

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

EFFECTOS AMBIENTALES

EN LAS CANTERAS

1994

338.2
C749d
E.1

PROPIEDAD
Sección Documentación
y Divulgación
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA



653

EFFECTOS AMBIENTALES EN LAS CANTERAS

Sísmica

Ruido

Emisiones atmosféricas



PROAGREGADOS

Santiago de Cali
1. 9. 9. 4

Preprensa y armada electrónica
Editorial XYZ
Impresión
XYZ Impresores

PRESENTACION

La recuperación de los recursos naturales renovables es obligación de todos, absolutamente de todos.

Nadie está excluido, por ningún motivo, de la obligación de hacer el aporte que le corresponde en defensa de la naturaleza.

Para cumplir con esta obligación universal es necesario asumir una conducta de minimización de daños al ambiente, en la medida en que intervengamos en el desarrollo, que sea más por vocación que por imposición.

PROAGREGADOS consciente de este planteamiento se anticipa, como asociación de Industriales, a ordenar estos estudios sobre el medio ambiente y concretamente sobre la sismicidad inducida de las detonaciones, el ruido producido por las mismas detonaciones y el funcionamiento de las trituradoras y estudio sobre las emisiones atmosféricas, para conocer con mediciones la posición real actual y así poder definir y ejecutar soluciones de mejoramiento.

PROAGREGADOS al presentar estos estudios a consideración de las autoridades ecológicas lo hace como un aporte a la minimización de los efectos contra el medio ambiente y los recursos naturales para que sean revisados, ajustados y acondicionados con nuevos estudios o con el monitoreo de los mismos.

Esto es ecología.

PRODUCTORES DE AGREGADOS MINERALES

PROAGREGADOS

LISANDRO FRANKY ALZATE

Presidente



PROAGREGADOS

1. INTRODUCCION

La Asociación de "Productores de Agregados Minerales para Concretos y Pavimentos" -PROAGREGADOS- cuyos afiliados desarrollan su actividad industrial en los municipios de Cali y Yumbo, en el deseo de tener información y mediciones reales y seguras sobre la incidencia inducida en el medio ambiente por su actividad minera, decidió adelantar investigaciones para determinar con certeza cuáles eran sus niveles de emisión de polvo, ruido y sismicidad. Con informaciones técnicamente obtenidas, sin errores o apreciaciones subjetivas, para poder tomar las medidas necesarias para minimizar la acción que sobre la ecología o el medio ambiente causa su actividad, igual que toda acción humana.

Para ello contrató, con la dirección general de quienes suscribimos este documento, la ejecución por reconocidos expertos en cada uno de los siguientes temas:

- I. Estudio de Sísmica Inducida por las explosiones en las canteras asociadas a PROAGREGADOS.
- II. Estudio de ruido en las canteras asociadas a PROAGREGADOS.
- III. Estudio de emisiones atmosféricas en las canteras asociadas a PROAGREGADOS.

PROAGREGADOS

RESUMEN EJECUTIVO

DE

EFFECTOS AMBIENTALES EN LAS CANTERAS

Sismicidad - Ruido - Emisiones atmosféricas



PROAGREGADOS

Cali - 1994



2. EMPRESAS ESTUDIADAS

Se estudiaron las siguientes empresas:

NOMBRE	DIRECCION
AGREGADOS Y MEZCLAS CACHIBI S.A.	Kilómetro 4, vía Cali-Yumbo. Yumbo.
INDUSTRIAS DE CONCRETOS "INDUCON"	Kilómetro 6 de la antigua vía Cali - Yumbo (Menga) - Yumbo.
TRITURADORA EL DIAMANTE LTDA.	Zona del Bajo Aguacatal - Cali.
TRITURADOS EL CHOCHO & CIA. LTDA.	Zona El Aguacatal Cali.
TRITURADORA SARATOGA LTDA.	Kilómetro 8 de la vía al mar - Cali.
ROCALES EL AGUACATAL LTDA.	Zona baja del Aguacatal - Cali.

Las mediciones tomadas en las distintas empresas se compararon con los valores que fijan las disposiciones para el ejercicio de tales actividades y sus resultados, detallados en los respectivos documentos, se resumen aquí.

3. EFECTOS SISMICOS

3.1. OBJETIVOS

El objetivo principal de los estudios fue el medir la magnitud de los sismos inducidos en las diferentes canteras por la detonación de los agentes de voladura y su influencia sobre las construcciones y personas en las zonas vecinas.

Igualmente se analizó la mejor utilización de los agentes de voladura.

3.2. METODOLOGIA

Con el instrumental adecuado se adelantó la medición de las magnitudes y demás características de los sismos inducidos por la detonación de los agentes de voladura en las diferentes empresas asociadas.

Con estos datos y el reconocimiento geológico de la zona se dedujeron los efectos ocasionados.

El análisis se complementó con visitas y observaciones en las viviendas y zonas próximas a los sitios de trabajo.

También se tuvo en cuenta la información técnica ya existente y se revisó la bibliografía sobre ingeniería sísmica en cuanto al uso y manejo de los múltiples tipos de agentes de voladura que se ofrecen en el mercado internacional de elementos para minería, en Colombia limitados a los que comercializa la industria militar.



3.3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Se deben distinguir dos tipos de ondas en los efectos causados por una detonación:

1. Ondas sísmicas que producen movimientos en la tierra.
2. Ondas sónicas que producen ruido y vibración en el aire.

En el caso de las trituradoras, el primer efecto, o sea el propiamente sísmico, es totalmente despreciable dado que la magnitud de la aceleración producida y la energía liberada son tan pequeñas y puntuales que no pueden ocasionar daños en las construcciones.

Se debe tener en cuenta que Cali, por su posición geográfica, es una zona de posible alta frecuencia de eventos sísmicos y que el Código Colombiano para la Construcción Sismo-Resistente (C.C.C.S.R.) determina que las estructuras deben tener capacidad para resistir una aceleración de $A_a=0.25g$, o sea, 245 cm/seg^2 para cubrir, y observar con una seguridad razonable que no destruirá la energía liberada en forma de ondas por cualquier sismo que se presente en el occidente colombiano.

Los valores de la aceleración, obtenidos por las mediciones directas realizadas en el estudio, llegan a 0.392 cm/seg^2 , es decir, una aceleración sísmica seiscientos (600) veces menor que la aceleración mínima que deben resistir las construcciones según el Código Colombiano para la Construcción Sismo Resistente (C.C.C.R.S.), luego, la onda sísmica producida por la detonación de los agentes de voladura en las canteras es prácticamente despreciable.

También se encontró que el tipo de ondas sísmicas producidas en el laboreo de las canteras sufre una amortiguación significativa dadas las características geológicas del macizo rocoso que rodea la ciudad.

El efecto sísmico producido por las ondas de baja frecuencia, las de mayor influencia sobre las construcciones, sin una adecuada cimentación para el terreno en que están levantadas, y originadas por el tráfico vehicular pesado y frecuente es mayor que el inducido por los agentes de voladura usados en la minería de diabasas para producir agregados para la construcción.

El otro tipo de ondas, las sónicas, produce diversas reacciones según las personas que las escuchan y por consiguiente la apreciación es siempre altamente subjetiva.

En algunas canteras el ruido es amortiguado por la dirección del frente de la onda cuando no se enfoca hacia zonas pobladas, mientras que en otras, las detonaciones se escuchan más.



Otros efectos que se presentan durante las detonaciones son la caída ocasional de pedruscos sobre vías o negocios vecinos. La contaminación atmosférica por el polvo y los gases de las voladuras es otro de los posibles efectos derivados del trabajo en las canteras.

El primero, o sea la caída de fragmentos fuera de los linderos de la cantera, es objetable, pero se está controlando con el uso de la tecnología e implementos apropiados.

El segundo, o sea la contaminación atmosférica, se analiza en otra parte de los estudios. Su magnitud en términos generales no resulta después de las mediciones tan significativas como la labor mecánica de la trituración, ya que las quemas son eventos puntuales.

3.4. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

Dada la extensión de la zona de canteras en la ciudad, lo lógico hubiera sido adelantar más observaciones, pero los resultados tan evidentes indican que no hay méritos para hacer estudios más a fondo de los fenómenos sísmicos inducidos por esa actividad minera.

Se pueden hacer otros estudios complementarios para obtener otras informaciones de importancia para la industria de la construcción: determinación de factores de riesgo, sitios, fallas geológicas, etc.

Las magnitudes obtenidas de los efectos sísmicos en el presente estudio no dejan lugar a dudas sobre la insignificante influencia que la actividad minera puede ejercer, con sus agentes de voladura, sobre las construcciones en cercanía de sus canteras.

Se deben hacer más estudios relativos a una mejor utilización de los agentes de voladura, con miras a disminuir el efecto sónico. Igualmente estudiar el mejoramiento de la eficiencia en su uso.

Las viviendas mal construidas, en zonas de altas pendientes, están expuestas a derrumbes, deslizamientos y otros peligros, así como el daño ambiental de contaminación que producen sus basuras y aguas residuales inadecuadamente manejadas. Estas viviendas abundan en las zonas cercanas a las canteras, lo cual es un índice del mal uso del suelo e indica la facilidad con que se violan las normas del Municipio sobre urbanismo.

Las trituradoras se localizaron mucho antes que cualquiera de los asentamientos vecinos.

Proagregados debe tomar nota de este problema para sus relaciones con la comunidad y tratar de concertar políticas con las autoridades tendientes a minimizarlo, ya que la población asocia, equivocadamente, los daños que se presentan en las viviendas por otras



causas con las actividades mineras adelantadas por las empresas estudiadas.

4. EFECTOS SONICOS

4.1. OBJETIVOS

El objeto del estudio fue adelantar mediciones tendientes a determinar los niveles de ruido y compararlos con las normas nacionales e internacionales aplicables a actividades similares.

Igualmente se aclaró cuáles eran esas normas y su aplicabilidad en nuestro medio.

4.2. METODOLOGIA

Se practicó un diagnóstico sobre el terreno, estableciendo para cada empresa la fuente emisora de ruido; seleccionando los puntos y frecuencias para su muestreo para luego efectuar las mediciones de campo. Se analizaron dos tipos de sonidos: los continuos y los intermitentes o de impacto.

Los ruidos continuos son producidos por los equipos de perforación, transporte y trituración.

Los ruidos de impacto son los producidos por las detonaciones de los agentes de voladura utilizados en la actividad minera.

Los ruidos continuos medidos se compararon con las normas establecidas en la Resolución 08321 de 1983 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, reglamentaria de la Ley 09 de 1979.

Estas normas permiten en zonas industriales niveles de ruido hasta de 75 decibelios.

Se encontró que dentro de los predios de las empresas este nivel se sobrepasa, pero fuera de su perímetro los niveles de ruido son normales, salvo aquellos casos en donde los equipos están instalados precisamente en dicho perímetro.

4.3. TABLA DE RUIDO

Para tener una apreciación estimativa de los ruidos se muestran, en la tabla siguiente, algunos de los más conocidos, con indicación de su intensidad en decibelios y el efecto que pueden producir.

Aunque en zonas industriales las normas permiten niveles de ruido hasta de 75 decibelios, un ruido de 85 decibelios es tolerable. Aquel de 100 decibelios o más ya es molesto y perjudicial. Sin embargo, los efectos del ruido no sólo son función de su intensidad (decibelios) sino también del tiempo de duración.

En cuanto a los sectores poblados próximos a las trituradoras, el muestreo indica que dichas áreas son bastante ruidosas puesto que los niveles de ruido

TABLA DE RUIDO		
DECIBELIOS	ACTIVIDAD	EFECTO
160	Explosión con dinamita. Lanzamiento de cohetes espaciales.	Tope laboral, uso de casco.
130	Martillo neumático, concierto de rock, motos, jets, etc.	Daño después de 15 minutos. Requiere equipo protector.
115	Bocina de camión a 1 m; discoteca	Peligroso después de 15 minutos.
100	Tormenta, obras a menos de 15 m.	Molesto y perjudicial
85	Compresor, tráfico intenso, camión.	Límite tolerable.
75	Tren a 50 m. Calle animada.	Soportable por algún tiempo.
65	Conversación normal.	Perturbador.
25	Conversación en voz baja.	Silencio en sala de hospital.

están entre 64 y 79 dB, aun en horas nocturnas, cuando las plantas trituradoras no están trabajando y la actividad minera se ha suspendido.

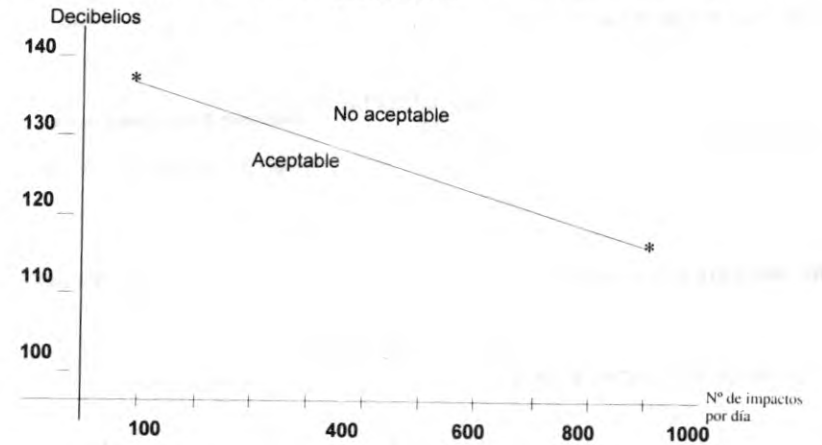
En aquellos lugares próximos a las vías públicas de intenso tráfico vehicular los valores se elevan a cifras entre 83 y 87 dB, lo que indica que es la circulación de automotores la fuente que más ruido produce.

Por otra parte, la vivienda más cercana se encuentra a unos 400 m del equipo de trituración, lo cual permite afirmar que esta actividad minera no tiene un impacto importante de ruido continuo sobre las viviendas vecinas.

En cuanto a los ruidos de impacto ocasionados por las detonaciones de los agentes de voladura, a falta de normas nacionales se comparó con las normas de los Estados Unidos, en donde la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist's) y la OSHA (Occupational Safety and Health Administration) establecen los impactos y niveles máximos permitidos.

De acuerdo con estas entidades, el nivel sónico pico puede ser hasta de 140 dB, con un número máximo de 100 impactos por día. Al disminuir el nivel sónico se pueden aumentar los impactos por día según la siguiente gráfica.

Los niveles de ruido medidos en las empresas objeto de este estudio están entre 100 y 127 dB, lo cual permite un número de más de 1.000 impactos por día,



que ninguna empresa alcanza ya que donde más impactos se producen es en Triturados El Chocho, por ser la trituradora de mayor producción, con unas 200 detonaciones cada tres días en periodos de una hora.

4.4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados de las mediciones y su comparación con las normas y las recomendaciones de expertos indican que el nivel de ruido producido por la actividad de las empresas asociadas a Proagregados está dentro de parámetros admisibles. Las molestias a la comunidad no llegan en ningún caso a límites peligrosos para la salud humana.

En cuanto a la salud ocupacional cada empresa debe tomar medidas de seguridad industrial para proteger el personal que labora en las inmediaciones de los equipos de trituración y martillos neumáticos.

Algunas oficinas son muy ruidosas y es muy fácil instalar aislantes para mejorar la comodidad de los empleados.

4.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Desde el punto de vista del ruido lo que más molesta a terceros son las detonaciones de los agentes de voladura.

Aunque repetimos que todas las empresas están dentro de los límites permitidos, es conveniente mejorar la tecnología del uso de los agentes de voladura, para lo cual se debe buscar la asesoría de expertos. Por ejemplo, se pueden disminuir las cantidades de explosivos e introducir el uso de retardadores, todo lo cual mejora la calidad de la quema y reduce el nivel de ruido.

También se puede analizar el uso de pantallas para algunos casos e incrementar la arborización alrededor de los equipos de trituración, lo cual tiene efecto múltiple.

Dada la influencia de la topografía sobre el efecto sónico que aprecia el hombre, cada empresa debe hacer su propio análisis para buscar la mejor forma de disminuir el impacto sobre las zonas pobladas circunvecinas.

5. CONTAMINACION ATMOSFERICA

5.1. OBJETIVO

El objetivo del estudio fue determinar la calidad de aire, tanto en las diferentes empresas como en las zonas aledañas y comparar los resultados con las normas existentes.

También estudiar, mediante un modelo matemático, la dispersión de la contaminación producida.

Finalmente se adelantan recomendaciones tendientes a disminuir y controlar la contaminación atmosférica.

5.2. METODOLOGIA

Con equipos que había adquirido hace algún tiempo Triturados El Chocho, los cuales fueron sometidos a

reparación, acondicionamiento y calibración, se tomaron las medidas de concentración de contaminantes en el aire en diversos sitios de las canteras estudiadas.

Otras medidas, como dirección de los vientos, se tomaron con equipos apropiados y se utilizaron datos de varias estaciones meteorológicas distribuidas en la capital.

Para el análisis de la dispersión se utilizó un modelo matemático, de diseño de los consultores y cuya aplicación ha sido probada en otros trabajos de este campo.

5.3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados de las mediciones indican que dentro de los respectivos predios y principalmente en las proximidades de los equipos de trituración y clasificación se sobrepasan las cifras permitidas en las normas de calidad de aire. Sin embargo, fuera de los predios el efecto de contaminación ya no es perceptible.

Por otra parte, el estudio señala que la emisión total de partículas es menor que la permitida por las normas nacionales. Por ejemplo, para la Trituradora Saratoga lo permitido sería (Decreto 02 de 1982) 58.7 kg/hora y lo realmente producido se calcula en 12.6 kg/h (21.46%).

5.4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El modelo de dispersión aplicado indica que, aun en las peores condiciones, a más de 600 m del equipo de trituración ya no hay influencia perceptible de la contaminación inducida por las labores de la empresa.

Todos los procesos son susceptibles de mejoramiento para disminución de la contaminación, pero la recomendación más sencilla que puede hacerse e implementarse es la del riego con agua en los diferentes sitios en donde se producen las emisiones.

Una vez instalados y en funcionamiento los diferentes sistemas de riego se deben analizar los resultados, medir concentraciones y proceder a los diseños defi-

nitivos, los cuales pueden llegar a incluir pavimentos, barreras de árboles, confinamiento, y sistemas de extracción con ciclones y filtros de mangas.

Cada trituradora deberá hacer un estudio particular teniendo en cuenta sus propias características.

De acuerdo con los objetivos de Proagregados, los análisis y resultados realizados en esta labor están orientados no para cumplir las normas gubernamentales de calidad o de dispersión, lo cual sería un objetivo muy fácil de cumplir, sino para buscar los medios de contribuir al mejoramiento del medio ambiente en la ciudad. Al mismo tiempo se pueden alcanzar otros objetivos, como calidad del producto ofrecido al consumidor, control de esa calidad y ampliación de las líneas de producción.

Por ejemplo, con la utilización de agua en los procesos de trituración se puede producir arena. Esto constituiría una línea nueva de producción en Cali, similar a lo que está haciendo Ingeniesa en El Cerrito, cerca del río Amaime.

En cuanto al cumplimiento de la normatividad, actualmente se encontró en términos generales que la actividad de las distintas empresas solamente sobrepasaba normas dentro de los terrenos propios de las mismas o sea en las proximidades de los equipos de transporte, trituración y clasificación. También se puede afirmar que el aire en Cali tiene otras fuentes de contaminación distintas de las trituradoras, en niveles muy próximos o superiores a los que indican las normas.

Otros índices analizados, como el de las enfermedades profesionales entre los empleados más antiguos de estas empresas, indican poca o ninguna incidencia de enfermedades respiratorias por causas atribuibles a la actividad minera. Por otra parte, tampoco se encontró silicosis ni ningún otro tipo de enfermedad causada por contaminación atmosférica.

Finalmente debe recordarse que todas las canteras están situadas dentro de la zona determinada para esa actividad por las entidades de Planeación Muni-

pal y por consiguiente las viviendas ubicadas allí, generalmente de invasión, son las que están incumpliendo la normatividad.

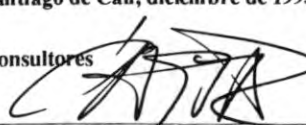
Por todas estas razones, creemos que los productores de Agregados pueden, como una contribución más al mejoramiento de la ciudad, adelantar actividades de control de la contaminación atmosférica general del aire, ya que no superan las normas vigentes.

Debemos concluir que las autoridades municipales deben ser exigentes en que se cumplan en la ciudad las normas sobre ruido permanente que en casi toda ella supera ampliamente los límites máximos fijados.

Como decíamos al principio, en los estudios respectivos aparece documentación que sustenta lo afirmado en este Resumen Ejecutivo.

Santiago de Cali, diciembre de 1993

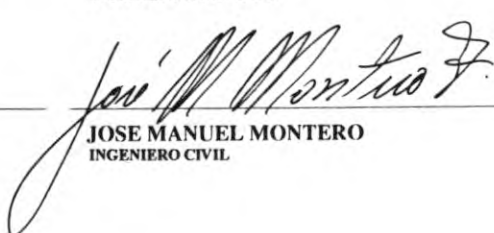
Consultores


CARLOS ALBERTO ACOSTA
GEÓLOGO

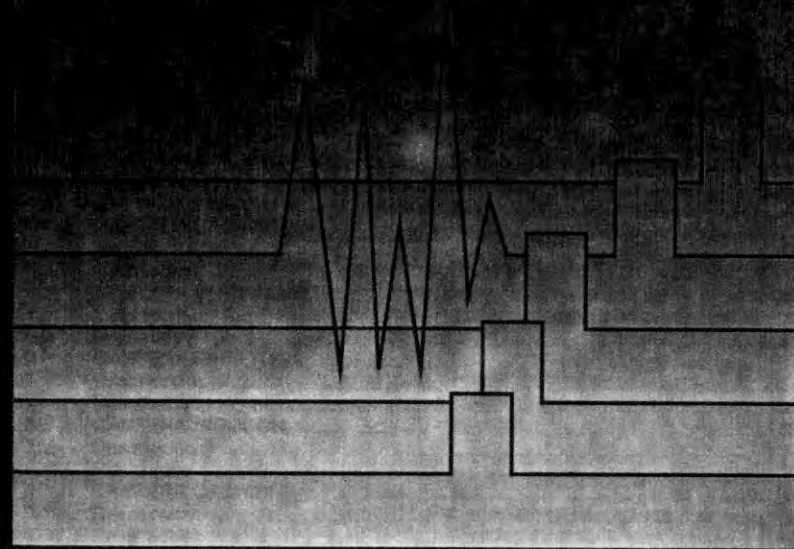

FABIO FRANCO CAJIAO
INGENIERO SANTARIO

Interventores


DANIEL RIZO OTERO
BIOLOGO


JOSE MANUEL MONTERO
INGENIERO CIVIL

Estudio de Sísmica Inducida por las explosiones en las canteras asociadas a PROAGREGADOS



PRODUCTORES DE AGREGADOS MINERALES

I.



CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCION	13
1.1. OBJETIVOS	13
1.2. LOCALIZACION	13
1.3. METODOLOGIA	13
1.4. CONCLUSIONES	14
1.5. RECOMENDACIONES	15
2. GEOLOGIA	15
2.1. ESTRATIGRAFIA	15
2.2. TECTONICA	16
2.2.1. Esquema sismo - tectónico regional	16
2.2.2. Tectónica local	16
3. SISMOLOGIA EN CANTERAS Y ZONAS DE INFLUENCIA	21
3.1. SISTEMA DE EXPLOTACION CON AGENTES DE VOLADURA	21
3.2. ASPECTOS TEORICOS GENERALES	21
3.2.1. Ondas sísmicas	21
3.2.2. Vibración y ruido	22
3.2.3. Características de una construcción	23
3.2.4. Respuesta sísmica del subsuelo e interacción suelo-estructura	23
3.2.5. Calidad de los registros sísmicos	26
3.2.6. Espectros de respuesta y diseño	27
3.3. COEFICIENTES DE ACELERACION PARA COMPARACION	28
3.4. CANTERA ROCALES	29
3.4.1. Descripción	29
3.4.2. Resultados	29
3.5. CANTERA EL CHOCHO	29
3.5.1. Descripción	29
3.5.2. Resultados	33
3.6. CANTERA EL DIAMANTE	33
3.6.1. Descripción	33
3.6.2. Resultados	33
3.7. CANTERA SARATOGA	37
3.7.1. Descripción	37
3.7.2. Resultados	37
3.8. CANTERA INDUCON	39
3.8.1. Descripción	39
3.8.2. Resultados	39
3.9. CANTERA CACHIBI	39
3.9.1. Descripción	39
3.9.2. Resultados	39
4. CONCLUSIONES GENERALES	39
5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	55

INDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1. Mapa tectónico de Colombia y áreas adyacentes.
 FIGURA 2. Zonas sismogénicas en la zona de subducción; coste esquemático.
 FIGURA 3. Ploteo epicentral de sismos en la Placa Suramericana.
 FIGURA 4. Ploteo epicentral de sismos en la Placa Nazca.
 FIGURA 5. a y b. Vista y detalle de construcciones típicas de la zona del río Aguacatal.
 FIGURA 6. Sismograma típico de las explosiones estudiadas en la Cantera Rocales.
 FIGURA 7. Sismograma con registros muy pequeños de la Cantera Cachibí.
 FIGURA 8. Mapa de la Cantera Trituradora Rocales El Aguacatal.
 FIGURA 9. Vista de la Cantera Rocales.
 FIGURA 10. Detalle del grado de fracturamiento diaclasamiento del macizo rocoso de la Cantera Rocales.
 FIGURA 11. Construcción tipo D en la zona de influencia de la Cantera Rocales.
 FIGURA 12. Construcción tipo C y B en la zona de influencia de la Cantera Rocales.
 FIGURA 13. Mapa de Cantera Triturados El Chocho.
 FIGURA 14. Vista de la Cantera El Chocho.
 FIGURA 15. Vista de la Cantera El Chocho.
 FIGURA 16. Construcción tipo C. en la zona de influencia de la Cantera El Chocho.
 FIGURA 17. Construcción tipo C y D en la zona de influencia de la Cantera El Chocho.
 FIGURA 18. Mapa de Cantera. Trituradora El Diamante.
 FIGURA 19. Vista de Cantera Trituradora El Diamante.
 FIGURA 20. Detalle de una pequeña falla en La Cantera El Diamante.
 FIGURA 21. Detalle del grado de fracturamiento diaclasamiento del macizo rocoso de la Cantera El Diamante.
 FIGURA 22. Construcción tipo C y D en la zona de influencia de la Cantera El Diamante.
 FIGURA 23. Mapa de Cantera Trituradora Saratoga.
 FIGURA 24. Vista de la Cantera Saratoga.
 FIGURA 25. Detalle del grado de fracturamiento diaclasamiento del macizo rocoso de la Cantera Saratoga.
 FIGURA 26. Falla en la Cantera Saratoga.
 FIGURA 27. Construcción tipo C en la zona de influencia de la Cantera Saratoga.
 FIGURA 28. Construcción tipo B en la zona de influencia de la Cantera Saratoga, detalle de una columna anclada en roca fresca.
 FIGURA 29. a. y b. Daños en pañetes. Con grietas subhorizontales poco abiertas y poco profundas.
 FIGURA 30. Vista de la Cantera Inducón.
 FIGURA 31. Detalle del fracturamiento diaclasamiento de la Cantera Inducón.
 FIGURA 32. Estado actual de las oficinas de la Trituradora Inducón, construcción tipo C - D.
 FIGURA 33. Mapa de Cantera, Agregados y Mezclas Cachibí.
 FIGURA 34. Vista del frente de explotación de la Cantera Cachibí.
 FIGURA 35. Detalle del fracturamiento diaclasamiento de la Cantera Cachibí.
 FIGURA 36. Construcción tipo A - B. de las oficinas de la Trituradora Cachibí, en buen estado.

INDICE DE ANEXOS

- ANEXO 1. Cuadro resumen de resultados
 ANEXO 2. Mapa geológico y de localización de la zona de estudio (en bolsillo).

1. INTRODUCCION

La zona suroccidental de Colombia, incluida la de Cali, ha tenido un comportamiento sísmico intenso tanto en la génesis de movimientos de todo orden como por sus secuelas. Sus acciones se verán acentuadas en la región por la fragilidad de las construcciones y estructuras mal diseñadas, especialmente en los barrios subnormales.

Las condiciones y efectos locales en "áreas restringidas por esas características geológicas, potencialmente particulares y diferentes", requieren un estudio para conocer su comportamiento en los sismos.

La explotación de rocas basálticas y diabásicas, para producir en los municipios de Cali y Yumbo agregados para concretos y pavimentos por las empresas asociadas en PROAGREGADOS, requiere la utilización de agentes de voladura que faciliten el arranque del material para ser luego beneficiado. Las voladuras realizadas varían en tipo, cantidad, distribución y forma de detonación de los agentes. Ellas generan una sismicidad que hace que las zonas de canteras se consideren como microzonas sismogénicas.

Una aproximación a la determinación de las características físicas y los efectos producidos por esta sismicidad sobre las estructuras de viviendas e industrias ubicadas en la zona de influencia son el objeto del presente estudio.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Establecer, mediante el análisis de los sismogramas obtenidos, las características físicas de las ondas sísmicas generadas por los agentes de voladura en las canteras de las trituradoras Saratoga, El Chocho y El Diamante, en Cali, y Cachibí e Inducón en Yumbo.

1.1.2. Conociendo las condiciones litológicas y estructurales de los macizos rocosos en cada cantera, aproximarnos al conocimiento del comportamiento del terreno por la incidencia de las ondas sísmicas.

1.1.3. Establecer (si existen) correlaciones entre la cantidad de los agentes de voladura, su tipo y la sismicidad generada.

1.1.4. Determinar en las zonas de influencia los efectos (probados y probables) de la sismicidad sobre las canteras, construcciones y vías. Analizar la intensidad del movimiento y la aceleración de las ondas en el terreno para las cargas de los agentes de voladura utilizadas y las distancias entre la fuente y el punto de registro.

1.1.5. En los sistemas de observación de la sismicidad regional medir, en los posible, la incidencia de esta microsismicidad superficial.

1.1.6. Identificar, aparte de la sismicidad inducida, otros efectos alternos de las voladuras.

1.2. LOCALIZACION

La zona geográfica y de influencia de las canteras estudiadas incluye parte de los municipios de Cali y Yumbo, y está situada en las estribaciones del flanco este de la Cordillera Occidental. Las canteras Rocales, El Chocho, El Diamante y Saratoga están cercanas al perímetro urbano de Cali, en la cuenca del río Aguacatal y la quebrada El Chocho, con acceso por las vías que conducen al Club de la Ribera y Colegio de La Presentación y a Trituradora Saratoga, por la carretera al Mar (Km 8). (Ver anexo 2.) Todas están ubicadas dentro de la zona establecida en el Código Rural de Santiago de Cali-1986, como "Zona de Minas y Canteras". Allí se encuentran los yacimientos de roca basáltica cercanos a la ciudad.

Las canteras Cachibí e Inducón se encuentran en el Municipio de Yumbo, ubicadas en las mismas estribaciones de la Cordillera, antes del piedemonte del valle geográfico del río Cauca. La antigua carretera Cali - Yumbo es la vía de la cual se desprenden los ramales que conducen a ellas.

1.3. METODOLOGIA

Para alcanzar los objetivos propuestos se realizó una serie de MEDICIONES DE NIVEL DE RUIDO SISMICO para obtener los parámetros de la onda sísmica. Se complementó con un reconocimiento de las características geológicas del terreno para establecer la influencia sobre las zonas de construcciones residenciales e industriales.

Para cada cantera, por medio del equipo descrito enseguida, se realizaron las mediciones del movimiento sísmico producido por las voladuras.

PORTABLE SEISMIC SYSTEM (SEISMOMETER) MEQ - 800 (W.F. SPRENGNTHER INSTRUMENT CO. INC) SENSOR L - 4.

Coil resistance S.500 U.
 Frequency 1 Hz.
 Force constant calibratin 39.0 Kdynes Amperes.
 Mass 969.9 g.
 Ganancia 60 Db a 120 Db (intervalos de 6 Db).
 Amplitud 25 mm.
 Velocidad 12 cm/mn (0.2 cm/seg).
 DOS BATERIAS TIPO "GEL" 12 VDC.

El equipo se operó, previa su calibración, según las condiciones generales del sitio (viento, vibraciones secundarias, distancia a la fuente, etc.) y se determinaron la ganancia y tipo de filtros a utilizar.

El número de mediciones y la distancia entre la fuente y el sensor variaron en cada cantera. El ángulo formado entre la fuente y el sensor depende de la topografía de la mina, condiciones de seguridad, mecanismo utilizado para la detonación (con retardos o sin ellos). Para un mejor análisis de los resultados se



ubicaron los puntos de especial interés (viviendas, oficinas, plantas, talleres, vías públicas, etc.).

Para un conocimiento geológico del macizo rocoso de cada cantera y de las condiciones litológicas de la zona de influencia se ejecutó un reconocimiento de campo, con énfasis en las características físicas de la roca (dureza, grado de alteración, cohesión, etc.) y de las características estructurales del macizo: fallamiento, diaclasamiento y acuífiamiento (densidades, intensidades y continuidades).

Simultáneamente a las mediciones y trabajos de campo se inspeccionaron las construcciones residenciales e industriales que podrían verse afectadas por la onda sísmica, así como recreativas, educativas, etc., y se indagaron las opiniones de las personas que las ocupan.

Para conocer la sismología puntual, generada por las canteras, se recopiló y estudió la información sobre geología regional y local, esquemas sismo-tectónicos vigentes, para así poder establecer claramente la diferencia con la sismología regional. Igualmente se estudiaron las características sismogénicas, parámetros que las gobiernan, efectos que ocasionan o pueden ocasionar, y el manejo del riesgo inherente a ellas.

Se recogió y analizó la información de estudios anteriores sobre las canteras, algunos tratados generales de ingeniería sísmica y del uso de los agentes de voladura.

La segunda parte del trabajo de oficina fue el ordenamiento, medición y análisis de los datos registrados en los sismogramas de cada uno de los eventos explosivos producidos por la detonación de los agentes de voladura. Para tal efecto se realizó el mensuramiento directo, y se usó la tabla de aceleración Sensitividad Vs. Frecuencia y las ecuaciones propias de la sismología aplicada. (Ingeniería Sísmica, WF - SPRENGNETHER INS CO., INC., Instruction Manual.)

1.4. CONCLUSIONES

- La unidad litológica fundamental del área de estudio en explotación por las canteras es la Formación Volcánica (Apsden, 1984), constituida principalmente por diabasas, basaltos, lavas almohadilladas y chert con fracturamiento y diaclasamiento de moderado a alto, y fallamientos pequeños (N20-50E/SE) al interior de las canteras.

- Los registros obtenidos presentan serias dificultades para la medición de la distancia entre picos, debido a la alta frecuencia de las ondas y/o a lo pequeño de las señales registradas. Se tomó como base de cálculo una distancia entre picos de 0.1 mm, para frecuencias entre 20/40 HZ propias de este tipo de eventos. Este tipo de registro no permite identificar el contenido de bajas frecuencias del tren ondulatorio.

- Los valores de las aceleraciones del terreno inducidas por la energía sísmica provenientes de las voladuras evaluadas para las cargas dadas son muy pequeños, comparados con la aceleración pico utilizada en el cálculo del espectro de diseño que establece el Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes (C.C.C. S.R.) para las edificaciones de Cali. Las magnitudes alcanzadas por las aceleraciones, en cualquiera de las canteras, no pueden generar fuerzas que afecten las estructuras de las diversas clases de construcciones.

- La dirección de propagación del frente de onda depende de la disipación de la energía en un medio diferente del macizo rocoso y la cantidad de agentes de voladura utilizados. La atenuación de la energía por el mismo macizo rocoso es factor muy importante al analizar el comportamiento de las ondas sísmicas en los registros obtenidos. Detiene las características sismológicas o efectos de la onda registrada y la calidad misma del registro.

- La calidad de la voladura que debe producir el fracturamiento y desprendimiento de la roca es factor importante para el máximo aprovechamiento de la energía liberada y presenta deficiencias en algunas canteras. La atenuación de las ondas sísmicas en el terreno por refracción, reflexión y la dispersión que se genera por la anisotropía del medio rocoso de sus estructuras y las discontinuidades geológicas es alta para todos los eventos estudiados.

- Como las cimentaciones de las construcciones en la zona se realizan predominantemente sobre la roca o muy delgados niveles de suelo residual, la interacción suelo - estructura se reduce al mínimo. Esta condición, con los niveles de aceleración medidos, no permite desplazamientos horizontales perjudiciales, tampoco deslizamiento de la cimentación. Por ello no se generan daños en sus estructuras.

- En las zonas habitadas cercanas a las canteras predominan las construcciones tipo C y D, con menor proporción tipo B y muy pocas tipo A. Las edificaciones de las trituradoras (oficinas, talleres, etc.) son predominantemente tipo B y A. En ellos no se observaron daños estructurales que puedan ser atribuidos a la acción de las fuerzas producidas por las voladuras.

Los daños menores se deben a deficientes técnicas de construcción, cimentación o ubicación de la obra en zonas de pobres condiciones geológicas de soporte o topográficas inadecuadas.

- La acción de la onda de choque, explosivas o expansivas, es de moderada a baja, bien por la ubicación de la cantera con respecto a las construcciones o debido a su atenuación por barreras naturales, esencialmente de orden topográfico.

- La caída de fragmentos rocosos arrojados por las voladuras es un efecto que puede producir daños a las viviendas cercanas y/o edificaciones pertenecientes a las trituradoras. Las medidas tomadas utilizan

do implementos como cueros, llantas, etc., extendidos en el área de trabajo, han terminado con esta irregularidad.

- El ruido generado por las detonaciones, y especialmente por el pistoleo, alcanza niveles altos y genera vibración de puertas y ventanas.

- Esta vibración no tiene ninguna relación con las vibraciones producidas por el movimiento del terreno sobre estructuras y muros.

- Este estudio es una etapa de análisis completo del comportamiento sísmico inducido por las voladuras en el grupo de canteras asociadas a Proagregados. El carácter aleatorio de la calidad de las voladuras y la magnitud de carácter puntual de los registros es satisfactorio. Mayores análisis, que no consideramos necesarios, requieren de una investigación más amplia y un mayor tiempo de monitoreo (mayor cantidad de datos) y utilización de instrumentos más sensibles para sobrepasar la etapa alcanzada en este informe.

1.5. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta el alcance y resultados del presente estudio, se recomienda en cuanto al riesgo sísmico:

- Ejercer un estricto control de las voladuras para aumentar su eficiencia y disminuir los efectos de ruido y expulsión de fragmentos de roca, regularizando los parámetros sísmicos que originan. Esto se facilita creando para las condiciones geológicas de cada zona tablas de correlación entre la cantidad de explosivo Vs aceleración del terreno para las condiciones geológicas de cada zona.

Para tal efecto proponemos que las canteras asociadas a Proagregados integren un programa multipropósito que:

1. Regularice en cada frente el tipo y las cantidades de agentes de voladura usadas.
2. Hora de las quemas.
3. Su sistema de perforación y diseño de las mallas.

4. Carga y retacado, de acuerdo con la clase de roca, grado de fracturamiento y cantidad de material requerido.

5. Ubicación del frente con respecto a zonas habitadas y condiciones topográficas de cada uno de ellos.

Es importante, si se quisiera ampliar el programa, un monitoreo sísmico en cada cantera por medio de registros de una red circular experimental para diferentes volúmenes de agentes de voladura.

Ese programa formaría parte de un estudio mucho más amplio de desarrollo minero, incidencias ambientales y seguridad industrial.

- Para minimizar el impacto de la voladura en la detonación de grandes cargas en las canteras siempre se deben utilizar detonadores con retardadores o secuencímetros.

2. GEOLOGIA

2.1. ESTRATIGRAFIA

En la región cercana a Cali, en la parte oriental de la Cordillera Occidental, en donde están ubicadas las canteras en estudio, se han diferenciado tres unidades litológicas fundamentales:

1. La formación de origen volcánico constituida por diabasas, basaltos, lavas almohadilladas, en menor proporción brechas volcánicas y delgados niveles de chert y limolitas (Apsden 1984). Es la unidad litológica representativa del estudio y constituye entre el 70 y el 80% del área geográfica total.

Las diabasas son de color gris oscuro a verde, de grano medio, pesadas, densas y muy duras. Esta dureza disminuye al asociarse con lavas almohadilladas.

Los basaltos vítricos o cristalinos son comunes: los primeros con típico desarrollo de amígdala; porfiríticos y microgabros también se reconocen en esta unidad. En general son de masivos a muy diaclasados (bloques junteados).

Se presentan frecuentes cuerpos de lavas almohadilladas con bordes de hialoclastitas, localmente intercaladas con cherts y tobas.

También existen venas de cuarzo-epidota; brechiación y zonas de intenso cizallamiento son comunes (Cardona - Sepúlveda, 1991). Se observaron milonitas grafitosas en zonas de falla.

Muy delgados horizontes sedimentarios se intercalan con las rocas ígneas, como lodolitas, areniscas, limolitas, y en menor proporción, calizas.

En general las rocas están de mediana a altamente diaclasadas, mayormente hacia la parte superior cercana al saprolito, aunque al interior se observan núcleos de roca masivos muy duros. Es común la meteorización esferoidal y la alteración que da paso a un saprolito de color pardo (roca muerta) y posteriormente a un suelo rojo.

2. La formación Guachinte (Schwinn, 1969 en Apsden, 1984) está constituida por secuencias de areniscas de color amarillo con algunos niveles de areniscas pardo-rojizas y areniscas conglomeráticas polimicticas de color amarillo. Intercalaciones de limolitas de color gris a rojo y niveles de carbón en lentes o mantos. Estas se atribuyen en tres miembros denominados La Cima, Los Chorros y La Rampa.

En algunos puntos la formación Guachinte yace directamente sobre la formación volcánica con contactos discordantes y localmente fallados.

Depósitos cuaternarios compuestos por coluviones, flujos de escombros y pequeños depósitos aluviales asociados a los drenajes principales y algunas zonas falladas de alta pendiente.

3. Las formaciones superficiales en el área están asociadas a la unidad geológica del subsuelo. En la



zona de piedemonte, en donde generalmente se encuentran las canteras, el sustrato compuesto por rocas ígneas de tipo diabásico desarrolla un perfil de suelo muy delgado. Se observa una evolución pedológica importante, pero su espesor variable en general no sobrepasa los dos metros. Subyacentes a los suelos se encuentra el saprolito de la roca meteorizada y alterada por agentes físicos y químicos, que varía en espesor de 1 a 10 m.

Algunas áreas que conforman la zona de influencia de las canteras presentan depósitos coluviales, aluviales, donde el desarrollo de suelo residual tampoco es intenso y en general hace aflorar materiales parentales muy cerca a la superficie.

2.2. TECTÓNICA

2.2.1. Esquema sismo-tectónico regional.

A través del tiempo geológico hasta la actualidad, en la zona suroccidental colombiana y en particular la pacífica (incluyendo al Valle del Cauca), hay una fuerte actividad tectónica con origen a diversas profundidades, genera una alta frecuente sismicidad regional y variaciones puntuales en su comportamiento, debido a las fallas locales activas y propiedades de los materiales del suelo y subsuelo.

