

2. INFORMACION DEL DEPOSITO

2.1 Reconocimiento de la Zona

El propósito de esta fase fue concretar las principales áreas de exploración en la concesión de Najayo, donde se podrían encontrar abundantes recursos naturales para abastecer a la nueva fábrica de cemento.

Algo más de seis semanas les llevó a dos Geólogos de IMC realizar este estudio durante los meses de junio y parte de julio de 1997. El estudio abarcó una extensión de unos 20 km² en dirección centro, a 6 km aproximadamente del Sur de San Cristóbal, realizándose la fotointerpretación de varios vuelos aéreos llevados a cabo con diferentes fines. Se analizaron las fotos aéreas a escala 1:40,000 del proyecto Marena, tomadas en el año 1984; las fotos del proyecto DR-B67 a escala 1:20,000, tomadas en el año 1967, las del proyecto ICM-58 a escala 1:60,000 tomadas en el año 1957 y 58. También se utilizaron los vuelos realizados por IMC (Ver ejemplo en Figura EF-1).

El mapeo de las características del terreno de superficie se hizo a mano sobre un plano base preparado a escala 1:20,000 de la topografía, con lo cual las características geológicas se digitalizaron empleando el software DRAFIXCAD, sobrepuesto sobre el plano topográfico. Dentro del área de estudio, la topografía preliminar y el mapeo geológico cubrieron una extensión 20 Km² aproximadamente y contemplaron más de 200 observaciones de campo, unos 100 metros lineales de trincheras (para demostrar que existen contactos geológicos), la interpretación de las fotografías aéreas existentes y la recogida de 200 muestras de rocas en superficie para el posterior análisis en el Reino Unido. Esta fase de trabajo concluyó con la elaboración de un mapa geológico a escala 1:20,000. (Ver Plano No EF001).

La zona de estudio está formada de material que, generalmente, pertenece a la formación "Ingenio Caei", cuyo nombre viene del Grupo "Caei Ingenio", formado por estratos de las edades Miocénica, Pleistocénica y Hologénica según Heubeck y Mann (1991). El paquete del Mioceno aflora en el oeste, con buzamientos de 15 a 17 grados hacia el este/sureste, superponiéndose horizontalmente las capas del Pleistoceno de manera irregular en el Este. Estos estratos se encuentran constantemente superpuestos y parcialmente erosionados por los sedimentos holocénicos del río y los depósitos de playa. Posteriormente han sido cubierto por caliche, principalmente sobre los depósitos del Pleistoceno

En función del mapa a escala 1:20,000 y a anteriores actividades llevadas a cabo por CORDE, se pudieron diferenciar dos zonas distintas, las cuales podían ser objeto de estudios más profundos. Una de las dos zonas está ubicada en el noroeste del área de estudio y está forzada a ser una abundante reserva de arcilla; mientras que la otra está situada en el sudeste de la zona, en donde parece que se concentran las mejores reservas de caliza (Ver Plano No EF002).

En las dos zonas de interés se llevaron a cabo mapeos geológicos y topográficos en detalle a escala 1:5,000 (según los Temas de Referencia) con el fin de facilitar más exploración. El trabajo topográfico fue otorgado a especialistas de la empresa dominicana TEYCO SA, aportando el arrastre de un punto geológico al área de estudio, a fin de que se reconozcan con exactitud todas las posiciones futuras. En función de los planos topográficos elaborados se llevó a cabo un mapeo geológico de detalle de las dos zonas, para trazar un conjunto de

planos de ubicación y mapas geológicos a escala 1:5000. Esta fase de trabajo también contempló la realización de más trincheras (Ver Estudio Técnico).

