

BUNDESANSTALT FÜR BODENFORSCHUNG

- Misión Geológica Alemana en
El Salvador -

Investigación Geológico-Económica de Minerales
no Metalíferos de Uso Industrial y Rocas de
Aplicación en la República de El Salvador

en
10 Partes

Hannover 1973

Indice del Reporte Final sobre Minerales no Metálicos,
Rocas y Suelos de Uso Industrial en la República de
El Salvador

Primera Parte: La Industria de Minerales no Metálicos y de
Rocas y Suelos de Uso Industrial en El Salvador

Segunda Parte: Materias Primas para Cemento, Cal Cáustica y
Puzolanas en El Salvador

Tercera Parte: Yacimientos de Rocas para Piedras Talladas en
El Salvador

Cuarta Parte: Agregados para Hormigón en El Salvador

Quinta Parte: Materias Primas para Cerámica Fina en El Salvador

Sexta Parte: Materias Primas para la Fabricación de Vidrio
en El Salvador

Séptima Parte: Materiales para la Construcción de Carreteras
en El Salvador

Octava Parte: Yacimientos de Perlita en El Salvador

Novena Parte: Materias Primas para Cerámica de Tejas y
Ladrillos en El Salvador

Décima Parte: Yacimientos de Diatomita y Azufre en El Salvador

BUNDESANSTALT FÜR BODENFORSCHUNG

- Misión Geológica Alemana en
El Salvador -

Investigación Geológico-Económica de Minerales
no Metalíferos de Uso Industrial y Rocas de
Aplicación en la República de El Salvador

Segunda Parte

Materias Primas para Cemento, Cal
Cáustica y Puzolanas en El Salvador

Autores:

Dr. Volker Stein

Dr. Hans-Siegfried Weber

INDICE

Segunda Parte

	Página
1. Introducción	1
2. Materias Primas de Cemento	3
2.0. Resumen de los Resultados	3
2.1. Introducción	4
2.2. Sinopsos Geológico	4
2.3. El Abastecimiento con Materias Primas de la Fábrica de Cemento El Ronco de "Cementos de El Salvador S.A. (CESSA)"	5
2.4. El Yacimiento de Caliza en la Quebrada El Chile	5
2.4.1. Problemática	5
2.4.2. Posición del Área de Investigación	6
2.4.3. Formación de las Secuencias de Estratos	6
2.4.4. Posición de los Estratos	7
2.4.5. Silificación en la Secuencia de Caliza	8
2.4.6. Valoración Minera del Yacimiento Investigado	
2.4.6.1. Evaluación del Mapéo Geológico y Cálculo de las Reservas de Piedras en Bruto	8
2.4.6.2. Evaluación de los Análisis Químicos	10
2.4.6.3. Reservas Explotables	12
2.4.6.4. Planeamiento de la Explotación	13
2.5. Investigaciones para Cubrir a Largo Plazo la Demanda de Materias Primas de Cemento	13
2.5.1. Los Yacimientos de Caliza del Cerro El Calichal y la Loma El Camarón cerca de Aldea El Zapote	14
2.5.1.1. Posición del Área de Investigación	14
2.5.1.2. Formación de las Secuencias de Estratos	15
2.5.1.3. Posición de los Estratos	16
2.5.1.4. Valoración Minera de los Yacimientos de Caliza Investigados	17
2.5.1.4.1. Evaluación del Mapéo Geológico y Cálculo de las Reservas de Piedras en Bruto	17
2.5.1.4.2. Evaluación de los Análisis Químicos	18
2.5.1.4.3. Cálculos de las Reservas Explotables	21

2.5.2.	Apreciación Final sobre la Idoneidad de Aldea El Zapote como Localidad para una Nueva Fábrica de Cemento	22
3.	Calizas para Producción de Cal cáustica	24
4.	Materias Primas de Puzolana	26

1. Introducción

Por el consumo de cemento y de otros aglutinantes hidráulicos se puede medir el grado de desarrollo de la industria de construcción de un país. El desarrollo industrial se refleja a la vez en el desarrollo de consumo.

Ante la industrialización intensiva de El Salvador en la última década no es de sorprender que sobretodo la industria del cemento presente un crecimiento rápido. A partir de pequeños principios en la costa (procesamiento de conchas) la fábrica de cemento se transformó en su nuevo local cerca de Metapan rápidamente en una fábrica moderna y eficiente, cuyo desarrollo proseguirá con seguridad. Así, el interés de la empresa en la producción de cementos de puzolana demuestra la forma como la dirección encara el desarrollo del consumo, y está dispuesta a seguir nuevos caminos tecnológicos.

La producción de cal cáustica en El Salvador tiene todavía una estructura completamente artesana, aunque en la venta existe una cooperación de varias empresas. Según los informes que hemos obtenido, el consumo de cal cáustica en El Salvador se encuentra también en aumento, aunque no tengamos presentes números exactos. Por eso no podemos juzgar si el comienzo de producción industrial de cal cáustica en un futuro próximo será de interés para la economía nacional.

La Misión Geológica Alemana en El Salvador (MGAES) investigó detalladamente las reservas de materias primas para la producción de aglutinantes hidráulicos, pero las investigaciones de las posibilidades de producción de cementos de puzolana no pasaron de una fase inicial.

Desde un punto de vista geológico-económico la posibilidad de venta de cales cáusticas tiene que ser comprobada bajo el aspecto puramente comercial, pues los datos presentes sobre la producción y el consumo no son suficientes para una apreciación detallada.

La producción de cementos de puzolana necesita además de un examen más comercial, de investigaciones tecnológicas más profundas, que aunque pueden ser ejecutadas parcialmente en el laboratorio de la fábrica de cemento, exigen una dirección tecnológica y/o económico-geológica.

2. Materias Primas de Cemento

2.0. Resumen de los Resultados

Durante los últimos años el consumo y la producción de cemento en El Salvador tuvieron tendencias ascendientes, en parte muy súbitas. La MGAES realizó a pedido de "Cementos de El Salvador S.A." (CESSA) investigaciones económico-geológicas para asegurar la base de materia prima apropiada para la producción de cemento en los próximos años, porque las reservas de materia prima, en que se basa la producción de la única fábrica de cemento del país se hallaban agotadas en gran parte. Fueron comprobadas cerca de 9 millones de toneladas de reservas inferidas de materia prima, estando así asegurado el abastecimiento con materia prima de la fábrica para los próximos 15 a 25 años, teniendo en cuenta el desarrollo de la producción.

En colaboración con la institución de la contraparte, y a pedido de la CESSA, la MGAES realizó también prospecciones e investigaciones geológicas en un yacimiento de caliza, que parece ser adecuado como lugar para una segunda fábrica de cemento, pues se espera que la capacidad de producción de la fábrica de cemento existente, dentro de 10 años ya no sea suficiente para cubrir la demanda del país. Fue comprobado aquí un total de cerca de 65 millones de toneladas de reservas inferidas de materia prima de buena calidad, suficientes para cerca de 100 años, con una capacidad anual prevista en la primera fase de desarrollo de la fábrica planeada de 350 000 toneladas de clínker. Según su explotabilidad, la cantidad y la calidad de materia prima del yacimiento investigado presenta condiciones óptimas para una fábrica nueva a ser construida. Se considera favorable su posición en relación a la red de tráfico y al mercado.

2.1. Introducción

Las materias primas principales para la producción de cemento, caliza y marga calcárea, existen en El Salvador solamente en una estrecha faja de la región norte y noroeste del país.

Los yacimientos de mayor extensión se encuentran en los alrededores de Metapan (Dept. Santa Ana), donde forman la base de materia prima para la única fábrica de cemento del país y para la pequeña industria de cal cáustica existente desde hace generaciones (anexo 1).

2.2. Sinopsis geológico

Las calizas del cretácico inferior de la región de Metapan se encuentran intercaladas a dos niveles estratigráficos distintos en una secuencia de limonitas, de areniscas y conglomerados rojos con porcentaje variante de piroclásticas y lavas andesíticas, designada como "Estratos de Metapan". Las calizas estratigráficamente más antiguas son designadas aquí como "secuencia de caliza"; las capas estratigráficamente más recientes son designadas "secuencia de marga calcárea" según su composición.

