gris oscuro. En 24.90 m hay 20 cm d	Brecha Alegre	Punta
P-13	31.50	54.20	Yeso muy impuro, arcilloso hasta poco brechado con veticas y cristales plegados de yeso y con algunas intercalaciones de 40-60cm de yeso poco arcilloso gris oscuro, buzamiento de capas de 30-40 grados. En 37.60 m hay 2 m de yeso poco arcilloso, gris oscuro	Brecha Alegre	Punta
P-13	54.20	86.20	Yeso arcilloso, gris azul, con pequeños cantos de lutita, pizarra y algunas intercalaciones de yeso brechado. En 65.00 m hay 1.20 m de brecha de anhidrita con mucha arcilla pardo oscuro. En 73.20 m hay 40 cm de yeso puro gris oscuro, a continuación 35 cm	Brecha Alegre	Punta
P-13	86.20	102.50	Yeso brechado con muchos fragmentos de lutita y algunas pequeñas veticas de yeso cristalizado.	Brecha Alegre	Punta
P-13	102.50	107.60	Yeso gris verdoso poco brechado.	Brecha Alegre	Punta
P-13	107.60	115.00	Yeso compacto, masivo, gris oscuro. Desde 110.70 m. Poco recristalizado con algunos nidos de yeso gris blanco.	Brecha Alegre	Punta
P-13	115.00	144.80	Yeso poco brechado con algunas intercalaciones de yeso arcilloso, grisáceo. En 121.80m, hay 1.20m de yeso gris oscuro. En 135.50 m hay 1.00 m de cantos de caliza dolomítica. En 142.50 hay 1.5 m de yeso gris oscuro, de grano mediano, bastante puro.	Brecha Alegre	Punta



P-13	144.80	151.00	Brecha de yeso arcilloso con abundantes cantos pequeños y cristales de anhidrita. Los cantos son poco salados.	Brecha Alegre	Punta
P-13	151.00	171.40	Brecha compacta de sal de grano medio hasta fino de color gris oscuro con abundantes, pero en su mayoría, pequeños cantos de anhidrita, pizarra, lutita y cristales de anhidrita.	Brecha Alegre	Punta
P-13	171.40	177.60	Brecha compacta de sal de grano mediano con algunas intercalaciones de 10-15cm de anhidrita fino cristalina y poco bandeada.	Brecha Alegre	Punta
P-13	177.60	353.50	Brecha compacta de sal de color gris oscuro de grano medio con abundantes pequeños cantos de anhidrita, lutita, pizarra y caliza dolomítica. Con abundantes cristales de anhidrita. En 214.00m hay 1.5 m de brechas de sal con abundantes cantos de 1-2 cm. En	Brecha Alegre	Punta
P-13		503.50	Brecha compacta de sal con abundantes pero pequeños cantos de anhidrita, lutita, pizarra y caliza dolomítica, con cristales alargados de sal y en forma de pequeños nidos, también con cristales de anhidrita. En 214.20 m hay 1.00 m de brechas de sal con c	Brecha Alegre	Punta

S-1	0.00	25.40	Arcilla color pardo que transiciona a color pardo rojizo corte abajo, con nódulos de yeso amorfo en su parte superior y en su parte inferior pequeños fragmentos de caliza gris. La arcilla es muy plástica.	Brecha Alegre	Punta
S-1	25.40	29.40	Yeso arcilloso blanco alterado pasando ocasionalmente a arcilla parda con nódulos de yeso blanco.	Brecha Alegre	Punta
S-1	29.40	31.00	Yeso arcilloso gris alterado con tonos verdes, cristalino, compacto.	Brecha Alegre	Punta
S-1	31.00	32.40	Alternancia de arcilla cárstica, parda y aleurolita pardo verdoso, finamente estratificada con ángulo de 50°.	Brecha Alegre	Punta
S-1	32.40	34.85	Yeso puro cristalino blanco-incoloro, duro, compacto con intercalaciones de aleurolitas pardas con ángulo de 50°.	Brecha Alegre	Punta
S-1	34.85	35.15	Arcilla cárstica parda con estratificación aparente y ángulo de 50°.	Brecha Alegre	Punta
S-1	35.15	36.45	Yeso arcilloso gris oscuro, presentando tonos verdosos, compacto, duro.	Brecha Alegre	Punta
S-1	36.45	37.60	Arcilla cárstica parda con estratificación aparente y ángulo de 50°.	Brecha Alegre	Punta
S-1	37.60	38.70	Yeso arcilloso, blanco gris, alterado, impuro poco compacto.	Brecha Alegre	Punta
S-1	38.70	42.00	Arcilla cárstica, parda, en ocasiones gris, compacta con nódulos de yeso blanco de 1-5 cm. El contacto inferior tiene ángulo de 45°.	Brecha Alegre	Punta
S-1	42.00	42.75	Yeso arcilloso gris oscuro con fragmentos de lutita parda, argilita gris y caliza crema subordinada.	Brecha Alegre	Punta
S-1	42.75	45.35	Yeso arcilloso gris verdoso con interestratificaciones de arcilla parda con aparente estratificación, subordinadamente aparecen capitas de aleurolitas pardo verdosas con ángulo de 30°.	Brecha Alegre	Punta
S-1	45.35	46.30	Brechas sedimentarias con fragmentos de lutita, argilita, yeso y arcilla como cemento. Los fragmentos entre 1mm.a 2cm.	Brecha Alegre	Punta
S-1	46.30	48.40	Arcilla cárstica, pardo clara con numerosos fragmentos de lutita, yeso verdoso y traslúcido. Fragmentos desde 1mm.a 2 mm.	Brecha Alegre	Punta
S-1	48.40	49.50	Yeso verde arcilloso. Contacto inferior 52°.	Brecha Alegre	Punta
S-1	49.50	50.20	Brecha sedimentaria con fragmentos de argilita, lutita, dolomita, cristales de yeso y cemento arcilloso. Contacto inferior 50°.	Brecha Alegre	Punta
S-1	50.20	52.35	Yeso verde cristalino algo alterado con arcilla verdosa, contacto inferior 50°. Compacto.	Brecha Alegre	Punta



S-1	52.35	54.40	Brecha sedimentaria con fragmentos de yeso, caliza negra, caliza dolomítica, dolomita, argilita y lutita parda. Subordinadamente fragmentos entre 1mm y 4-5 cm. Cemento yeso. Compacta.	Brecha Alegre	Punta
S-1	54.40	120.80	Yeso brechoso, gris con algunos tonos verdes, presenta fragmentos de lutita parda y argilita gris oscura, no mayores de 3 cm y generalmente 1 cm angulosos a subangulosos. Fragmentos subordinados de caliza gris negro algo dolomítica de 1-5cm. Hacia los 1	Brecha Alegre	Punta
S-1	120.80	134.00	Yeso brechoso gris oscuro con fragmentos de lutita parda y argilita en ocasiones se presenta yeso blanco bandeado en capas de 5-20 cm con ángulo de 40°.	Brecha Alegre	Punta
S-1	134.00	135.90	Yeso negro moteado de blanco con fragmentos de dolomita negra de hasta 10cm de tamaño, ocasionalmente intercalaciones de anhidrita.	Brecha Alegre	Punta
S-1	135.90	139.10	Yeso brechoso gris oscuro, con fragmentos de argilita y caliza dolomítica intercalaciones ocasionales de anhidrita.	Brecha Alegre	Punta
S-1	139.10	154.50	Arcilla cárstica color gris con abundantes fragmentos de yeso. De 149.50-150.00 se presenta yeso gris compacto.	Brecha Alegre	Punta
S-1	154.50	158.50	Anhidrita bandeada con bandas blancas muy finas con ángulo de 45°, duro, compacto, ocasionalmente presenta intercalaciones de yeso.	Brecha Alegre	Punta
S-1	158.50	161.40	Yeso brechoso, blanco, alterado, con fragmentos de anhidrita de 1-5cm. Cemento arcilla verdosa. El contacto inferior es horizontal.	Brecha Alegre	Punta
S-1	161.40	295.50	Brecha de sal gema color gris oscuro, con tonos blancos, gris claro y pardo rojizo debido a los fragmentos de anhidrita, argilita, lutita y en ocasiones de calizas dolomíticas que impregnan la masa de sal. Los fragmentos alargados, angulosos a subangulos	Brecha Alegre	Punta
S-1	295.50	298.30	Brecha anhidrítico-salina color gris, bandeada, compacta, dura, con fragmentos de anhidrita de 5x5 mm. hasta 3x10cm como cemento de sal de grano grueso incoloro o gris.	Brecha Alegre	Punta
S-1	298.30	306.40	Anhidrita bandeada, gris y negro, compacta, dura, masiva, con vetillas y nudos de sal gema no mayores de 1mm y 2cm respectivamente. Se presentan algunos fragmentos de dolomita gris oscuro.	Brecha Alegre	Punta
S-1	306.40	307.50	Brecha dolomítica, gris oscuro, con fragmentos de dolomita de 1-2cm y 7-8cm. Cemento sal.	Brecha Alegre	Punta
S-1	307.50	309.70	Brecha anhidrítico-salina, se presenta muy contorsionada. Contacto inferior 45°.	Brecha Alegre	Punta
S-1	309.70	482.00	Brecha de sal gema con intercalaciones de lutita pardo rojiza desde: 323.30-323.90, 383.40-383.50 y 396.00-396.15, estas últimas estratificadas y brechosas. Anhidrita desde 333.90-334.00, 358.30-358.40, con ángulos de 45°.	Brecha Alegre	Punta
S-1	482.00	489.70	Brecha dolomítica gris oscura, compacta, dura, algo recristalizada, el cemento que une los fragmentos es de sal. El contacto superior tiene fragmentos de anhidrita. Los fragmentos de dolomita tienen dimensiones desde 1mm hasta 20cm, están agrietados y	Brecha Alegre	Punta
S-1	489.70	500.70	Brecha de sal gema.	Brecha Alegre	Punta
S-2	0.00	1.50	Arcilla color rojo con plasticidad bien manifiesta.	Brecha Alegre	Punta
S-2	1.50	130.00	Yeso gris-verdoso, muy arcilloso, masivo, compacto, con ocasionales fragmentos angulosos -subangulosos de argilita gris claro de pequeño tamaño llegando en ocasiones hasta 3 cm. Por tramos se presentan cristales de yeso transparente dentro de la masa. E	Brecha Alegre	Punta