Al mismo tiempo que se estaba ejecutando el trabajo de mapeo, se perforaron tres sondeos confirmatorios a una profundidad de 60-70 m., cada uno con el objetivo de proporcionar la calidad y profundidad de la arcilla y de los depósitos de caliza de las dos zonas correspondientes. Estos sondeos también se utilizaron para evaluar hasta que punto son adecuadas las distintas tecnologías de perforación, sobre todo la de aire comprimido como fluido de perforación. Esta ha sido la primera ocasión que en la República Dominicana se ha empleado aire comprimido para la perforación. A GEOCIVIL SA, subcontratista dominicano, se le otorgó el contrato para llevar a cabo esta actividad. Durante esta fase se recogieron varias muestras procedentes de los afloramientos de superficie, trincheras y testigo de los sondeos. Con el propósito de facilitar la tarea de preparación de las muestras, se construyó un sencillo pero eficaz laboratorio en el área de estudio, equipado con un molino y equipo de muestreo. Se subdividieron las muestras a 200 g y se enviaron al RU para el análisis por fluorescencia de rayos X (XRF). Los resultados de estos análisis fueron el móvil para elegir posteriores perforaciones.

Una vez terminados los tres primeros sondeos, no hubo duda en cuanto a la existencia de ciertas características en la caliza que no habían sido detectadas con anterioridad en los estudios de CORDE. Por esta razón, se decidió perforar dos sondeos confirmatorios más, con el objeto de seleccionar de forma más correcta la siguiente fase de trabajo que estaría compuesta del estudio geológico detallado y de la parte principal de la campaña de perforación.

2.2 Geología de Detalle

La primera etapa de reconocimiento contó con la construcción de trincheras, la toma de muestras de superficie y la perforación de 306 m lineales entre 5 sondeos de testigos continuos. Todo esto indicó que:

- La caliza que existe en la periferia al área de la fábrica tenía un alto contenido de magnesio, inapropiada para este cometido.
- El área contigua al oeste del Área de la Fábrica, contiene cuevas subterráneas y huecos, es decir una zona con clastos y, por lo tanto, inapropiada para establecer allí la cantera.
- las arcillas que se encuentran en lo que se denomina Área de la Arcilla (2.5 Km. al occidente del Lugar de la Fábrica), tienen alto contenido de magnesio y relativamente alto contenido de álcalis pero pueden considerarse como material secundario para las calizas, las cuales también pueden tener alto contenido en magnesio y álcalis.
- Existe una zona ubicada a la parte occidental a la zona del Área de la Caliza, que posiblemente contenga la materia prima apta para la elaboración de cemento. Esta zona fue seleccionada como área de estudio, para una posterior exploración geológica detallada.

Durante el período comprendido entre los meses de septiembre del 97 y enero del 98, se llevó a cabo una profunda exploración, perforándose un total de 22 sondeos, y siguiendo un

modelo de cuadrícula con espacios de 250 m. aproximadamente, a los que se le sumó los 1.230 m de perforación a testigos continuos. La profundidad total de estos sondeos varió entre los 71 y 41 m. También se perforó un sondeo adicional (SN128), hasta una profundidad de 66 m, en otra zona aproximadamente a 1 km más al sur del área de exploración principal. Con este sondeo, los 22 de la campaña principal y los 5 sondeos de reconocimiento se alcanzó un total de 1600 m lineales de perforación. Se excavó un total de 89 trincheras en diferentes tipos de materiales, tales como calizas, arenas, arenas arcillosas, arcillas y caliches, alcanzando un total de 300 m. lineales. (Ver Planos N^{os} EF003 y EF004).

La empresa GEOCIVIL S.A., fue la encargada de realizar todos los sondeos empleando una máquina de perforación Longyear 38. Los elementos utilizados en combinación con la perforación de percusión en un estrato muy frágil fueron los siguientes: agua, aire, lodo (bentonita), polímero, espuma y neblina, utilizándose diámetros PQ y HQ.

Se examinaron, fotografiaron, registraron y dividieron longitudinalmente todos los testigos. Las muestras de 1 a 3 m. de longitud se trituraron y se sub-muestraron para dotar con una muestra representativa más pequeña de 150 a 200 g. aproximadamente, para poder enviarlas por correo al R.U. y analizarlas mediante el sistema de Fluorescencia por Rayos-X . Se analizaron un total de 1,100 muestras, obteniéndose resultados que señalaba la existencia de una apropiada fuente de caliza, en el área seleccionada.