La "secuencia de caliza" está formada al oeste de Metapán con un espesor de 50 - 55 m. La "secuencia de marga calcárea" con un espesor de cerca de 45 m se le sobrepone, separadas por 200 - 250 m de red beds.

En ambas secuencias de rocas calcáreas se puede observar un aumento claro del espesor de oeste hacia el este, hasta 100 m. Juntamente con esto hay en la "secuencia de marga calcárea" en dirección al este un cambio de facies parcial hacia calizas compactas y en capas espesas.

2.3. El Abastecimiento con Materias Primas de la Fábrica de Cemento El Ronco de "Cementos de El Salvador S.A." (CESSA)

La base de materias primas de la fábrica de cemento El Ronco de CESSA, situada a 5 km al oeste de Metapan, está formada únicamente por pequeños yacimientos, tectónicamente muy fallados, en parte imprimidos otra vez por contacto metamórfico (silificados y epidotizados), de la "secuencia de calizas" más antigua, en las cercanías más próximas de la fábrica.

Algunas de las canteras, que están en explotación desde hace más de una década, tuvieron que ser abandonadas entretanto, viéndose la fábrica obligada a explorar yacimientos de caliza más distantes.

Como primer paso para asegurar su abastecimiento de materias primas a largo plazo, la CESSA había encargado al Instituto Geográfico Nacional la realización de un mapa fotogramétrico de las cercanías de la fábrica, en escala 1 : 5 000. En este mapa fueron registrados por el químico de la CESSA todos los yacimientos de caliza en los 5 km de la redonda, con los contornos aproximados de sus afloramientos.

Según nuestras observaciones, posiblemente apenas una parte de los yacimientos registrados por la CESSA entrarla en el campo de los cálculos serios para el abastecimiento de materias primas. La mayoría queda excluida como base de materias primas para la fábrica de cemento porque la cantidad de sus reservas no es suficiente y/o porque el transporte es demasiado largo através de terreno difícil.

2.4. El Yacimiento de Caliza en la Quebrada El Chile

2.4.1. Problemática

CESSA pidió a la MGAES ayuda al escoger el yacimiento más apropiado como base de materias primas para la producción en la próxima década.

La MGAES propuso que se investigara geológicamente y se hiciera la prospección de un yacimiento de caliza, situado a 1,5 km al noroeste de la fábrica de cemento, en la quebrada El Chile, que parecía presentar condiciones óptimas según sus posibilidades de explotación, su cantidad y calidad de materia prima, que ya estaba siendo preparada para la explotación. (Levantamiento geológico detallado de la secuencia de estratos y mapeo en escala 1 : 5 000).

2.4.2. Posición del Área de Investigación

La quebrada El Chile es un valle profundamente entallado con 2,5 km de largo con rumbo N-S hasta NNE-SSW, situado a 6,5 km al oeste de Metapan (anexo 2;3).

El lecho del arroyo de esta quebrada, que solamente lleva agua durante la época de la lluvias, desemboca cerca de 1 km al oeste del terreno de la fábrica de la CESSA en la quebrada Los Llanitos, que por su parte desagua en el Lago de Guija.

2.4.3. Formación de las secuencias de estratos

La parte más antigua de la secuencia de estratos, que puede ser observado en la parte sur de la quebrada, se compone de una secuencia, más o menos imprimida por contacto metamórfico, de areniscas, conglomerados, arcillas y de limonitas, con porcentaje variante de material vulcanógeno e intercalaciones de lavas feno-andesíticas (comp. anexo 2).

Por encima de esto se halla la "secuencia de caliza", que asume en la quebrada El Chile un espesor de 50 - 55 m (con aumento de espesor hacia el norte). La parte inferior de la secuencia, con un espesor de 6 - 7 m, consiste en margas y en calizas margosas con textura flaser-lameliforme. Ella resulta de los sedimentos clásticos del muro por aumento continuo del contenido de carbonato y grada a su vez hacia el techo para calizas oscuras - que se fragmentan en astillas, en capas espesas, compactas (el espesor de cada importa en 10 - 80 cm) - las cuales forman el resto de la "secuencia de caliza".

Especialmente en los 20 m superiores de la secuencia estas calizas contienen numerosas intercalaciones estratiformes de 3 - 10 cm de espesor, y en grumos irregulares de rocas silíceas negras (cherts; estos componentes estorban el proceso de fabricación, porque son difíciles de moler!). La secuencia de caliza está recubierta por conglomerados de cuarzo rojos, areniscas, limonitas, arcillas y tufitas con un espesor total de aproximadamente 200 m.

La "secuencia de marga calcárea" forma el techo de estos "red beds"; se encuentra explorada con un espesor de 40 - 45 m en la quebrada El Chile,, Se compone de una secuencia alternante de capas de caliza hasta caliza margosa con un espesor de hasta 5 - 10 cm, y de estratos de marga calcárea hasta marga con un espesor máximo de 1 m, descomponiéndose parcialmente en grumos, parcialmente foliados. Una secuencia de capas de calizas compactas, en capas espesas con un espesor de cerca de 3 m forma la conclusión hacia el techo.

2.4.4. Posición de los estratos

En la sección investigada de la quebrada los estratos tienen una dirección bastante uniforme de norte-sur con pequeñas diferencias para nordeste y noroeste. Salvo pocas excepciones el buzamiento de los estratos tiene un ángulo entre 10 y 50° con dirección al oeste.

El aumento tectónico predominante son fallas con rumbo NE-SW y subordinado fallas con rumbo NW-SE, que cruzan todo el área de investigación y lo dividen en bloques. Estas fallas son predominantemente normales. La falla más importante observada en la quebrada El Chile tiene un desplazamiento vertical de aproximadamente 200 m. Se compone de dos secciones con rumbo respectivamente de ENE-WSW y ESE-WNW y disloca rocas de la "secuencia de caliza" contra rocas de la "secuencia de marga calcárea".

Todas las otras fallas tienen apenas efectos de desplazamiento de algunos metros hasta decenas de metros.

Apenas en el tercio norte del área de investigaciones, al norte de la falla principal hay afloramientos de la "secuencia de marga calcárea". Al sur de esta falla solo afloran calizas de la "secuencia de caliza" más antigua (comp. anex. 2;5).

2.4.5. Silificación en la Secuencia de Caliza

Además de las intercalaciones mencionadas paralelas a los estratos, probablemente singenéticas de rocas silíceas negras, se observo en algunos afloramientos de la secuencia de caliza, en la parte central y en la parte sur del área de investigación, una silificación irregular. Esta se caracteriza por una sustitución parcial, pero generalmente total, del carbonato de calcio por una mezcla de silicatos de calcio y de gel de cuarzo impurificada por compuestos de Fe.

A partir de las fallas, partes singulares del mosaico de bloques en el área de investigaciones fueron silificadas completamente, salvo pequeños cuerpos de reliquia delimitados irregularmente.

Estas Partes silificadas no son apropiadas, según nuestra opinión, para la explotación, pues su composición química es muy variable y sus calidades poco favorables a la pulverización difícilmente permitirían su transformación en cemento Portland.

2.4.6. Valorización Minera del Yacimiento Investigado

2.4.6.1. Evaluación del Mapéo Geológico y Cálculos de las Reservas de Piedras en Bruto

A fin de obtener una vista de conjunto sobre la estructura del yacimiento de caliza y sobre las reservas inferidas en bruto en la quebrada El Chile, se dividió el yacimiento en diversos cuerpos de rocas, en lo posible sin fallas y con estructura geológica uniforme. Los diversos cuerpos de rocas del yacimiento, se hallan delimitados, por lo general, por fallas.

Usando todos los datos de observación a disposición se hicieron un total de 24 cortes de perfil geológicos através de los

diversos sectores del yacimiento con una distancia de 50-125 m, más o menos perpendiculares a la dirección de los estratos con escala de 1 : 1 000 respectivamente 1 : 2 500. El anexo 3 representa la posición de estos cortes de perfil. Como ejemplos para las condiciones tectónicas en la parte sur ("secuencia de caliza") y en la parte norte ("secuencia de marga calcárea") del área de investigación fueron escogidos los cortes de perfil A - A' y B - B', perfiles transversales representativos. (anexo 4).