S-2	130.00	169.22	Yeso brechoso gris-verdoso con numerosos fragmentos angulosos de 1-2cm de lutita, argilita y ocasionalmente caliza. Unos 20m antes del contacto con la sal el yeso se presenta salado se pueden observar cristales pequeñísimos de sal. Al final del yeso a	Brecha Alegre	Punta
S-2	169.22	176.70	Brecha de sal gema color blanco a incolora, compacta, dureza media formada por sal gema y con abundante cristales alargados y planos de anhidrita gris claro de 1-2 cm. Muy subordinadamente se presentan fragmentos de argilitas angulosas a subangulosas, g	Brecha Alegre	Punta
S-2	176.70	178.60	Brecha dolomítica gris oscura, compacta, dura, fragmentos desde 0.5-8.0 cm y el cemento es sal y en ocasiones anhidrita. Contacto superior: 20°.	Brecha Alegre	Punta
S-2	178.60	500.00	Brecha de sal gema. De 296.10-303.40 se observan ocasionalmente fragmentos de dolomita, en los últimos dos metros de este intervalo la coloración gris se hace más oscura. De 303.30-303.70 y 325.80-325.80 se observan pequeñas intercalaciones de brecha dol	Brecha Alegre	Punta
S-3	0.00	19.80	Arcilla pardo-oscura, plástica. A partir de los 4.20 se presenta arcilla color pardo-rojizo, deleznable, algo arenoso, en su masa se observan pequeños fragmentos de yeso cristalizado, esta zona se encuentra muy alterada.	Brecha Alegre	Punta
S-3	19.80	60.00	Yeso arcilloso gris-verdoso, con matices blancos, es duro, compacto, denso, de grano medio, cristalino, en ocasiones se pueden apreciar fragmentos angulosos de 1 cm., de lutita parda.	Brecha Alegre	Punta
S-3	60.00	138.90	Yeso brechoso, gris, con algunos tonos verdes, poco duro, masivo, con abundantes fragmentos angulosos, subangulosos de lutita parda y subordinadamente fragmentos alargados de argilita y algunos de dolomita calcárea, el yeso dentro de su masa está impregna	Brecha Alegre	Punta
S-3	138.90	143.00	Anhidrita bandeada con ángulo de 50°, ocasionalmente distorsionada. Presenta dentro de la masa fragmentos de dolomita pequeños y angulosos. La anhidrita tiene grietas rellenas de halita pura, transparente. De 139.90-140.90 aparece una intercalación de	Brecha Alegre	Punta
S-3	143.00	502.00	Brecha de sal gema color gris oscuro con tono blanco, gris claro y pardo rojizo debido al contenido en su masa de anhidrita, argilita y lutita. Los fragmentos son alargados y angulosos a subangulosos con dimensiones de 0.5-5.0 cm y generalmente de 1-3c	Brecha Alegre	Punta
S-4	0.00	11.40	Arcilla plástica, pardo amarillenta con tonos rojos. Desde 4.80 se hace arenosa con fragmentos pequeños de yeso y ocasionalmente de caliza.	Brecha Alegre	Punta
S-4	11.40	15.70	Caliza recristalizada, color gris rojizo, compacta, dura, algo cavernosa con grietas y oquedades rellenas por arcilla.	Brecha Alegre	Punta
S-4	15.70	23.30	Yeso gris oscuro con tonalidades blancas, dureza media, compacto, granos muy finos, cristalino, puro. Desde 17.00-17.30, 18.00-18.40 y 19.80-20.30 se presentan intercalaciones de caliza recristalizada color gris oscuro, dura, compacta con grieta rellena de arcilla	Brecha Alegre	Punta
S-4	23.30	42.90	Yeso brechoso, gris, abundantes fragmentos angulosos-subangulosos de lutita parda y subordinadamente argilita verde. Dureza media. Fragmentos desde 1-3cm de tamaño. Desde 23.70-23.90 arcilla brechosa de color verde con tonos rojizos con fragmentos de y	Brecha Alegre	Punta
S-4	42.90	45.10	Arcilla cársica de color pardo rojizo, plástica, presenta fragmentos de yeso gris verdoso con tamaño hasta 10x10 cm. Contacto inferior ángulo de 20°.	Brecha Alegre	Punta



S-4	45.10	155.10	Yeso brechoso. Se presentan intercalaciones de arcilla de color pardo rojizo plástica y con fragmentos de yeso desde: 53.80-54.10, 54.40-54.60, 57.80-58.10, 60.70-60.90, 77.00-78.80. De 59.90-60.20 yeso cristalino, gris, oscuro, duro, compacto. De 110	Brecha Alegre	Punta
S-4	155.10	500.00	Brecha de sal gema color gris oscuro con tonos blancos, compacta, dureza media. Presenta abundantes fragmentos de anhidrita, y cristales, además de lutita y argilita en menor abundancia. Tienen un tamaño que varía entre 0.5 mm y 3-4 cm, también se observa	Brecha Alegre	Punta
S-5	0.00	3.40	Arcilla parda oscura, plástica, carbonatada.	Brecha Alegre	Punta
S-5	3.40	5.40	Caliza recristalizada, dura, compacta, con numerosas grietas rellenas por calcita, está algo carsificada, arcillosa.	Brecha Alegre	Punta
S-5	5.40	6.10	Yeso gris oscuro, con tonos blancos, duro, cristalino, masivo.	Brecha Alegre	Punta
S-5	6.10	8.00	Yeso gris de granos gruesos, arcilloso, compacto, sus granos son planos, transparentes.	Brecha Alegre	Punta
S-5	8.00	18.70	Yeso brechoso, gris, de granos gruesos con abundantes fragmentos de lutitas de 1-8 cm. Indistintamente y muy subordinado fragmentos de 0.5 cm de argilitas. Sus grietas rellenas de yeso cristalino transparente, A partir de los 11 m. el contenido de frag	Brecha Alegre	Punta
S-5	18.70	21.80	Arcilla cársica, pardo rojiza, algo plástica se observan pequeños cristales de yeso.	Brecha Alegre	Punta
S-5	21.80	26.90	Alternancia de yeso brechoso, gris oscuro, de granos gruesos con arcilla pardo oscura, plástica.	Brecha Alegre	Punta
S-5	26.90	39.70	Yeso brechoso gris. Aparecen algunos fragmentos de dolomita calcárea. De 0.5-1.0 cm su masa está impregnada de arcilla.	Brecha Alegre	Punta
S-5	39.70	41.50	Brecha de caliza, fragmentos angulares de caliza gris claro, grano fino y cemento yeso-arcilla, roca densa, color gris.	Brecha Alegre	Punta
S-5	41.50	43.50	Yeso gris oscuro, cristalino, grano, fino, duro y masivo.	Brecha Alegre	Punta
S-5	43.50	96.30	Yeso brechoso de color gris con tonos blancos, compacto, duro, presenta fragmentos de lutita de color pardo rojizo de 1 a 2 cm y ocasionalmente dolomita. El contacto superior se presenta muy arcilloso. De 54.30-54.80 arcilla cársica de color pardo rojizo	Brecha Alegre	Punta
S-5	96.30	100.40	Arcilla cársica con interestratificaciones muy pequeñas de yeso cristalino color gris, grano fino y yeso brechoso.	Brecha Alegre	Punta
S-5	100.40	118.20	Yeso brechoso. Se observa alternancia de arcilla de color gris oscuro y rojizo, plástica desde: 106.30-106.40, 107.40-107.50, 108.35-108.65. En algunos contactos el ángulo es 0°.	Brecha Alegre	Punta
S-5	118.20	119.00	Anhidrita bandeada gris, dura, compacta, grano fino, contacto superior 20°, pliegues contorsionados en su masa.	Brecha Alegre	Punta
S-5	119.00	128.30	Brecha dolomítica con numerosas grietas rellenas de yeso amarillo translúcido. Brecha arcillosa algo compacta, dura, cemento yeso cristalino.	Brecha Alegre	Punta
S-5	128.30	130.20	Anhidrita bandeada, gris, dura, compacta, cristalina, grano medio, pliegues contorsionados en su masa.	Brecha Alegre	Punta
S-5	130.10	147.50	Brecha de yeso. Los últimos 2 metros en el contacto con la sal está muy alterado y arcilloso. De 132.20-134.40 caliza recristalizada, gris verdosa, dura, compacta, algo brechosa, el contacto inferior tiene un ángulo de 25°. De 133.60-134.00 arcilla cár	Brecha Alegre	Punta
S-5	147.50	500.40	Brecha de sal gema color gris oscuro con tono blanco, gris claro y pardo rojizo debido al contenido de fragmentos de anhidrita, lutita y argilita. Los fragmentos son angulosos a subangulosos, su tamaño oscila entre 1x1 mm a 3 y 4 cm. La brecha es compa	Brecha Alegre	Punta



S-6	0.00	0.60	Cantos rodados de caliza, tamaño 4x4 hasta 10x12 cm.	Brecha Alegre	Punta
S-6	0.60	32.90	Arcilla cársica, color pardo oscuro, plástica con algunos fragmentos de caliza (0.60-2.20). Yeso arcilloso de color gris claro, duro, compacto algo cristalino de granos finos y aciculares. De 7.60-7.90 arcilla cársica color pardo con tonos blancos, alg	Brecha Alegre	Punta
S-6	32.90	44.90	Caliza carsificada, color gris con tonos blancos, dura, compacta, cavernosa, con grietas.	Brecha Alegre	Punta
S-6	44.90	142.20	De 56.10-57.60 arcilla cársica color pardo rojizo, plástica, se observan algunos cristales de yeso. De 57.60-59.00 caliza dolomítica color gris, compacta y dura, cavernosa. De 63.00-63.30 dolomita calcárea, compacta, masiva, reacciona con ácido. De 76	Brecha Alegre	Punta
S-6	142.20	166.45	Yeso brechoso, aumenta su contenido de lutitas, argilitas y anhidritas, este último en mayor abundancia. Estos fragmentos oscilan en tamaño entre 0.5mm y 2x3cm. De 143.10-145.30 arcilla cársica, se observa una pequeña intercalación de dolomita calcárea.	Brecha Alegre	Punta
S-6	166.45	447.40	Brecha de sal gema, con abundantes fragmentos de argilita, lutita y anhidrita, este último en mayor abundancia, el tamaño de los fragmentos oscila entre 0.05mm y 3x4cm. El contacto del yeso y la brecha de sal es transicional, caracterizado por el aumento	Brecha Alegre	Punta
S-6	447.40	457.10	Brecha dolomítica gris oscuro, compacta, dura y cristalizada. El cemento que une a los fragmentos es sal. Los fragmentos tienen tamaño desde 1cm hasta 8 y 20cm. En los 2.70 metros primeros de la intercalación se observa anhidrita bandeada y en los útil	Brecha Alegre	Punta

Brechas con matriz yesífera

Brecha A: Compuesto por bloques calcáreos, caliza dolomitizadas y dolomita de tonalidades que varían desde negro hasta pardo, angulosas, con diámetro que oscilan en el rango de los centímetro .El ordenamiento en el yacimiento es aleatorio. En menor grado se encuentra clastos pequeños de rocas metamórfica. En brechas se ha referido al (J₃-Cn) y solo aflora en la localidad de Turiguanó.

Brecha B: Muy semejante a la anterior, su matriz es muy heterogénea de componente metamórfico. Esta se ubica en el área del núcleo de la estructura de Punta Alegre.

Brecha C: Se caracteriza por una mayor heterogeneidad en su composición fundamental está representada por: carbonato, arenisca, vulcanista y rocas metamórficas limitado al yeso hialino.

Esta aflora en el plano N de Punta Alegre, en una franja de menos de dos Km de superficie.



Brecha D: Predominan los efectos carbonatados. En el resultado de la conjugación de la Ay la B. Esta limitada en su totalidad a la brecha A en la localidad de Turiguanó, en tanto que en Punta Alegre se localiza en el plano meridional al sur de la brecha B.

Afloramientos

Se presentan son mayormente como grandes fragmentos de rocas o bloques sueltos de yeso de 2-20 metros de tamaño, rellenos entre sí por material arcilloso.

En toda la serie de yeso, el último miembro de la sedimentación es la caliza. Esta caliza, actualmente muy precristalizada forma como costras de unos 3 a 20 metros de potencia y unos 10-50 metros de diámetro; en las cimas de las lomas, también en forma de rocas sueltas entra el material arcilloso rodado en las pendientes y llanos. El contacto entre los tipos de yeso así como entre éste y otros tipos de rocas se distinguen bien, no obstante, en ocasiones es gradual. El contacto entre las brechas de yeso y las brechas de sal es bien claro.

El horizonte inferior está constituido por sal gema con inclusiones dentro de su masa de fragmentos alargados, angulosos y subangulosos de anhidrita, lutita, argilita, y, en ocasiones dolomita o caliza dolomítica con dimensiones desde 0.5-5.0 cm.; pero por lo general son de 1.0-3.0 cm.; esto le confiere a la masa de sal un color desde oscuro con tonos blancos hasta pardo-gris. La brecha es compacta, masiva, de dureza media, y el grano, generalmente, es de tamaño medio pero puede llegar a grueso cristalino.

Hasta la profundidad investigada (500 m), no se observan cambios en la calidad de la brecha de sal y el contenido de los componentes se mantiene estable para los diferentes bloques. El contenido de impurezas varía entre 10 y 40%.

Morfología

Se encuentra superficial de las brechas de yeso, no es reflejo de la morfología del techo de las brechas de sal; manteniéndose el techo salino prácticamente horizontal o con ligeras ondulaciones para todo el yacimiento. Así y todo no



conocemos bien la forma del cuerpo salino, ni toda su extensión territorial. La potencia del horizonte salino es conocida hasta 1207 metros de profundidad según el pozo Collazo 1. Los pozos de prospección realizados han quedado colgados a la profundidad de 500 metros. Relacionando todos los trabajos y resultados, el pozo Collazo 1, no puede aclarar por sí sólo la estructura del yacimiento, ni su génesis definitiva. De la relación de existencia de sal con los mínimos gravimétricos es de esperar que la mayor potencia de sal se encuentra por debajo de esta zona de mínimos y conociendo que el techo salino es prácticamente horizontal, entonces, en dicha zona la sal continuará hasta una profundidad mucho mayor que la determinada en la zona donde se perforó el pozo Collazo 1. Así mismo del pozo Collazo I hacia el sur se incrementan los valores de la gravedad hasta llegar a una zona de máximos al nivel del pozo SG-8 y sin embargo, la profundidad del techo del horizonte salino se mantiene estable. En este caso, este incremento de los valores de la gravedad estará relacionado con la disminución de la profundidad de rocas más densas que subyacen al horizonte salino, o sea, una menor profundidad del techo de las dolomitas que yacen por debajo de la sal.