Según los conceptos recogidos en el OSSO (Observatorio Sismológico del Suroccidente), la incidencia sobre el grueso de la sismología regional de los eventos sísmicos inducidos por las voladuras en las canteras estudiadas es muy baja. Sus efectos locales son los que se estudian en el presente trabajo y las conclusiones se ofrecen más adelante.

En el suroccidente colombiano el proceso tectónico dominante es el de la placa oceánica de Nazca, hundiéndose por subducción bajo la Placa Continental Suramericana en su movimiento hacia el este. Este régimen produce alternadamente grandes fallamientos con tendencias SW-NE e inclinaciones de alto grado hacia el este, semiparalelos al borde litoral. Esto es el resultado de los esfuerzos generados y acumulados por la compresión activa (Woodward-Clyde, 1983) (Figura 1).

Según Woodward-Clyde, 1983, existen tres fuentes principales de sismicidad debidas a la localización del occidente vallecaucano en la Placa Suramericana, que suprayace sobre la corteza oceánica (Placa de Nazca) que se sucede.

1. Las fallas ubicadas en los 40 km superiores de la Placa Suramericana (sismicidad superficial).
2. Las fallas intraplacas al interior de la Placa de Nazca subducida con hipocentros ubicados a profundidades mayores a 45 km.
3. La acción de esfuerzos en el límite entre las dos placas mencionadas (Figura 2).

De la sismogénesis del valle del río Cauca forman parte las fallas con segmentos activos (aquellos que al moverse pueden causar un terremoto).

Las fallas del sistema Romeral en la Cordillera Central que actúa en Guabas-Pradera, Potrerillo, Buga-Palmira, Pijao-Silvia y otras presentan segmentos con evidencias de actividad cuaternaria. Las fallas Dagua - Calima, El Saladito, río Bravo y otras, en los frentes montañosos este y oeste de la Cordillera Occidental son muy importantes en la tectónica de la zona (tomado de Paris, G., Ingeominas, 1992).

Los inventarios de epicentros sísmicos, con discriminación de las fuentes o sin ella (Woodward-Clyde, 1983), entre 1736 - 1983, correspondientes a las Figuras 3 y 4, nos dan la idea de la gran actividad sísmica y la amplia gama de magnitudes asociadas a la zona suroccidental de Colombia y en particular a la ciudad de Cali, y una distancia hipocentral predominante con respecto a ella entre 70 y 180 km.

Los sismos producidos por las voladuras en las canteras de Cementos del Valle, en Mulaló, se registran normalmente en la Red Sismológica del Suroccidente, mientras que los generados en las canteras de la cuenca del Aguacatal no se registran.

2.2.2. Tectónica local.

Conjuntos de fallas interconectadas de diverso tipo, con orientación general SW-NE, afectan las rocas ígneas básicas de la formación volcánica. Algunos de sus ramales fueron encontrados en las canteras estudiadas, con disposición general N20-50E/N-SE (Ver anexo 2).

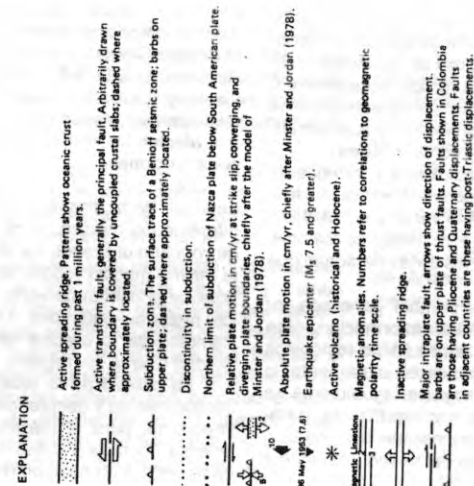
Fallas menores de poca expresión y disposiciones diferentes de las principales SW-NE se observaron en algunas de las canteras estudiadas. Entre ellas se anotan estructuras SW-NE/NW-V SE-NW/V.

La falla de Golondrinas, con dirección predominante SW-NE, se observa clara en cercanías a Cali. Es importante anotar la presencia de alineamientos a nivel topográfico como fotogeológico, que ejercen influencia sobre los cauces de algunos ríos y quebradas, y desarrollan algunas silletas y facetas triangulares. Los alineamientos pueden corresponder a fracturas que conservan la orientación preferencial N30E o que varían a una tendencia N10-15W (Ver anexo 2).

Cercano a la zona de las canteras está el sistema de fallas del Cauca, el cual puede tener influencia en el fallamiento y fracturamiento descritos anteriormente.

El diaclasamiento observado y medido en la zona (especialmente en los frentes de explotación de las canteras) es medio o alto y variable de cantera a cantera. La tendencia de su disposición principal, muy regularizada es NO-25E/SE y NW,N0-25W/NE y SW,N30-40E/60-90NW y SE,N45-65E/SE y NW,N45-60W/NE y SW y N60-70 W/60-90 NE y SW.

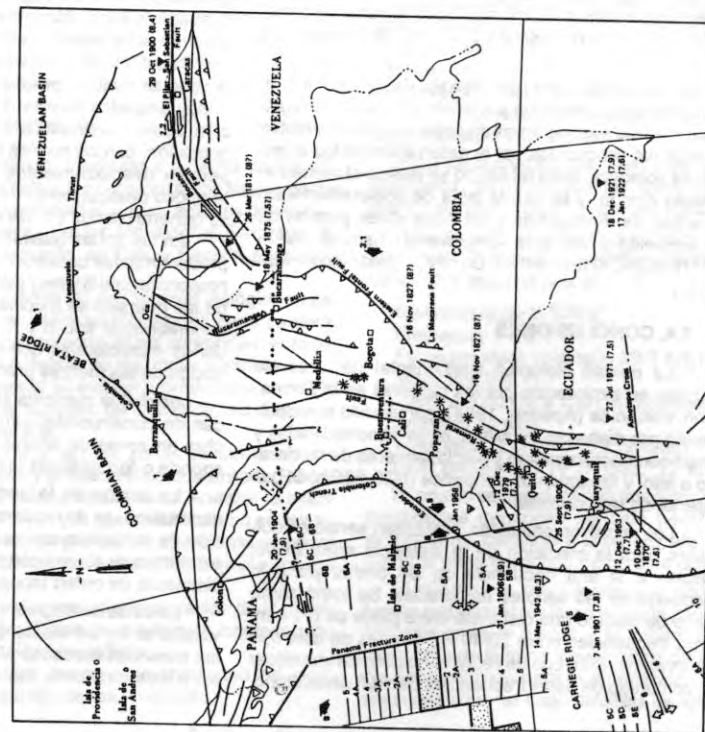
Algunos microplegamientos se observan en la Formación Volcánica, especialmente al intercalarse con chert, con disposición similar a la principal del fallamiento SW-NE; sin embargo se considera esta unidad como un macizo no plegado.

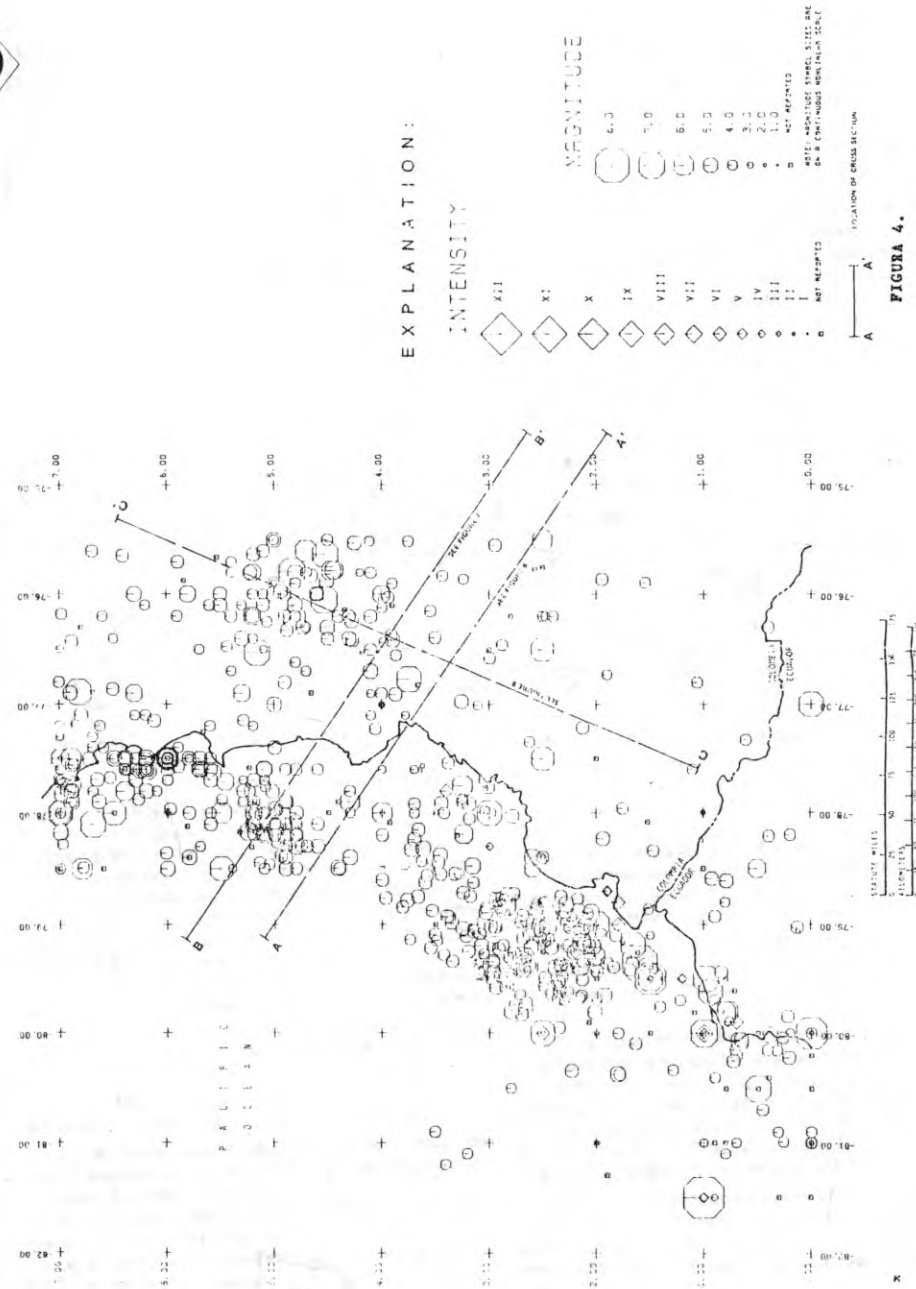


NOTE: Map modified from Drummond and others (1981).



FIGURA 1.





En la formación Guachinte es común la presencia de plegamientos de varios tipos asociados al fallamiento (Sánchez R., y Vargas, J.E., 1990).

3. SISMOLOGIA EN CANTERAS Y ZONAS DE INFLUENCIA

3.1. SISTEMA DE EXPLOTACION CON AGENTES DE VOLADURA (fuente sismogénetica)

Dos sistemas básicos de explotación por arranque frontal del material con utilización de agentes de voladura se identificaron en las canteras estudiadas.

Los dos sistemas se diferencian esencialmente por el tipo de maquinaria usada para realizar las perforaciones donde se colocan los agentes de voladura. El sistema de perforación manual con martillo neumático es el más utilizado, con perforaciones en promedio de cuatro metros de profundidad y una pulgada de diámetro, realizadas en la parte superior del talud del frente de explotación. Los agentes de voladura se colocan en el interior de estas perforaciones en cantidad variable de 2-3 kg por hueco, con el respectivo relleno de amortiguación, espaciados en una malla diseñada según la carga. La forma del uso varía entre los contratistas del laboreo de cada cantera.

Los bloques de tamaños muy grandes, resultantes de los arranques y caída que no pueden ser llevados directamente a la trituradora, deben ser fragmentados, bien sea con martillo neumático, con pistoleo o voladuras menores, y cantidades también menores de agentes de voladura.

Este sistema de explotación no aprovecha los defectos estructurales de la roca (discontinuidades, fracturas y fallas), así mismo se hace lento, incómodo y con mayor riesgo para el personal, debido a los taludes empinados y las pequeñas superficies de trabajo (bermas) que se desarrollan. Sin embargo, es un sistema adecuado para la utilización del martillo neumático y la actual conformación de la mayoría de las canteras (sin terraceo), y la ventaja actual de producir menos onda sísmica en beneficio de las construcciones vecinas.

El sistema de perforación con vagón perforador (track drill) requiere la realización de terrazas-bermas anchas con accesos por vía carreable. Estas terrazas amplias facilitan un mejor diseño de la malla de perforación (pata de gallina), en la parte superior de la berma, con huecos alineados de cuatro a seis metros de profundidad y tres pulgadas de diámetro, y cantidades de explosivos por barreno algo mayores a las anteriores. La activación se realiza utilizando espoletas con microrretardos o sin ellos.

Además del arranque frontal, este sistema combina el fracturamiento intenso del material en la cara superior de la berma, lo cual aporta mayor cantidad de

material por quemas. Disminuye los riesgos para el personal y aumenta el rendimiento del explosivo; sin embargo, requiere mayor equipo (oruga perforadora o track drill y bulldózer), y rediseño en la mayoría de las canteras de los frentes de explotación. Este cambio para evitar una onda sísmica mayor no se puede realizar en algunas de ellas a corto plazo.

Igual al sistema manual, los bloques de excesivo tamaño son fragmentados con martillo neumático, percusión o pistoleo.

Los explosivos usados generalmente son el Superanfo y Nitrón, combinados en una proporción 1:1 iniciados con Flexagel o dinamita al 90%, activados mediante fulminantes (Sánchez, R. y Vargas, J. E. 1990).

En algunas ocasiones se utiliza solamente dinamita al 70% o del 90%, debido a causas como la humedad en la perforación o escasez de nitratos.

Según los requerimientos de material, las cantidades totales de explosivos detonados varían de acuerdo con la quema y la cantera. Los datos de la cantidad de explosivos utilizados para cada quema fueron suministrados por las trituradoras o el personal encargado de ello.

Para el estudio de este tipo de sismicidad inducida es muy importante introducir el concepto de calidad de la voladura. A mayor calidad de la quema mayor será la cantidad de energía liberada y absorbida por el macizo rocoso en forma de ondas internas, como los efectos que ellas puedan producir en el medio. A menor calidad de la quema mayor será la energía disipada en el aire y menor la absorción por el macizo.

La evaluación de la calidad de la voladura se hace de forma subjetiva, observando efectos tales como cantidad de roca desprendida, tamaño de las piedras desprendidas, ruido producido por la detonación, etc.

Una valoración cuantitativa de la cantidad de los agentes es muy difícil de obtener, por no existir una precisa correlación entre la cantidad detonada, los parámetros medidos en el sismograma y los efectos que se generan.

3.2. ASPECTOS TEORICOS GENERALES

3.2.1. Ondas sísmicas. La energía liberada por los agentes de voladura produce un desequilibrio en las tensiones internas del macizo rocoso, la cual debe disiparse para que éste nuevamente adquiera su condición de equilibrio.

Según Sarria, 1990, "la disipación se produce por el desplazamiento del estado de esfuerzos liberados". La disipación se da por el debilitamiento de la intensidad energética al aumentar el área de fricción por la cual se alejan de su fuente de origen. La teoría indica que las ondas sísmicas transmiten un estado de esfuerzos mediante complicadas trayectorias de las par-



tículas del medio transmisor y su acción sobre las construcciones genera sacudimientos producidos por estas ondas que se propagan por el subsuelo donde está cimentada la construcción (Sarria, 1990).

Los tipos de ondas sísmicas principales son las ondas internas y las ondas superficiales. Las primeras viajan por el interior de los sólidos y las segundas se transmiten por la superficie o por discontinuidades que marcan diferencias en la rigidez del medio. Las ondas internas se dividen en de compresión o longitudinales (primarias, p) y transversales o cortantes (secundarias, s). La velocidad de las ondas P es siempre mayor a la de las ondas S. Las ondas P casi siempre son débiles en términos relativos a las ondas S, es decir, las últimas tienen mayor capacidad de destrucción sobre las construcciones que las primeras (Sarria, 1990).

Las ondas superficiales se dividen en ondas Rayleigh (R), que se propagan por la superficie, y ondas Love (L), que semejan las ondas cortantes. La velocidad de estas ondas es similar a la de las ondas S. Las ondas L requieren para su propagación una capa de rigidez diferente de la del medio subyacente; las ondas R requieren solo la existencia de la superficie para su propagación. La atenuación de estas ondas es mucho menor que las de internas, en función de la distancia recorrida.

Las ondas antes mencionadas describen un movimiento ondulatorio con amplitudes, frecuencias y velocidades que dependen de las características de las fuentes y del terreno.

Estos parámetros, junto con la velocidad y aceleración del medio transmisor, pueden determinarse a través de la medición directa e indirecta (ecuaciones) de los registros obtenidos por un sísmógrafo.

Entre todos los parámetros antes mencionados, la aceleración del terreno es la que cobra mayor importancia para la evaluación del riesgo sísmico, pues mide en alguna forma la incidencia de la onda sísmica sobre el medio.

Según el Instituto Geográfico Nacional de España, 1986, las fases más visibles, registradas con equipos sísmicos estándar SP, son las ondas P y S con apariciones en la coda del registro de ondas Rayleigh, solo generadas en explosiones por ser de foco superficial.

3.2.2. Vibración y ruido. Según el Departamento de Explosivos DU PONT los problemas causados por el uso de mayor cantidad de agentes de voladura se han incrementado en los últimos años a medida que las poblaciones se acercan a las minas y canteras. Es el caso de la mayoría de las canteras asociadas a Proagregados, que han quedado, con el paso de los años, dentro de zonas subnormales de habitación, generalmente de invasión.

Dos efectos generados por las detonaciones, vibración y ruido son sentidos por la gente. Las vibraciones son a menudo tan ligeras que, en la mayoría de los casos, la única sensación notada es el ruido.

Según DU PONT, la reducción de las vibraciones a niveles muy bajos se alcanza utilizando explosivos adecuados. El uso de micro-retardos en la detonación reduce las vibraciones sísmicas al ampliar su tiempo de acción y mejora la fragmentación. El ruido generado en las voladuras con detonadores secuenciales o sin ellos emerge en varias o todas las direcciones y por su baja velocidad en el aire es posterior a las vibraciones.

Existe gran confusión en la identificación y separación de los dos tipos de ondas y sus efectos (Sísmica-vibraciones y sónica-ruido). Los registros sísmicos muestran que las vibraciones dañinas no han ocurrido. Sin embargo, el ruido escuchado por los vecinos y asociado a las explosiones, que no causa daño, se confunde con la vibración sísmica.

Es muy importante anotar que existe una amplia variación en la manera de reaccionar de la gente a los ruidos fuertes. Algunos por condicionamiento a razones fisiológicas no pueden ser apreciablemente afectados, mientras que otros no solo pueden escuchar sino además sentir la intensidad del ruido. Esto lleva a muchos vecinos a creer que la industria no ejecuta las operaciones de voladura con el cuidado requerido para con su propiedad o privacidad (DU PONT) y hace una apreciación errónea.

En general no existe una aparente relación entre la cantidad de agentes de voladura (tamaño de la voladura) y la reacción del vecindario. Las más fuertes reclamaciones ocurren para insignificantes cantidades de agentes de voladura usados en el pistoleo, porque gran parte de la energía liberada por el agente lo es en el aire y genera mayores ondas sónicas.

Por otra parte, algunos efectos particulares como la vibración de los vidrios de una edificación no pueden asimilarse a oscilaciones de su estructura. Los vidrios vibran a frecuencias más altas que el resto de la edificación (estructura y muros) y esta es la razón para que la frecuencia de la onda sónica los afecte con más intensidad. Por lo tanto, el ruido o vibración de los ventanales no quiere decir que toda la construcción está sufriendo el mismo movimiento. No obstante, en algunos casos donde la intensidad de los sismos es de alrededor de IV - V grados en la escala de Mercalli (regionales), la vibración de los ventanales puede generarse por movimientos ligeros del resto de la construcción.

Otro tipo de onda que puede generar vibración es la onda de choque u onda explosiva, ocasionada por la dispersión de energía en el medio aire, cuando la totalidad de la energía liberada por la voladura no es absorbida por el medio rocoso en forma de ondas internas. Esto se menciona en el aparte anterior.



3.2.3. Características de una construcción. Todas las construcciones tienen propiedades que permitan comparárlas entre ellas, bien desde el punto de vista simplemente constructivo, o el físico, generado en muchos casos por el primero (Figuras 5 a y b).

Las edificaciones se han dividido para efectos de la evaluación de su comportamiento ante la intensidad de un sismo (Escala de Mercalli), de acuerdo con sus características constructivas, tales como tipo de muros, cimentaciones, clase del terreno y diseño estructural. Así (tomado de Lexis 22-Geología y Minerología, 1985):

Tipo A: Buena edificación con mortero, construida con arrego a un proyecto; reforzada especialmente en los encuentros y enlazada con perfiles, anclajes, etc., proyectada para resistir esfuerzos laterales.

Tipo B: Buena construcción con mortero; reforzada, pero no calculada para resistir esfuerzos laterales.

Tipo C: Construcción ordinaria con mortero; no demasiado débil (sin tirantes en los ángulos), pero sin reforzar, ni calculada para resistir esfuerzos horizontales.

Tipo D: Construcción de escasa calidad, hecha con materiales flojos, como adobes, morteros pobres, maderaguada y débiles en sentido horizontal.

Ante eventos sísmicos o detonaciones las propiedades físicas de una construcción: masa, rigidez, capacidad de disipación de la energía y amortiguamiento son parámetros de mucha importancia para la evaluación de su comportamiento en ellos.

La rigidez es una propiedad producto de las características constructivas mencionadas anteriormente. La rigidez con la masa crea un parámetro trascendente llamado *frecuencia natural de vibración circular (W)*, *velocidad angular* (Sarria, 1990).

Según Sarria, 1990, este parámetro permite comparar las construcciones entre sí, independientemente de otros factores. La frecuencia es el producto de dividir la rigidez por la masa. Las construcciones se comportan en general como osciladores armónicos amortiguados. El amortiguamiento de una construcción es un parámetro muy difícil de evaluar. Se manifiesta como la respuesta del sistema estructural ante la acción sísmica ejercida de diversas maneras y que para las intensidades aquí estudiadas son comúnmente las siguientes (Sarria, 1990): - Deformaciones elásticas del sistema estructural y de los elementos no estructurales, como muros divisorios y elementos de fachada. Esta situación se presenta en una construcción corriente sometida a la acción de un sismo de poca intensidad. Aunque el amortiguamiento para este caso será muy pequeño, la estructura dejará de vibrar muy pronto a partir del momento en que cese la acción sísmica.

- Interacción de sistema estructural con el subsuelo de cimentación.

- La interacción con el medio externo, normalmente el aire, contribuye a producir un amortiguamiento de tipo viscoso debido al desplazamiento de la construcción dentro del fluido.

Los tipos de amortiguamiento interactúan para generar un amortiguamiento combinado que permite disipar la energía absorbida en cada ciclo. En general las construcciones menores presentan un amortiguamiento del 3 al 7%. Las construcciones sufren además cargas que pueden ser permanentes o transitorias, tanto en magnitud como en posición. A las cargas sísmicas que actúan sobre una construcción no se les puede predecir su magnitud y posición, por lo tanto se consideran cargas inerciales aleatorias.

Sobre las construcciones pueden actuar otras cargas, como las impulsivas, derivadas de la presión de los medios gaseosos, especialmente en las explosiones (ondas de choque), que son difíciles de determinar y mensurar.

Es importante anotar que las cargas enunciadas producen fuerzas axiales y de rotación que pueden generar deformaciones en los elementos estructurales. Las fuerzas más representativas sobre una construcción en un evento sísmico son:

- Fuerza de amortiguamiento, proporcional a la velocidad de la masa (construcción).

- Fuerza elástica, proporcional a la tensión interna de la masa de la construcción.

- Fuerza de inercia, desarrollada por la aceleración de la masa de la construcción.

- Fuerza externa, correspondiente a la ejercida por el medio sobre la construcción.

3.2.4. Respuesta al sismo por el subsuelo e interacción suelo-estructura. El subsuelo sobre el cual se ejerce la acción sísmica presenta respuestas a medida que el tren ondulatorio se propaga por la tierra.

Una de estas respuestas es la atenuación de la aceleración, por la disipación en su masa de la energía sísmica. Al cruzar las distintas zonas de interacción de las estructuras de las formaciones litológicas, el tren ondulatorio sufre ondulaciones, reflexiones, rizamientos y disipación de la energía. La atenuación depende por tanto de la anisotropía del terreno y dirección de la propagación (Sarria, 1990).

En el caso de macizos rocosos fracturados, diaclásados y posiblemente afectados por fallas, la energía encuentra canales propicios para su disipación en los planos de dichas estructuras. No se ha podido medir para el presente estudio su valor real.

La amplificación para las mismas frecuencias del movimiento ondulatorio corresponde a la relación entre la aceleración en la superficie y la aceleración en la roca base.

De acuerdo con la teoría de propagación de las ondas, mientras el tren ondulatorio posea frecuencias



FIGURA 5a. Vista y detalle de construcciones típicas de la zona del río Aguacatal.

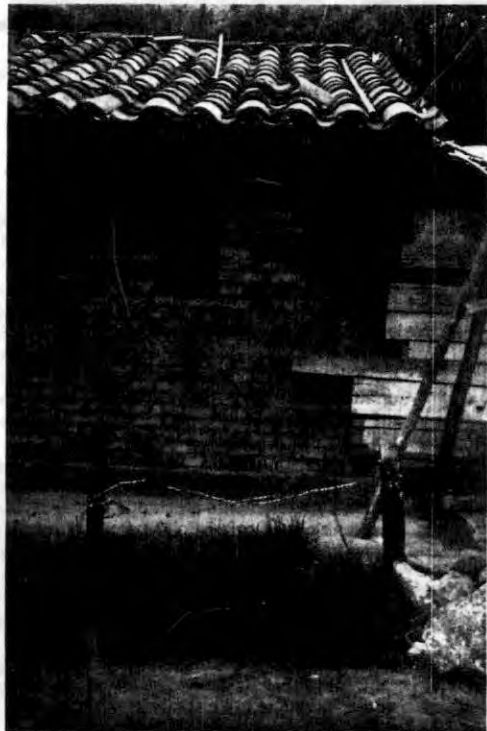


FIGURA 5b. Vista y detalle de construcciones típicas de la zona del río Aguacatal.

similares a las dominantes en el subsuelo siempre habrá amplificación del movimiento. Por ello resulta más viable la amplificación del movimiento que se propaga por el suelo ondulatorio que su reducción.

Para los casos que nos ocupan, las mediciones se efectuaron directamente sobre la roca, o sobre suelos duros de muy poco espesor, en los cuales las ampliificaciones son menores.

La cimentación de algunas construcciones sobre roca meteorizada (saprolito) puede presentar en esos sitios ampliificaciones algo mayores.

La interacción suelo - estructura (según Sarria 1990) "corresponde a las modificaciones de la respuesta de una construcción que reposa sobre o está dentro del subsuelo; estas modificaciones corresponden a su vez a una alteración de los períodos de vibración naturales de la construcción por efectos del llamado cabeceo o por el desplazamiento de la cimentación".

Sarria, 1990, describe muy claramente la interacción estática y dinámica, suelo - estructura y hace referencia a las condiciones que enseñan las construcciones que están ubicadas en la zona que el presente estudio abarca, por lo tanto se transcriben sus consideraciones.

"Si la estructura está cimentada sobre roca, las deformaciones diferenciales no existen o son ínfimas y por lo tanto tampoco existirá la interacción estática suelo-estructura. Desde el punto de vista dinámico la interacción suelo-estructura es una modificación de la respuesta natural estructural, debido a que varían no sólo las condiciones de apoyo sino también el amortiguamiento total de la construcción."

"Tal como se ha indicado, si la base de cimentación es una roca competente o un suelo duro el efecto de la interacción suelo-estructura se reduce a un mínimo despreciable, ya que resultan incompresibles o levemente compresibles en términos relativos a la cimentación y porque la rigidez correspondiente a un posible movimiento horizontal también resulta muy elevada, lo cual conduciría a desplazamientos horizontales mínimos. Si llegara a haber deslizamiento de la cimentación (más probable en suelos duros), no sólo cambiaría todo sino que se podría considerar que la construcción en cierto sentido ha fallado."

"Para que esto ocurra se debe presentar un sismo muy intenso, a corta distancia epicentral y alta frecuencia, y que la construcción sea baja y rígida con período natural muy corto, que al interactuar con las altas frecuencias genere altas ampliificaciones y por lo tanto fuerzas de inercia también altas."

"La cimentación sobre suelos blandos de edificios de muy corto período, tales como viviendas unifamiliares de menos de tres pisos, presenta una interacción suelo-estructura que resulta desfavorable. Al alargarse el período natural fundamental por efecto de la interacción suelo-estructura, el edificio sufre una

aceleración creciente con aumento apreciable de fuerzas de inercia."

"En resumen, se puede decir que en la mayoría de los casos la interacción suelo-estructura resulta favorable, al disminuir las fuerzas de inercia por alargamiento del período de vibración fundamental."

3.2.5. Calidad de los registros sísmicos. En ingeniería sísmica para la determinación de los parámetros sismológicos de interés como la frecuencia, amplitud, fases, duración y especialmente velocidad y aceleración de las ondas sísmicas en determinado sitio, se recurre a instrumentos especiales para detectar y registrar el paso del tren ondulatorio.

El *sismógrafo* es un instrumento equipado con un sistema de detección o sismómetro (sensor) y un sistema capaz de registrar variaciones proporcionales al desplazamiento de la velocidad y la aceleración del terreno.

El *sismograma* es el registro gráfico de las lecturas del sismógrafo al paso de las ondas sísmicas por el sitio donde se ha colocado el aparato. Permite medir directamente los tiempos de llegada de las ondas (fases), frecuencia, amplitud y duración del evento, e indirectamente la velocidad, aceleración y longitudes de onda.

Un sismógrafo debidamente calibrado fue el tipo de equipo utilizado en el presente estudio y se ejecutaron registros de buena calidad.

El movimiento ondulatorio sísmico originado por las voladuras produce generalmente señales pequeñas en todos los registros y particularmente en algunos de ellos: (Figura 6).

- Señales con grandes amplitudes pico a cero, próximas a la saturación del registro, se deben a la cercanía del sensor a la fuente, la cantidad de explosivo y la dirección de propagación de la onda.

- Los registros enseñan distancias entre picos muy pequeñas, muy difíciles de medir manualmente, lo cual nos indica frecuencias altas. Para calcular la aceleración se requieren datos de frecuencia, que a su vez se calculan a partir de la distancia entre picos. Se otorgaron como base de cálculo valores para ésta de 0.1 mm. Algunos registros muy pequeños a causa del poco volumen de las voladuras estudiadas que originan a su vez una débil incidencia de las ondas sísmicas, por la dispersión y atenuación de la energía por las condiciones del macizo rocoso y dirección de propagación de la onda, e imposible determinar la distancia entre picos y presentan amplitudes (pico a cero) (Figura 7).

En resumen, los registros obtenidos de amplitudes variables representan eventos muy pequeños difíciles de medir. Indican también una importante atenuación del macizo.

P

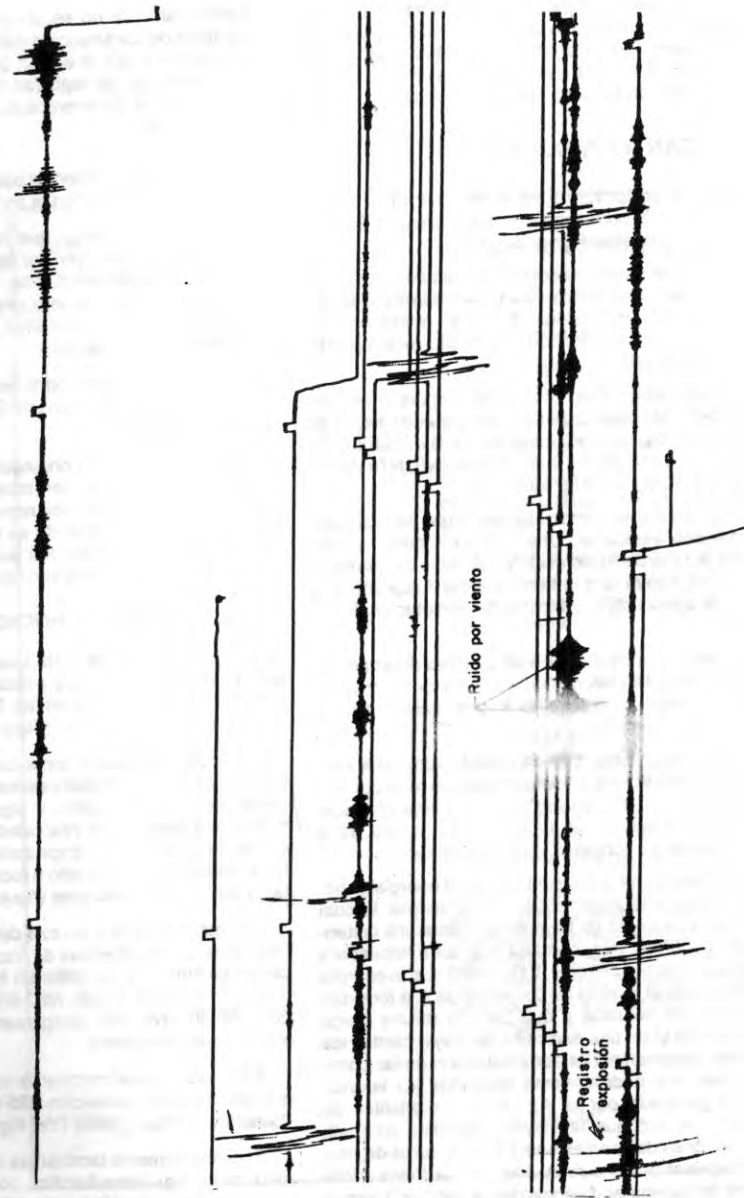


FIGURA 6. Sismograma típico de las explosiones estudiadas en la Cantera Rocales.

P

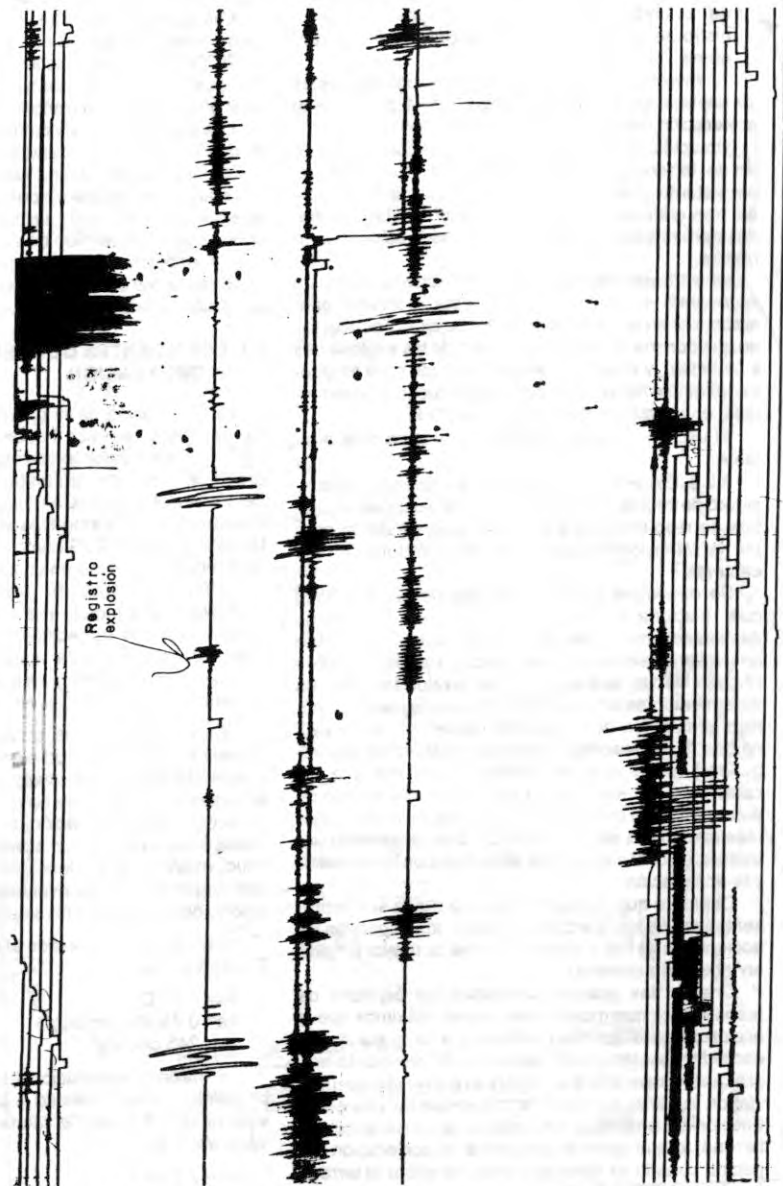


FIGURA 7. Sismograma con registros muy pequeños de la Cantera Cachibi.

El *acelerógrafo* es un instrumento apropiado para registrar las aceleraciones del terreno al paso de las ondas sísmicas. El *acelerograma* es el registro de las aceleraciones captadas por sus sensores.

El acelerograma generalmente registra niveles de aceleración mínima en rangos del 1 al 5% de la aceleración de la gravedad (Sarria, 1990).

Un acelerograma registrará las aceleraciones reales del terreno siempre y cuando la frecuencia natural del sistema esté por encima de la máxima frecuencia del tren ondulatorio. Los acelerógrafos están diseñados para registrar movimientos intensos de poca ocurrencia.

La principal diferencia entre un *acelerógrafo* y un *sismógrafo* es que el primero está diseñado para responder en la zona del espectro de altas frecuencias en que domina la aceleración (caso de las explosiones evaluadas), y el sismógrafo es diseñado para responder principalmente en la zona de frecuencias intermedias, en las cuales domina la velocidad.

El uso de los acelerógrafos se explica más adelante.

3.2.6. Espectros de respuesta y diseño. Se consideró de interés e importancia el cálculo de los espectros de respuesta para las aceleraciones del terreno por la sismicidad inducida por las voladuras en las canteras.

Se denomina *espectros de respuesta* al gráfico que relaciona el conjunto de máximos valores de desplazamiento, velocidad o aceleración, que sobre un oscilador simple origina una carga aleatoria (como el caso de las cargas sísmicas) evaluadas para un determinado amortiguamiento. Es un oscilador armónico simple con determinados valores de masa (m), rigidez (k del resorte) y amortiguación (c del amortiguador), en el cual la posición de la masa o las características energéticas en función del tiempo se representan en términos de una variable. En los sistemas mecánicos es la medida del desplazamiento (introducido por el sismo), y de él se deducen la velocidad y la aceleración.

Debido a que la aceleración y la masa son representativas de las fuerzas a estudiar, los espectros de aceleración se han convertido en los de mayor empleo en ingeniería sísmica.

Una de las grandes utilidades del espectro de respuesta es que muestra los valores máximos que la acción sísmica (la real) introduce a la masa de un oscilador (construcción), así como determinar la amplificación espectral que genera el contenido frecuencial de la señal. Es decir, la capacidad de una construcción de amplificar los valores de aceleración del terreno, lo que permite determinar la aceleración espectral cuando se conoce la máxima sobre el terreno (aceleración Pico Aa). Las señales registradas de las

frecuencias bajas del movimiento son las que en determinado caso pueden ser las más dañinas.

Los códigos modernos indican que la aceleración pico sobre el terreno puede ser amplificada hasta en un 250%. Por la construcción y sus normas recomiendan que la aceleración de la construcción no sobrepase 2.5 veces la del terreno (Sarria, 1990).

Los espectros elásticos de las aceleraciones para el diseño de una estructura no deben exceder los coeficientes de la máxima aceleración horizontal pico esperada y expresada en porcentaje de la gravedad a que se vería sometido un sistema de un grado de libertad para un período de vibración T.

Los espectros de diseño permiten calcular las estructuras de las construcciones teniendo en cuenta las condiciones locales sismotectónicas del área.

3.3. COEFICIENTES DE ACCELERACION PARA COMPARACION

La aceleración de la gravedad que se espera alcance un sitio se indica en coeficientes de aceleración "pico". A este valor le corresponde un determinado grado de intensidad en un punto dado. Para el caso del Valle del Cauca (Cali) el Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes (C.C.C.S.R) establece un $Aa = 0.25G$ como el coeficiente de aceleración pico esperado en un período de ocurrencia de 50 años y un 10% de probabilidad de que sea excedido. Esto indica que las edificaciones deben construirse con especificaciones que le permitan soportar este valor de aceleración, generalmente asociado a sismos de gran magnitud e intensidades por encima del grado VII en la escala de Mercalli.

Es muy importante anotar de manera clara la diferencia entre magnitud e intensidad. La primera se refiere a la cantidad de energía liberada, mientras que la segunda, como ya se ha mencionado, es el efecto producido por la liberación de energía en formas de ondas sísmicas. Para un sismo habría una sola magnitud, mientras que intensidades diferentes se obtienen según el sitio de evaluación y, obviamente, del criterio del evaluador (medida subjetiva).

La aceleración asociada al coeficiente dada por el C.C.C.S.R. es

$$\begin{aligned} Aa &= 0.25 G \\ Aa &= 0.25(981 \text{ cm/seg}^2) \\ Aa &= 245 \text{ cm/seg}^2 \end{aligned}$$

La máxima aceleración horizontal expresada en porcentaje de la gravedad a que se ve sometido un sistema de un grado de libertad y con un período de vibración T es.

$$\begin{aligned} Sa &= 2.5 Aa \\ Sa &= 2.5(0.25g)(1) = 613.5 \text{ cm/seg}^2 \end{aligned}$$

Estos valores, comparados con las aceleraciones obtenidas en este estudio, cuyo valor máximo alcanza 0.392 cm/seg^2 (ver anexo 1), indican que la acción de los agentes de voladura en uso en las canteras estudiadas no tienen ninguna influencia sísmica.

3.4. CANTERA ROCALES

3.4.1. Descripción. Está localizada en el barrio Aguacatal, en la confluencia de la quebrada El Tablón con el río Aguacatal (Figura 8).

Litológicamente presenta lavas almohadilladas y diabasas de grano medio de altísima dureza. Escaso desarrollo del suelo residual, 50 cm en promedio y un espesor de roca meteorizada (saprolito-roca muerta) de 1-3. (Figura 9).

El fracturamiento del macizo es irregular y de mediana densidad, con disposiciones variadas según el sector medido pero predominantes de N10-20E/60-80 SE, N10-20E/80 NW, N10-25 W/20-40 NE, N75 W/10-30 NE y E-W/80 S-80N (Figura 10).

La cantera se desarrolla en forma semicircular con taludes verticales. Una barrera rocosa natural separa la zona de explotación y beneficio del material de la zona habitada que bordea el río Aguacatal y a distancia aproximada del frente de explotación de 80 a 100 m.

El método de explotación utilizado es de arranque frontal con martillo neumático, y utilización de grúa de percusión para completar la fragmentación de los bloques desprendidos.