La caliza, que se encuentra en una capa horizontal (se cree pertenece a la época del Pleistoceno), parece haber sido sedimentada sobre una vertiente submarina que se extiende desde la costa original. Los yacimientos de la base están compuestos de arena, arenas más gruesas y calizas arcillosas, quizás formados a partir de la masa terrestre en la parte occidental. El contenido de arcilla en la caliza parece haberse formado a partir de los densos depósitos de arcilla del Mioceno, encontrados en el Área de la Arcilla.

Con el estudio realizado, se comprobó que no existían fallas, sin embargo, la comprobación de los datos químicos determinan que existe una discontinuidad de 10 a 20 m que se extiende por el área principal de exploración, de forma más pronunciada hacia el oriente.

Se cree que el alto contenido de magnesio, en parte del área de la caliza, se debe al refluo del agua del mar, concentrado por evaporación, en una zona de marea alta, próxima a la costa. Este factor incide sobre el contenido de magnesio enriqueciendo parte de los sedimentos de carbonato, dejando una zona de caliza sin enriquecer por encima de esta. La densidad de esta zona no enriquecida, depende del buzamiento de la superficie de la zona enriquecida y de la superficie del terreno sobrepuesto; tiene un espesor de unos 40 m.

La formación de “caliche” de la parte superior de la caliza indica que hubo algún tiempo cuando el nivel freático del agua estuvo relativamente cerca de la superficie.

La caliza varía tanto en posición vertical como horizontal, debido a los cambios de régimen sobre el tipo de deposición. Se ha encontrado que existen siete tipos químicos o “quimiotipos” en función del Coeficiente de Sílice (CS) y el Factor de Saturación de Cal (FSC). Cada tipo químico existe en densidades razonables y se forman sobre áreas del depósito bastante extensas. Sin embargo, cada quimiotipo abarca una serie química bastante amplia, pudiendo ser bastante alta la variación sobre la escala de un bloque de la cantera.

En cuanto al recurso de arcilla, se ha identificado una amplia fuente al noroeste del área de estudio (Ver Plano No EF004). Sin embargo, las características químicas de este material no son ideales para la elaboración de cemento (siendo altos en magnesio, álcalis y humedad). Con el fin de buscar una arcilla que sea más adecuada, se realizó un simple estudio en dos fuentes de arcilla, fuera del área de estudio más al sur.

A partir de estos dos yacimientos se obtuvieron más muestras de arcilla; uno de los afloramientos de las arcillas corresponde al periodo del Mioceno, en un área al suroeste de San Cristóbal; y la otra de la Fábrica Dominicana de Cerámica en San Pedro de Macorís. De nuevo, las arcillas del Mioceno poseían alto grado de magnesio y álcalis, aunque dos de las arcillas procedentes de la Fábrica de Cerámica; una de Don Juan, próximo a Monte Plata; y la otra de Los Llanos, parecían ser bastante prometedoras.

Dado el alto contenido de sílice en la caliza, la necesidad de añadir arena en el procesamiento de clinker va a ser mínimo. Dentro de este estudio se ha comprobado que existe suficientes recursos de arena (algunos ya en explotación) dentro del campo de estudio.

2.3 Hidrogeología

El área del proyecto, está limitado en la parte norte por una grieta bastante profunda, con tendencia este-oeste, al sur por un valle de pendiente suave, actualmente recorrido por el Arroyo Niza Abajo con sus afluentes que corren en fuerte pendiente. Al noreste del área de exploración principal, existen otros dos valles más pequeños, poco profundos (10m), ambos con la misma dirección este-oeste, con unos 300 m de separación entre ellos, extendiéndose a lo largo de la suave vertiente costera. El único cauce de agua permanente cercano es el del Río Nigua, a unos 3 Km. noreste del área. Este río corre oeste-este, desde más allá de San Cristóbal, río arriba, hacia el mar.