Con relación a la génesis de este yacimiento se han esgrimido dos hipótesis, una lo considera un diapiro y la otra un yacimiento sedimentario redepositado. En correspondencia con los conocimientos geológicos adquiridos sobre la evolución geológica de nuestro país y con la ayuda de los resultados de las investigaciones geofísicas realizadas en la región, ya desde los años 80 tanto los autores del informe del Levantamiento geológico a escala 1:250 000 del territorio Ciego-Camagüey-Las Tunas, 1981, así como Martínez Salcedo en el Informe final sobre la exploración detallada del sector Oriental del yacimiento de sal gema Punta Alegre, 1984 descartan la hipótesis sedimentaria, quedando el yacimiento explicado como un domo salino, según la cual:

la sal primaria se originó en una cuenca evaporítica en el Jurásico superior ,y posteriormente debido al desarrollo geológico de la región quedó emplazada a su posición actual. Es posible que el movimiento de ascenso de las sales comenzara en el Eoceno superior después de la tectogénesis cubana, alcanzando la superficie terrestre durante el Mioceno inferior en que se desborda de la posición media de sus flancos, derramándose plásticamente



sobre una cuenca marina poco profunda englobando en el proceso, fragmentos de sedimentos más jóvenes recién formados. Posteriormente a su derrame sobre el fondo de la cuenca se cubrieron de sedimentos del Mioceno medio, aún no está clara, ya que sería necesario comprobarlo con perforaciones profundas en la posición del pozo P-3 en el perfil A-A' del anexo 4.a.

Clásticas calcárea del eoceno Medio

Al N de las lomas de Turiguanó hay una pequeña elevación constituida por biocalciniditas, biocalcarenitas, calcarenitas, estratificadas en capas de 5 a 20 cm que buzan al ESE unos 20° . Estas rocas yacen por debajo de la caliza del cuaternario, sin que sus relaciones con las brechas descrita anteriormente puedan observarse.

Caliza de Mioceno

Afloran con amplitud alrededor de la loma de Turiguanó y está constituida por caliza coralinas, caliza esquelétales y biocalcarenitas. Al NE de las lomas de Turiguanó forma una elevación de unas 30 m de altura donde buzan al ESE unos 10 a 20 grados. En general son comparables con la formación Güines del Mioceno Medio.

Caliza de Pleistoceno

En los alrededores de la loma de Turiguanó se disponen circundando a la caliza del Mioceno una caliza coralina y un biocalcarenitas. Con restos moleculares con las conchas bien preservadas, que se relacionan con la formación jaimanitas del pleistoceno. Yacen al nivel del mar y están cortadas y alteradas por la acción de las oscilaciones de la marea. Yacen horizontales incluso en el contacto con las rocas más antiguas.

Conglomerados del Pleistoceno

En los alrededores de Punta Alegre las brechas, con matriz de yeso subyacen discordantemente a los conglomerados. Sus clastos son de las rocas que afloran en la loma de Punta Alegre, regularmente rodeado y su diámetro no supera los pocos centímetros. Su matriz es calcárea de color rojo.



A menudo se han desarrollados pisolitos y estructura concreciónale alrededor de los núcleos escolásticos. Esta rocas con unos 2ó3 m de espesor se cubre por sedimentos resientes y del Pleistoceno Tardío.

La serie yeso alcanza en la zona llanas una potencia de 160.00 m en el este y 250.00 m al oeste .En la llanuras sur según datos no exactos del pozo collazo 1 tiene alrededor de 440.00 m.

Los perfiles geológicos transversales señalan que el límite entre el yeso y la sal en la parte central de las lomas y el pozo collazo 1 tiene un buzamiento entre 8 y 10° S.

Las series sal no fue alcanzada por ninguno de los casos en que trabajos anteriores solamente en el poza collazo 1, en la llanura sur corto más de 700.00 m de brechas salina. Estos datos sumados con los pozos de explotación surgieren estimar potencias mayores de 500,00 m como espesor medio para el yacimiento. El contacto entre ambas series es visible.

La serie yeso en sus últimos metros antes del contacto con la sal son salados y en ocasiones presenta cristales de sal bien observado microscópicamente.

Se representa varios típicos de yeso y ocasionalmente caliza negra o arcillosa brechados.

Las series sal se representa en los sectores noreste y este a profundidades entre 143.00 y 161.00 m a partir de la superficie del terreno estando en la parte oeste del lomerío más abajo, 172.00 – 179.00 m.

Magmático y Volcánico

En la región del yacimiento no se observan en las superficies, ni tampoco se han detectado en los pozos perforados índices de tales fenómenos. Existen solamente fuera del área de yacimiento, hacia el suroeste y a más de 30 a 35 Km cuerpos de gabros y serpentinitas.

Tectónica

En la superficie la tectónica se presenta confusa, pues a primera vista surgió la presencia de un domo salino, por las características morfológicas de loma del yeso. También dentro del lomerío aparecen depresiones estructurales de 5 a 7



m en números de forma circular o algo ovalada con un diámetro de 300 m. Resultados de perforaciones en estas depresiones demostró que el relieve del techo de la sal no tiene relación con esta estructura.

Los buzamientos y rumbos no tienen un carácter general y cambian en cada afloramiento en dependencia de la situación del mismo, por lo que en realidad cada afloramiento en forma de estructura positiva del relieve bloques o límites de caliza o yeso bastante grande. No obstante en los terrenos llanos todos los afloramientos de caliza presentan en su mayoría una azimuth de buzamiento de 280° a 310° con ángulos de buzamiento general.

La forma del cuerpo de sal se conoce poco, pero se asume que sea un lente estratificado con más de 500 m de potencia, por un largo de 10 Km y un ancho de 3.5 Km.

Este yacimiento de sal de Punta Alegre representa, en sus límites conocidos hasta ahora un cuerpo delimitado en su contorno superior como un cuerpo horizontal o poco inclinado a unos 5° o 9° en la parte sur.

2.4 Propiedades físico – mecánicas y químicas del mineral y las rocas encajantes

En lo que representa a las propiedades físicas de las rocas en el yacimiento de sal no se ofrece datos de los trabajos consultados excepto el peso volumétrico empleado para el cálculo de la reserva que en magnitud es de 2.31.

Existen datos acerca de estas propiedades en la capa suprayacente (serie yeso) y según Yencek, en 1976 son:

- Ø Peso volumétrico 2.29 g/cm³
- Ø Absorción de 1% (yeso puro), 2.5% de (yeso brechado)
- Ø Trituración: muestra poca variabilidad el contenido de fracciones finas, está formado por el yeso puro y el yeso brechado alterado.
- Ø Generalizando el corte en el área propuesta para estudio, el grado esperado de dureza de la roca que daría en la siguiente categoría:
- Ø Serie yeso: categoría general IV
- Ø Serie sal: categoría general IV

Para las áreas la categoría general también sería IV.



Estos datos son los obtenidos de la información existente, pues más detallados no se han realizado en el yacimiento.

En el rango de 2.20-2.24 está el 22% de los valores y en el de 2.30-2.35 el 26%. Esto nos indica que no existe una alta dispersión de los valores.

El 85% de las determinaciones de la resistencia a la compresión seca, se encuentra entre los intervalos de resistencia de 200-300 Kg/cm², lo que indica una alta homogeneidad de este parámetro, de donde podemos deducir que las cámaras de explotación por dilución subterránea bandean la misma fortaleza que la sal gema, que a su vez es el mineral de mayor fortaleza y estabilidad minera que existe.

El peso específico real determinado dio un resultado promedio de 2.77 g/cm³.

Composición cualitativa del mineral, cumplimiento de las exigencias requeridas

La materia prima utilizada es la llamada serie sal, la cual está presentada por una brecha salina compuesta y clastos de anhidrita, dolomita, calizas, arcilla, etc. Con dimensiones generales de 1 a 2 cm. En esta serie aparece intencionalmente intercalaciones de composición similar a la de los clastos de la brecha, siendo su potencia de algunos cm.

Los clastos como las intercalaciones se consideran como materiales estériles que no son perjudiciales, por que al ser insolubles sedimentan casi totalmente en la forma de las cámaras en el proceso extractivo.

La materia perjudicial está contenida en la propia sal, pues son también sales solubles, fundamentalmente de: Ca, Mg, K, So₄. Estas sales se eliminan durante la cristalización fraccionada o por beneficio químico aunque en la evaluación del yacimiento se tendrá en cuenta las especificaciones de esta norma para la recomendaciones en base a los objetos de la tarea geológica, así se tiene en cuenta que las sales en su estado normal (salmuera) constituye la materia prima y no el producto final.



Según esto; la sal contenida en la brecha salina deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Ø NaCl 96% mínimo
- Ø Ca⁺² 28% mínimo
- Ø So⁻² 1,5% máximo
- Ø K⁺ 0,3% máximo
- Ø Mg⁺² 0,1% máximo

Y que el contenido de sal en la brecha salina (rendimiento) sea como mínimo del 60% para el yacimiento.

2.5 Características hidrogeológicas

La mayor parte del yacimiento está cubierto por sedimentos mullidos (arenociliosos) que permiten infiltrarse bastante rápido al agua de las precipitaciones a las brechas de yeso o donde estas últimas directamente se exponen por estar ausente la cobertura de sedimentos. En épocas de lluvias prolongadas al disminuir la capacidad de infiltración éstas se empantanar en las zonas llanas.

Realmente no existe agua potable en el yacimiento. El agua de los pozos y yacimiento es yesífera. Por datos de las exploraciones del yeso se conoce que hacia las lomas se desarrolla activamente el Carso hasta la cota +10 de profundidad.

Se pueden distinguir dos series de rocas según sus propiedades hidrogeológicas:

-Brechas de yeso, indiscutiblemente acuíferas, por sus grietas y cavernas y material mullido de relleno cársico corre agua o contiene la misma. En las zonas elevadas el nivel freático está en la cota +10 m y en las zonas llanas puede estar desde +1 m hasta +5 m en épocas de seca. Solamente en las partes más superficiales de estas brechas se han observado fugas o escapes del líquido de perforación, en el resto del corte de esta litología no hubo pérdida de circulación, por ello cualitativamente el coeficiente de filtración es pequeño.



-Brechas de sal gema: no acuíferas. Durante la perforación no hubo ni pérdidas ni aumento del líquido de perforación.

2.6 Economía y vías de comunicación.

Existen en la región de Punta Alegre varias industrias de importancia económica marcadas tales como: el central azucarero Máximo Gómez, canteras e instalaciones para la explotación de yeso, cooperativas pesqueras, algunas vaquerías y plantaciones cañeras y de frutos menores.

Actualmente Punta Alegre tiene buenas vías de comunicaciones lo que se refleja en la carretera Chambas-Punta Alegre y Falla - Central Máximo Gómez, las cuales se enlazan con Morón continuando hasta la carretera central en la ciudad de Ciego de Ávila la que a su vez se comunican con el circuito norte.

Por ferrocarril existe una línea de vía ancha que comunica los centrales azucareros Enrique Varan (Fallas) y Máximo Gómez (Punta Alegre) y que a su vez tiene conexión con los ferrocarriles del circuito norte y ferrocarril central.

Por vía marítima existen los muelles de la cooperativa pesquera y los del central azucarero. Para el suministro de energía eléctrica se encuentra conectada por líneas de alta tensión al sistema nacional de distribución de electricidad.

Los yacimientos más cercanos son la propia cobertura del yacimiento de sal gema, el yeso, y el yacimientos de calizas Chambas a unos 25 Km de la porción SO del yacimiento y 40 Km del sector oriental.