3.4.2. Resultados. Los datos obtenidos para esta cantera enseñan una aceleración del terreno con valores entre $0.2 - 0.4 \text{ cm/seg}^2$ para la carga utilizada. Es una aceleración muy baja, que no genera daño alguno sobre las construcciones del sector.

Se observó una alta disipación de la energía generada, debido a la imperfección de la quema, la cual produjo lanzamiento de fragmentos hasta una distancia de 70 - 80 m, muy cercana a la zona habitada y con alta intensidad de ruido. Esto indica que la energía absorbida por el terreno no corresponde a la totalidad de la energía liberada y que para la misma carga utilizada (46kg) en una explosión de mejor calidad los resultados pueden variar. La inspección de las construcciones, que podrían verse afectadas por la onda sísmica generada por la acción de los agentes de voladura, mostró que la mayoría de ellas presenta cimentaciones deficientes sobre suelos duros de muy poco espesor o sobre roca. Las edificaciones están hechas de materiales diversos desde tipo B a D, según la descripción hecha en el aparte 3.2.3., con predominio de los tipo D, con corto período natural de vibración (figuras 11 y 12).

Definitivamente no se observaron en ninguno de los tipos de construcción daños estructurales o de enlucimiento por la acción de las ondas sísmicas. Sin embargo, se registran daños ocasionados por el impacto de fragmentos de roca arrojados por las explosiones.

La intensidad establecida para el evento estudiado corresponde al grado I en la escala de Mercalli.

Es importante anotar que en las construcciones ubicadas sobre la margen sur del río Aguacatal, sobre laderas con pendiente fuerte, presentan un mayor período natural, que genera una leve amplificación y ligero aumento en la intensidad, pero en ningún caso origina daños estructurales.

Las construcciones pertenecientes a la cantera (talleres, oficinas, etc.) son tipo B y no enseñan ninguna clase de daños.

La onda de choque originada por la energía que viaja por el aire se ve atenuada por la presencia de una barrera natural de roca remanente de la explotación de la cantera que le da su forma cerrada, separada de la zona residencial por una pared y sirve también de pantalla para el ruido y el polvo.

3.5. CANTERA EL CHOCHO

3.5.1. Descripción. Está localizada sobre la margen derecha de la vía que conduce a Montebello, en el flanco oeste del cerro de las Tres Cruces, a orillas de la quebrada El Chocho (Figura 13).

Litológicamente está constituida por lavas almohadilladas en paquetes intercalados irregularmente con diabasas de grano medio y algunas de grano fino, similares a basaltos; e intercalados cuerpos delgaditos de Chert negro. Espesores entre 5 - 12 m de roca meteorizada (Saprolito o roca muerta) se presentan a partir de las diabasas (figuras 14 y 15).

El fracturamiento y dureza del macizo rocoso son muy altas. Las tendencias de fracturamiento más importantes son: N10-20 W/60-80 NE, N45-55 W/40-50 SW, N25-40 E/50-70 SE, N60-80 W/20-30 SW, N10-20 E/60-80 NW, con desplazamientos variables y algunos muy pequeños.

Como estructura importante se observan unas pequeñas fallas de orientación N35-60W, de tipo normal (Sánchez, Vargas, 1990) (Ver Figura 13).

El diaclasamiento también es muy alto, con predominio de las siguientes familias, con variaciones según el sector de la cantera: N5-15W/75-85 SW, N40-55W/75-85 SW, N30-40W/80-90 NW, N50-60W/70-80 NE, N20-30E/70-90 SE, N5-20/60-80 NW y N5-15E/65-80 NW.

GRADO DE INTENSIDAD	CALIFICACION	DESCRIPCION DE LOS EFECTOS
I	Despreciable	Sólo detectado por instrumentos .
II	Sensible	Sentido por gente en reposo o muy sensible. Oscilaciones pequeñas de objetos colgados.
III	Ligero	Vibraciones muy pequeñas. Oscilan objetos colgados.
IV	Moderado	Sentidos en interiores. Ruidos por adornos, cristales y vajillas. Movimientos de puertas y ventanas.
V	Algo fuerte	La mayoría lo siente; aun en el exterior, se mueve la superficie de los líquidos, oscilación de puertas y cuadros. Daños menores.
VI	Fuerte	Sentido por todos, vacilación de las personas en movimiento. Daños en estructuras sin construcción sismo-resistente.
VII	Muy fuerte	Difícil tenerse en pie. Daños en construcciones de calidad; agrietamientos y daños graves en muros de adobe y tierra.
VIII	Destructor	Graves daños en construcciones de calidad, pero no en sismo-resistente. Derrumbamientos parciales.
IX	Ruinoso	Graves daños en construcción de calidad, aun en algunas sismo-resistentes. Destrucción de muros de adobe. Derrumbes totales o parciales de construcciones No sismo-resistentes.
X	Desastroso	Sólo construcciones de diseño sismo-resistente sobreviven.
XI	Desastres	Pánico general. Destrucción casi total. Grietas en el terreno.
XII	Catastrófico	Destrucción total.

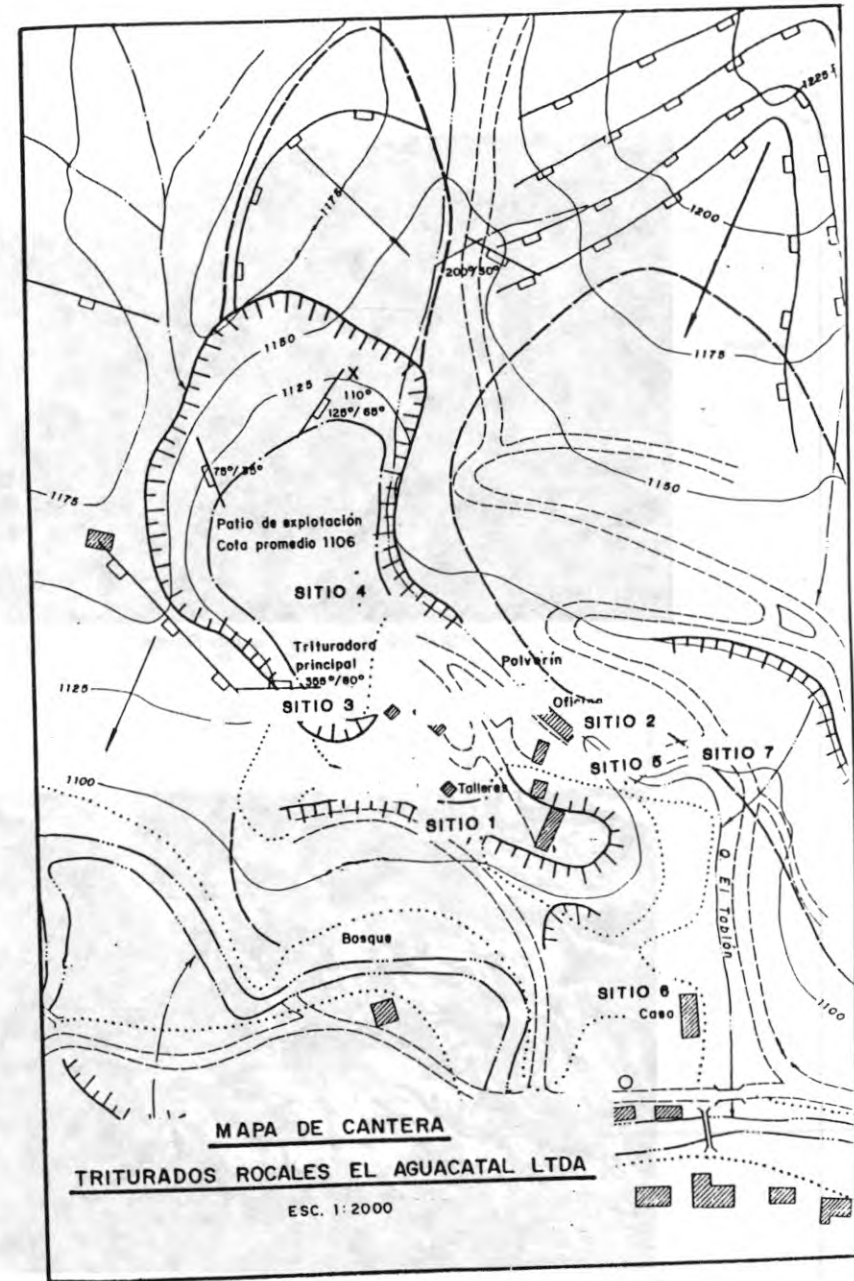




FIGURA 9. Vista de la Cantera Rocales.

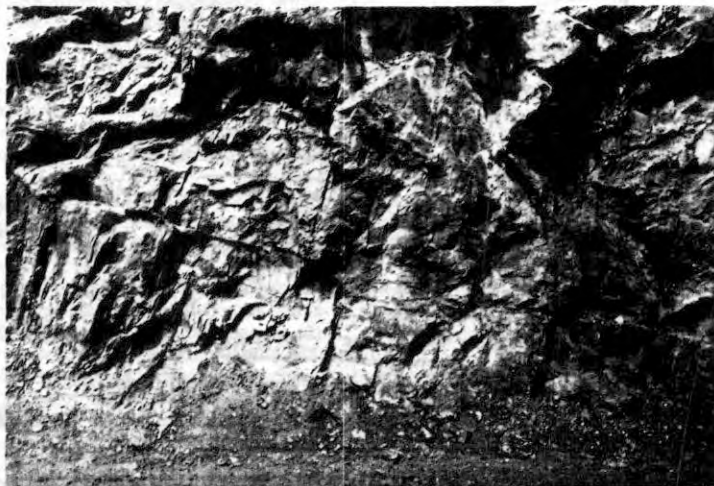


FIGURA 10. Detalle del grado de fracturamiento diaclasamiento del macizo rocoso de la Cantera Rocales.

La cantera se desarrolla siguiendo el contorno de la ladera, con terrazas de taludes altos y arranque frontal con perforaciones con martillo neumático.

Esta cantera muestra un buen control en la calidad de las quemas y utiliza cantidades de explosivos que no sobrepasan los 50 kg por voladura.

3.5.2. Resultados. Para esta cantera se tomaron registros tanto en su cercanía (en la base y en la parte superior) y en áreas más retiradas sobre las cuales se supone incidencia de la onda sísmica (cerca al Colegio de La Presentación).

Para los registros tomados cerca del foco las aceleraciones calculadas alcanzan 0.13 - 0.34 cm/seg², demasiado pequeñas para generar daños en cualquier tipo de muro o estructura.

Las mediciones ejecutadas en la parte superior de la cantera arrojan aceleraciones entre 0.13 - 0.38 cm/seg² para cargas similares (20 kg promedio), aceleraciones que no producen daño alguno sobre las construcciones cercanas.

Los registros obtenidos en cercanías al Colegio de La Presentación, en la margen opuesta a la cantera y al río El Chocho, fueron muy pequeños. Imposibles de medir manualmente indican una fuerte atenuación de la energía sísmica, presumiblemente debido en su mayor parte a la estructura del macizo rocoso, fallamiento y fracturamiento. Se destaca la falla que controla el río El Chocho.

No son abundantes los asentamientos humanos ubicados cerca a la cantera; las principales se encuentran a distancias entre 0.5 - 1.0 Km.

Algunas pocas viviendas se localizan en cercanías a la cantera y corresponden a construcciones tipo C y D, levantadas sobre roca y en las cuales no se observó ningún daño estructural o del enlucimiento (figuras 16 y 17).

La intensidad observada en estos sitios corresponde a los grados I de la escala de Mercalli para las explosiones más distantes y grado II y I para explosiones en el frente más cercano.

Sobre el Colegio de La Presentación la intensidad es prácticamente nula, pero se presenta gran incidencia del ruido, especialmente por el pistoleo.

Las construcciones pertenecientes a la cantera son tipo B y no enseñan ninguna clase de daño.

La onda de choque que viaja por el aire es fuerte en cercanías a la cantera, pero se reduce considerablemente al cruzar la cuenca del río El Chocho, incidiendo levemente sobre el Colegio de La Presentación y aún más levemente sobre el barrio Terrón

Colorado. La incidencia sobre la zona habitada en la cuenca del Aguacatal es atenuada por la disposición de los frentes de la cantera.

3.6. CANTERA EL DIAMANTE

3.6.1 Descripción. Localizada sobre el flanco SW del cerro de Las Tres Cruces, en el mismo macizo rocoso de la cantera El Chocho (Figura 18).

Está conformada litológicamente por diabasas de grano medio, con delgados espesores de 1 a 3m de roca muerta y suelo (Figura 19).

El fracturamiento del macizo es muy similar al medido en la cantera El Chocho; existe una falla con claro desplazamiento y 30 cm de milonita grafitosa con disposición N20-25/V, a la cual se asocia un fracturamiento muy importante. Las otras disposiciones principales son N60-65W/65-70NE y N70-75W/40-50SV (figuras 20 y 21).

La cantera se desarrolla en forma casi circular, por medio del método de arranque frontal, utilizando martillo neumático, generando taludes muy altos y prácticamente verticales, sin bermas.

Es importante destacar la ubicación de la cantera a media ladera y por encima de la zona habitada.

3.6.2. Resultados. La aceleración obtenida para una detonación de 76 kg oscila entre 0.205-0.38 cm/seg², que no ocasiona daños visibles sobre las construcciones. Para la detonación de 101 kg registrada más retirada de la fuente, la calidad del registro (señal muy pequeña) no permite calcular la aceleración, que debe presentar valores muy bajos.

Se percibe una gran disipación de la energía en el aire, lo que disminuye la acción de la energía sobre el macizo rocoso. También se presenta una notable atenuación debido a la acción estructural del fracturamiento y la falla N20-25E/V que separa la zona de la cantera en sí, la zona de trituración, oficinas y viviendas.

La intensidad en el sitio de registro alcanza el grado II y en las oficinas y zona residencial el I. Se observaron algunos daños estructurales y en el enlucimiento de las viviendas, ocasionados por la calidad de la construcción (tipos D y C), en los materiales empleados y ubicación sobre zonas de pendientes altas y el deficiente manejo de las aguas servidas y de escorrentía. Las fuerzas generadas por las ondas sísmicas de las explosiones (Figura 22) no generan mínimos daños.

Las instalaciones de la trituradora son de tipo B, que no enseñan deterioro ninguno.

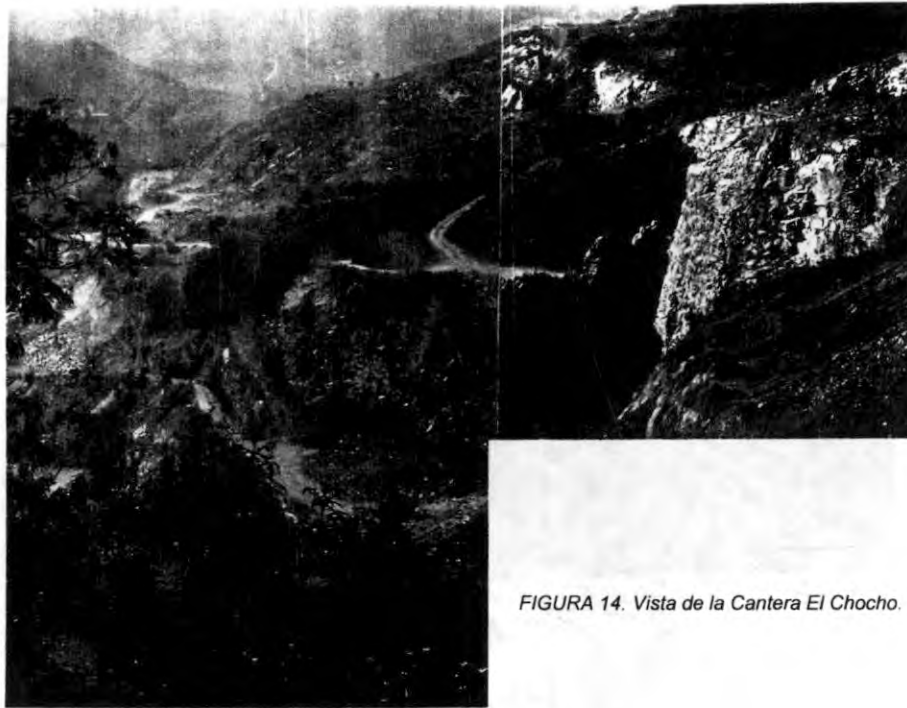


FIGURA 14. Vista de la Cantera El Chocho.



FIGURA 15. Vista de la Cantera El Chocho.

Es importante anotar que la incidencia del ruido es bastante fuerte, mientras que la del polvo es moderada. La caída de fragmentos rocosos sobre las viviendas más cercanas a la cantera es muy ocasional y éstos son de tamaño menor a 3 cm.

Debido a la diferencia de altura entre la cantera y la zona residencial bajo ella, la onda de choque afecta parcialmente las construcciones. Las edificaciones tipo A y D de la cuenca del río Cali reciben una onda de choque leve a moderada, debido a la energía disipada por el medio aire entre la cantera y los edificios.

3.7. CANTERA SARATOGA

3.7.1. Descripción. Está ubicada en el kilómetro 8 de la vía al Mar, en la vertiente derecha del río Aguacatal, debajo de la rasante (cota de la carretera) y las construcciones residenciales del barrio Vista Hermosa (Figura 23).

Enseña una roca diabásica y lavas almohadilladas intercaladas de colores gris claro - verde o azul grisáceo; se observa gran cantidad de venas y localmente se desarrollan minerales serpentiniticos y de falla, lo que disminuye puntualmente la dureza de la diabasa (Figura 24).

El fracturamiento es de moderado a alto, alternando con zonas muy masivas y muy duras. En general su tendencia principal es N20- 25E/40-60 SE y se asocian algunas pequeñas zonas de cizalla. Otras tendencias importantes del fallamiento son N50- 60E/40-60 NW, N15-25WV, N70-80W/75SW-V (Figura 25).

Una falla con tendencia SW-NE/SE es muy notable en la cantera (Figura 26).

Es frecuente el diaclasamiento con tendencias N10-20W/40E, N20- 30W/50SW y N50-60E/30NW.

El laboreo de la cantera se desarrolla por arranque frontal, perforando con martillo neumático, lo cual genera taludes muy altos, casi verticales y sin bermas.

3.7.2. Resultados. Se adelantaron mediciones tanto en la parte superior de la cantera, cercana a la zona de viviendas del Barrio Vista Hermosa, como en su parte inferior y zona de oficinas.

El registro de las aceleraciones fue de 0.088 cm/seg² para la parte superior y de 0.196-0.384 cm/seg² para la parte inferior. La carga de explosivos entre 16 y 23 kg. Los resultados indican que no causan daños a las construcciones. Existe aparentemente una alta atenuación de las ondas en el sentido vertical. Esta atenuación se puede dar debido a la acción de

las estructuras geológicas del macizo y sobre todo por la dirección de propagación de la onda.

La intensidad en los sitios de registro sólo alcanza grado I ó II para las cargas utilizadas en las voladuras medidas.

Las construcciones inspeccionadas en cercanías a la cantera son de tipo B y C; y algunas de ellas con más de dos pisos y columnas ancladas en roca fresca. Otras edificaciones pequeñas y de menor período natural de vibración están construidas sin cimentación adecuada sobre roca o sobre materiales no consolidados.

La pendiente dominante del terreno y el inadecuado manejo de las aguas servidas y de escorrentía hace que se muevan ladera abajo (figuras 27 y 28).

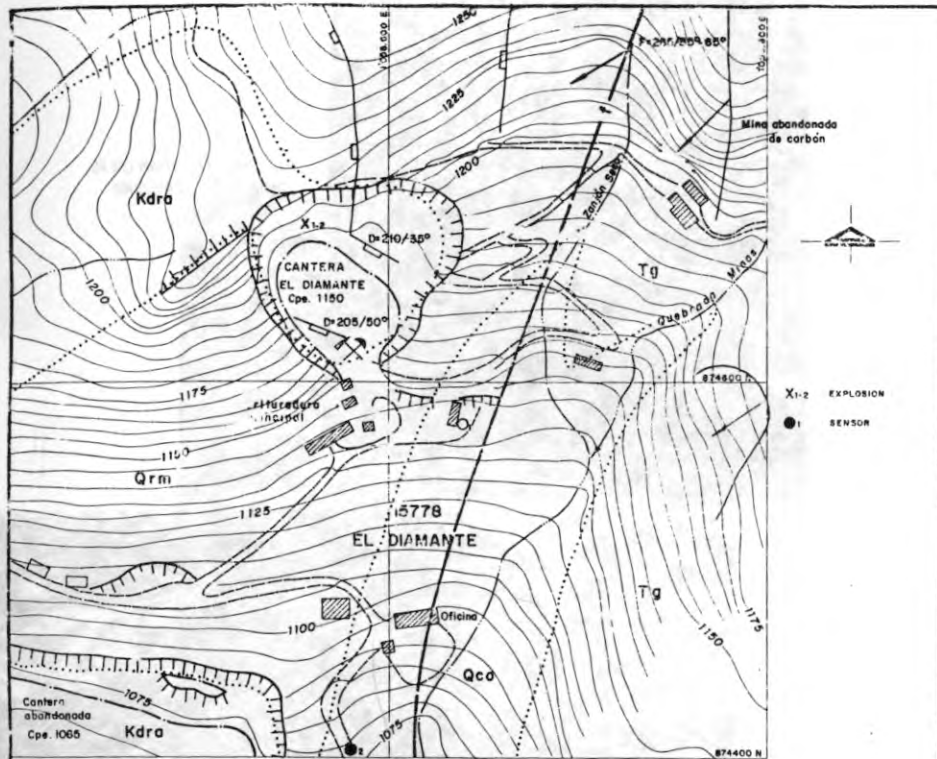
Algunas construcciones muestran daños en el pañete o repello en la parte superior e inferior de los muros (figura 29 a y b) en forma de grietas superficiales y horizontales ligeramente abiertas. Se observaron hundimientos y agrietamientos de andenes, pisos y muros debido a la construcción sobre suelos mal o pobremente compactados o cimentaciones inadecuadas.

No se observaron daños en columnas ni estructuras de techos. Las edificaciones de la trituradora no presentaron ningún tipo de daño.

Sobre las viviendas ubicadas en cercanías a la cantera, en la margen izquierda de la vía Cali - Buenaventura, el efecto de fragmentos de roca sobre tejados, ventanas y puertas parece corresponde en ocasiones a los arrojados por las explosiones de la cantera, mientras que algunos otros (puertas y ventanas del primer piso) también tienen origen en fragmentos impulsados por los vehículos que transitan por la vía. Para las piedras arrojadas por las detonaciones ya se han tomado soluciones eficientes.

El impacto de la onda de choque que viaja por el aire es reducido, debido a que la dirección del frente de la onda no apunta hacia la zona de Vista Hermosa. Los niveles de ruido de las voladuras que afectan esta zona son altos y la onda sónica alcanza frecuencias que hacen vibrar los ventanales en el momento de la explosión.

Se debe tener en cuenta que el constante y denso tráfico automotor, liviano y pesado, por la carretera Cali-Buenaventura, produce una permanente sumatoria de frecuencias de las ondas sísmicas y sónicas. Esta la razón de que el ruido sísmico registrado en los sismogramas sea importante y aunque no genera aceleraciones de riesgo, puede, junto con el sonido, afectar los elementos de enlucimiento y ventanales que se aflojan rápidamente.



MAPA DE CANTERA TRITURADORA EL DIAMANTE

ESC. 1:2000

CONVENCIONES GEOLOGICAS

Qco	Coluvial. Depósito coluvial de la Cuadrada Mines.	Contacto geológico.
Qrm	Roca muerta. Zona de meteorización intensa de la roca diabásica (Kdra).		Diabásicos principales discontinuos y buzamiento en grados.
Tg	Tartrario. Fm. Sudoeste. Areniscas y arcillitas con bancas sec. de carbón.		Sistema fundamental de dislocamiento y buzamiento en grados.
Kdra	Roca Asal. Cretácico del Grupo Diabásico. Roca fracturada, no meteorizada.		Falla geológica, indicando buzamiento en grados.
			Escarpa fotogeológica, en roca sedimentaria Tg.
			Cantenas de explotación minera a -Escarpe de talud b -Palo de talud.

3.8. CANTERA INDUCON

3.8.1. Descripción. Ubicada a 600 m de la intersección de la Autopista Oriental con la antigua carretera Cali-Yumbo.

El material de la cantera lo conforman diabasas de grano medio, algunas de grano fino con intercalaciones menores de lavas almohadilladas, suprayacidas por un depósito coluvial (Figura 30).

El fracturamiento, al contrario de otras canteras, es de moderado a bajo con disposiciones principales en N30-45W/20-40SW, N15-30E/70 SE (Figura 31).

La cantera se desarrolla por arranque frontal en terrazas y frentes de taludes altos, y se perfora con vagón (track drill) y martillo neumático.

3.8.2. Resultados. El registro para una carga de 22 kg de superanfo se vio cubierto por el ruido sísmico generado por el paso de un vehículo, junto al sensor, en el momento de la explosión.

La aceleración calculada para este evento está entre 0.145 y 0.275 cm/seg², muy pequeña comparada con el valor más cercano que establece el C.C.S.R. de 245.25 cm/seg². El valor registrado no produce daños en las construcciones cercanas. Las edificaciones de Inducón corresponden a un tipo C, sin ningún deterioro por causa de la sismicidad (Figura 32).

El ruido y la onda de choque son fuertes, aunque sobre la zona residencial, ubicada aproximadamente a 400 m de la cantera, su incidencia es mucho menor que en las oficinas y no produce ningún daño.

Se debe tener en cuenta la seguridad dentro de la cantera, especialmente para hacer cumplir las restricciones de circulación de vehículos.

3.9. CANTERA CACHIBI

3.9.1. Descripción. Ubicada a tres kilómetros de la intersección de la Autopista Oriental con la antigua vía Cali-Yumbo, sobre el margen oeste, frente a las instalaciones de la General Electric (Figura 33).

La cantera litológicamente enseña diabasas de grano medio y un importante paquete de lavas almohadilladas en el frente sur sobre las partes altas (frente abandonado). El espesor de la roca meteorizada-roca muerta (saprolito) varía entre 5-10 m; es muy importante la aparición continua de serpentina. Estas rocas están en contacto al NE con rocas sedimentarias de la formación Guachinte (Figura 34).

La densidad de fracturamiento es de moderada a alta y disposiciones preferenciales N50-70W/50-80SW-V, N70-80E/V, N50-60E/60-80SE. Aparece

una pequeña zona de falla con relleno de milonita en 20 cm, franja de influencia de 3 m y disposición N50-60E/75NW-V.

El diaclasamiento enseña como tendencias principales en las lavas almohadilladas, sector sur N60-70E/65-75NW, N10-20W/50-60SE, N5-20E/50-70SE, N5-20W/60-70SW, N65-80E/70-80NW, N50-60W/40-50SW y en las diabasas, N60-70W/40-50SW, N15-25E/V, N30-40W/10NE y N50-60E/55-80SE (Figura 35). La cantera se desarrolla semicircularmente con el frente de explotación al Norte, mediante el método de terraceo, y con vagón perforador (track drill).

3.9.2. Resultados. En esta cantera se registró la mayor explosión con una carga de 500 kg. Se calculó una aceleración baja entre 0.060 y 0.112 cm/seg². Aparece una gran atenuación producto de una alta disipación de la energía en el aire, la acción del fracturamiento o principalmente las fallas N50-60E/75NW-, que cortan la zona de la cantera casi transversalmente. La dirección del frente de onda introdujo la mayor cantidad de energía en el macizo del frente de explotación y no en dirección a la zona donde se colocó el sensor (zona de oficinas). También se debe considerar la buena calidad de la quema efectuada con detonador con microrretardos.

La intensidad del movimiento fue grado I, con ruido y caída de piedras de gran tamaño cerca a las oficinas (15 cm).

Las construcciones de la trituradora (Tipo B y A) no presentan ningún tipo de daño atribuible a la acción sísmica inducida por las explosiones (Figura 36).

4. CONCLUSIONES GENERALES

Del análisis y evaluación de las investigaciones y mediciones realizadas en desarrollo del presente estudio en las diferentes canteras asociadas a Proargados, se puede concluir:

1. El uso de agentes de voladura para desprender la roca en ninguna de las zonas de su influencia ocasiona sismicidad.
2. El ruido ocasionado por los agentes de voladura, que se estudia por aparte y en detalle, tampoco produce ningún efecto dañino sobre las construcciones.
3. Otras consideraciones y recomendaciones son de tipo operacional que pueden influir en lograr una mayor eficiencia en las labores de esta actividad minera.



FIGURA 16. Construcción tipo C en la zona de influencia de la Cantera El Chocho.



FIGURA 17. Construcción tipo C y D en la zona de influencia de la Cantera El Chocho.

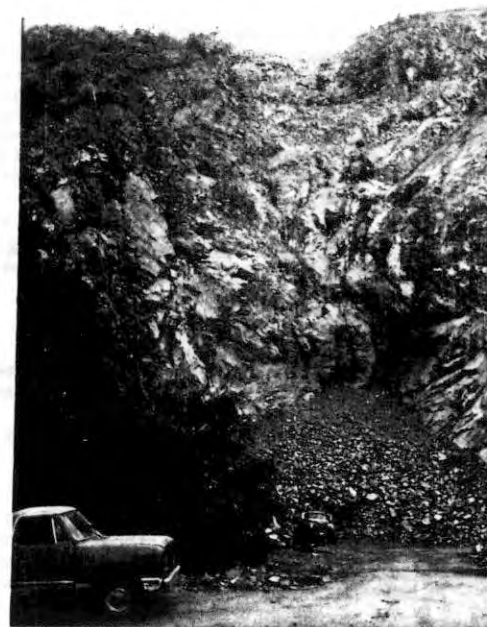


FIGURA 18. Vista de la Cantera El Diamante.



FIGURA 20. Detalle de una pequeña falla de la Cantera El Diamante



FIGURA 21. Detalle del grado de fracturamiento, diaclasamiento del macizo rocoso de la Cantera El Diamante



FIGURA 22. Construcción tipo C y D en la zona de influencia de la Cantera El Diamante.

P

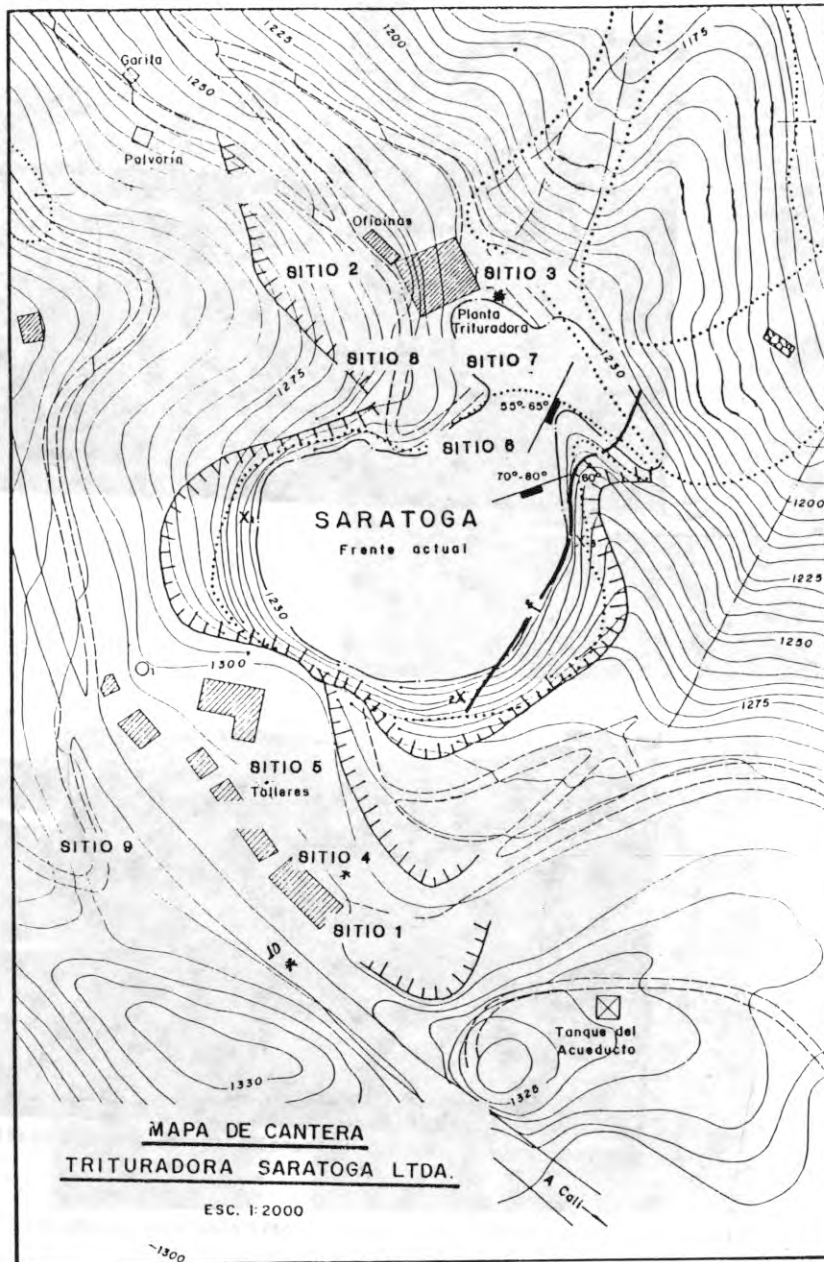


FIGURA 24. Vista de la Cantera Saratoga.



FIGURA 25. Detalle del grado de fracturamiento, diaclasamiento del macizo rocoso de la Cantera Saratoga.



FIGURA 26. Falla en la Cantera Saratoga.

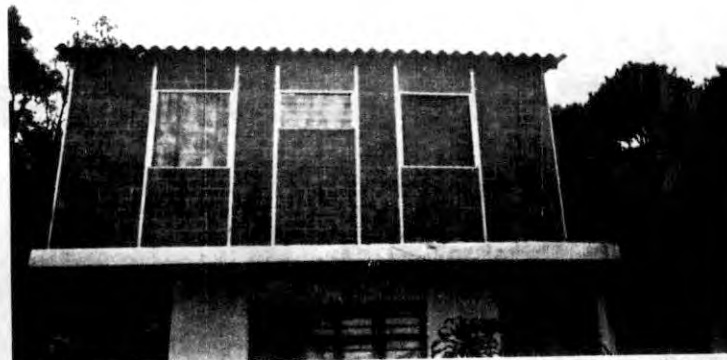


FIGURA 27. Construcción tipo C, en la zona de influencia de la Cantera Saratoga.



FIGURA 28. Construcción tipo B, en la zona de influencia de la Cantera Saratoga. Detalle de una columna anclada en roca fresca.

P

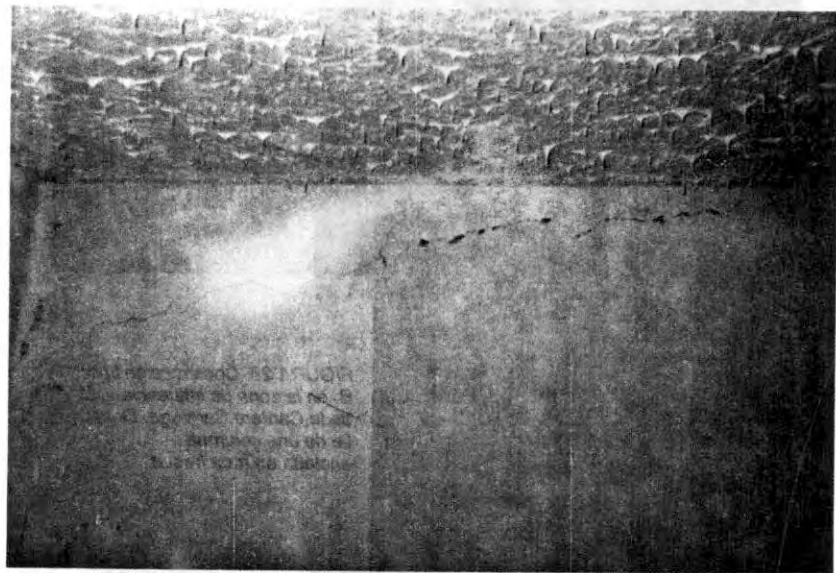
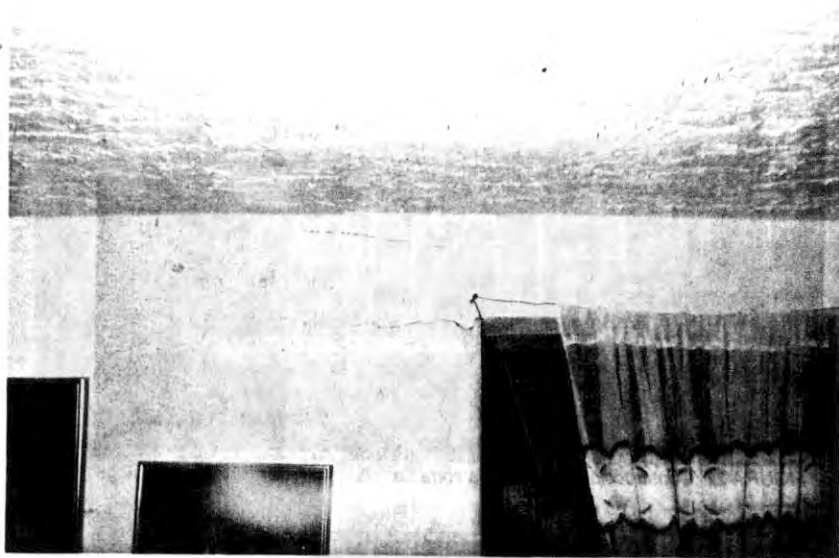


FIGURA 29a y 29b. Daño en pañetes, con grietas subhorizontales poco abiertas y poco profundas.



FIGURA 30. Vista de la Cantera Inducón.

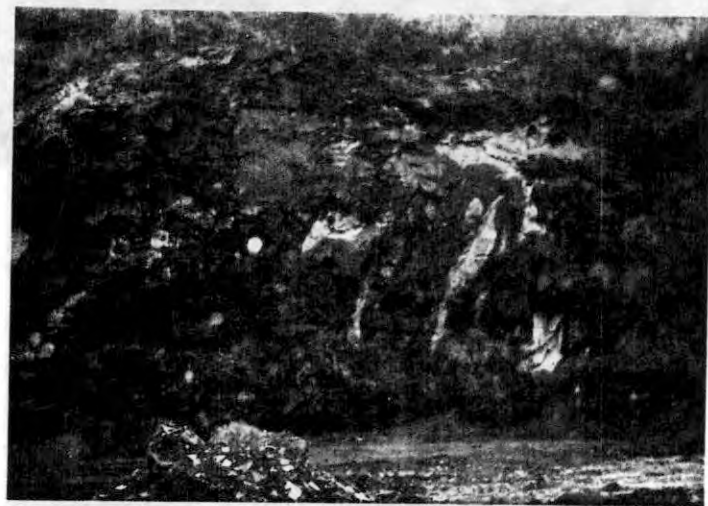
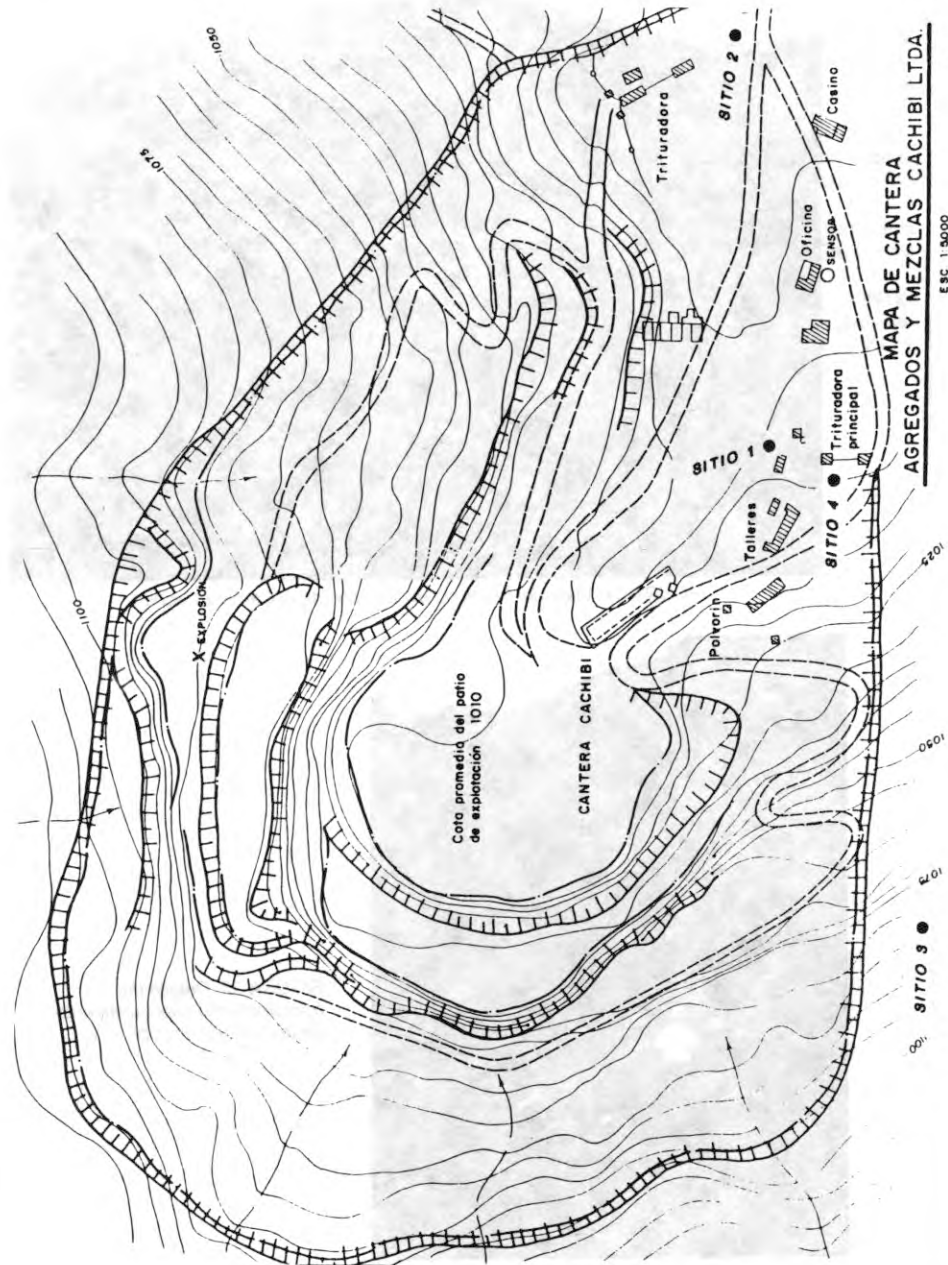


FIGURA 31. Detalle de fracturamiento, diaclasamiento de la Cantera Inducón.



FIGURA 32. Estado actual de las oficinas de la Trituradora Inducón, construcción tipo C y D.



MAPA DE CANTERA CACHIBI
AGREGADOS Y MEZCLAS CACHIBI LTDA.

ESC 1:3000



FIGURA 34. Vista del frente de explotación de la Cantera Cachibi.