Los resultados de las muestras procedentes de los cauces de agua en superficie, cumplen con las normas WHO (World Health Organisation) en cuanto a pH, Cloruro, total de sólidos, nitrito, nitrato y sulfato. Sin embargo, al momento de tomar la muestra se observó que el Río Nigua tenía una capa de aceite superficial.

El volumen pluvial en esta zona está comprendido entre los 500 y 2,500 mm. anuales, con un volumen pluvial anual medio de 1,600 mm. aproximadamente.

Parece ser que en ninguna de las perforaciones llevadas a cabo durante la campaña principal de perforación, se encontró el nivel freático del agua.

Existe una serie de puntos de extracción vigentes y obsoletos en el área periférica del proyecto, generalmente circundantes a su perímetro. Parece que, en el extremo oriental del Área de la Fábrica, el nivel freático sube suavemente desde casi el nivel del mar, hasta alcanzar en la Casa Corde los 40 m sobre el nivel del mar, con un gradiente de 1° en 50°.

Algunas de las muestras de agua analizadas, procedentes de los pozos cercanos a la costa, en la parte oriental, sobrepasaron las directrices de WHO para el cloruro y otros elementos muy relacionados. Este hecho da a entender que en dichos pozos pudo haber penetración salina.

2.4 Geofísica

Dentro del programa se utilizaron dos variantes del registro de resistividad eléctrica: la técnica de sondeo eléctrico vertical, que dota de información sobre la secuencia geológica, en donde se supone que existe una sucesión de capas paralelas; y la técnica de Imagen Eléctrica que dota de información sobre el estilo de corte transversal, suponiendo que la estructura no varíe de manera importante en ninguno de los laterales de éste. En total se cubrirán aproximadamente 4,950 m lineales de registro geofísico en las zonas de interés (Planos EF003 y EF004).

A partir de los dos métodos utilizados se extrajeron resultados que fueron consistentes con la información geológica disponible, conteniendo información sobre los espesores de las lentes de arcilla y arena en las dolinas y de depósitos superficiales, sobre la profundidad del nivel freático, la posición de un contacto entre arena/conglomerado y un arcilla importante y, finalmente, sobre la naturaleza de este contacto

2.5 Cubicación de Reservas

A raíz de las actividades de exploración terminadas en esta fase de trabajo, se ha llevado a cabo la modelación de los yacimientos de las materias primas y los análisis químicos detallados.

El volumen de materia prima ha sido valorado en virtud de que éste se pueda utilizar para la elaboración de cemento "Portland", de acuerdo a las normas aceptadas internacionalmente (ASTM).

Utilizando el paquete informático de modelación SURPAC 2000 se ha llevado a cabo la valoración de reservas, a fin de crear un modelo de bloque tridimensional de la caliza y de los recursos de arcilla en el área de estudio de Najayo.

La aplicación del sistema de modelación SURPAC ha facilitado la elaboración de una completa base de datos químicos para cuestiones geológicas, habiendo sido empleado para calcular el volumen y ubicar los recursos, tanto de forma gráfica como numérica. (Plano No EF005 y EF006).

Se han llevado a cabo un total de 1100 análisis XRF (Fluorescencia de Rayos X), de los que se han podido extraer los siguientes indicadores:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Mn ₂ O ₃	TiO ₂
------------------	--------------------------------	--------------------------------	-----	-----	-------------------	------------------	-------------------------------	--------------------------------	------------------

A partir de aquí, se han podido calcular otros dos indicadores denominados: Coeficiente de Sílice "Silica Ratio"(CS) y el Factor de Saturación de la Cal "Lime Saturation Factor" (FSC) (ver el Estudio Geológico Detallado). Todos estos elementos han sido introducidos dentro del modelo de bloques y se dispone de ellos en cualquier momento para su consulta. Sin embargo, a efecto de estimación de reservas sólo se han utilizado para elaborar el modelo los valores del Sílice y Magnesio junto con CS y FSC, dado que los resultados de los otros elementos no se salían de los límites aceptables para la fabricación de cemento.