Para calcular las reservas de piedra en bruto se determinó en cada uno de los 24 cortes de perfil el área de la piedra bruta digna de explotación, con las áreas singulares se calculó el promedio aritmético, y éste se multiplicó por el largo medio del sector de yacimiento correspondiente.

Al calcular las áreas de explotación en los cortes de perfil se tuvo en cuenta una carga de escombros máxima en lo permisible de 5 m y una inclinación de talud de 70 para el frente de explotación del lado de la montaña.

Así se hicieron separadamente los cálculos de reservas para los 11 cuerpos parciales del yacimiento de materia prima de cemento investigado. Los resultados están expuestos en la tabla 1. Para los sectores de yacimiento I - VIII, al sur de la falla principal, que contienen exclusivamente rocas de la "secuencia de caliza", se calcularon un total de aproximadamente 2,5 millones m³ de reservas inferidas de piedras en bruto.

Los sectores situados al norte de la falla principal IX, X y XI, donde hay apenas rocas calizas de la "secuencia de marga calcárea", contienen según los cálculos presentes aproximadamente 2 millones m³ más de reservas inferidas de piedra en bruto. Un factor inseguro en los cálculos de las reservas es la silificación observada en los sectores de yacimiento I, III, V y VI en la parte básica de la secuencia de estratos y en la zona de las fallas, y supuesto en los sectores de yacimiento II y IV; no se conoce la expansión espacial de la silificación hacia la profundidad, y solamente podría ser determinada con exactitud por medio de perforaciones.

Tabla 1: Cálculo de reservas del depósito de caliza en la Quebrada El Chile

Model del depósito	Model del depósito transversal	Volumen geológico en el corte	Partes no explotables del depósito en el corte	Parte explotable en el corte	Promedio aritmético de las partes explotables en los cortes	Promedio de la longitud del área del depósito	Reservas probables de caliza *
	(en m ²)	(en m ²)	(en m ²)	(en m ²)	(en m ²)	(en m)	(en toneladas)
		Zona silificada	Reservas debajo del nivel de la Quebrada				
I	1 - 1'	1.950	-----	1.950	3.660	237	867.000
	2 - 2'	5.320	350	4.100			1.730.000
	3 - 3'	6.850	600	4.950			
II	4 - 4'	3.630	-----	3.630	2.685	90	241.000
III	5 - 5'	1.740	-----	1.740	-----	120	-----
	6 - 6'	1.830	1.830	-----	-----	-----	-----
IV	7 - 7'	1.790	-----	1.790	1.570	150	235.000
	8 - 8'	1.350	-----	1.350	750	75	56.000
	9 - 9'	1.570	-----	1.570	1.070	165	176.500
V	10 - 10'	4.950	4.200	750	3.280	68	223.000
VI	11 - 11'	1.730	900	830	2.940	200	588.000
	12 - 12'	1.310	-----	1.310	2.100		1.176.000
VII	13 - 13'	3.280	-----	3.280	2.150	94	202.000
	14 - 14'	1.260	-----	1.260	-----	-----	404.000
VIII	15 - 15'	4.000	-----	4.000	2.280	668	1.523.000
	16 - 16'	4.400	-----	4.400	-----	-----	3.046.000
	17 - 17'	2.100	-----	2.100	-----	-----	
Σ I - VIII							2.387.000
IX	18 - 18'	2.150	-----	2.150	-----	-----	404.000
	18 - 18'	910	-----	910	-----	-----	
	19 - 19'	1.410	-----	1.410	-----	-----	
	20 - 20'	2.360	-----	2.360	-----	-----	
X	21 - 21'	2.520	-----	2.520	2.280	668	1.523.000
	22 - 22'	2.790	-----	2.790	-----	-----	
	23 - 23'	2.050	-----	2.050	-----	-----	
	24 - 24'	3.920	-----	3.920	-----	-----	
	19 - 19'	900	-----	900	-----	-----	
	20 - 20'	1.900	-----	1.900	-----	-----	
	21 - 21'	1.730	-----	1.730	1.034	474	490.000
	22 - 22'	240	-----	240	-----	-----	
	23 - 23'	390	-----	390	-----	-----	
Σ X - XI							2.013.000

*) Para tomar en cuenta las pérdidas de explotación previsibles de 20 - 25% las reservas explotables fueron calculados con un peso unitario de 2 t/m³ en vez de 2,5 - 2,7 t/m³.

Sin embargo se fijó el porcentaje de estas zonas, impropias para el abastecimiento con materias primas de la fábrica de cemento, en la composición de los sectores de yacimiento respectivos por precaución tan alto (sector II 100 % sector V 85 % impropio), que los números de reservas obtenidos están en todos los casos del lado de la seguridad.

2.4.6.2. Evaluación de los Análisis Químicos

Hasta el momento solo están presentes análisis químicos de una pequeña parte del yacimiento de caliza en la quebrada El Chile. Las perforaciones de cincel con inyección de agua de aire comprimido de 20 m hechas por la CESSA en la parte sur y central del sector de yacimiento I en dos filas de perfiles, fueron aplicados paralelamente al rumbo de los estratos. Atravesaron solamente la parte inferior de la "secuencia de caliza". No estamos informados de como se ejecuto la toma de muestras.

Los contenidos promedios de CaCO_3 del total de las 20 perforaciones varían entre 64,4 % (zona de transición hacia el muro carbonático-clástico) y 86,5 %. Los contenidos de MgO son menos de 1 %.

La composición química media de las perforaciones de ambas filas de perfiles comporta:

CaO	-	42,31 %
SiO ₂	-	14,32 %
Al ₂ O ₃	-	3,61 %
Fe ₂ O ₅	-	1,95 %
MgO	-	0,82 %
pérdida por calcinación	-	36,14 %

Esta composición se aproxima ya bastante al cemento natural. Por la desviación hidráulica de -2,2 es señalado un ligero déficit de CaO. El contenido de ácido silícico es así un poco alto en relación con el contenido de tierra arcillosa y de óxidos de hierro.

Pero estos valores valen solamente para la mitad inferior, atravesada por las perforaciones, de la "secuencia de caliza". Para la parte superior de esta secuencia de estratos, compuesta de calizas compactas, se esperan desviaciones hidráulicas positivas. Así se necesitarán siempre materiales de corrección arcillosos-silíceos para transformar estas calizas en cemento Portland.

De la "secuencia de marga calcárea" en la parte norte del área de investigaciones no existen análisis químicos.

Con una muestra de mezclas (3 mezclas de muestras) que comprende el espesor total de 42 m de esta secuencia de estratos en el camino hacia la Hacienda El Espinal, a 3,5 km a NW de Metapan, se obtuvo la siguiente composición media química:

CaCO ₃	-	80,6	%	(desviación máxima en % CaCO ₃ : 1,9)
SiO ₂	-	11,93	%	
Al ₂ O ₃	-	2,08	%	
Fe ₂ O ₃	-	1,54	%	
MgO	-	0,76	%	
pérdida por calcificación	-	37,53	%	

Como la "secuencia de marga calcárea" tiene aquí la misma formación y el mismo espesor que en la quebrada El Chile, tampoco habrá grandes diferencias en la composición química de ambos yacimientos separados 5 km entre sí. La composición química del perfil, donde se sacaron las muestras en El Espinal presenta una desviación hidráulica de +9,5, un módulo de silicato de 3,3 y un módulo de tierra arcillosa de 1,35. Así estas rocas presentan apenas desviaciones mínimas de la composición del cemento natural, con un ligero excedente de CaO y contenidos de tierra arcillosa y de Fe un poco bajos en comparación con el ácido silícico. Habiendo una explotación, bastaría ya una pequeña adición de un componente arcilloso para poder ser usado como materia prima de cemento.

2.4.6.3. Reservas Explotables

Como fue comprobado por observaciones en el terreno, la capa de escombros sobre el afloramiento de las rocas calcáreas en toda el área investigada es tan delgada, que puede ser ignorada en los cálculos de reservas.