CAPITULO III Método de explotación recomendado

Dadas las condiciones específicas de este yacimiento, constituido por brechas de sal gema con un 10-40 % de impurezas, con una potencia de cubierta de más de 150 m, tanto en la extracción minera a cielo abierto como la minería subterránea resultan métodos muy costosos para la explotación, teniendo en cuenta el tipo y precio de este mineral.

El método, apropiado para la extracción de este yacimiento, es el de extraer la sal por disolución y obtención de la salmuera, el cual es uno de los métodos geotecnológicos, además es menos costoso, posibilita que se produzca un beneficio primario, al quedar en las cámaras de extracción los materiales estériles y mayor parte de los restos insolubles presentes en la brecha de sal gema.

El método de explotación por disolución es aplicable a los yacimientos donde no resulta factible la extracción desde el punto de vista económico por medio de métodos de minado convencional, bien debido a la calidad del mineral o de horizontes que resulten inaccesibles. Las técnicas de minado por disolución son ampliamente utilizadas a nivel mundial, siendo las halitas los minerales más ampliamente minados por este método, aunque otros minerales como uranio, cobre, azufre, hierro, diamante y otros han encontrado esta técnica como vía alternativa de explotación.

Entre los países con experiencia en la extracción de sal utilizando técnicas de minado por disolución se encontramos a: España, Estados Unidos, Rumania, Checoslovaquia, países de la ex Unión Soviética, Holanda, Canadá, etc.

3.1. Tecnología de explotación mediante minado por disolución.

El minado por disolución requiere para la obtención del producto deseado (salmuera saturada), pozos de acceso para alcanzar los horizontes que serán extraídos, el suministro de agua suficiente para lograr las producciones



deseadas y el desarrollo de una cámara subterránea, por lo tanto, el proceso de minado por disolución depende en gran medida de tres factores:

- Condiciones geológicas del yacimiento
- Construcción de los pozos de explotación
- Control de la disolución

3.2 Construcción de los pozos de explotación.

Para llegar al mineral, y efectuar la explotación del mismo mediante disolución, es necesaria la perforación de pozos de acceso.

Los pozos se iniciarán con un diámetro de 600 mm hasta la profundidad de 6 m. Posteriormente se continuará perforando con diámetro de 325 mm hasta la profundidad de 170 m que atraviese todas las capas de yeso y corte 20 m dentro de las brechas de sal. Se continuará perforando con diámetro de 245 mm hasta la profundidad de 500 m, que se a la que están categorizadas las reservas para su asimilación industrial. El pozo será encamisado con camisas de 245 mm a toda la profundidad. Todo el espacio entre la camisa de 600 mm y las de 245 mm será cementado con hormigón armado, mientras que el espacio entre el diámetro 325 mm y la camisa 245 mm será cementado con inyección de cemento a presión. Durante el proceso de fraguado del cemento, las camisas de 245 mm deben rotarse cada cierto tiempo para evitar que las mismas se peguen al cemento cuando se endurezca, pues durante el proceso de explotación estas deben levantarse frecuentemente.

Una vez fraguado el cemento, se bajará un tren de camisa de 195 mm y dentro de esta otro de tren de camisas de 127 mm.

Las camisas de 245 mm se elevarán 15 m del fondo del pozo. Las camisas 195 mm quedarán 2-3 m por debajo de la camisa de 245 mm, y la de 127 mm quedará a una distancia de 3-4 m del fondo del pozo.



En la boca del pozo deben quedar sellados los espacios anulares entre las tuberías 245 y 195 mm, así como entre las de 195 y 127 mm, con tubos de acceso a cada uno de estos espacios. Por el espacio entre 245 y 195 mm, se inyectará líquido aislante (aceite, keroseno u otro), mientras que entre los tubos 195 y 127 mm, y por dentro del de 127 mm, circulará agua, ya sea de forma directa o inversa.

En la superficie, alrededor del pozo se construirá una plataforma de hormigón para proteger el pozo durante las operaciones y garantizar una adecuada higiene.

3.3 Explotación de los pozos

La explotación de los pozos contempla dos etapas:

- 1- Preparación de la cámara.
- 2- Extracción de la salmuera.

Preparación de la cámara.

La preparación de la cámara contempla tres fases, donde se crean las condiciones necesarias para que paulatinamente vaya aumentando el diámetro y a la vez la concentración de la salmuera.

Primera fase.

Con las tuberías colocadas dentro del pozo en la posición descrita en el capítulo anterior, se inyecta agua con circulación inversa, o sea, se inyecta agua entre las tuberías de 127 y 195 mm, y se extrae una salmuera no saturada por el tubo de 127 mm (ver figura 1). Durante esta fase, la inyección de agua se realiza con un caudal de $25\text{m}^3/\text{h}$, la dirección de la disolución de la sal es en sentido lateral, debido a que por el espacio entre los tubos de 245 y 195 mm se inyecta el líquido aislante, con el cual se controla el desarrollo de la



cámara. Esta fase termina cuando la caverna arriba a un diámetro de 0.8 del diámetro máximo durante la explotación que es aproximadamente 60 metros.

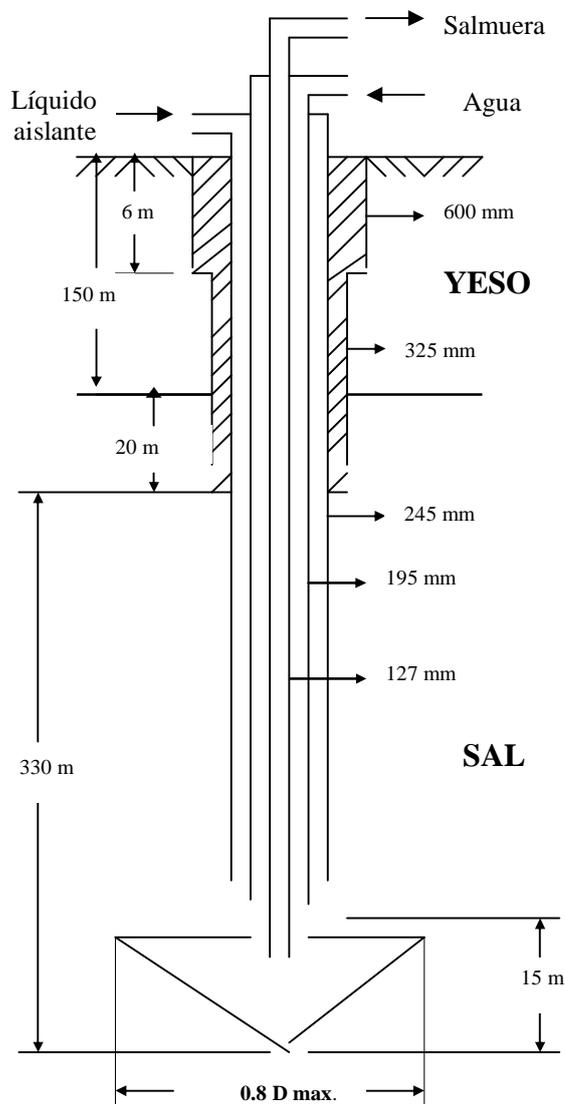


Fig. 2. Primera fase. Preparación de la cámara de explotación.



Segunda fase.

En esta fase se elevan las tuberías de diámetros 245 mm hasta 20 m por debajo del techo de la sal, y los tubos de 195 mm 2-3m por debajo del anterior. La tubería 127 mm se alzará 15 metros del fondo del pozo y se circulará agua de forma directa, o sea, se inyectará el agua por la tubería de 127 mm y se extrae salmuera no saturada entre las tuberías de 127 y 195 mm. Entre los tubos de 245 y 195 mm se inyecta líquido aislante. Durante esta fase se inyecta agua con caudal de $25 \text{ m}^3/\text{h}$, y se formará una caverna cilíndrica de 5 metros de diámetro por encima de la caverna creada en la fase anterior (ver figura 2).

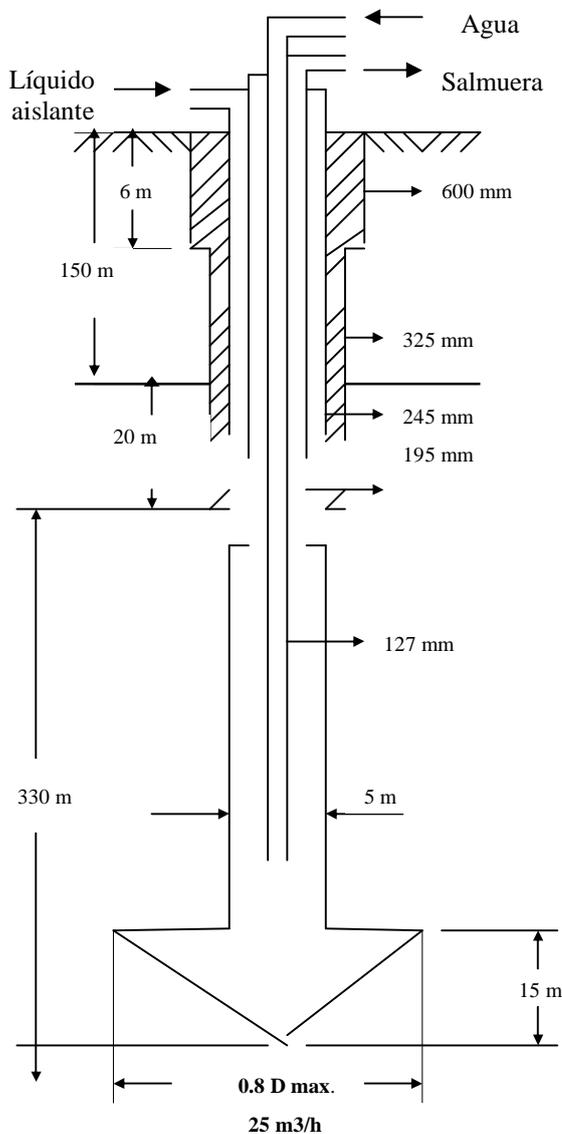


Fig.3. Segunda fase. Formación de un cilindro.



Tercera fase.

En la tercera fase la tubería de 195 mm es bajada a 15 metros por encima de la posición que tenía la tubería de 127 mm en la fase anterior. El agua se hará circular en forma inversa y se inyectará el líquido aislante por el tubo de 245 mm.

En estas condiciones el pozo estará listo para su explotación. (ver figura 3)

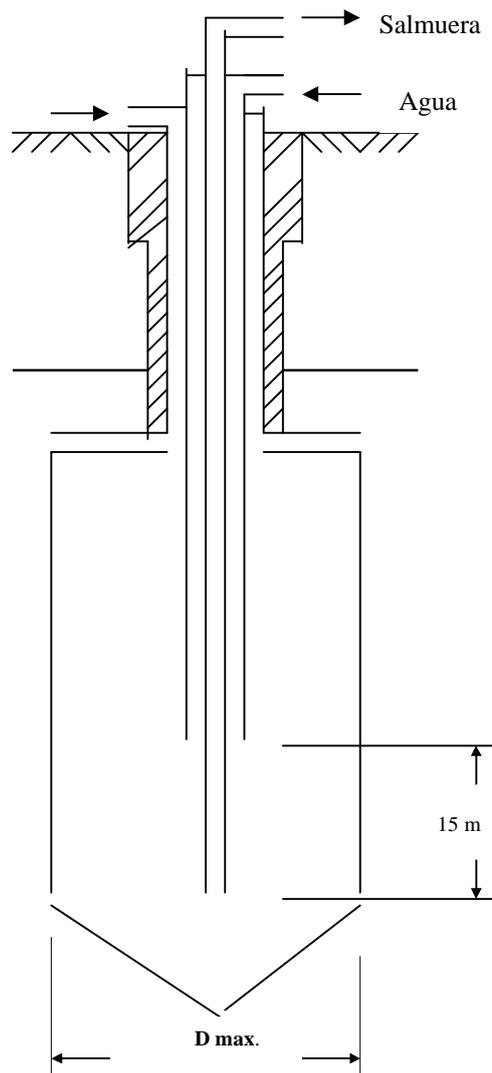


Fig. 4. Tercera fase. Cámara en explotación.



