

**Universidad de Oriente
Escuela de Geología**

**Título: Levantamiento geológico y cálculo preliminar de reservas del
yacimiento Mariel, La Habana**

Autor: Carlos César Morén Greagh

Tutor: Efrén Díaz

Santiago de Cuba, 1973

I.- INTRODUCCION

Dirección General de Geología y Geofísica.

Queremos consignar nuestro agradecimiento al licenciado Efraim Díaz, profesor guía de esta tesis, al ingeniero, Rumano Ioan Sever Haroscha, al Doctor Vaclav Turdy, geólogo de la brigada, al ingeniero Jan Kosac, tecnólogo de la brigada, al ingeniero Norberto Millán, profesor de la escuela, al ingeniero geofísico Juan Antonio Valdés, al licenciado Juan Guerra, Jefe del Departamento de No metálicos de la D.G.G.G. y a Nestor Cuéllar, auxiliar de geólogo de la brigada, por la valiosa ayuda prestada en la confección de esta tesis.

El objetivo del presente trabajo es ponernos en contacto con la realidad del trabajo en el campo y de poder aplicar los conocimientos adquiridos en las aulas.

Finalmente quiero expresar mi satisfacción, por lo que podrían ser mis primeros pasos en el largo camino de la exploración de los yacimientos minerales no metálicos.

II. - DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TERRENO

II.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TERRENO

El terreno que se describe en este informe es un terreno de cultivo de caña de azúcar, situado en la zona de cultivo de caña de azúcar, en el municipio de San Juan, provincia de Pinar del Río, República de Cuba. El terreno tiene una extensión superficial de 1000 m². El terreno está dividido en parcelas de cultivo de caña de azúcar, con una extensión superficial de 1000 m². El terreno está dividido en parcelas de cultivo de caña de azúcar, con una extensión superficial de 1000 m².

II.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TERRENO

La superficie del terreno descrito en este informe es un terreno de cultivo de caña de azúcar, situado en la zona de cultivo de caña de azúcar, en el municipio de San Juan, provincia de Pinar del Río, República de Cuba.

II. - PARTE GENERAL

El terreno que se describe en este informe es un terreno de cultivo de caña de azúcar, situado en la zona de cultivo de caña de azúcar, en el municipio de San Juan, provincia de Pinar del Río, República de Cuba. El terreno tiene una extensión superficial de 1000 m².

El terreno está dividido en parcelas de cultivo de caña de azúcar, con una extensión superficial de 1000 m². El terreno está dividido en parcelas de cultivo de caña de azúcar, con una extensión superficial de 1000 m².

El terreno está dividido en parcelas de cultivo de caña de azúcar, con una extensión superficial de 1000 m². El terreno está dividido en parcelas de cultivo de caña de azúcar, con una extensión superficial de 1000 m².

El terreno está dividido en parcelas de cultivo de caña de azúcar, con una extensión superficial de 1000 m². El terreno está dividido en parcelas de cultivo de caña de azúcar, con una extensión superficial de 1000 m².

El terreno está dividido en parcelas de cultivo de caña de azúcar, con una extensión superficial de 1000 m². El terreno está dividido en parcelas de cultivo de caña de azúcar, con una extensión superficial de 1000 m².

El terreno está dividido en parcelas de cultivo de caña de azúcar, con una extensión superficial de 1000 m². El terreno está dividido en parcelas de cultivo de caña de azúcar, con una extensión superficial de 1000 m².

II.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TERRENO

El terreno que se describe en este informe es un terreno de cultivo de caña de azúcar, situado en la zona de cultivo de caña de azúcar, en el municipio de San Juan, provincia de Pinar del Río, República de Cuba. El terreno tiene una extensión superficial de 1000 m².

II.1.- Información geográfico-económica sobre la región del yacimiento.

II.1 a.. Situación geográfica y administrativa de la región

El yacimiento de materia prima para la fábrica de cemento de Mariel, está ubicado en el flanco occidental de la provincia de La Habana, en la costa de la bahía de Mariel, a 48 kms. al oeste de la ciudad de La Habana. Las coordenadas geográficas del yacimiento son : $82^{\circ} 45'$ - $82^{\circ} 44'$ de longitud oeste (de Greenwich) y $23^{\circ} 00'$ - $23^{\circ} 01'$ de latitud norte.

La cantera y el terreno adyacente se encuentran del mar (bahía de Mariel) a 100 - 1000 m.

II.1 b.. Hidrografía y orografía de la región.

La superficie del yacimiento coincide con una pendiente arrollada litoral bastante grande que se achata rápidamente en dirección oriental, transformándose en una meseta casi llana, con cotas máximas de 85-90 metros sobre el nivel del mar.

La parte inferior de la pendiente, cerca del mar, tiene de 10 - 12 m. sobre el nivel del mar.

La superficie de la pendiente es irregular, oscilando las alturas entre 10-15 metros.

No hay ninguna red hidráulica en el área del yacimiento, excepto un pequeño arroyo sin nombre en la parte sur del mismo. Este arroyo está casi siempre seco, llegando raras veces al mar.

El río más cercano, que se usa para abastecer de agua a la planta, es el río Mosquito, que está a 2-3 km. al este del yacimiento.

II.1.c.. Clima y flora.

La zona del yacimiento, así como Cuba en general, goza de un clima semicontinental durante el invierno y marítimo durante el verano, que es

la mayor parte del año.

El promedio anual de la temperatura, según datos de varios años, oscila entre 22° a 26°, observándose raras veces temperaturas de 15°-18° y de 30°-35°. La humedad del aire es bastante elevada, oscilando entre 77-82%, siendo el promedio anual de la humedad relativa del 79%.

Por el carácter e intensidad de las precipitaciones se observan dos temporadas: la de seca y la de lluvia. La estación seca comprende los meses de Noviembre a Abril, siendo Diciembre el mes mas seco. La estación lluviosa continúa desde el mes de Mayo hasta el mes de Octubre, siendo Agosto el mes mas lluvioso. La cantidad de precipitaciones caídas es irregular. Las medias anuales en la zona del yacimiento oscilan de 1500 a 1700 mm. Cerca del 75 % cae en el período de lluvias y aproximadamente un 25% en el de seca.

La velocidad del viento varía notablemente, alcanzando un máximo de 2,2-2,9 m/s.

La mayor parte del área del yacimiento está ocupada por el henequén. También en la zona existen arboledas diseminadas de diferentes árboles (palmas, mangos, etc).

II.1.d. Industrias, agricultura y Redes de comunicación.

En la zona existen las siguientes industrias: Fábrica de cemento "Rene Arcay", Termoeléctrica de Mariel, Planta de prefabricado, Fábrica de sogas, Terminal marítima y un central azucarero.

El desarrollo de la agricultura en los alrededores del yacimiento tiene su máximo exponente en la caña de azúcar y en el henequén. Los otros cultivos tienen un carácter mas local y de menos importancia.

Las condiciones del transporte en la zona son favorables, tanto marítimas como terrestres. La planta de cemento y la cantera están situadas cerca de la autopista de primera clase La Habana-Pinar del Rio, con la que están unidas por una buena carretera asfaltada. Además existe la autopista de cuatro vías La Habana-Mariel de primera clase. Otra carretera asfaltada une la planta con la ciudad de Mariel, alejada 2 Km. al sur.

El cemento preparado se transporta a los consumidores de todo el país en camiones especiales y por vía marítima a través del puerto de Mariel. La planta de cemento consumidora de la materia prima ocupa una situación favorable en las cercanías del yacimiento, lo que reduce al mínimo los gastos de transporte a la planta. Este transporte actualmente se realiza con camiones, antiguamente se hacía a través de un ferrocarril de vía estrecha.

ESTUDIO DE LA REGION

El estudio de la región se ha realizado en base a los datos estadísticos y cartográficos disponibles. Se ha considerado el aspecto físico, económico y social de la zona. Los datos estadísticos han sido obtenidos de los censos nacionales y de los censos de la población y vivienda. La cartografía ha sido elaborada a partir de los planos de la Dirección General de Estadística y Censos. El estudio se ha dividido en tres partes: la primera describe la situación actual de la región; la segunda analiza las causas de los problemas que enfrenta; y la tercera propone algunas medidas para su solución.

III.- GEOLOGIA DE LA REGION

La geología de la región está caracterizada por la presencia de rocas sedimentarias de la era terciaria. Estas rocas están compuestas principalmente por arenas, arcillas y calizas. En algunas zonas se encuentran también rocas ígneas y metamórficas.

La estructura geológica de la región es compleja, debido a la presencia de fallas y pliegues. Las fallas más importantes son la falla de San Andrés y la falla de San Juan. Los pliegues más destacados son el pliegue de San Andrés y el pliegue de San Juan. La actividad sísmica en la región es frecuente, especialmente en las zonas cercanas a las fallas.

Los recursos minerales de la región son escasos. Se encuentran principalmente yacimientos de carbón, hierro y cobre. El carbón se encuentra en las zonas montañosas del norte de la región. El hierro se encuentra en las zonas montañosas del sur de la región. El cobre se encuentra en las zonas montañosas del este de la región.

La geología de la región tiene un gran impacto en su desarrollo económico y social. La presencia de rocas sedimentarias dificulta la construcción de infraestructuras. La actividad sísmica también representa un riesgo para la población y los bienes materiales. Por lo tanto, es necesario realizar estudios geológicos detallados para evaluar los riesgos y planificar el desarrollo de la región.

En conclusión, la geología de la región es compleja y presenta varios problemas que afectan su desarrollo. Es necesario realizar estudios geológicos detallados para evaluar los riesgos y planificar el desarrollo de la región. Se deben tomar medidas para reducir los riesgos geológicos y promover el desarrollo sostenible de la zona.

III.1.-Estratigrafía y litología

Según los datos de Y. Vassal, la estructura geológica de la zona es como sigue: la serie de calizas terciarias, margas, arcillas y arenas recubren la superficie erosionada de las calizas del Cretácico, margas areniscas y esquistos muy deformados. La potencia de los sedimentos cretácicos es desconocida. En el contacto con las rocas cretácicas se observan afloramientos de rocas ígneas representadas por gabros, dioritas, diabasa y serpentinita. Se supone que en la profundidad las rocas ígneas sirvan de lecho a toda la zona.

Sedimentos terciarios.

Eoceno₁₋₃.-Desde abajo se caracteriza por una interestratificación fina de arenas, arcillas, margas y conglomerados, pertenecientes a las Formaciones Madruga, Capdevilla y Universidad. Después vienen las margas, calizas y areniscas en menor escala de la Formación Loma Candela y finalmente las margas y ocasionalmente calizas y conglomerados de la Formación Jabaco, que terminan el corte del Eoceno, cuya potencia se considera igual a 900 m.

Este corte puede ser relacionado con la parte inferior de las capas de rocas del yacimiento Mariel, compuesta por arcillas.

Oligoceno₁₋₃.-Los sedimentos del Oligoceno están representados por capas de calizas y margas macizas con una potencia total de unos 540 m., que pertenecen a la Formación Jaruco.

Mioceno.-Los sedimentos del Mioceno se parecen a los del Oligoceno, pero contienen capas de calcanita. Estos sedimentos pertenecen a las Formaciones Cojimar y Güines. Su potencia es de unos 360 metros.

Cuaternario (Q_p). -Aquí pertenecen calizas arrecifales costaneras pertenecientes a la Formación Jaimanitas, con potencia desconocida.

Cuaternario (Q_{al}). -Estos sedimentos están representados por depósitos clásticos: limos, arenas y gravas de los aluviones, con potencia igualmente desconocida.

III.2. T e c t ó n i c a .

La estructura principal de la zona es un anticlinal con el núcleo de sedimentos cretácicos (Cretácico Superior) muy deformados y serpentinizados. Los sedimentos cretácicos están muy dislocados y cortados por numerosas fallas. La tectónica de la zona no ha sido estudiada en detalle, pero se conoce de otros trabajos que existe un sistema importante de fallas NE-SW con longitudes de hasta 15 km.

Los sedimentos terciarios están menos deformados y cortados por fallas que los cretácicos. Aquí, según los últimos estudios realizados ya en la zona del yacimiento, existen dos sistemas de fallas: uno N-S y otro E-W aproximadamente. Además, en estos sedimentos se observan no menos de 5 discordancias, que son de arriba hacia abajo:

- 1.-en el inferior del Mioceno
- 2.-entre el Mioceno y el Oligoceno superior
- 3.-entre el Oligoceno Superior e Inferior
- 4.-entre el Oligoceno Inferior y el Eoceno superior
- 5.-entre los sedimentos terciarios y los del Cretácico superior

El núcleo de este anticlinal, que se extiende casi en dirección latitudinal desde la ciudad de Consolación del Norte hacia el Este hasta la ciudad de Cabañas, se comba profundamente en la zona de Cabañas-Mariel-Habana y se encuentra por debajo de los sedimentos terciarios. Aquí cerca de la superficie la evolución predominante la tienen los sedimentos eocé-

nicos entre los cuales aparecen ventanas de sedimentos cretácicos y rocas intrusivas del núcleo del pliegue anticlinal. Mas adelante en dirección al Este, en la zona de Habana-Matanzas, el núcleo de este anticlinal emerge de nuevo a la superficie.

III.3.-Historia del desarrollo geológico de la región.

La historia del desarrollo geológico podríamos resumirla así:

Ocurrió la deposición de las secuencias vulcanógeno-sedimentarias de la Formación Bahía Honda. Subsecuentemente el componente calcáreo fue aumentando depositándose caliza arrecifal y margas de la Formación Habana en su parte inferior. Después las facies clásticas volvieron a predominar, depositándose calcarenitas, margas, arguilas y areniscas. Todo este espesor fue atravesado por rocas intrusivas: gabros, dioritas, diabasas y serpentinitas, que aprovecharon las dislocaciones tectónicas para su intrusión.

La relación vertical entre las facies calcárea y clástica de la Formación Habana es discordante (Orogenia subherciniana) que produjo movimientos de ascenso y descenso de la zona.

Al final del Cretácico es elevada de nuevo la zona erosionándose las rocas de la Formación Habana. Habiendo subsidido otra vez la zona, comienzan a depositarse las rocas de las Formaciones Madruga-Capdevila-Universidad. Aquí se ve que después de haber descendido, la zona comenzó de nuevo a elevarse, a juzgar por el cambio facial de los sedimentos, de calcárea a clástica.

Durante todo el Paleoceno y parte del Eoceno inferior la zona estuvo emergida, erosionándose lo depositado.

Después de esto se sucedieron por lo menos cuatro movimientos de ascenso y descenso, produciéndose cuatro discordancias por lo menos.

Hay que consignar que las discordancias presentes en el Cretácico

fueron originadas por los movimientos póstumos de la ya citada orogénesis subherciniana y las del Paleógeno y Neógeno por la orogénesis cubana.

III.4.-Hidrogeología de la región.

Las rocas del Cretácico Superior, representadas por rocas clásticas y calcáreas, contienen un complejo de aguas cársticas entre las grietas. La permeabilidad no se ha estudiado, pero juzgando por la composición litológica, es escasa.

Las sedimentaciones eocénicas, representadas por rocas arcillosas, arenosas y calcáreas, contienen agua ocupando las pequeñas fisuras, grietas y poros de las capas, siendo de una baja permeabilidad.

Las sedimentaciones del Mioceno están distribuidas principalmente a lo largo de la costa, cerca de la ciudad de Mariel y más al Este de ella. Están representadas por diferentes calizas, en las cuales se distingue un complejo de aguas entre las grietas y cársticos. El abastecimiento de agua de Mariel se realizaba con el agua de este complejo. A 1-1,5 km al Norte de Mariel, se perforaron tres pozos de 61 m. de profundidad cada uno de los que se bombeaban 31,5 l/seg. El agua era dulce, con una mineralización de 0,6 gr/l, de composición cárstica hidrocarbonatada. A lo largo del litoral seguramente hay gran permeabilidad, pero aquí es posible la presencia de aguas saladas.

III.5.-Minerales útiles en la región.

En la región están presentes dos minerales útiles, a saber: asfalto y materia prima para la fabricación de cemento.

Sobre el asfalto, el grupo correspondiente a la zona de Mariel es el más importante. Este se presenta en forma de venas, de considerable espesor en y cerca de la superficie, con una tendencia general a reducir

su grosor con la profundidad.

Según cálculos conservadores, se ha estimado un volumen de 1,750 miles de toneladas.

La materia prima para la fabricación de cemento está representada por margas, calizas y arcillas, que por ser el objeto de esta tesis no daremos aquí mas datos sobre la misma.

IV.-GEOLOGIA DEL YACIMIENTO

El yacimiento es una parte de la serie de rocas que aparecen al Oeste, en los alrededores de Cabañas, y desde aquí hasta Mariel y La Habana, continuando al Este, aproximadamente con el mismo desarrollo, terminando al Oeste de Matanzas.

Además de las rocas cuaternarias, las cuales aparecen solamente en una faja estrecha a lo largo de la costa, existen sedimentos neogénicos (Mioceno), paleógenos (Oligoceno, Eoceno, menos Paleoceno) y cretácicos (serie superior).

Las direcciones tectónicas fundamentales están caracterizadas por líneas en las direcciones siguientes: NW-SE hasta N-S y NE-SW hasta E-W.

El yacimiento está formado por rocas sedimentarias de edad terciaria y cretácica. Las rocas cretácicas aparecen principalmente en la parte sur del yacimiento, en la cantera actual y fueron también alcanzadas en los pozos situados antes de la cantera. Ellas forman una elevación, la cual se inclina generalmente al norte, de tal forma que aquellas no fueron alcanzadas en la parte norte del yacimiento, por encima del nivel de elevación + 5 m. En la parte sur del yacimiento (antes de la pared de la cantera) aparecen estas rocas hasta +58 m. sobre el nivel del mar.

Sobre las rocas cretácicas, que forman el piso subyacente ondulado y denudado, descansan discordantemente las rocas terciarias. La sedimentación tanto en el Terciario, como en el Cretácico, no fue ininterrumpida, sino que ocurrió con algunas pausas, debido a movimientos del fondo marino, cosa que produjo la alternancia periódica de las capas.

En el yacimiento han sido encontrados los siguientes tipos de rocas:

a) Rocas cretácicas.

- 1.-Desde arcillas hasta argulitas de color gris a gris negro, hasta arcillas calcáreas a argulitas calcáreas.
- 2.-Margas grises.
- 3.-Margas calcáreas grises.
- 4.-Calizas margosas grises hasta gris claro.
- 5.-Areniscas y conglomerados grises.

b) Rocas terciarias.

- 6.-Arcillas calcáreas pardas.
- 7.-Marga crema.
- 8.-Marga calcárea crema.
- 9.-Caliza margosa crema.
- 10.-Caliza blanda de color crema hasta blanca.
- 11.-Caliza estratificada crema.
- 12.-Caliza cavernosa cristalizada de color crema hasta blanco,
con las cavernas rellenas de arcilla roja.

c) Rocas cuaternarias.

- 13.-Capa vegetal.
- 14.-Escombros.

La división fundamental de las rocas fue hecha según el contenido de $CaCO_3$.

| <u>Roca</u> | <u>Contenido de $CaCO_3$ (%)</u> |
|-----------------------|---|
| Caliza..... | 90 - 100 |
| Caliza margosa..... | 75 - 90 |
| Marga calcárea..... | 40 - 75 |
| Marga..... | 15 - 40 |
| Arcilla calcárea..... | 5 - 15 |
| Arcilla..... | 0 - 5 |

1.-Descripción petrográfica de los tipos de rocas presentes en el yacimiento.

A.-Rocas del Cretácico (Cr_2 ó Cr_2^{ma} parte alta).

I) Arcillas, arcillas calcáreas hasta arguillitas grises hasta gris negro y margas grises que no se pueden diferenciar macroscópicamente. Las capas compactas se alternan rápidamente con las capas deleznales. En algunos lugares se observan en las rocas algunos granos pequeños de pirita. La textura de las rocas es poco estratificada.

Microscópicamente, la estructura de las rocas es pelitomórfica. La

roca contiene un 5 - 20 % de residuos orgánicos, 5-10 % de material arenoso-aleurolítico y en algunos lugares un 1-20 % de bitúmenes. La masa principal es arcillosa. El tamaño de los granos es de 0,02 hasta 0,3 mm. El material arenoso-aleurolítico está representado por plagioclasas, cuarzo, moscovita, clorita y fragmentos de rocas.

En algunos lugares se observan granos de metal.

II) Margas calcáreas y calizas margosas de color gris, con textura masiva.

La estructura es pelitomórfica y tienen una composición similar a la descrita anteriormente, pero prevalece el componente calcáreo, es decir fragmentos de organismos y calcita pelitomórfica.

La calcita suele estar recristalizada. En algunos lugares se encuentran espículas de esponjas silíceas.

III) Areniscas y conglomerados con textura poco estratificada.

El tamaño de los granos es muy variable, contienen numerosos residuos de organismos y fragmentos de rocas (3 mm hasta 2 dm).

La estructura es cristaloclástica hasta clastopramítica. En las cavidades se encuentran agregados de carbonato y pirita. Además, se encuentran granos de cuarzo, minerales oscuros, clorita y rocas. A menudo se trata de tufitas, porque en la roca se observan fragmentos de vidrio volcánico y el mismo toma parte en el cemento con los carbonatos y las cloritas.

B.-Rocas terciarias (N_1 a N_2 , Q)

IV) Margas, margas calcáreas, calizas margosas, calizas blandas, calizas estratificadas de color crema hasta crema claro, que forman capas, las cuales se alternan rápidamente con capas de rocas deleznales. Las capas deleznales forman un 10-20% de los estratos. La textura de la roca es masiva. La estructura es pelitomórfica hasta criptocristalina. El material arenoso-aleurolítico está compuesto de cuarzo, plagioclasas, moscovi-

ta y micas hidratadas. A menudo están los poros rellenos de ópalo e hidróxido de hierro. El cemento carbonático suele estar recristalizado (caliza estratificada).

V) Caliza cavernosa de color crema hasta blanco, con textura masiva. Numerosas cavernas están rellenas de arcilla roja con fragmentos de caliza. La estructura es polimórfica o criptocristalina.

Una gran parte de la roca está formada por restos orgánicos, especialmente por corales y plantas. El cemento está formado por material carbonático, a menudo recristalizado. Los fragmentos de cuarzo y de rocas y el material arenoso-aleurolítico se encuentran poco.