Pérdidas técnicas de explotación que son de esperar con una dimensión de 20 - 25 % se tuvieron debidamente en cuenta al calcular las cantidades de roca en bruto explotables (tabla 1, columna 1) usando 2 t/m³ (en vez de 2,5 hasta 2,7 t/m³) para la densidad de la piedra en bruto.

Según esto la parte sur y central del yacimiento de caliza investigado contienen escasos 5 millones de toneladas de cantidades explotables de piedra en bruto de la "secuencia de caliza".

Para la sección norte del área investigada fueron comprobados aproximadamente 4 millones t de piedras en bruto explotables en la "secuencia de marga calcárea".

Estas reservas serían suficientes para el abastecimiento de materia prima de la fábrica durante los próximos 24 años, con la producción diaria promedio presente de 650 t de clinker (650 t/d \approx 650 x 350 \approx 230 000 t clinker/a \approx 370 000 t caliza/a).

Al alcanzar la capacidad máxima posible, aprovechando todo el terreno de la fábrica, de aproximadamente 400 000 t de clinker por año, el abastecimiento de la fábrica con materia prima estaría asegurado por unos 15 años.

Por lo tanto, por ahora no son necesarias más investigaciones minero-geológicas.

2.4.6.4. Planeamiento de Explotación

Como está descrito en 4.4. y se puede ver en el corte geológico longitudinal de perfil através del flanco occidental de la quebrada El Chile (anex. 5), las partes sur y central del yacimiento de caliza están divididas en un mosaico de terrones por una serie de fallas.

Algunas fallas, como las entre los sectores de yacimiento II/III, IV/V. V/VI y VI/VII presentan desplazamientos verticales de 10-25 metros. Desplazamientos con estas dimensiones estorban muchísimo la explotación y tienen que ser consideradas en planos de explotación a largo plazo.

Otro factor que estorba la explotación, son las zonas de silificación comprobadas en algunos sectores de yacimiento, (I, III, V, VI) sobretodo en la zona de las fallas, y cuya expansión hacia la profundidad no se conoce.

Para asegurar el abastecimiento continuo de la fábrica de cemento con material en bruto de calidad siempre igual, se insiste en aconsejar que se explote piedra en bruto en por lo menos dos frentes de extracción.

2.5. Investigaciones para Cubrir a Largo Plazo la Demanda de Materias Primas de Cemento

Durante los últimos 10 años el consumo y la producción de cemento en El Salvador subieron en parte súbitamente. Así el aumento de producción entre 1970 y 1971 fue de aproximadamente 15%. Se esperan incrementos comparables también en el futuro, pues la construcción de industria y de viviendas en El Salvador tiene gran necesidad de recuperar.

En vista de tales incrementos, es comprensible que la CESSA se preocupe en asegurar a largo plazo su base de materia prima.

La CESSA cuenta con que la capacidad de producción de la fábrica El Ronco dentro de 10 años ya no será suficiente para cubrir la demanda nacional, y pidió ayuda a la MGAES para escoger una

localidad apropiada para la construcción de una segunda fábrica.

Según el concepto de la CESSA esta segunda fábrica deberla funcionar con el procedimiento por vía seca y producir en su primera fase de desarrollo 1 000 t de clinker diarias.

Había que tener en cuenta los siguientes aspectos al escoger una localidad apropiada para la nueva fábricas

- existencia de materias primas de calidad aceptable en cantidad suficiente,
- posición favorable de las localidades de explotación y de producción en relación con la red de tráfico y al mercado,
- posición favorable para el tráfico interior entre las localidades de explotación y con la fábrica que ha de ser construida,
- y buen aprovisionamiento de agua.

Considerando los aspectos anunciados, la MGAES propuso que se hiciesen investigaciones minero-geológicas de los extensos yacimientos de caliza al norte de Aldea El Zapote (TK 1:50 000, hoja Masahuat), que ofrecían de lejos las mejores condiciones según su explotabilidad, cantidad y calidad de materia prima. Se empezaron las exploraciones con un levantamiento geológico-tectónico detallado y un mapéo geológico especial en escala 1 : 10 000.

2.5.1. Los Yacimientos de Caliza del Cerro El Calichal y la Loma El Camarón cerca de Aldea El Zapote

2.5.1.1. Posición del Área de Investigación

Morfológicamente el área de investigación pertenece a la región de colinas de Metapan, que se extiende en la base del norte de la Sierra fronteriza, que alcanza los 2.400 m s.n.m.

Los yacimientos de caliza del cerro El Calichal y de la loma El Camarón están situados a 9 km al SE de Metapan al norte de la aldea El Zapote. Se puede alcanzar la aldea El Zapote por

una carretera de tierra con 13 km desde Metapan, transitable todo el año para camiones, o por la carretera Santa Ana - Metapan - Angiatú. La localidad está a 570 m s.n.m. Los yacimientos de caliza investigados se encuentran a una altitud entre 600 y 800 m s.n.m. El área de investigaciones es atravesada por una quebrada muy profunda de rumbo NE - SW que desagua en el Río Tahuilapa. Al sur de esta quebrada El Caliche se hallan las calizas del cerro El Calichal. Los afloramientos de caliza situados al norte de la quebrada forman el yacimiento de caliza de la Loma El Camarón (comp. anex. 1, 6).

2.5.1.2. Formación de las Secuencias de Estratos

Los yacimientos de caliza de Aldea El Zapote son formados por rocas de la "secuencia de caliza".

Se trata aquí de calizas compactas, en capas espesas hasta macizas, fragmentándose en astillas, y de color generalmente gris oscuro. El espesor de capa medio es de 40 - 50 cm. Pero también aparecen capas con un espesor de hasta 3 m, sobretodo en la parte superior de la secuencia de estratos.

El espesor total de la "secuencia de caliza" cerca de Aldea El Zapote es de aproximadamente 100 m.

Las intercalaciones estratiformes de rocas silíceas oscuras, que aparecen en las cercanías de la fábrica de cemento existente, fueron también observadas cerca de Aldea El Zapote, aunque en cantidades claramente menores. Están limitadas, aquí como allí, a la parte superior de la secuencia de estratos.

La secuencia de margas y margas calcáreas ± arenosas en la zona de transición de los sedimentos clásticos del muro para las calizas de la "secuencia de caliza", observada en la región al occidente de Metapan, no se formó cerca de la Aldea El Zapote.

Conglomerados de cuarzo, areniscas, rocas limolíticas y arcillosas con porcentaje variable de piroclástitos se sobreponen con un espesor total de 220 m a la "secuencia de caliza" cerca de Aldea El Zapote. Por encima les sigue con un espesor de aproximadamente 90 m la "secuencia de marga calcárea", aquí formada

sobretudo de calizas compactas en capas espesas (comp. corte de perfil 2-2', anex. 8).

En el flanco sur del cerro El Calichal se hallan los yacimientos de mármol El Zapote (comp. anexo 6). Se formaron a partir de la parte básica de la "secuencia de caliza", que aquí fue imprimida en un espesor de hasta 30 m en la zona de contacto con el plutón granodiorítico de San Juan las Minas.

2.5.1.3. Posición de los Estratos

Los estratos tienen en la región del cerro El Calichal un rumbo bastante uniforme de N-S, con desviaciones locales de 5 - 10 generalmente con dirección NNW. Su buzamiento es de 10 hasta 20 hacia el E. En la parte norte del sector de yacimiento IV y en la región de la loma El Camarón el rumbo de los estratos está entre 20 y 40° E y su buzamiento es igualmente de 10 hasta 20° al E.

El yacimiento de caliza Cerro El Calichal está dividido en cuatro bloques distintos por fallas con rumbo N-S, respectivamente NNW-SSE, con desplazamientos verticales entre 40 y 60 m. Del corte de perfil geológico 1-1' (anex. 8) se deduce la estructura de este yacimiento, la posición y el importe de desplazamiento de las diversas fallas.

En la zona de la loma El Camarón se observó, aparte de la falla N-S, que delimita el yacimiento al oriente, solamente una falla con dirección aproximada de NE, combinada con deformaciones de los estratos en forma de flexuras, y cuyo desplazamiento vertical mide escasos 10 m.