Durante la explotación, la cámara irá incrementando su diámetro hasta alcanzar los 60 metros. Bajo estas condiciones se podrá ejecutar un bombeo de inyección con un caudal de hasta 50 m³/h, alcanzando la salmuera una saturación tal que alcanza los 300 kg/m³ de Na Cl, incluso más.

Una vez alcanzado el diámetro máximo, se procederá a elevar 15 metros la instalación de los tubos 127 y 195 mm, continuando posteriormente la extracción de salmuera saturada. Estas operaciones se continuarán realizando hasta que finalmente se obtendrá un cilindro de 60 metro de diámetro desde el fondo del pozo hasta 20 metros por debajo del techo de la sal.

3.4 Control de la disolución.

Durante la minería por dilución, es necesario seguir el desarrollo de la caverna cilíndrica que se forma con los siguientes métodos.

- ✓ Cálculo del incremento del volumen de la caverna basado en la masa de sal producida.
- ✓ Chequeo del nivel del líquido aislante usando sondeos de densidad gamma y métodos de presiones diferenciales.
- ✓ Análisis de la composición química de la sal disuelta.
- ✓ Desarrollo de la forma de la caverna con métodos de ultrasonido, usando ecómetro.

Si el desarrollo de la caverna durante el proceso de disolución, está en concordancia con los parámetros estimados, el proceso de explotación debe continuar. Si se observa alguna desviación en los parámetros, entonces la producción debe detenerse. En este caso los parámetros deben ser recalculados y cambiados, como son la velocidad de disolución de sal, las profundidades de las tuberías, el nivel del líquido aislante y otros.



Sin control de cámaras con cálculos e instrumentos, es imposible ejecutar un correcto desarrollo de minería por dilución.

La distancia entre pozos de explotación debe ser de 120 metros como mínimo, dejando pilares de seguridad entre las cámaras de 60 metros.

3.5 Tecnología del proceso

Si el contenido de NaCl de salmuera, es de 240 Kg/m^3 para el bloque de reservas a explotar. Se estima un caudal de explotación de $25 \text{ m}^3/\text{h}$ por pozo con un régimen de trabajo de 20 horas diarias, lo que nos daría una producción de 120 toneladas diarias de sal, y si se consideran 300 días del año en explotación, serían 36 000 toneladas anuales por pozo, que para dos pozos serían 72 000 toneladas, suficientes para cubrir la demanda.

Considerando las pérdidas por filtración en el tanque sedimentador y en el de salmueras, por extracción en los cristalizadores, en la planta de lavado y apilado, y en la planta de elaboración cuando se obtiene sal por evaporación solar, dos pozos no serían suficientes, ya que se necesitarían 79 800 toneladas de NaCl, entrando al sedimentador para al final obtener 50 000 toneladas.

En caso de una refinería por evaporación térmica solo se considera las técnicas por filtración en el tanque sedimentador y en el de salmuera y aproximadamente un 2% en el proceso de refinación, y con $332\,000 \text{ m}^3$ de salmuera se lograría producir 77 000 toneladas de sal.

Si el contenido de NaCl es 300 kg/m^3 , con los $332\,000 \text{ m}^3$ de salmuera bombeado, se obtendrían 62 500 toneladas de sal evaporando las salmueras en los cristalizadores, con planta de lavado y apilado, y planta de elaboración. Con esta misma concentración y con refinería por evaporación térmica se obtendría 96 000 toneladas.



Sin embargo, con tres pozos en explotación se lograrían 450 000 m³ de salmueras anuales, suficientes para cubrir la demanda de 332 000 m³ para producir las 50 000 t de sal.

Si los tres pozos se explotaran simultáneamente, la demanda de salmueras serían cubierta en aproximadamente 195 días de trabajo. También con tres pozos con explotación alterna, daría tiempo a efectuar operaciones de mantenimiento y de limpieza sin que se afecte el proceso productivo: por roturas, elevación de tuberías, mantenimiento en pozos, estaciones de bombeo y la red de acueductos.

El proceso de obtención y elaboración de la sal, se analizará de acuerdo a las variantes siguientes:

- Ø Cristalización por evaporación solar y planta de elaboración de sal.
- Ø Refinación de la sal por evaporación térmica.
- Ø Con contenidos de NaCl de 240 y 300 kg/m³ en las salmueras.

El producto final responderá a las especificaciones de calidad de la sal grado A, según la norma vigente.

La sal será fortificada con los aditivos siguientes:

- Ø Yodato de potasio
- Ø Fluoruro de potasio
- Ø Anti humectante

La sal se envasará en bolsas de polietileno



Capítulo IV Cálculo de los Pilares diseñados en el proyecto

Introducción

El objetivo de este trabajo de diploma es calcular las dimensiones de los pilares de techo e intercámara diseñados para la explotación por disolución del yacimiento Punta Alegre con lo cual se podrá argumentar científicamente las dimensiones de los mismo, al tiempo que tendremos una idea de cómo se comportarán en el tiempo y de esa forma mediante otros estudios poder prevenir la ocurrencia del fenómeno de la subsidencia.

Para la realización de estos cálculos se tomó en cuenta el modelo que representa este macizo (espesor de yeso y el yacimiento de sal gema), así como las diferentes metodologías de cálculo e hipótesis dentro de las cuales esta:

- Ø Cálculo por Resistencia de los materiales.
- Ø Cálculo de Protodiakonov basado en el procedimiento de la formación de la bóveda de equilibrio.
- Ø Cálculo de W. Ritter basado en el procedimiento de la bóveda de equilibrio.
- Ø Hipótesis de la viga o placa según Slessarev.
- Ø Pruebas para determinar que el Pilar Intercámara (entre tanque) cumple las condiciones de sostenimiento.
- Ø La proporcionalidad entre la distancia de la cámara y el diámetro de la cámara depende de la profundidad en la minería por disolución.
- Ø Cálculo de la presión en la pared del pozo por Protodiakonov.
- Ø Cálculo del espesor de hormigón monolítico del encamisado del pozo.
- Ø Análisis de los resultados.

El yacimiento los podemos considerar como un medio homogéneo e isotropito a partir del grado de compactación y cohesión que presenta en la distribución de sus propiedades físico-mecánicas y físico-químicas. El macizo de yeso está compuesto por diferentes paquetes de brechas cuyas propiedades se aproximan bastantes a un medio cuasi isotropito no homogéneo, sin embargo podemos en ausencia de otros datos asumirlo como homogéneo a partir de la potencia 150m y la ausencia de fuertes afectaciones hidrogeológicas.



Para el desarrollo de los cálculos proponemos hacerlo según el siguiente orden:

- ✓ Pilar de techo
- ✓ Pilar intercámara
- ✓ Presión sobre las paredes del pozo tecnológico.

4.1 Cálculo de la presión sobre el pilar de techo

4.1 a) Cálculo por Resistencia de los materiales

Si el diámetro de la cámara es igual a 70 m y que el diámetro de la tubería es de 1m, entonces el radio será 35 m donde este va hacer desde la pared de la tubería hasta la pared de la cámara.

Para obtener la masa del yeso será

$$m = V \times \gamma_1$$
$$m = 576975 \times 2,32$$
$$m = 1338582t$$

Suponiendo que este es un (cilindro).

$$V = A \times h$$
$$V = 3846.5 \times 150$$
$$V = 576975m^3$$
$$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$
$$A = \frac{3.14 \times (70)^2}{4}$$
$$A = 3846.5m^2$$

Para Calcular la carga distribuida del yeso que actúa en el pilar de techo de la cámara es:

$$q = \frac{m}{A} \times g$$
$$q = \frac{1338582}{3846.5} \times 10$$
$$q = 348t$$

Donde:

V → Volumen del yeso que actúa sobre el pilar de techo, m³.



m → Masa del yeso actuante sobre el pilar de techo, t.

A → Área del cilindro, m^2 .

g → Aceleración de la gravedad, 10 m/s^2 .

γ_1 → Densidad del yeso, 2.32 t/m^3

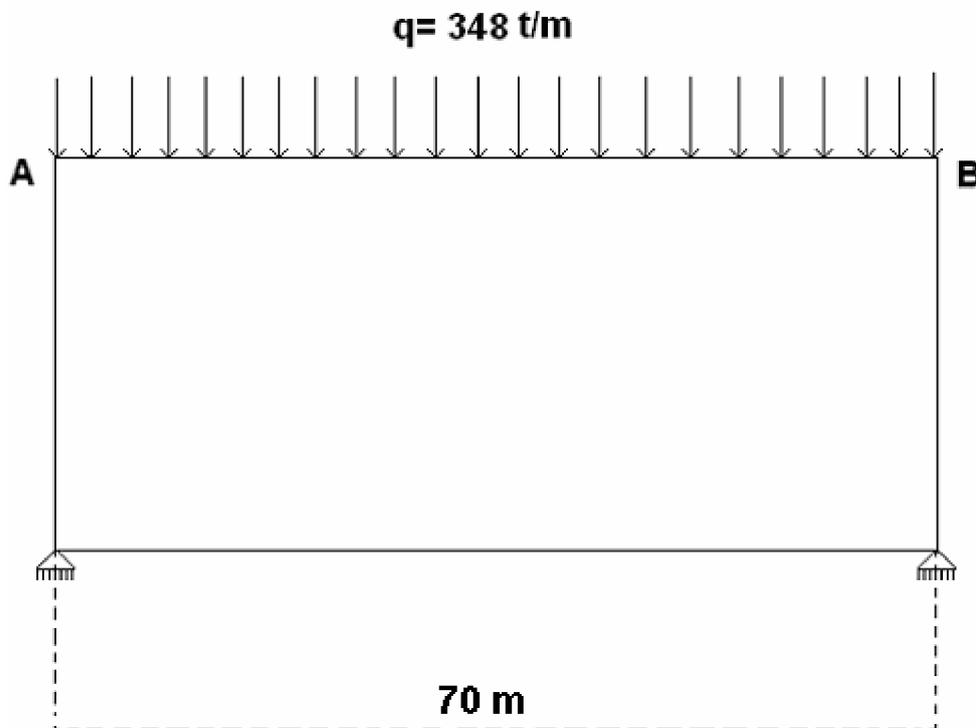


Fig. # 5 Esquema de carga sobre una cámara de disolución

Calculo para hallar la carga concentrada del yeso que actúa sobre el pilar de techo de la sal gema

$$Q_c = \frac{q \times L}{2}$$

$$Q_c = \frac{348 \times 70}{2}$$

$$Q_c = 12180t$$

Donde:

L → Diámetro de la cámara, 70 m .

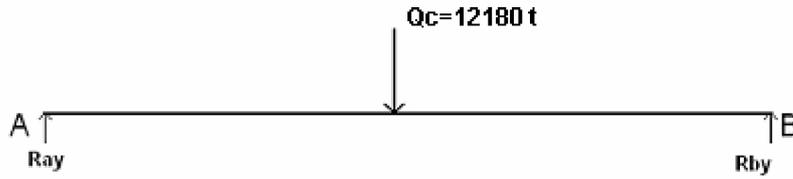
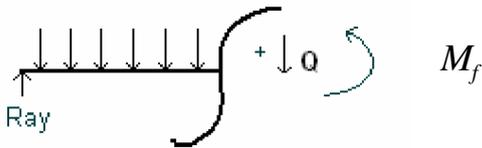


Fig. # 6

$$\begin{aligned} \sum M_A = 0 \uparrow + \\ R_{By} \times 70 - Q_C \times 35 = 0 \\ R_{By} = 12180 \times \frac{35}{70} \\ R_{By} = 6090t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum F_y = 0 \uparrow + \\ R_{By} + R_{Ay} - Q_C = 0 \\ R_{Ay} = Q_C - R_{By} \\ R_{Ay} = 12180 - 6090 \\ R_{Ay} = 6090t \end{aligned}$$

Corte I para obtener el momento flector (M_f)



$$\begin{aligned} \sum M_C = 0 \\ M_f + q \times x^2 / 2 - R_{Ay} \times x \\ M_f = R_{Ay} \times x - q \times x^2 / 2 \end{aligned}$$

Para cuando las $x \leq 0 \leq 35$

$$x = 0$$

$$M_f = 0$$

$$x = 35$$

$$M_f = 6090 \times 35 - 348 \times \frac{(35)^2}{2}$$

$$M_f = 0$$



Para obtener la carga cortante en el pilar de sal gema (Q_T)

$$\sum F_y = 0 \quad + \downarrow$$

$$Q_T + Q_C - R_{ay} = 0$$

$$Q_T = R_{ay} - Q_C$$

$$Q_T = 6090 - 12180$$

$$Q_T = -6090t$$

Para hallar el momento flector máximo ($M_{f \max}$)

$$M_{f \max} = \frac{q \times L}{2}$$

$$M_{f \max} = \frac{348 \times 70}{2}$$

$$M_{f \max} = 12180t \times m$$

4.1 b) Criterio de la carga total

$$P = Q - 2f$$

$$P = 31320 - 2 \times 87$$

$$P = 31146t / m$$

$$f = \lambda \times \gamma \times H$$

$$f = 0.25 \times 2.32 \times 150$$

$$f = 87t / m^2$$

$$\lambda = \text{tag}^2 \frac{90 - \rho}{2}$$

$$\lambda = \text{tag}^2 \frac{90 - 63}{2}$$

$$\lambda = 0.25$$

Peso del paralepipedo.

$$Q = B \times H \times \gamma$$

$$Q = 70 \times 150 \times 2.32$$

$$Q = 24360t / m$$



Donde:

f → Fricción litostática.