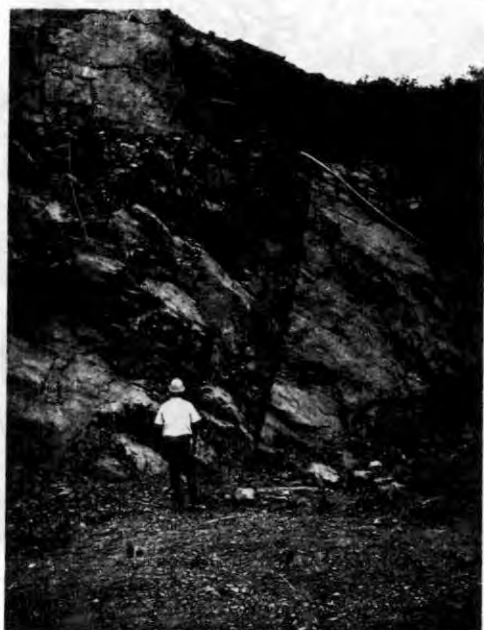


FIGURA 35. Detalle del fracturamiento, diaclasamiento de la Cantera Cachibi.



FIGURA 36. Construcción tipo A-B de las oficinas de la Trituradora Cachibi en buen estado.

VIBRACIONES INDUCIDAS - INDUSTRIA MINERA (1)

La Oficina de Minería Superficial de los EE.UU. ha desarrollado los parámetros que a continuación se detallan y que permiten establecer la carga máxima de un agente de voladura que sin riesgo para una estructura puede detonarse cerca de la misma. Al desarrollar estos parámetros no sólo se tuvo en cuenta la distancia del punto de la detonación a la estructura afectada por las vibraciones inducidas provenientes de la detonación sino que también se tuvo en cuenta la repetitividad con que se producen las vibraciones cuando la estructura está cerca a una explotación minera activa.

OFICINA DE MINERIA SUPERFICIAL LIMITES DE VIBRACIONES INDUCIDAS

Distancia del punto donde se realiza la detonación (d) -en pies-	Velocidad Máxima de Vibración Inducida Permitida (V) -pulg/seg-	Factor de Distancia a utilizar si no se mide la vibración con un sismógrafo (F)
0-300	1.25	50
301-5000	1.00	55
más de 50001	0.75	65

En la eventualidad de que se cuente con un sismógrafo se utilizará la Velocidad Máxima de Vibración Inducida Permitida (V) para calcular la carga máxima a detonar puesto que al estar midiendo y controlando los efectos sísmicos de la detonación se puede trabajar con estos valores, que son los máximos permitidos, para luego compararlos con las mediciones sísmicas de campo y hacer los ajustes necesarios si es que se presentan variaciones significativas entre lo calculado y lo medido por el sismógrafo.

Para calcular la carga máxima a detonar se utiliza la siguiente expresión:

$$w = d^2 (V/100)^{1.25}$$

Donde:

V = Velocidad Máxima de Vibración Inducida Permitida.

d = Distancia entre el punto de la detonación y la estructura afectada.

w = La máxima carga explosiva que se permite detonar (lbs) por microrretardo; 8 milisegundos mínimo entre microrretardo.

Si la cantidad total de agente de voladura que se proyecta utilizar excede la carga máxima permitida por la anterior fórmula se permite la utilización de microrretardos de tal manera que cada microrretardo inicia una cantidad de agente de voladura menor que el permitido por la fórmula.

Para calcular la carga máxima a detonar por microrretardo espaciado a un mínimo de 8 milisegundos y no contamos con un sismógrafo la Oficina de Minería Superficial exige la utilización de la siguiente expresión:

$$w = (d/F)^2$$

(1) Tomado de SURFACE BLAST DESIGN, Konya, Calvin y Walter, Edward, Prentice Hall, 1990, pgs. 47 y 252.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASPEND J.A.. 1984. The Geology of the Western Cordillera and Pacific Coastal Plain in the department of Valle del Cauca. Ingeominas. Informe 1959. Cali - Colombia.
- DU PONT. Let's reduce the noise from blasting. Noise and Vibration from Blasting.
- INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL DE ESPAÑA. 1986. Monografías - Registros sísmicos. Madrid - España
- PARIS G. 1992. Mapa geológico generalizado del departamento del Valle del Cauca. Cartilla explicativa. Ingeominas. Bogotá - Colombia.
- SANCHEZ R. y VARGAS J.E. 1990. Propuestas de mejoramiento de la explotación minera y de rehabilitación ambiental de las canteras de los cerros tutelares en los municipios de Cali y

- Yumbo. Práctica Industrial. Universidad de Caldas - C.V.C. - Proagregados. Cali- Colombia.
- SARRIA A. 1990. Ingeniería Sísmica. Ediciones Uniandes. Bogotá - Colombia.
- SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS. 1987. Código Colombiano de Construcciones Sismo-resistentes. 3ra. edición, Bogotá - Colombia.
- W.F. SPRENGNETHER. INST. CO. INC. Instruction Manual. Portable Seismic System, Saint Louis - U.S.A.
- WOODWARD CLYDE CONSULTANTS. INTEGRAL - PLANES, 1983. Seismic hazard evaluation, Calima III projet. Colombia. C.V.C. - Cali Colombia.

ANÁLISIS DE SISMOGRAMAS

CANTERA	UBICACION DEL SENSOR	ANGULO R-F	DISTANCIA R-F HORIZONTAL (m)	EXPLOSION SISMO			EXFUSIVO Kg/Typo	FILTROS (Hz)	GANANCIA	FRECUENCIA SENSIBILIDAD (tonseg)		AMPLITUD CERCA (µ)	DURACION (seg)	ACCELERACION (tonseg)		INTENSIDADES (OBSERVACIONES)	OBSERVACIONES					
				D	M	A				H	M			1	2			1	2			
EL CHOCHO	Tirque de gasolina taller, toza de cemento	N0E	250	15	03	03	05	12	20/Superante	out	out	66 Db	20	40	6000	3200	2.10 cm	6.0 seg	0.170	0.336	No se sintió movimiento (Ruido fuerte)	Con reestratados
				15	03	03	05	17	18/Superante	out	out	66 Db	20	40	6000	3200	1.60 cm	4.5 seg	0.130	0.256	No se sintió movimiento (Ruido fuerte)	Con reestratados
				15	03	03	05	55	16/Superante	out	out	66 Db	20	40	6000	3200	1.50 cm	1.5 seg	0.128	0.240	No se sintió movimiento (Ruido fuerte)	Con reestratados
				15	03	03	06	11	23/Superante	out	out	66 Db	20	40	6000	3200	2.38 cm	3.7 seg	0.203	0.381	No se sintió movimiento (Ruido fuerte)	Con reestratados
EL CHOCHO	Cota 1125 en roca	N15W	300	15	03	03	06	11	18/Superante	out	out	66 Db	20	40	6000	3200	1.90 cm	4.0 seg	0.162	0.304	No se sintió movimiento (Ruido fuerte) (No se observó vibración en las 5 sismos en el interior de la casa)	Con reestratados
				17	03	03	03	36	16/Superante	out	10Hz	66 Db	40	40	6000	3200	0.55 cm	4.0 seg	0.086	0.086	Ligera sensación de movimiento, poppen, circular al suelo (registro 100 m por encima del sitio de guerra). Registro pequeño.	Con reestratados
SARATOGA	Tiradores 1275	N2E N17W	120 160	17	03	03	04	54	17/Superante	out	out	66 Db	20	40	6000	3200	2.30 cm	8.5 seg	0.196	0.366	97 Db	Con reestratados
				17	03	03	04	56	23/Superante	out	out	66 Db	20	40	6000	3200	2.40 cm	7.0 seg	0.205	0.384	100 Db	Con reestratados
EL DIAMANTE	Tiradora 1135	N33W	110	18	03	03	02	32	7/Superante	out	out	66 Db	20	40	6000	3200	2.40 cm	22.5 seg	0.205	0.384	Ligera sensación de movimiento: mucho polvo y fragmentos de roca	Con reestratados
				18	03	03	05	19	21/Superante	out	10Hz	66 Db	20	40	6000	3200	0.40 cm	1.0 seg	0.440	0.880	Registros muy pequeños, sin efectos ni sensación de movimientos (Ruidos Fuertes)	Con reestratados
EL CHOCHO	Pantón ubicada a 300 - 400 m al NE de la casa de la Prensadora sobre roca	N33E N17W N4W N17W	800 900 700 900	19	03	03	05	19	21/Superante	out	10Hz	66 Db	20	40	6000	3200	2.40 cm	1.0 seg	0.440	0.880	Registros muy pequeños, sin efectos ni sensación de movimientos (Ruidos Fuertes)	Con reestratados
				19	03	03	05	26	26/Superante	out	10Hz	66 Db	20	40	6000	3200	0.15 cm	1.0 seg	0.150	0.300	Registros muy pequeños, sin efectos ni sensación de movimientos (Ruidos Fuertes)	Con reestratados
CACHIBI	Oficinas Refinerio delg.	N33W	340	25	03	03	05	35	600/Duante	out	10Hz	66 Db	20	40	6000	3200	0.70 cm	11.5 seg	0.060	0.112	No se sintió movimiento (Ruido fuerte y caída de piedras muy lepis)	Con reestratados
				29	03	03	05	40	46/Superante	out	10Hz	66 Db	20	40	6000	3200	2.46 cm	12.0 seg	0.206	0.392	No se sintió movimiento (Ruido fuerte y caída de piedras cerca a construcciones)	Con reestratados
ROCALES	Cuerpo al lado de las casas de Aguacatal sobre roca	M2W	340	29	03	03	05	40	46/Superante	out	10Hz	66 Db	20	40	6000	3200	2.46 cm	12.0 seg	0.206	0.392	No se sintió movimiento (Ruido fuerte y caída de piedras cerca a construcciones)	Con reestratados
				29	03	03	05	40	46/Superante	out	10Hz	66 Db	20	40	6000	3200	2.46 cm	12.0 seg	0.206	0.392	No se sintió movimiento (Ruido fuerte y caída de piedras cerca a construcciones)	Con reestratados
INDUCON DIAMANTE	Oficinas Casas sobre roca	N50W N-S	120 350	20	05	03	12	25	22/Superante	out	out	66 Db	20	40	6000	3200	1.70 cm	10.0 seg	0.145	0.272	No se sintió movimiento (Ruido fuerte, y caída de rocas menores a 2 cm a 120 m)	Con reestratados
				17	05	03	06	31	10/Superante	out	5Hz	66 Db	20	40	6000	3200	0.50 cm	8.0 seg	0.145	0.272	No se sintió movimiento del terreno. Vibración de puertas y ventanas leve	Con reestratados

ANEXO 1 RESUMEN DE RESULTADOS

Estudio de Ruido en las canteras asociadas a PROAGREGADOS





INDICE

	Página
INTRODUCCION	61
1. OBJETIVOS	61
2. EMPRESAS ESTUDIADAS	61
2.1. AGREGADOS Y MEZCLAS CACHIBI S.A.	61
2.2. TRITURADOS EL CHOCHO & CIA. LTDA.	61
2.3. TRITURADORA EL DIAMANTE LTDA.	61
2.4. INDUSTRIAS DE CONCRETO "INDUCON"	62
2.5. ROCALES EL AGUACATAL LTDA.	62
2.6. TRITURADORA SARATOGA LTDA.	62
3. DEFINICIONES	62
3.1. SONIDO	62
3.2. RUIDO	62
3.3. TIPOS DE RUIDO	62
3.3.1. Ruido continuo	62
3.3.2. Ruido de impacto	62
3.4. CONTAMINACION POR RUIDO	63
3.5. PERIODO DIURNO	63
3.6. PERIODO NOCTURNO	63
3.7. PREDIOS ORIGEN DE RUIDO	63
3.8. PUNTO DE EMISION	63
3.9. DECIBEL	63
4. MARCO LEGAL	64
5. METODOLOGIA	64
5.1. ESTRATEGIA PARA EL MUESTREO	64
5.2. FUENTES DE RUIDO	64
5.3. SITIOS DE MUESTREO	64
5.4. HORARIO DE MUESTREO	64
5.5. EQUIPO UTILIZADO	64
6. RESULTADOS DE LAS EVALUACIONES	64
6.1. AGREGADOS Y MEZCLAS CACHIBI S.A.	64



	Página
6.1.1. EVALUACION DE RUIDO DE IMPACTO- IMPULSO.....	64
6.1.2. EVALUACION DE RUIDO CONTINUO.....	65
6.2. INDUSTRIAS DE CONCRETO " INDUCON ".....	67
6.2.1. EVALUACION DE RUIDO DE IMPACTO - IMPULSO.....	67
6.2.2. EVALUACION DE RUIDO CONTINUO.....	67
6.3. TRITURADORA SARATOGA LTDA.....	69
6.3.1. EVALUACION DE RUIDO DE IMPACTO IMPULSO.....	69
6.3.2. EVALUACION DE RUIDO CONTINUO.....	69
6.4. ROCALES EL AGUACATAL LTDA.....	71
6.4.1. EVALUACION DE RUIDO DE IMPACTO IMPULSO.....	71
6.4.2. EVALUACION DE RUIDO CONTINUO.....	71
6.5. TRITURADORA EL DIAMANTE LTDA.....	73
6.5.1. EVALUACION DE RUIDO DE IMPACTO IMPULSO.....	73
6.5.2. EVALUACION DE RUIDO CONTINUO.....	73
6.6. TRITURADOS EL CHOCHO Y CIA. LTDA.....	75
6.6.1. RUIDO DE IMPACTO.....	75
6.6.2. RUIDO CONTINUO.....	75
7. CONCLUSIONES.....	77
8. RECOMENDACIONES.....	77
ANEXOS	
1. Glosario	

INTRODUCCION

"PROAGREGADOS" y sus empresas asociadas, productoras de agregados pétreos para la construcción, adelantan una valoración de sus procesos de producción para establecer si es necesario formular un plan adicional de control ambiental que les garantice operar industrialmente minimizando su acción sobre el medio.

En desarrollo de esa política y como uno de los temas fundamentales se realizó el estudio que se presenta en este informe sobre la evaluación de los ruidos ambientales y de impacto que origina su actividad minera.

Se inició con un diagnóstico sobre el terreno para ubicar en cada trituradora las fuentes emisoras de ruidos. Posteriormente se seleccionaron los puntos y frecuencias para que el muestreo fuera representativo de la realidad y se efectuaron las mediciones de campo.

El marco teórico, metodología y resultados de esta investigación se describen en los siguientes capítulos.

1. OBJETIVOS

Los objetivos técnicos del estudio son:

1. Identificar las fuentes de ruido en el proceso minero de explotación de canteras y producción de agregados.
2. Definir los tipos o clases de ruidos
3. Evaluar el nivel de ruido en el entorno de cada trituradora.
4. Comparar los resultados con las normas nacionales e internacionales.
5. Recomendar, en los casos necesarios, los correctivos para minimizar el efecto del ruido en las propias instalaciones y el vecindario.

2. EMPRESAS ESTUDIADAS

Las siguientes son las empresas estudiadas como fuentes de ruido.

2.1. AGREGADOS Y MEZCLAS CACHIBI S.A.

2.1.1. Dirección

La planta de producción y sus dependencias administrativas están ubicadas en el kilómetro 4 de la vía Cali-Yumbo.

2.1.2. Objetivo comercial

El objetivo comercial de la empresa es la producción de agregados para la construcción y mezclas asfálticas.

2.1.3. Situación de la industria

Según el Departamento de Planeación Municipal de Yumbo se encuentra ubicada en zona de actividad de canteras.

2.1.4. Área de la industria

El área total de la industria es de 212.226,6 m².

2.1.5. Número de empleados

Cuenta con 63 operarios en producción y 15 empleados en administración.

2.1.6. Horario de funcionamiento

La producción se realiza durante 25 días/mes, 10 horas al día

2.2. TRITURADOS EL CHOCHO & CIA. LTDA.

2.2.1. Dirección

La planta de producción y sus dependencias administrativas están ubicadas en la zona de "El Chocho" en la ciudad de Cali.

2.2.2. Objetivo comercial

El objeto comercial de la empresa es la producción de agregados para la construcción.

2.2.3. Situación de la industria

Según la zonificación de la ciudad por el Departamento de Planeación Municipal de Cali se encuentra ubicada en zona de actividad de minas y canteras.

2.2.4. Área de la industria

El área total de la industria es de 120 hectáreas.

2.2.5. Número de empleados

Se cuenta con 80 operarios en producción y 12 empleados en la administración.

2.2.6. Horario de funcionamiento

La producción se realiza durante 25 días/mes, 10 horas al día.

2.3. TRITURADORA EL DIAMANTE LTDA.

2.3.1. Dirección

La planta de producción y dependencias administrativas están ubicadas en la zona alta del Bajo Aguacatal, en la ciudad de Cali.

2.3.2. Objetivo comercial

El objetivo comercial de la Empresa es la producción de agregados para la construcción.

2.3.3. Situación de la industria

Se encuentra ubicada en zona de actividad de minas y canteras, según el Departamento de Planeación Municipal de Cali.

2.3.4. Área de la industria

El área total de la industria es de ocho hectáreas.

2.3.5. Número de empleados

Son 25 operarios en producción y cuatro empleados en administración.

2.3.6. Horario de funcionamiento

La producción se realiza durante 25 días/mes, 10 horas al día.

2.4. INDUSTRIAS DE CONCRETO "INDUCON"

2.4.1. Dirección

La planta de producción y dependencias administrativas están ubicadas en el kilómetro 6 de la antigua vía Cali-Yumbo (Menga).

2.4.2. Objetivo comercial

El objetivo comercial de la Empresa es la producción de agregados para la construcción.

2.4.3. Situación de la industria

Está ubicada en zona de actividad de canteras, según el Departamento de Planeación Municipal de Yumbo.

2.4.4. Área de la industria

El área de explotación es de 24.000 m² aproximadamente.

2.4.5. Número de empleados

Son 15 operarios en producción y cuatro empleados en la administración.

2.4.6. Horario de funcionamiento

La producción se realiza durante 25 días/mes, 10 horas al día.

2.5. ROCALES EL AGUACATAL LTDA.

2.5.1. Dirección

La planta de producción y las dependencias administrativas están ubicadas en la zona del Bajo Aguacatal, en la ciudad de Cali.

2.5.2. Objetivo comercial

El objetivo comercial de la Empresa es la producción de agregados para la construcción.

2.5.3. Situación de la industria

Esta ubicada en zona de explotación de minas y canteras, definida por el Departamento de Planeación Municipal de Cali.

2.5.4. Área de la industria

El área total de la industria es de 5.5 hectáreas.

2.5.5. Número de empleados

Se cuenta con 18 operarios en producción y cuatro empleados en la administración.

2.5.6. Horario de funcionamiento

La producción se realiza durante 25 días/mes, ocho horas al día.

2.6. TRITURADORA SARATOGA LTDA.

2.6.1. Dirección

La planta de producción está ubicada en el kilómetro 8 de la vía al mar. Las dependencias administrati-

vas se encuentran en la calle 3ª No. 42-50, en la ciudad de Cali.

2.6.2. Objetivo comercial

El objetivo comercial de la Empresa es la producción de agregados para la construcción.

2.6.3. Situación de la industria

Se encuentra ubicada en zona de actividad de canteras, según el Departamento de Planeación Municipal.

2.6.4. Área de la industria

La industria cuenta con un área de 84 Ha y 4.869 m².

2.6.5. Número de empleados

Tiene 38 operarios en producción y 11 empleados en la administración.

2.6.6. Horario de funcionamiento

La producción se realiza durante 25 días/mes, 12 horas al día.

3. DEFINICIONES

En este capítulo se presentan algunas definiciones de los conceptos utilizados en el estudio.

3.1. SONIDO

Sonido es el tipo de energía que se produce cuando una superficie sólida vibra e imprime a las partículas del medio que la rodea, desplazamientos que dan lugar a ondas de presión sensibles por el oído humano.

3.2. RUIDO

Sonido no deseado, que percibido por el oído humano causa malestar, fatiga o interferencia a la percepción o recepción de otros sonidos.

3.3. TIPOS DE RUIDO

Los ruidos se pueden clasificar en forma general en continuos e intermitentes o de impacto.

3.3.1. Ruido continuo

En este grupo se incluyen los ruidos que son constantes en el tiempo o presentan pequeñas variaciones. Para nuestro caso se incluyen en este grupo los generados por la actividad de quebrantamiento o fraccionamiento de la roca y la perforación de la misma con equipo neumático.

En sentido más técnico se define como ruido continuo la señal acústica cuyo nivel de intensidad sonora es mayor de 10 pulsos/segundo.

3.3.2. Ruido de impacto

Los ruidos de impacto son instantáneos y sorprendivos para el oído humano, tal como el producido por la acción de los agentes de voladura al desprender la roca en las canteras.

Se consideran ruidos de impacto aquellos que producen una señal acústica de corta duración, causada por una colisión, que al medirse esté por debajo de los 10 pulsos/segundo.

3.4. CONTAMINACION POR RUIDO

Es la emisión de sonidos que pueden afectar adversamente la salud de los seres humanos.

3.5. PERIODO DIURNO

Es el espacio de tiempo comprendido entre las 7.01 a.m. y las 9.00 p.m.

3.6. PERIODO NOCTURNO

Es el espacio de tiempo comprendido entre las 9.01 p.m. y las 7.00 a.m.

3.7. PREDIOS ORIGEN DE RUIDO

Es el área donde se originan las ondas sonoras, comprendiendo todas las fuentes individuales de sonido que están localizadas dentro de los límites de dicha propiedad.

3.8. PUNTO DE EMISION

Es el punto de donde se originan las ondas sonoras.

3.9. DECIBEL (A)

Unidad que expresa la razón o relación de la intensidad del sonido a una potencia de referencia para su medición. Su cuantificación se realiza con un sonómetro y un filtro de ponderación A, que simula aproximadamente la percepción del oído humano.

4. MARCO LEGAL

La Resolución 08321 de 1983 del Ministerio del Trabajo y Seguridad Social, reglamentario de la Ley 09 de 1979, define los niveles máximos permisibles para ruido continuo.

Se muestran en la Tabla No. 1.

TABLA No. 1

MINISTERIO DE TRABAJO
Y SEGURIDAD SOCIAL

NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES
PARA RUIDO CONTINUO

ZONA RECEPTORA	NIVEL DE PRESION SONORA dB(A)	
	PERIODO DIURNO	PERIODO NOCTURNO
Residencial	65	45
Comercial	70	60
Industrial	75	75
Tranquilidad	45	45

La zona de tranquilidad hace referencia a hospitales y clínicas.

Como puede verse, esta norma no hace referencia a los ruidos de impacto, por lo cual incluimos las normas de la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist's) de EE.UU de América, que regula el número máximo de ruidos de impacto por día, y las de la OSHA (Occupational Safety and Health Administration), que hace referencia al tiempo máximo de exposición para ruidos continuos e intermitentes. Se muestran respectivamente en las Tablas 2 y 3.

TABLA No. 2

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENIST'S
(ACGIH)

LIMITES PERMISIBLES PARA RUIDO
DE IMPACTO

NIVEL DE SONIDO PICO (DECIBELES)	NUMERO MAXIMO DE IMPACTOS POR DIA
140	100
130	1.000
120	10.000

No se considera saludable exposición alguna por encima de 140 decibelios.

Para la interpolación de valores se utiliza la siguiente ecuación:

$$n = 10 \wedge (p/10)$$

Donde:

n : Número de impactos día.

p : Valor pico del ruido de impacto en decibelios.



TABLA No. 3

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL
HYGIENIST'S (ACGIH)

NIVEL SONORO (dB)	TIEMPO MAXIMO DE EXPOSICION (Hra/dia)
85	8
90	4
95	2
100	1
105	0.5
110	0.25
115	Ninguna

5. METODOLOGIA

5.1. ESTRATEGIA PARA EL MUESTREO

Para lograr los objetivos propuestos se procedió así:

- En cada Empresa y en los sitios de trabajo se estudiaron los métodos de laboreo de las canteras y su relación con el entorno para determinar las fuentes y tipos de ruidos y los receptores implicados.

- Las jornadas de muestreo.

- Se utilizó un equipo de alta precisión para medir ruidos de impacto.

- Para la toma de los muestreos se tuvieron en cuenta diferentes situaciones tales como: Períodos diurnos y nocturnos, con flujo vehicular y sin él, funcionando las trituradoras, sin funcionar, con detonaciones y sin éstas.

5.2. FUENTES DE RUIDO

De acuerdo con el proceso productivo se tienen dos actividades que generan ruido:

I. La explotación de las canteras

II. La transformación del material

En el laboreo de las canteras la actividad causante de ruido es la detonación de los agentes de voladura para desprender y fraccionar la roca. En algunos casos se hace una segunda voladura, conocida como "Pistoleo", la cual se realiza con menos cantidad de agentes de voladura que la principal.

El proceso de trituración y clasificación del material es otra fuente de ruido.

Por la naturaleza de estos procesos el laboreo de canteras es considerado como fuente de ruidos de impacto o impulso y la transformación del material como fuente de ruido ambiental o continuo.

5.3. SITIOS DE MUESTREO

Los sitios de muestreo se seleccionaron de acuerdo con el tipo de ruido para evaluar, así:

I. Ruido de impacto: En distancias entre 100 y 1.000 metros.

II. Ruido continuo: En sitios de interés como oficinas, secciones internas y comunidad cercana.

En el capítulo donde se presentan los resultados, se adjuntan planos que indican en cada trituradora los sitios de muestreo.

5.4. HORARIO DE MUESTREO

Las tomas de muestras del ruido de impacto se realizaron en cada cantera y de acuerdo con el programa de cada una de ellas.

Las mediciones del ruido ambiental continuo se efectuaron en jornadas diurnas y nocturnas.

5.5. EQUIPO UTILIZADO

Se utilizó un equipo de alta precisión con analizador de frecuencias. Sus especificaciones comerciales son:

Marca: Bruel & Kjaer

Tipo: 2230

Pistófono de calibración: # 4230

6. RESULTADOS DE LAS EVALUACIONES

En este capítulo se presentan los resultados de las mediciones para cada planta trituradora, y los planos que indican los sitios donde se realizaron las mediciones.

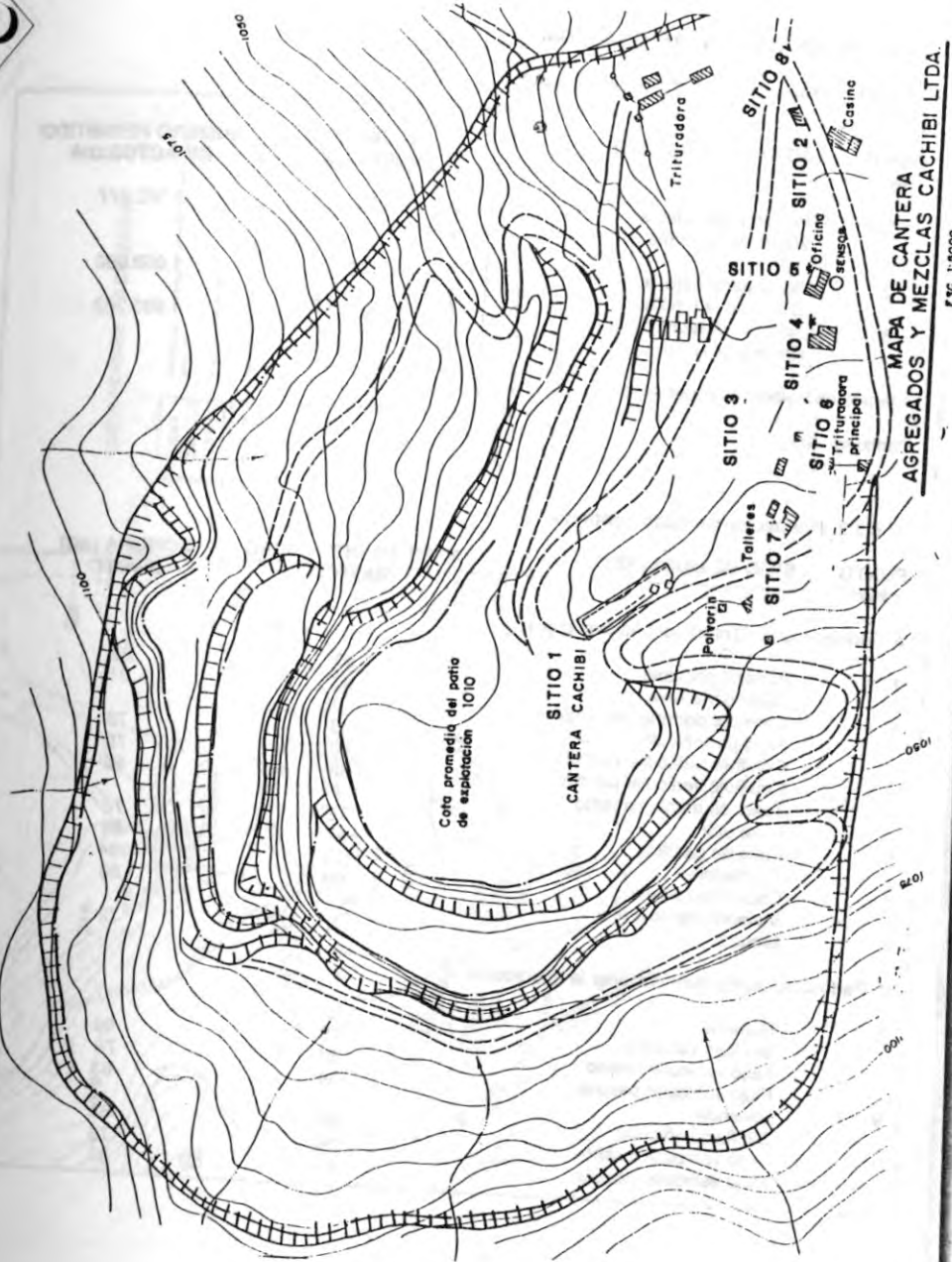
6.1. AGREGADOS Y MEZCLAS CACHIBI S.A.

6.1.1. Evaluación del ruido de impacto-impulso

PUNTO No.	SITIO DE MUESTREO	NIVEL DE RUIDO (dB)	NUMERO PERMITIDO IMPACTOS /DIA
1	Patio de almacenamiento a 900 m de la fuente	118	15.848

Agente de voladura utilizado: Super Anfo
Cantidad: 270 kg.

PUNTO N°	SITIO DE MUESTREO	NIVEL DE INTENSIDAD SONORA (dB)	
		MAXIMO	MINIMO
a. Período diurno (funcionando la trituradora)			
2	Puerta principal	78	77
3	Patio de volquetas	79	78
4	Edificio de Administración	78	77
5	Almacén	81	80
6	Trituradora	98	97
7	Talleres	91	90
b. Período nocturno (Sin funcionar la trituradora)			
2	Puerta principal	71	70
8	Vía de entrada a la fábrica	72	70



6.2. INDUSTRIAS DE CONCRETO "INDUCON" ^B

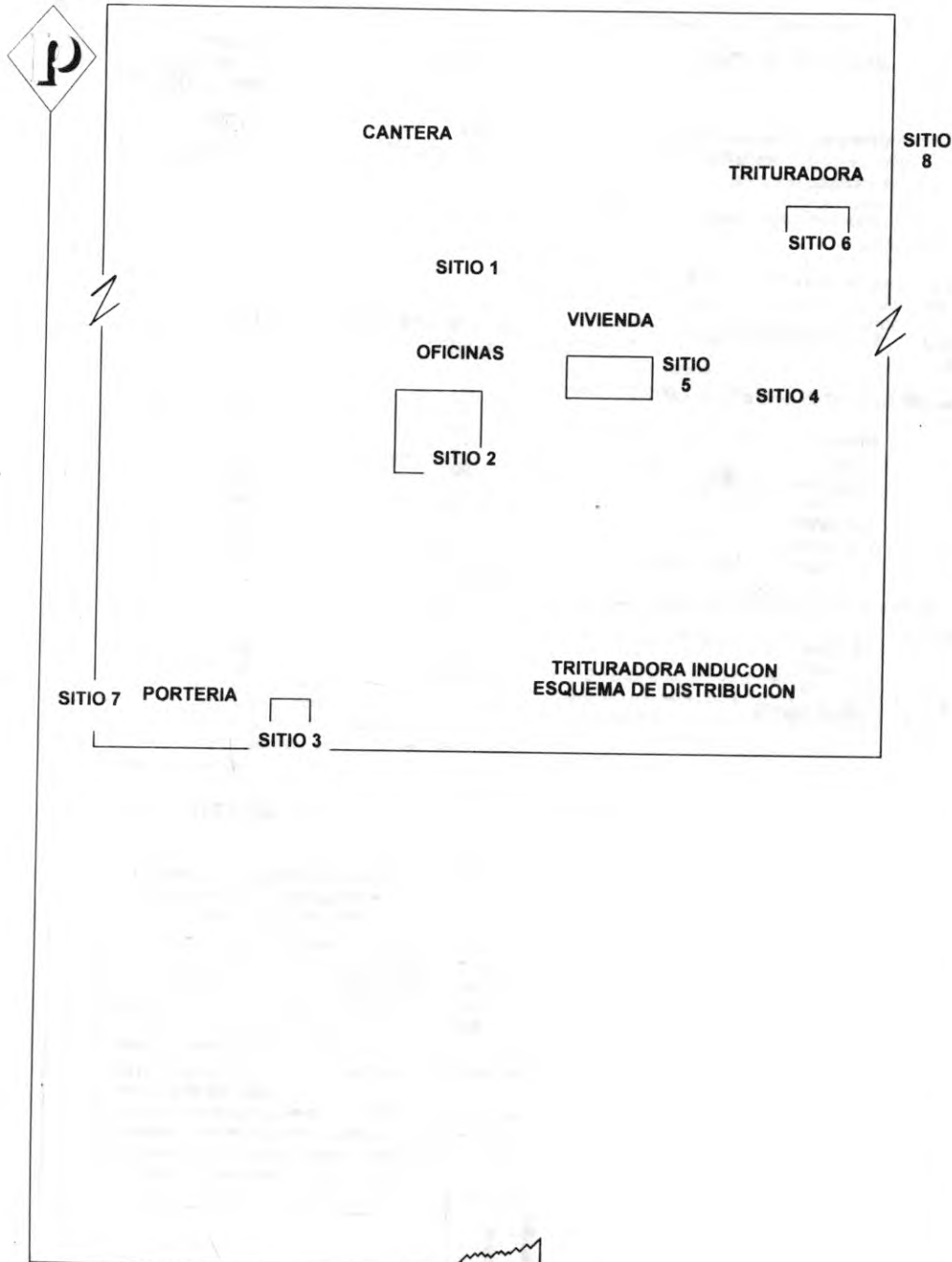
6.2.1. Evaluación del ruido impacto impulso

PUNTO No.	SITIO DE MUESTREO	NIVEL DE RUIDO (dB)	NUMERO PERMITIDO IMPACTOS/DIA
1	Cuarto de almacenamiento de combustibles, a 500 metros de la fuente.	122	6.309

Agente de voladura utilizado: Super Anfo (Cápsula más polvo Nitrón N)
 Cantidad: 70 kg.

6.2.2. Evaluación de ruido continuo

PUNTO No.	SITIO DE MUESTREO	NIVEL DE INTENSIDAD SONORA (dB)	
		MAXIMO	MINIMO
a. Periodo diurno (Trituradora funcionando)			
2	Oficinas	78	77
3	Porteria	75	74
4	Patio de almacenamiento	90	89
5	Vivienda	81	80
6	Trituradora	97	96
7	Via de acceso	78	76
8	Vivienda Sr. Rodrigo Llanos	70	69
b. Periodo nocturno (Sin funcionar la trituradora)			
2	Oficinas	66	65
3	Porteria	69	68
5	Vivienda	68	66
7	Via de acceso	70	69



6.3. TRITURADORA SARATOGA LTDA.

6.3.1. Evaluación de ruido impacto impulso

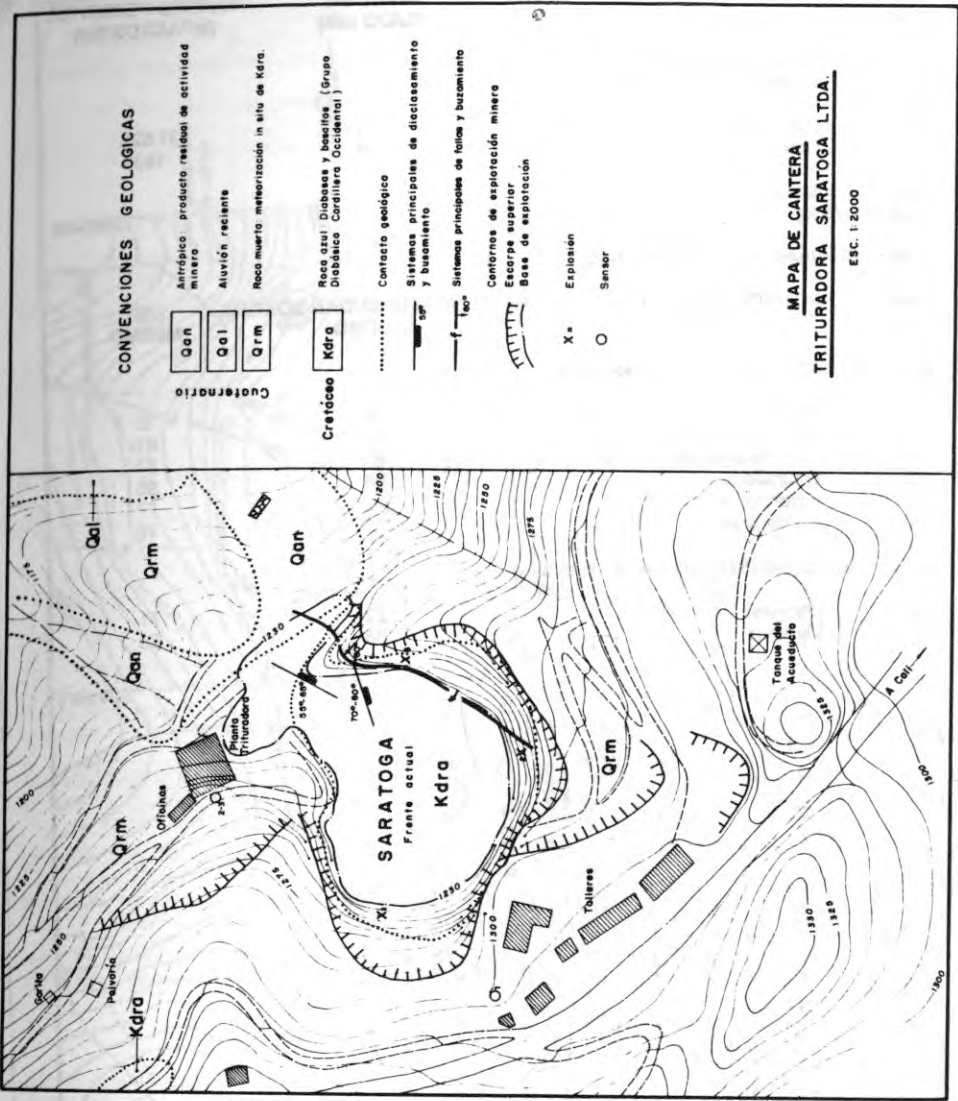
PUNTO No.	SITIO DE MUESTREO	NIVEL DE RUIDO (dB)	NUMERO PERMITIDO IMPACTOS/DIA
1	Portería principal, a 200 m de la fuente.	95	3.162.277
2	Taller parte baja, a 250 m de la fuente	100	1.000.000
3	Costado derecho de la cantera, a 170 m	97	1.995.262

Agentes de Voladura: Super Anfo

Cantidad: 20 kg.

6.3.2. Evaluación de ruido continuo

PUNTO No.	SITIO DE MUESTREO	NIVEL DE INTENSIDAD MAXIMO	SONORA (dB) MINIMO
a. Período diurno (Trituradora funcionando)			
1	Portería principal	83	82
2	Taller parte baja	82	81
4	Corredor portería principal		
	Sin flujo vehicular	80	79
	Con flujo vehicular liviano	80	79
	Con flujo vehicular pesado	88	86
5	Taller de mantenimiento parte alta	79	78
6	Patio de cantera	87	86
7	Trituradora	105	104
8	Encendido sirena	90	89
9	Vivienda frente a la fábrica	7	78
b. Período nocturno (Sin funcionar la trituradora)			
1	Portería		
	Sin flujo vehicular	70	69
	Flujo vehicular liviano	80	79
	Flujo vehicular pesado	84	83
9	Vivienda		
	Sin flujo vehicular	69	68
	Flujo vehicular liviano	80	79
	Flujo vehicular pesado	84	83



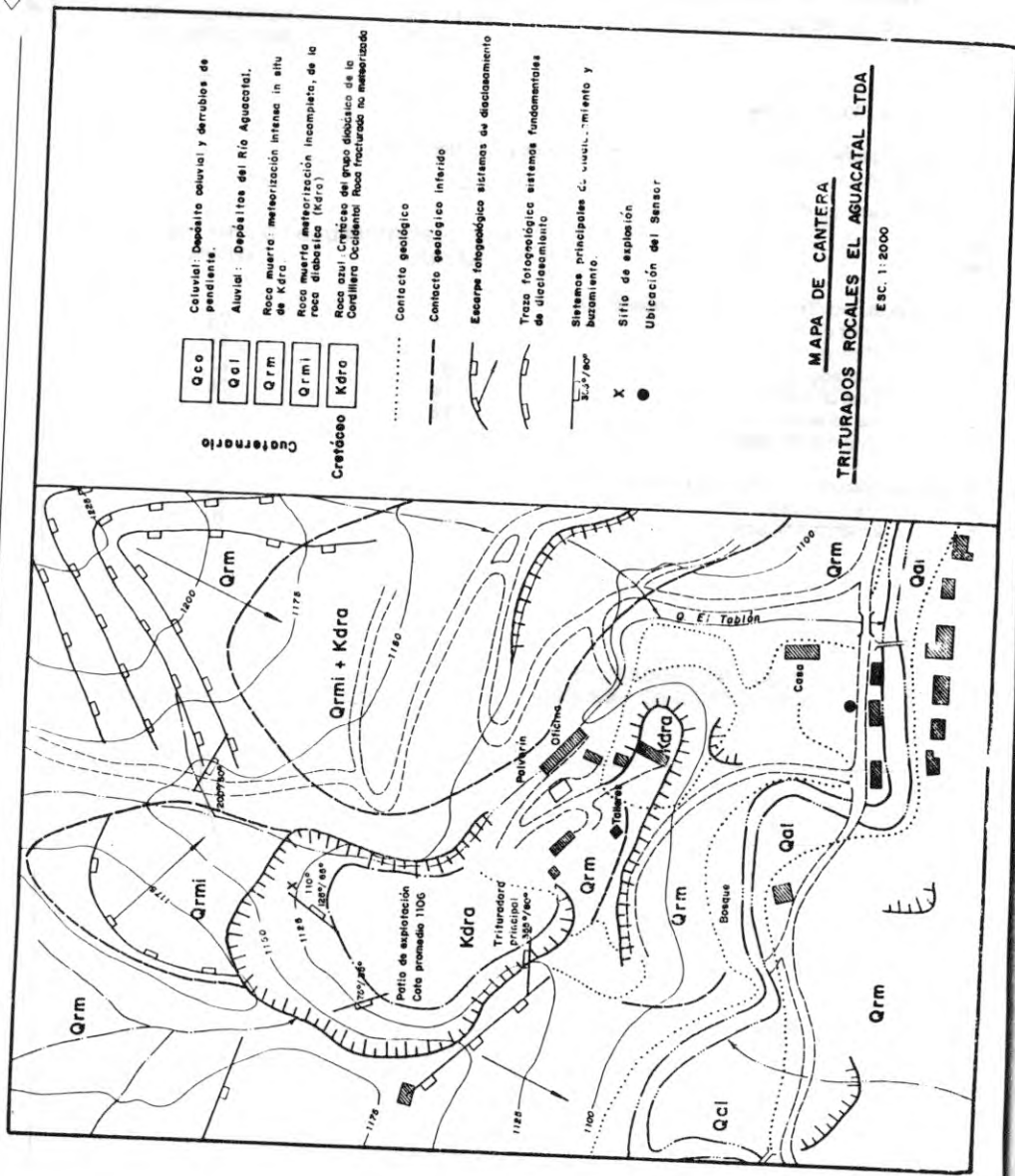
6.4. ROCALES EL AGUACATAL LTDA.
6.4.1. Evaluación de ruido impacto impulso

PUNTO No.	SITIO DE MUESTREO	NIVEL DE RUIDO (dB)	NUMERO PERMITIDO IMPACTOS/DIA
1	Taller de mantenimiento, a 200 metros de la fuente.	100	1.000.000

Agente de voladura utilizado: Super Anfo (Cápsula más polvo Nitrón N).
 Cantidad: 24 kg .