2.5.1.4. Valoración Minera de los Yacimientos de Caliza

Investigados

2.5.1.4.1. Evaluación del Mapéo Geológico y Cálculo de las Reservas de Piedras en Bruto

Para la apreciación minera y especialmente de la técnica de explotación de los yacimientos Cerro El Calichal y Loma El Camarón se proyectaron, similarmente como en el yacimiento de la quebrada El Chile, un total de 13 cortes geológicos de perfil en escala 1 : 5 000, a una distancia de 100 a 200 m.

Los cortes de perfil fueron ejecutados en el yacimiento El Calichal aproximadamente paralelos al rumbo de los estratos, y en el yacimiento El Camarón perpendicularmente al afloramiento en la encuesta de la secuencia de caliza (anex. 7).

El cálculo de las reservas de piedra en bruto se hizo, como ya quedo descrito en 4.6.1., según una variante del método de los cortes verticales. En cada uno de los 13 cortes de perfil se determinó el área de las rocas en bruto explotable, de la suma de las áreas de cada sector de yacimiento se formó el promedio aritmético, multiplicando éste por el largo promedio del sector de yacimiento respectivo.

Los diversos sectores de yacimiento de los yacimientos de caliza de Aldea El Zapote son limitados exclusivamente por fallas. Solamente el límite norte del sector de yacimiento VI representa un límite de cálculo, de carácter facultativo.

Al delimitar por el lado de la montaña las áreas de explotación se tuvo otra vez en cuenta una inclinación de talud de 70 y una carga de escombros máxima de 5 m.

Así se ejecutaron separadamente los cálculos de reservas para cuatro sectores de yacimiento (I - IV) del yacimiento El Calichal y para dos sectores de yacimiento (V, VI) del yacimiento El Camarón. En la tabla 2 están compilados los resultados.

Tabla 2: Cálculo de reservas de los depósitos de caliza Cerro El Calichal y Loma El Camaron al Norte de Aldea El Zapote

No del depósito	No del corte transversal	Volumen geológico en el corte (en m ²)	Mármoles	Reservas debajo del nivel de la Quebrada	Partes no consideradas del depósito en el corte (en m ²)	Parte explotable en el corte (en m ²)	Promedio aritmético de las partes explotables en los cortes (en m ²)	Promedio de la longitud del área del depósito (en m)	Reservas probables de caliza *) (en m ³)	Reservas probables (en toneladas)
I	A - A'	12.000	-----	-----	-----	12.000	16.600	250	4.150.000	8.300.000
	B - B'	21.3000	-----	-----	-----	21.300				
II	C - C'	13.400	-----	-----	-----	13.400	13.400	140	1.870.000	3.740.000
	D - D'	9.760	2.250	-----	-----	7.510	14.100	200	2.820.000	5.640.000
III	E - E'	24.450	3.750	-----	-----	20.700				
	F - F'	36.700	6.000	1.700	-----	31.000	31.000	164	5.080.000	10.168.000
IV a	F - F'	8.840	-----	4.200	-----	4.640	4.640	89	410.000	826.000
Σ I - IV a									14.330.000	28.660.000
V	G - G'	16.900	-----	-----	-----	16.900				
	H - H'	19.400	-----	-----	-----	19.400	18.000	597	10.740.000	21.480.000
	I - I'	17.800	-----	-----	-----	17.800				
VI	J - J'	14.400	-----	-----	-----	14.400				
	K - K'	13.400	-----	-----	-----	13.400	10.750	675	7.250.000	14.500.000
	L - L'	7.500	-----	-----	-----	7.500				
	M - M'	7.700	-----	-----	-----	7.700				
Σ V - VI									17.990.000	35.980.000
Σ I - VI									32.320.000	64.640.000

*) Para tomar en cuenta las pérdidas de explotación previsibles de 20 - 25% las reservas explotables fueron calculados con un peso unitario de 2 t/m³ en vez de 2,5 - 2,7 t/m³.

2.5.1.4.2. Evaluación de los Análisis Químicos

A fin de obtener valores representativos de la composición química de la secuencia de caliza cerca de Aldea El Zapote, la MGAES empezó por aplicar dos perforaciones con barrena sacanúcleos en el tope de los dos sectores de yacimiento I y III del yacimiento de caliza de El Calichal. Sin embargo dificultades técnicas constantes con la perforadora puesta a disposición por CIG hicieron que se parase el programa de perforaciones ya en la primera perforación, después de haber alcanzado una profundidad final de 48,50 m y después de esfuerzos en vano para aumentar la explotación máxima de núcleo alcanzada hasta entonces de 20 - 25 %.

Para obtener valores más o menos representativos de la composición química promedia de la secuencia de caliza, apesar de este rendimiento de núcleo absolutamente insuficiente para la evaluación minera, se recogieron de los locales apropiados con condiciones de afloramiento favorables series de muestras cavadas por sobre toco el corte de perfil.

La toma de muestras se hizo en dos filas de perfil cada una con 9, respectivamente 10, muestras de mezcla, compuestas cada vez por 450 - 500 muestras cavadas singulares. En relación con el espesor total de la secuencia de caliza en el sector de yacimiento I, donde se sacaron las muestras, esto corresponde en cada muestra de mezcla a una densidad de las muestras singulares de 5 - 6 muestras por metro de parte de estrato.

En el anexo 9 se puede ver la posición de los dos perfiles de muestras de mezclas, a y b.

La buena concordancia de los valores de CaCO_3 de todas las muestras de mezcla de las dos filas de perfil demuestra que la toma de muestras de mezcla forneció valores seguros para la composición química promedia de los perfiles de caliza en causa (comp, tab. 3).

Tabla 3: Resultados de las Determinaciones de CaCO₃ con Muestras de Mezcla del Yacimientos de Caliza Cerro El Calichal en Aldea El Zapote

Perfil de Muestras de Mezcla a Muestra n°	Contenido de CaCO ₃ (en peso %)	Perfil de Muestras de Mezcla b Muestra n°	Contenido de CaCO ₃ (en peso %)
We 539/1	96,1	We 540/1	97,1
We 539/2	97,0	We 540/2	97,0
We 539/3	91,6	We 540/3	96,5
We 539/4	95,3	We 540/4	96,9
We 539/5	95,5	We 540/5	97,0
We 539/6	96,2	We 540/6	97,3
We 539/7	96,4	We 540/7	96,5
We 539/8	93,7	We 540/8	96,7
We 539/9	94,7	We 540/9	96,3
		We 540/10	96,8

Del total de 19 muestras 16 tienen contenidos de CaCO₃ entre 95,3 % y 97,3 %. Los contenidos de las restantes tres muestras son entre 91 % y 95 % CaCO₃. También los otros resultados de los análisis químicos de ambas series de muestras indican una concordancia extraordinaria, como lo prueba la siguiente tabla.

	Perfil de Muestras de Mezcla a Serie de Muestras We 539/1-9	Perfil de Muestras de Mezcla b Serie de Muestras We 540/1-10
CaCO ₃	95,4 %	96,6 %
CaO	53,70 %	54,02 %
SiO ₂	2,92 %	2,16 %
Al ₂ O ₃	0,27 %	0,26 %
Fe ₂ O ₃	0,41 %	0,17 %
MgO	<u>vestigios</u>	<u>vestigios</u>
pérdida por calcinación	42,42 %	42,96 %

Con base en la composición petrográficamente uniforme de la "secuencia de caliza" en toda la zona de investigaciones, se puede deducir que la composición química del yacimiento de caliza de Aldea El Zapote es constante.

Según los datos de análisis antes presentados la caliza de Aldea El Zapote es una piedra en bruto especialmente rica, que entre otras cosas es también muy apropiada para la producción de cal cáustica.

Para ser usadas como materia prima de cemento estas rocas con una norma de cal de 613 (We 539) y 863 (We 540) respectivamente, necesitan una gran adición de componentes de corrección ricos en tierra arcillosa y ácido silícico.

En las cercanías de Aldea El Zapote existen componentes de corrección apropiados en cantidades suficientes; se suponen condiciones especialmente propicias para la adquisición de los materiales de corrección necesarios en los estratos del techo de la "secuencia de caliza". Los red beds con un espesor aproximado de 220 m sobre la "secuencia de caliza" contienen tanto conglomerados de cuarzo y areniscas, como secuencias de estratos espesas arcillosas-limolíticas, o sea, ricas en tierra arcillosa.