2.- Descripción y evolución geológica del yacimiento.

La parte norte del yacimiento (dada aproximadamente por la línea de los pozos 323, 327 y 29 -ver plano geológico-) está formada por caliza blanda de color crema hasta blanco. Subyaciendo a esta caliza, en la orilla oeste del yacimiento, aparecen calizas margosas crema, margas calcáreas crema, margas crema, arcillas calcáreas pardas y rocas cretácicas.

La parte sur del yacimiento está formada por caliza estratificada crema, caliza cavernosa con contenidos variados de arcilla roja, caliza blanda, caliza margosa crema, marga calcárea crema, arcilla parda y rocas del Cretácico. En esta parte del yacimiento la sedimentación terciaria es muy variable.

En las rocas cambian con relativa rapidéz el contenido de CaCO_3 y las propiedades físico-mecánicas de las rocas (especialmente la dureza).

La sedimentación de las rocas encontradas en el yacimiento no ocurrió continuamente y el contacto de las mismas de diferentes tipos petrográficos es en su gran mayoría discordante. También las relaciones de yacencia caracterizadas por la dirección (rumbo) e inclinación (buzamiento) de las capas son variables. La sedimentación de casi todos los

tipos de rocas individuales ocurrió en ciclos, los cuales siempre terminaron con la elevación del fondo marino, actuando los procesos exógenos (denudación de algunas capas ó de todas). Naturalmente, los movimientos del fondo marino estuvieron acompañados por las manifestaciones tectónicas secundarias, es decir por el plegamiento de las capas y la formación de fallas.

La diferenciación de los ciclos sedimentarios en el Cretácico superior es muy difícil ya que no hay suficientes afloramientos para la observación de los cambios sedimentarios. Los ciclos sedimentarios no siempre están caracterizados por el cambio del tipo de roca, sino que continúa a veces la sedimentación de capas que se diferencian muy poco de las del ciclo anterior. Este fenómeno es posible observarlo en la parte Norte del yacimiento, en los sedimentos terciarios.

Los movimientos verticales parciales tuvieron un considerable significado, ya que posibilitaron la sedimentación por partes de unos bloques, mientras que otras partes de los bloques eran denudadas.

En los sedimentos cretácicos es posible diferenciar los ciclos sedimentarios principales siguientes:

1.- Los estratos de arcillas, arcillas calcáreas hasta argulitas y margas de colores que van desde el gris hasta el gris negrozco.

Los distintos tipos petrográficos en los estratos se alternan irregularmente y sus potencias van desde 5 cm. hasta algunos metros.

Irregularmente, en estos estratos se encuentran capas de areniscas hasta conglomerados de colores grises y con potencias de 5 cm. hasta 1 m., las cuales pueden significar una interrupción en la sedimentación.

Debido a las alteraciones tectónicas de los estratos y a la imposibilidad de las mediciones y observaciones geológicas detalladas, ha sido imposible la determinación precisa de la cantidad de ciclos parciales de sedimentación (o hiatus). En base a la yacencia de las capas de areniscas y conglomerados es posible suponer de 3 a 5 ciclos parciales de sedimentación. Estos estratos están formados principalmente por arcillas calcáreas.

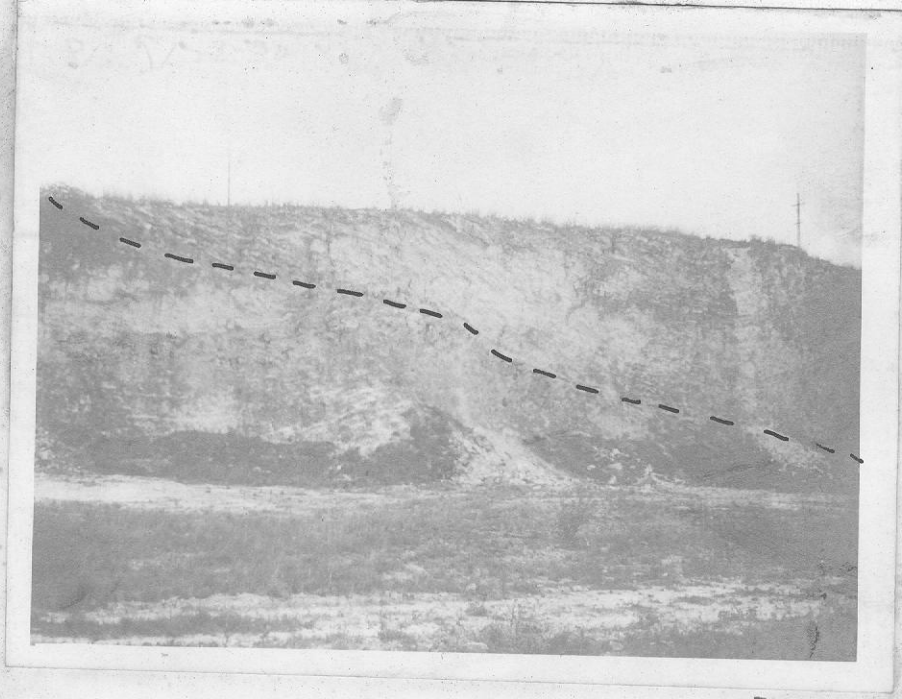


FOTO 1

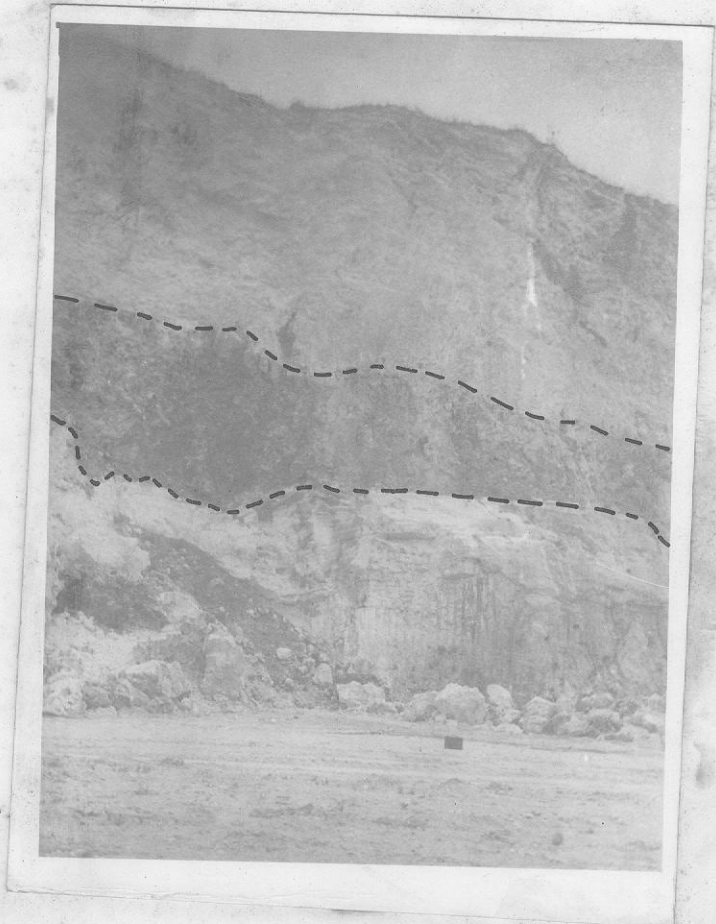
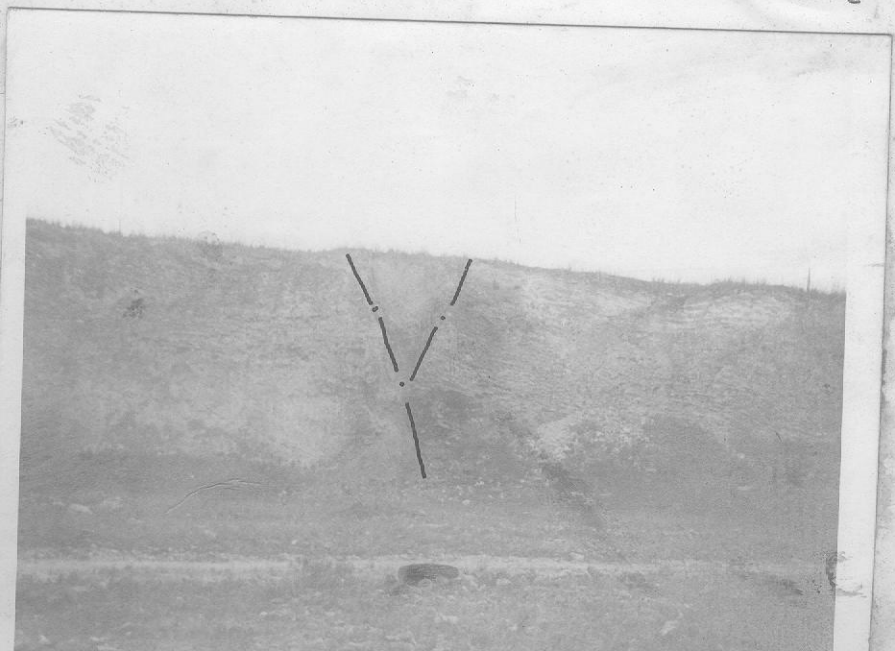


FOTO 2



2.-Los estratos de margas calcáreas y calizas margosas de color gris hasta gris claro están caracterizados por la presencia de margas calcáreas. En estos estratos yacen capas de areniscas y conglomerados grises con un desarrollo parecido a las capas antes mencionadas.

Es posible suponer de 2 a 3 ciclos parciales de sedimentación.

Los estratos de margas calcáreas y calizas margosas, grises hasta gris claro, es la última manifestación de la sedimentación cretácica en el yacimiento.

Estas sedimentaciones se efectuaron en mares profundos, pobres en oxígeno (todo lo contrario que el terciario). Las rocas contienen pequeños granos de pirita.

Los sedimentos terciarios fueron depositados sobre las capas ya erosionadas del Cretácico Superior.

3.-Las arcillas pardas forman capas de potencia muy variable, las cuales no están desarrolladas en toda el área del yacimiento. Frecuentemente estas capas contienen fragmentos de caliza cavernosa. En su parte superior existen fragmentos de caliza cavernosa y en la inferior fragmentos de rocas cretácicas de color gris.

Estas capas caracterizan el comienzo del descenso del complejo cretácico y alcanzan sus mayores potencias en la parte occidental del yacimiento.

Las arcillas pardas se formaron en mares poco profundos y en su sedimentación influyeron los agentes exógenos.

4.-Los estratos de margas, margas calcáreas y caliza margosa de color crema, se sedimentaron en el piso ondulado de las arcillas pardas ó de las rocas cretácicas. Su potencia es muy variable, encontrándose la mayor en la parte occidental del yacimiento, aproximadamente en la línea de la pared de la cantera actual. En estos estratos continuó la formación de colonias coralinas. La sedimentación de los estratos se efectuó en mares poco profundos. El fondo

ficos, los que representan 8 ciclos parciales de sedimentación.

El rumbo de las capas de caliza blanda es NOR -Noreste hasta Este en la parte Norte del yacimiento, con buzamientos de $5-30^{\circ}$.

En la parte oriental de la cantera actual, el rumbo es Noreste con buzamientos de $20-25^{\circ}$ y Suroeste con un buzamiento de 25° .

En las margas grises fueron medidos el rumbo y el buzamiento, siendo el primero Noroeste y 30° el segundo y Noreste con 80° de buzamiento en la parte abandonada de la cantera.

En las capas de conglomerados, que se encuentran en la base de la cantera antigua, el rumbo es Oeste y el buzamiento 75° .

Las siguientes medidas se realizaron en la región de las calizas blandas, que están actualmente en explotación; en los alrededores del pozo 323, rumbo Norte con 25° de buzamiento, del pozo 269, rumbo Noreste con 20° , y rumbo Suroeste con 25° y del pozo 225 rumbo NOR-Noreste con 20° .

La caliza margosa de color crema se encuentra subyaciendo a la caliza cavernosa, las cuales yacen casi horizontales ó con pequeños buzamientos hacia el Este (alrededor del pozo 365).

La mayoría de las grietas están casi verticales, son irregulares y cortas con direcciones Norte y Sur y Noroeste-suroeste.

Las zonas de trituración (fallas) están casi verticales y tienen direcciones Norte-Sur y Este-Oeste.

En las zonas de trituración Este-Oeste fueron determinadas tres zonas, las cuales en la parte oriental del yacimiento se dividen en cinco.

En la parte sur del yacimiento se suponen 2 zonas de trituración con dirección Este-Oeste.

Por las zonas mencionadas se efectuaron los movimientos verticales principales, con amplitudes de 1 a varios metros.

La capa cuaternaria falta en algunos lugares, alcanzando potencias desde 0,20 hasta 1 m.

ficos, los que representan 8 ciclos parciales de sedimentación.

El rumbo de las capas de caliza blanda es NOR -Noreste hasta Este en la parte Norte del yacimiento, con buzamientos de 5-30°.

En la parte oriental de la cantera actual, el rumbo es Noreste con buzamientos de 20-25° y Suroeste con un buzamiento de 25°.

En las margas grises fueron medidos el rumbo y el buzamiento, siendo el primero Noroeste y 30° el segundo y Noreste con 80° de buzamiento en la parte abandonada de la cantera.

En las capas de conglomerados, que se encuentran en la base de la cantera antigua, el rumbo es Oeste y el buzamiento 75°.

Las siguientes medidas se realizaron en la región de las calizas blandas, que están actualmente en explotación; en los alrededores del pozo 323, rumbo Norte con 25° de buzamiento, del pozo 269 , rumbo Noreste con 20°, y rumbo Suroeste con 25° y del pozo 225 rumbo NOR-Noreste con 20°.

La caliza margosa de color crema se encuentra subyaciendo a la caliza cavernosa, las cuales yacen casi horizontales ó con pequeños buzamientos hacia el Este (alrededor del pozo 365).

La mayoría de las grietas están casi verticales, son irregulares y cortas con direcciones Norte y Sur y Noroeste-suroeste.

Las zonas de trituración (fallas) están casi verticales y tienen direcciones Norte-Sur y Este-Oeste.

En las zonas de trituración Este-Oeste fueron determinadas tres zonas, las cuales en la parte oriental del yacimiento se dividen en cinco.

En la parte sur del yacimiento se suponen 2 zonas de trituración con dirección Este-Oeste.

Por las zonas mencionadas se efectuaron los movimientos verticales principales, con amplitudes de 1 a varios metros.

La capa cuaternaria falta en algunos lugares, alcanzando potencias desde 0,20 hasta 1 m.

Handwritten text in a circular stamp, possibly a library or collection mark.



FOTO 4



FOTO 5



V.-GEOMORFOLOGIA DEL YACIMIENTO

0
3
2
2
2
2
2
2
2
8
7
1
3

La superficie del yacimiento coincide con una pendiente arro-
llada litoral considerablemente grande, que se achata rápidamente en
dirección oriental, transformándose en una meseta casi llana.

La geomorfología del yacimiento en general es bastante simple,
estando las capas por lo general bastante horizontales.

Solo se notan cambios de importancia en las cercanías de las
fallas.



VI.-CARACTERISTICAS GEOLOGICO-INDUSTRIALES
DEL YACIMIENTO



00
3
2
1
8
7
1
3

VI.1.-Composición química de la mena.

En la zona estudiada del yacimiento Mañiel, se han distinguido ocho tipos principales de materia prima. Los ocho tipos tecnológicos se determinaron de acuerdo con las características químicas, petrográfico-mineralógicas y físico-mecánicas, y son los siguientes:

a) Caliza blanda, de color crema ó crema blanco, con intercalaciones de caliza deleznable.

b) Caliza compacta, de color blanco, crema blanco hasta amarillento, con muchas variaciones en la dureza; estratificada.

c) Caliza cavernosa, dura, de color blanco con relleno de cavernas y huecos de arcilla roja.

d) Caliza margosa de color crema ó crema amarillento, en muchas partes deleznable.

e) Marga calcárea, de color crema y amarillento sucio, deleznable.

f) Marga calcárea, de color gris (azuloso), compacta, con intercalaciones de marga calcárea deleznable.

g) Arcilla calcárea gris oscuro hasta negruzco, con intercalaciones de marga compacta y conglomerado.

h) Arcilla calcárea carmelita ó pardo amarillento.

Casi todos los tipos se pueden reconocer en el terreno por sus colores característicos.

Realmente, en el yacimiento existe mayor cantidad de tipos petrográfico-mineralógicos. Ellos están descritos mas detalladamente en la parte geológica de esta tesis. Para la práctica tecnológica es suficiente calcular en base a los ocho tipos mencionados. Según ellos se ha identificado la materia prima en las columnas geológicas, bloques geológicos, etc. Todas las tablas expuestas en esta sección han sido tomadas del informe preliminar, D.C.G.G., 1973.

Ahora se detallarán cada uno de los tipos mencionados mas arriba en cuanto a sus propiedades químicas.

a) Caliza blanda, de color crema ó crema blanco, con intercalaciones de caliza deleznable.

partes norte y nordeste de la zona explorada, de la cual ocupa una gran parte, pero se puede encontrar también en otras partes del yacimiento.

En el terreno, éste tipo está caracterizado por capas de caliza porosa, blanda pero compacta, con capas intercaladas de caliza deleznable (no compacta). Las capas intercaladas de caliza deleznable ocupan normalmente un 20-40 %. El muestreo de los primeros 25 pozos se llevó a cabo de tal modo, que se pudieran averiguar las características químicas individuales tanto de las capas de caliza más compacta, como de las capas de caliza deleznable. En base a los resultados obtenidos de los pozos, no se han encontrado variaciones sustanciales en las características químicas. Hasta ahora no se ha podido realizar el trabajo de los surcos en todo el espesor de la pared de la cantera, por no contar con las medidas de seguridad necesarias para los trabajadores encargados de su realización.

Como se ha averiguado a partir de los pozos de perforación y de las muestras tomadas del material de la cantera donde se hace actualmente la extracción, este tipo de caliza no varía mucho en sus características químicas, sobre todo en su contenido de CaO (ó CaCO₃) y de sílice.

El % de óxido de calcio en la mayoría de las muestras se mantiene alrededor de su promedio calculado (53,28%). Los coeficientes de variación en el contenido de CaO, SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃ son los siguientes (en base a todas las muestras):

Tabla 1.

| | Contenido | | Contenido en la mayor parte del volumen (potencia) total | | Promedio calculado % | Desv. tipo experimental | Coef. de varia. % |
|--------------------------------|-----------|--------|--|------|----------------------|-------------------------|-------------------|
| | Mín. % | Máx. % | De % | A % | | | |
| CaO | 51,8 | 54,8 | 52,4 | 54,2 | 53,22 | 0,64 | 1,2 |
| SiO ₂ | 1,2 | 3,8 | 1,8 | 2,6 | 2,31 | 0,50 | 21,55 |
| Al ₂ O ₃ | 0,3 | 1,7 | 0,4 | 0,9 | 0,70 | 0,30 | 42,86 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,1 | 0,9 | 0,1 | 0,6 | 0,41 | 0,20 | 48,78 |

Promedios ponderados de los análisis químicos de la caliza blanda.

Tabla 2.

| Pozo No. | 269 | 221 | 225 | 4 | 16 | 29 | 329 | 273 | 367 | 137 | Prom. ponderado |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| Desde | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 10,35 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 16,10 | 13,4 | |
| Hasta (m) | 15,75 | 18,50 | 25,55 | 22,60 | 22,50 | 25,00 | 24,05 | 22,30 | 21,30 | 35,30 | |
| Espesor (m) | 15,75 | 18,50 | 25,55 | 12,25 | 22,50 | 25,00 | 24,05 | 22,30 | 5,20 | 21,90 | ∑ 193,00 |
| CaO (%) | 53,61 | 53,74 | 53,30 | 53,77 | 53,24 | 53,11 | 52,96 | 53,55 | 52,85 | 52,74 | 53,28 |
| SiO ₂ (%) | 2,13 | 2,07 | 2,39 | 2,00 | 2,45 | 2,15 | 2,79 | 2,12 | 2,43 | 2,34 | 2,30 |
| Al ₂ O ₃ (%) | 0,61 | 0,58 | 0,66 | 0,58 | 0,47 | 0,55 | 1,09 | 0,63 | 0,86 | 0,97 | 0,70 |
| Fe ₂ O ₃ (%) | 0,26 | 0,24 | 0,27 | 0,28 | 0,27 | 0,33 | 0,54 | 0,29 | 0,39 | 0,62 | 0,35 |
| ppi (%) | 42,14 | 42,42 | 42,42 | 42,19 | 42,02 | 42,25 | 41,59 | 42,11 | 42,10 | 42,08 | 42,10 |
| MgO (%) | 0,74 | 0,48 | 0,34 | 0,40 | 0,47 | 0,79 | 0,29 | 0,40 | 0,85 | 0,53 | 0,50 |
| Na ₂ O (%) | 0,10 | Tr | Tr | 0,11 | Tr | Tr | 0,07 | Tr | Tr | Tr | Tr (0,10) |
| K ₂ O (%) | 0,03 | Tr | Tr | 0,11 | Tr | 0,14 | 0,15 | Tr | Tr | 0,05 | Tr (0,10) |
| SO ₃ (%) | 0,08 | 0,04 | 0,06 | 0,04 | 0,06 | 0,13 | 0,06 | 0,05 | 0,10 | 0,06 | 0,07 |
| P ₂ O ₅ (%) | 0,145 | 0,075 | 0,046 | 0,069 | 0,049 | 0,063 | 0,049 | 0,035 | 0,069 | 0,109 | 0,068 |
| TiO ₂ (%) | 0,025 | 0,031 | 0,034 | 0,03 | 0,046 | 0,032 | 0,047 | 0,028 | 0,049 | 0,047 | 0,037 |
| MnO (%) | 0,01 | Tr | 0,01 | 0,009 | Tr | Tr | 0,009 | Tr | Tr | Tr | 0,001 |
| Cloruros | | | | | | | | | | | Tr |
| Cl (%) | 0,1 | Tr | Tr | 0,03 | Tr | Tr | 0,08 | Tr | Tr | Tr | 0,093 |
| M _H | 17,87 | 18,60 | 16,05 | 18,80 | 16,69 | 17,52 | 11,98 | 17,67 | 14,36 | 13,42 | 15,9 |
| M _S | 2,45 | 2,52 | 2,57 | 2,33 | 3,31 | 2,44 | 1,71 | 2,30 | 1,94 | 1,48 | 2,19 |
| M _A | 2,35 | 2,54 | 2,44 | 2,07 | 1,74 | 1,66 | 2,02 | 2,17 | 2,20 | 1,57 | 2,00 |
| CS (%) | 782 | 810 | 697 | 832 | 701 | 755 | 560 | 779 | 654 | 651 | 711 |

b) Caliza compacta estratificada, de color blanco crema hasta amarillento.