6.4.2. Evaluación de ruido continuo

PUNTO No.	SITIO DE MUESTREO	NIVEL DE INTENSIDAD SONORA (dB)	
		MAXIMO	MINIMO
a. Periodo diurno (Trituradora funcionando)			
1	Taller de mantenimiento	77	76
2	Oficinas	75	74
3	Trituradora	98	97
4	Patio de almacenamiento	79	78
5	Vía de acceso	74	73
6	Vivienda cercana	72	71
b. Periodo nocturno (Sin funcionar la trituradora)			
5	Vía de acceso	67	66
6	Vivienda cercana	65	64



6.5. TRITURADORA EL DIAMANTE LTDA.

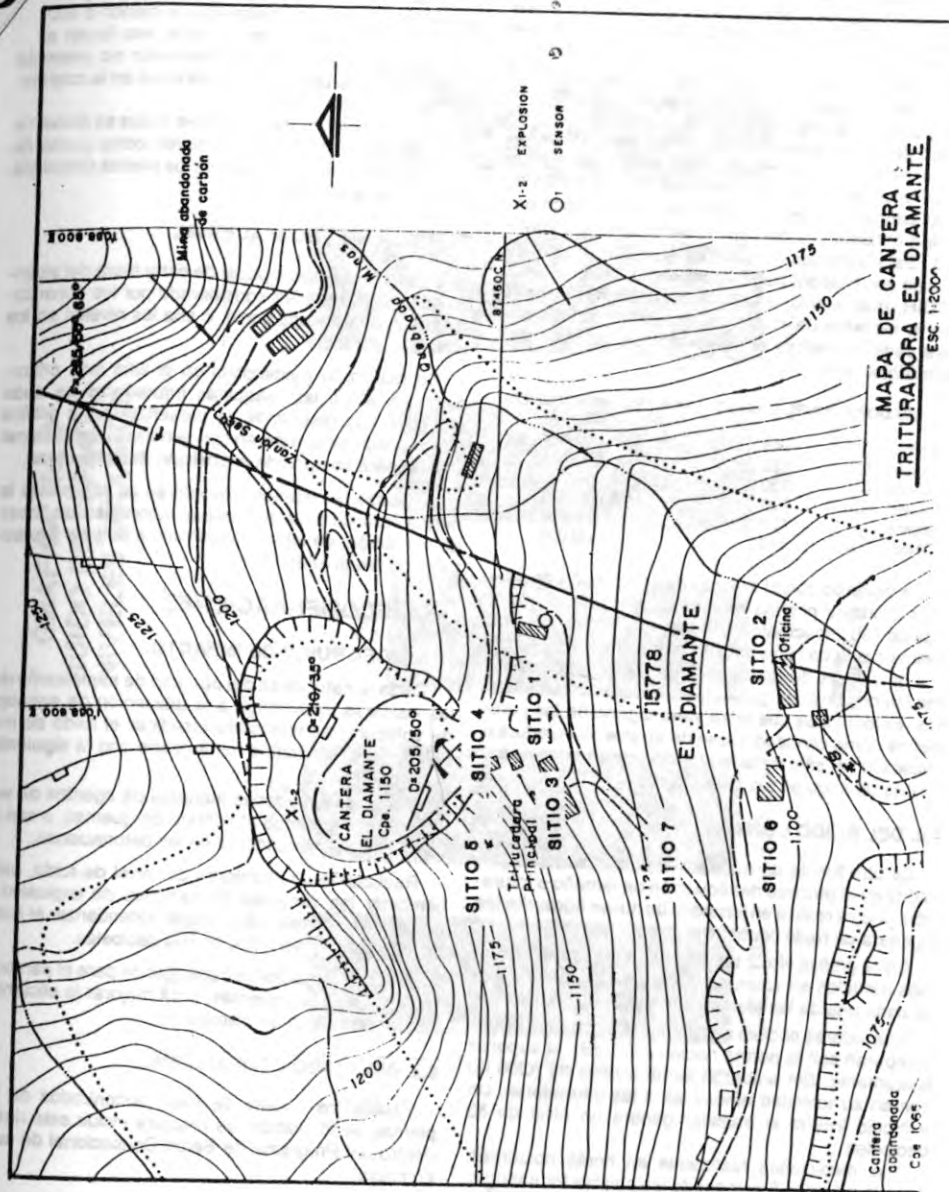
6.5.1. Evaluación de ruido impacto impulso

PUNTO No.	SITIO DE MUESTREO	NIVEL DE RUIDO (dB)	NUMERO PERMITIDO IMPACTOS/DIA
1	Cuarto de comandos a 100 metros de la fuente.		
	Con pistoleo	115	31.622
	Con detonación mayor	127	1995

Agente de voladura: Super Anfo.
Cantidad: 75 kg.

6.5.2. Evaluación de ruido continuo

PUNTO No.	SITIO DE MUESTREO	NIVEL DE INTENSIDAD SONORA MAXIMO (dB)	MINIMO (dB)
a. Periodo diurno (Trituradora funcionando)			
2	Oficinas	76	75
3	Taller (compresor)	88	87
4	Patio de almacenamiento	83	82
5	Trituradora	96	95
6	Vivienda, cerca a oficinas	78	77
7	Via de acceso	77	76
b. Periodo nocturno (Sin funcionar la trituradora)			
2	Oficinas	72	71
6	Vivienda	68	68



6.6. TRITURADORA EL CHOCHO & CIA. LTDA.

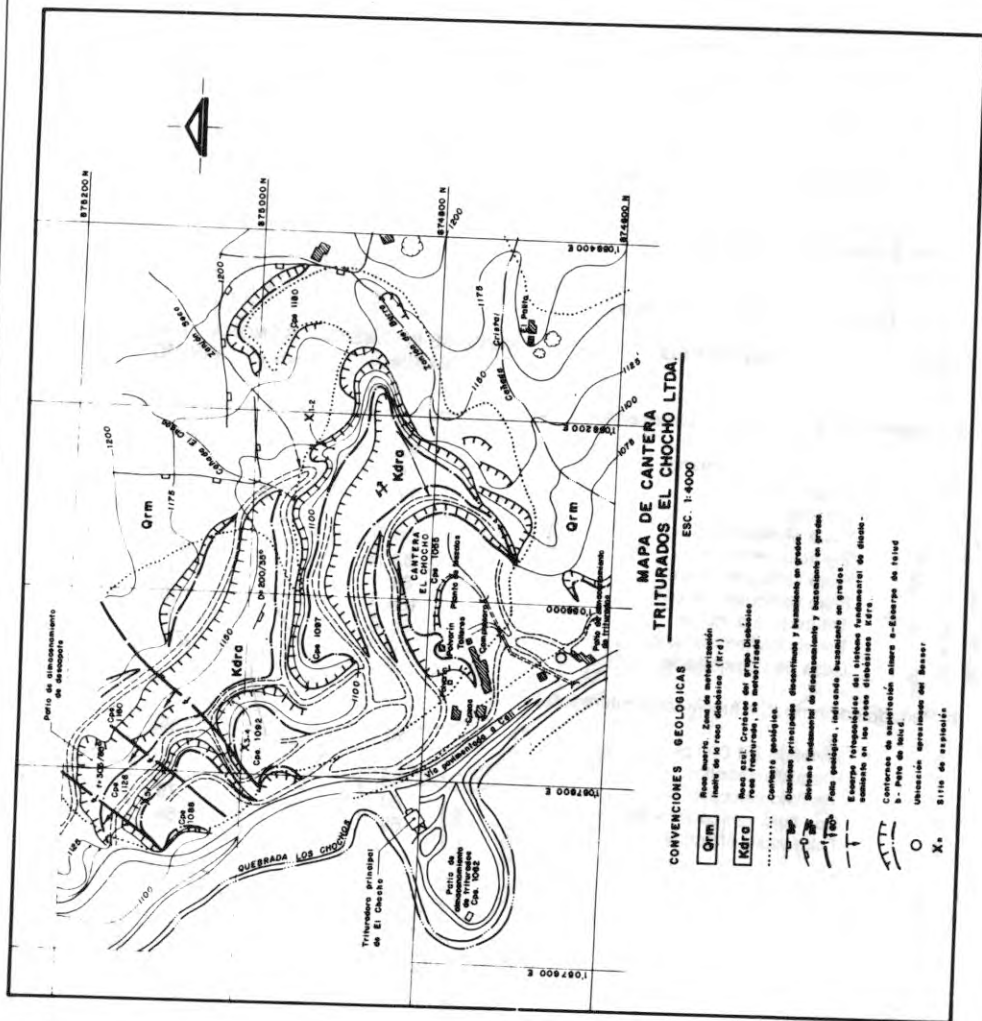
6.6.1. Evaluación de ruido impacto impulso

PUNTO No.	SITIO DE MUESTREO	NIVEL DE RUIDO (dB)	NUMERO PERMITIDO IMPACTOS/DIA
1	Tanque de combustible, a 500 metros de la fuente.	110	100.000
2	Cuarto de herramientas	110	100.000
3	Patio de almacenamiento	80	100.000.000
4	Frente a la cantera a 350 metros de la fuente	100	1.000.000
5	Vivienda a 1.200 m de la fuente	98	1.584.893

Agentes de voladura: Super Anfo.
Cantidad: 45 kg.

6.6.2. Evaluación de ruido continuo

PUNTO No.	SITIO DE MUESTREO	NIVEL DE INTENSIDAD SONORA (dB)	
		MAXIMO	MINIMO
a. Periodo diurno (Trituradora funcionando)			
3	Patio almacenamiento	92	91
5	Vivienda a 100 m	78	77
6	Oficinas	77	76
7	Vía a Montebello		
	Sin flujo vehicular	79	78
	Flujo vehicular liviano	83	82
	Flujo vehicular pesado	88	87
8	Trituradora principal	106	105
9	Trituradora secundaria	81	80
10	Casa de trabajadores	79	78
b. Periodo nocturno (Sin funcionar la trituradora)			
5	Vivienda a 1.000 m	66	65
7	Vía a Montebello		
	Sin flujo vehicular	68	67
	Con flujo vehicular liviano	80	79
9	Trituradora principal	69	68



MAPA DE CANTERA TRITURADORAS EL CHOCHO LTDA. ESC. 1:4000

CONVENCIONES GEOLOGICAS

- Qrm Zona de explotación. Zona de explotación. Zona de explotación.
- Rm Zona de explotación. Zona de explotación. Zona de explotación.
- Kdrc Zona de explotación. Zona de explotación. Zona de explotación.
- Camino principal.
- Camino secundario.
- Camino terciario.
- Camino cuaternario.
- Camino quinario.
- Camino sextario.
- Camino septenario.
- Camino octonario.
- Camino nonario.
- Camino denario.
- Camino undenario.
- Camino vigintiario.
- Camino trigintiario.
- Camino quadragintiario.
- Camino quingentiario.
- Camino sexcentiario.
- Camino septingentiario.
- Camino octingentiario.
- Camino nongentiario.
- Camino milenario.

7. CONCLUSIONES

7.1. DEL RUIDO DE IMPACTO

En la gráfica No. 1 se realiza una comparación de los niveles máximos de ruido de impacto medidos en las diferentes plantas de trituración. En ella puede verse que los ruidos de impacto o impulso están entre 100 y 127 decibeles. Esta variabilidad de resultados obedece al tipo y sobre todo a la calidad de la detonación.

En general, y anotando que todos los niveles medidos están por encima de 100 decibeles, es un ruido alto, pero si se tiene en cuenta que no es un ruido permanente sino instantáneo y esporádico nos lleva a considerarlo de bajo impacto para la comunidad. Esta apreciación alcanza una mayor validez cuando se compara con la norma internacional de la ACGIH, que relaciona el nivel de intensidad sonora con la cantidad de impactos, de donde resulta que para cada trituradora el mayor número de impactos permisibles será:

TRITURADORA	NIVEL MAXIMO	NUMERO IMPACTOS/DIA
Cachibí	118	15.848
Inducón	122	6.309
Saratoga	100	1.000.000
Rocales	100	1.000.000
Diamante	127	1.995
El Chocho	110	100.000

De acuerdo con el método de explotación de canteras utilizado por las empresas, ninguna presenta más de 200 impactos/día y la mayoría realiza sólo una quema diaria con una sola detonación.

Los valores de ruido medidos están relacionados con las condiciones particulares en que fueron tomados. Esto implica que si se varía alguno de los parámetros como cantidad, clase de agente de voladura o ubicación del sitio de la explosión, varían también los niveles de ruido en los alrededores.

7.2. DEL RUIDO CONTINUO

La otra fuente de ruido en la producción de agregados es el proceso de reducción de tamaño o trituración, que se realiza en jornadas de nueve horas diarias y genera un ruido continuo.

En la gráfica No. 2 se presentan los valores máximos medidos en sitios de la comunidad circundante de cada una de las plantas trituradoras.

Los valores oscilan entre 75 y 79 decibeles y si se comparan con la norma nacional (75 dB), la superan ligeramente. Sin embargo estos niveles de ruido no son en su totalidad atribuibles a las trituradoras. Un vehículo liviano al transitar genera un nivel de 83 decibeles.

Las mediciones realizadas en horas nocturnas, cuando no están funcionando las plantas trituradoras,

arrojaron valores entre 64 y 72 decibeles cuando no existe flujo vehicular y de 83 a 87 decibeles con él.

Estas comparaciones, y el hecho que las plantas trituradoras se encuentran por lo menos a 400 metros de la vivienda más cercana, nos llevan a concluir que la actividad de trituración no presenta impacto considerable de ruido continuo en la comunidad circundante.

Una comparación de diferentes ruidos se presenta en la figura No. 1, los cuales sirven como punto de referencia para tener una idea de los niveles obtenidos en el presente estudio.

7.3. DEL RUIDO OCUPACIONAL

Un elemento, que a pesar de estar fuera del alcance de este estudio fue considerado por los consultores, es el ruido ocupacional, o sea los niveles en los puestos de trabajo.

Se realizaron mediciones en el sitio más crítico, como es el de las máquinas trituradoras de cada empresa. Los resultados se presentan en la gráfica No. 3, donde se comparan con la norma internacional OSHA, para tiempos de exposición de ocho horas.

En todas las plantas trituradoras se sobrepasa la norma para los trabajadores que laboran en las líneas de trituración; de allí la conveniencia de usar protectores contra el ruido.

8. RECOMENDACIONES

8.1. DEL RUIDO DE IMPACTO

Dada la naturaleza del proceso de explotación de las canteras, que obliga a la utilización de agentes de voladura, es imposible erradicar el ruido de impulso, pero es factible minimizarlo con la siguiente estrategia:

Utilizando cantidades menores de agentes de voladura y aumentando el número de quemas, o con el uso de micro-retardadores en las detonaciones.

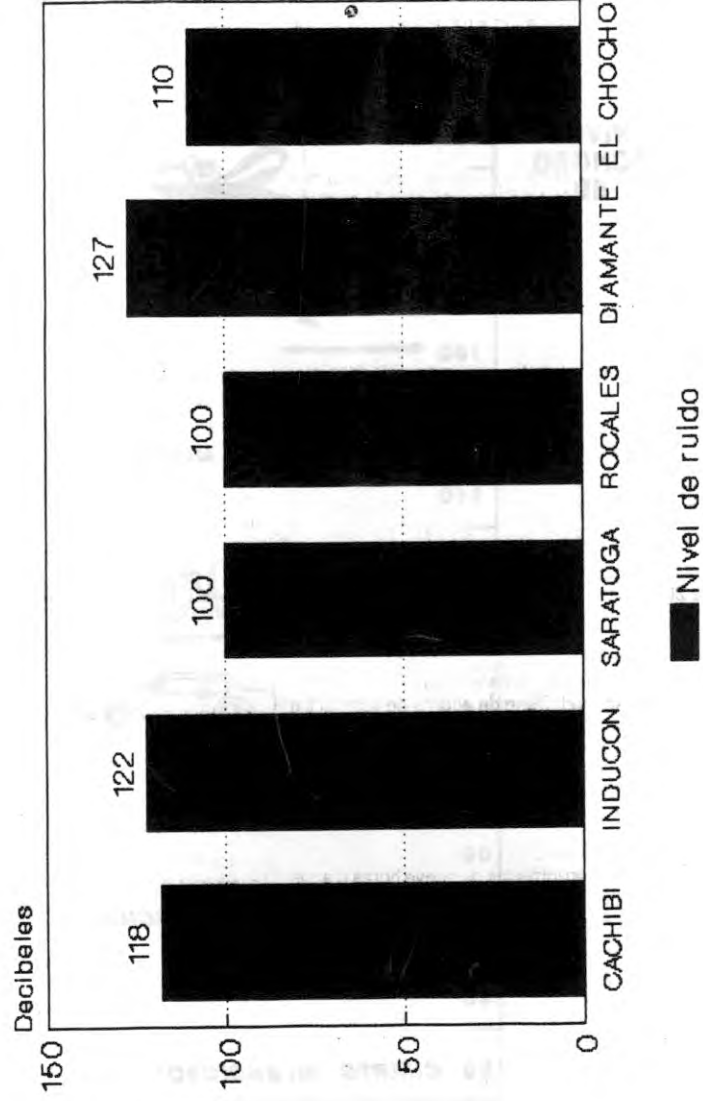
Realizando un monitoreo del nivel de ruido, para combinar las variables de cantidad de explosivo y número de quemas, hasta lograr estandarizar el ruido de impacto en alrededor de 100 decibeles.

Realizar jornadas de capacitación para el personal encargado de las quemas, para mejorar la eficiencia y tratar de reducir el "pistoleo".

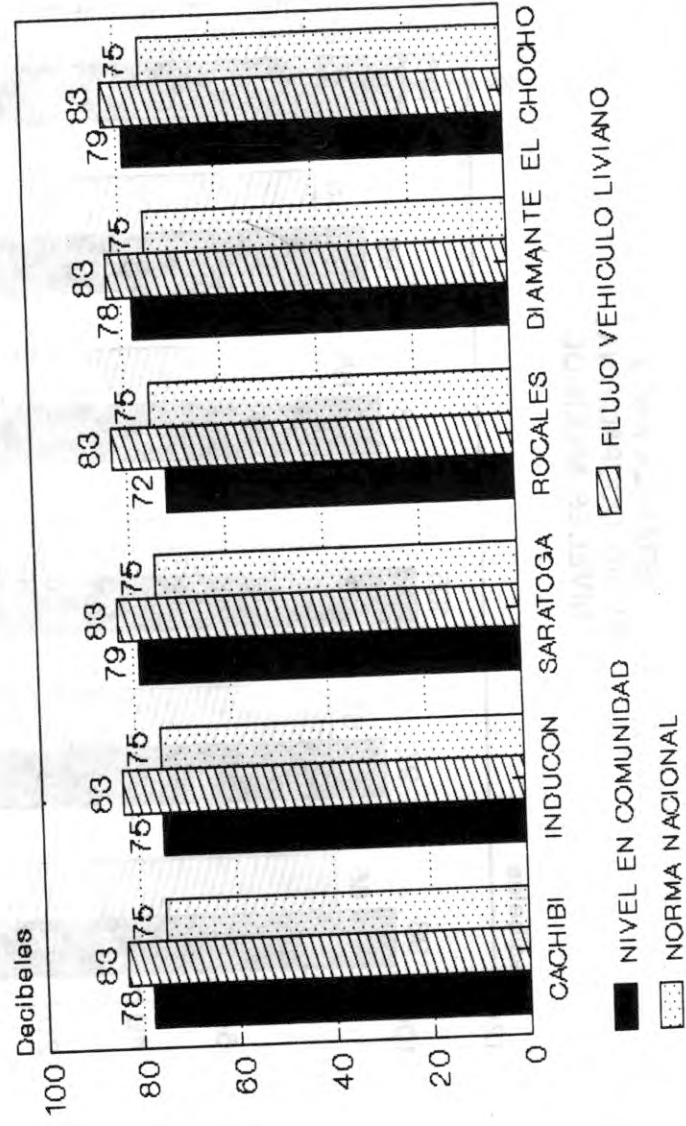
8.2. DEL RUIDO OCUPACIONAL

Dados los niveles de ruido encontrados en las plantas de trituración, se requiere incluir este riesgo dentro del Programa de Salud Ocupacional de cada empresa.

**GRAFICA No. 1
RUIDO DE IMPACTO
NIVELES MAXIMOS**



**GRAFICA No. 2
RUIDO CONTINUO
NIVELES MAXIMOS**





**GRAFICA No. 3
RUIDO OCUPACIONAL
NIVELES MAXIMOS**

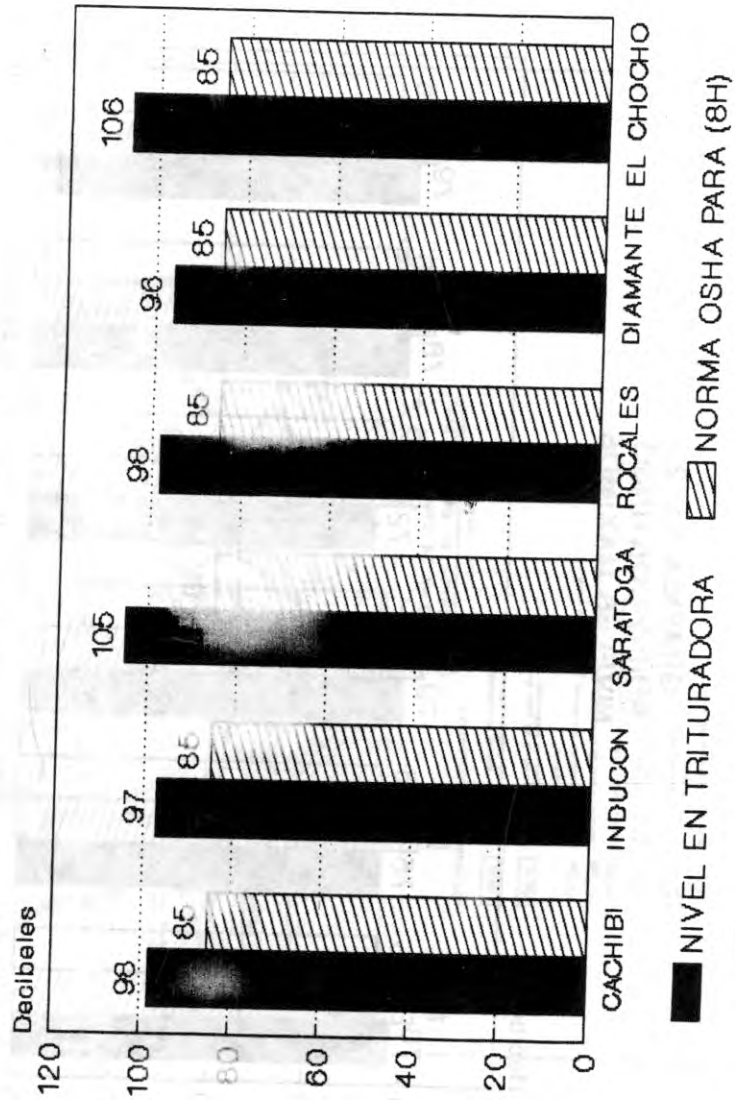
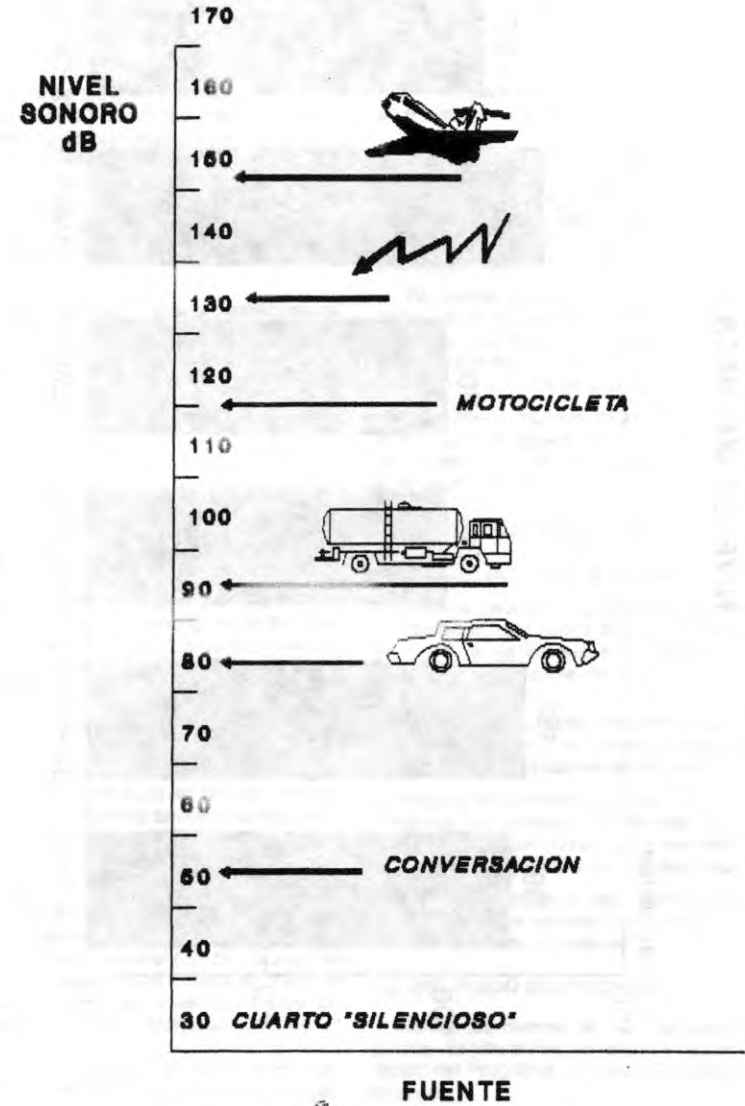


FIGURA No. 1



301
302
303

ANEXOS

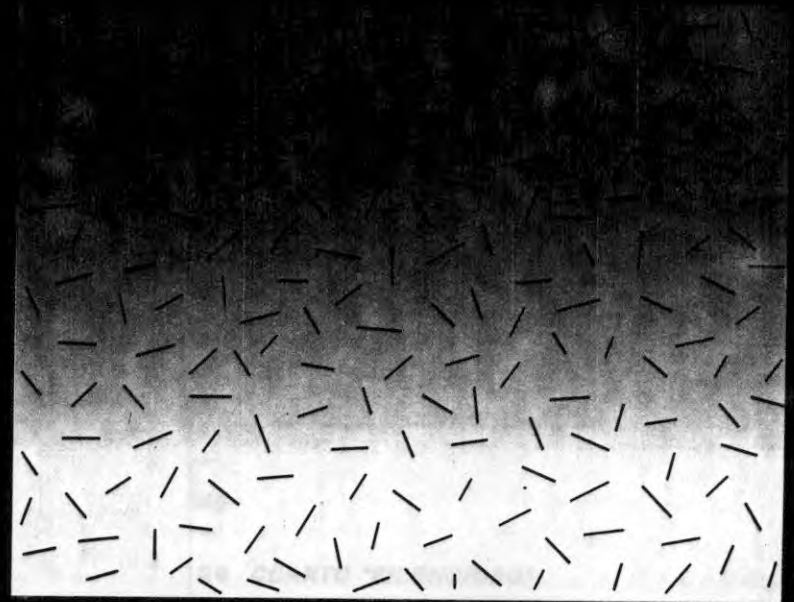
GLOSARIO



FILTRO DE PONDERACION (A): Aditamento del sonómetro para simular el oído humano.
FUENTE EMISORA DE RUIDO: Objeto que origina el ruido.
NIVEL DE INTENSIDAD SONORA: Valor obtenido al medir el sonido.
ONDA SONORA: Efecto de transmisión del sonido.

PUNTOS Y FRECUENCIA DE MUESTREO: Sitios y cantidad de mediciones de ruido efectuadas.
RUIDO AMBIENTAL: Nivel de intensidad sonora en los sitios de viviendas.
SONOMETRO: Instrumento para medir el sonido.
TIPOS DE RUIDO: Diferentes clases de ruido.

Estudio de Emisiones Atmosféricas en las Canteras Asociadas a PROAGREGADOS



PRODUCTORES DE AGREGADOS MINERALES

**TRITURADORA
AGREGADOS Y MEZCLAS CACHIBI S.A.**

CONTENIDO

	Página
1. PRESENTACION	91
2. INFORMACION GENERAL DE LA EMPRESA	91
2.1. NOMBRE Y RAZON SOCIAL	91
2.2. DIRECCION	91
2.3. OBJETIVO COMERCIAL	91
2.4. SITUACION DE LA INDUSTRIA	91
2.5. AREA DE LA INDUSTRIA	91
2.6. NUMERO DE EMPLEADOS	91
2.7. HORARIO DE FUNCIONAMIENTO	91
3. INFORMACION DEL PROCESO INDUSTRIAL	91
3.1. MATERIAS PRIMAS	91
3.2. PRODUCTOS FABRICADOS	92
3.3. DIAGRAMA DE FLUJO	92
3.4. ALMACENAMIENTO	92
4. FUENTES FIJAS DE CONTAMINACION	92
4.1. PROCESOS DE GENERACION DE EMISIONES	92
4.2. CARACTERISTICAS DE LAS EMISIONES	92
5. NORMATIVIDAD A CUMPLIR	92
5.1. NORMAS DE EMISIONES	92
5.2. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE	92
6. DETERMINACION DEL AREA DE INFLUENCIA	94
6.1. ESTIMADO DE EMISIONES	94
6.2. CONDICIONES ATMOSFERICAS DE LA ZONA	94
6.3. DISPERSION DE CONTAMINANTES	95
6.4. DELIMITACION DEL AREA DE INFLUENCIA	98
7. CARACTERISTICAS DEL AREA DE INFLUENCIA	98
7.1. CALIDAD DEL AIRE ACTUAL	98
7.2. CONDICIONES TOPOGRAFICAS DE LA ZONA	99
7.3. USOS DE LA TIERRA	99
7.4. OTRAS FUENTES DE CONTAMINACION DEL AIRE	99

8.	EFFECTOS PROBABLES	103
8.1.	DE LA EMISION DE CONTAMINANTES	103
8.2.	DE LA DISPERSION DE PARTICULAS	103
8.3.	DE LA CALIDAD DEL AIRE	103
9.	ACCIONES DE MITIGACION	103
9.1.	ESTRATEGIA	103
9.2.	ACCIONES	103
9.3.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	107

LISTA DE TABLAS

TABLA N°	CONTENIDO	Página
1	Normas nacionales de calidad del aire	91
2	Normas de calidad del aire para Cali	92
3	Resultados del modelo de dispersión	94
4	Calidad del aire actual	97

LISTA DE FIGURAS

FIGURA N°		
1	Flujograma proceso Cachibi	90
2	Rosa de los vientos	92
3	Modelo de dispersión - Sistema de coordenadas	97
4	Esquema equipo de muestreo	97
5	Sistema de control de polvo	103
6	Esquema colector de polvo sencillo	104

LISTA DE CUADROS

CUADRO N°		
1	Cronograma para el control de contaminación del aire	105

LISTA DE GRAFICAS

1	Dispersión de material particulado 1	95
2	Dispersión de material particulado 2	95
3	Dispersión de material particulado 3	95
4	Resultados calidad del aire. Partículas Suspendidas Totales	99
5	Resultados calidad del aire. Partículas Suspendidas Totales	99
6	Resultados calidad del aire. Partículas Suspendidas Totales	100
7	Resultados calidad del aire. Partículas Suspendidas Totales	100
8	Comparación emisión vs. norma	102
9	Comparativo de resultados Partículas Suspendidas Totales	102

LISTA DE PLANOS

1	Mapa de cantera con sitios de muestreo	98
---	--	----

ANEXOS

1.	Listados de resultados modelo de dispersión	106
2.	Hojas de campo	108
3.	Procedimiento de toma de muestras en suspensión	109
4.	Glosario	110
5.	Resultados de laboratorio	111

1. PRESENTACION

Con la finalidad de revisar desde una perspectiva ambiental el proceso de producción de agregados para la construcción, y tomar, si fuere necesario, los correctivos para cumplir con el objetivo de las empresas asociadas a Proagregados de originar el mínimo impacto sobre el medio ambiente contrataron con una firma consultora realizar estudios sobre la de calidad del aire entre las zonas de influencia de sus plantas.

El presente libro presenta los resultados de la investigación realizada y sus conclusiones para la planta Trituradora Agregados y Mezclas Cachibí S.A., ubicada en la antigua vía a Yumbo.

En este documento se presenta la metodología que sigue las recomendaciones del Ministerio de Salud (Decreto 02 de enero 11 de 1982), así como también resultados del mencionado estudio realizado por la firma Proinsa, de la ciudad de Cali.

2. INFORMACION GENERAL DE LA EMPRESA

2.1. NOMBRE Y RAZON SOCIAL

La Empresa está registrada con el nombre "Agregados y Mezclas Cachibí S.A."

2.2. DIRECCION

Tanto la planta de producción como las dependencias administrativas están ubicadas en el kilómetro 4 de la vía Cali Yumbo.

2.3. OBJETIVO COMERCIAL

El objeto comercial de la empresa es la producción de agregados pétreos para la construcción.

2.4. SITUACION DE LA INDUSTRIA

Se encuentra ubicada en la zona de actividad de cantera, según el Departamento de Planeación Municipal.

2.5. AREA DE LA INDUSTRIA

El área total de la industria es de 212.226.6 m².

2.6. NUMERO DE EMPLEADOS

Se cuenta con 63 operarios en producción y 15 empleados en la administración.

2.7. HORARIO DE FUNCIONAMIENTO

La producción se realiza durante 25 días/mes, 12 horas al día.

3. INFORMACION DEL PROCESO INDUSTRIAL

3.1. MATERIAS PRIMAS

La única materia prima utilizada en el proceso es la roca llamada diabasa, en sus diferentes estados:

- Diabasa meteorizada
- Diabasa fresca (piedra azul)
- Diabasa levemente alterada



3.2. PRODUCTOS FABRICADOS

A partir de las diabasas se obtienen los siguientes productos:

- Rocamuerta
- Gravas y finos
- Base granular

3.3. DIAGRAMA DE FLUJO

Un diagrama del proceso se presenta en la Figura No. 1. El cual se describe a continuación:

Etapa 1: Explotación de la cantera

Inicialmente se realiza la remoción del material estéril que cubre la cantera. A continuación se perfora la roca para cargar el agente de voladura. Luego se realiza la quema o voladura, obteniéndose rocas de diferente tamaño.

Las rocas más grandes se perforan nuevamente y se realiza una segunda voladura, llamada "pistoleo".

Etapa 2: Transformación

El material es recogido en la cantera y transportado a la trituradora en donde se fracciona y clasifica por tamaños. Posteriormente, parte se despacha directamente y el resto se almacena.

3.4. ALMACENAMIENTO

El producto se almacena en patios a cielo abierto.

4. FUENTES FIJAS DE CONTAMINACION

4.1. PROCESOS DE GENERACION DE EMISIONES

Los procesos implicados en la generación del polvo son:

- Voladura
- Transporte
- Triturado
- Clasificación
- Almacenamiento

4.2. CARACTERISTICAS DE LAS EMISIONES

Como se deduce del proceso productivo, la actividad de triturado y explotación de canteras no presenta fuentes puntuales fijas de contaminación del aire, pues no se cuenta con chimeneas o ductos. La emisión es del tipo "Fuente de Area", en la cual inciden principalmente fenómenos atmosféricos (vientos).

El medio de transporte de las partículas es el aire de la región. El polvo de mayor tamaño se sedimenta en el sitio de generación y solo se dispersa el material que, por su densidad, se suspende en el aire.

5. NORMATIVIDAD A CUMPLIR

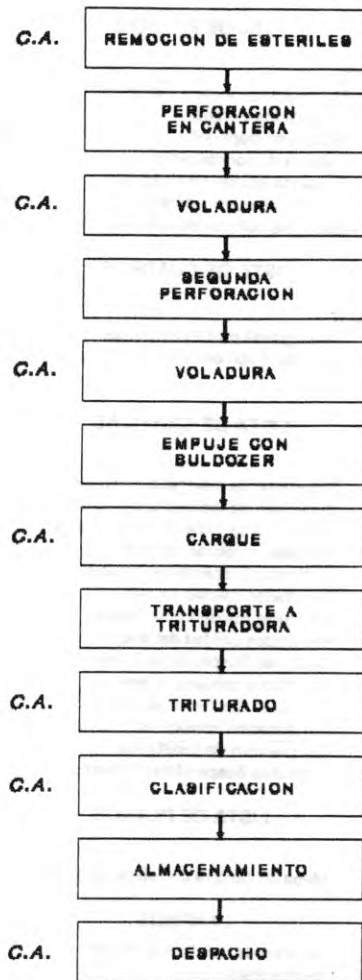
El Decreto 02 de enero 11 de 1982 estipula dos tipos de normas:

1. Emisiones
2. Calidad del aire

5.1. NORMAS DE EMISIONES

El Decreto 02 de 1982 no establece normas de emisión para la actividad de explotación de canteras

FIGURA N° 1
FLUJOGRAMA PROCESO CACHIBI



C.A. CONTAMINACION ATMOSFERICA

y producción de triturados; sin embargo, incluye un artículo para "Industrias no Clasificadas".

El artículo 70 del Decreto 02/82 regula las emisiones para "otras industrias". En ese artículo se relaciona la emisión máxima permisible con la capacidad de producción horaria. Para nuestra actividad, se tiene:

Producción horaria:

$$1200 \text{ m}^3/\text{día} \times \text{d}/12 \text{ hr} \times 1.6 \text{ ton}/\text{m}^3 = 160 \text{ ton}/\text{hr}$$

Para calcular la norma de emisión se utiliza la ecuación que aparece en el artículo 71, ítem a (zona urbana).

$$E = 10.45 \times P^{0.458} \quad 10 < P < 500$$

Donde:

E: Máxima emisión de partículas en kg/hora

P: Máxima producción horaria

Reemplazando en la ecuación se tiene,

$$E = 10.45 \times 160^{0.458}$$

$$E = 106.8 \text{ Kg/hora}$$

Según el artículo 43, para una fuente ubicada a una altura diferente de la del nivel del mar, se debe corregir de acuerdo con la siguiente expresión:

$$E_m = K \times E$$

$$\text{Donde } K = P_{bh}/760 + 0.04 \text{ H}$$

Siendo:

K = Factor de corrección por altitud

P_{bh} = Presión barométrica del sitio en mm de Hg.

H = Altura sobre el nivel del mar en miles de metros.

Para nuestro caso se tiene:

$$K = 673.9/760 + 0.04 \times 0.995 = 0.9265$$

Por lo tanto la Norma de emisión modificada será:

$$E_m = 106.8 \times 0.9265 = 98.9 \text{ kg partículas/hora}$$

5.2. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE

El Decreto 02 de 1982 reglamentario de la Ley 09 de 1979 estipula para diferentes sustancias los valores máximos permisibles, a nivel de aire respirable, que deben cumplirse en la nación.

Para determinar las normas de calidad de aire que deben regir para las condiciones locales de Agregados y Mezclas Cachibí S.A. se aplica la ecuación explicada en el artículo 32 del Decreto 02/82.

$$\begin{aligned} \text{Norma Local} &= \text{Norma de Calidad} \\ &\times \frac{\text{Presión barométrica Local}}{760 \text{ mm Hg}} \\ &\times \frac{299 \text{ }^\circ\text{K}}{273 + \text{ }^\circ\text{C}} \end{aligned}$$

En donde:

Norma de calidad: Valor nacional a 25 °C y 760 Hg.

El artículo 31 del Decreto 02/82 establece las mas de calidad que se presentan en la Tabla 1.

TABLA No. 1

NORMAS NACIONALES DE CALIDAD DEL AIRE (Para 25 °C y 760 mm Hg)

PARAMETRO	NORMA
Partículas en suspensión	100 microgramos/m ³ (promedio geométrico) 400 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Dióxido de azufre	100 microgramos/m ³ (promedio geométrico) 400 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses) 1500 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses en muestras de 3 hr)
Monóxido de carbono	15 microgramos/m ³ (max. 8 horas) 50 microgramos/m ³ (max. 1 hora)
Oxidantes fotoquímicos	170 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Oxidos de nitrógeno	100 microgramos/m ³ (promedio aritmético)

Para el caso particular de la ciudad de Cachibí, efectuadas las correcciones por altitud y temperaturas, se tienen los valores que se muestran en la siguiente Tabla No. 2.

TABLA No. 2

NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE PARA CALI
(673.86 mm Hg y 25 °C)

PARAMETRO	NORMA
Partículas en suspensión	88.7 microgramos/m ³ (promedio geométrico) 354.7 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Oxido de sulfuro	88.7 microgramos/m ³ (promedio geométrico) 354.7 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Dióxido de carbono	13.3 microgramos/m ³ (max. 8 horas) 44.3 microgramos/m ³ (max. 1 hora)
Contaminantes toxicológicos	150.7 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Óxidos de nitrógeno	88.7 microgramos/m ³ (promedio aritmético)

La estabilidad atmosférica es un concepto que encierra variables como nubosidad, brillo solar e intensidad de los vientos. Estas variables en conjunto informan acerca de qué tan estable es la atmósfera de la región, lo cual a su vez rige la dispersión de los contaminantes en el aire.

Todos estos factores se integran en un resumen de las condiciones atmosféricas, conocido como rosa de los vientos.