Dos muestras de canal extraídas en los flancos de la quebrada El Caliche, al nordeste de los yacimientos de caliza (ver anex.7), de 8 m y 15 m de largo respectivamente en los estratos arcillosos-limolíticos de estos "red beds", presentaron los siguientes resultados de análisis:

	Muestra n° We 545	Muestra n° We 546
CaCO ₃	2,60	2,20
SiO ₂	58,96	65,20
Al ₂ O ₃	15,66	17,31
Fe ₂ O ₃	7,80	6,33
CaO	1,21	1,11
MgO	2,37	0,80
pérdida por calcinación	9,63	4,60

Este material es indicado como componente de corrección.

2.5.1.4.3. Cálculo de las Reservas Explotables

La capa de escombros en la zona de los afloramientos de caliza en la región de Aldea El Zapote es tan delgada que puede ser ignorada en los cálculos de reservas.

Pérdidas técnicas de explotación que son de esperar con una dimensión de 20 - 25 % se tuvieron debidamente en cuenta al calcular las reservas explotables usando un factor de conversión 2 t/m³ (en vez de 2,5 hasta 2,7 t/m³). No se tuvieron en cuenta en los cálculos para el yacimiento del cerro El Calichal las partes básicas de los sectores de yacimiento II y IV, que se presentan como mármoles con un espesor de hasta 25 - 30 m en el flanco sur de estos sectores. Estas partes del yacimiento El Calichal, descritas en la tercera parte de este reporte como "yacimientos" de mármol El Zapote 3 y 4, están más en causa como utilizables en la industria de piedras de ornamento que como materia prima de cemento.

Se comprobaron un total de piedras en bruto de aproximadamente 28 millones de toneladas para el yacimiento de caliza del cerro El Calichal y de aproximadamente 36 millones de toneladas para el yacimiento de la loma El Camarón.

Estas reservas serian bastantes para una producción durante 100 - 110 años, con una capacidad anual planeada para la primera fase de desarrollo de la nueva fábrica de aproximadamente 350 000 t clinker.

Aún considerando una producción anual ascendiente de 500 000 t de clinker el abastecimiento con materias primas del nuevo local de producción estaría así asegurado por 80 años.

Si alguna vez estas reservas se acabarán, entonces estarían a disposición más reservas con por lo menos la misma amplitud, en la prolongación norte del afloramiento de la secuencia de caliza, que se extiende desde la loma El Camarón por 1,5 km hasta el Río San Miguel, y en el afloramiento de la secuencia de marga calcárea, situado aproximadamente 200 m por encima.

2.5.2. Apreciación Final sobre la Idoneidad de Aldea El Zapote como Localidad para una Nueva Fábrica de Cemento

Después de haberse comprobado cantidades suficientes con calidad apropiada de materias primas de cemento, hay que observar los siguientes aspectos, a tener en cuenta al esoger la localización.

- Posición de la fábrica planeada con la red de tráfico y el mercado

Actualmente la Aldea El Zapote está ligada a Metapan por 13 km de carretera de tierra transitable durante todo el año por camiones. Para 1974 está planeado pavimentar esta carretera en la sección Metapan-Tahuilapa y desde allí construir una carretera pavimentada de comunicación por Santa Rosa Guachipilin y Nueva Concepción con la Carretera Troncal del Norte (San Salvador - La Palma - Frontera con Honduras). Si se escogiese como localidad para la fábrica planeada el área plana de aproximadamente 5 ha, a la orilla de la quebrada El Caliche, en la zona de las coordenadas r, ⁴57800 - ⁴58000/h. ³51700 - ³51900 (TK 1 : 50 000, hoja Masahuat), entonces con una carretera de empalme de apenas 1 km se podría alcanzar la nueva fábrica desde la carretera de cominucación.

La posición de esta planta industrial en relación con la red de tráfico y con el mercado es de considerar como favorable porque la distancia a la capital queda acortada (menos 15 km que la comunicación presente El Ronco - San Salvador) y es ésta la que insume la mayor parte del consumo de cemento actual, y por la comunicación de tráfico directa con la región del norte del país.

Bajo la condición que el intercambio de mercancías con Honduras se normalizase, el acortamiento considerable del camino hasta la frontera con Honduras podría además posibilitar una mayor exportación de cemento al país vecino.

- Situación de Tráfico Interna de las Localidades de Explotación entre Si y en Relación con la Fabrica que Ha de Ser Construída

La localidad propuesta para la nueva fábrica en la zona de las coordenadas antes indicadas se halla a 1600 m a SW de los yacimientos de caliza investigados. Por una carretera de empalme, que sigue el curso de la quebrada El Caliche, se podrían alcanzar ambos yacimientos desde la fábrica, a saber, Cerro El Calichal desde el norte y Loma El Camarón desde el sur y suroeste. En la proximidad inmediata de las localidades de explotación se podrían erigir instalaciones de trituración comunes para ambos yacimientos, desde las cuales cintas transportadoras aportarían el material triturado a la fábrica.

También los yacimientos de los componentes de corrección, necesarios para la transformación de las calizas de Aldea El Zapote, en la quebrada El Caliche, respectivamente en el techo de la secuencia de caliza pueden ser alcanzadas por la carretera de empalme que sale de la fábrica.

- Buen Aprovechamiento de Agua

Según el concepto de la CESSA la nueva fábrica de cemento, planeada con una capacidad de producción de 1000 t de clinker, debería funcionar con el procedimiento por vía seca.

Las cantidades de agua, relativamente pequeñas, necesarias para el funcionamiento de una tal fábrica, podrían ser extraídas en su mayor parte de la quebrada El Caliche, que conduce agua durante todo el año. Allí se comprobó en el 8 de Marzo de 1972, o sea en la segunda mitad de la temporada seca, todavía una cantidad de desagüe de aproximadamente 20 l/sec (aproximadamente 1,2 m³/min).

Si alguna vez el agua de la quebrada El Caliche en la temporada seca no fuera bastante, así hay en todos los casos suficiente cantidad de agua a disposición en el Río Tahuilapa, a aproximadamente 800 m del sitio propuesto para la fábrica.

En vista de las investigaciones presentes resumiendo se puede afirmar que la reglón de Aldea El Zapote ofrece condiciones favorables para la construcción de la nueva fábrica de cemento.

3. Calizas para Producción de Cal Cáustica

Calizas muy apropiadas para la producción de cal cáustica con contenidos de $\text{CaCO}_3 > 90 \%$ existen en grandes cantidades en los alrededores de Metapan, como quedo demostrado en los capítulos anteriores. Las numerosas industrias pequeñas que ahora producen aquí cal cáustica, usan materia prima predominantemente de yacimientos de la "secuencia de caliza" inferior, que generalmente está formada por caliza firme en capas espesas.

La mayoría de las canteras son pequeñas, y el lugar cambia a la mínima dificultad de explotación. Las piedras son trituradas a mano. Apenas los pedazos con un diámetro mayor entre 10 y 50 cm son usados para calcinar la cal. El material idóneo es transportado con carros de bueyes o mulos, muy raramente con camiones, hasta los hornos. Se diferencia tres tipos de caliza:

- a) "cal blanca" (como piedra en bruto gris azulado, denso)
- b) "cal amarilla" (piedras en bruto de capa de meteorización)
- c) "cal negra" (piedras en bruto con muchas inclusiones silíceas)

Para calcinar se usa solamente la "cal blanca", los otros pedazos son tirados por impropios, o ya en la cantera o entonces más tarde junto al horno de cal.