Este tipo de caliza tiene también un papel relevante entre las materias primas básicas del yacimiento. La mayor parte de dicha caliza se manifiesta en el terreno como capas de sedimentación típicamente de material carbonatado entre las "cabezas" de caliza coralina-orgánica (un poco recristalizada), y es por ello que no es tan homogénea como el tipo de caliza blanda, lo que se manifiesta por su variación en la dureza y por su gama de colores, que va desde el blanco hasta el amarillento. En este tipo de caliza se pueden encontrar partes más blandas conjuntamente con otras más duras, sin regularidad alguna. En algunas partes se encuentran manchas y rellenos de arcilla roja, especialmente en asociación espacial con los corales viejos.

En la mayoría de los casos el contenido de CaO es un poco superior al de la caliza típicamente blanda. Los contenidos de Al₂O₃ y Fe₂O₃ en promedio son casi iguales, sin embargo, por los factores anteriormente mencionados existe una variación grande en los contenidos de SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃.

Los coeficientes de variación y los promedios de los pozos están en la siguiente tabla:

Tabla 3

| | Contenido | | Contenidos en la mayor parte del volumen (potencia) total | | Promed. calculado % | Desv. tipo experimental | Coef. de variac. % |
|--------------------------------|-----------|------|---|------|---------------------|-------------------------|--------------------|
| | Min. | Máx. | De | A | | | |
| | % | % | % | % | | | |
| CaO | 33,0 | 56,2 | 53,8 | 55,0 | 52,37 | 2,78 | 5,29 |
| SiO ₂ | 0,3 | 15,0 | 0,5 | 3,0 | 1,1 | 2,06 | 128,18 |
| Al ₂ O ₃ | 0,1 | 7,5 | 0,2 | 2,0 | 0,68 | 0,98 | 145,63 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,05 | 3,50 | 0,1 | 0,4 | 0,36 | 0,50 | 140,06 |

La composición química en promedio no difiere mucho de la caliza blanda, pero los coeficientes de variación reflejan la variabilidad de la materia prima ya mencionada.

Promedios ponderados de los análisis químicos de la caliza estratificada.

Tabla 4.

| Pozo No | 56 | 52 | 367 | 265 | 267 | 137 | Promedio ponderado |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|
| Desde | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Hasta (m) | 41,75 | 46,50 | 16,10 | 8,50 | 13,45 | 13,40 | |
| Tespesor (m) | 41,75 | 46,50 | 16,10 | 8,50 | 13,45 | 13,40 | Σ 139,7 |
| CaO (%) | 54,39 | 53,12 | 54,41 | 53,22 | 54,87 | 53,87 | 53,89 |
| SiO ₂ (%) | 1,23 | 2,10 | 1,26 | 2,45 | 1,16 | 1,51 | 1,62 |
| Al ₂ O ₃ (%) | 0,57 | 0,93 | 0,49 | 0,57 | 0,40 | 0,81 | 0,69 |
| Fe ₂ O ₃ (%) | 0,31 | 0,47 | 0,25 | 0,43 | 0,18 | 0,37 | 0,36 |
| ppi (%) | 42,72 | 42,23 | 42,82 | 42,13 | 43,07 | 42,50 | 42,55 |
| MgO (%) | 0,62 | 0,39 | 0,68 | 0,99 | 0,24 | 0,30 | 0,51 |
| Na ₂ O (%) | Tr | Tr | Tr | 0,10 | 0,10 | Tr | Tr (0,10) |
| K ₂ O (%) | Tr | 0,10 | Tr | 0,10 | 0,10 | 0,03 | Tr (0,09) |
| SO ₃ (%) | 0,06 | 0,06 | 0,12 | 0,080 | 0,06 | 0,05 | 0,07 |
| P ₂ O ₅ (%) | 0,05 | 0,04 | 0,044 | 0,031 | 0,03 | 0,063 | 0,044 |
| TiO ₂ (%) | 0,037 | 0,05 | 0,03 | 0,042 | 0,024 | 0,04 | 0,04 |
| MnO (%) | 0,01 | Tr | Tr | 0,01 | 0,01 | Tr | 0,01 |
| Cloruros Cl (%) | Tr | Tr | Tr | 0,10 | 0,10 | 0,04 | Tr (0,09) |
| M _H | 25,78 | 15,18 | 27,21 | 15,43 | 31,53 | 20,03 | 20,18 |
| M _S | 1,40 | 1,50 | 1,70 | 2,45 | 2,00 | 1,28 | 1,54 |
| M _A | 1,84 | 1,98 | 1,96 | 1,33 | 2,20 | 2,19 | 1,92 |
| CS (%) | 1259 | 729 | 1274 | 681 | 1688 | 933 | 965 |

c) Caliza típicamente cavernosa, compacta, dura, con relleno de arcilla roja en huecos y cavernas.

Esta caliza fue constatada en su mayor parte en los alrededores de los pozos 80, 454, 116, 114 y 409, pero se puede encontrar también en otras partes del yacimiento, como por ejemplo en el pozo 4 y en otros (ver plano geológico). Esta caliza es en su origen de carácter coralino, un poco recristalizada, muy dura, con huecos y cavernas rellenas con arcilla roja. Si se toma en cuenta la composición química de esta caliza (sin el relleno de arcilla roja) presenta un alto contenido de carbonato de calcio (95-98%); sin embargo, ella está casi siempre acompañada de arcilla roja, cuya proporción determina su contenido de impurezas. La proporción de arcilla roja en esta caliza varía mucho y por este hecho varían también los contenidos de CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 y otros. Este tipo de caliza va a presentar muchos problemas para su posible uso como materia prima para el cemento, debido a su variabilidad en la composición química y por sus características físico-mecánicas, las cuales constituyen problemas para su homogeneización. Los problemas para su homogeneización son los siguientes: durante la extracción la arcilla roja no se distribuye regularmente en toda la roca extraída, además la composición química de la arcilla roja varía mucho. También la molienda de aquella mezcla resulta muy problemática y especialmente en el tiempo de lluvias hay que confrontar muchas dificultades.

Tabla 5.

| | Contenido | | Contenidos en la mayor parte del volumen (potencia) total. | | Prome. calcul. % | Desv. tipo experimental | Coef. de variac. % |
|-------------------------|-----------|--------|--|------|------------------|-------------------------|--------------------|
| | Mín. % | Máx. % | De % | A % | | | |
| CaO | 15,0 | 56,0 | 36,0 | 56,0 | 46,91 | 10,06 | 21,45 |
| SiO_2 | 1,0 | 32,0 | 1,0 | 10,0 | 6,74 | 7,9 | 117,19 |
| Al_2O_3 | 0,5 | 17,5 | 0,5 | 6,0 | 3,67 | 4,25 | 115,80 |
| Fe_2O_3 | 0,25 | 7,50 | 0,25 | 3,0 | 1,80 | 1,95 | 108,35 |

Promedios ponderados de los análisis químicos de la caliza cavernosa.

Tabla 6.

| Pozo No | 80 | 454 | 4 | Promedios ponderados |
|------------------------------------|-------|-------|-------|----------------------|
| Desde | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Hasta (m) | 39,60 | 9,75 | 10,35 | |
| Espesor (m) | 39,60 | 9,75 | 10,35 | Σ 59,7 |
| CaO (%) | 46,31 | 47,58 | 49,66 | 47,10 |
| SiO ₂ (%) | 7,64 | 6,22 | 5,44 | 7,03 |
| Al ₂ O ₃ (%) | 4,09 | 3,45 | 2,81 | 3,76 |
| Fe ₂ O ₃ (%) | 2,03 | 1,84 | 1,29 | 1,89 |
| ppi (%) | 38,15 | 38,86 | 39,90 | 38,57 |
| MgO (%) | 0,77 | 0,33 | 0,43 | 0,64 |
| Na ₂ O (%) | Tr | Tr | 0,04 | 0,09 |
| K ₂ O (%) | 0,12 | 0,10 | 0,12 | 0,12 |
| SO ₃ (%) | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,08 |
| P ₂ O ₅ (%) | 0,137 | 0,033 | 0,037 | 0,103 |
| TiO ₂ (%) | 0,181 | 0,172 | 0,112 | 0,168 |
| MnO (%) | 0,03 | 0,03 | 0,009 | 0,026 |
| Cloruros | | | | |
| Cl (%) | 0,10 | 0,10 | 0,04 | 0,09 |
| M _H | 3,37 | 4,13 | 5,21 | 3,71 |
| M _S | 1,25 | 1,18 | 1,33 | 1,24 |
| M _A | 2,01 | 1,83 | 2,18 | 1,99 |
| CS (%) | 110 | 210 | 256 | 185 |

d) Caliza margosa de color crema ó crema amarillento, en muchas partes deleznable.

Este tipo de roca no es muy abundante en la zona estudiada del yacimiento, excepto en el pozo 367 donde fue constatada en un espesor mayor (24,9 m). Forma capas que varían entre 2-10 metros. Las capas de caliza margosa son suprayacentes a la margá calcárea gris azulado ó a la arcilla calcárea parda y en otras partes a la arcilla calcárea gris ne-gruzco.

Químicamente no es muy variable. En comparación con la caliza blanda, los contenidos de Na_2O , K_2O y SO_3 son un poco superiores (en promedio).

Tabla 7.

| | Caliza blanda | Caliza margosa |
|---------------------------|---------------|----------------|
| $\text{Na}_2\text{O}(\%)$ | 0,07 | 0,24 |
| $\text{K}_2\text{O}(\%)$ | 0,13 | 0,61 |
| $\text{SO}_3(\%)$ | 0,06 | 0,16 |

Hay que hacer notar que a este tipo de caliza es muy difícil distinguirlo en el terreno de la caliza blanda deleznable, porque no existe prácticamente diferencia alguna entre los colores en estado natural de ambas rocas.

En algunos lugares debajo de la caliza margosa, antes de pasar a otra sedimentación, se ha formado un tipo intermedio entre ambas.

Promedios ponderados de los análisis químicos de la caliza margosa color crema.

Tabla 8.

| Pozo No | 217 | 267 | 323 | 367 | 221 | 269 | 407 | Promedio ponderado |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|
| Desde | 0,70 | 13,45 | 0,0 | 21,3 | 18,5 | 15,75 | 0,3 | |
| Hasta | 2,70 | 14,85 | 8,0 | 46,2 | 23,5 | 25,65 | 4,0 | |
| (m) | | | | | | | | |
| Espesor (m) | 2,0 | 1,40 | 8,0 | 24,9 | 5,0 | 9,9 | 3,7 | Σ 54,9 |
| CaO (%) | 42,97 | 45,56 | 46,18 | 48,39 | 48,33 | 48,77 | 45,9 | 47,69 |
| SiO ₂ (%) | 12,1 | 10,18 | 9,98 | 7,57 | 6,46 | 7,18 | 11,69 | 8,26 |
| Al ₂ O ₃ (%) | 5,08 | 2,3 | 2,31 | 1,86 | 1,49 | 1,86 | 2,15 | 2,04 |
| Fe ₂ O ₃ (%) | 2,61 | 1,47 | 1,03 | 1,02 | 0,80 | 0,95 | 1,23 | 1,07 |
| ppi (%) | 34,35 | 37,64 | 37,75 | 39,04 | 39,93 | 39,23 | 36,92 | 38,62 |
| MgO (%) | 1,34 | 1,27 | 1,57 | 0,97 | 1,70 | 1,03 | 0,61 | 1,13 |
| Na ₂ O (%) | 0,17 | 0,24 | 0,08 | 0,07 | 0,18 | 0,09 | 0,16 | 0,10 |
| K ₂ O (%) | 0,61 | 0,49 | 0,33 | 0,13 | 0,20 | 0,23 | 0,32 | 0,24 |
| SO ₃ (%) | 0,16 | 0,07 | 0,06 | 0,15 | 0,10 | 0,12 | 0,12 | 0,12 |
| P ₂ O ₅ (%) | 0,1 | 0,158 | 0,08 | 0,097 | 0,073 | 0,068 | 0,016 | 0,083 |
| TiO ₂ (%) | 0,229 | 0,127 | 0,113 | 0,082 | 0,067 | 0,077 | 0,083 | 0,091 |
| MnO (%) | 0,03 | 0,06 | 0,02 | 0,029 | Tr | 0,01 | 0,06 | 0,03 |
| Cloruros | | | | | | | | |
| Cl (%) | 0,10 | Tr | Tr | Tr | Tr | 0,09 | Tr | 0,10 |
| M _H | 1,97 | 3,26 | 3,47 | 4,63 | 5,91 | 4,88 | 3,04 | 4,19 |
| M _S | 2,16 | 2,70 | 2,97 | 2,61 | 2,79 | 2,57 | 3,45 | 2,66 |
| M _A | 1,98 | 1,56 | 2,24 | 1,82 | 1,84 | 1,96 | 1,74 | 1,91 |
| CS (%) | 72 | 141 | 105 | 201 | 237 | 213 | 127 | 182 |



e) Margas calcáreas de color arena y amarillento sucio, que forman el contacto directo con las margas calcáreas de color gris ó con las arcillas.

Este tipo de marga calcárea todavía pertenece a la misma sedimentación que la caliza margosa. Como se puede esperar, los contenidos de álcalis, SO_3 y P_2O_5 son todavía mayores que en el caso de la caliza margosa. La potencia y las reservas de este tipo en el yacimiento son escasas.

Los coeficientes de variación de esta masa son los siguientes

Tabla 9.

| | Contenido | | Contenido en la mayor parte del volumen (potencia) total. | | Promedio calculado % | Desviac. del tipo experim. | Coef. de variac. % |
|--------------------------------|-----------|-------|---|------|----------------------|----------------------------|--------------------|
| | Mín % | Máx % | D % | A % | | | |
| CaO | 42,5 | 52,5 | 45,5 | 50,5 | 47,6 | 2,38 | 5,01 |
| SiO ₂ | 1,5 | 13,5 | 4,5 | 10,5 | 7,58 | 2,98 | 39,34 |
| Al ₂ O ₃ | 0,4 | 3,6 | 1,2 | 2,8 | 1,92 | 0,72 | 37,43 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,5 | 2,5 | 0,7 | 1,3 | 1,06 | 0,38 | 36,56 |

Promedios ponderados de los análisis químicos de la marga calcárea

color arena

Tabla 10

| Peque | 323 | 407 | Promedio ponderado |
|------------------------------------|-------|-------|--------------------|
| No | | | |
| Desde | 8,0 | 4,0 | |
| Hasta (n) | 10,65 | 6,4 | |
| Espesor (n) | 2,65 | 2,4 | Σ 5,05 |
| CaO (%) | 38,89 | 34,07 | 36,60 |
| SiO ₂ (%) | 18,53 | 23,87 | 21,07 |
| Al ₂ O ₃ (%) | 3,71 | 4,96 | 4,30 |
| Fe ₂ O ₃ (%) | 1,50 | 2,23 | 1,85 |
| ppí (%) | 33,29 | 30,14 | 31,79 |
| MgO (%) | 2,38 | 2,17 | 2,28 |
| Na ₂ O (%) | 0,27 | 0,43 | 0,35 |
| K ₂ O (%) | 0,65 | 0,8 | 0,72 |
| SO ₃ (%) | 0,13 | 0,16 | 0,14 |
| P ₂ O ₅ (%) | 0,132 | 0,132 | 0,132 |
| TiO ₂ (%) | 0,177 | 0,223 | 0,199 |
| MnO (%) | 0,02 | 0,05 | 0,03 |

Tabla 10 (Continuación)

| Peze No | 383 | 407 | Promedio ponderado |
|----------------|------|------|--------------------|
| M _H | 1,63 | 1,09 | 1,34 |
| M _S | 3,55 | 3,31 | 3,43 |
| M _A | 2,47 | 2,22 | 2,32 |
| CS | 66 | 45 | 55 |

f) Marga calcárea de color gris azulado.

Este tipo de roca se puede reconocer bien en el yacimiento por su color característico. Forma las capas suprayacentes a las arcillas calcáreas gris negruzco. Entre las capas de roca compacta, bastante dura, se encuentran intercalaciones de esta roca deleznable en un volumen del 10-20% en promedio.

En relación con los componentes principales (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) esta roca no es muy variable, sin embargo, en algunos casos (peze 319) el contenido de CaO aumenta hasta el carácter de caliza margosa (en algunas capas), por lo que el promedio de CaO de este peze es superior al promedio total.

Lógicamente, los contenidos de materias nocivas para la producción de cemento son mayores en comparación con las calizas:

Tabla 11

| | Calizas | Marga gris azulado | Promedio |
|---------------------------|---------|--------------------|----------|
| $\text{Na}_2\text{O}(\%)$ | 0,23 | 0,98 | 0,47 |
| $\text{K}_2\text{O}(\%)$ | 0,66 | 1,02 | 0,88 |
| $\text{SO}_3(\%)$ | 1,59 | 3,03 | 2,25 |

Especialmente el contenido de azufre total (expresado como SO_3) es muy alto, porque en esta roca, en algunas partes, se encuentra pirita. Sin embargo, si comparamos esta marga calcárea con las arcillas, el contenido de materias nocivas es considerablemente inferior por lo que tiene

La margá calcárea gris resulta hasta ahora la materia prima correctora adecuada para obtener el límite del contenido de los álcalis en el crudo por debajo de 0,8% en la producción de cemento por vía seca, pero, sin embargo, las reservas de esta materia prima no aparecen en cantidades suficientes, así como que aumenta mucho el módulo de sílice en la mezcla (ó el módulo de alúmina es insuficiente).

Los coeficientes de variación de esta roca son:

Tabla 12

| | Contenido | | Contenido en la mayor parte del volumen (potencia) total. | | Promedio calculado | Desv. tipe exper. | Coef. de variac. % |
|--------------------------------|-----------|--------|---|-----|--------------------|-------------------|--------------------|
| | Mín. % | Máx. % | D % | A % | | | |
| CaO | 20 | 44 | 26 | 38 | 31,50 | 5,77 | 18,32 |
| SiO ₂ | 12,5 | 37,5 | 22,5 | 35 | 28,31 | 7,05 | 24,91 |
| Al ₂ O ₃ | 2,5 | 8,5 | 3,5 | 6,5 | 5,02 | 1,40 | 27,91 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,25 | 6,0 | 1,4 | 3,5 | 2,42 | 1,03 | 42,52 |

Promedios ponderados de los análisis químicos de la margá calcárea gris

Tabla 13.

| Pezo Ne | 319 | 323 | 367 | 407 | 363 | Promedio ponder. |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|
| Desde | 0,0 | 10,65 | 46,20 | 8,55 | 0,0 | |
| Hasta (n) | 15,9 | 25,5 | 66,00 | 16,0 | 20,3 | |
| Tspser(n) | 15,9 | 12,85 | 19,8 | 7,45 | 20,30 | Σ 70,5 |
| CaO (%) | 37,56 | 31,98 | 28,75 | 28,24 | 31,45 | 31,8 |
| SiO ₂ (%) | 19,04 | 29,19 | 33,48 | 29,63 | 28,61 | 28,08 |
| Al ₂ O ₃ (%) | 4,20 | 4,88 | 4,89 | 6,13 | 5,36 | 4,99 |
| Fe ₂ O ₃ (%) | 2,08 | 1,96 | 2,12 | 3,62 | 2,36 | 2,30 |
| ppi (%) | 33,00 | 26,88 | 25,98 | 26,61 | 27,09 | 27,95 |
| MgO (%) | 1,60 | 2,09 | 0,98 | 1,75 | 1,66 | 1,55 |
| Na ₂ O (%) | 0,23 | 0,31 | 0,47 | 0,98 | 0,59 | 0,47 |
| K ₂ O (%) | 0,66 | 0,88 | 0,90 | 0,88 | 1,02 | 0,88 |
| SO ₃ (%) | 1,59 | 2,17 | 2,28 | 3,03 | 2,50 | 2,25 |
| P ₂ O ₅ (%) | 0,087 | 0,122 | 0,071 | 0,049 | 0,134 | 0,098 |
| TiO ₂ (%) | 0,159 | 0,209 | 0,15 | 0,268 | 0,218 | 0,191 |
| MnO (%) | 0,029 | 0,03 | 0,076 | 0,14 | 0,08 | 0,066 |
| Cl (%) | Tr | Tr | Tr | Tr | Tr | Tr (0,10) |
| MH | 1,48 | 0,89 | 0,71 | 0,72 | 0,87 | 0,9 |
| MS | 3,03 | 4,27 | 4,78 | 3,04 | 3,74 | 3,85 |
| MA | 2,02 | 2,48 | 2,30 | 1,69 | 2,25 | 2,17 |
| CS | 63 | 36 | 28 | 30 | 36 | 37 |

g) Arcilla calcárea de color gris negrozco.

Este tipo de roca es abundante en el yacimiento, forma las capas subyacentes a las calizas y margas calcáreas. La arcilla calcárea se ha formado por sedimentación en ambiente reductor, lo cual da por resultado su color y el contenido de azufre en forma de sulfuros (pirita, etc). El azufre total expresado en forma de SO_3 es en promedio de 2,8%. En las arcillas se encuentran intercalaciones de roca mas dura (conglomerado, margas), que representan un 10-30% del volumen y cuyas características químicas son semejantes a las de las margas. Las intercalaciones en las arcillas son totalmente irregulares, así como en cuanto a la potencia y distribución. En la mayoría de los casos las intercalaciones tienen una potencia de 20-40 cm. Las intercalaciones duras son aquellas en las cuales se encuentra predominantemente la pirita.

Los álcalis totales en esta arcilla se mantienen, en promedio, alrededor del 3,5%.