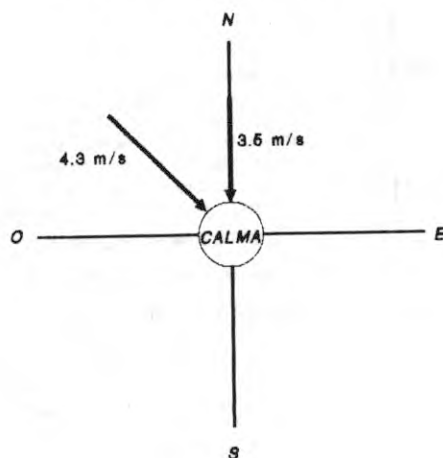
Para desarrollar una rosa de vientos de una zona particular se requiere un gran número de mediciones en el tiempo que permitan deducir el porcentaje de ocurrencia del fenómeno (frecuencia) y de la velocidad del viento. Ello se sale de los alcances del presente estudio, por lo que se utilizaron los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona tales como la antigua estación San Luis Gonzaga, ubicada en la ladera del mismo sistema montañoso de las trituradoras y se complementó con los datos de la estación del Aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón. Con ello se desarrolló la rosa de vientos que se presenta en la Figura No. 2.

Una vez construida esta rosa de vientos utilizando un anemómetro se confirmaron sus valores con mediciones puntuales en el terreno.

De las mediciones de campo, los datos de las estaciones meteorológicas antes mencionadas y de las observaciones visuales se deduce lo siguiente:

FIGURA N° 2

ROSA DE LOS VIENTOS



Tanto en los registros de las estaciones, con datos de más de 20 años, como en las mediciones realizadas en el área, se observa una marcada tendencia, como dirección predominante del viento, la dirección noroeste.

Otra dirección destacable de viento es la norte, aunque con menor frecuencia.

Se presentan esporádicos estados de calma; es decir, velocidades menores de 0.5 m/s y puede decirse que durante las 24 horas del día el viento recorre todas las direcciones, destacándose, como ya se dijo, la dirección noroeste.

6.3. DISPERSION DE CONTAMINANTES

6.3.1. Generalidades sobre el modelo de dispersión. Para determinar el área de influencia de los contaminantes a nivel del terreno se aplica el modelo de dispersión Gaussiano, que indica las concentraciones esperadas del contaminante a nivel del terreno. El área de interés sanitario es la que abarque los sitios donde la concentración esperada sobrepase la norma local calculada.

Para estimar teóricamente la dispersión de los contaminantes en la atmósfera se utiliza en este trabajo el modelo matemático tipo Gaussiano propuesto por Passquill-Guifford.

El modelo Gaussiano de dispersión de contaminantes en la atmósfera tiene la siguiente ecuación general:

$$Mx(X, Y, Z, Hef) = (Q/2 Cy Cz U) EXP(-0.5(Y/Cy)^2) * EXP(-0.5((Z-Hef)/Cz)^2) + EXP(-0.5((Z+Hef)/Cz)^2)$$

Donde:

Mx : Concentración de partículas en ug/m³
Q : Emisión en ug/seg

U : Velocidad del viento a la altura efectiva (Hef), m/seg
Cy : Coeficiente de dispersión en el plano horizontal (m)
Cz : Coeficiente de dispersión en el plano vertical (m)
Hef : Altura efectiva de la pluma (m)

En la Figura No. 3 puede verse el sistema de coordenadas utilizado en el modelo.

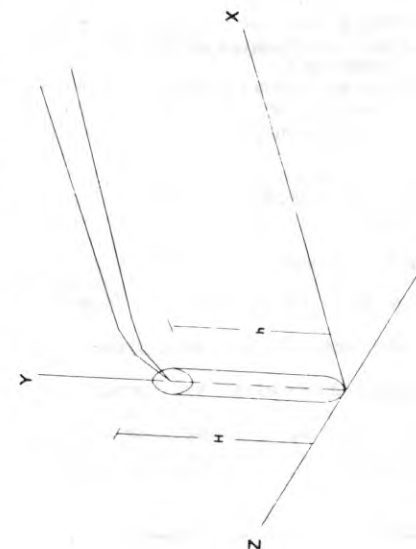
Para el caso de la actividad de la trituración de basaltos se aplica la ecuación particular del modelo de Gauss que presenta el receptor a nivel del suelo (Z=0), la fuente emisora elevada y la concentración localizada sobre el eje X, a sotavento, o sea abajo del sentido del viento. La ecuación es la siguiente:

$$Mx(X, Hef) = (Q/\pi Cy Cz U) EXP(-0.5(Hef/Cz)^2)$$

Los coeficientes de dispersión dependen de la estabilidad atmosférica; o sea, la tranquilidad en las capas próximas a la superficie terrestre, que varían con la radiación solar y la velocidad del viento.

FIGURA N° 3

MODELO DE DISPERSION SISTEMA DE COORDENADAS



Para la trituradora en cuestión, y de acuerdo con la rosa de los vientos de la Figura No. 2, se aplica el modelo en las siguientes condiciones.

Situación 1:

- Dirección de viento: Noroeste
- Velocidad (m/seg): 4.3
- Tipo de estabilidad: B

Situación 2:

- Dirección de viento: Norte
- Velocidad (m/seg): 3.5
- Tipo de estabilidad: C



Situación 3:

- Dirección de viento: Calma
- Velocidad (m/seg): 0.5
- Tipo de estabilidad: A

6.3.2. Cálculo de la dispersión

Para la aplicación del modelo Gaussiano se emplea un programa de computador; sin embargo, a continuación se presenta un modelo de cálculo realizado en forma manual.

El modelo de cálculo se realiza para la velocidad de 0.5 m/s, a una distancia de 100 metros de la emisión, estabilidad A.

La emisión se presenta aproximadamente a diez metros de altura y las velocidades de viento son tomadas a la misma altura, por lo que no es necesario corregirla.

- Concentración a nivel de terreno
Cálculo de los coeficientes de dispersión horizontal (Cy) y vertical (Cz).

$$C_y = \text{Exp}(5.357 + 0.8828 \ln X - 0.0076 (\ln X)^2)$$

$$C_z = \text{Exp}(6.035 + 2.1097 \ln X + 0.2770 (\ln X)^2)$$

Donde X : Distancia vientos abajo (Sotavento)

Reemplazando, para X=0.1 km, tenemos:

$$C_y = \text{Exp}(5.357 + 0.8828 \ln 0.1 - 0.0076 (\ln 0.1)^2)$$

$$= 26.68 \text{ m}$$

$$C_z = \text{Exp}(6.035 + 2.1097 \ln 0.1 + 0.2770 (\ln 0.1)^2)$$

$$= 14.09 \text{ m}$$

Cálculo de la concentración de partículas.

$$C(X,0,0,H_{ef}) = (Q/3.1416 \times C_y \times C_z \times U) \text{Exp}(-0.5(H_{ef}/C_z)^2)$$

Donde:

U = Velocidad del viento corregida a la altura efectiva de la pluma (H_{ef}).

$$Q = \text{Emisión del contaminante en ug/seg}$$

$$C(2,0,0,H_{ef}) = (Q/3.1416 \times C_y \times C_z \times U) \text{Exp}(-0.5(H_{ef}/C_z)^2)$$

$$= (17102777.8 / (3.1416 \times 26.68 \times 14.09 \times 0.5)) \times \text{Exp}(-0.5(10/14.09)^2) = 22508.9 \text{ ug/m}^3$$

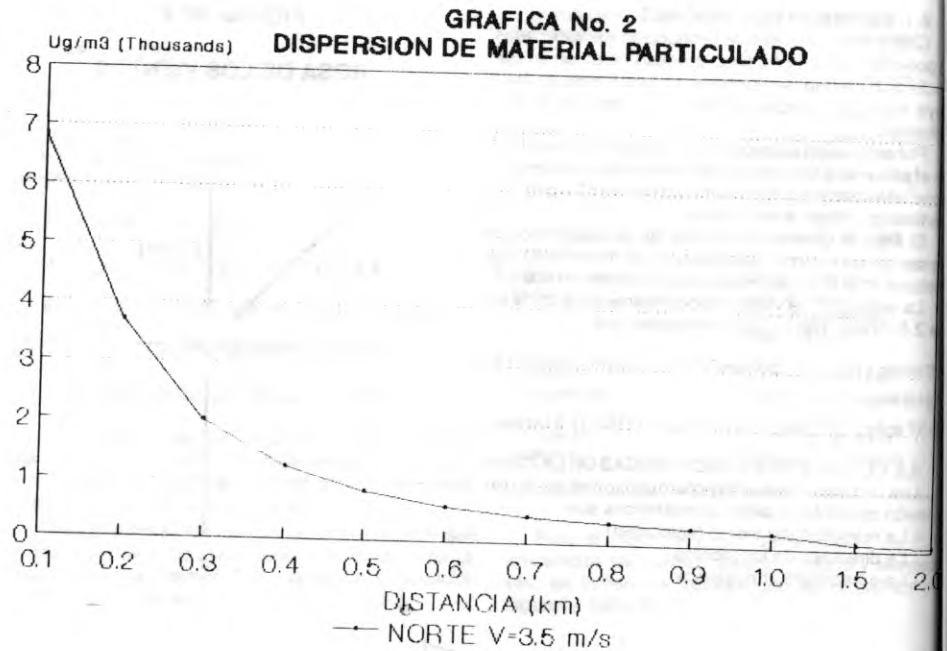
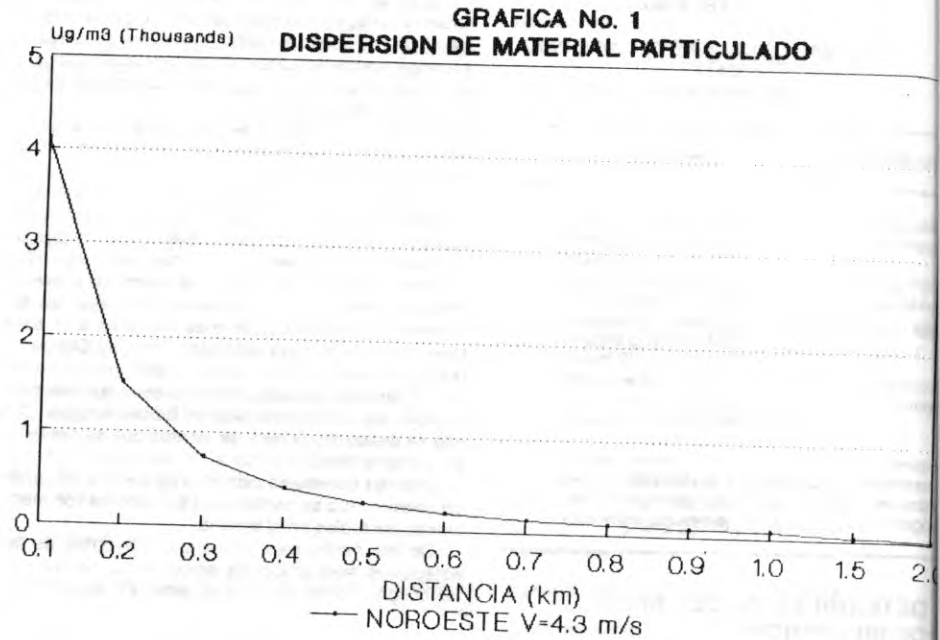
6.3.3. Resultados del modelo de dispersión

Los resultados del modelo de dispersión para las tres condiciones estimadas se presentan en la Tabla No. 3.

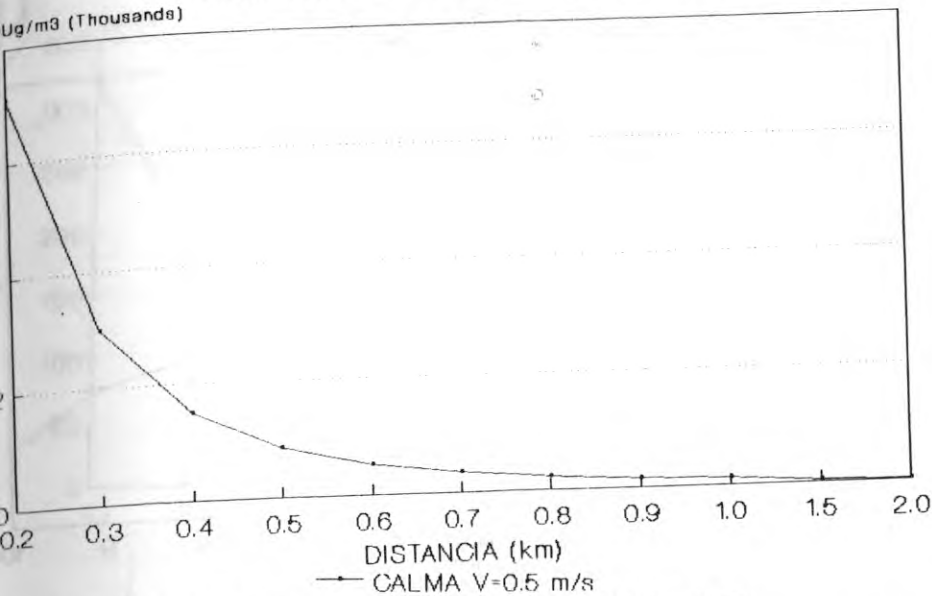
En las Gráficas 1 a 3 se representan estos resultados.

TABLA No. 3
RESULTADOS DEL MODELO DE DISPERSION
CONCENTRACION A NIVEL DE TERRENO (ug/m³)

DISTANCIA (KM)	DIRECCION NOROESTE	DIRECCION NORTE	DIRECCION CALMA
0.10	4102	6823	22508
0.20	1529	3702	7107
0.30	740	1996	2989
0.40	431	1231	1507
0.50	281	834	855
0.60	198	603	527
0.70	147	458	344
0.80	113	360	236
0.90	90	291	167
1.00	73	240	122
1.20	51	172	70
1.40	37	130	43
1.60	29	102	28
1.80	23	82	19
2.00	18	68	13
2.50	12	45	6
3.00	8	32	3



GRAFICA No. 3 DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO



6.4. DELIMITACION DEL AREA DE INFLUENCIA

Para la situación 1 se obtuvo la máxima concentración en el sitio de la emisión y se esperan concentraciones mayores que la norma hasta los 1100 metros abajo del sitio de la emisión.

Para la situación 2, igualmente se localizó la concentración máxima en el origen de la emisión. La distancia hasta donde se sobrepasa la norma local calculada es de 1700 m.

En cuanto a la situación 3, la máxima concentración se presenta también en el sitio de la emisión, y la distancia límite, hasta la cual se sobrepasa la norma de calidad del aire, es de 1100 m.

La mayoría de estos puntos se localiza dentro de las instalaciones de la trituradora.

De acuerdo con estos resultados el área de influencia se extiende los 1700 metros alrededor de la planta.

7. CARACTERISTICAS DEL AREA DE INFLUENCIA

7.1. CALIDAD DEL AIRE ACTUAL

Para establecer los niveles actuales de contaminación por partículas suspendidas totales en el aire ambiente de la zona de influencia se instalaron estaciones de monitoreo, de acuerdo con la metodología descrita en los siguientes numerales.

7.1.1. EQUIPO UTILIZADO

Para la toma de muestras se utilizaron estaciones de muestreo debidamente calibradas, un esquema de este equipo se muestra en la Figura No. 4

La determinación de la concentración se basa en el método gravimétrico, utilizando filtros de papel de celulosa.

La muestra es succionada a través del papel filtro donde se retienen las partículas en suspensión. La cantidad de aire de la muestra se establece con la medida del flujo al inicio y al final de la toma de la muestra, utilizando un rotámetro. El flujo medido se corrige aplicando la ecuación de calibración del equipo, predeterminada en el laboratorio.

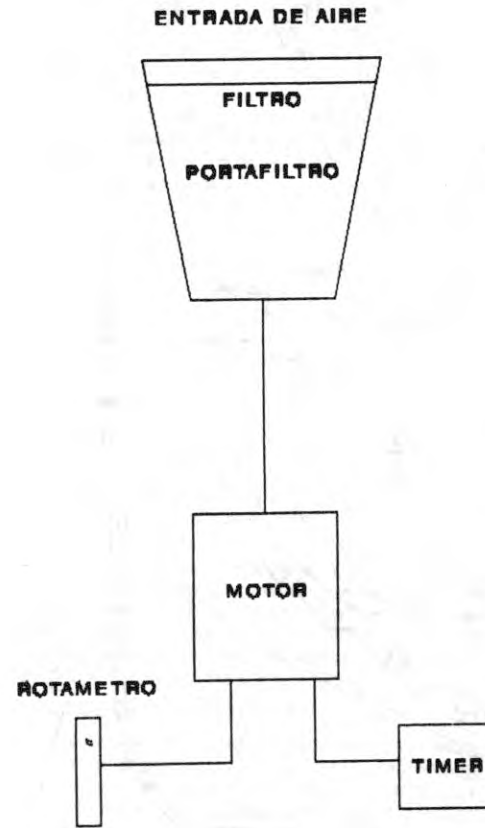
En el Anexo 3 se explica más detalladamente el procedimiento de toma de muestras.

7.1.2. SITIOS DE MUESTREO

Se muestrearon cuatro puntos ubicados así:

- Punto 1
Al norte de la trituradora, en la garita del vigilante.
- Punto 2
Al oriente de la trituradora, en la portería.
- Punto 3
Al suroeste, en la vivienda del señor Rodrigo Llanos.
- Punto 4
En el sitio de origen de la emisión, en la trituradora.

FIGURA No. 4 ESQUEMA EQUIPO DE MUESTREO



La ubicación de los sitios de muestreo puede apreciarse en el plano anexo.

7.1.3. Resultados de las mediciones

En la Tabla No. 4 se presentan los resultados obtenidos en las mediciones, con los cuales se construyeron las Gráficas 4 a 7.

TABLA No. 4

CALIDAD DEL AIRE ACTUAL CONCENTRACION A NIVEL DE TERRENO (ug/m³)

MUESTRA No.	SITIO TRITURADORA	SITIO PORTERIA	SITIO GARITA	SITIO VIVIENDA
1	12346	819	846	319
2	15749	750	708	198
3	16960	570	594	207
4	15122	476	384	264
5	14236	503	596	298
6	12129	434	767	178
7	14431	390	519	293
8	13165	359	422	261
9	16826	302	280	217
10	12723	174	309	282
PROMEDIO GEMOMETRICO	14253	439	482	247

7.2. CONDICIONES TOPOGRAFICAS DE LA ZONA

La zona de influencia hace parte de la vertiente oriental de la Cordillera Occidental y se localiza en un área montañosa de ladera, colindante con el valle geográfico. En general la propiedad está localizada entre las cotas 1000 y 1400 m.

7.3. USOS DE LA TIERRA

Casi la totalidad del área de influencia está dentro de la actividad de explotación de minas y canteras. Un mínimo porcentaje se destina a la vivienda urbana y actividad comercial.

7.4. OTRAS FUENTES DE CONTAMINACION DEL AIRE

Entre las actividades ajenas al proceso de trituración, que pueden estar implicadas como aportantes de contaminación por polvo en la zona, se destaca el flujo vehicular en las zonas aledañas. Por un lado está el polvo levantado físicamente en la vía y por otro los gases propios de la combustión de los motores.

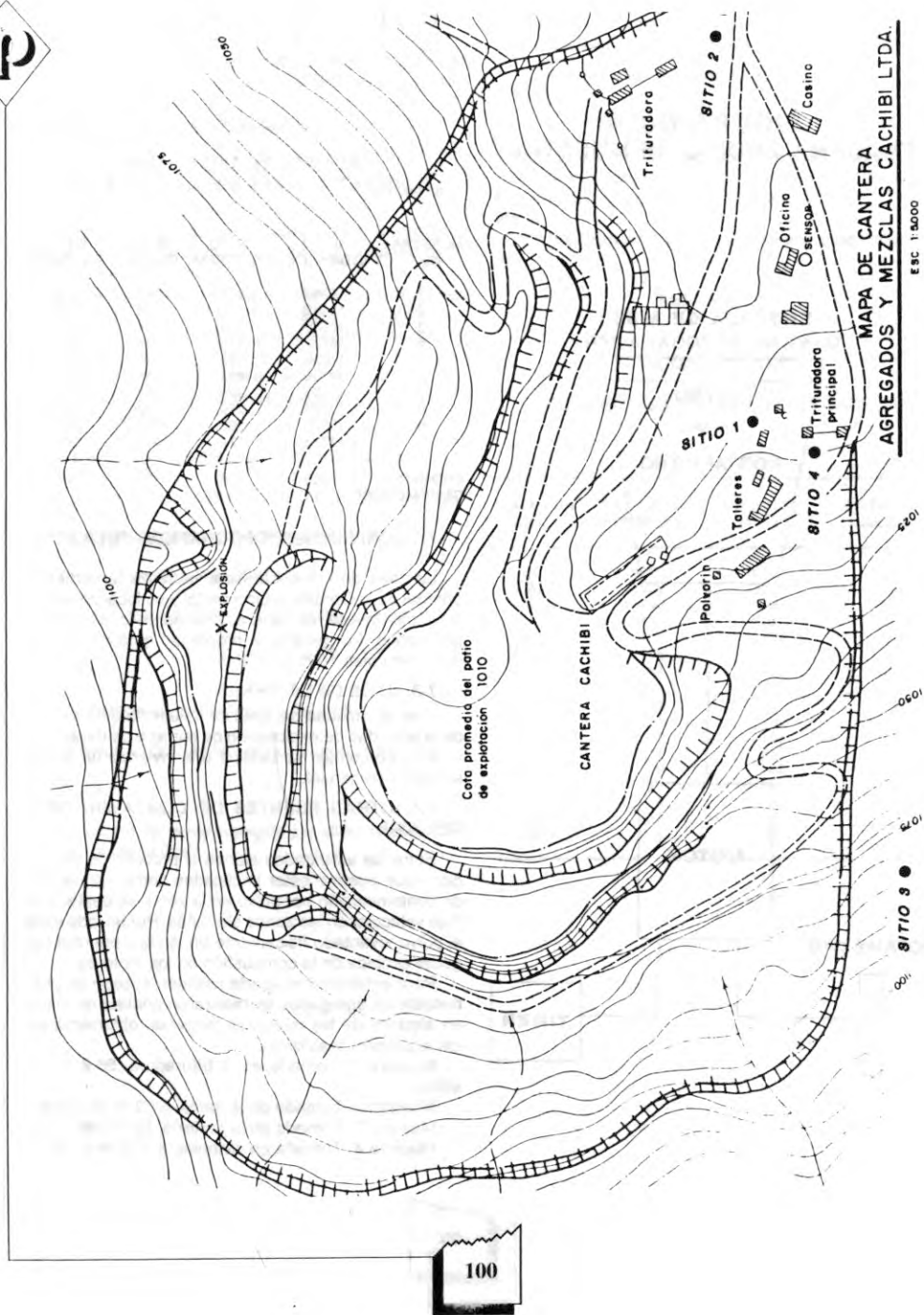
Para establecer el aporte real del proceso de producción de agregados se realizaron análisis de sílice en algunas de las muestras tomadas, obteniéndose los siguientes resultados.

Muestra 1: Tomada en la trituradora, 56.8 % de sílice

Muestra 2: Tomada en la garita, 51.2 % de sílice

Muestra 3: Tomada en la portería, 53.7% de sílice

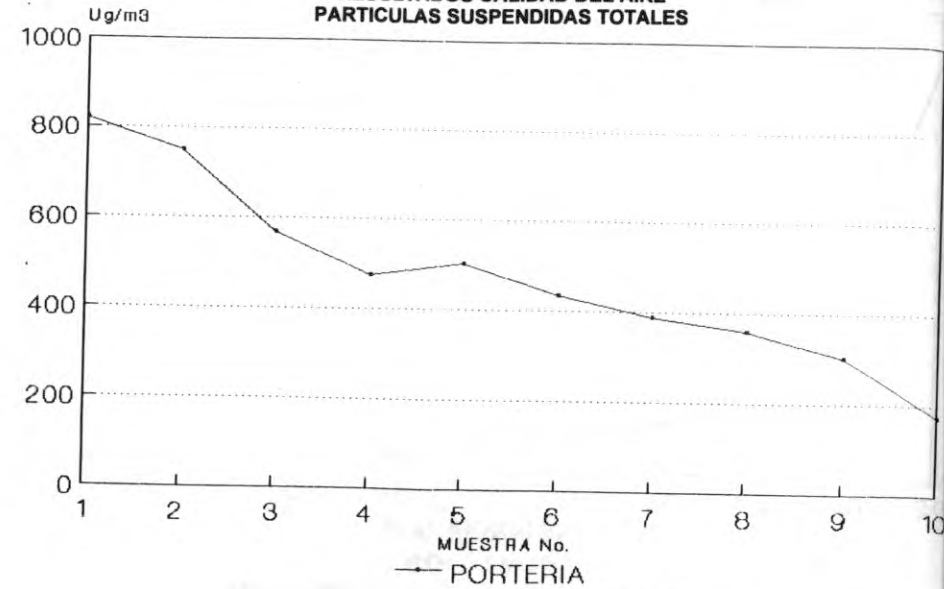
Muestra 4: Tomada en vivienda, 6.3 % de sílice



100

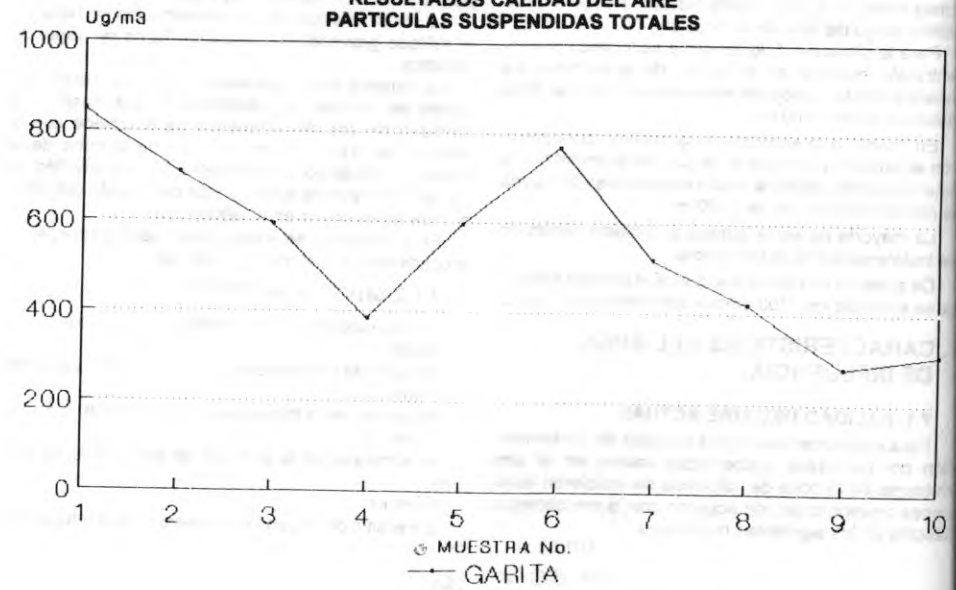
GRAFICA Nº 4

RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES



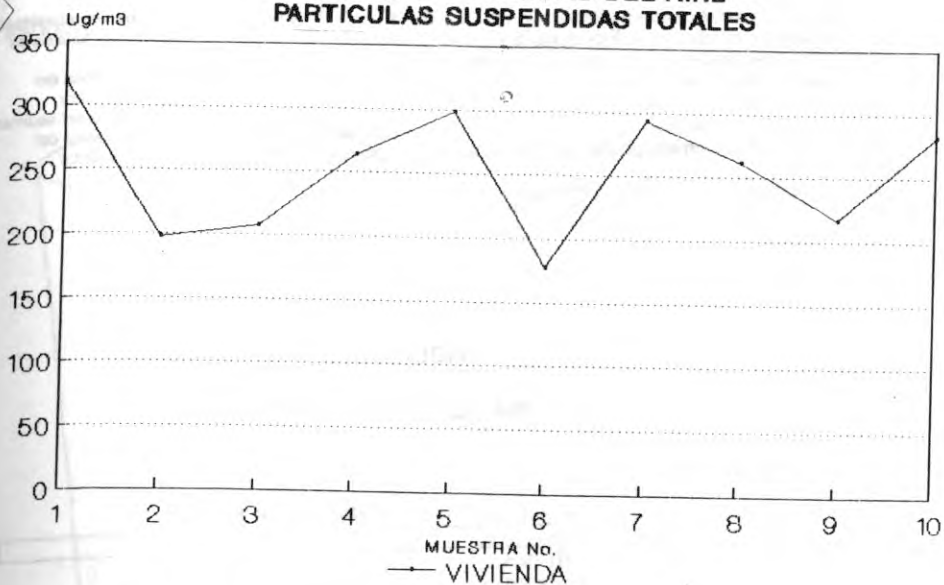
GRAFICA Nº 5

RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES

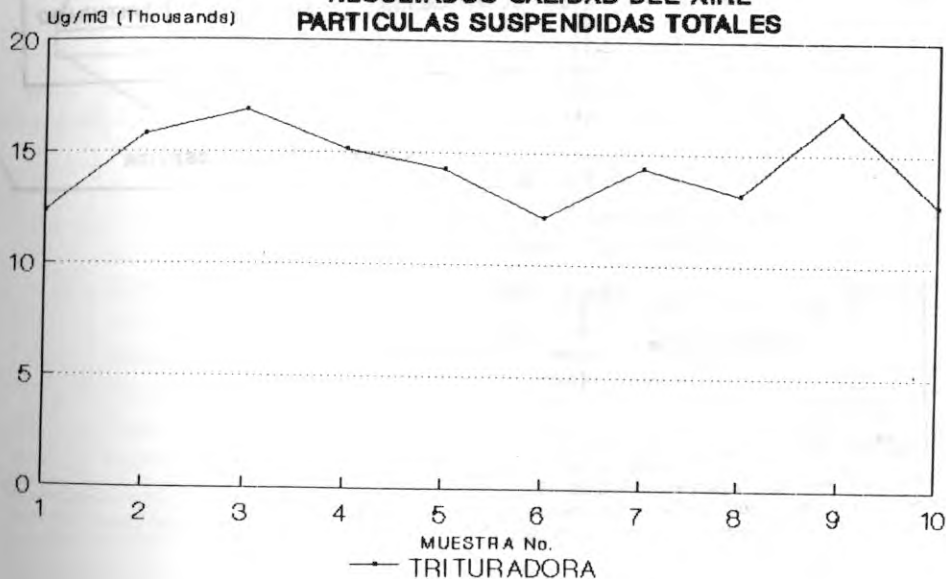


101

GRAFICA No.6
RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES



GRAFICA No.7
RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES



8. EFECTOS PROBABLES

8.1. DE LA EMISION DE CONTAMINANTES

Considerando que la única materia prima en la producción de agregados es la roca natural y el proceso de transformación se hace en forma mecánica, el contaminante del aire atribuible al proceso son las partículas totales en suspensión.

En el caso de Trituradora Cachibí la emisión de partículas medidas es 1.6 veces menor que el de la norma calculada (Decreto 02 de enero 11 de 1982) como puede verse en la Gráfica No. 8.

Esta comparación tiene una validez relativa si se tiene en cuenta que el Decreto 02/82 no considera una norma de emisión para la actividad específica de producción de agregados y es necesario compararla con el capítulo de "Otras Industrias".

Por otro lado, analizando la actividad de explotación de canteras en forma independiente y de acuerdo con las mediciones de calidad del aire efectuadas en forma continua durante 10 días, no se vislumbra la quema de los agentes de voladura como una fuente considerable de emisión de partículas, sobre todo por lo que es puntual, instantánea y de muy poca duración.

8.2. DE LA DISPERSION DE PARTICULAS

De acuerdo con los resultados del modelo de dispersión aplicado, la concentración de partículas suspendidas a nivel de terreno, que resulta de la actividad de la producción de agregados, sobrepasa la norma local de calidad del aire, hasta una distancia máxima de 1.700 m, a partir de la cual el aporte de partículas se hace menor que el límite permisible (ver Tabla 3).

La condición meteorológica bajo la cual se dificulta más la dilución de partículas, es la de velocidades bajas y horas de la noche, que en últimas es la que menos se presenta, si se tiene en cuenta que la actividad de trituración se realiza durante el día.

Dado que la actividad de producción de agregados es una fuente contaminante de área, la dispersión de las partículas presenta la mayor concentración en el sitio de origen y va disminuyendo a medida que se aleja de la fuente. Este elemento minimiza el impacto sobre el área circundante, trasladándolo, sobre todo, dentro de los predios de la trituradora.

8.3 DE LA CALIDAD DEL AIRE

Las hipótesis formuladas a partir de los resultados del modelo de dispersión aplicado fueron confirmadas por los datos de los muestreos de partículas realizados en la zona. Es así como, si observamos la Gráfica No. 9 en la cual se realiza una comparación de los resultados de los diferentes puntos, se encuentra una diferencia apreciable entre los niveles del sitio del triturador (14253) y los demás sitios.

Esto se explica por la naturaleza del polvo del triturador, que es de cierta densidad, de tal manera que

no alcanza a ser transportado por el aire hasta lugares distantes.

Las muestras captadas por los equipos medidores contienen otros contaminantes ajenos a la actividad de la producción de agregados, por lo que se determinó el porcentaje de sílice a varias de las muestras, encontrándose un 56.8 % de sílice en la muestra del sitio de la emisión y contenidos entre 6.3 y 51.2 en los sitios restantes. Estos resultados comprueban la incidencia de otras fuentes en el nivel de partículas de la zona, fuentes que según el estudio de vientos del área estarían ubicadas al noroeste de la trituradora.

Relacionando los resultados obtenidos del modelo de dispersión con los niveles de partículas medidos en el terreno, se encuentra que la actividad de producción de agregados es fuente de partículas en la zona de influencia, pero ésta se localiza principalmente dentro del perímetro particular de la Empresa.

Esta apreciación se confirma con el porcentaje de sílice encontrado en la vivienda muestreada de sólo 6.3%, mientras en los puntos internos se presentaron niveles mayores al 50%.

9. ACCIONES DE MITIGACION

Aunque la Empresa cumple con la legislación actual relativa a contaminación atmosférica, es importante minimizar los efectos de la actividad de producción de agregados en el recurso aire, por lo cual se recomienda la ejecución de un plan general de control de contaminación del aire, el cual se propone a continuación.

PLAN GENERAL DE CONTROL DE CONTAMINACION DEL AIRE EN LA PRODUCCION DE AGREGADOS

9.1. ESTRATEGIA

A nivel macro se trata de integrar tres elementos:

- I . Control del contaminante en el origen
- II . Control de la dispersión del contaminante
- III . Monitoreo continuo

9.2. ACCIONES

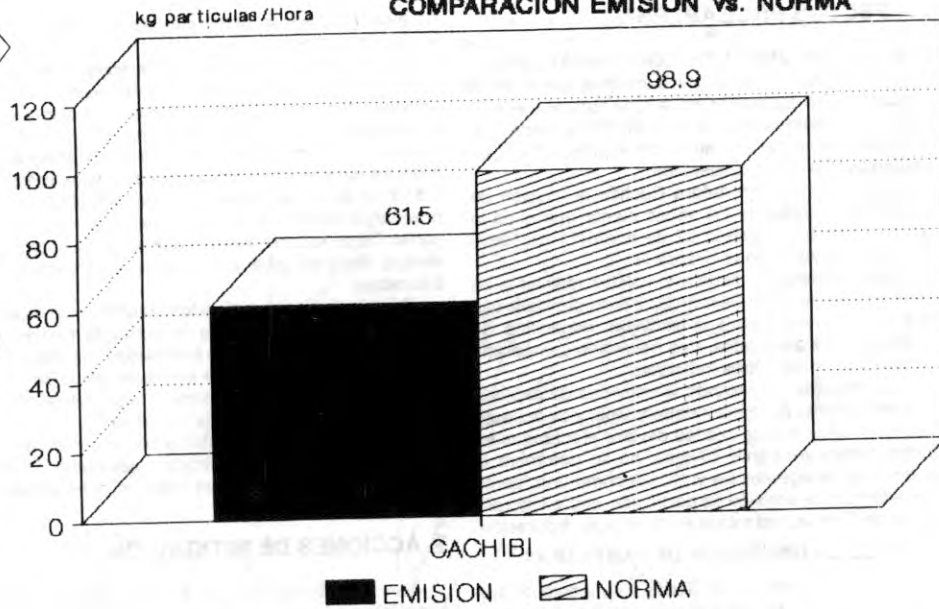
9.2.1. Remoción de polvo en el origen

Para definir el porcentaje de eficiencia del equipo de remoción a diseñar, se realizó un estimado con el modelo de dispersión, relacionando concentración a nivel de terreno con emisión. Los resultados fueron:

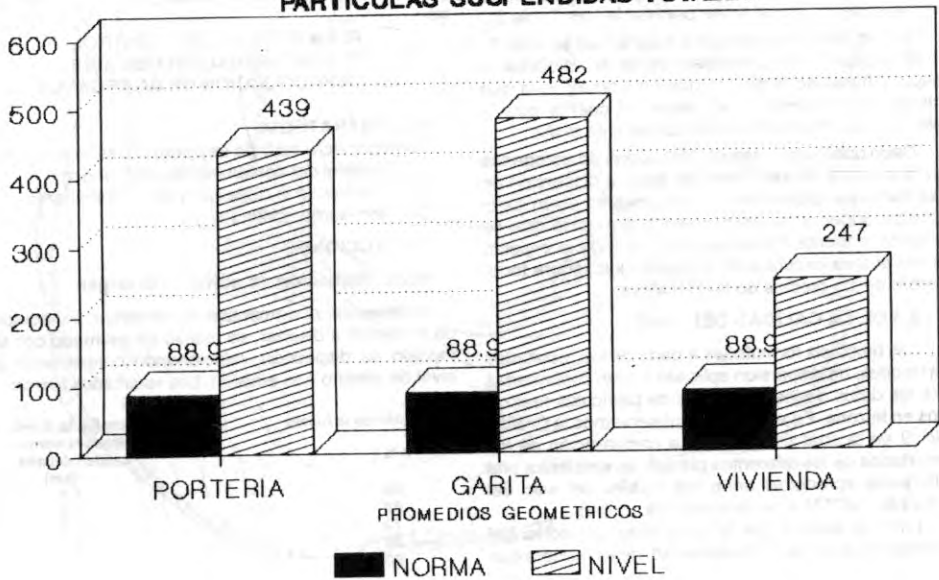
Remoción en la fuente (%)	Distancia hasta donde se sobrepasa la norma de calidad del aire (km)
50	1.1
60	1.0
70	0.8
80	0.7
90	0.4



**GRAFICA No. 8
COMPARACION EMISION Vs. NORMA**



**GRAFICA No. 9
COMPARATIVO DE RESULTADOS
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES**



Para controlar el material particulado en las trituradoras se propone:
La práctica de trabajar con material húmedo, con el sistema que se muestra en la Figura No. 5.
Este procedimiento tiene las siguientes ventajas:
Bajo costo de funcionamiento.
Facilidad de operación.
Bajo consumo de energía.
Baja vulnerabilidad en sus partes, simplificando la operatividad.
Diseño sencillo, pues los parámetros son:

PARAMETRO	UNIDAD DE TRATAMIENTO
Demanda de agua (m ³ /ton)	Tubería de abastecimiento Especificaciones de la bomba
Cantidad de polvo a remover	Dimensiones del sedimentador Eficiencia del sedimentador
Velocidad de sedimentación del polvo en agua	Dimensiones del sedimentador

**FIGURA N° 5
SISTEMA DE CONTROL DE POLVO**

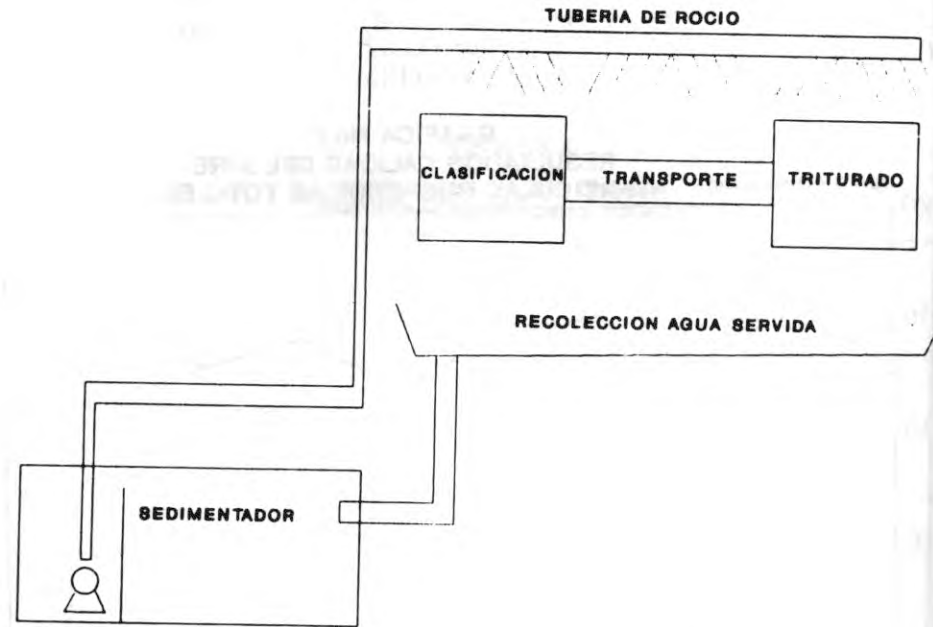
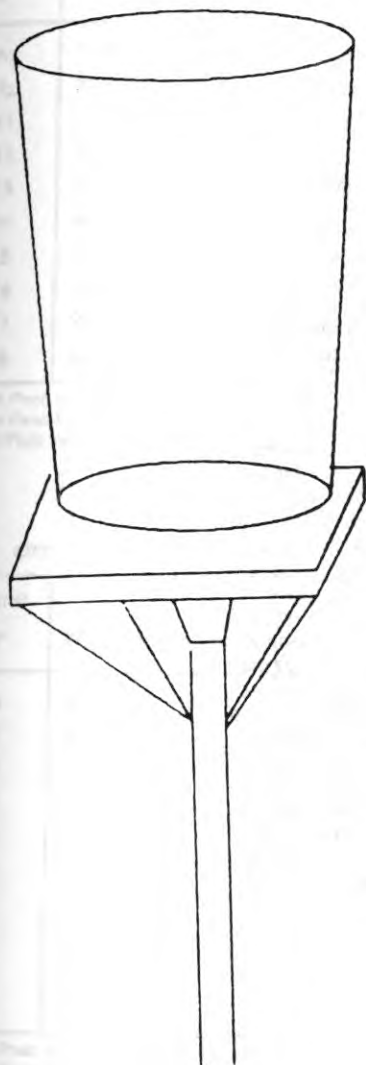


FIGURA 6

ESQUEMA COLECTOR DE POLVO SENCILLO



9.2.2. Control de la dispersión
 Si se logra un buen diseño en el paso anterior, este elemento no será necesario.
 Se trata de establecer tres acciones correctivas.
 - Encerramiento del área de trituración
 - Ventilación exhaustiva con filtros de mangas.
 - Cerco natural con árboles que alcancen alturas mayores de 10 metros.