Los hornos de cal se componen de una parte inferior cilíndrica, generalmente enterrada en la cuesta, que en el caso normal es revestida con piedras toscas o con ladrilloso. Delante hay una abertura mayor para introducir la madera usada para quemar. En la parte revestida se hace con los pedazos grandes de caliza una bóveda, que en el centro tiene una distancia de aproximadamente 2,5 m del suelo. Sobre esta bóveda se amontonan entonces más pedazos de caliza, hasta que un montón más o menos semiesférico, con aproximadamente 1-2 metros de altura, se sobre-

pone a la parte inferior cilíndrica. Los pedazos en las capas exteriores tienen todavía un diámetro mayor de aproximadamente 10 cm. La incorporación de los pedazos de caliza tarda más o menos 3 - 4 días. Después se enciende la madera debajo de la parte amontonada. La caliza tiene que ser quemada durante 3 - 4 días, hasta que también los pedazos exteriores se vuelven blancos, y así están calcinados por completo. En vista de que el tamaño de los pedazos disminuye de dentro para fuera todo el material está calcinado regularmente, y solamente en la capa exterior observamos pedazos que no estaban completamente calcinados. La bóveda que se soporta a si misma se mantiene generalmente bastante bien. Después de apagado el fuego el horno tiene que enfriar durante 3 - 4 días, después la cal terminada puede ser retirada del horno también en 3 - 4 días. Se procura sobre todo cal en pedazos, para la cual se obtienen precios más altos. Por eso ocasionalmente se tira el material fino resultante.

Un maestro de horno atiende, en el caso normal, dos hornos, mientras el primero se enfria se incorpora el material en el segundo, etcétera.

En la región de Metapan deben existir entre 100 a 250 hornos de cal. Según todas las informaciones su número aumentó en los últimos años. Los hornos varían en su capacidad entre aproximadamente 3 t y 10 t de cal cáustica por mes; se puede calcular un promedio de unas 4 t/mes. Según eso la producción de cal cáustica de El Salvador importa por lo menos en 5 000 t/a y no debe sobrepasar las 12 000 t/a.

La demanda de cal de construcción está aumentando según las informaciones que hemos obtenido. Por 95 kg de cal cáustica se cobran hoy en día un promedio de 2,5 ¢ (= apr. 3,25 DM). El material, especialmente la cal fina, es "estirada" en parte con aditivos extraños blancos (? tobas, pómez ?). Es de suponer que en esto sean fabricadas puzolanas de cal, inconscientemente.

Por círculos de la industria nacional supimos que algunos grupos piensan empezar una producción industrial de cal. Según nuestra opinión, y a la vista de los precios presentes de venta,

habría que revisar otra vez la rentabilidad de una tal fábrica. Pero existen otras posibilidades de mercado si se produjera industrialmente puzolanas de cal y se vendiera cal de abono.

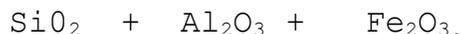
Por las causas expuestas sería de comprobar en breve, si no será de interés económico la construcción de una fábrica de cal.

4. Materias Primas de Puzolana

Puzolanas - ya conocidas en la Antigüedad como aglutinante - son sustancias ricas en ácido silícico o ricas en ácido silícico y en aluminio, las cuales, cuando en forma pulverizada y con temperaturas normales y existencia de agua, reaccionan químicamente con hidróxido de calcio, desarrollando entonces calidades de cemento.

Materias primas de puzolana provienen de una gran variedad de rocas de diferente composición mineralógica y origen. La condición previa para su idoneidad es la existencia de un porcentaje mayor hasta predominante de componentes puzolanactivos como vidrio volcánico, ópalo, minerales arcillosos (sobre todo caolinita, montmorillonita, illita), zeolitas u oxihidratos de aluminio. Parcialmente una activación solo puede ser alcanzada através de calcinación.

Según las exigencias del U.S. Bureau of Reclamation una materia prima de puzolana no debe contener menos de 75 % de



Las exigencias mínimas para el contenido puzolanactivo es de 50 % Sin embargo la experiencia ha probado que también materiales con 50 - 70 % de componentes activos todavía se encuentran en el límite de la idoneidad,

Las puzolanas son empleadas presentemente cada vez más en la industria de construcción, entre otras cosas en la producción de tuberías, piedras y elementos pre-fabricados de hormigón ligero, en construcciones de hormigón expuestas a aguas agresivas, en la cementación de perforaciones de petróleo, etcétera.

En esto se substituye un cierto porcentaje, variante según el caso, de cemento Portland por puzolanas.

Se usa el cemento de puzolana sobre todo en grandes construcciones, especialmente construcciones de puentes y de diques donde sus ventajas se hacen notar por completo,

- reducción considerable del precio por substitución de hasta 30 % de cemento Portland, generalmente bastante más caro,
- reducción de las temperaturas de fraguado,
- reducción de la permeabilidad del hormigón y de la concentración alcalina, así como
- mejoramiento de la resistencia a la corrosión,

sin que sus desventajas principales (tarda más en solidificarse, mayor sensibilidad a la helada) tengan efectos considerables.

Hasta ahora no hay en Centro-América un productor de cemento de puzolana, según nuestras informaciones. En vista de este vacío en el mercado y atendiendo a diversos planos de grandes construcciones (entre otras la represa Cerrón Grande, el gran aeropuerto de San Salvador, ampliación de los puertos Acajutla y La Unión) es comprensible que la industria de cemento de El Salvador esté interesada en aumentar la gama de producción hacia el sector de cemento de puzolana.

De parte de la CESSA se hizo a la MGAES en la primavera de 1972 el pedido para investigar las cercanías de la fábrica de cemento existente en Metapan, en busca de yacimientos de materias primas potenciales de puzolana.

Por causa de otros trabajos, entre los cuales se contaba asegurar el abastecimiento de materias primas para la producción de cemento Portland de la CESSA, y porque las investigaciones necesarias para comprobar la idoneidad de materias primas de puzolana son extremadamente complicadas y caras, solo se le concedió a estas materias primas una prioridad subordinada dentro del programa de trabajos de la MGAES.

En lo substancial las investigaciones se limitaron a tomas objetivas de algunas muestras de canal y la determinación de su composición química. Los resultados de los análisis hechos por

la CESSA están compilados en la siguiente tabla.

	<u>Prueba</u> <u>We 542</u>	<u>Prueba</u> <u>We 543</u>	<u>Prueba</u> <u>We 545</u>	<u>Prueba</u> <u>We 546</u>	<u>Prueba</u> <u>We 547</u>
CaCO ₃	3.80 %	2.0 %	2.60 %	2.2 %	1.8 %
SiO ₂	61.00 %	71.36 %	58.96 %	65.20 %	71.96 %
Al ₂ O ₃	13.95 %	11.30 %	15.66 %	17.31 %	14.19 %
Fe ₂ O ₃	4.11 %	0.74 %	7.80 %	6.33 %	0.41 %
CaO	3.82 %	1.21 %	1.21 %	1.11 %	2.41 %
MgO	0.50 %	0.62 %	2.37 %	0.80 %	0.29 %
pérdida por calcinación	10.21 %	12.94 %	9.63 %	4.60 %	3.78 %

La elección de los yacimientos, de los cuales serían extraídas muestras, se hizo según los siguientes criterios:

- distancia tan corta cuanto posible del lugar de producción,
- situación de tráfico favorable,
- existencia de suficientes cantidades de piedra en bruto,
- materias primas con grano fino y poco solidificadas,
- poca carga de escombros.

Puesto que la producción de cemento de puzolana exige un material en bruto homogéneo, muy regular en sus composiciones químicas y mineralógicas, hubo que tener en cuenta una formación uniforme del yacimiento en la vertical y en la horizontal, tanto cuanto las observaciones en el terreno lo autorizan.

Aunque, considerando los criterios antes mencionados, hay pocas posibilidades de encontrar en el área de Metapan yacimientos de materias primas de puzolana de alta calidad, explotables económicamente, los resultados de las primeras investigaciones de orientación - no de aplicación específica - permiten ciertas esperanzas. Las esperanzas se concentran sobretodo en los sedimentos lacustres de granulación fina, blancos, que rellenan las partes inferiores de la cuenca de Metapan. Estos estratos se componen predominantemente de los granos finísimos de erupciones volcánicas ácidas, en parte retransportados, más o menos transformados diagenéticamente, ricas en vidrio volcánico, y también, en porciones menores, de los esqueletos de

ácido silícico de diatomeas.

Al sur de Metapan se pueden observar estos sedimentos en cortes de talud de la carretera para Santa Ana. En la región de Tahuilapa, a aproximadamente 8 km al sureste de Metapan, se presentan con un espesor especialmente grande y petrográficamente bastante uniformes.