P → Carga total

γ → Masa volumétrica de el yeso 2.32 t/m³.

λ → Coeficiente de empuje lateral

H → Profundidad de los trabajos =150 m

Q → Peso del paralelepipedo, t/m.

B → Ancho del paralelepipedo =70 m

4.2Calculo de las dimensiones del pilar de techo

Para calcular el espesor del pilar de techo de sal gema (A_c)

$$A_c = \frac{1}{2} \times \gamma_a \times \frac{D^2}{R_c}$$

$$A_c = \frac{1}{2} \times 2.77 \times \frac{(70)^2}{2000}$$

$$A_c = 3.39 \approx 4m$$

Donde:

γ_a → Densidad de la sal gema del pilar de techo = 2.77 t/m³

D → Ancho de la cámara =70 m

R_c → Resistencia de la roca al corte = 2000 t/m²



Calculo de Protodiakonov basado en el procedimiento de la bóveda de equilibrio para el yeso.

En este caso se considero que en el contacto yeso sal, en el yeso se forma la bóveda de equilibrio, por lo que la carga que actúa sobre el pilar de sal está representada sólo por el material contenido en dicha bóveda y para esta condición se determina para diferentes factores de seguridad cual es ancho de la cámara admisible.

$$P = \frac{4}{3} \times \gamma_1 \times \frac{a^2}{f}$$

$$\frac{4}{3} \times \gamma_1 \times \frac{a^2}{f} = 2a \times \sigma_t \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{1}{f} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{1}{f} \right)^4 \right]$$

$$\frac{4}{3} \times 2.32 \times \frac{a^2}{2} = 2a \times 12 \times \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{1}{1.5} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{1}{1.5} \right)^4 \right]$$

$$1.55a^2 = 2a \times 14.61$$

$$a = 18.68m$$

En la tabla podemos observar los valores que toma la luz del pilar de las cámaras para los diferentes valores de la resistencia y el coeficiente de seguridad (para el yeso).

Tabla #2

Coeficiente de seguridad (n)	Resistencia a la tracción (δ_t), t/m	Diámetro del pozo (2a), m
5	12	37
3	20	62.8
2	30	94

Como se puede observar en la mediada que el coeficiente de seguridad es menor el diámetro de la cámara es mayor, sin embargo podemos conseguir que con un coeficiente entre 2 y 3 se encuentra el ancho asumido en el proyecto lo que satisface la condición de seguridad.



Calculo de Protodiakonov basado en el procedimiento de la bóveda de equilibrio para la sal gema.

En este caso se considera que la capa de yeso es autoportante y no transmite carga al pilar de sal por lo que solo se considera que la carga que actúa sobre el pilar de sal es el peso del volumen de sal contenido en la bóveda.

$$P = \frac{4}{3} \times \gamma_a \times \frac{a^2}{f}$$

$$\frac{4}{3} \times \gamma_a \times \frac{a^2}{f} = 2a \times \sigma_t \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{1}{f} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{1}{f} \right)^4 \right]$$

$$\frac{4}{3} \times 2.77 \times \frac{a^2}{2} = 2a \times 12 \times \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{1}{2} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{1}{2} \right)^4 \right]$$

$$3.69a^2 = 2a13.69$$

$$a = 7.42m$$

En la tabla podemos observar los valores que toma la luz del pilar de las cámaras para los diferentes valores de la resistencia y el coeficiente de seguridad (para la sal gema).

Tabla # 3

Coeficiente de seguridad (n)	Resistencia a la tracción (δ_t), t/m	Diámetro del pozo (2a), m
5	12	14.87
3	20	24.77
2	30	37.11

Este análisis se realizó partiendo de que el pilar de techo tiene forma plana, como una placa a todo el ancho de la cámara, sin embargo los resultados obtenidos nos indican que el techo de la cámara no debe tener el mismo ancho que por el fondo, por lo que es más recomendable asumir formas gíbalas, en este caso con diámetro desde 14m hasta 37m con lo que se garantizaría una mayor estabilidad, es necesario significar que los proyectistas del sistema de explotación al emplear el método de los elementos finitos consideran que las cámaras no tienen forma regular, cuestión también recogida en la literatura especializada.



Donde:

$a \rightarrow$ Semiancho de la cámara, m.

$\sigma_T \rightarrow$ Resistencia a la rotura (ver valores en la tabla1)

$\gamma_1 \rightarrow$ Densidad del yeso =2.32t/m³

$\gamma_a \rightarrow$ Densidad de la sal gema =2.77t/m³

Calculo de W. Ritter basado en el procedimiento de la bóveda de equilibrio para la sal gema.

En la teoría de de la formación de la bóveda se puede ver en el fundamento de Ritter, según la cual, se plantea que la esencia de formación de la bóveda esta dada por la rotura entre su núcleo con respecto al resto del macizo a causa del peso propio de la roca contenida en dicho núcleo.

$$P = \frac{2}{3} \gamma_a \times d \times h$$

$$P = \frac{2}{3} \times 2.77 \times 70 \times 154$$

$$P = 19907.07 \text{ t/m}$$

Condición de equilibrio

$$F' = F - P \leq 0$$

$$F = d \times \gamma_a \times \left(\frac{d^2}{4\mu} - \mu \right)$$

$$F = 14.4 \times 2.77 \times \left(\frac{70^2}{4 \times 3.61} - 3.61 \right)$$

$$F = 13391.41 \text{ t/m}$$

$$\mu = \frac{\sigma_T}{\gamma_a}$$

$$\mu = \frac{1}{2.77}$$

$$\mu = 3.61$$

Sustituyendo:

$$F' = 13391.41 - 19907.07 \leq 0$$

$$F' = -6515.66 \text{ t/m} \leq 0$$

Con lo que se cumple la condición de equilibrio planteada por Ritter para estos casos, con una considerable reserva de estabilidad.



Calculo de W. Ritter basado en el procedimiento de la bóveda de equilibrio para el yeso.

$$P = \frac{2}{3} \gamma_1 \times d \times h$$

$$P = \frac{2}{3} \times 2.32 \times 70 \times 154$$

$$P = 16673.07 \text{ t/m}$$

$$\mu = \frac{\sigma_T}{\gamma_a}$$

$$\mu = \frac{1}{2.77}$$

$$\mu = 3.61$$

Condición de equilibrio (W Ritter):

$$F' = F - P \leq 0$$

$$F = d \times \gamma_1 \times \left(\frac{d^2}{4\mu} - \mu \right)$$

$$F = 14.4 \times 2.32 \times \left(\frac{70^2}{4 \times 3.61} - 3.61 \right)$$

$$F = 11215.91 \text{ t/m}$$

Sustituyendo:

$$F' = 11215.91 - 16673.07 \leq 0$$

$$F' = -5457.16 \text{ t/m} \leq 0$$

Con lo que se cumple la condición de equilibrio planteada por Ritter para estos casos, con una considerable reserva de estabilidad.

Donde:

F' → Es la presión litostática abovedada, t/m.

F → Presión sobre el techo plano, t/m.

d → Luz de la cámara, m.

γ_a → Densidad de la sal gema, t/m³.

μ → Coeficiente de poisson.

σ_T → Resistencia a la rotura de la sal gema, $\sigma_T = 1 \text{ kg/cm}^2$



Hipótesis de la viga

Situación para el techo de la excavación por (slesanu) donde podemos observar los estados limite que tomara la viga para cada caso.

- **Primer estado limite** (En la sección peligrosa en los extremos de la mena $t=nula$).

a) Considerando la viga libremente apoyada.

$$L_1 = \sqrt{\frac{4}{3} \times \frac{R_c \times h}{\gamma}}$$

$$L_1 = \sqrt{\frac{4}{3} \times \frac{2000 \times 4}{2.77}}$$

$$L_1 = 62.06m$$

b) Considerándola empotrada.

$$L'_1 = \sqrt{2 \times \frac{R_c \times h}{\gamma}}$$

$$L'_1 = \sqrt{2 \times \frac{2000 \times 4}{2.77}}$$

$$L'_1 = 76m$$

- **Segundo estado limite** (Caracterizado por el momento en que la roca de techo se produce mayor deformación sin la destrucción de su continuidad).

a) Considerándola la viga libremente apoyada, con la acción de una carga uniforme mente distribuida considerándola la viga empotrada con la acción de una carga uniforme mente distribuida.

$$L_2 = \sqrt{2 \times \frac{R_c \times h}{\gamma_a}}$$

$$L_{2,2} = \sqrt{\frac{8}{3} \times \frac{R_c \times h}{\gamma_a}}$$

$$L_2 = \sqrt{2 \times \frac{2000 \times 4}{2.77}}$$

$$L_{2,2} = \sqrt{\frac{8}{3} \times \frac{2000 \times 4}{2.77}}$$

$$L_2 = 76m$$

$$L_{2,2} = 88m$$



b) Considerando la viga empotrada con la acción de una carga uniforme mente distribuida.

$$L'_{2.1} = \sqrt{3 \times \frac{R_c \times h}{\gamma_a}} \qquad L'_{2.2} = 2 \sqrt{\frac{R_c \times h}{\gamma_a}}$$

$$L'_{2.1} = \sqrt{3 \times \frac{2000 \times 4}{2.77}} \qquad L'_{2.2} = 2 \sqrt{\frac{2000 \times 4}{2.77}}$$

$$L'_{2.1} = 93m$$

$$L'_{2.2} = 107.5m$$

- **Tercer estado limite** (Caracteriza la propagación de grietas por el techo de la excavación y su distribución).

a) Considerándola una viga libremente apoyada.

$$L_3 = 2 \sqrt{\frac{R_c \times h}{\gamma_a}}$$

$$L_3 = 2 \sqrt{\frac{2000 \times 4}{2.77}}$$

$$L_3 = 107.5m$$

b) considerando una viga apoyada

$$L'_3 = 2.44 \sqrt{\frac{R_c \times h}{\gamma_a}}$$

$$L'_3 = 2.44 \sqrt{\frac{2000 \times 4}{2.77}}$$

$$L'_3 = 131m$$

Podemos observar que para una viga empotrada siendo este el caso, cuando le damos diferentes valores a los anchos límites, la potencia de la capa de la roca esta tomara también diferente valores que será desde (50 – 90 m).



$$h = \frac{L^2 \times \gamma_a}{2 \times R_C}$$

$$h = \frac{50^2 \times 2.77}{2 \times 2000}$$

$$h = 1.73m \approx 2m$$

$$h = \frac{L^2 \times \gamma_a}{2 \times R_C}$$

$$h = \frac{60^2 \times 2.77}{2 \times 2000}$$

$$h = 2.49m \approx 3m$$

$$h = \frac{L^2 \times \gamma_a}{2 \times R_C}$$

$$h = \frac{70^2 \times 2.77}{2 \times 2000}$$

$$h = 3.39m \approx 4m$$

$$h = \frac{L^2 \times \gamma_a}{2 \times R_C}$$

$$h = \frac{80^2 \times 2.77}{2 \times 2000}$$

$$h = 4.43m \approx 5m$$

$$h = \frac{L^2 \times \gamma_a}{2 \times R_C}$$

$$h = \frac{90^2 \times 2.77}{2 \times 2000}$$

$$h = 5.60m \approx 6m$$

Donde:

$R_C \rightarrow$ Resistencia de la roca al cortante se considera (R_f) que es lo mismo que la resistencia a la rotura del pilar.