9.2.3. Monitoreo continuo
 Como parte fundamental de plan se propone el monitoreo continuo de la calidad del aire, instalando una red de estaciones en diferentes sitios del área de influencia de acuerdo con los siguientes parámetros:
 - Estrategia de muestreo
 Se trata de una combinación de dos tipos de muestras:
 a) De polvo sedimentable
 b) De partículas suspendidas totales
 Las muestras de polvo sedimentable son una medida presuntiva, de resultados cualitativos que, instalando una red de estaciones, pueden detectar los puntos de máximo impacto en cada época del año.
 Con los resultados de polvo sedimentable se seleccionan los sitios para colocar los medidores de alto volumen, con los que se obtiene la concentración de partículas suspendidas totales.
 Esta combinación de muestras reduce el número de estaciones de alto volumen, que son mucho más costosas en cuanto precio de compra, mantenimiento y operatividad.
 - Equipo de muestreo

Para facilitar el monitoreo se recomienda la instalación de equipos recolectores conocidos como "Colector de Polvo Sencillo". Un esquema de este equipo se muestra en la Figura No. 6.
 El Colector de Polvo Sencillo es un recipiente abierto al aire libre, construido en polietileno que tiene entre 20 y 33 cm de alto y 10 a 15 cm de diámetro.
 Es conveniente añadir una solución algicida para evitar el crecimiento de algas, que interfieren en la muestra.
 Para obtener muestras de partículas suspendidas totales se recomiendan las estaciones medidoras tipo Hi-Voll, que consisten en un elemento de succión que obliga a pasar el flujo de aire por un filtro, donde se recolecta la muestra. Posee también un medidor de flujo.
 - Ubicación y número de estaciones
 Para las muestras de polvo sedimentable se recomienda la ubicación en sitios libres de obstrucciones, a los 2.5 m de altura, sobre el terreno.
 El número aconsejable de estaciones es de 1 por hectárea de trabajo.
 En los puntos de mayor índice de polvo sedimentable se colocan las estaciones de alto volumen, para cuantificar el polvo suspendido total.

Se estima que PROAGREGADOS, como entidad gremial, puede adquirir cuatro estaciones que sirvan para monitorear las plantas del gremio.
 - Procedimiento de toma de muestra de polvo sedimentable.
 El recipiente, tapado y limpio, se lleva al sitio de muestreo, se agrega la solución algicida, se retira la tapa y se coloca el recipiente en el soporte. Después de una exposición de 30 días calendario, se retira el recipiente, se tapa y se lleva al laboratorio, donde por desecación y filtración se obtienen los siguientes resultados:
 - Polvo total
 - Sólidos solubles
 - Sólidos insolubles
 Estos resultados se expresan en unidades de masa por área y por mes.
 - Interpretación de los resultados
 El principal atributo de esta toma de muestra es que se recogen varios gramos, lo que facilita los análisis

de laboratorio para identificar el aporte de una planta determinada.
 Se detectan cambios en los procesos de la industria.

Se comparan las cantidades de polvo entre los diferentes sectores de la red de muestreo, identificando el impacto, lo que facilita la ubicación de barreras para la dispersión del polvo.
 - Presentación de resultados
 Los resultados mensuales sirven para tomar medidas correctivas internas y por lo menos cada año presentar un informe a la entidad Delegada del Ministerio de Salud.

9.3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El flujograma de las actividades propuestas, con los tiempos estimados para cada actividad se presentan en el cronograma adjunto.

PLAN CONTROL CONTAMINACION DEL AIRE
 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDAD	TIEMPO EN MESES									
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
1 DIAGNOSTICO										
Identificación de focos en proceso	■									
Cuantificación del contaminante		■								
2 ALTERNATIVAS DE CONTROL										
Prediseños			■	■	■					
Costeo de alternativas				■	■					
Selección de alternativa definitiva					■	■				
3 DISEÑO										
Definición de parámetros					■					
Diseño final						■	■	■		
4 INSTALACION										
Reformas en línea de proceso								■	■	
Construcción de unidades									■	■
5 PUESTA EN MARCHA										
Arranque										■
Monitoreo										■



MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora Cachibi
Dirección de viento: NO
Velocidad (m/seg): 4.3
Estabilidad: B

X= .1 C= 4102.342 Y= 18.71357 Z= 10.16233
X= .2 C= 1529.428 Y= 35.90141 Z= 20.46173
X= .3 C= 740.8124 Y= 52.33259 Z= 31.00073
X= .4 C= 431.8747 Y= 68.24328 Z= 41.74137
X= .5 C= 281.9394 Y= 83.75465 Z= 52.65638
X= .6 C= 198.3382 Y= 98.94124 Z= 63.72596
X= .7 C= 147.0783 Y= 113.8538 Z= 74.9349
X= .8 C= 113.4125 Y= 128.5293 Z= 86.27135
X= .9 C= 90.12424 Y= 142.9959 Z= 97.72559
X= 1 C= 73.34824 Y= 157.2757 Z= 109.2894
X= 1.1 C= 60.86373 Y= 171.3865 Z= 120.9562
X= 1.2 C= 51.32186 Y= 185.3429 Z= 132.7199
X= 1.3 C= 43.86484 Y= 199.1576 Z= 144.5756
X= 1.4 C= 37.92618 Y= 212.8411 Z= 156.5187
X= 1.5 C= 33.11963 Y= 226.4023 Z= 168.5453
X= 1.6 C= 29.17436 Y= 239.8493 Z= 180.6517
X= 1.7 C= 25.89603 Y= 253.1889 Z= 192.8348
X= 1.8 C= 23.14218 Y= 266.4275 Z= 205.0916
X= 1.9 C= 20.80645 Y= 279.5704 Z= 217.4197
X= 2 C= 18.80823 Y= 292.6225 Z= 229.8162
X= 2.1 C= 17.08535 Y= 305.5885 Z= 242.2793
X= 2.2 C= 15.58942 Y= 318.4724 Z= 254.8069
X= 2.3 C= 14.28221 Y= 331.2776 Z= 267.3967
X= 2.4 C= 13.13319 Y= 344.008 Z= 280.0476
X= 2.5 C= 12.11782 Y= 356.6665 Z= 292.757
X= 2.6 C= 11.2161 Y= 369.2556 Z= 305.5245
X= 2.7 C= 10.41167 Y= 381.7781 Z= 318.3478
X= 2.8 C= 9.691001 Y= 394.2367 Z= 331.2255
X= 2.9 C= 9.042827 Y= 406.6336 Z= 344.1569
X= 3 C= 8.457734 Y= 418.9708 Z= 357.1407

VELOCIDAD CORREGIDA= 4.3

MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora Cachibi
Dirección de viento: N
Velocidad (m/seg.): 3.5
Estabilidad: C

X= .1 C= 6823.387 Y= 12.14238 Z= 7.248451
X= .2 C= 3702.181 Y= 23.42231 Z= 13.79045
X= .3 C= 1996.618 Y= 34.28185 Z= 20.072
X= .4 C= 1231.179 Y= 44.85219 Z= 26.18644
X= .5 C= 834.4071 Y= 55.2004 Z= 32.17772
X= .6 C= 603.8132 Y= 65.36768 Z= 38.07156
X= .7 C= 458.131 Y= 75.38209 Z= 43.88486
X= .8 C= 360.1849 Y= 85.26407 Z= 49.62953
X= .9 C= 291.1084 Y= 95.02918 Z= 55.31451
X= 1 C= 240.5182 Y= 104.6896 Z= 60.94673
X= 1.1 C= 2,02.3196 Y= 114.2553 Z= 66.53158
X= 1.2 C= 172.7433 Y= 123.7343 Z= 72.07361
X= 1.3 C= 149.3558 Y= 133.1336 Z= 77.5764
X= 1.4 C= 130.5282 Y= 142.4591 Z= 83.04326
X= 1.5 C= 115.1369 Y= 151.7156 Z= 88.47672
X= 1.6 C= 102.3853 Y= 160.9078 Z= 93.87916
X= 1.7 C= 91.69642 Y= 170.0393 Z= 99.25259
X= 1.8 C= 82.6433 Y= 179.1137 Z= 104.5987
X= 1.9 C= 74.90475 Y= 188.1341 Z= 109.9192
X= 2 C= 68.23511 Y= 197.103 Z= 115.2154
X= 2.1 C= 62.44388 Y= 206.0232 Z= 120.4886
X= 2.2 C= 57.38137 Y= 214.8968 Z= 125.74
X= 2.3 C= 52.92882 Y= 223.7258 Z= 130.9705
X= 2.4 C= 48.99079 Y= 232.5121 Z= 136.1811
X= 2.5 C= 45.48986 Y= 241.2577 Z= 141.3727
X= 2.6 C= 42.36286 Y= 249.9638 Z= 146.5461
X= 2.7 C= 39.55768 Y= 258.632 Z= 151.7019
X= 2.8 C= 37.03097 Y= 267.2638 Z= 156.8411
X= 2.9 C= 34.74661 Y= 275.8605 Z= 161.9639
X= 3 C= 32.67411 Y= 284.423 Z= 167.0711

VELOCIDAD CORREGIDA = 3.5

MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora Cachibi
Dirección de viento: CALMA
Velocidad (m/seg.): 0.5
Estabilidad: A

X= .1 C= 22508.93 Y= 26.68185 Z= 14.09559
X= .2 C= 7107.492 Y= 50.22446 Z= 28.70523
X= .3 C= 2989.663 Y= 72.46592 Z= 49.23003
X= .4 C= 1507.774 Y= 93.85185 Z= 76.28431
X= .5 C= 855.6718 Y= 114.5989 Z= 110.5815
X= .6 C= 527.0918 Y= 134.8361 Z= 152.8707
X= .7 C= 344.8268 Y= 154.6493 Z= 203.9269
X= .8 C= 236.2277 Y= 174.1 Z= 264.549
X= .9 C= 167.8421 Y= 193.2342 Z= 335.5584
X= 1 C= 122.8397 Y= 212.0877 Z= 417.7987
X= 1.1 C= 92.14041 Y= 230.689 Z= 512.1368
X= 1.2 C= 70.5615 Y= 249.0617 Z= 619.462
X= 1.3 C= 55.00403 Y= 267.2253 Z= 740.6862
X= 1.4 C= 43.54127 Y= 285.1961 Z= 876.7444
X= 1.5 C= 34.93456 Y= 302.9883 Z= 1028.594
X= 1.6 C= 28.3644 Y= 320.6147 Z= 1197.219
X= 1.7 C= 23.27507 Y= 338.0852 Z= 1383.622
X= 1.8 C= 19.281 Y= 355.4099 Z= 1588.832
X= 1.9 C= 16.10963 Y= 372.5971 Z= 1813.904
X= 2 C= 13.56482 Y= 389.6537 Z= 2059.909
X= 2.1 C= 11.50307 Y= 406.587 Z= 2327.954
X= 2.2 C= 9.818069 Y= 423.4035 Z= 2619.161
X= 2.3 C= 8.429928 Y= 440.1076 Z= 2934.679
X= 2.4 C= 7.2779 Y= 456.7055 Z= 3275.681
X= 2.5 C= 6.315321 Y= 473.2008 Z= 3643.37
X= 2.6 C= 5.505976 Y= 489.5988 Z= 4038.962
X= 2.7 C= 4.821489 Y= 505.9029 Z= 4463.715
X= 2.8 C= 4.23945 Y= 522.1165 Z= 4918.901
X= 2.9 C= 3.742017 Y= 538.2435 Z= 5405.807
X= 3 C= 3.314865 Y= 554.2863 Z= 5925.776

VELOCIDAD CORREGIDA= .5

EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE
METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION)

SITIO: CACHIBI

PORTERIA

Nº 1

FILTRO Nº	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO Pies ³ minuto		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m ³
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
A1	XI-09-92	5.2764	5.9715	40	20	819
X2	XI-10-92	5.7674	6.6973	40	25	750
11	XI-11-92	5.4789	5.9624	40	20	570
12	XI-12-92	5.3821	5.9508	40	22	476
13	XI-13-92	5.3760	6.0015	40	25	503
14	XI-17-92	5.3567	5.8826	40	23	434
15	XI-18-92	5.5559	5.8867	40	20	390
16	XI-19-92	5.4288	5.8740	40	25	359
17	XI-22-92	5.5089	5.8839	40	25	302
18	XI-23-92	5.5282	5.7576	40	30	174

W₁ = Peso Inicial Filtro. grs. 5.22 + 0774X
W₂ = Peso Final Filtro con partículas. grs.
Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo. Pies³/min.

Q₂ = Flujo Final de Muestreo. Pies³/min.
y = Curva de calibración del Equipo de Muestreo
(Hr - W11).

EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE
METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION)

SITIO: CACHIBI

GARITA (JAULA)

Nº 2

FILTRO Nº	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO Pies ³ minuto		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m ³
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
A	XI-09-92	5.7246	6.7035	40	20	846
1	XI-11-92	5.5092	6.1792	40	20	708
2	XI-13-92	5.4012	5.9627	40	20	594
3	XI-17-92	5.4082	5.7713	40	20	384
4	XI-18-92	5.3995	5.9612	40	25	596
5	XI-19-92	5.5542	6.5492	40	25	767
6	XI-20-92	5.4816	6.1552	40	20	519
7	XI-21-92	5.3387	5.7368	40	15	422
8	XI-23-92	5.3570	5.6818	40	15	280
9	XI-24-92	5.3977	5.7556	40	15	309

W₁ = Peso Inicial Filtro. grs. 9.40 + 0685X
W₂ = Peso Final Filtro con partículas. grs.
Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo. Pies³/min.

Q₂ = Flujo Final de Muestreo. Pies³/min.
y = Curva de calibración del Equipo de Muestreo
(Hr - W11).

EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE
METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION)

SITIO: CACHIBI

TRITURADORA

Nº 3

FILTRO Nº	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO Pies ³ minuto		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m ³
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
F ₁	XI-09-92	5.4649	11.7625	40	20	12.346
F ₂	XI-10-92	5.4691	13.6350	40	21	15.749
F ₃	XI-11-92	5.4598	13.9681	40	20	16.860
F ₄	XI-12-92	5.4601	13.4281	40	22	15.122
F ₅	XI-13-92	5.4588	12.9599	40	22	14.236
F ₆	XI-17-92	5.4590	11.6459	40	20	12.129
F ₇	XI-18-92	5.4675	13.2652	40	24	14.341
F ₈	XI-19-92	5.4704	12.4072	40	22	13.165
F ₉	XI-22-92	5.4716	14.4898	40	23	16.826
F ₁₀	XI-23-92	5.4697	12.2806	40	23	12.723
y = 6.36 + 07161						

W₁ = Peso Inicial Filtro. grs.
W₂ = Peso Final Filtro con partículas. grs.
Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo. Pies³/min.

Q₂ = Flujo Final de Muestreo. Pies³/min.
y = Curva de calibración del Equipo de Muestreo.

ANEXO 3

TOMA DE MUESTRAS DE PARTICULAS
EN SUSPENSION

a) FUNDAMENTO DEL METODO

El procedimiento de muestreo de partículas suspendidas totales se basa en los principios de la ley de Stokes (Mecánica de fluidos) en la siguiente aplicación:

La forma de los equipos de muestreo, al succionar la muestra, obliga al flujo de aire a cambiar de dirección al menos en 90 grados, antes de alcanzar el filtro.

Las partículas que siguen en el flujo de aire, después del cambio de dirección de 90 grados, han cumplido con la definición de polvo en suspensión, o sea que no sedimentan por acción de la fuerza de gravedad.

b) DESCRIPCION DEL METODO

El equipo de muestreo succiona el aire ambiente haciéndolo pasar por un filtro, donde atrapan las partículas.

El total de partículas se determina en forma gravimétrica, por diferencia en el peso del filtro.

La cantidad de aire medido se determina por diferencia de flujo al inicio y final de la toma de la muestra.

c) PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

A continuación se describe brevemente el procedimiento de muestreo:

- I. Desecado y peso inicial de los filtros
- II. Calibración de los medidores Hi-Voll
- III. Colocación del filtro limpio
- IV. Ajuste de la rata de muestreo
- V. Cambio de filtro y lectura de flujo final
- VI. Desecado y peso final del filtro

d) CALCULOS

Al final de cada muestra se obtienen los siguientes datos:

- Tiempo de muestreo
- Flujo inicial y final
- Material retenido
- Ecuación de calibración del equipo
- Temperatura promedio del ambiente

Con estos datos se calcula la concentración total de partículas suspendidas, en microgramos por metro cúbico. Se aplica la siguiente ecuación:

$$C = \frac{(W_2 - W_1)}{((F_1 + F_2)/2) \times T}$$



Donde:

C : Concentración de partículas suspendidas en el aire

W1 : Peso inicial del filtro

W2 : Peso final del filtro

F1 : Flujo inicial del equipo medidor *

F2 : Flujo al final de la toma de la muestra *

T : Tiempo de muestreo

* El flujo debe corregirse de acuerdo con la ecuación de la forma de calibración del equipo, que es de la forma:

$$Y = mX + b$$

Donde:

Y = Flujo corregido

X = Lectura del rotámetro (F1 y F2)

ANEXO 4

GLOSARIO

ALTURA EFECTIVA DE LA PLUMA: Distancia hasta donde se eleva la pluma o nube de emisión de polvo.

ANEMOMETRO: Dispositivo que mide la velocidad del aire.

AREA DE INTERES SANITARIO: Extensión de terreno, en la cual los niveles de contaminación pueden ser perjudiciales para la salud humana.

CONDICION METEOROLOGICA: Conjunto de las condiciones atmosféricas que caracterizan una región.

DESECACION: Acción por medio de la cual se elimina la humedad a un elemento sólido.

DISPERSION DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE: Dilución de elementos gaseosos en el aire, que permite transporte a sitios diferentes del de emisión.

ESTABILIDAD ATMOSFERICA: Susceptibilidad de cambio en las condiciones atmosféricas de un sitio.

ESTACIONES DE MUESTREO DE ALTO VOLUMEN: Equipo para medir la concentración de partículas en el aire.

FUENTE CONTAMINANTE DE AREA: Generación de contaminantes del aire a campo abierto y sin ventilación inducida.

MACROPARTICULAS: Partículas suspendidas en el aire de tamaños entre 0.1 y 10 micras de diámetro.

METODO GRAVIMETRICO: Procedimiento de medida basado en diferencias de peso.

MODELO DE DISPERSION: Simulación teórica, para predecir la dilución y el transporte de un contaminante en el aire.

NIVELES DE PARTICULAS MEDIDOS: Concentración de polvo en el aire, obtenida mediante mediciones de campo.

PARTICULAS Suspendidas TOTALES: Polvo que no se sedimenta por acción de la gravedad.

PLUMA: Nube de emisión de un contaminante del aire.

POLVO SEDIMENTABLE: Partículas que, por su tamaño, caen al suelo bajo la acción de la gravedad.

REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO

Mayo 17 de 1993

Procedencia de la muestra:

Ingeniero Fabio Franco, filtros con polvo de mediciones de calidad del aire.

Toma de muestras:

Ingeniero Fabio Franco C.

Análisis realizado:

Determinación del porcentaje de Sílice.

Método de Laboratorio: N°. 4258 STANDARD METHODS FOR EXAMINATION.

MUESTRA (Filtro N°)	RESULTADO (%)	MUESTRA (Filtro N°)	RESULTADO (%)
48	54.1	113	63.7
39	11.3	66	37.4
43	28.9	96	48.1
52	13.1	88	39.3
16	54.2	F2	56.8
56	35.2	1	51.2
26	38.1	X2	53.7
08	58.7	51	6.3
86	52.1	01	52.4
26	38.7	107	13.5
38	12.8	111	18.3
49	15.2		

NELVER CASTRO SANCHEZ

Químico

Mat. Prof. PQ = 1017

11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

10-11

10
9
8
7
6
5
4
3
2
1

10-11
10-12
10-13
10-14
10-15
10-16
10-17
10-18
10-19
10-20
10-21
10-22
10-23
10-24
10-25
10-26
10-27
10-28
10-29
10-30
10-31
10-32
10-33
10-34
10-35
10-36
10-37
10-38
10-39
10-40
10-41
10-42
10-43
10-44
10-45
10-46
10-47
10-48
10-49
10-50
10-51
10-52
10-53
10-54
10-55
10-56
10-57
10-58
10-59
10-60
10-61
10-62
10-63
10-64
10-65
10-66
10-67
10-68
10-69
10-70
10-71
10-72
10-73
10-74
10-75
10-76
10-77
10-78
10-79
10-80
10-81
10-82
10-83
10-84
10-85
10-86
10-87
10-88
10-89
10-90
10-91
10-92
10-93
10-94
10-95
10-96
10-97
10-98
10-99
10-100

TRITURADOS EL CHOCHO

10-11
10-12
10-13
10-14
10-15
10-16
10-17
10-18
10-19
10-20
10-21
10-22
10-23
10-24
10-25
10-26
10-27
10-28
10-29
10-30
10-31
10-32
10-33
10-34
10-35
10-36
10-37
10-38
10-39
10-40
10-41
10-42
10-43
10-44
10-45
10-46
10-47
10-48
10-49
10-50
10-51
10-52
10-53
10-54
10-55
10-56
10-57
10-58
10-59
10-60
10-61
10-62
10-63
10-64
10-65
10-66
10-67
10-68
10-69
10-70
10-71
10-72
10-73
10-74
10-75
10-76
10-77
10-78
10-79
10-80
10-81
10-82
10-83
10-84
10-85
10-86
10-87
10-88
10-89
10-90
10-91
10-92
10-93
10-94
10-95
10-96
10-97
10-98
10-99
10-100

CONTENIDO

	Página
1. PRESENTACION	119
2. INFORMACION GENERAL DE LA EMPRESA	119
2.1. NOMBRE Y RAZON SOCIAL	119
2.2. DIRECCION	119
2.3. OBJETIVO COMERCIAL	119
2.4. SITUACION DE LA INDUSTRIA	119
2.5. AREA DE LA INDUSTRIA	119
2.6. NUMERO DE EMPLEADOS	119
2.7. HORARIO DE FUNCIONAMIENTO	119
3. INFORMACION DEL PROCESO INDUSTRIAL	119
3.1. MATERIAS PRIMAS	119
3.2. PRODUCTOS FABRICADOS	119
3.3. DIAGRAMA DE FLUJO	120
3.4. ALMACENAMIENTO	120
4. FUENTES FIJAS DE CONTAMINACION	120
4.1. PROCESOS DE GENERACION DE EMISIONES	120
4.2. CARACTERISTICAS DE LAS EMISIONES	120
5. NORMATIVIDAD A CUMPLIR	120
5.1. NORMAS DE EMISIONES	120
5.2. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE	121
6. DETERMINACION DEL AREA DE INFLUENCIA	122
6.1. ESTIMADO DE EMISIONES	122
6.2. CONDICIONES ATMOSFERICAS	122
6.3. DISPERSION DE CONTAMINANTES	123
6.4. DELIMITACION DEL AREA DE INFLUENCIA	127
7. CARACTERISTICAS DEL AREA DE INFLUENCIA	127
7.1. CALIDAD DEL AIRE ACTUAL	127

7.2. CONDICIONES TOPOGRAFICAS.....	131
7.3. USOS DE LA TIERRA.....	131
7.4. OTRAS FUENTES DE CONTAMINACION DEL AIRE.....	131
8. EFECTOS PROBABLES.....	131
8.1. DE LA EMISION DE CONTAMINANTES.....	131
8.2. DE LA DISPERSION DE PARTICULAS.....	132
8.3. DE LA CALIDAD DEL AIRE.....	132
9. ACCIONES DE MITIGACION.....	133
9.1. ESTRATEGIA.....	133
9.2. ACCIONES.....	133
9.3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	135

LISTA DE TABLAS

TABLA N°	CONTENIDO	Página
1	Normas nacionales de calidad del aire	121
2	Normas de calidad del aire para Cali	121
3	Resultados del modelo de dispersión	124
4	Calidad del aire actual	129

LISTA DE FIGURAS

FIGURA N°	CONTENIDO	Página
1	Flujograma Proceso Diamante	120
2	Rosa de los vientos	18
3	Modelo de dispersión - Sistema de coordenadas	123
4	Esquema equipo de muestreo	127
5	Sistema de control de polvo	134
6	Esquema colector de polvo sencillo	135

LISTA DE CUADROS

CUADRO N°	CONTENIDO	Página
1	Cronograma para el plan de control de contaminación del aire	136

LISTA DE GRAFICAS

1	Dispersión de material particulado	125
2	Dispersión de material particulado	125
3	Dispersión de material particulado	126
4	Dispersión de material particulado	126
5	Resultados calidad del aire. Partículas Suspendidas Totales	129
6	Resultados calidad del aire. Partículas Suspendidas Totales	130
7	Resultados calidad del aire. Partículas Suspendidas Totales	130
8	Resultados calidad del aire. Partículas Suspendidas Totales	131
9	Comparación emisión vs. norma	132
10	Comparación de Resultados. Partículas Suspendidas Totales	133

LISTA DE PLANOS

1	Mapa de cantera con ubicación de sitios de muestreo	128
---	---	-----

ANEXOS

1	Listados de resultados modelo de dispersión	137
2	Hojas de campo	139
3	Toma de muestras de partículas en suspensión	141
4	Glosario	142
5	Resultados de laboratorio	143

1. PRESENTACION

Con la finalidad de revisar desde una perspectiva ambiental el proceso de producción de agregados para la construcción, y tomar, si fuere necesario los correctivos para cumplir con el objetivo de las empresas asociadas a Proagregados de originar el mínimo impacto sobre el medio ambiente contrataron con una firma consultora realizar estudios sobre la calidad del aire en las zonas de influencia de sus plantas.

El presente libro presenta los resultados de la investigación realizada y sus conclusiones para la planta de Triturados El Chocho & Cia. Ltda.; ubicada en el sector del río Aguacatal, en la ciudad de Cali.

En este documento se presenta la metodología que sigue las recomendaciones del Ministerio de Salud (Decreto 02 de enero 11 de 1982), así como también resultados del mencionado estudio realizado por la firma Proinsa, de la ciudad de Cali.

2. INFORMACION GENERAL DE LA EMPRESA

2.1. NOMBRE Y RAZON SOCIAL

La Empresa está registrada con el nombre "Triturados El Chocho y Cia. Ltda."

2.2. DIRECCION

Tanto la planta de producción como las dependencias administrativas están ubicadas en la zona de la quebrada de El Chocho, en la ciudad de Cali.

2.3. OBJETIVO COMERCIAL

El objeto comercial de la empresa es la producción de agregados pétreos para la construcción.

2.4. SITUACION DE LA INDUSTRIA

Según zonificación del Departamento de Planeación Municipal de Cali está ubicada en zona de actividad de Minas y Canteras.

2.5. AREA DE LA INDUSTRIA

El área total de la industria es de 120 hectáreas.

2.6. NUMERO DE EMPLEADOS

Se cuenta con 80 operarios en producción y 15 empleados en la administración.

2.7. HORARIO DE FUNCIONAMIENTO

La producción se realiza durante 25 días/mes, 10 horas al día.

3. INFORMACION DEL PROCESO INDUSTRIAL

3.1. MATERIAS PRIMAS

La única materia prima utilizada en el proceso es la roca llamada diabasa, en sus diferentes estados:

- Diabasa meteorizada
- Diabasa fresca (piedra azul)
- Diabasa levemente alterada

3.2. PRODUCTOS FABRICADOS

A partir de las diabasas se obtienen los siguientes productos:

7.2. CONDICIONES TOPOGRAFICAS.....	131
7.3. USOS DE LA TIERRA.....	131
7.4. OTRAS FUENTES DE CONTAMINACION DEL AIRE.....	131
8. EFECTOS PROBABLES.....	131
8.1. DE LA EMISION DE CONTAMINANTES.....	131
8.2. DE LA DISPERSION DE PARTICULAS.....	132
8.3. DE LA CALIDAD DEL AIRE.....	132
9. ACCIONES DE MITIGACION.....	133
9.1. ESTRATEGIA.....	133
9.2. ACCIONES.....	133
9.3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	135

LISTA DE TABLAS

TABLA N°	CONTENIDO	Página
1	Normas nacionales de calidad del aire	121
2	Normas de calidad del aire para Cali	121
3	Resultados del modelo de dispersión	124
4	Calidad del aire actual	129

LISTA DE FIGURAS

FIGURA N°	CONTENIDO	Página
1	Flujograma Proceso Diamante	120
2	Rosa de los vientos	18
3	Modelo de dispersión - Sistema de coordenadas	123
4	Esquema equipo de muestreo	127
5	Sistema de control de polvo	134
6	Esquema colector de polvo sencillo	135

LISTA DE CUADROS

CUADRO N°	CONTENIDO	Página
1	Cronograma para el plan de control de contaminación del aire	136

LISTA DE GRAFICAS

1	Dispersión de material particulado	125
2	Dispersión de material particulado	125
3	Dispersión de material particulado	126
4	Dispersión de material particulado	126
5	Resultados calidad del aire Partículas Suspendidas Totales	129
6	Resultados calidad del aire Partículas Suspendidas Totales	130
7	Resultados calidad del aire Partículas Suspendidas Totales	130
8	Resultados calidad del aire Partículas Suspendidas Totales	131
9	Comparación emisión vs. norma	132
10	Comparación de Resultados Partículas Suspendidas Totales	133

LISTA DE PLANOS

1	Mapa de cantera con ubicación de sitios de muestreo	128
---	---	-----

ANEXOS

1	Listados de resultados modelo de dispersión	137
2	Hojas de campo	139
3	Toma de muestras de partículas en suspensión	141
4	Glosario	142
5	Resultados de laboratorio	143

1. PRESENTACION

Con la finalidad de revisar desde una perspectiva ambiental el proceso de producción de agregados para la construcción, y tomar, si fuere necesario los correctivos para cumplir con el objetivo de las empresas asociadas a Proagregados de originar el mínimo impacto sobre el medio ambiente contrataron con una firma consultora realizar estudios sobre la calidad del aire en las zonas de influencia de sus plantas.

El presente libro presenta los resultados de la investigación realizada y sus conclusiones para la planta de Triturados El Chocho & Cía. Ltda.; ubicada en el sector del río Aguacatal, en la ciudad de Cali.

En este documento se presenta la metodología que sigue las recomendaciones del Ministerio de Salud (Decreto 02 de enero 11 de 1982), así como también resultados del mencionado estudio realizado por la firma Proinsa, de la ciudad de Cali.

2. INFORMACION GENERAL DE LA EMPRESA

2.1. NOMBRE Y RAZON SOCIAL

La Empresa está registrada con el nombre "Triturados El Chocho y Cía. Ltda."

2.2. DIRECCION

Tanto la planta de producción como las dependencias administrativas están ubicadas en la zona de la quebrada de El Chocho, en la ciudad de Cali.

2.3. OBJETIVO COMERCIAL

El objeto comercial de la empresa es la producción de agregados pétreos para la construcción.

2.4. SITUACION DE LA INDUSTRIA

Según zonificación del Departamento de Planeación Municipal de Cali está ubicada en zona de actividad de Minas y Canteras.

2.5. AREA DE LA INDUSTRIA

El área total de la industria es de 120 hectáreas.

2.6. NUMERO DE EMPLEADOS

Se cuenta con 80 operarios en producción y 15 empleados en la administración.

2.7. HORARIO DE FUNCIONAMIENTO

La producción se realiza durante 25 días/mes, 10 horas al día.

3. INFORMACION DEL PROCESO INDUSTRIAL

3.1. MATERIAS PRIMAS

La única materia prima utilizada en el proceso es la roca llamada diabasa, en sus diferentes estados:

- Diabasa meteorizada
- Diabasa fresca (piedra azul)
- Diabasa levemente alterada

3.2. PRODUCTOS FABRICADOS

A partir de las diabasas se obtienen los siguientes productos:

- Rocamuerta (Relleno)
- Gravas y finos
- Base granular

3.3. DIAGRAMA DE FLUJO

Un diagrama del proceso se presenta en la Figura No. 1. El cual se describe a continuación:

Etapa 1 : Explotación de la cantera

Inicialmente se realiza la remoción del material estéril que cubre la cantera. A continuación se perfora la roca para cargar el agente de voladura. Luego se realiza la quema o voladura, obteniéndose rocas de diferente tamaño.

Las rocas más grandes se perforan nuevamente y se realiza una segunda voladura, llamada "pistoleo".

Etapa 2: Transformación

El material es recogido en la cantera y transportado a la trituradora en donde se fracciona y clasifica por tamaños. Posteriormente, parte se despacha directamente y el resto se almacena.

3.4. ALMACENAMIENTO

El producto se almacena en patios a cielo abierto.

4. FUENTES FIJAS DE CONTAMINACION

4.1. PROCESOS DE GENERACION DE EMISIONES

Los procesos implicados en la generación del polvo son:

- Voladura
- Transporte
- Triturado
- Clasificación
- Almacenamiento

4.2. CARACTERISTICAS DE LAS EMISIONES

Como se deduce del proceso productivo, la actividad de triturado y explotación de canteras no presenta fuentes puntuales fijas de contaminación del aire, pues no se cuenta con chimeneas o ductos. La emisión es del tipo "Fuente de Area", en la cual inciden principalmente fenómenos atmosféricos (vientos).

El medio de transporte de las partículas es el aire de la región. El polvo de mayor tamaño se sedimenta en el sitio de generación y solo se dispersa el material que, por su densidad, se suspende en el aire.

5. NORMATIVIDAD A CUMPLIR

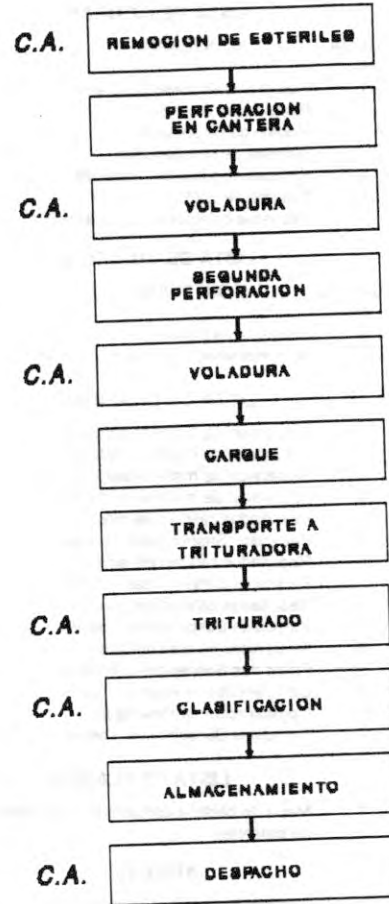
El Decreto 02 de enero 11 de 1982 estipula dos tipos de normas:

1. Emisiones
2. Calidad del aire

5.1. NORMA DE EMISIONES

El Decreto 02 de 1982 no establece normas de emisión para la actividad de explotación de canteras y producción de triturados; sin embargo, incluye un artículo para "Industrias no Clasificadas".

**FIGURA N° 1
FLUJOGRAMA PROCESO EL CHOCHO**



C.A. CONTAMINACION ATMOSFERICA

El artículo 70 del Decreto 02/82 regula las emisiones para "otras industrias". En ese artículo se relaciona la emisión máxima permisible con la capacidad de producción horaria. Para nuestra actividad, se tiene:

Producción horaria:
 $1700 \text{ m}^3/\text{día} \times \text{d}/10 \text{ hr} \times 1.6 \text{ ton}/\text{m}^3 = 272 \text{ ton}/\text{hr}$

Para calcular la norma de emisión se utiliza la ecuación que aparece en el artículo 71, ítem a (zona urbana).

$E = 10.45 \times P^{0.458} \quad 10 < P < 500$
 Donde:

E : Máxima emisión de partículas en kg/hora
 P : Máxima producción horaria

Reemplazando en la ecuación se tiene,

$E = 10.45 \times 272^{0.458}$
 $E = 136.2 \text{ Kg de partículas/hora}$

Según el artículo 43, para una fuente ubicada a una altura diferente de la del nivel del mar, se debe corregir de acuerdo con la siguiente expresión:

$E_m = K \times E$
 Donde $K = P_{bh}/760 + 0.04 \text{ H}$

Siendo:

K = Factor de corrección por altitud.
 Pbh = Presión barométrica del sitio en mm de Hg.
 H = Altura sobre el nivel del mar en miles de metros.
 Para nuestro caso se tiene:
 $K = 673.9/760 + 0.04 \times 0.995 = 0.9265$

Por lo tanto la Norma de emisión modificada será:

$E_m = 136.2 \times 0.9265 = 126.1 \text{ kg partículas/hora}$

5.2. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE

El Decreto 02 de 1982 reglamentario de la Ley 09 de 1979 estipula para diferentes sustancias los valores máximos permisibles, a nivel de aire respirable, que deben cumplirse en la nación.

Para determinar las normas de calidad de aire que deben regir para las condiciones locales en Triturados El Chocho y Cia. Ltda. se aplica la ecuación explicada en el artículo 32 del Decreto 02/82.

Norma Local = Norma de Calidad
 \times Presión barométrica Local
 $\quad \quad \quad 760 \text{ mm Hg}$
 $\times 299 \text{ }^\circ\text{K}$
 $\quad \quad \quad 273 + \text{ }^\circ\text{C}$

En donde:

Norma de calidad: Valor nacional a 25° C y 760 mm Hg.

El artículo 31 del Decreto 02/82 establece las normas de calidad que se presentan en la Tabla 1.

TABLA N° 1

NORMAS NACIONALES DE CALIDAD DEL AIRE (Para 25°C y 760 mm Hg)

PARAMETRO	NORMA
Partículas en suspensión	100 microgramos/m ³ (promedio geométrico) 400 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Dióxido de azufre	100 microgramos/m ³ (promedio geométrico) 400 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses) 1500 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses en muestras de 3 hr)
Monóxido de carbono	15 microgramos/m ³ (max. 8 horas) 50 microgramos/m ³ (max. 1 hora)
Oxidantes fotoquímicos Oxidos de nitrógeno	170 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses) 100 microgramos/m ³ (promedio aritmético)

Para el caso particular de la ciudad de Cali, y efectuadas las correcciones por altitud y temperaturas, se tienen los valores que se muestran en la siguiente Tabla No. 2.

**TABLA No. 2
NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE PARA CALI (673.86 mm Hg y 25°C)**

PARAMETRO	NORMA
Partículas en suspensión	88.7 microgramos/m ³ (promedio geométrico) 354.7 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Dióxido de azufre	88.7 microgramos/m ³ (promedio geométrico) 354.7 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses) 13.3 microgramos/m ³ (max. 8 horas) 44.3 microgramos/m ³ (max. 1 hora)
Monóxido de carbono	15.0 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses) 88.7 microgramos/m ³ (promedio aritmético)

6. DETERMINACION DEL AREA DE INFLUENCIA

6.1. ESTIMADO DE EMISIONES

Como en el proceso de producción de agregados el polvo que se origina en el proceso no se emite por ducto o chimenea, se convierte en una fuente de área cuya evaluación debe hacerse con muestras de alto volumen.

Por esta razón se instaló una estación de muestreo en el sitio más crítico de la planta trituradora, obteniéndose una concentración promedio de 5728 Ug/m^3 de partículas suspendidas totales.

El área de generación de polvillo, considerando las zonas de trituración, clasificación y el movimiento del material en la línea de producción, se estimó en 600 m^2 .

La velocidad de viento predominante en la zona es de 2.5 m/seg , con lo cual la emisión será:

$$2.5 \text{ m/seg} \times 600 \text{ m}^2 \times 3600 \text{ seg/hr} \times 5728 \text{ Ug/m}^3 \times \text{kg}/10^9 \text{ Ug} = 30.9 \text{ kg/hr}$$

$$30.9 \text{ kg/hr} \times 10^9 \text{ Ug/kg} \times \text{hr}/3600 \text{ seg} = 8583333.3 \text{ Ug/seg}$$

6.2. CONDICIONES ATMOSFERICAS DE LA ZONA

Los factores meteorológicos que inciden en la dispersión de contaminantes atmosféricos son:

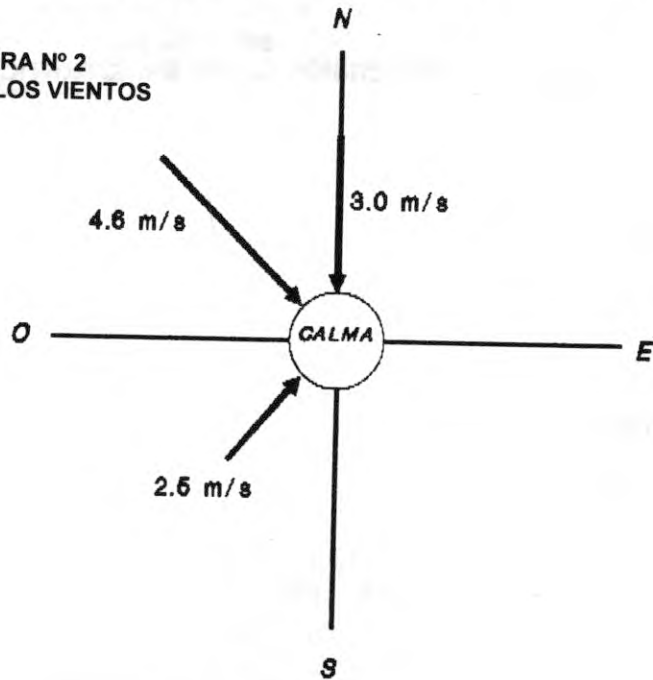
- La magnitud del viento (velocidad)
- La dirección de los vientos
- La estabilidad atmosférica

La estabilidad atmosférica es un concepto que encierra variables como nubosidad, brillo solar e intensidad de los vientos. Estas variables en conjunto informan acerca de qué tan estable es la atmósfera de la región, lo cual a su vez rige la dispersión de los contaminantes en el aire.

Todos estos factores se integran en un resumen de las condiciones atmosféricas, conocido como rosa de los vientos.

Para desarrollar una rosa de vientos de una zona particular se requiere un gran número de mediciones en el tiempo que permitan deducir el porcentaje de ocurrencia del fenómeno (frecuencia) y de la velocidad del viento. Ello se sale de los alcances del presente estudio, por lo que se utilizaron los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona tales como la antigua estación San Luis Gonzaga, ubicada en la ladera del mismo sistema montañoso de las trituradoras y se complementó con los datos de la estación del Aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón. Con ello se desarrolló la rosa de vientos que se presenta en la Figura No. 2.

FIGURA N° 2
ROSA DE LOS VIENTOS



Una vez construida esta rosa de vientos utilizando un anemómetro se confirmaron sus valores con mediciones puntuales en el terreno.

De las mediciones de campo, los datos de las estaciones meteorológicas antes mencionadas y de las observaciones visuales se deduce lo siguiente:

Tanto en los registros de las estaciones, con datos de más de 20 años, como en las mediciones realizadas en el área, se observa una marcada tendencia, como dirección predominante del viento, la dirección noroeste.

Otra dirección destacable de viento es la norte, aunque con menor frecuencia.

Se presentan esporádicos estados de calma; es decir, velocidades menores de 0.5 m/s y puede decirse que durante las 24 horas del día el viento recorre todas las direcciones, destacándose, como ya se dijo, la dirección noroeste.

6.3. DISPERSION DE CONTAMINANTES

6.3.1. Generalidades sobre el modelo de dispersión

Para determinar el área de influencia de los contaminantes a nivel del terreno se aplica el modelo de dispersión Gaussiano, que indica las concentraciones esperadas del contaminante a nivel del terreno. El área de interés sanitario es la que abarca los sitios donde la concentración esperada sobrepase la norma local calculada.

Para estimar teóricamente la dispersión de los contaminantes en la atmósfera se utiliza en este trabajo el modelo matemático tipo Gaussiano propuesto por Passquill- Guifford.