Las muestras de canal (channel samples) We 542 y We 543, sacadas de los sitios distintos en los alrededores de Tahuilapa (comp. anex. 1), satisfacen las exigencias mínimas de la composición química de materias primas de puzolana con 79 y 83 % respectivamente de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ y 0,5 - 0,6 % MgO .

Como se comprobó en las investigaciones de las muestras de ambos sitios, ejecutadas en los laboratorios del Servicio Geológico de la República Federal de Alemania, estos sedimentos se componen substancialmente de partículas de vidrio volcánico ácido, de montmorillonitas alcalinotérreas (la fracción $< 20 \mu$ consiste en parte casi monomineralicamente de montmorillonitas de Ca-Mg) y de fragmentos de los esqueletos de ópalo de diatomeas. Esta composición hace esperar la existencia de suficientes cantidades de componentes puzolanactivos. Una apreciación definitiva sobre la actividad puzolánica y la idoneidad tecnológica de estas rocas en bruto no es posible sin más investigaciones, que tienen que ser realizadas en parte en laboratorios especiales. Además de los sedimentos de cuenca plio-pleistocenos de Metapan se extrayeron muestras de las tobas cristalizadas riódacíticas del tipo "Ostua" al noroeste de la fábrica de cemento (We 547) y de las piedras arcillosas de los red beds de los estratos Todos Santos cerca de la Aldea El Zapote (We 545 > We 546). También estas rocas satisfacen las exigencias mínimas para la composición química de materias primas de puzolana con 82 - 86 % de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ así como 0,3 - 2,4 % de MgO . Sin embargo, sin investigaciones correspondientes no se pueden hacer hasta ahora previsiones sobre la actividad puzolánica de estos materiales. Las tobas cristalizadas de Ostua necesitarían, en caso de utilización, trituración adicional a

causa de su dureza. En el presente estado de las investigaciones hay que considerar estos dos materiales como desfavorables, por las causas expuestas, en relación a los sedimentos con diatomeas de cuenca, cuanto a su importancia como posibles materias primas de puzolanas (más gastos de trituración, situación de tráfico parcialmente desfavorable en relación a la fábrica de cemento).

Una continuación de los trabajos en el sector de las materias primas de puzolana en la región de Metapan se deberla por eso concentrar primero en los sedimentos lacustres. Después de una toma de muestras sistemática y de investigaciones mineralógico-petrográfleas, químicas y de análisis granulométricos, se deben realizar sobretodo ensayos de aplicación técnica y de la tecnología del hormigón para comprobar la idoneidad tecnológica de este material.

Apenas después de haber sido probada la idoneidad de un material para la producción de cemento de puzolana con las calidades requeridas por el productor, se pueden seguir investigaciones detalladas minero-geológicas para determinar la expansión y el espesor del yacimiento de materia prima de idoneidad óptima y de sus reservas explotables.

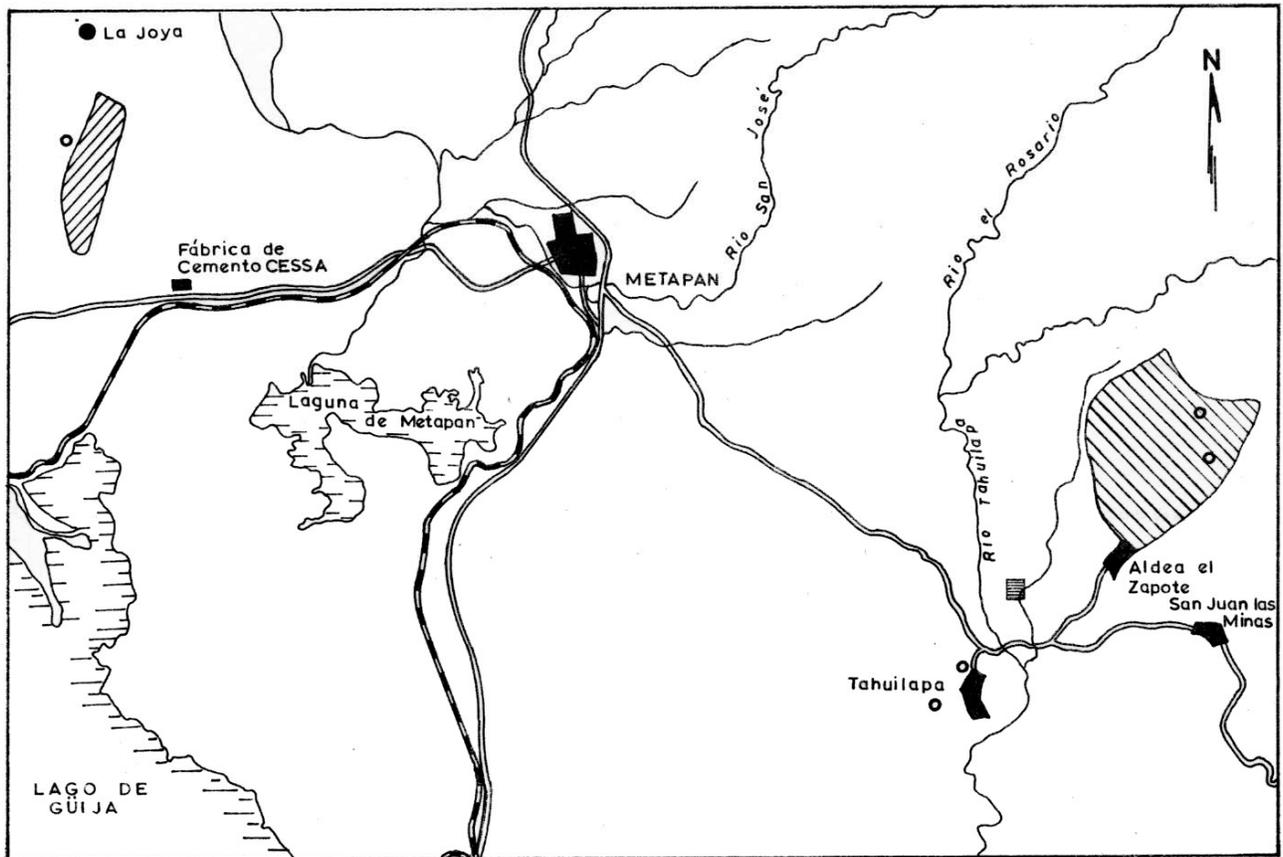
BUNDESANSTALT FÜR BODENFORSCHUNG
Hannover, Diciembre 1973



(Dr. Volker Stein)



(Dr. H.S. Weber)



Zona de mapeo geológico detallado. 1:5.000



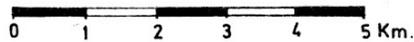
Zona de mapeo geológico detallado, 1:10.000



Fábrica de Cemento proyectada



Sitio de muestreo de supuestas materias primas para cemento puzolánico



CENTRO DE INVESTIGACIONES GEOTECNICAS

MISION GEOLOGICA ALEMANA EN EL SALVADOR

Mapa Indice de la Zona de Metapán
(Depto. Santa Ana) Esc. 1:100,000

CENTRO DE INVESTIGACIONES GEOTECNICAS			
MISION GEOLOGICA ALEMANA EN EL SALVADOR			
Mapa geológico de la quebrada "El Chile" al Noroeste de la planta El Ronco de CESSA Zona de Metapan (Depto. Santa Ana)			
Anexo 2	Autor: H.S.Weber	Dib: C.A. Jiménez	Fecha: Mar. 72



Escala
1 : 10 000

LEYENDA

-  Tobas blancas - Tipo Ostua
-  Calizas margosas (capa caliza superior)
-  Conglomerados de cuarzo, areniscas y arcillas mezclados con material volcánico (Red beds)
-  Calizas compactas con bolas y capas delgadas de sílice ("chert") intercaladas / Calizas silificadas, no indicadas para la producción de cemento (capa caliza inferior)
-  Sedimentos, lavas y pyroclasticas metamorficos (silificación, epidotización)
-  Contacto geológico
-  Símbolo de la dirección y del buzamiento de las capas
-  Falla
-  Pedrera
-  Línea de perforaciones CESSA