Para la producción de cemento es conveniente una materia prima silíceo correctora que contenga sílice en forma fina en un rango de 55-70%, con un contenido de Al_2O_3 Fe_2O_3 que sea una tercera parte del contenido de SiO_2 y con contenido de MgO menor del 3%.

Las arcillas del yacimiento Mariel contienen menor porcentaje de SiO_2 , en promedio 47,6%, aunque en algunas partes contienen hasta el 53%. Sin embargo, se puede utilizar como materia prima correctora.

Para su uso en la producción de cemento por vía seca hay que confrontar el contenido de los álcalis totales, el contenido de SO_3 y las propiedades físico-mecánicas (humedad alta y, posiblemente, problemas con la homogeneización).

En su posible uso como materia prima correctora, esta arcilla va a aportar para el contenido total de los álcalis en la mezcla alrededor del 1,1% y 0,8% de SO_3 , respectivamente.

El contenido de los álcalis no varía mucho en las arcillas, pero el contenido de SO_3 varía en dependencia de las acumulaciones de pirita.

Los coeficientes de variación son como sigue:

Tabla 14

| | Contenido | | Contenido en la mayor parte del volumen (potencia) total | | Promedio calculado % | Desv. tipe exper. | Coef. de variac. % |
|------------------------------------|-----------|--------|--|------|----------------------|-------------------|--------------------|
| | Mín. % | Máx. % | D % | A % | | | |
| CaO | 4,2 | 29,6 | 4,8 | 12 | 9,08 | 3,468 | 38,19 |
| SiO ₂ | 27,5 | 56 | 44,5 | 51,5 | 47,62 | 4,195 | 8,81 |
| Al ₂ O ₃ | 8,25 | 15,75 | 12 | 15,5 | 13,53 | 1,523 | 11,25 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,2 | 9,8 | 5,6 | 8,8 | 7,54 | 0,997 | 13,22 |
| Na ₂ O K ₂ O | 0,45 | 5,55 | 2,7 | 4,8 | 3,64 | 0,71 | 19,62 |
| SO ₃ | 0,3 | 7,5 | 0,3 | 6,0 | 2,82 | 1,63 | 65,0 |

Fue averiguado que en las arcillas grises hay intercalaciones de rocas mas duras (conglomerados, etc) con contenido superior de CaCO₃ al de las arcillas.

Según los análisis de las arcillas calcáreas, el contenido mayor de 25% de CaCO₃ corresponde al 14% del volumen total; mayor de 30% de CaCO₃ corresponde al 7% del volumen total y mayor de 40% de CaCO₃ corresponde al 5,7 % del volumen total.

h) Arcilla calcárea de color pardo ó carmelita.

Las características químicas de este tipo de arcilla en promedio son semejantes a las de la arcilla gris negruzco, salvo en el contenido de SO₃. Esta arcilla se formó en un ambiente oxidante, y por ello no contiene en promedio tanta cantidad de pirita como la arcilla gris (SO₃ en promedio de 0,97%). Sin embargo, en algunas partes donde está mezclada con la arcilla gris se encuentra pirita (Pezos 407 y 403). Su posible uso como materia prima correctora tiene mas ventajas debido a su menor contenido de SO₃ en relación a la arcilla gris.

En la parte estudiada del yacimiento este tipo no es abundante. Se encuentra también en la parte sur del yacimiento y actualmente sirve como materia prima correctora para la producción de cemento por vía húmeda. En esta parte del yacimiento se plantea ejecutar algunos pozos de perforación adicionales.

Los contenidos de los componentes principales y de las materias nocivas en promedio son iguales a los de la arcilla gris. A continuación los coeficientes de variación.

Tabla 15

| | Contenido | | Contenido en la mayor parte del volumen (potencia) total | | Promed. calcul. % | Desv. tipo exper. | Coef. de var. % |
|------------------------------------|-----------|-------|--|------|-------------------|-------------------|-----------------|
| | Mín % | Máx % | D % | A % | | | |
| CaO | 5,5 | 31 | 5,5 | 13 | 9,58 | 4,33 | 45,19 |
| SiO ₂ | 25 | 53,5 | 41 | 52 | 46,95 | 5,65 | 12,04 |
| Al ₂ O ₃ | 7 | 15 | 10 | 15 | 13,42 | 1,62 | 12,06 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,5 | 8,5 | 6,5 | 8,50 | 7,53 | 0,98 | 13,04 |
| Na ₂ O K ₂ O | 1,25 | 4,75 | 2,5 | 4 | 3,36 | 1,61 | 47,92 |
| SO ₃ | 0,1 | 4,5 | 0,1 | 4,5 | 0,94 | 1,54 | 163,38 |

En algunas partes del yacimiento el límite entre la arcilla parca y la arcilla gris no está bien definido, y la arcilla parca pasa a arcilla gris sin regularidad alguna. Este hecho se ha observado también en la cantera actual de las arcillas.

La composición química según los componentes más interesantes de las muestras tomadas de la cantera es la siguiente:

Tabla 16

| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | P ₂ O ₅ | Na ₂ O | K ₂ O |
|---------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-----------------|-------------------------------|-------------------|------------------|
| Arcilla parca | 49,98 | 14,64 | 10,28 | 6,63 | 3,14 | 0,39 | 0,127 | 1,46 | 2,24 |
| Arcilla gris | 50,88 | 15,18 | 7,62 | 5,51 | 3,94 | 1,08 | 0,117 | 1,54 | 2,08 |

En algunos casos fue determinado el azufre en forma de S⁺⁺ y las sales de Na y K en forma hidrosoluble, cuyos resultados son los siguientes:

Tabla 17

| | Na | K | S ⁻⁻⁻ |
|---|-----------|---------|------------------|
| Conglomerado gris en arcilla gris (Peze 403)..... | 0,07 | Tr | 2,02 |
| Arcilla gris (Pezos 450, 452 y 429) | 0,05-0,19 | Tr-0,05 | 0,52-1,25 |
| Arcilla parda (Pezos 317, 452 y 429)..... | 0,05-0,16 | Tr | 0,02-0,18 |
| Marga calcárea deleznable (Peze 387)..... | 0,02 | Tr | 0,76 |

Según los resultados obtenidos se puede ver que el contenido de álcalis en las arcillas practicamente no se encuentra en forma hidrosoluble é solo en relativamente poca cantidad (Na-0,05-0,19%), predominando en forma de silicatos.

El mayor contenido de los sulfatos é azufre en forma de S⁻⁻⁻ lo tenemos en los conglomerados con cemento de arcilla gris, siendo un poco inferior en la arcilla gris sin intercalaciones, y considerablemente inferior en el caso de la arcilla parda pura.

Tabla 18

Procedios ponderados de los análisis químicos de la arcilla parda.

| Peze | 446 | 403 | 137 | 217 | 433 | 265 | 407 | Promedio ponderado |
|------------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------------------|
| Ne | | | | | | | | |
| Desde | 0,0 | 0,1 | 38,4 | 2,70 | 0,0 | 9,30 | 6,40 | |
| Hasta(m) | 12,9 | 8,40 | 39,3 | 6,10 | 9,0 | 22,50 | 8,55 | |
| Espesor(m) | 12,9 | 8,30 | 0,9 | 3,4 | 9,0 | 13,2 | 2,15 | Σ 49,85 |
| CaO (%) | 8,45 | 13,57 | 10,85 | 13,35 | 7,33 | 8,55 | 8,53 | 9,34 |
| SiO ₂ (%) | 50,73 | 42,24 | 43,95 | 43,92 | 43,39 | 43,74 | 50,41 | 47,77 |
| Al ₂ O ₃ (%) | 13,55 | 12,63 | 14,37 | 12,95 | 14,87 | 14,08 | 11,66 | 13,67 |
| Fe ₂ O ₃ (%) | 6,78 | 6,62 | 8,30 | 6,65 | 8,56 | 7,92 | 7,17 | 7,41 |
| ppi (%) | 12,04 | 15,84 | 16,18 | 16,03 | 12,26 | 12,24 | 13,24 | 13,16 |
| MgO (%) | 3,38 | 2,29 | 2,70 | 2,92 | 3,52 | 3,86 | 3,05 | 3,29 |
| Na ₂ O (%) | 1,76 | 1,28 | 0,44 | 1,02 | 1,46 | 1,27 | 1,74 | 1,42 |
| K ₂ O (%) | 2,01 | 2,18 | 1,82 | 1,86 | 2,12 | 1,85 | 1,32 | 1,97 |
| SO ₃ (%) | 0,26 | 2,93 | 0,03 | 0,10 | 0,10 | 0,76 | 4,46 | 0,97 |
| P ₂ O ₅ (%) | 0,15 | 0,145 | 0,12 | 0,07 | 0,12 | 0,095 | 0,057 | 0,119 |
| TiO ₂ (%) | 0,46 | 0,545 | 0,65 | 10,500 | 0,56 | 0,524 | 0,49 | 0,519 |
| MnO (%) | 0,08 | 0,10 | Tr | 0,05 | 0,09 | 0,09 | 0,07 | 0,084 |
| Cl (%) | 0,10 | 0,10 | Tr | 0,10 | Tr | 0,10 | Tr | 0,10 (Tr) |
| MH | 0,12 | 0,24 | 0,16 | 0,22 | 0,09 | 0,12 | 0,12 | 0,14 |
| Ms | 2,50 | 2,18 | 1,93 | 2,24 | 2,05 | 2,22 | 2,67 | 2,27 |
| MA | 2,0 | 1,93 | 1,73 | 1,95 | 1,73 | 1,78 | 1,62 | 1,84 |
| CS | 5 | 10 | 7 | 9 | 4 | 5 | 5 | 6 |

VI.-2. Propiedades tecnológicas y calidad industrial.

a) Sistema utilizado en la investigación tecnológica y su justificación.

Todos los trabajos e investigaciones tecnológicas del proyecto "Mariel" se han enfocado a fin de averiguar las propiedades de la materia prima para su futuro uso en la producción de cemento según los parámetros de producción de la fábrica existente y, ante todo, de una nueva planta que se proyecta para la producción de cemento por vía seca.

Los conocimientos sobre las materias primas del yacimiento se han obtenido de los primeros 25 pozos, que corresponden a una parte del yacimiento estudiada según una red de 200 200 metros.

Debido a que la materia prima en el yacimiento no es uniforme por su carácter y a que el proceso de producción del cemento necesita además de una materia prima carbonática, las materias primas correctoras (silíceas), los trabajos tecnológicos se han enfocado para caracterizar tecnológicamente todos los tipos principales de la materia prima del yacimiento.

Para caracterizar todos los tipos de materia prima se han tomado, además de los resultados petrográficos, los criterios expuestos en la siguiente tabla

| Tipo de materia prima | Contenido de CaCO ₃ en % |
|-----------------------|-------------------------------------|
| Caliza | mas de 90% |
| caliza margosa | 75-90 |
| marga calcárea | 40-75 |
| marga | 15-40 |
| arcilla calcárea | 5-15 |
| arcilla | 0-5 |

Los trabajos tecnológicos que se realizarán fueron los siguientes:

- 1) Descripción tecnológica de los pozos de perforación (casos)

ción de los tipos de materias primas, material desintegrado, deleznable, cavernas, rellenos de cavernas, intercalaciones, etc).

2) Muestreo de los pezos según la descripción geológica y tecnológica. El muestreo de la cantera (muestras para los análisis químicos, muestras para los ensayos físico-mecánicos y la humedad natural).

3) Análisis químicos (básicos y compósitos) y pruebas físico-mecánicas.

4) Evaluación tecnológica de la materia prima en base a los resultados obtenidos.

La evaluación tecnológica se hizo inicialmente por los pezos.

Los módulos que se emplean hasta ahora en la práctica de cemento y que expresan las relaciones mutuales entre los óxidos más importantes, fueron calculados por las siguientes fórmulas:

$$M_H \text{ (módulo hidráulico)} = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

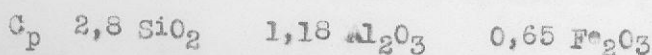
$$M_S \text{ (módulo de sílice)} = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

$$M_A \text{ (módulo de alúmina)} = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

y el coeficiente de saturación

$$CS = \frac{100 \cdot CaO}{2,8 SiO_2 + 1,18 Al_2O_3 + 0,65 Fe_2O_3}$$

El coeficiente de saturación se utiliza para expresar el grado de saturación de los componentes hidráulicos del clínker (o cemento) donde la cal standard (en la práctica) es:



expresa la cantidad de CaO que pueden formar los componentes hidráulicos en la producción corriente del clínker del cemento, empleando el procedimiento normal de cocción y de enfriamiento. Los módulos (M_H,

M_S y M_A) no reflejan las cantidades en que el clinker de cemento comprende los componentes C_3S, C_2S, C_3A, C_4AF y C_2F .

Estas relaciones están reflejadas en el standard de cal y en el coeficiente de saturación, respectivamente. Sin embargo, la utilización de los módulos en la práctica de cemento es hasta ahora muy útil, especialmente en combinación con el coeficiente de saturación.

Los módulos para un cemento portland normal varían entre los límites siguientes:

$$M_H = 1,9 - 2,2$$

$$M_S = 1,7 - 2,7$$

$$M_A = 1,5 - 2,5$$

El coeficiente de saturación en el cemento portland normal es igual a 0,8 - 0,95 (80-95% respectivamente), debido a que en la práctica corriente de la producción de cemento normal no se utiliza la saturación completa, sino que se trabaja con saturación inferior al 100 % para evitar la posibilidad de que se forme el clinker expansivo, que da por resultado variaciones de las condiciones de producción (con el aumento del coeficiente de saturación aparece el peligro de cal libre en el clinker, cuyo contenido mayor de 2-3% hace inaceptable el cemento).

Los factores mencionados tienen especial importancia en el caso de los cálculos de la mezcla del crudo para la producción del cemento, a fin de elegir una de las mejores combinaciones posibles, empleando los diversos tipos de materia prima del yacimiento.

Con el fin de cumplir esta tarea se han calculado las características químicas de cada tipo tecnológico y geológico de materias primas del yacimiento, expuesto anteriormente.

Por parte de la Empresa del Cemento fueron elaboradas las condiciones preliminares para los límites óptimos de los óxidos (sustancias nocivas) y de la humedad natural que deben ser cumplidas en los crudos (mezclas) para la producción de cemento por proceso seco.

Los límites que se consideraran como óptimos son los siguientes:

- Alcalis totales (como Na_2O) - máximo 0,8%
- Cloruros totales (como Cl) - máximo 0,3%
- Pentóxido de fósforo (P_2O_5) - máximo 0,1%
- Humedad (máxima) - 8,0%

El resto de los óxidos no tienen limitaciones.

El cálculo de las mezclas para el crudo se hizo en base de 3 y 4 componentes, utilizando el sistema de 3 ecuaciones con 3 incógnitas y de 4 ecuaciones con 4 incógnitas, respectivamente, por el método de inversión de matriz de Gauss. Para el cálculo preliminar han sido facilitados por la Empresa del Cemento los siguientes factores necesarios: coeficiente de saturación, módulo de sílice, módulo de alúmina y un análisis orientativo de la celda de Nicaro. Se proyecta la utilización de la celda de Nicaro para la corrección del contenido de Fe_2O_3 en el crudo para la producción de cemento en el futuro.

Para la producción futura de cemento en la planta de Mariel se utilizarán inicialmente los factores preliminares siguientes para el crudo:

- CS (coeficiente de saturación) - 90%
- M_S (módulo de sílice) - 2,2
- M_A (módulo de alúmina) - 1,7

El análisis orientativo de la celda de Nicaro (el análisis se realizó en la planta de cemento José Mercaderón, Santiago de Cuba) arroja los siguientes resultados:

| Original (%) | Recalculado (%) |
|------------------------------------|------------------------------------|
| SiO_219,10 | SiO_218,94 |
| Al_2O_3 7,97 | Al_2O_3 7,90 |
| Fe_2O_340,50 | Fe_2O_358,60 |
| FeO16,75 | CaO 0,09 |
| CaO 0,09 | MgO 0,40 |
| MgO 0,40 | NiO 0,48 |
| NiO 0,48 | Cr_2O_3 2,58 |
| Cr_2O_3 2,60 | |

Hay que señalar que la celda de NicaRa contiene níquel y cromo, los cuales en pequeñas cantidades (como en el crudo) no perjudican la calidad del cemento; sin embargo, pueden ser nocivos, especialmente para los trabajadores de la construcción, porque el níquel y especialmente el cromo contenidos en el cemento provocan la mayoría de las enfermedades alérgicas de la piel entre los trabajadores del ramo. Los contenidos de Cr_2O_3 en el clinker mayores de 0,5% disminuyen la calidad del cemento. En el rango de 0,1-0,5% pueden funcionar como estimulantes de la actividad del cemento.

Posteriormente, la Empresa de Cemento ha especificado los parámetros del clinker para el cálculo preliminar de las mezclas (crudos) para la nueva planta de cemento.

Los parámetros necesarios (módulos y factor de saturación) se estiman que deben estar en los límites siguientes:

Módulo de sílice - 1,9-2,3

Módulo de alúmina - 1,6-1,8

Factor de saturación 85-90%

De acuerdo con estos criterios algunos cálculos se llevaron a cabo, utilizando los valores promedio:

Módulo de sílice - 2,1

Módulo de Alúmina - 1,7

Factor de saturación 87,5%.

b) Composición de la calidad promedio del yacimiento con el material usado en la prueba semiindustrial (é en la práctica industrial).

En esta etapa de la exploración geológica no se hizo prueba semiindustrial, ni industrial. Se han tomado muestras de las canteras (calizas y arcillas) donde se hace la extracción actual. Los resultados de los pezos de perforación coinciden en promedio con los resultados de las canteras donde se hace la extracción. Nuestros datos, comparados con los datos obtenidos por parte de la Empresa del Cemento (de varias zonas del yacimiento) se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla 19

| | Calizas | | | | Arcillas (calcáreas) | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Caliza blanda promedio de los pezes | Calizas Zona I (Empresa del Cemento) | Cantera de extracción actual | Cantera de extracción actual | Arcilla gris promedio de los pezes | Arcilla parda promedio de los pezes | Arcillas Zona IV (Empresa del cemento) | Cantera de extracción actual | Cantera de extracción actual | Cantera de extracción actual |
| CaO | 53,28 | 52,73 | 53,16 | 54,17 | 9,13 | 9,34 | 12,59 | 5,51 | 6,63 | |
| SiO ₂ | 2,30 | 2,73 | 2,92 | 1,37 | 47,63 | 47,77 | 45,44 | 50,88 | 48,58 | |
| Al ₂ O ₃ | 0,70 | 1,06 | 0,86 | 0,64 | 13,41 | 13,67 | 14,61 | 15,18 | 14,64 | |
| Fe ₂ O ₃ | 0,35 | 0,76 | 0,31 | 0,23 | 7,66 | 7,41 | 6,41 | 7,62 | 10,28 | |
| ppi | 42,10 | - | 41,95 | 42,78 | 12,67 | 13,16 | - | 10,60 | 10,77 | |
| MgO | 0,50 | 0,69 | 0,50 | 0,64 | 3,42 | 3,29 | 3,05 | 3,94 | 3,14 | |
| Alcalis totales | 0,20 | 0,12 | 0,13 | 0,13 | 3,61 | 3,39 | 3,50 | 3,62 | 3,70 | |
| P ₂ O ₅ | 0,068 | - | 0,077 | 0,048 | 0,136 | 0,119 | - | 0,117 | 0,127 | |
| SO ₃ | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,10 | 2,83 | 0,97 | - | 1,08 | 0,39 | |

El contenido de CaO en las arcillas de la cantera actual es un poco inferior al promedio de los pezes, y el contenido de SiO₂ un poco superior. Hay que señalar, que en la zona de la cantera actual, en las arcillas no se encuentran tan frecuentemente las intercalaciones duras (conglomerados, etc), que aumentan el contenido de CaO. Directamente en la zona de la cantera de arcillas no han sido perforados pezes en la investigación actual.

e) Propiedades físico-mecánicas de las materias primas.

De las propiedades físico-mecánicas, primeramente fue evaluada la humedad natural de la caliza blanda, de la arcilla calcárea gris y de la arcilla parda.

Los resultados aparecen en la tabla 20 comparados con los resultados del informe geotécnico de los suelos para la ubicación de la...

Tabla 20

| | Resultados del lab. Isaac del Cerral | | Resultados del lab. Planta René Arceay | | Resultados promedios del informe geotécnico | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--|--|------|---|---------------------|---|
| | Humedad natural % | Peso volumétrico en estado natural g/cm ³ | Humedad natural % | | Humedad natural w % | Index plasticity IP | Peso específico p _s gr/cm ³ |
| Arceilla parda | | | | | | | |
| Arceilla - Cantera M#e-1/2 | 21,2 | 2,07 | 10,6 | | | | |
| Arceilla - Cantera M#e-1/2 | 18,9 | 2,02 | 9,5 | | | | |
| Arceilla - Trinchera | | | | | | | |
| Arceilla muestra T-1/1 | 18,8 | 2,03 | 9,8 | | | | |
| Arceilla gris Trinchera | | | | | | | |
| Arceilla muestra T-1/2 | 15,7 | 2,07 | 8,0 | 31,8 | 44,0 | 2,73 | |
| Arceilla muestra T-2 | 19,2 | 2,08 | 9,8 | | | | |
| Calizas Caliza blanda cantera actual | | | | | | | |
| Calizas muestra e-2 | 12,7 | 2,21 | 7,3 | | | | |
| Calizas Caliza blanda trinchera | | | | 22,8 | 10,5 | 2,70 | |
| Calizas muestra T-3 | 13,5 | 1,93 | 6,3 | | | | |
| Margas | | | | 24,4 | 18,5 | 2,70 | |

Como se puede ver en la tabla 20 se han obtenido diferentes valores de la humedad natural, en dependencia del procedimiento utilizado en los diferentes laboratorios. Se estiman como más confiables los resultados del laboratorio Isaac del Cerral, porque se hicieron con el procedimiento común de la determinación de la humedad natural (normas ISO) y representa la masa en el estado natural de su extracción durante días relativamente despejados.

Para la producción de cemento por vía seca, una humedad natural alta no es conveniente porque aumenta la cantidad de combustible necesario. Si se trata del proceso húmedo, en muchos casos la plasticidad alta de las materias primas es poco deseable porque obliga a un aumento del agua en la pasta.