El CS y FSC son los dos parámetros de control principal para la elaboración de cemento, en cuanto que recogen todos los valores de óxido principales. Como costumbre se realiza el trazado del FSC comparado con el CS para averiguar si la distribución química y variación de los materiales solicitados está dentro del círculo de los bloques químicos o “Quimiotipo”. Esta práctica se realiza de tal forma que no se explota en base continua en más de cuatro áreas del yacimiento durante el periodo de tiempo y cantidad solicitada, de tal manera que las mezclas en el yacimiento (generalmente superficies múltiples) facilitará una alimentación progresiva del material con una química, principalmente constante a la planta.

El diagrama de dispersión de resultados elaborado a partir del trazado del FSC, en comparación con el CS para Najayo, está representado en la Tabla EF-1, y muestra de forma relativa cinco áreas, al mismo tiempo que los campos superpuestos. Los cinco grupos encontrados se referirán a los que han sido denominados de A a E. Sin embargo, cada campo B y E se dividió en dos, según el tipo de distribución de muestras recogidas en ellos, para sumar un total de siete Quimiotipos diferentes.

Se aplicaron los siguientes límites en los distintos quimiotipos:

Tabla EF -1: Clasificación de Quimiotipos

Quimiotipo	Coefficiente de Sílice	Factor de Saturación de Cal
A	< 4.25	<550
B1	< 2.4	>550, <850
B2	<2.4	>850, <1300
C	>2.4, <4.25	>800, <1600
D	>4.25	<500
E1	<2	>1300, <2600
E2	<2	>2600

Nótese que cada quimiotipo abarca una amplia serie de valores.

Con el fin de calcular las reservas es necesario limitar o contornear la preparación del modelo de bloque para que sólo refleje esas áreas de material que están dentro de los límites químicos y físicos establecidos.

Los principales contornos geológicos que fueron aplicados a este modelo constituyeron la base de la caliza y la superficie de la interfase de arenisca. Los contornos químicos aplicados constituyeron un límite del 2.5% de Magnesio y el 10% de Sílice.

El modelo de caliza demuestra que existe un recurso de materia prima calcárea de unos 69 millones de toneladas, siendo un recurso suficiente como para desarrollar una estrategia de explotación, a fin de poder cumplir los objetivos de CORDE.

Los contornos que han sido aplicados al modelo de arcilla son totalmente físicos, estando apartados 100 m de los caminos principales y de la urbanización del área

El modelo de arcilla también demuestra que existe un abundante recurso de arcilla de 93 millones de toneladas aproximadamente en el área de estudio

Los recursos calculados anteriormente son *Recursos Geológicos*, solamente una proporción de ellos se explotarán en la práctica. Otro análisis de reservas forma parte de la Ingeniería de Explotación. (Ver Capítulo 5)

2.6 Características Geotécnicas

Dentro del Proyecto de Najayo estaba previsto realizar un total de 40 pruebas geotécnicas sobre las muestras de calizas, arcillas y arenas escogidas, con el fin de llegar a obtener lo siguiente:

- Resistencia a compresión simple (UCS)
- Pruebas triaxiales
- Densidad aparente
- Granulometría
- Límites de Atterberg.

Se hizo la valoración de los parámetros, de tres modos diferentes:

- 1.- Perforando y registrando sondeos geotécnicos
- 2.- Pruebas de laboratorio (un total de 87)
- 3.- Pruebas in-situ

La investigación geológica del Área de Estudio de Najayo recoge la perforación de rocas calizas, areniscas y rocas arcillosas de una serie de sondeos específicos, con el fin de valorar los parámetros de los estratos y las propiedades geo-mecánicas.