$h \rightarrow$ Potencia de la capa de la roca, m.

$\gamma_a \rightarrow$ Densidad de la sal gema, t/m^3 .

Con los valores obtenidos de los anchos límites y la potencia de la capa de roca podemos realizar una grafica donde se puede ver el comportamiento entre ambos parámetros y la proporcionalidad de los mismos.

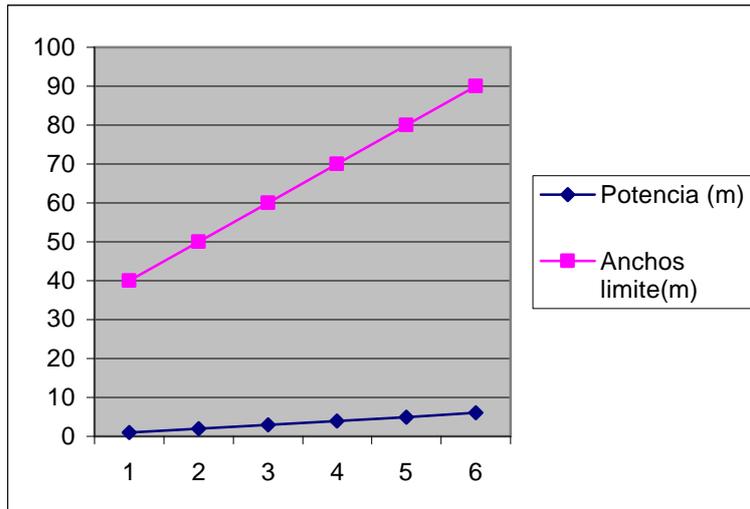


Grafico #1

Para el calculo de la luz respectiva al diámetro de una cámara de disolución cilíndrica, teniendo en cuenta el techo plano, aplicaremos **la hipótesis de W. Ritter**, para mayor seguridad en ambas forma se comporta igual para un valor máximo ($M_{f\ max} = 4\sqrt{48}$).

Cuando:

$$d > M_{\max} = 4\sqrt{48}$$

De este modo la presión ejercida por un cuerpo parabólico sobre el techo se reduce con el peso de la sal separada por el abovedamiento. La altura se determina por el cálculo, partiendo de la condición que es el peso del cuerpo parabólico al reducirse.

$$d = 4\mu = 4 \frac{\sigma_T}{\gamma_a}$$

$$d = 14.44m$$

$$\mu = \frac{\sigma_T}{\gamma_a}$$

$$\mu = 3.61t/m$$

$$d_{opt} = 4\mu$$

$$d_{opt} = 14.44m$$

$$d_{\max} = \mu \times \sqrt{48}$$

$$d_{\max} = 3.61\sqrt{48}$$

$$d_{\max} = 25.01m$$

**Tabla # 4**

Resistencia a la rotura $\delta t(\text{kg}/\text{cm}^2)$	Luz óptima(d_{opt}), m	Luz máxima(d_{max}),m
1	14.44	25.01
2	28.8	49.88
3	43.2	74.8
4	57.6	99.77
5	72.2	125.05

Los resultados obtenidos dados en la tabla # 4 demuestran que las dimensiones asumidas en el diseño del sistema de explotación por disolución pueden ser aceptadas, sin embargo se observa que para el caso de la sal es recomendable para mayor seguridad variar la geometría del techo de la cámara en la zona del pilar de sal.

4. 3 Pruebas para determinar que el Pilar Intercámara (entre tanque) cumple las condiciones de sostenimiento.

La forma de los pilares de sostenimiento en el método de disolución dinámica depende del modo de emplazar los cilindros de disolución y la distancia entre los ejes verticales.

Las formulas de calculo directo para esta dimensiones se puede establecer a base de pruebas en muestras de formas semejantes con la del pilar real, el cual permita probar a las muestras respectivas, en las prensa de compresión existente.

Para satisfacer las condiciones de estabilidad, los pilares de sostenimiento, dentro de los cilindro de disolución de los piso respectivo del campo de explotación, se considera que tiene unos ejes en prolongación (por la vertical) Igualmente, por el mismo motivo y para satisfacer las condiciones de resistencia, los pilares tienen un ancho creciente desde la superficie hasta la profundidad.

En lo que respecta a la altura de los piso de explotación, esta se establecen en función de la altura de los cilindro de disolución y del grueso de las plataformas de protección entre los cilindros.



Prueba #1

La condición que la sal del pilar no se rompa bajo la acción del peso de la plataforma de protección de sal y de las rocas de la cubierta, de su propio peso y de las contrapresiones ejercitadas por la salmuera saturada de los cilindros de disolución esta dado en la relación general siguiente:

$$S \times H \times \gamma_a + 5 \times e \times (\gamma_1 - \gamma_a) + s \times h \times \gamma_a \times (S - s) \times \gamma \times H \leq H \frac{\sigma_c}{n} \times S$$

En el caso que $e=0$, cosa que ocurre frecuentemente en la práctica, la relación será:

$$S \times H \times \gamma_a + s \times h \times \gamma_a - (S - s) \times \gamma \times H \leq \frac{\sigma_c}{n} \times s$$

De donde tenemos:

$$\frac{s}{S} \geq \frac{(\gamma_a - \gamma) \times H}{\frac{\sigma_c}{n} - h \times \gamma_a - H \times \gamma}$$

Sustituyendo:

Si $s = S = a$ la superficie (en sección horizontal) de un cilindro de disolución.

$$1 \geq \frac{(2.77 - 0.3) \times 154}{\frac{2000}{5} - 344 \times 2.77 \times 154 \times 0.3}$$

$$1 \geq 0.05$$

Donde:

$S = s \rightarrow$ Superficie (en sección horizontal) de un cilindro de disolución

$H \rightarrow$ Profundidad desde la superficie hasta la cámara de disolución, 150 m.

$e \rightarrow$ Espesor de la capa de roca que rodea el yacimiento, m.

$h \rightarrow$ Altura del la cámara de disolución, 344m.

$n \rightarrow$ Coeficiente de seguridad (1-5).



Prueba #2

La estabilidad estructural de los pilares Inter.-cámara se determina por los siguientes parámetros básicos:

- a- La fuerza a compresión a largo tiempo en la sal es aproximadamente el 65% y a corto tiempo será :

$$\sigma_{cd} = 0.65\sigma_c$$

Donde el factor de seguridad correspondiente es:

$$n = \frac{1}{0.65} = 1.54$$

Para el diseño de la capacidad de los pilares Inter.-cámara es necesario incluir la fuerza con presión mayor.

$$\frac{\gamma \times h}{0.65\sigma_c} = \frac{1}{2} \times \left(1 - \frac{D^2}{S^2} + 1n \times \frac{S}{D} \right)$$

$$\sigma_c = \frac{\gamma \times h}{\frac{1}{2} \times \left(1 - \frac{D^2}{S^2} + 1 \times n \times \frac{S}{D} \right) \times 0.65}$$

$$0.65\sigma_c = \frac{2.77 \times 346}{\frac{1}{2} \times \left(1 - \frac{70^2}{120^2} + 1 \times 1.54 \times \frac{120}{70} \right)}$$

$$\sigma_c = 783.9t/m^2$$

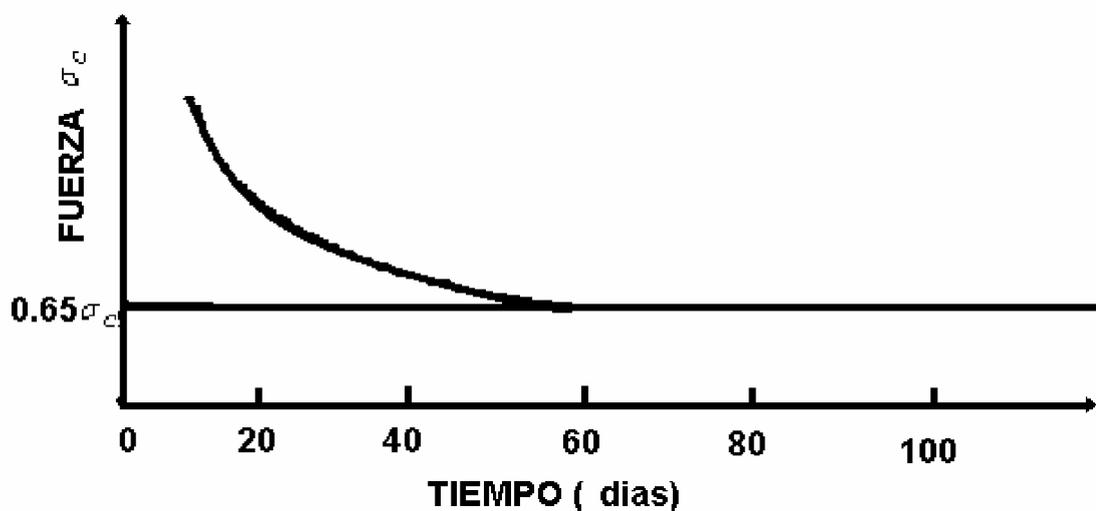


Grafico # 2



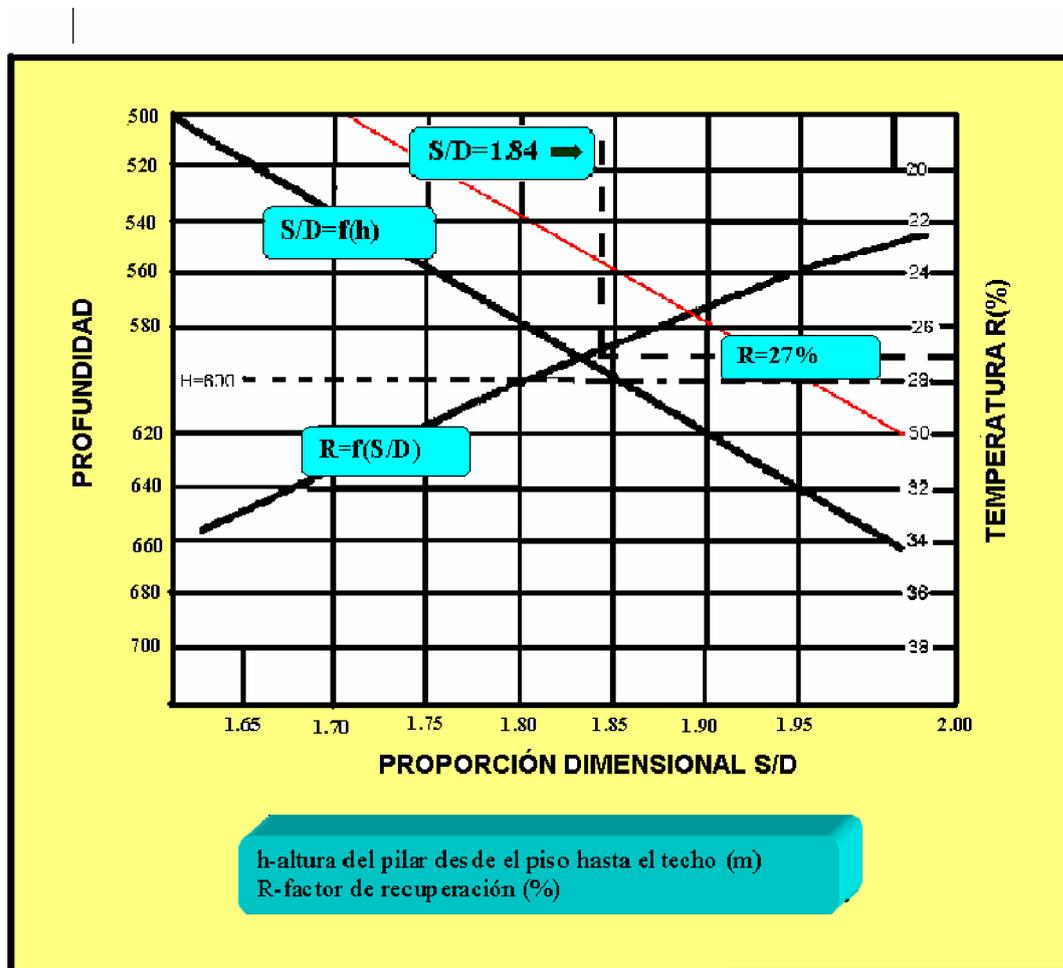
b)- La proporcionalidad entre la distancia de las cámara y el diámetro de la cámara depende de la profundidad en la minería por disolución.

$$f(h) = \frac{S}{D}$$

$$f(h) = \frac{120}{70}$$

$$f(h) = 1.71$$

Este factor es importante por el tamaño de los pilares Inter-cámara que relacionan la capacidad de la carga, además es proporcional entre el diámetro del pilar (D, diámetro y h, altura) llamado la proporción de delgadez y pudieran ser determinado.