El proceso seco es más económico, pero si la humedad de las

Los resultados de las muestras de los pozos son semejantes, a saber:

Caliza cavernosa (Pozo 38): Resistencia 345 kg/cm²
Absorción 1,8%
Peso volumétrico 2,56 g/cm³
Peso específico 2,7 g/cm³

Caliza compacta, hasta

cavernosa (Pozo 267): Resistencia 281 kg/cm²
Absorción 1,1 %
Peso volumétrico 2,55 g/cm³
Peso específico 2,71 g/cm³

Marga calcárea gris (Pozo 452): Absorción 11,7 %
Peso volumétrico 2,04 g/cm³

Caliza cavernosa

Generalmente se puede decir que la caliza cavernosa es una roca muy dura con resistencia superior a 300 kg/cm², la cual se tritura y muele difícilmente.

Caliza compacta estratificada y marga calcárea gris compacta

Tienen resistencia a la compresión entre 100-300 kg/cm² (dureza mediana) y se trituran y muelen regularmente.

Caliza blanda.

Tiene resistencia entre 80-160 kg/cm². Es una roca blanda hasta medianamente dura. Se tritura y muele fácilmente.

Las arcillas pardas y grises (sin intercalaciones) generalmente son muy plásticas, con gran cantidad de agua plástica y contracción grande al secado.

Una vez secas, las arcillas pardas se trituran y muelen fácilmente, al igual que las grises. Sin embargo, las arcillas calcáreas de color gris con gran contenido de intercalaciones (rocas duras-conglomerados, margas, etc.) se trituran regular.

Los resultados físico-mecánicos orientativos se pueden ver en la siguiente tabla

Tabla 22

| | Peso volumétrico g/cm ³ | Agua plástica % | Contra- ción al secado % | ph | Granulometría (Orientativa) | | | |
|---------------|--|-----------------------|-----------------------------------|-------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|
| | | | | | mayor de 1 mm | mayor de 0,056 mm | menor de 0,056 mm | menor de 4µ 2 |
| Arcilla gris | 1,79-2,17 | 33-43 | 4,5-12,3 | 8-8,8 | 0,2-17, | 5,0-50 | 95-50 | 9-23 |
| Arcilla parda | 1,78-1,96 | 36-41 | 9,0-12,8 | 8-8,9 | 0,3-2,9 | 10,52- 11,66 | 89,48- 88,34 | 17-29 |

La granulometría de las arcillas calcáreas de color gris es muy variable debido a las intercalaciones que se encuentran en ellas sin regularidad alguna.

d) Clasificación tecnológica de las materias primas.

Mediante los trabajos de exploración geológica se ha establecido teóricamente, que utilizando las calizas (caliza blanda, caliza compacta) como materia prima carbonática y las arcillas calcáreas (arcilla gris y arcilla parda) como materia prima silícea-correctora se puede obtener una mezcla (crudo) buena para la producción de cemento. Esta resultaría en un clínker teórico que cumple los parámetros estimados (módulo de sílice 1,9-2,3; módulo de alúmina 1,6-1,8; factor de saturación 85-90%) con el uso eventual de la cola de Nicaño como materia prima complementaria-correctora. Las calizas y arcillas constituyen la mayor parte del yacimiento.

Las calizas, caliza blanda y caliza compacta, eventualmente pueden utilizarse para la producción de cemento tanto por vía húmeda, como por vía seca sin problema alguno, siempre que se realice una extracción bien orientada y una buena homogeneización, especialmente en el caso de la caliza compacta estratificada (la cual tiene en algunas partes el carácter de caliza coralina).

La caliza cavernosa teóricamente puede ser utilizable, pero presenta problemas en relación con su homogeneización, trituración y molienda, debido a su dureza y resistencia al esfuerzo dinámico y estático y a su composición química variable.

Son las arcillas las que en definitiva determinarían en cuanto a la adopción del proceso seco ó del húmedo de producción de cemento. Ellas se emplean actualmente por vía húmeda en la fábrica

existente -Bené Arcay- de Mariel.

Por vía seca existen dos problemas principales que hay que confrontar:

1.-La humedad natural, que según los datos obtenidos hasta ahora se mantiene entre 16 y 22 %. Los datos geotécnicos son todavía mayores (32% en promedio). Antes de utilizar las arcillas en el crudo, deben ser presecadas hasta el 6-8% de humedad natural. Dependería de los cálculos económicos del consumo de energía, el tomar una decisión definitiva. Los datos disponibles en la literatura técnica consideran los valores de hasta 15-18% como todavía económicos para el proceso seco. Sin embargo, todos estos factores dependen de un estudio más profundo y complejo de la economía total.

Tanto las arcillas del yacimiento Mariel, como la caliza blanda, deben ser secadas previamente al entrar al proceso seco (hasta unos 6-8% de humedad).

2.-El contenido de álcalis, que en las arcillas se mantiene entre 3,35 y 3,65% en promedio. Los álcalis en general además de su función nociva para el cemento como tal (afecta el funcionamiento de la planta y las propiedades del cemento terminado), varían el tiempo establecido de fraguado y forman conchas en el cemento y reaccionan con los ácidos opalinos (reactivos) en el hormigón. En el proceso seco de producción de cemento, que emplea el sistema de los intercambiadores de calor (ciclones), los álcalis se depositan en estos en forma de sulfatos alcalinos y hay que tomar las precauciones necesarias para reducir la formación de dichos depósitos para evitar la taponación y, eventualmente, la explosión de los ciclones.

En dependencia con la proporción de la arcilla necesaria para el crudo, las arcillas adoptarán hasta el 1,1 % de álcalis totales en el crudo. Según los datos de algunos fabricantes de equipos para el proceso seco, se puede aceptar hasta 1,25-1,5% de álcalis totales en el crudo. En el caso de las arcillas del yacimiento Mariel aportan en todos los casos un contenido de álcalis mayor del 1% en el crudo.

Otros problemas relacionados con las arcillas gris-negruzco son el contenido elevado de pirita en algunas partes y las intercalaciones duras de margas y conglomerados, ambos sin regularidad alguna.

El contenido de pirita con otras formas de azufre (sulfatos, etc) en la arcilla gris llevan al crudo calculado unos 0,8-0,9% de SO_3 en promedio.

Las arcillas de color gris deben ser bien homogeneizadas debido a la variación del CaO resultante de las intercalaciones anteriormente mencionadas.

En las arcillas de color pardo prácticamente no se encuentran sulfuros (excepto en las partes donde están ambos tipos mezclados). Por otra parte, en las arcillas pardas se comprobó una plasticidad y una humedad natural superiores a las que se encuentran en el caso de la arcilla gris. La composición química en cuanto a los elementos principales, es semejante a la de la arcilla gris.

La caliza margosa necesita también una corrección baja (con arcillas). Analizando los resultados de las mezclas calculadas se puede ver que mezclando caliza margosa con arcilla gris ó arcilla parda se puede obtener teóricamente un crudo con los parámetros necesarios en los límites pedidos (el módulo de sílice es un poco elevado: 2,4-2,5). El contenido de los álcalis totales se acerca al límite pedido previamente, es decir, los álcalis totales en el crudo (teórico) calculado se mantienen alrededor de 0,85-0,9%.

Sin embargo, las reservas de la caliza margosa en la parte estudiada del yacimiento son escasas y además la caliza margosa no es tan típica (el color no es tan característico) y por ello no se puede reconocer bien en el terreno (se puede confundir con la caliza blanda).

En cuanto a la marga calcárea gris, por su composición química necesita una corrección alta con las calizas. Estas mezclas llevan el contenido de los álcalis totales generalmente por debajo de 0,8% y el contenido de SO_3 de 0,6 hasta 1,2%. Sin embargo estas mezclas aumentan

mucho el módulo de sílice en la mezcla ó el módulo de alúmina resulta insuficiente. Se estima que los parámetros necesarios convenientes se podrían obtener mediante la corrección de dicha mezcla con una materia prima con alto contenido de alúmina (laterita, bauxita). El por ciento de cada tipo de materia prima en la zona estudiada del yacimiento se encuentra en la parte del cálculo de reservas.

La parte principal del yacimiento está formada por calizas y arcillas, por lo que la solución hay que buscarla en estas materias primas.

Hay que señalar que la utilización de la cola de Nicaro en las mezclas (teóricas) calculadas tiene solamente un carácter orientativo, porque disponemos solamente de un análisis orientativo de la cola y no es absolutamente seguro que sea totalmente representativo de dicha materia prima correctora.

Se ha comprobado que la utilización de cola no es indispensable para la producción de cemento, pero sí se necesita un crudo con la composición siempre constante. En cuanto al factor de saturación y a los módulos de sílice y alúmina, hay que disponer de 4 componentes para asegurar la automatización de los análisis químicos de las materias primas y el cálculo de la mezcla del crudo conjuntamente con la regulación automática de los componentes del mismo.

Mundialmente para la producción de cemento por vía seca se están empleando actualmente hornos rotatorios con una eficiencia de aproximadamente 2550 toneladas/día por horno y un consumo de energía de aproximadamente 785 kcal/kg, provistos con el sistema de los intercambiadores de calor.

Para disminuir el contenido de los álcalis en el sistema, el mismo se complementa con el "by pass". El "by pass" está diseñado para aceptar hasta un 25% de los gases del horno. Los gases del horno se enfrían mediante la adición de aire hasta una temperatura de aproximadamente 425°C y se liberan de los álcalis y los cloruros en la levadura, y entonces pasan por un filtro eléctrico.

Los resultados de las muestras de los pozos son semejantes, a

saber:

Caliza cavernosa (Pozo 38): Resistencia 345 kg/cm²
Absorción 1,8%
Peso volumétrico 2,56 g/cm³
Peso específico 2,7 g/cm³

Caliza compacta, hasta

cavernosa (Pozo 267): Resistencia 281 kg/cm²
Absorción 1,1%
Peso volumétrico 2,55 g/cm³
Peso específico 2,71 g/cm³

Marga calcárea gris (Pozo 452): Absorción 11,7%
Peso volumétrico 2,04 g/cm³

Caliza cavernosa

Generalmente se puede decir que la caliza cavernosa es una roca muy dura con resistencia superior a 300 kg/cm², la cual se tritura y muele difícilmente.

Caliza compacta estratificada y marga calcárea gris compacta

Tienen resistencia a la compresión entre 100-300 kg/cm² (dureza mediana) y se trituran y muelen regularmente.

Caliza blanda.

Tiene resistencia entre 80-160 kg/cm². Es una roca blanda hasta medianamente dura. Se tritura y muele fácilmente.

Las arcillas pardas y grises (sin intercalaciones) generalmente son muy plásticas, con gran cantidad de agua plástica y contracción grande al secado.

Una vez secas, las arcillas pardas se trituran y muelen fácilmente, al igual que las grises. Sin embargo, las arcillas calcáreas de color gris con gran contenido de intercalaciones (rocas duras-conglomerados, margas, etc.) se trituran regular.

Los resultados físico-mecánicos orientativos se pueden ver en la siguiente tabla

Tabla 22

| | Peso volumétrico g/cm ³ | Agua plástica % | Contrac- ción al secado % | ph | Granulometría (Orientativa) | | | |
|---------------|--|-----------------------|------------------------------------|-------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|
| | | | | | mayor de 1 mm | mayor de 0,056 mm | menor de 0,056 mm | menor de 2 |
| Arcilla gris | 1,79-2,17 | 33-43 | 4,5-12,3 | 8-8,8 | 0,2-17, | 5,0-50 | 95-50 | 9-25 |
| Arcilla parda | 1,78-1,96 | 36-41 | 9,0-12,8 | 8-8,9 | 0,3-2,9 | 10,52- 11,66 | 89,48- 88,34 | 17-29 |

La granulometría de las arcillas calcáreas de color gris es muy variable debido a las intercalaciones que se encuentran en ellas sin regularidad alguna.

d) Clasificación tecnológica de las materias primas.

Mediante los trabajos de exploración geológica se ha establecido teóricamente, que utilizando las calizas (caliza blanda, caliza compacta) como materia prima carbonática y las arcillas calcáreas (arcilla gris y arcilla parda) como materia prima silícea-correctora se puede obtener una mezcla (crudo) buena para la producción de cemento. Esta resultaría en un clínker teórico que cumple los parámetros estimados (módulo de sílice 1,9-2,3; módulo de alúmina 1,6-1,8; factor de saturación 85-90%) con el uso eventual de la cola de Nicaoro como materia prima complementaria-correctora. Las calizas y arcillas constituyen la mayor parte del yacimiento.

Las calizas, caliza blanda y caliza compacta, eventualmente pueden utilizarse para la producción de cemento tanto por vía húmeda, como por vía seca sin problema alguno, siempre que se realice una extracción bien orientada y una buena homogeneización, especialmente en el caso de la caliza compacta estratificada (la cual tiene en algunas partes el carácter de caliza coralina).

La caliza cavernosa teóricamente puede ser utilizable, pero presenta problemas en relación con su homogeneización, trituración y molienda, debido a su dureza y resistencia al esfuerzo dinámico y estático y a su composición química variable.

Son las arcillas las que en definitiva determinarán en cuanto a la adopción del proceso seco ó del húmedo de producción de cemento. Ellas se emplean actualmente por vía húmeda en la fábrica

existente -Pené Arcay- de Mariel.

Por vía seca existen dos problemas principales que hay que confrontar:

1.-La humedad natural, que según los datos obtenidos hasta ahora se mantiene entre 16 y 22 %. Los datos geotécnicos son todavía mayores (32% en promedio). Antes de utilizar las arcillas en el crudo, deben ser presecadas hasta el 6-8% de humedad natural. Dependería de los cálculos económicos del consumo de energía, el tomar una decisión definitiva. Los datos disponibles en la literatura técnica consideran los valores de hasta 15-18% como todavía económicos para el proceso seco. Sin embargo, todos estos factores dependen de un estudio más profundo y complejo de la economía total.

Tanto las arcillas del yacimiento Mariel, como la caliza blanda, deben ser secados previamente al entrar al proceso seco (hasta unos 6-8% de humedad).

2.-El contenido de álcalis, que en las arcillas se mantiene entre 3,35 y 3,65% en promedio. Los álcalis en general además de su función nociva para el cemento como tal (afecta el funcionamiento de la planta y las propiedades del cemento terminado), varían el tiempo establecido de fraguado y forman conchas en el cemento y reaccionan con los ácidos opalinos (reactivos) en el hormigón. En el proceso seco de producción de cemento, que emplea el sistema de los intercambiadores de calor (ciclones), los álcalis se depositan en estos en forma de sulfatos alcalinos y hay que tomar las precauciones necesarias para reducir la formación de dichos depósitos para evitar la tупición y, eventualmente, la explosión de los ciclones.

En dependencia con la proporción de la arcilla necesaria para el crudo, las arcillas adoptarán hasta el 1,1 % de álcalis totales en el crudo. Según los datos de algunos fabricantes de equipos para el proceso seco, se puede aceptar hasta 1,25-1,5% de álcalis totales en el crudo. En el caso de las arcillas del yacimiento Mariel aportan en todos los casos un contenido de álcalis mayor

Otros problemas relacionados con las arcillas gris-negruzco son el contenido elevado de pirita en algunas partes y las intercalaciones duras de margas y conglomerados, ambos sin regularidad alguna.

El contenido de pirita con otras formas de azufre (sulfatos, etc) en la arcilla gris llevan al crudo calculado unos 0,8-0,9% de SO_3 en promedio.

Las arcillas de color gris deben ser bien homogeneizadas debido a la variación del CaO resultante de las intercalaciones anteriormente mencionadas.

En las arcillas de color pardo prácticamente no se encuentran sulfuros (excepto en las partes donde están ambos tipos mezclados). Por otra parte, en las arcillas pardas se comprobó una plasticidad y una humedad natural superiores a las que se encuentran en el caso de la arcilla gris. La composición química en cuanto a los elementos principales, es semejante a la de la arcilla gris.

La caliza margosa necesita también una corrección baja (con arcillas). Analizando los resultados de las mezclas calculadas se puede ver que mezclando caliza margosa con arcilla gris ó arcilla parda se puede obtener teóricamente un crudo con los parámetros necesarios en los límites pedidos (el módulo de sílice es un poco elevado: 2,4-2,5). El contenido de los álcalis totales se acerca al límite pedido previamente, es decir, los álcalis totales en el crudo (teórico) calculado se mantienen alrededor de 0,85-0,9%.

Sin embargo, las reservas de la caliza margosa en la parte estudiada del yacimiento son escasas y además la caliza margosa no es tan típica (el color no es tan característico) y por ello no se puede reconocer bien en el terreno (se puede confundir con la caliza blanda).

En cuanto a la margas calcárea gris, por su composición química necesita una corrección alta con las calizas. Estas mezclas llevan el contenido de los álcalis totales generalmente por debajo de 0,8% y el contenido de SO_3 de 0,6 hasta 1,2%. Sin embargo estas mezclas aumentan

mucho el módulo de sílice en la mezcla ó el módulo de alúmina resulta insuficiente. Se estima que los parámetros necesarios convenientes se podrían obtener mediante la corrección de dicha mezcla con una materia prima con alto contenido de alúmina (laterita, bauxita). El por ciento de cada tipo de materia prima en la zona estudiada del yacimiento se encuentra en la parte del cálculo de reservas.

La parte principal del yacimiento está formada por calizas y arcillas, por lo que la solución hay que buscarla en estas materias primas.

Hay que señalar que la utilización de la cola de Nicaragua en las mezclas (teóricas) calculadas tiene solamente un carácter orientativo, porque disponemos solamente de un análisis orientativo de la cola y no es absolutamente seguro que sea totalmente representativo de dicha materia prima correctora.

Se ha comprobado que la utilización de cola no es indispensable para la producción de cemento, pero sí se necesita un crudo con la composición siempre constante. En cuanto al factor de saturación y a los módulos de sílice y alúmina, hay que disponer de 4 componentes para asegurar la automatización de los análisis químicos de las materias primas y el cálculo de la mezcla del crudo conjuntamente con la regulación automática de los componentes del mismo.

Mundialmente para la producción de cemento por vía seca se están empleando actualmente hornos rotatorios con una eficiencia de aproximadamente 2550 toneladas/día por horno y un consumo de energía de aproximadamente 785 Kcal/kg, provistos con el sistema de los intercambiadores de calor.

Para disminuir el contenido de los álcalis en el sistema, el mismo se complementa con el "by pass". El "by pass" está diseñado para aceptar hasta un 25% de los gases del horno. Los gases del horno se enfrían mediante la adición de aire hasta una temperatura de aproximadamente 425°C y se liberan de los álcalis y los cloruros en la levadura, y entonces pasan por un filtro eléctrico.

Para la alimentación se emplea el sistema automático del analizador espectral de rayos x (el x-ray spectral analyser determina en 2 minutos el SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O y SO_3) combinado con una computadora digital, la cual dirige los alimentadores de balanza.

Tabla 23

Combinaciones entre las materias primas: calizas (caliza blanda, caliza cavernosa, caliza compacta), marga calcárea, arcilla parda y cola de Nicaro.

| Combinaciones | % | CaO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | otros | Alca. | | CS | |
|------------------|--------|--------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------------------|-----------------|--------|-----------|
| | | | | | | | R ₂ O | SO ₃ | pedido | calculado |
| a) Caliza blanda | 73,63 | 39,23 | 1,69 | 0,52 | 0,26 | | 0,15 | 0,05 | | |
| Arcilla parda | 26,37 | 2,46 | 12,60 | 3,60 | 1,95 | | 0,89 | 0,26 | | |
| Mezcla | 100,00 | 41,69 | 14,29 | 4,12 | 2,21 | 37,69 | 1,04 | 0,31 | | |
| Clinker teórico | - | 66,91 | 22,93 | 6,61 | 3,55 | | | | 90,00 | 90,63 |
| b) Caliza blanda | 4,64 | 2,47 | 0,11 | 0,03 | 0,02 | | 0,01 | 0,003 | | |
| Caliza cavernosa | 59,62 | 28,08 | 4,19 | 2,24 | 1,13 | | 0,13 | 0,05 | | |
| Marga calcárea | 34,96 | 11,12 | 9,82 | 1,74 | 0,80 | | 0,47 | 0,58 | | |
| Cola de Nicaro | 0,78 | 0,0007 | 0,15 | 0,06 | 0,46 | | | | | |
| Mezcla | 100,00 | 41,67 | 14,27 | 4,07 | 2,41 | 37,58 | (0,61) | (0,63) | | |
| Clinker teórico | - | 66,76 | 22,86 | 6,52 | 3,86 | | | | 90,00 | 89,95 |
| c) Caliza blanda | 18,71 | 9,97 | 0,43 | 0,13 | 0,07 | | 0,04 | 0,01 | | |
| Caliza compacta | 54,20 | 29,21 | 0,88 | 0,37 | 0,20 | | 0,10 | 0,04 | | |
| Arcilla parda | 27,09 | 2,53 | 12,94 | 3,70 | 2,01 | | 0,92 | 0,26 | | |
| Mezcla | 100,00 | 41,71 | 14,25 | 4,20 | 2,28 | 37,56 | 1,06 | 0,31 | | |
| Clinker teórico | - | 66,80 | 22,82 | 6,73 | 3,65 | | | | 90,00 | 90,01 |

| Pedido | M _S | | Pedido | M _A | |
|--------|----------------|--|--------|----------------|--|
| | Calculado | | | Calculado | |
| | (2,26) | | | (1,86) | |
| 2,20 | 2,20 | | 1,70 | 1,69 | |
| 2,20 | 2,20 | | (1,70) | (1,84) | |

VIII.-ESTUDIOS DE LOS TRABAJOS DE BUSQUEDA
Y EXPLORACION REALIZADOS
ANTERIORMENTE

1. Estudios geológicos del yacimiento.

Los primeros estudios geológicos del yacimiento, mas o menos detallados, fueron efectuados en los años 1916-1918, cuando una compañía norteamericana realizó una pequeña exploración de perforación, a base de la cual se inició en seguida la explotación por una cantera y se construyó una planta de cemento.

En los años posteriores se perforaban sin sistema pozos aislados para precisar la calidad y la ubicación de la materia prima util. En 1954-55 en el área adyacente a la cantera desde el este, la misma compañía perforó pozos de exploración a fin de ampliar la base de materia prima, cuyas reservas explotadas anteriormente se habían agotado a consecuencia de una explotación intensa durante 35 años.