Las empresas Estudios Geotécnicos S.A. (“EGSA”) de Santo Domingo, Rock Mechanics Technology Ltd., en el R.U, (RMT), y el Departamento de Geotécnia, de la Secretaría de Estado de Obras Públicas y Comunicaciones (SEOPC), también de Santo Domingo, realizaron las pruebas geotécnicas de las calizas, en nombre de IMC. También se realizaron varias pruebas sobre muestras de arcilla del sondeo SN103 y llevó a cabo el análisis de algunas arenas.

Con la finalidad de comprobar los resultados de las pruebas de laboratorio con los valores de resistencia de la roca in-situ, IMC realizó un estudio especial de la superficie de roca expuesta en el área de estudio. Durante la excavación en el área de la fábrica, donde se está construyendo la planta de molienda del clinker, se encontró un lugar con un estrato típico, similar al de la zona de exploración principal.

La caliza en el área de Najayo es muy variable, en cuanto a la fracturación y resistencia. Los valores promedios de la resistencia están calculados entre 5 a 30 MPa, situando a la mayor parte del depósito de caliza dentro de la categoría de “roca frágil”.

Las propiedades de tensión del material son ligeramente mejores, por lo que no deberán representar mayor dificultad a la hora de la explotación.

Se ha calculado un módulo elástico de 13.29 GPa. para la caliza, demostrando así un comportamiento dúctil.

Los valores de densidad y humedad para ésta son también variables, con valores promedios del 1.8 y 20%, habiendo sido tomados como representativos para la caliza.

Algunos de los factores claves que originan el grado de fragilidad de la caliza son el tipo de diaclasas y las fracturas.

Las arcillas tienen una gran naturaleza plástica con un alto contenido de humedad, creando posibles dificultades para su extracción y manejo.

Las características de las arenas analizadas parecen ser típicas de arenas habitualmente utilizadas para cemento.

2.7 Características Químicas

El estudio de los análisis de las muestras anteriores, de cada uno de los sondeos, indican que el depósito puede dividirse en tres áreas de distintos grados químicos, tal como se muestra en el plano N° EF007. A medida que se profundiza en las calizas, la cantidad de arcilla y sílice aumenta. En estas tres zonas el material cambiará de grado a medida que se extraen las calizas. Por el modo de distribución geológica de éstas, las rocas en la parte occidental del depósito no llegan hasta una profundidad totalmente explotables, como en otros lugares. Sin embargo, una vez que se alcanzan estos niveles bajos, la roca de esta zona, que en la superficie estaba justo por encima del grado nominal, en este instante ha bajado bastante el grado nominal; y la zona oriental, que en la superficie estaba bastante por encima del valor nominal, ahora está sólo justo por encima.

El motivo de que varíe la química de las calizas de Najayo, no es otro que la mejora de calidad en cualquier nivel y en la dirección oriental. No obstante, aún en los lugares donde hay calizas con alto contenido de carbonato de calcio en la superficie, éste disminuirá con la profundidad. Cualquier planteamiento para la extracción de caliza debe tener en cuenta esta variación y diseñarse de tal manera que la producción química de la cantera sea siempre la misma.

El estudio de los quimiotipos también demuestra que la variación química puede controlarse al construir bancos de 10 m. de altura.

En el caso del depósito de caliza, la cota máxima de explotación sería de 125 m SNMM y la mínima de 45 m SNMM. Esto significa que la explotación se haría en general por 9 bancos de 10 m, aunque dada la variación del depósito puede que en la parte occidental los bancos tengan una altura algo mayor, y en la parte oriental algo menor, para mantener el mismo número de niveles.