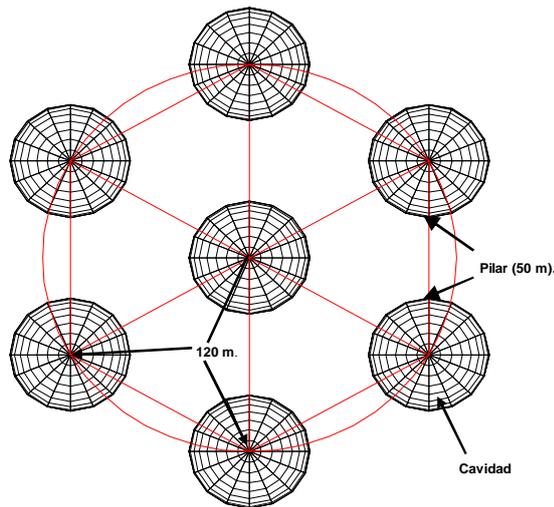
La línea roja pertenece al rango en que se encuentra el grosor del bloque

Grafico # 3



$$\frac{H}{D} = \frac{346}{70} = 4.94$$

Lo que permite calificar el pilar intercámara como un pilar delgado, que para el caso que nos ocupa es un anillo de 50 m de espesor que separa la cámara central de la restantes de forma tal que entre las cámaras situadas en la periferia también es pilar tiene 50 m de espesor.



c) El factor de recuperación de sal (f) se obtiene directamente relaciona con la carga sobrepuesta en el pilar intercámara (el concepto tributario) el factor de la recuperación puede expresarse por la relación entre un triángulo equilátero y una superficie redonda.

$$e = \frac{P \times \frac{D^2}{8}}{S^2 \frac{\sqrt{3}}{4}} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \left(\frac{D}{S} \right)^2$$

$$e = \frac{3.14}{2\sqrt{3}} \times \left(\frac{70}{120} \right)^2$$

$$e = 0.30$$

El factor de la extracción determinado por esta ecuación puede ser adecuado para la minería seca, pero en la minería por solución es demasiado alta en minas donde se recupera la sal de las cavernas irregulares, no del cilindro.

El principal factor de estabilidad de los pilares inter-cámara es eso con el aumento de la profundidad en la minería por disolución esta puede estar en coordinación con el incremento de su tamaño



Donde:

$\gamma \rightarrow$ Densidad de la sal gema

$h \rightarrow$ Profundidad desde el piso al techo de la cámara.

$\sigma_c \rightarrow$ Resistencia al cortante.

$D \rightarrow$ Diámetro de la caverna.

$S \rightarrow$ Distancia desde el eje de una cámara a otra.

4.4 Calculo de la presión en la pared del pozo por Protodiakonov.

Se decidió emplear la propuesta de Protodiakonov para el calculo debido a que el espesor de yeso constituye una sola litología. En estos calculo podemos observar las presiones actuante en la pared del pozo.

$$f^P = \frac{f_1 \times h_1 + f_2 \times h_2}{h_1 + h_2}$$

$$f^P = \frac{2 \times 150 + 3 \times 4}{150 + 4}$$

$$f^P = 2.02 \approx 2$$

$$\gamma^P = \frac{\gamma_1 \times h_1 + \gamma_2 \times h_2}{h_1 + h_2}$$

$$\gamma^P = \frac{2.32 \times 150 + 2.77 \times 4}{150 + 4}$$

$$\gamma^P = 2.33t / m^3$$

$$\rho^P = \arctan f^P$$

$$\rho^P = \arctan 2$$

$$\rho^P = 63^\circ$$

$$P = \gamma^P \times H \times \tan^2 \frac{90^\circ - \rho^P}{2}$$

$$P = 2.32 \times 154 \times \tan^2 \frac{90^\circ - 63^\circ}{2}$$

$$P = 20.59t / m$$

Donde:

$f_1 \rightarrow$ Fortaleza de la roca de yeso = 1.5.

$h_1 \rightarrow$ Altura de la capa de yeso = 150 m.

$f_2 \rightarrow$ Fortaleza de la sal gema = 2.



$\gamma_1 \rightarrow$ Densidad del yeso = 2.32t/m³.

$\gamma_2 \rightarrow$ Densidad de la sal gema = 2.77 t/m³.

$P \rightarrow$ Presión minera que actúa en el pilar de techo de la cámara.

4.5 Cálculo del espesor de hormigón monolítico del encamisado del pozo.

$$d_1 = m_f \times R \left(\sqrt{\frac{m_T \times R_C}{m_T \times R_f \times 2P_{\max}} - 1} \right)$$
$$d_1 = 1.25 \times 3 \times \left(\sqrt{\frac{0.88 \times 300}{0.88 \times 300 - 2 \times 20.59} - 1} \right)$$
$$d_1 = 0.33m$$

Cálculo de la fortificación para la zona situada cerca de las intercepciones.

$$d_2 = m_f \times R \left(\sqrt{\frac{m_T \times R_C}{m_T \times R_f \times 2 \times K \times P_{\max}} - 1} \right)$$
$$d_2 = 1.25 \times 3 \times \left(\sqrt{\frac{0.87 \times 300}{0.87 \times 300 - 2 \times 2 \times 20.59} - 1} \right)$$
$$d_2 = 0.78m$$

Calculo de fortificación para la boca del pozo, según su longitud divide en 2 escalones de 15 m (d₃).

Para el primer escalón.

$$d_3 = 3d_2$$
$$d_3 = 3 \times 0.78$$
$$d_3 = 2.34m$$

Para el segundo escalón.



$$d_4 = 2 \times d_2$$

$$d_4 = 2 \times 0.78$$

$$d_4 = 1.56m$$

Donde:

m_f → Coeficiente que tiene encuentra los trabajo de la fortificación ($m_f=1.5$) para el esquema paralelo sucesivos y ($m_f=1.25$) para el esquema común de laboreo (empleando encofrado móvil y hormigón de rápida endurecimiento).

R → Radio útil del pozo, m.

R_c → Resistencia de calculo a compresión del hormigón bajo la acción .Se toma de la **(tabla #7 de los anexos)** según el tipo de hormigón utilizado (MPa).Tabla #8 del libro de Proyecto de construcción de pozo (Parte II pagina 133).Anexo tabla #3

P_{max} → Carga máxima de cálculo que actúa sobre la fortificación (MPa)

K → Coeficiente de concentración de tenciones oscilan (2 - 3)

M_T → Coeficiente para las Intersecciones y para la boca del pozo $M_T=0.87$

4.6 Análisis de los resultados.

Se utilizaron metodologías de cálculo, hipótesis y pruebas basándonos en los datos del yacimiento para obtener una serie de valores y garantizar así la estabilidad de la excavación:

Tabla # 6

Calculo de la presión sobre el pilar de techo		
cálculo de la carga concentrada	cálculo de la carga distribuida	carga de los prismas deslizantes
348	12180	24360



Calculo de las dimensiones del pilar de techo el cual nos dio los parámetros óptimos para evitar el derrumbe de este (espesor mínimo de 4 m).

Basado en Cálculo de W. Ritter, el procedimiento de la teoría de la bóveda de equilibrio para la sal gema se obtiene la luz máxima de la excavación (=131m). La que se propone en dicho proyecto es de 70m.

Luego se realiza una prueba para comprobar que el pilar diseñado cumple los requisitos de estabilidad requeridos por la excavación, así como el cálculo de la presión por las paredes del pozo aplicando la metodología de Protodiakonov y el cálculo del espesor de hormigón monolítico del encamisado del pozo.

Los resultados obtenidos dados en la tabla # 4 demuestran que las dimensiones asumidas en el diseño del sistema de explotación por disolución pueden ser aceptadas, sin embargo se observa que para el caso de la sal es recomendable para mayor seguridad variar la geometría del techo de la cámara en la zona del pilar de sal.

Al realizar el análisis partiendo de que el pilar de techo tiene forma plana, los resultados obtenidos nos indican que el techo de la cámara no debe tener el mismo ancho que por el fondo, por lo que es más recomendable asumir formas gíbalas, en este caso con diámetro desde 14m hasta 37m con lo que se garantizaría una mayor estabilidad, es necesario significar que los proyectistas del sistema de explotación al emplear el método de los elementos finitos consideran que las cámaras no tienen forma regular, cuestión también recogida en la literatura especializada.



Conclusiones

- ✓ En este trabajo se le dio solución al objetivo propuesto de comprobar las dimensiones de los pilares de techo e intercámara, en la explotación del yacimiento de sal Punta Alegre por el método de disolución. Se obtuvo que el pilar de techo puede ser de (4m) de espesor, cuando lo propuesto por el proyecto de la Geominera de Camaguey es de (20 m), siendo el calculado el más rentable garantizando los resultados obtenidos una mayor estabilidad y productividad de mina en comparación con lo planteado en la generalización de informe Geólogo tecnológico y de Explotación del yacimiento de sal gema en Punta Alegre de Ciego de Ávila en la Geominera de Camaguey.
- ✓ Se comprobó que es necesario revisar la geometría de la cámara en lo que respecta a la forma del techo.



Recomendaciones

- ✓ Se le recomienda emplear un estudio ingeniero geológico en virtud de aplicar la metodología de evaluación geomecánica para valorar las posibles zonas de agrietamiento y cavernosidad y otros defectos posibles estructurales en el macizo de yeso.
- ✓ Valorar la posibilidad de cambiar el orden de laboreo para hacerlo en orden ascendente con el objetivo de demorar el momento en que se produzca la máxima carga sobre el pilar de techo.



Bibliografía

AGUILERA, E. *Proyecto de laboreo del pozo principal del yacimiento Barranca*. Roberto Blanco Torrens (tutor). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 1979.

CAMPOS, M.; FALERO, R. *Informe sobre visita efectuada al yacimiento y la Fábrica del Diapiro de Polanco*. España: Cantabria, 1999.

_____. *Informe sobre la exploración detallada del yacimiento de Sal Gema*. Ciego de Ávila: Punta Alegre, 1966.

GUERRA OLIVA, I. *Proyección de la Extracción por disolución del yacimiento Sal Punta Alegre*. Alfredo Grimón Hernández; José Luis González Valdéz (tutores). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 1984.

GONZÁLEZ VALDÉS, J.L. *Informe sobre consideraciones teóricas y diseño de métodos experimentales para investigaciones de laboratorio y piloto del minado por disolución de la sal de roca*. Geominera Camagüey, 2000.

JEREMIC, M.L. *Rock Mechanics in salt mining*. Canadá, Sudbury 1994.

MARTÍNEZ MARCELO, H.; MARTÍNEZ SALCEDO, J. *Resúmenes de las conferencias recibidas en la visita efectuada a los yacimientos de sal gema*. Checoslovaquia, 1984.

_____. *Informe final sobre la Exploración Detallada del Sector Oriental del Yacimiento de Sal Gema de Punta Alegre*. Ciego de Ávila, 1984.



Anexo

Tabla #7 Resistencia de calculo del hormigón.

Marca del hormigón	Resistencia a compresión, MP	Resistencia a la atracción MP	Resistencia bajo la acción de una fuerza a compresión MP
100	4.0	0.4	5.0
150	6.0	0.52	7.0
200	7.0	0.64	9.0
300	11.5	0.95	14.0
400	15.0	1.10	17.0
500	17.0	1.20	20.0