Todos los trabajos de exploración arriba mencionados abarcan el flanco norte del yacimiento.

En este yacimiento no se realizaron otros trabajos geológicos (levantamiento geológico, hidrogeológico, etc), ni topográficos.

Hay que notar que de las exploraciones antiguas se conservaron pocos datos, a saber: unas copias de tablas con los resultados de los análisis químicos de los pozos. Además existe un plano de la cantera en escala 5/8" = 100' (1:1920) confeccionado muy esquemáticamente. Los pozos antiguos fueron hechos con máquinas americanas a columna con una recuperación del testigo bastante satisfactoria (del 80 al 90%). Estos pozos están ubicados sin ningún sistema. Los intervalos entre ellos son irregulares, siendo de 15-30 m hasta 200-250 m. Se perforaban hasta diferentes cotas. Son 67 los pozos pertenecientes a estas etapas, con un metraje total de 1860 m.l.

Tampoco existe documentación geológica de los pozos. El muestreo de los testigos de los pozos fue hecho bastante detalladamente, las muestras ordinarias fueron recogidas con un intervalo de 5' (1,5m) y analizadas para CaCO_3 . Las muestras agrupadas se confeccionaban generalmente por 3 muestras, es decir para los intervalos de 15' (4,5 m) sometiéndose al análisis para CaO , MgO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , PPi (y SO_3 para las arcillas).

Otra exploración complementaria de búsqueda fue realizada en el yacimiento en 1961-62 en un área de 0,56 km², situada entre la cantera y el territorio de la Academia Naval de Mariel, haciendo 22 pozos de perforación a columna con un volumen total de 950 m.l.

Los trabajos de exploración geológica de los años 1961-62 fueron realizados por el Ingeniero geólogo soviético M.P. Antsishkin. Por la parte cubana participaron en la exploración los obreros de perforación; el muestreo del testigo y la elaboración de las muestras estuvieron a cargo de José Guzman Rodríguez, alumno de una escuela de química. Los trabajos topográficos fueron realizados por una brigada del ICRM bajo la dirección de José L. Escasena, topógrafo responsable.

2.- Estudios geofísicos del yacimiento.

Antes del año 1972 no fueron realizados ningunos trabajos geofísicos en el yacimiento.

3.- Análisis del sistema de exploración y grado de exploración.

Antes de 1961, en el área de la parte norte del yacimiento (cerca de 1 km²), en la zona de la cantera, en distintos años fueron perforados hasta 125 pozos con un metraje total de unos 3000 m.l. Estos pozos están ubicados, como ya se indicó, sin ningún sistema y de manera irregular, siendo los intervalos entre ellos desde 15-20 hasta 200-250 m. Los horizontes de la profundidad, asimismo, son muy distintos: la mayoría alcanzó las cotas absolutas de +20- +30 m y solo algunos de ellos 0 - +5 m. Esto indica que fue caótica y sin arreglo a ningún plan la exploración en el yacimiento en esta etapa.

La parte sur del yacimiento, de aproximadamente 0,56 km², entre la cantera y la Academia Naval, fue explorada en 1961-62 con perforaciones de columna. Los pozos estaban situados en 3 líneas de búsqueda, con un rumbo transversal a la dirección general de las estruc-

última fue disminuida debido a la cercanía del territorio de la Academia y a la necesidad de dejar un pilar de seguridad.

La distancia entre los pozos, como promedio, fue de 100 m en la zona de desarrollo de las arcillas y de 200 a 300 m para las rocas carbonatadas. En total por esta red fueron perforados 17 pozos (746 m l.). El pozo 18 fue perforado fuera de la red de explotación en el flanco oriental a 460 m de distancia del pozo extremo, para ampliar el pronóstico de las reservas por la categoría C₂.

Ya que el horizonte inferior de las futuras canteras de explotación lo constituía la cota absoluta 5 m sobre el nivel del mar, todos los pozos fueron profundizados hasta los horizontes 0 - 5m. Con el objetivo de completar la explotación del mineral útil hasta la profundidad de este horizonte, en la cantera fueron perforados 5 pozos. De este modo en los años 1961-62 se perforaron en el yacimiento 22 pozos con un metraje total de 950 m.l. La profundidad promedio de estos pozos fue de 43,8 m.

Todo el metraje atravesó el mineral útil. La recuperación del testigo oscila del 70 al 100 %, siendo el promedio de 91%.

La perforación fue hecha con máquinas soviéticas SVUD-150-ZIF.

Todos los pozos perforados fueron documentados detalladamente, muestreados y amarrados topográficamente.

Sobre las labores de muestreo, todo parece indicar que no existen documentos de los resultados de aquél de los pozos antiguos. De los documentos conservados solo se desprende que fueron analizadas las muestras ordinarias con un intervalo de 5 pies, para el contenido de CaCO₃, y las muestras agrupadas con un intervalo de 15 pies (a veces hasta 25 pies) que fueron analizadas para CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, SO₃ y ppi. No existe información alguna sobre otros tipos de estudios del testigo de los pozos antiguos.

En los trabajos de 1961-62 se siguió la siguiente metodología en el muestreo:

En todos los pozos fue muestreado el testigo de las rocas

carbonáticas y arcillosas. Las muestras fueron enviadas a

lisis químico, análisis con tamices (arcillas), para la determinación del peso volumétrico y humedad y para el análisis espectral.

El testigo se partía a lo largo del eje en dos partes; después una mitad sirvió para recoger muestras. De la segunda mitad, después de documentarla, fueron recogidas cada 1,5-2 m (en correspondencia con los intervalos de las muestras ordinarias) muestras representativas que se guardaban como duplicados del testigo.

En total se tomaron 1104 muestras ordinarias y 657 agrupadas.

Los análisis químicos fueron hechos en general, por el laboratorio de la planta, y solo los análisis de 43 muestras se hicieron en el laboratorio del Ministerio de Obras Públicas. En este mismo Ministerio se efectuaron los análisis de control externo de las muestras analizadas por el laboratorio de la planta y viceversa, el laboratorio de la planta hizo los análisis de control para una parte de las muestras analizadas por el laboratorio del Ministerio de Obras Públicas.

En total fueron sometidas a control externo 20 muestras, lo que constituye el 4% de las mismas.

4.-Análisis de la magnitud y exactitud del estudio de la calidad de la mena.

En el yacimiento se ha llevado a cabo el estudio de la materia prima en su composición química, propiedades físico-mecánicas y características tecnológicas.

De los estudios de los años 1961-62 se desprende que la composición química de los principales componentes de las rocas carbonatadas y arcillosas en el yacimiento es bastante homogéneo, y a consecuencia de ellos, la materia prima no tiene un carácter muy variable. En cuanto al contenido de impurezas químicas nocivas, la materia prima también es bastante pura.

Los resultados del control externo e interno dió resultados satisfactorios, ya que las divergencias medias en los resultados de los análisis básicos y de control de todos los componentes no pasan como regla general, los límites...

VIII.-EVALUACION GEOLOGO-ECONOMICA

DEL YACIMIENTO Y LAS CONDICIONES

A juzgar por el tiempo de funcionamiento de la planta "Rene Arcay", y de la calidad del cemento que ésta produce, se puede decir que este yacimiento, desde el punto de vista económico, es bueno.

El precio de costo de extracción, según los datos de la planta de 1962, alcanzaba 0,71 pesos por tonelada de materia prima.

No existe información alguna sobre la cantidad de materia prima extraída de este yacimiento. Basándose en la capacidad de la planta y en las dimensiones del área explotada a cantera, se ha calculado que desde el comienzo de la explotación durante 43 años (hasta 1961), habían sido extraídas y elaboradas por la planta de 25 a 30 millones de toneladas de materia prima.

Como ya fue indicado, el yacimiento Mariel se está trabajando a partir de 1918 en una cantera situada en la parte norte del mismo. La cantera ocupa un área de unos 0,8 km² y tiene dos escalones: el primero en la cota absoluta de 75 pies, abandonado en 1955 y el segundo en la cota de unos 100 pies, explotándose en 1962, hasta ahora.

La altura de este escalón es de 15-20 hasta 35 metros.

En la parte sur se extraen arcillas, en la parte norte margas y calizas.

La extracción se hace mecánicamente, usando excavadoras y un volumen no grande de explosivos. Por camiones de volqueta la materia prima es trasladada a la planta.

Las condiciones de explotación de dicho yacimiento son favorables por los siguientes motivos:

- 1.- Plena ausencia de rocas de escombros y de intercalaciones de rocas estériles, lo que facilita y rebaja el precio de extracción y procesamiento de la materia prima. Esto es válido refiriéndose al proceso húmedo de fabricación de cemento; por lo que se refiere al proceso seco habrían inconvenientes con algunas impurezas e intercalaciones (por ejemplo de la arcilla roja de la caliza cavernosa, y de las intercalaciones de conglomerados grises en las arcillas grises).

2.-Un factor extraordinariamente favorable consiste en que, en una misma superficie están situados en realidad dos yacimientos: el de rocas carbonáticas y el de arcillas, no muy distante uno del otro. Una combinación como esta se presenta raras veces, según los que han estudiado el yacimiento.

3.-Condiciones hidrogeológicas favorables, ya que prácticamente en el yacimiento no aparecen aguas subterráneas.

Las condiciones favorables minero-técnicas enunciadas, condicionan precios de costo relativamente bajos de extracción del mineral útil, rebajando el precio de costo del producto terminado, es decir del cemento.

Según datos de la planta "Bené Atoyac" el costo real de extracción de una tonelada de materia prima era de 0,71 pesos en 1962 y el precio de costo de una tonelada de cemento era de 14,23 pesos.

El estado para el 1.º de Abril de 1962 de la cubicación de las reservas fue de 78'427,000 toneladas de materia prima (55'614,000 de rocas carbonatadas y 22'813,000 de rocas arcillosas) en categorías A B C₁. En categoría C₂ se calcularon 42'224,000 toneladas, haciendo un total de 120'651,000 toneladas en toda la parte explotada en los años de 1961-62.

Todo lo anteriormente expuesto garantiza excelentes posibilidades futuras en la explotación de este yacimiento y justificaría los trabajos a realizar para explotarlo.

IX.-PARTE METODOLOGICA

1.-Fundamento de la selección de la zona para la exploración.

Una de las razones de mayor importancia en la selección de la zona para la exploración es el hecho de ser el yacimiento Mariel uno de los mas grandes, de los yacimientos de materia prima para cemento, conocidos en Cuba.

La zona de Mariel es bastante grande y es posible la presencia de materias primas en cantidades considerables. Hasta ahora, las partes norte y sur del yacimiento son las mas conocidas y las que mejor han sido exploradas. Las otras partes del mismo han sido sometidas a una reducida exploración ó a ninguna.

Siendo esta una zona con un desarrollo de los horizontes ricos (materia prima) bastante uniforme, es de esperar la continuación de las formaciones geológicas hácia las áreas que aún no han sido exploradas.

Esto ya ha sido confirmado en la parte nordeste del yacimiento con trabajos de perforación, y está sujeto a confirmación en la zona sur (cantera de arcilla) donde se realizarán 6 pozos para explorar específicamente la arcilla.

2.-Tareas de los trabajos proyectados.

a) Trabajos de perforación.

Las tareas de los pozos de perforación son:

- I.-Obtener una recuperación satisfactoria (como mínimo 90%).
- II.-Estudiar la estratigrafía y litología del yacimiento.
- III.-Garantizar los testigos para las investigaciones de las características tecnológicas y calidad de la materia prima.

b) Surcos.

Los surcos serán tomados en la pared vertical de la cantera; 5 en total con un metraje de 120 m.

El objetivo de estos surcos es aclarar la composición química y las características tecnológicas de la cantera.

c) Trabajos tecnológicos.

cada uno de los tipos de rocas.

3.- Metodología de los trabajos geológicos de exploración.

La metodología de los trabajos fue la siguiente:

Primera fase.-Se efectuaron solamente los trabajos topográficos, geofísicos, geológicos y una pequeña parte de los trabajos tecnológicos, de laboratorio, petrográficos, paleontológicos e hidrogeológicos.

Teniendo en cuenta el grado de exploración del yacimiento, la constitución geológica del mismo conocida hasta el momento y el tipo de materia prima, era necesario para todo el territorio del yacimiento hacer una base topográfica precisa a escala 1:1000. Los mapas topográficos que se tenían no llenaban estas exigencias (el mapa del yacimiento a escala 1:2000 del año 1962 es muy poco preciso, hecho solo en la red local, y el mapa a escala 1:7500 es poco detallado y su escala no permite una interpretación de la composición geológica del yacimiento). Conjuntamente con los trabajos topográficos se realizaron los trabajos geofísicos, con los cuales se aclararon los elementos básicos de la constitución geológica y tectónica del yacimiento.

En esta fase de la exploración se realizó el mapeo geológico orientativo en la base topográfica a escala 1:1000. Se efectuó la documentación detallada de las paredes de la cantera y la determinación petrográfica y química de las rocas de las paredes de la cantera. Lo primero no ha llegado a realizarse. A continuación se realizó un estudio detallado de todos los materiales existentes sobre el yacimiento y su evaluación, conjuntamente con los resultados de la primera fase de la exploración. La distancia entre los pozos en esta fase fue de 200x200 m.

Segunda fase.-En base a la evaluación de la primera fase de la exploración, los topógrafos señalarán la red de perforación. Primeramente se perforarán los pozos de las líneas aproximadamente perpendiculares a la constitución geológica del yacimiento. La distancia entre las líneas es de 200 m. y la distancia

m (densidad de los trabajos para la categoría C_1). En el bloque proyectado # 1, categoría B, esta red será intensificada con pozos en el centro de los cuadrados (alternativa 1). En el caso que la constitución geológica y la composición química del yacimiento sea simple, la exploración se terminará aquí. Si las relaciones geológicas y químicas fluctuaran se hará en todo el bloque de categoría B, ó en sus partes mas complicadas, una red de pozos de 50x50 m (alternativa 2).

Con la metódica proyectada de realización de los trabajos de perforación estará asegurada la exploración económica de la Reserva de materia prima del yacimiento. La determinación de las Reservas en la categoría B será efectuada según la situación de los pozos en una red de 50x50 m ó de 100 x 100 m con un pozo en el centro de los cuadrados. La determinación de los bloques en categoría C_1 se realizará con una red de pozos de 100x100 m. Las Reservas de categoría C_2 se extrapolarán a una distancia de 100 m del borde del bloque C_1 , y el borde sur del yacimiento será limitada con las líneas de los pozos a una distancia de 200 m.

Es necesario que después de perforado cada pozo, sea muestreado y realizadas las pruebas químicas para que sea posible al mismo tiempo evaluar los resultados de la exploración del yacimiento. Al mismo tiempo se realizarán los análisis petrográficos y paleontológicos. En todos los pozos se medirá el nivel del agua subterránea. Después de perforada la red de 100x100 m se situarán 3 pozos estructurales para aclarar la constitución geológica del yacimiento. Según sea la situación hidrogeológica se realizarán en caso necesario 4 pozos hidrogeológicos y pruebas de bombeo. Las Reservas de la materia prima en categorías B, C_1 y C_2 serán calculadas por el método de los bloques geológicos en un mapa de escala 1:1000 y la base del yacimiento será 5 m sobre el nivel del mar.

m (densidad de los trabajos para la categoría C_1). En el bloque proyectado # 1, categoría B, esta red será intensificada con pozos en el centro de los cuadrados (alternativa 1). En el caso que la constitución geológica y la composición química del yacimiento sea simple, la exploración se terminará aquí. Si las relaciones geológicas y químicas fluctuaran se hará en todo el bloque de categoría B, ó en sus partes mas complicadas, una red de pozos de 50x50 m (alternativa 2).

Con la metódica proyectada de realización de los trabajos de perforación estará asegurada la exploración económica de la Reserva de materia prima del yacimiento. La determinación de las Reservas en la categoría B será efectuada según la situación de los pozos en una red de 50x50 m ó de 100 x 100 m con un pozo en el centro de los cuadrados. La determinación de los bloques en categoría C_1 se realizará con una red de pozos de 100x100 m. Las Reservas de categoría C_2 se extrapolarán a una distancia de 100 m del borde del bloque C_1 , y el borde sur del yacimiento será limitada con las líneas de los pozos a una distancia de 200 m.

Es necesario que después de perforado cada pozo, sea muestreado y realizadas las pruebas químicas para que sea posible al mismo tiempo evaluar los resultados de la exploración del yacimiento. Al mismo tiempo se realizarán los análisis petrográficos y paleontológicos. En todos los pozos se medirá el nivel del agua subterránea. Después de perforada la red de 100x100 m se situarán 3 pozos estructurales para aclarar la constitución geológica del yacimiento. Según sea la situación hidrogeológica se realizarán en caso necesario 4 pozos hidrogeológicos y pruebas de bombeo. Las Reservas de la materia prima en categorías B, C_1 y C_2 serán calculadas por el método de los bloques geológicos en un mapa de escala 1:1000 y la base del yacimiento será 5 m sobre el nivel del mar.

A.-Levantamiento geológico.

El levantamiento geológico del área explorada se realizó fundamentalmente tomando como base los datos de los pozos, la documentación de la cantera y, donde fuera necesario, mediante salidas al campo. Estas estuvieron restringidas, ya que una gran parte de la superficie del área está ocupada con henequén, haciendo imposible la observación directa, por carencia de afloramientos adecuados.

B.-Sistema de explotación.

Selección de las excavaciones de explotación.

Las excavaciones de explotación fundamentales en el yacimiento son los pozos de perforación. Estas son las que en definitiva pueden arrojar los datos más precisos y representativos del yacimiento y será en base a ellos que se harán las conclusiones más importantes.

Los pozos han sido proyectados de manera tal que corten toda la estructura del yacimiento.

La densidad de la red de explotación en esta fase del trabajo es de 200×200 m.

Para poder garantizar más del 90% de recuperación, como era obligatorio hacerlo, se utilizó el método de "doble tubo y circulación interna" en las partes difíciles y complicadas. Normalmente se utilizó el método de coronas de tungsteno.

El líquido de perforación fue agua limpia.

Se logró como promedio un 93% de recuperación del testigo.

Todos los pozos fueron perforados con la máquina soviética ZWUD-150-ZIF.

Los pozos se perforaron hasta el nivel 5 m sobre el nivel del mar como máximo.

Correlación espacial de las excavaciones y densidad de su red de explotación.

Se utilizó una red de 200×200 m en esta exploración preliminar. Fueron 25 los pozos, distribuidos uniformemente en el área de

Aparte de los pozos, se hicieron dos trincheras con el fin de estudiar las características geotécnicas de las Rocas de la superficie (arcilla gris y caliza blanda) con vistas a la construcción sobre ellas de la nueva planta.

La correlación mas importante de estos pozos puede verse con claridad en los perfiles de los anexos.

C.-Muestreo.

De los pozos de exploración geológica, así como de los surcos de la cantera actual se tomaron las muestras básicas de la documentación tecnológica. Las muestras se tomaron según la litología (descripción geológica) para la realización de los análisis químicos básicos. En base a los resultados obtenidos se prepararon en el laboratorio las muestras compósitas.

Todo el metraje muestreado, así como todas las muestras de laboratorio se conservarán hasta el final del trabajo.

Las muestras de los pozos corresponden a la mitad longitudinal del testigo. Además, del testigo se tomarán las muestras de polvo y lodo para controlar la obtención de un testigo representativo.

El largo promedio de la muestra básica para los análisis químicos será de 1,5 m; el largo máximo será de 2,5 m. Las muestras básicas fueron envueltas y marcadas con cuidado antes de ser llevadas al laboratorio.

El peso de la muestra básica es de 25 kg como máximo. En la preparación de las muestras se usó el sistema conveniente de trituración, molienda y cuarteo hasta que alcanzó una finura analítica por debajo de 0,06 mm. Las partículas magnéticas fueron separadas con imán.

Con una porción de la muestra analítica se determinó el contenido total de los carbonatos expresado como CaCO_3 y ocasionalmente como CaO y MgO . El sobrante de estas muestras fue guardado con cuidado para que posteriormente se pudieran realizar los análisis químicos completos, los cuales se pidieron a base de los resultados básicos (CaCO_3).

D.-Métodos geofísicos de exploración.

Los trabajos geofísicos fueron proyectados para este yacimiento con un carácter fundamentalmente experimental, ya que hasta ese momento se habían aplicado solamente en una oportunidad en yacimientos no metálicos.

Los métodos empleados fueron el perfilaje simétrico y el sondeo Eléctrico Vertical. Los mismos se aplicaron en un área de $1,96 \text{ km}^2$. La red empleada para el P.S. fue de $50 \times 20 \text{ m}$. Los SEV se realizaron en los perfiles 0, 4, 8, 12, 16, 20 y 24 distantes entre sí 200 m.

Metodología de los trabajos.

Durante el mes de Septiembre de 1972 fueron realizados los trabajos experimentales aplicándose los métodos de P.S. y SEV.

Se trabajó en tres perfiles en los cuales existían perforaciones en una red de $200 \times 200 \text{ m}$, teniéndose de los mismos los cortes geológicos esquemáticos. Además se trabajó en dos perfiles trazados entre los anteriores, a una distancia de 50 m. De estos no existían datos geológicos.

El método básico empleado fue el Perfilaje Eléctrico simétrico con dos instalaciones: $AB = 200 \text{ m}$ y $A'B' = 40 \text{ m}$, ambas con un paso de 20 m.

Como método de apoyo se utilizó el SEV con una longitud de AB (máxima) = 450 m.

Al finalizar estos trabajos se demostró que se podía responder satisfactoriamente a las tareas planteadas por el proyecto geológico.

Además se determinaron las dimensiones óptimas de las líneas del perfilaje simétrico y se precisó la metodología de los trabajos futuros.

Se empleó en lo adelante una línea de P.E.S. con una longitud de $AB = 40 \text{ m}$, ya que emplear una línea AB de mayores dimensiones no aportaría ningún cambio sustancial en el carácter de la curva de S_a (ver dibujo #), además el empleo de una sola línea AB elevaría considerablemente la productividad del trabajo.

El ahorro de tiempo que se logró con esta modificación permi-

tió elevar el número de SEV, lo cual permitía obtener los datos necesarios para ayudar al esclarecimiento de la tectónica en la zona del yacimiento.