Sólo será posible explotar y utilizar toda la caliza del volumen encontrado, si el análisis general de ésta es propio para la elaboración de cemento Portland. Haciendo uso de los análisis químicos obtenidos a raíz de la perforación de sondeos en la caliza potencialmente explotable, su análisis químico general se calculará conforme a:

Tabla EF-2
Composición promedio de la Caliza (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Mn ₂ O ₃	TiO ₂
4.21	1.19	0.75	50.95	0.77	0.11	0.09	0.05	0.02	0.08

La arcilla local será el material secundario que habrá que añadir a la caliza, y que proporcionará al cemento el sílice y otros componentes óxidos. Un análisis representativo de esta arcilla se puede extraer de los resultados del Sondeo SN103:

Tabla EF-3
Composición de la Arcilla del Sondeo SN103 (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Mn ₂ O ₃	TiO ₂
43.43	11.57	7.78	12.24	4.94	1.45	1.24	0.11	0.08	0.79

Las numerosas muestras tomadas de las calicatas han demostrado que la poca variación química aparente en el sondeo, se extiende de igual manera en dirección lateral.

Con el propósito de ajustar el coeficiente de sílice y el de alúmina, se necesita una fuente de sílice y de hierro. Parece ser que así es dentro de otras actividades relacionadas con cementos en la República Dominicana, al emplear sólidos de laterita ricos en hierro para corregir el contenido de éste. Un promedio de dos muestras de laterita, utilizada por la industria, entrega un análisis de:

Tabla EF-4
Composición de la Laterita (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Mn ₂ O ₃	Ti ₂ O ₂
43.86	10.85	32.88	1.11	2.53	0.24	0.07	0.09	0.42	0.73

Con el fin de elevar el coeficiente de sílice, es necesario añadir a la mezcla una fuente de sílice. La arena silíceas sería una buena fuente de este mineral. Se obtuvieron una serie de muestras de una importante fuente de arena ubicada en la zona de las futuras actividades.

Para los cálculos de las mezclas con cuatro componentes dentro de un campo con valores de los elementos, se utilizaron los análisis generales de arenas en fracciones menores de 2 mm.

El análisis general del material que alimenta el horno para la producción de clinker de cemento Portland, deberá ajustarse a los elementos citados anteriormente. Así pues, el FSC deberá ser de 1.0 aproximadamente, el CS de 2.5 aproximadamente y el coeficiente de aluminio (CA) de 1.4. A razón de esto, el FSC es el más importante, dado que él nos indica la cantidad y coeficiente de minerales hidráulicos necesarios.

Tabla EF-5
Análisis de Azufre y Cloro

Materia prima	Análisis de la materia prima (%)	
	Total S	Cl
Caliza	0.002 - 0.017	<0.001- 0.005
Arcilla local	0.022 - 0.035	<0.001 - 0.014
laterita	0.073	0.006
Arena	<0.001 - 0.008	0.010 - 0.023
Carbón	0.50 - 0.92	0.01

Otro factor a tener en cuenta es la naturaleza del combustible para el horno. En el caso de que se utilice petróleo o gas, el clinker del cemento se formará únicamente a partir de las materias primas. Por razones prácticas, el rango del FSC de la alimentación del horno será inferior a 1.0 y superior a 0.94. En el caso de que se utilice carbón como carburante, la ceniza del carbón se añadirá al clinker. Según los análisis químicos sobre la ceniza del carbón y el porcentaje de ceniza de éste, el FSC de la alimentación del horno estaría probablemente comprendido dentro de la escala de 0.98 a 1.06.

Las mezclas de prueba, indican que las materias primas pueden originar una química apropiada para los materiales del horno, fluctuando dentro de la escala de los factores de saturación de la cal. Por lo tanto, para concluir se puede decir que las materias primas existentes no impondrán limitaciones sobre el tipo de combustible a seleccionar.