Cada 10 mediciones se repetían 1 ó 2 en dependencia del carácter del gráfico de S_a .

Para el P.E.S. se efectuó el 7% de las mediciones como control con un error promedio para el área: $\epsilon_{prom.} = 5\%$.

Para el SEV el error promedio fue $\epsilon_{prom.} = 4,7\%$.

Durante las mediciones se comprobó regularmente la fuga de corriente tomando las medidas que fueron necesarias en cada caso.

Con los datos obtenidos se hallaron los valores de la S_a para cada punto, y se construyeron los gráficos de cada perfil para toda el área estudiada. Se construyó el plano de isohmas (dibujo # 9) y los cortes verticales por resistividad (dibujo # 10). De la interpretación de estos materiales se construyeron los cortes geológicos esquemáticos y el plano geológico esquemático.

Resultados obtenidos.

Del análisis de los datos geofísicos y las observaciones en el frente de la cantera se puede establecer el siguiente corte litológico::

1.-En la base se encuentran varios tipos de arcillas caracterizadas por una resistividad $S_a = 10-15$ ohmm.

Por los datos del SEV se observa que las arcillas se hallan debajo de las Rocas carbonatadas y constituyen los núcleos de pequeños anticlinales (ver dibujo # 10).

2.-Encima de las arcillas se hallan las margas calcáreas (calizas margosas) blandas, deleznable, con intercalaciones de margas arcillosas. La resistividad de estas Rocas varía de 15 a 50 ohmm.

La potencia de estas margas varía de 5 a 35 m manteniéndose como promedio de 20 m.

El contacto marga-arcilla, por los datos geofísicos, se presenta siempre un poco más elevado que el real, debiéndose esto fundamentalmente a lo siguiente:

a) lo amplia que se presenta la zona de transición arcilla-arcilla-

b) la superficie de los paquetes arcillosos casi siempre coincide con el nivel freático, lo que hace que la margas más húmeda presente una resistividad menor.

Comparando los datos del SEV con los de las perforaciones se ve que la profundidad del contacto arcilla-margas dada por los datos geofísicos varía de la registrada por las perforaciones en un 10-20 % como promedio, y en algunos casos (pozos 319, 339, 365 y otros) la diferencia llega a ser del 40 %, debiéndose esto a las causas señaladas anteriormente.

3.- Inmediatamente después de las margas deleznables se encuentran las calizas, las cuales se presentan en dos paquetes rocosos:

a) el inferior, compuesto por calizas compactas con intercalaciones de margas deleznable (de 10-50% por datos de perforación). La resistividad de estas rocas es de 50-150 ohmm.

b) el superior, que constituye el núcleo de los sinclinales, formado por calizas compactas, cristalinas, con intercalaciones de caliza cavernosa. La resistividad que presentan estas rocas es superior en muchos casos a los 200 ohmm.

La potencia promedio de las calizas es de 10-30 m.

Esta diferenciación de los paquetes rocosos está verificada con el análisis de los testigos de los pozos perforados en el yacimiento, cuyas muestras fueron medidas en el laboratorio de petrofísica de la D.G.C.G. Con estos datos se pueden establecer los 4 tipos siguientes:

| | |
|--|----------------|
| arcillas----- | 20 ohmm. |
| margas----- | 30 ohmm. |
| calizas con intercalaciones de margas deleznable----- | 50-180 ohmm. |
| caliza compacta con intercalaciones de caliza cavernosa----- | 400-5000 ohmm. |

La potencia promedio de las rocas carbonatadas en la zona estudiada es la siguiente:

- a) en zonas de anticlinales, alrededor de 10 m.
- b) en zonas de sinclinales, alrededor de 65 m.

La potencia de las arcillas no se determinó, debido a la acción de pantalla que ejercen las aguas subterráneas, cuyo nivel casi siempre se ha-

Grandes zonas tectónicas no se detectaron por los métodos empleados. Es posible que existan fallas pequeñas, mas jóvenes, que se revelen solamente en las rocas carbonáticas pero que no se hayan podido precisar.

E.-Documentación geológica.

La documentación geológica que se realizó fue en los pozos y en la cantera. Cada pozo, después de haber sido trasladado a la brigada se documentaba. Esta documentación fue hecha macroscópicamente, ya que la división definitiva de los pozos según los tipos petrográficos se basó en los resultados de los análisis químicos. De la misma manera fue documentada la cantera.

F.-Trabajos topográficos.

En el yacimiento se realizó el levantamiento topográfico a escala 1:1000 por el método de la plancheta sobre un área de 2 km².

Todos los puntos están amarrados a la red nacional. La precisión de los trabajos es buena, reuniendo el mapa topográfico los requisitos necesarios.

G.-Investigaciones hidrogeológicas.

La zona del yacimiento representa una parte elevada del terreno, limitada por todos lados por una red hidrográfica y la cuenca marina. Esto determina, por una parte, las condiciones favorables para el abastecimiento de los horizontes acuíferos, y por la otra contribuye a un drenaje intenso de las rocas acuíferas.

Fuera del yacimiento, al sur de la ciudad del Mariel, a 1-2 km, en una cuenca en forma de valle, se perforaron 3 pozos de 60 m de profundidad cada uno, a una distancia de 300-500 m el uno del otro, con un aforo general de 500 galones por minuto. Estos pozos suministraron el agua a la ciudad de Mariel por un buen tiempo. La composición química es hidrocarbonática-cálcica, con una mineralización de 0,559 gr/l.

El abastecimiento del horizonte acuífero se realiza tanto en el área de su extensión, como al sur de la zona en los límites de una estructura anticlinal, cuyo eje pasa en dirección latitudinal al norte

núcleo de la estructura, donde afloran las rocas cretácicas se observan una serie de quebrantamientos tectónicos, lo que facilita la penetración de las aguas superficiales en las rocas.

Las aguas subterráneas, en esta zona, corren en dirección norte, hacia la inmersión (al norte) de la estructura. Sin embargo, la corriente principal no alcanza la zona del yacimiento, ya que se dirige siguiendo el rumbo del buzamiento de las arcillas que están por debajo de las rocas acuíferas, hacia el río Mosquito, alimentándolo, y corre también por un descenso del relieve hacia el valle del río Bongo y la Bahía de Mariel.

En el año 1972 se realizaron algunos pozos y afloros en los alrededores de la planta "René Arcey", con vistas a aclarar el origen de las filtraciones en la misma.

Los afloros fueron dos: uno en el pozo No 2 y el otro en el pozo No 1 (ver plano hidrogeológico). Como se carecía de equipos de bombeo de pequeño caudal, se utilizó una motobomba de 3/4", con 1 1/4' de diámetro de la columna en el pozo No 2 (que fue perforado en arcilla arenosa hasta una profundidad de 13 m, de los 13 a los 15 m atravesó lentes de areniscas y calcilutita), no pudiéndose mantener el gasto inicial por más de 30', al secarse totalmente la misma. En base a estos trabajos se obtuvieron los siguientes resultados:

Coefficiente de filtración: $k = 1,5 \cdot 10^{-5}$ m/día.

Coefficiente de transmisibilidad $T = 0,07 \text{m}^2/\text{día}$.

Caudal específico en la for-

mación.....: $q = 0,3-0,4$ lps/m de abatimiento

El pozo No 1 se perforó también en arcilla en toda su extensión y se aforó con un equipo de pozo profundo de 4", por no contarse con otro menor. Los resultados obtenidos fueron similares a los del pozo No 2. Este pozo se perforó próximo al enfriadero No 6 (ver plano de situación) con el propósito de comprobar si por medio del bombeo era posible reducir las filtraciones. Aunque la prueba en sí no arrojó resultados satisfactorios por su corta duración, se pudo comprobar la efectividad del método al producirse un abatimiento tal que las zonas afectadas quedaron

prácticamente secas tras un bombeo de 7 días, intermitente por las características del equipo, realizado por los propios trabajadores de la planta.

Calidad química de las aguas de la zona.

Se tomaron muestras con hidrómetros en los pozos 1, 2, 3, 6 y 7.

En análisis de las muestras extraídas del pozo 1 es realmente interesante, pues el contenido de sales solubles totales es superior a 3,5 g/l, mientras que el cloruro sobrepasa 1 g/l, el sulfato los 0,7 g/l y el bicarbonato los 0,57 g/l. Se detectó olor a sulfhídrico y un color negro de las muestras. Durante la perforación se obtuvo un material que contenía residuos orgánicos.

El agua de este pozo es sin lugar a dudas de origen marino, o sea producto de una intrusión del agua de mar. Esto lo comprueba el hecho de que la relación cloruro-bicarbonato sea superior a 3 ($\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^- > 3$). De acuerdo con informaciones que recientemente se han ofrecido, en este lugar se rellenó, hace unos 30 años atrás, una zona pantanosa, lo que también puede explicar esto.

Todas las muestras presentan contenidos elevados de sulfatos.

Datos sobre la oscilación de los niveles y la dirección del flujo subterráneo en la zona.

De acuerdo con los sondeos realizados en los pozos perforados en la zona de emplazamiento de la planta, la oscilación registrada de los niveles es de aproximadamente 1,0 m, tomándose como diferencia entre los valores máximos y mínimos del período considerado.

En el plano hidrogeológico se ve la dirección del flujo subterráneo (sudeste-noroeste) con un rumbo aproximado de N63W.

Además de todo lo expuesto, se debe tener en cuenta la sobrepresión que el embalse Mosquito haya ejercido sobre las aguas subterráneas, ya que ha sido reiterado por compañeros de la planta con 20 ó más años en la misma, que las filtraciones han aumentado luego de la construcción de la presa.

H.-Volúmen de los trabajos.

El volúmen de los trabajos según sus tipos es el siguiente:

| | |
|---|----------------------|
| 1.-Pozos de perforación..... | 25 |
| 2.-Surcos..... | 5 |
| 3.-Levantamiento geológico..... | 6,3 km ² |
| 4.-Análisis químico: | |
| muestras básicas..... | 519 |
| muestras compósitas..... | 252 |
| para análisis completo..... | |
| de muestras de la cantera..... | 15 |
| 5.-Determinación de la humedad natural..... | 14 |
| 6.-Ensayos físico-mecánicos..... | 24 |
| 7.-Análisis petrográficos..... | 14 |
| 8.-Análisis paleontológicos..... | 19 |
| 9.-Levantamiento geofísico..... | 1,96 km ² |
| 10.-Levantamiento topográfico..... | 2 km ² |



X.-CALCULO DE RESERVAS.

| Descripción | Importe | Porcentaje |
|----------------------------|---------------|------------|
| Reserva para contingencias | 100,000,000 | 10% |
| Reserva para depreciación | 200,000,000 | 20% |
| Reserva para impuestos | 150,000,000 | 15% |
| Reserva para intereses | 120,000,000 | 12% |
| Reserva para dividendos | 80,000,000 | 8% |
| Reserva para otros fines | 60,000,000 | 6% |
| Total | 1,000,000,000 | 100% |

1. Método del cálculo de reservas.

El método utilizado para el cálculo de Reservas fue el de los bloques geológicos. Para ello nos basamos en la estructura del yacimiento y en su simplicidad.

Las Reservas fueron calculadas hasta la cota 5 m sobre el nivel del mar.

La metodología utilizada en el cálculo fue la siguiente:

Primero, -El área total del yacimiento (626,873 m²) fue dividida en 15 cuadrículas y 1 triángulo. A su vez, cada cuadrícula se dividió en dos triángulos. Se calculó el área de cada triángulo y después el área de la cuadrícula, sumando las áreas de los dos triángulos. Para el cálculo del área de los triángulos se usó la fórmula:

$$A = \frac{b \times h}{2}$$

Las áreas por cuadrícula fueron:

| Cuadrículas | Límites | Áreas |
|----------------|---------------------------------|---------------------------|
| 1..... | Pozos: 217, 221, 265 y 269..... | 41, 937, 5 m ² |
| 2..... | Pozos: 221, 225, 273 y 269..... | 45, 725, 0 " |
| 3..... | Pozos: 225, 4, 273 y 16..... | 41, 300 " |
| 4..... | Pozos: 265, 269, 319 y 323..... | 39, 760 " |
| 5..... | Pozos: 269, 273, 323 y 327..... | 40, 612, 5 " |
| 6..... | Pozos: 273, 16, 327 y 29..... | 41, 325, 0 " |
| 7..... | Pozos: 319, 323, 363 y 367..... | 39, 200 " |
| 8..... | Pozos: 323, 327, 367 y 52..... | 40, 612, 5 " |
| 9..... | Pozos: 327, 29, 52 y 56..... | 40, 612, 5 " |
| 10..... | Pozos: 363, 367, 403 y 407..... | 44, 225 " |
| 11..... | Pozos: 367, 52, 407 y 80..... | 39, 150 " |
| 12..... | Pozos: 403, 407, 446 y 450..... | 39, 150 " |
| 13..... | Pozos: 407, 80, 450 y 454..... | 40, 770 " |
| 14..... | Pozos: 446, 450, 483 y A..... | 39, 200 " |
| 15..... | Pozos: 450, 454, A y 137..... | 41300 " |
| Triángulo..... | Pozos: 52, 56 y 80..... | 19, 237, 5 " |

Las áreas están limitadas por los pozos (ver plano del cálculo de Reservas).

Segundo.-Las potencias, por tipos de Rocas, en cada pozo fueron sumadas y divididas entre el número total de pozos, obteniéndose una potencia promedio.

Las Reservas totales de Rocas carbonatadas son: 35'953,585,43 T.m. y de Rocas arcillosas 8'638,025 T.m. que hacen un total de 44'591,610,54 T.m.

Estas Reservas se pueden subdividir como sigue:

| | |
|--------------------------------|-------------------|
| Caliza margosa..... | 4'328,072,01 T.m. |
| Caliza blanda..... | 8'482,745,12 " |
| Caliza cavernosa..... | 2'178,933,19 " |
| Marga calcárea..... | 4'814,921,20 " |
| Caliza estratificada..... | 8'163,267,65 " |
| Marga gris..... | 3'588,134,45 " |
| Caliza crema cristalizada..... | 2'517,048,86 " |
| Caliza organógena..... | 1'880,462,89 " |
| Arcilla parda..... | 1'681,034,09 " |
| Arcilla calcárea gris..... | 6'866,824,90 " |
| Arcilla gris..... | 90,166,18 " |

2.-Fundamentación de la categorización de las Reservas.

Las Reservas, para esta etapa de estudio del yacimiento, se han calculado en categoría C₂. Esta categorización de las Reservas está sustentada por la relativa simpleza del yacimiento y por las dimensiones de la Red de explotación utilizada.

El yacimiento es sedimentario en su origen, yaciendo las capas, en general, bajo ángulos pequeños.

La distancia entre las excavaciones (pozos) es de 200 m. En esta etapa del trabajo esa fue la Red seleccionada para la explotación, pudiéndose calcular las Reservas en categoría C₂.

Cuadrícula # 1

| Pozos | Prof. total (m) | Potencia caliza margosa (m) | Potencia arcilla parda (m) | Potencia caliza blanda (m) | Potencia caliza cavernosa (m) | Potencia marga calcárea (m) |
|------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 217 | 6,10 | 1,9 | 3,4 | - | - | - |
| 221 | 23,50 | 5,0 | - | 18,5 | - | - |
| 265 | 22,50 | - | 13,2 | 2,8 | 5,4 | 0,80 |
| 269 | 25,65 | 9,85 | - | 15,8 | - | - |
| | 77,75 | 16,75 | 16,6 | 37,1 | 5,4 | 0,80 |
| Promedio | 4,19 | 4,15 | 4,15 | 9,28 | 1,35 | 0,20 |
| Área | | | | 41,937,5 | m ² | |
| Volumen | 175,718,13 | 174,040,63 | 389,180 | 56,615,63 | 8387,5 | m ³ |
| Peso volumétrico | 2,07 | 2,07 | 2,07 | 2,45 | 2,04 | gr/cm ³ |
| Reservas | 474,438,95 | 360,264,1 | 805,602,6 | 138,708,29 | 17,110,5 | T.m. |

Cuadrícula # 2

| Pozos | Prof. total (m) | Potencia caliza margosa (m) | Potencia caliza blanda (m) |
|------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------------|
| 221 | 23,50 | 5,0 | 18,5 |
| 225 | 25,55 | - | 25,55 |
| 269 | 25,65 | 9,85 | 15,8 |
| 273 | 22,30 | - | 22,30 |
| | 97,00 | 14,85 | 82,15 |
| Promedio | 3,71 | 3,71 | 20,54 |
| Área | | 45,725,0 | m ² |
| Volumen | 169,639,75 | 939,191,50 | m ³ |
| Peso volumétrico | 2,07 | 2,07 | gr/cm ³ |
| Reservas | 351,154,28 | 1'944,126,41 | T.m. |

Cuadrícula # 3

| Pozos | Prof. total (m) | Potencia caliza blanda (m) | Potencia caliza cavernosa (m) |
|------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------------|
| 225 | 25,55 | 25,55 | - |
| 273 | 22,30 | 22,30 | - |
| 4 | 22,60 | 12,20 | 10,4 |
| 16 | 22,50 | 22,50 | - |
| | 92,95 | 82,55 | 10,4 |
| Promedio | 20,64 | 20,64 | 2,6 |
| Área | | 41300 | m ² |
| Volumen | 852,432,0 | 107,380 | m ³ |
| Peso volumétrico | 2,07 | 2,45 | gr/cm ³ |
| Reserva | 1'764,534,24 | 263,081,00 | T.m. |

Cuadrícula # 4

| Pozo | Prof. total (m) | Potencia caliza blanda (m) | Potencia caliza estratificada (m) | Potencia caliza margosa (m) |
|------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 16 | 22,50 | 22,50 | - | - |
| 29 | 25,00 | 25,00 | - | - |
| 273 | 22,30 | 22,30 | - | - |
| 327 | 25,50 | - | 20,50 | 3,0 |
| | 93,30 | 69,80 | 20,50 | 3,0 |
| Promedio | 17,45 | 5,13 | 5,13 | 0,75 |
| Area | | | 39760 | m ² |
| Volúmen | m ³ 693,812 | | 203,968,8 | 29,820 m ³ |
| Peso volumétrico | 2,07 | | 2,55 | 2,07 gr/cm ³ |
| Reservas | 1'436,190,84 | 520,120,44 | 61,727,40 | T.m. |

Cuadrícula # 5

| Pozo | Prof. total (m) | Potencia caliza blanda (m) | Potencia caliza margosa (m) | Potencia margas calcárea crema (m) | Potencia margas calcárea gris (m) | Potencia caliza estratificada (m) |
|------------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 273 | 22,30 | 22,30 | - | - | - | - |
| 269 | 25,65 | 15,8 | 9,85 | - | - | - |
| 323 | 23,50 | - | 8,0 | 2,6 | 12,90 | - |
| 327 | 23,50 | - | 3,0 | - | - | 20,50 |
| | 94,95 | 38,10 | 20,85 | 2,6 | 12,90 | 20,50 |
| Promedio | 9,53 | 5,21 | 0,65 | 3,23 | 5,13 | |
| Area | | | | 40612,5 | m ² | |
| Volúmen | 387,637,13 | 211,591,13 | 26,398,13 | 131,178,38 | 208,542,13 | m ³ |
| Peso volumétrico | 2,07 | 2,07 | 2,04 | 2,04 | 2,55 | gr/cm ³ |
| Reservas | 801,166,85 | 437,993,63 | 53,852,18 | 267,603,89 | 531,272,42 | T.m. |

| Posn | Prof. total (m) | Potencia salizatrificad (m) | Potencia salizablada (m) | Potencia salizamanzana (m) | Potencia margerolera (m) | Potencia margerolera (m) | Potencia margerolera (m) | Potencia salizavermora (m) | Potencia salizavermora (m) | Potencia parida (m) | Potencia margerolera (m) | Potencia salizavermora (m) |
|------|-----------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------------|
| 269 | 25,65 | - | 15,8 | 9,85 | - | 0,80 | - | - | 5,40 | 13,20 | - | - |
| 265 | 22,50 | 2,8 | - | - | 4,4 | - | 11,4 | - | - | - | 5,1 | 3,5 |
| 319 | 24,50 | - | - | - | 8,0 | 2,6 | 12,30 | - | - | - | - | - |
| 322 | 23,50 | - | - | - | 22,25 | 3,40 | 24,3 | 5,40 | 13,20 | - | 5,1 | 3,5 |
| | 96,15 | 12,8 | 15,8 | 3,95 | 22,25 | 0,85 | 6,08 | 1,35 | 3,30 | 3,30 | 1,28 | 0,88 |
| | Prmedia | 0,70 | | | 5,56 | | 41,25 | | | | | |
| | Area | 28,927,500 | 163,253,75 | 229,767,30 | 35,126,625 | 251,256,00 | 55,788,75 | 136,372,5 | 52,896 | 36,366 | | |
| | Vol. tri | 2,57 | 2,07 | 2,07 | 2,07 | 2,04 | 2,04 | 2,45 | 2,07 | 2,04 | 2,04 | 2,05 |
| | Reserva | 73,765,13 | 337,893,86 | 475,617,69 | 71,657,55 | 512,562,24 | 136,682,44 | 282,291,08 | 107,907,84 | 74,550,7 | | |
| 319 | 24,50 | - | - | 4,4 | - | - | 11,4 | - | - | - | - | - |
| 323 | 23,50 | 8,0 | 2,6 | 8,0 | 2,6 | - | 12,90 | - | - | - | 2,70 | - |
| 363 | 23,00 | - | - | - | - | - | 20,30 | - | - | - | - | - |
| 367 | 66,00 | 12,0 | 5,75 | 19,75 | 21,8 | 2,6 | 66,4 | 2,6 | 2,70 | 2,70 | 0,68 | 3,0 |
| | 137,00 | 12,0 | 5,75 | 32,15 | 2,6 | 0,65 | 16,6 | 0,65 | - | - | - | 0,68 |
| | Prmedia | 3,0 | 1,44 | 8,04 | 0,65 | 1,66 | 39,200 | 0,65 | - | - | - | - |
| | Area | | | | | | | | | | | |
| | Vol. tri | 2,55 | 2,07 | 2,07 | 2,07 | 2,04 | 2,04 | 2,45 | 2,07 | 2,04 | 2,04 | 2,05 |
| | Reserva | 299,880 | 116,848,36 | 652,397,76 | 51,979,2 | 1,327,48 | 62,426 | 54,378,24 | 86,43 | | | |
| 323 | 23,50 | - | - | 8,0 | 2,6 | - | 12,90 | - | - | - | - | - |
| 327 | 23,50 | 20,50 | 3,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 367 | 66,00 | 12,0 | 5,75 | 19,75 | 21,8 | 2,6 | 66,4 | 2,6 | 2,70 | 2,70 | 0,68 | 3,0 |
| | 46,50 | 30,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 159,50 | 62,50 | 5,75 | 30,75 | 2,6 | 0,65 | 34,70 | 5,4 | 5,4 | 5,4 | 1,35 | 4,2 |
| | Prmedia | 15,63 | 1,44 | 7,69 | 0,65 | 1,66 | 40,612,5 | 1,35 | - | - | - | - |
| | Area | | | | | | | | | | | |
| | Vol. tri | 634,773,38 | 58,482,0 | 312,310,13 | 26,398,13 | 352,516,5 | 54,826,88 | 443,24 | | | | |
| | Reserva | 1,618,672,11 | 121,057,74 | 646,481,96 | 53,852,18 | 719,133,66 | 134,325,84 | | | | | |

Cuadrícula # 9

| Pozo | Prof. total (m) | Potencia caliza blanda (m) | Potencia caliza estratificada (m) | Potencia caliza organógena (m) | Potencia caliza crema cristalizada (m) | Potencia caliza cavernosa (m) | Potencia caliza margosa (m) |
|------------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--|-------------------------------|-----------------------------|
| 327 | 23,50 | - | 20,50 | - | - | - | 3,0 |
| 29 | 25,00 | 25,00 | - | - | - | - | - |
| 52 | 46,50 | - | 30,0 | - | 13,5 | 2,8 | - |
| 56 | 41,75 | - | 39,05 | 2,5 | - | - | - |
| | 136,75 | 25,00 | 39,55 | 2,5 | 13,5 | 2,8 | 3,0 |
| Promedio | 6,25 | | 22,39 | 0,63 | 3,33 | 0,70 | 0,75 |
| Área | | | | | 40,612,5 | m^2 | |
| Volumen | 253,828,13 | 909,313,88 | 25,585,88 | 137,270,25 | 28,428,75 | 30,459,56 | m^3 |
| Peso volumétrico | 2,07 | 2,55 | 2,45 | 2,55 | 2,45 | 2,07 | g/cm^3 |
| Reservas | 525,424,22 | 2'318,750,38 | 62,685,39 | 350,039,14 | 69,650,44 | 63,050,91 | T.m. |

Cuadrícula # 10 (triángulo)

| Pozo | Prof. total (m) | Potencia caliza estratificada (m) | Potencia caliza organógena (m) | Potencia caliza crema cristalizada (m) | Potencia caliza cavernosa (m) | Potencia margas gris (m) | Potencia arcilla calcárea gris (m) |
|------------------|-----------------|-----------------------------------|--------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| 52 | 46,50 | 30,0 | - | 13,5 | 2,8 | - | - |
| 56 | 41,75 | 39,05 | 2,5 | - | - | - | - |
| 80 | 54,10 | - | 22,5 | 7,9 | 10,0 | 9,9 | 4,10 |
| | 142,35 | 69,05 | 25,0 | 21,4 | 12,8 | 9,9 | 4,10 |
| Promedio | 23,02 | 8,3 | 7,1 | 4,27 | 3,3 | 1,37 | |
| Área | | | | 19,237,5 | m^2 | | |
| Volumen | 442,847,25 | 159,671,25 | 136,586,25 | 82,144,13 | 63,483,75 | 26,355,38 | m^3 |
| Peso volumétrico | 2,55 | 2,45 | 2,55 | 2,45 | 2,04 | 2,05 | g/cm^3 |
| Reservas | 1'129,260,49 | 391,194,56 | 348,294,94 | 201,253,12 | 129,506,85 | 54,028,53 | T.m. |

Cuadrícula # 11

| Pozos | Potencia marga (m) | Potencia margá calcárea gris (m) | Potencia caliza estratificada (m) | Potencia caliza crema cristalizada (m) | Potencia caliza blanda (m) | Potencia caliza cavernosa (m) | Potencia caliza organo (m) | Potencia marga gris (m) | Potencia arcilla calcárea gris (m) | Potencia marga calcárea crema (m) |
|----------|--------------------------|--|--|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|----------------------------------|--|---|
| 52 | - | - | 30,0 | 13,5 | - | 2,8 | - | - | - | - |
| 30 | - | - | - | 7,9 | - | 10,0 | - | 9,9 | 4,10 | - |
| 367 | 19,75 | 21,8 | 12,0 | 3,6 | 5,75 | 2,6 | 22,5 | - | - | - |
| 407 | 3,7 | 3,9 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Promedio | 23,45 | 25,7 | 42,0 | 25,00 | 5,75 | 15,4 | 22,5 | 8,3 | 15,9 | 2,5 |
| Area | 5,86 | 6,43 | 10,50 | 6,25 | 1,44 | 3,85 | 5,63 | 4,55 | 20,0 | 2,5 |
| Volumen | 259158,5 | 284366,75 | 464362,5 | 276406,25 | 63684 | 44225 | 170266,25 | 248986,75 | 201223,75 | 221125 |
| Pes.Vol. | 2,07 | 2,04 | 2,55 | 2,55 | 2,07 | 2,45 | 2,45 | 2,04 | 2,05 | 2,04 |
| Reservas | 536458,1 | 580108,17 | 11184124,38 | 704835,94 | 131825,88 | 417152,31 | 610017,54 | 410496,45 | 453306,25 | 56837,97 |
| 363 | - | 20,30 | - | - | - | - | - | 2,70 | - | - |
| 367 | 19,75 | 21,8 | 12,0 | 3,6 | 5,75 | 2,6 | - | - | - | - |
| 407 | 3,7 | 3,9 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1403 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Promedio | 23,45 | 46,0 | 12,0 | 3,6 | 5,75 | 2,6 | - | 8,3 | 15,9 | - |
| Area | 5,86 | 11,50 | 3,0 | 0,8 | 1,44 | 0,65 | - | 1,6 | 5,6 | - |
| Volumen | 229419 | 450225 | 117450 | 31320 | 56376 | 25447,5 | 123322,5 | 210627 | 2,05 | - |
| Pes.Vol. | 2,07 | 2,04 | 2,55 | 2,55 | 2,07 | 2,45 | 2,04 | 2,05 | 2,05 | - |
| Reservas | 474897,33 | 918459 | 299497,5 | 79866 | 116698,32 | 62346,38 | 251579,9 | 431785,35 | 1 | - |

Cuadrícula # 12.

| Pozo | Prof. total (m) | Potencia margas gris (m) | Potencia arcilla calcárea gris (m) | Potencia arcilla parda (m) | Potencia margas calcárea gris (m) | Potencia caliza margosa (m) | |
|------------------|-----------------|--------------------------|------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--|
| 403 | 17,00 | 1,6 | 5,6 | 7,3 | - | - | |
| 407 | 35,00 | 8,3 | 15,9 | 0,2 | 3,9 | 3,7 | |
| 450 | 24,00 | 6,4 | 17,5 | 0,1 | - | - | |
| 446 | 16,95 | - | 4,05 | 12,5 | 0,2 | - | |
| | 92,95 | 16,3 | 43,05 | 19,9 | 4,1 | 3,7 | |
| Promedio | 4,08 | 10,76 | 4,98 | 1,03 | 0,93 | | |
| Área | | | 39,150 | | m^2 | | |
| Volumen | 159,732,0 | 421,254 | 194,967 | 40,324,5 | 36,409,5 | m^3 | |
| Peso volumétrico | 2,04 | 2,05 | 2,07 | 2,04 | 2,07 | gr/cm^3 | |
| Reservas | 325,853,28 | 865,570,7 | 403,581,69 | 82,261,98 | 75,367,67 | T. m. | |

Cuadrícula # 14

| POZO | Prof. total (m) | Potencia marga gris (m) | Potencia arcilla calcarea gris (m) | Potencia arcilla parda (m) | Potencia caliza crema cristalizada (m) | Potencia caliza organogena (m) | Potencia caliza cavernosa (m) | Potencia arcilla gris (m) | Potencia marga calcarea gris (m) | Potencia caliza margosa (m) |
|------|-----------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------------|--|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 407 | 35,0 | 8,3 | 15,9 | 0,2 | - | 22,5 | 10,0 | - | 3,9 | 3,7 |
| 30 | 54,10 | 9,9 | 4,10 | - | 7,9 | - | - | - | - | - |
| 450 | 24,00 | 6,4 | 17,5 | 0,1 | - | 3,4 | 3,5 | 2,2 | 0,4 | - |
| 454 | 64,05 | 30,0 | 21,65 | - | 2,6 | 25,9 | 13,5 | 2,2 | 4,3 | 3,7 |
| | 177,15 | 54,6 | 59,15 | 0,3 | 10,5 | 6,8 | 3,38 | 0,55 | 1,08 | 0,93 |
| | Promedio 13,65 | | 14,79 | 0,075 | 2,63 | | | | | |
| | Area | | | | 40770 m ² | | | | | |
| | Volúmen 556510,5 | 602988,3 | 3057,75 | 107225,1 | 277236 | 137802,6 | 22423,5 | 44031,6 | 37916,1 | |
| | Pes.vol. 2,04 | 2,05 | 2,07 | 2,55 | 2,45 | 2,45 | 2,05 | 2,04 | 2,07 | |
| | Reservasl 1'135281,42 | 1'236126,02 | 6329,54 | 273424,01 | 679228,2 | 337616,37 | 45968,18 | 89824,46 | 78486,33 | |
| | | | | | Potencia cal.estratif. | | | Quadrícula # 15 | Potencia cal. organo. calif. | |
| 454 | 64,40 | 30,0 | 21,65 | 0,1 | 2,6 | 7,5 | 3,5 | 2,2 | 0,4 | 3,4 |
| 450 | 77,00 | 15,2 | 22,3 | 0,9 | 6,6 | 7,5 | 3,1 | - | - | 2,3 |
| A | 48,50 | - | 44,50 | - | - | - | 4,0 | - | - | - |
| | 24,00 | 6,4 | 17,5 | 0,1 | - | - | 10,6 | 2,2 | 0,4 | 5,7 |
| | 213,55 | 51,6 | 105,95 | 1,0 | 9,2 | 7,5 | 2,65 | 0,55 | 0,1 | 1,43 |
| | Promedio 12,9 | | 26,49 | 0,25 | 2,3 | 1,38 | | | | |
| | Area | | | | 39200 m ² | | | | | |
| | Volúmen 505680 | 1'038408 | 9800 | 90160 | 73696 | 103830 | 21560 | 3920 | 56056 | 1842 |
| | Pes.vol. 2,04 | 2,05 | 2,07 | 2,55 | 2,55 | 2,45 | 2,05 | 2,04 | 2,45 | 2,0 |
| | Reservas 1'031587,2 | 2'128736,4 | 20286 | 229908 | 187924,8 | 254506 | 44198 | 7996,8 | 137337,2 | 38137 |

| Pozo | Potencia total (m) | Potencia marga gris (m) | Potencia arcilla calcaria gris (m) | Potencia arcilla parda (m) | Potencia marga calcaria gris (m) | Potencia caliza cavernosa (m) |
|-----------|--------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| A | 48,50 | - | 44,50 | - | - | 4,0 |
| 450 | 24,00 | 6,4 | 17,5 | 0,1 | - | - |
| 483 | 20,00 | 0,3 | 10,7 | 8,7 | - | - |
| 446 | 16,95 | - | 4,05 | 12,3 | 0,2 | - |
| | 109,45 | 6,7 | 76,75 | 21,1 | 0,2 | 4,0 |
| Promedio | 1,68 | 19,19 | 5,28 | 0,05 | 1,0 | |
| Area | | 41300 | | | | |
| Volúmen | 69384 | 792547 | 218064 | 2065 | 41300 | m ³ |
| Pes. vol. | 2,04 | 2,05 | 2,07 | 2,04 | 2,45 | g/cm ³ |
| Reservas | 141543,36 | 1'624721,35 | 451392,48 | 4212,6 | 101185 | T. m. |

1. The first part of the report is devoted to a general survey of the work done during the year. It is divided into two main sections, the first of which deals with the work done in the laboratory and the second with the work done in the field. The first section is divided into three parts, the first of which deals with the work done in the laboratory and the second with the work done in the field. The second section is divided into two parts, the first of which deals with the work done in the laboratory and the second with the work done in the field.

| Year | Amount | Description | Remarks |
|------|--------|-------------|---------|
| 1910 | 100.00 | Salaries | |
| 1911 | 150.00 | Salaries | |
| 1912 | 200.00 | Salaries | |
| 1913 | 250.00 | Salaries | |
| 1914 | 300.00 | Salaries | |
| 1915 | 350.00 | Salaries | |
| 1916 | 400.00 | Salaries | |
| 1917 | 450.00 | Salaries | |
| 1918 | 500.00 | Salaries | |
| 1919 | 550.00 | Salaries | |
| 1920 | 600.00 | Salaries | |

XI.- P A R T E T E C N I C A .

1. The first part of the report is devoted to a general survey of the work done during the year. It is divided into two main sections, the first of which deals with the work done in the laboratory and the second with the work done in the field. The first section is divided into three parts, the first of which deals with the work done in the laboratory and the second with the work done in the field. The second section is divided into two parts, the first of which deals with the work done in the laboratory and the second with the work done in the field.

2. The second part of the report is devoted to a detailed description of the work done in the laboratory. It is divided into two main sections, the first of which deals with the work done in the laboratory and the second with the work done in the field. The first section is divided into three parts, the first of which deals with the work done in the laboratory and the second with the work done in the field. The second section is divided into two parts, the first of which deals with the work done in the laboratory and the second with the work done in the field.

3. The third part of the report is devoted to a detailed description of the work done in the field. It is divided into two main sections, the first of which deals with the work done in the laboratory and the second with the work done in the field. The first section is divided into three parts, the first of which deals with the work done in the laboratory and the second with the work done in the field. The second section is divided into two parts, the first of which deals with the work done in the laboratory and the second with the work done in the field.

1.-Perforación de pozos.

En general, para el estudio detallado del yacimiento, se pide la realización de 193 pozos con un metraje total de 10,493 m (alternativa # 1). Se podría rebajar el número de pozos a 124 y el metraje total a 6842 m. Además se piden 120 m de canales, que aún no se han realizado.

Los pozos se harán hasta una profundidad de 20-80 m, aunque los 3 pozos estructurales proyectados serán de 100-190 m.

Cortes geológicos proyectados, con las categorías de las rocas.

| Profundidad (m) | Petrografía | Categoría de las rocas. |
|-----------------|--|-------------------------|
| 0,0 - 0,2 | Capa vegetal con fragmento de caliza | II |
| 0,2 - 8,0 | Marga (arcilla) | IV |
| 8,0 - 16,0 | Caliza margosa estratificada | IV |
| 16,0 - 73,0 | Caliza organógena estratificada | IV |
| 73,0 - 81,0 | Caliza organógena compacta y cavernosa | V |

Selección del equipo

Para la realización de los trabajos de perforación proyectados se utilizó el equipo ZVUD-150-ZIF, destinado a la perforación rotaria de pozos verticales e inclinados hasta una profundidad de 150 m.

Se utilizó agua limpia como fluido de perforación.

Características técnicas del equipo ZVUD-150-ZIF.

| | |
|---|---------------|
| Profundidad de perforación, m..... | 150 |
| Angulo de inclinación inicial del pozo con relación al horizonte, grados..... | 90 |
| Diámetro inicial de perforación, mm..... | 150 |
| Diámetro de los tubos de perforación, mm..... | 42 y 50 |
| Cantidad de velocidades de la caja de velocidad del equipo.. | 5 |
| Caja de distribución..... | de dos etapas |

Mesa rotaria:

Movimiento del árbol, mm..... 38

Diámetro del orificio en el árbol, mm..... 44-46

Diámetro del orificio en la varilla comunicadora...38
Cantidad de vueltas de la mesa rotaria por
minuto desde el motor del equipo.....88,128,204,
320,510
desde el motor del carro ó (tractor).....72,113,181
285,452

Sistema de pase del instrumento.....de palanca -
diferencial ó de pa-
lanca-de cadenas con
la varilla comunicadora

Patrones de presión en el árbol

cantidad.....2
tipo.....de mano

Winche...:

capacidad de elevación,T.....2,0
Diámetro del tambor,mm.....235
Capacidad del tambor,m..... -
Diámetro del cable,mm..... 13
Velocidad de recogimiento del cable en el tambor m/seg:
desde el motor del equipo.....0,182;0,284
0,455;0,71;1,05
desde el motor del carro (ó tractor).....0,164;0,256
0,412;0,64;1,03

Motor del equipo:

tipo.....D-38B
potencia c.f..... 38
Velocidad de giro,vueltas/min.....1500

Motor del carro (ó tractor):

Tipo.....ZIL - 121
Potencia c.f..... 109
Velocidad de giro,vuelta /min..... 2800

Parte móvil.

| | |
|--|---------|
| Tipo..... | Camión. |
| Marca..... | Zil-157 |
| Capacidad de elevación, T..... | 4,5 |
| Medidas del equipo en posición de transporte, mm | |
| Largo..... | 7880 |
| Ancho..... | 2316 |
| Alto..... | 9435 |
| Peso general del equipo, T..... | 9,10 |

2. Trabajos geofísicos.

En la realización de los trabajos de perfilaje eléctrico simétrico y de sondeo eléctrico vertical se usó el instrumento ESK.

El compensador electrónico de aguja está destinado para la medición de diferencias de potenciales U e intensidad de la corriente en la línea AB en los trabajos de prospección eléctrica por los métodos de corriente continua (STV, PES, etc).

El error de las mediciones no sobrepasa 5%. Es posible una compensación de las f.e.m. de la polarización de los electrodos dentro de los límites del 500 mv con la ayuda de tres reostatos de regulación gruesa, media y fina. La resistividad de entrada del instrumento no es menor de 4 ohm. Las fuentes de alimentación del instrumento son cuatro elementos 2SI-9 y dos baterías GB-45, las cuales aseguran un trabajo normal durante 60 horas de trabajo continuado. El peso del instrumento es 8,5 kg. Las dimensiones son 215 x 321 x 218 mm.

El trabajo del instrumento está basado en el principio de la autocompensación, efectuada por un impulsor de corriente constante con una transformación de la tensión en la entrada, de constante a de pulsación, y con una rectificación mecánica en la salida.

conectan por unos contactos de un relé polarizado con una amplitud de 110-130 hertz. El impulsor está rodeado por una relación inversa negativa y profunda para la corriente constante, lo que permite llamar al esquema de autocompensación.

XII.-ECONOMIA Y ORGANIZACION DE LOS
TRABAJOS

Desafortunadamente, como contamos, ni pudimos obtener datos para al menos tener una idea de la economía de los trabajos geológicos en el yacimiento. No se sabe cuánto cuesta perforar un metro de roca, ni cuánto costó realizar un m² de levantamiento geológico.

Lo único que podemos decir aquí es que el trabajo de perforación estuvo organizado en tres turnos. En cada máquina trabajaron de 3-5 obreros. Los trabajos geofísicos fueron llevados a cabo por una brigada compuesta por 7-9 hombres así como la de topografía compuesta por 3-5 hombres.

Iguamente el costo de estos trabajos no se puede precisar.

XIII.-CONCLUSIONS

Partiendo de todo lo expuesto anteriormente, se pueden hacer las siguientes conclusiones:

- 1.-El yacimiento Mariel es explotable para fabricar cemento por vía seca.
- 2.-Los métodos geofísicos de prospección eléctrica pueden ser aplicables con éxito en los yacimientos no metálicos. Estos serían de mucho más utilidad si los resultados se utilizaran en el levantamiento geológico.
- 3.-Las condiciones económicas de la explotación del yacimiento son buenas, lo que producirá una rentabilidad en la economía de la nueva planta.
- 4.-Partiendo del grado de estudio del yacimiento y de la categoría de las reservas, ha sido cumplido el objetivo de la exploración preliminar: garantizar reservas para 10-15 años de trabajo de la actual fábrica.
- 5.-Las condiciones hidrogeológicas e ingeniero geológicas de explotación son muy favorables, ya que no existe el peligro de inundación en la cantera.
- 6.-Las áreas más perspectivas, partiendo de los resultados obtenidos en la exploración preliminar, son hacia el este y hacia el nordeste, lugares hacia donde se desplazará la explotación en el futuro.
- 7.-Entendemos que el objetivo de la tesis ha sido cumplido.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- M.P. Antsishkin, Trabajos realizados y ubicación de reservas de materia prima para el cemento del yacimiento Mariel. ICPM, 1962.
- 2.- Calvache, Ing. Antonio and Ing. Bodoiman Jorge, Study for the industrial development of Cuban Asphalts (Pinar del Rio province), February 1, 1959.
- 3.- Grinaco, Sobre el estudio hidrogeológico realizado en la zona donde se encuentra enclavada la fábrica de cemento "Bené Alcay" del Mariel, con vistas a determinar el origen de las filtraciones en la misma, 1972.
- 4.- C. Judoley y Furrázola, Geología de Cuba, ICPM, 1963.
- 5.- Turdy, Dr. Vaclav, Proyecto de los trabajos a realizar en 1972 en el yacimiento Mariel, DGGG, 1972.
- 6.- Turdy, Dr. Vaclav, Informe preliminar de los trabajos geológicos y tecnológicos realizados en el yacimiento Mariel (Ing. Jan Kosac, Ing. Tecnólogo), DGGGG, 1973.
- 7.- Sever, Ing. Ioan, Observaciones críticas sobre la calidad de las materias primas del Mariel, 1973.
- 8.- Valdés, Ing. Juan Antonio, Trabajos geofísicos realizados en el yacimiento de materia prima Mariel, DGGG, 1973.

Foto 1.-Discordancia en la zona de las calizas blandas.

Foto 2.-Discordancias en la zona de la caliza margosa.

Foto 3.-Fallas en la cantera.

Foto 4.-Discordancias en la zona de las calizas cavernosas.

Foto 5.-Arcilla roja en la caliza.