Tabla EF-4
Mezcla Utilizando Carbón

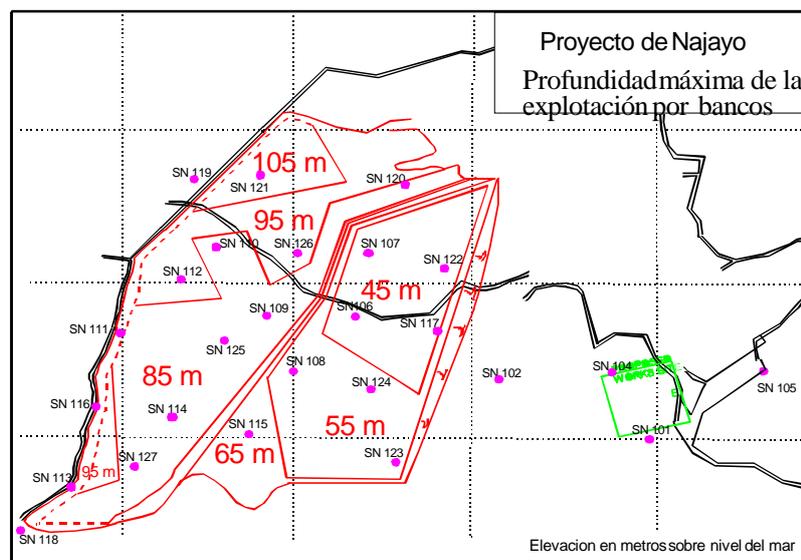
Alimentación del horno	Caliza		Arcilla Local			Laterita			Arena Local		
	79.08 %		17.62 %			0.50 %			2.80 %		
	Análisis	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Mn ₂ O ₃	TiO ₂
		13.42	3.29	2.19	42.51	1.51	0.42	0.32	0.06	0.03	0.21
Efectivo FSC = 0.98				Efectivo CS = 2.41				Efectivo CA = 1.52			
Combustión	Consumo de carbón previsto del 12% en relación con la producción de clinker. Contenido de ceniza 5.56%.										
Clinker	Análisis	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Mn ₂ O ₃	TiO ₂
		20.32	5.05	3.32	63.43	2.26	0.63	0.48	0.09	0.05	0.32
	Efectivo FSC = 0.96				Efectivo CS = 2.38				Efectivo AR = 1.55		

Estimado C ₃ S	Estimado C ₂ S	Estimado C ₃ A	Estimado C ₄ AF
62.68 %	11.46 %	8.10 %	10.26 %

Con el fin de conocer si era rentable explotar las calizas, se hizo una tasación a partir de la información analítica de los sondeos; de tal manera que siempre pudiera combinarse la mezcla escogida, y se llevó a cabo el análisis de cada uno de los bancos de 10 m. verticales, ubicados debajo de cada una de las tres zonas establecidas en la superficie. La distribución de los bancos y la profundidad máxima deseada desde el punto de vista de la química se muestra en la Figura 2-2.

Las sucesivas mezclas químicas de los análisis de los bancos proporcionados indican que todas las rocas utilizadas para determinar los análisis globales químicos de las calizas pueden utilizarse para la elaboración del cemento. La cantidad de calizas con el grado seleccionado fue calculado en 57 millones de toneladas.

Figura EF-2
Profundidad de Bancos de la Mina según la Química



Si se puede llevar a cabo el suministro continuo de materias primas con los análisis correspondientes, entonces, se puede decir que estas materias primas son apropiadas para la fabricación de cemento Portland, que cumplirá con los requisitos de las Normas ASTM C 150-97a para los Tipos I, Ia, III y IIIa. Las materias primas no son adecuadas para los Cementos Portland tipos II, IIa, IV y V, que son resistentes a los sulfatos y de bajo calor. Por consiguiente, éstas materias no son adecuadas para ninguna forma de cemento bajo en álcalis, a no ser que se utilice una planta preparada para esto, quizás incorporando un sistema de extracción de gas.

Si se localiza una fuente alternativa de material secundario que reemplace a la arcilla local, es probable que la especificación estándar de todas las formas del cemento Portland, incluyendo la de cemento bajo en álcalis, podría ser lograda con la caliza de Najayo. Además, una forma diferente de arcilla, como pueden ser las arcillas de la alfarería, estudiada brevemente durante este proyecto, posiblemente llevaría a tener que realizar una mezcla con tres componentes, en lugar de la de cuatro propuesta; esto sencillamente simplificaría más la elaboración.