El modelo Gaussiano de dispersión de contaminantes en la atmósfera tiene la siguiente ecuación general:

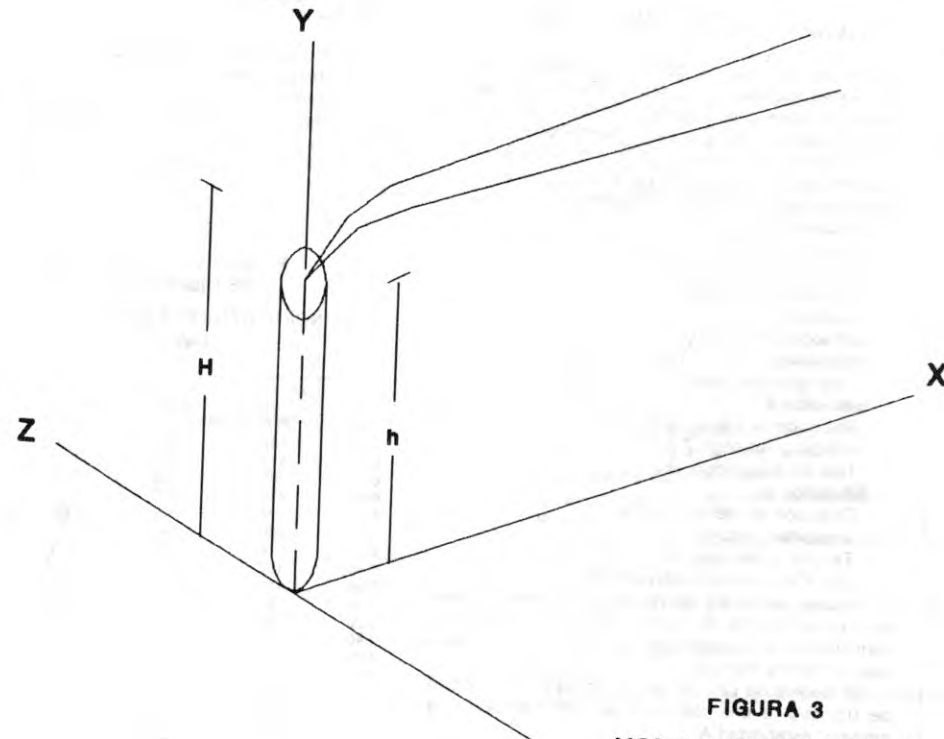


FIGURA 3
MODELO DE DISPERSION
SISTEMA DE COORDENADAS



$$Mx(X, Y, Z, Hef) = (Q/2 \cdot Cy \cdot Cz \cdot U) \cdot \text{EXP}(-0.5(Y/Cy)^2) \cdot \text{EXP}(-0.5(Z - Hef/Cz)^2) + \text{EXP}(-0.5((Z + Hef)/Cz)^2)$$

Donde:

- Mx : Concentración de partículas en ug/m³
- Q : Emisión en ug/seg
- U : Velocidad del viento a la altura efectiva
- (Hef), m/seg
- Cy : Coeficiente de dispersión en el plano horizontal (m)
- Cz : Coeficiente de dispersión en el plano vertical (m)
- Hef : Altura efectiva de la pluma (m)

En la Figura No. 3 puede verse el sistema de coordenadas utilizado en el modelo.

Para el caso de la actividad de la trituración de basaltos se aplica la ecuación particular del modelo de Gauss que presenta el receptor a nivel del suelo (Z=0), la fuente emisora elevada y la concentración localizada sobre el eje X, a sotavento, o sea abajo del sentido del viento. La ecuación es la siguiente:

$$Mx(X, Hef) = (Q/\pi \cdot Cy \cdot Cz \cdot U) \cdot \text{EXP}(-0.5(Hef/Cz)^2)$$

Los coeficientes de dispersión dependen de la estabilidad atmosférica; o sea, la tranquilidad en las capas próximas a la superficie terrestre, que varían con la radiación solar y la velocidad del viento.

Para la trituradora en cuestión, y de acuerdo con la rosa de los vientos de la Figura No. 2, se aplica el modelo en las siguientes condiciones.

Situación 1:

- Dirección de viento: Noroeste
- Velocidad (m/seg): 4.6
- Tipo de estabilidad: C

Situación 2:

- Dirección de viento: Norte
- Velocidad (m/seg): 3.0
- Tipo de estabilidad: B

Situación 3:

- Dirección de viento: Suroeste
- Velocidad (m/seg): 2.5
- Tipo de estabilidad: B

Situación 4:

- Dirección de viento: Calma
- Velocidad (m/seg): 0.5
- Tipo de estabilidad: A

6.3.2. Cálculo de la dispersión

Para la aplicación del modelo Gaussiano se emplea un programa de computador; sin embargo, a continuación se presenta un modelo de cálculo realizado en forma manual.

El modelo de cálculo se realiza para la velocidad de 0.5 m/s, a una distancia de 100 metros de la emisión, estabilidad A.

La emisión se presenta aproximadamente a diez metros de altura y las velocidades de viento son

tomadas a la misma altura, por lo que no es necesario corregirla.

- Concentración a nivel de terreno
- Cálculo de los coeficientes de dispersión horizontal (Cy) y vertical (Cz).

$$Cy = \text{Exp}(5.357 + 0.8828 \cdot \text{Ln } X - 0.0076 (\text{Ln } X)^2)$$

$$Cz = \text{Exp}(6.035 + 2.1097 \cdot \text{Ln } X + 0.2770 (\text{Ln } X)^2)$$

Donde X : Distancia vientos abajo (Sotavento)

Reemplazando, para X=0.1 km, tenemos:

$$Cy = \text{Exp}(5.357 + 0.8828 \cdot \text{Ln } 0.1 - 0.0076 (\text{Ln } 0.1)^2) = 26.68 \text{ m}$$

$$Cz = \text{Exp}(6.035 + 2.1097 \cdot \text{Ln } 0.1 + 0.2770 (\text{Ln } 0.1)^2) = 14.09 \text{ m}$$

Cálculo de la concentración de partículas.

$$C(X, 0, 0, Hef) = (Q/3.1416 \cdot Cy \cdot Cz \cdot U) \cdot \text{EXP}(-0.5(Hef/Cz)^2)$$

Donde:

U = Velocidad del viento corregida a la altura efectiva de la pluma (Hef)

Q = Emisión del contaminante en ug/seg

$$C(2, 0, 0, Hef) = (Q/3.1416 \cdot Cy \cdot Cz \cdot U) \cdot \text{EXP}(-0.5(Hef/Cz)^2) = (8583333.3 / (3.1416 \cdot 26.68 \cdot 14.09 \cdot 0.5)) \times \text{EXP}(-0.5(10/14.09)^2) = 11296.5 \text{ ug/m}^3$$

6.3.3. Resultados del modelo de dispersión

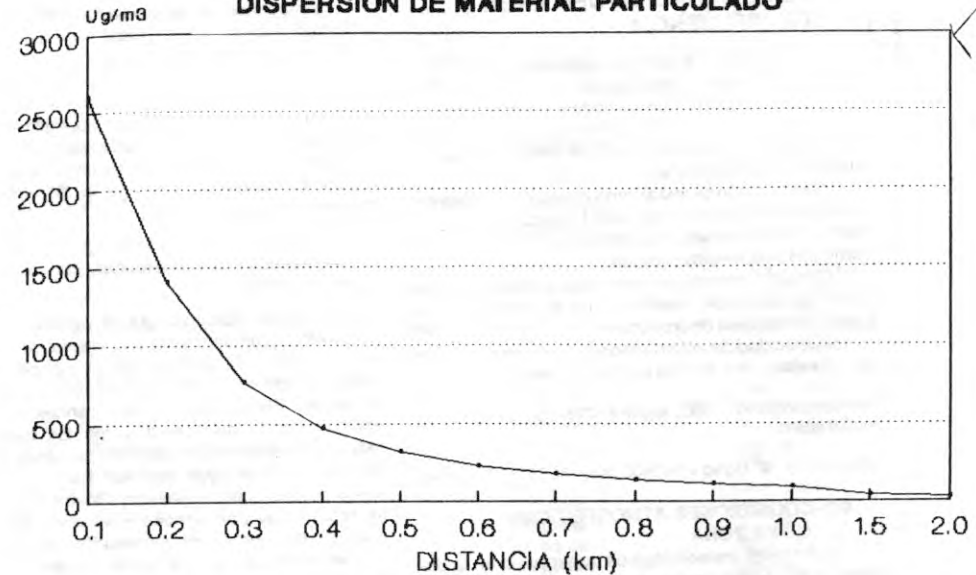
Los resultados del modelo de dispersión para las cuatro condiciones estimadas, se presentan en la Tabla No. 3.

En las Gráficas 1 a 4 se representan estos resultados.

**TABLA No. 3
RESULTADOS DEL MODELO DE DISPERSION
CONCENTRACION A NIVEL DE TERRENO
(ug/m³)**

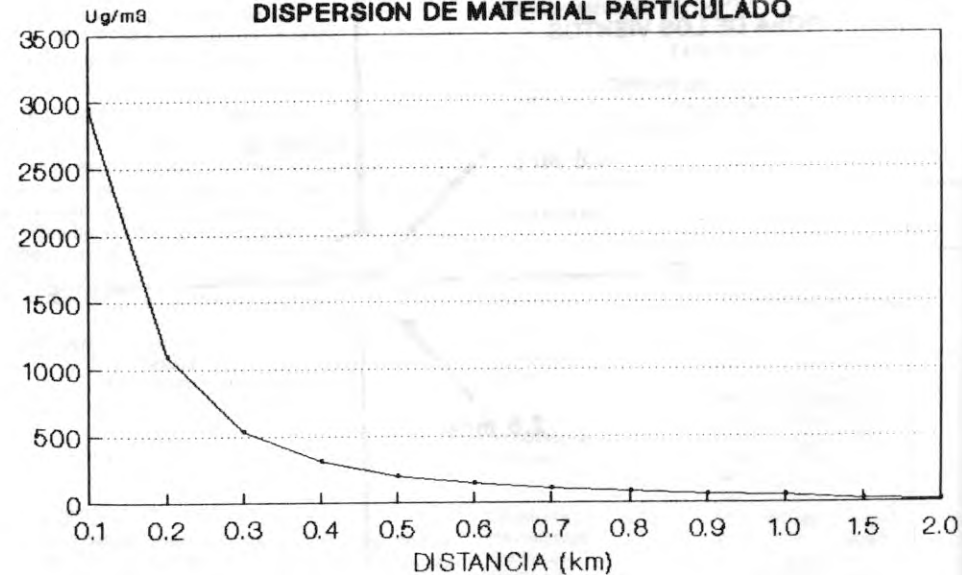
DISTANCIA (km)	DIRECCION NOROESTE	DIRECCION NORTE	DIRECCION SUROESTE	DIRECCION CALMA
0.10	2605	2950	3541	11296
0.20	1413	1100	1320	3567
0.30	762	532	639	1500
0.40	470	310	372	756
0.50	318	202	243	429
0.60	230	142	171	264
0.70	174	105	126	173
0.80	137	81	97	118
0.90	111	64	77	84
1.00	91	52	63	61
1.20	65	36	44	35
1.40	49	27	32	21
1.60	39	20	25	14
1.80	31	16	19	9
2.00	26	13	16	6
2.50	17	8	10	3
3.00	12	6	7	1

**GRAFICA No. 1
DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO**



← NOROESTE V=4.6 m/s

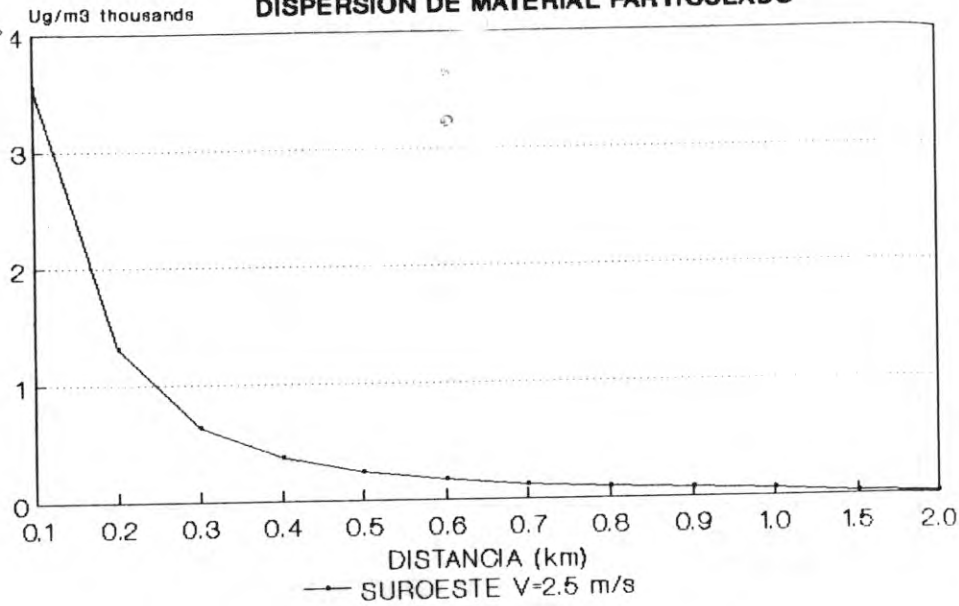
**GRAFICA No. 2
DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO**



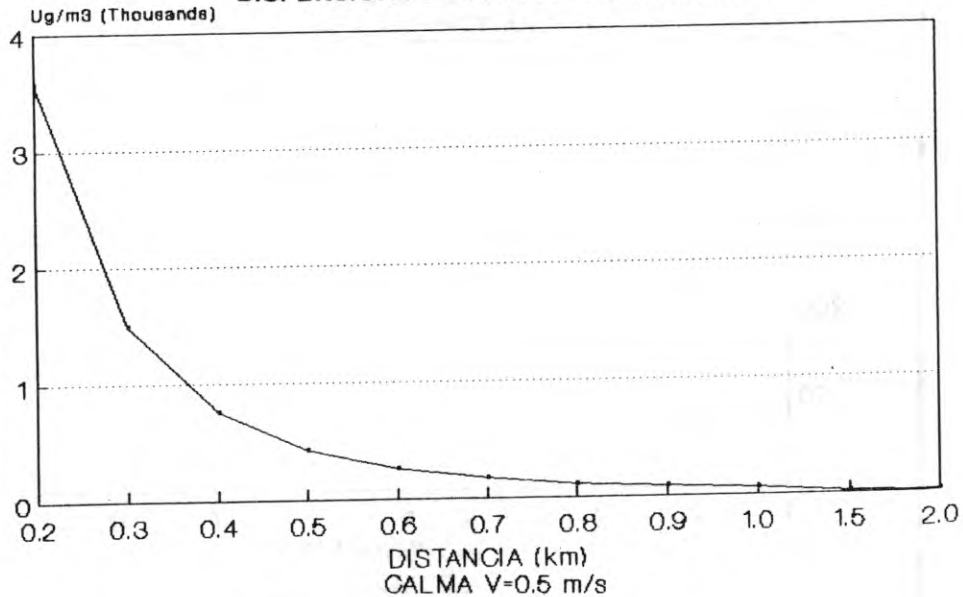
← NORTE V=3.0 m/s

P

GRAFICA No. 3
DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO

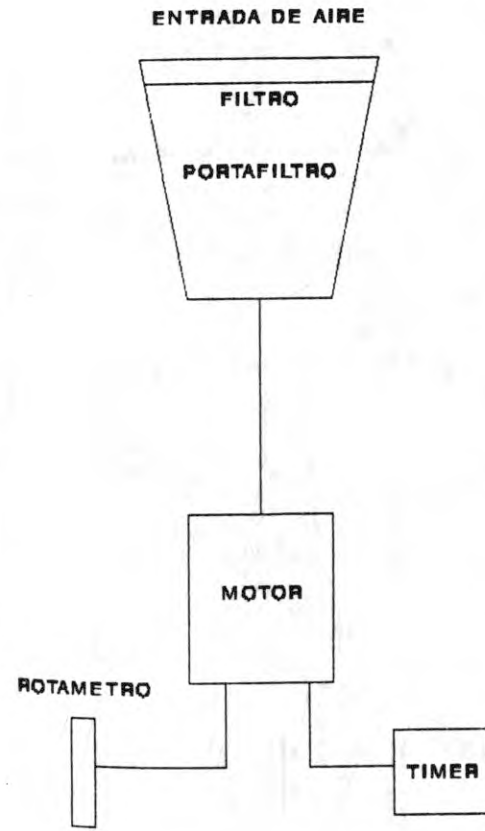


GRAFICA No. 4
DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO



P

FIGURA No. 4
ESQUEMA EQUIPO DE MUESTREO



6.4. DELIMITACION DEL AREA DE INFLUENCIA

Para la situación 1, se obtuvo la máxima concentración en el sitio de la emisión y se esperan concentraciones mayores que la norma hasta los 1000 metros vientos abajo del sitio de la emisión.

Para la situación 2, igualmente se localizó la concentración máxima en el origen de la emisión. La distancia hasta donde se sobrepasa la norma local calculada es de 700 m.

En cuanto a la situación 3, la máxima concentración se presenta también en el sitio de la emisión y la distancia límite, hasta la cual se sobrepasa la norma de calidad del aire, es de 800 m.

Modelando la situación 4 se obtuvo el punto de máxima concentración en el origen y se sobrepasa la norma hasta los 800 metros a partir del sitio de la emisión.

La mayoría de estos puntos se localiza dentro de las instalaciones de la trituradora.

De acuerdo con estos resultados el área de influencia se extiende los 1000 metros alrededor de la planta.

7. CARACTERISTICAS DEL AREA DE INFLUENCIA

7.1. CALIDAD DEL AIRE ACTUAL

Para establecer los niveles actuales de contaminación por partículas suspendidas totales en el aire ambiente de la zona de influencia se instalaron estaciones de monitoreo, de acuerdo con la metodología descrita en los siguientes numerales.

7.1.1. Equipo utilizado

Para la toma de muestras se utilizaron estaciones debidamente calibradas de muestreo de alto volumen.

La determinación de la concentración se basa en el método gravimétrico, utilizando filtros de papel de celulosa

La muestra es succionada a través del papel filtro donde se retienen las partículas en suspensión. La cantidad de aire de la muestra se establece con la medida del flujo al inicio y al final de la toma de la muestra, utilizando un rotámetro. El flujo medido se corrige aplicando la ecuación de calibración del equipo, predeterminada en el laboratorio.

7.1.2. Sitios de muestreo

Se muestrearon cinco puntos ubicados así:

- Punto 1
Al sureste de la trituradora, en el edificio de oficinas de Torres Bou Ingenieros.
- Punto 2
Al oeste de la trituradora, en una vivienda interior.
- Punto 3
Al oeste, en las oficinas.
- Punto 4
En el sitio de origen de la emisión, la trituradora.

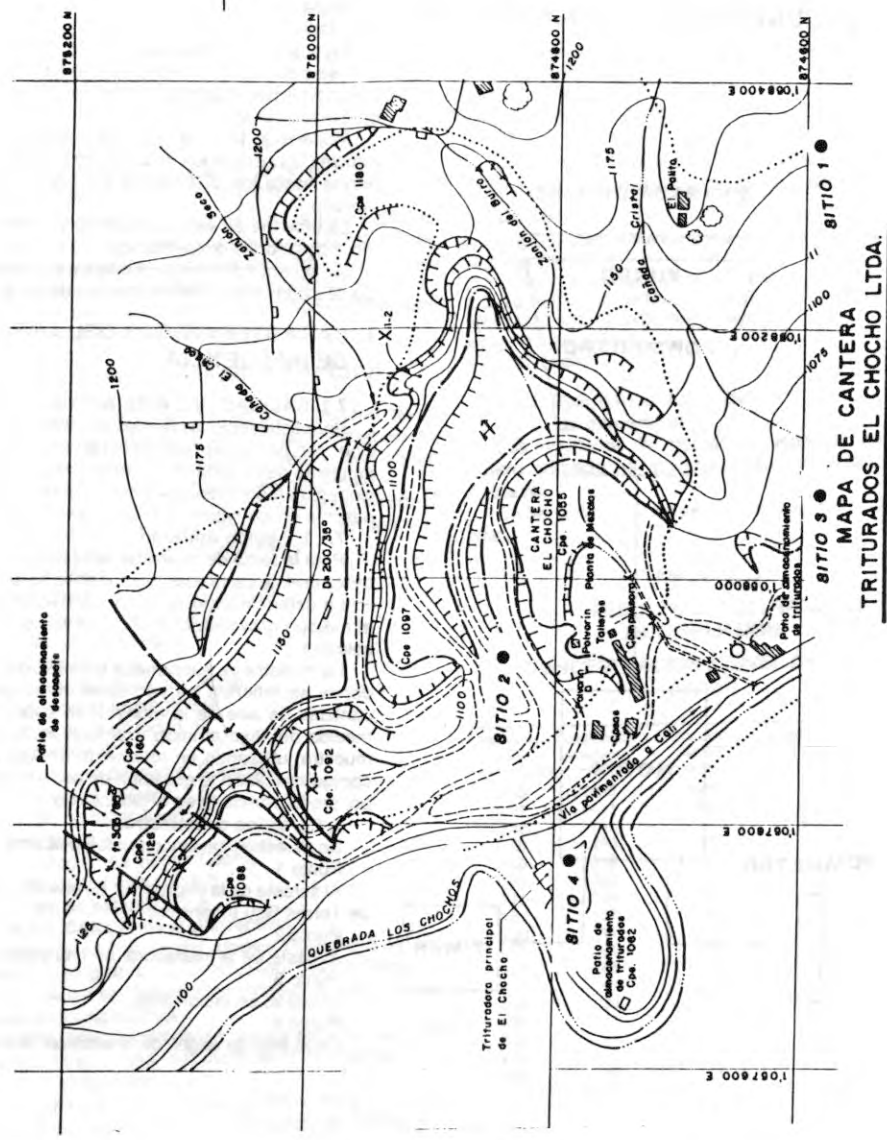
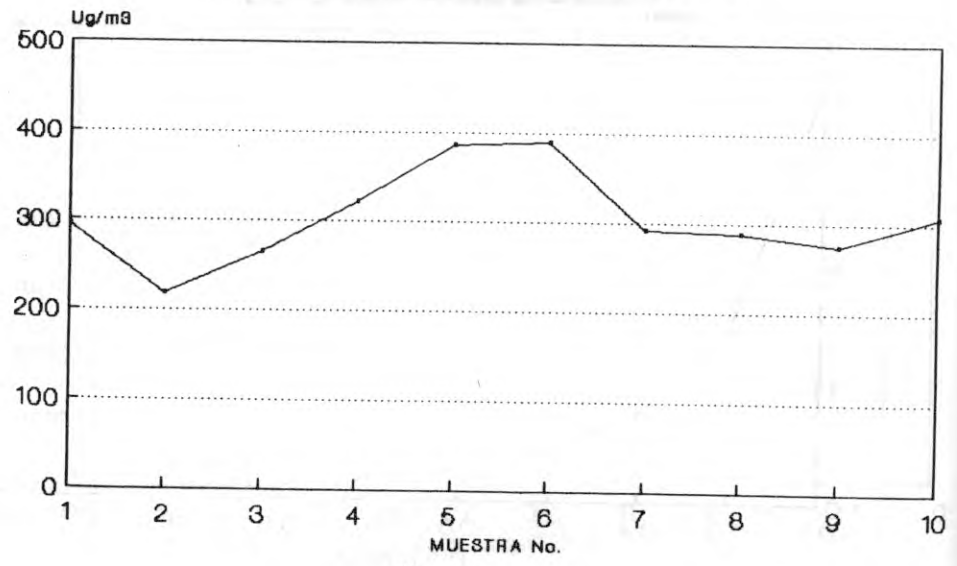


TABLA No. 4
CALIDAD DEL AIRE ACTUAL
CONCENTRACION A NIVEL DE TERRENO (ug/m³)

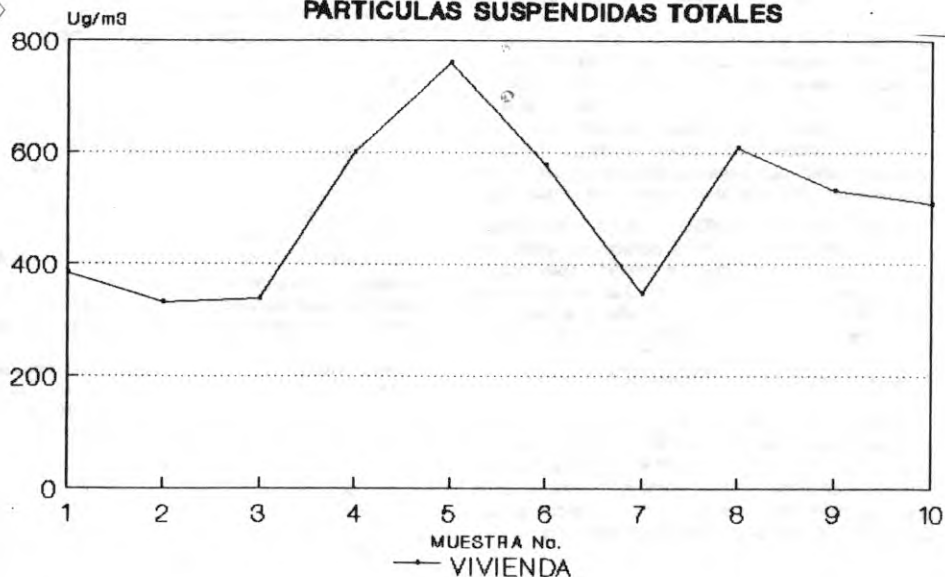
MUESTRA N°	SITIO 1 INGENIERIA		SITIO 2 VIVIENDA		TRITURADORA MED. 1 MED. 2		SITIO 4 OFICINAS
	1	295	384	2824	9468	518	
2	219	332	1610	8986	337		
3	265	339	13484	4960	446		
4	322	599	21842	4810	696		
5	386	759	17592	7152	669		
6	389	577	23028	10734	619		
7	293	347	13008	8950	704		
8	289	609	21402	6192	586		
9	276	532	11832		537		
10	307	508	15196		427		
PROMEDIO GEOMETRICO	300	479	4456	7362	540		

GRAFICA No.5
RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES

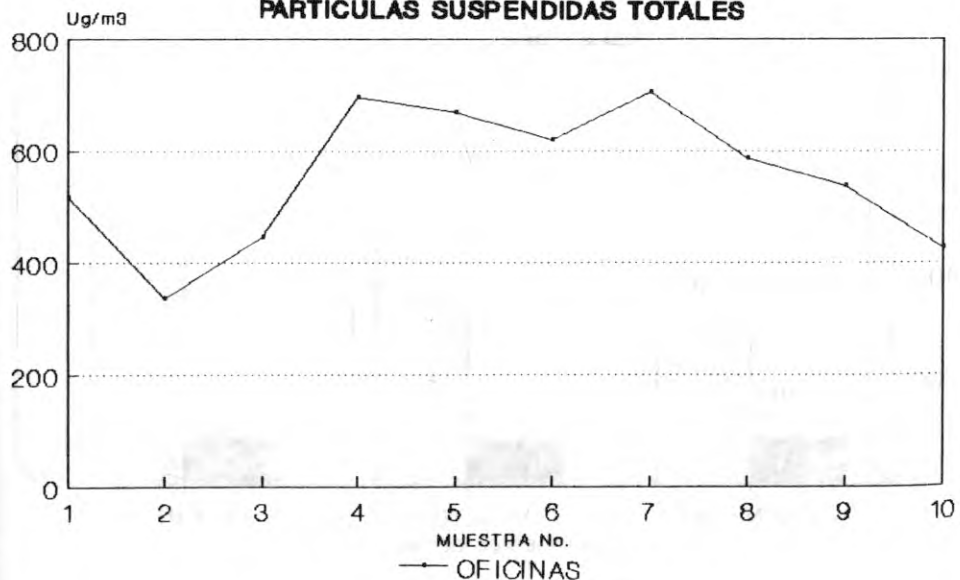


INGENIERIA

GRAFICA No.6
RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES



GRAFICA No.7
RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES



130

La ubicación de los sitios de muestreo puede apreciarse en el plano anexo.

7.1.3. Resultados de las mediciones

En la Tabla No. 4 se presentan los resultados obtenidos en las mediciones, con los cuales se construyeron las Gráficas 5 a 8.

7.2. CONDICIONES TOPOGRAFICAS DE LA ZONA

La zona de influencia hace parte de la vertiente oriental de la Cordillera Occidental y se localiza en un área montañosa de ladera, colindante con el valle geográfico. En general la propiedad está localizada entre las cotas 1000 y 1400 m.

7.3. USOS DE LA TIERRA

Casi la totalidad del área de influencia está dentro de la actividad de explotación de minas y canteras. Un mínimo porcentaje se destina a la vivienda urbana y actividad comercial.

7.4. OTRAS FUENTES DE CONTAMINACION DEL AIRE

Entre las actividades ajenas al proceso de trituración, que pueden estar implicadas como aportantes de contaminación por polvo en la zona, se destaca el

flujo vehicular en las zonas aledañas. Por un lado está el polvo levantado físicamente en la vía y por otro los gases propios de la combustión de los motores.

Para establecer el aporte real del proceso de producción de agregados se realizaron análisis de sílice en algunas de las muestras tomadas, obteniéndose los siguientes resultados.

Muestra 1: Tomada en la trituradora, 63.7 % de sílice

Muestra 2: Tomada en Ingeniería, 37.4 % de sílice

Muestra 3: Tomada en las oficinas, 48.1 % de sílice

Muestra 4: Tomada en vivienda, 39.3 % de sílice

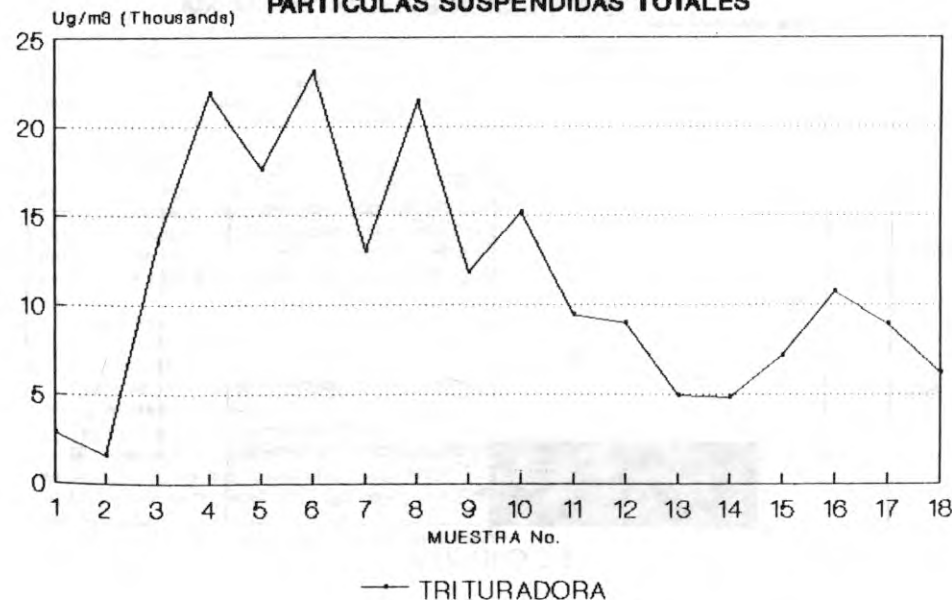
8. EFECTOS PROBABLES

8.1. DE LA EMISION DE CONTAMINANTES

Considerando que la única materia prima en la producción de agregados es la roca natural y el proceso de transformación se hace en forma mecánica, el contaminante del aire atribuible al proceso son las partículas totales en suspensión.

En el caso de Triturados El Chocho la emisión de partículas medidas es 4.08 veces menor que el de la norma calculada (Decreto 02 de enero 11 de 1982) como puede verse en la Gráfica No. 9.

GRAFICA No.8
RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES



131

Esta comparación tiene una validez relativa si se tiene en cuenta que el Decreto 02/82 no considera una norma de emisión para la actividad específica de producción de agregados y es necesario compararla con el capítulo de "Otras Industrias".

Sin embargo, Triturados El Chocho ha encerrado la planta e instalado en su equipo de trituradoras un sistema de control con colectores del aire con filtros de mangas con eficiencias de relación de captura que superan el 99%, lo que explica el porqué de sus emisiones menores y por debajo de lo permitido por la norma.

Por otro lado, analizando la actividad de explotación de canteras en forma independiente y de acuerdo con las mediciones de calidad del aire efectuadas en forma continua durante 10 días, no se vislumbra la quema de los agentes de voladura como una fuente considerable de emisión de partículas, sobre todo por lo que es puntual, instantánea y de muy poca duración.

8.2. DE LA DISPERSION DE PARTICULAS

De acuerdo con los resultados del modelo de dispersión aplicado, la concentración de partículas suspendidas a nivel de terreno, que resulta de la actividad de la producción de agregados, sobrepasa la norma local de calidad del aire, hasta una distancia máxima de 1000, a partir de la cual el aporte de partículas se hace menor que el límite permisible (ver Tabla 3).

La condición meteorológica bajo la cual se dificulta más la dilución de partículas es la de velocidades bajas y horas de la noche, que en últimas es la que menos se presenta, si se tiene en cuenta que la actividad de trituración se realiza durante el día (7 a.m. a 5 p.m.)

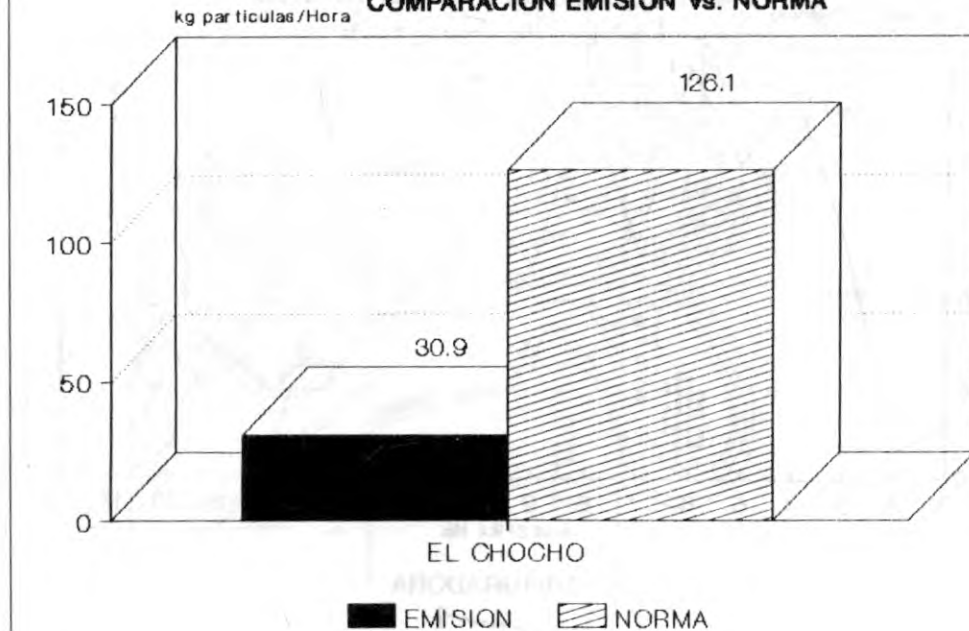
Dado que la actividad de producción de agregados es una fuente contaminante de área, la dispersión de las partículas presenta la mayor concentración en el sitio de origen y va disminuyendo a medida que se aleja de la fuente. Este elemento minimiza el impacto sobre el área circundante, trasladándolo, sobre todo, dentro de los predios de la trituradora.

8.3 DE LA CALIDAD DEL AIRE

Las hipótesis formuladas a partir de los resultados del modelo de dispersión aplicado fueron confirmadas por los datos de los muestreos de partículas realizados en la zona. Es así como, si observamos la Gráfica No. 10, en la cual se realiza una comparación de los resultados de los diferentes puntos, se encuentra una diferencia apreciable entre los niveles del sitio del triturado (5728) y los demás sitios.

Esto se explica por la naturaleza del polvo del triturado, que es de alta densidad (2.9 gr/cm³), que no alcanza a ser transportado por el aire hasta lugares distantes.

**GRAFICA No. 9
COMPARACION EMISION Vs. NORMA**



PLAN GENERAL DE CONTROL DE CONTAMINACION DEL AIRE EN LA PRODUCCION DE AGREGADOS

9.1. ESTRATEGIA

A nivel macro se trata de integrar tres elementos:

- I. Control del contaminante en el origen
- II. Control de la dispersión del contaminante
- III. Monitoreo continuo

9.2. ACCIONES

9.2.1. Remoción de polvo en el origen

Para definir el porcentaje de eficiencia del equipo de remoción a diseñar, se realizó un estimado, con el modelo de dispersión, relacionando concentración a nivel de terreno con emisión. Los resultados fueron:

Remoción en la fuente (%)	Distancia hasta donde se sobrepasa la norma de calidad del aire (km)
50	0.6
60	0.6
70	0.5
80	0.4
90	0.2

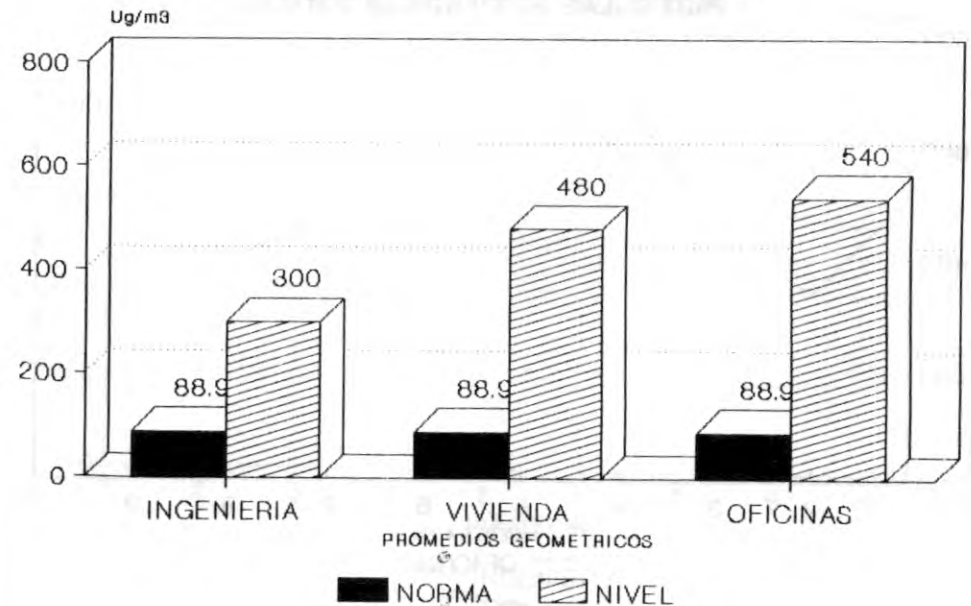
Las muestras captadas por los equipos medidores contienen otros contaminantes ajenos a la actividad de la producción de agregados, por lo que se determinó el porcentaje de sílice a varias de las muestras, encontrándose un 63.7 % de sílice en la muestra del sitio de la emisión y contenidos entre 48.1 y 37.4 en los sitios restantes. Estos resultados comprueban la incidencia de otras fuentes en el nivel de partículas de la zona, fuentes que según el estudio de vientos del área estarían ubicadas al noroeste de la trituradora.

Relacionando los resultados obtenidos del modelo de dispersión con los niveles de partículas medidos en el terreno, se encuentra que la actividad de producción de agregados es fuente de partículas en la zona de influencia, pero ésta se localiza principalmente dentro del perímetro particular de la Empresa.

9. ACCIONES DE MITIGACION

Aunque la Empresa cumple con la legislación actual relativa a contaminación atmosférica es importante minimizar los efectos de la actividad de producción de agregados en el recurso aire, por lo cual se recomienda la ejecución de un plan general de control de contaminación del aire, el cual se propone a continuación.

**GRAFICA No. 10
COMPARATIVO DE RESULTADOS PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES**



Para controlar el material particulado en las trituradoras se proponen las siguientes opciones:

1. La práctica de trabajar con material húmedo, con el sistema que se muestra en la Figura No. 5.

Este procedimiento tiene las siguientes ventajas:

- Facilidad de operación.
- Bajo consumo de energía.
- Baja vulnerabilidad en sus partes, simplificando la operatividad.

Diseño sencillo, pues los parámetros son:

PARAMETRO	UNIDAD DE TRATAMIENTO
Demanda de agua (m ³ /ton)	Tubería de abastecimiento
Cantidad de polvo a remover	Especificaciones de la bomba
Velocidad de sedimentación del polvo en agua	Dimensiones del sedimentador
	Eficiencia del sedimentador
	Dimensiones del sedimentador

Tiene este sistema la desventaja de ser el de más alto costo de operación como también considerable el consumo de agua (2.000 l/m³)

2. Como alternativa se puede trabajar con un sistema semi-húmedo que significa aplicar el agua por medio de aspersores en los puntos de alta generación de partículas.

Se estima que por este medio se retienen en el orden de 50% de las emisiones que se generan en un punto específico.

Si se logra un buen diseño en el paso anterior, fácilmente se puede llevar a una eficiente devolución de partículas sobre el 90% estableciendo acciones como:

- Encerramiento del área de trituración
- Ventilación exhaustiva con filtros de mangas.
- Cerco natural con árboles que alcancen alturas mayores de 10 metros.
- Mojado con aspersores y/o pavimentación de vías de alto volumen vehicular.

9.2.2. Monitoreo continuo

Como parte fundamental de plan se propone el monitoreo continuo de la calidad del aire, instalando una red de estaciones en diferentes sitios del área de influencia de acuerdo con los siguientes parámetros:

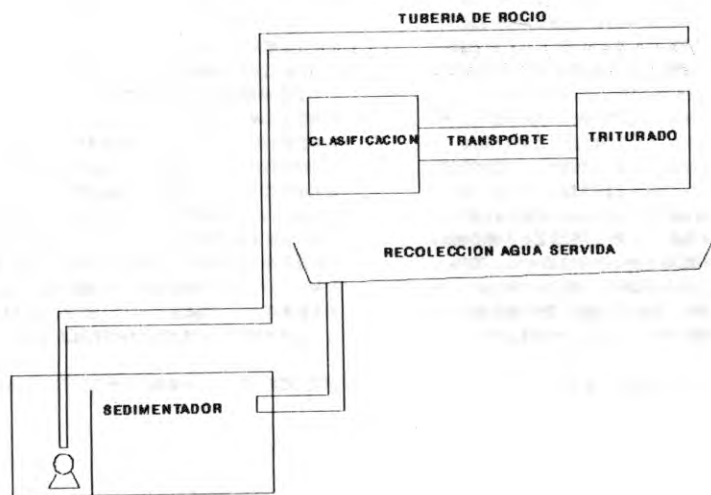
- Estrategia de muestreo

Se trata de una combinación de dos tipos de muestras:

- a) De polvo sedimentable
- b) De partículas suspendidas totales

Las muestras de polvo sedimentable son una medida presuntiva, de resultados cualitativos que, instalando una red de estaciones, pueden detectar los puntos de máximo impacto en cada época del año.

FIGURA No. 5
SISTEMA DE CONTROL DE POLVO



Con los resultados de polvo sedimentable se seleccionan los sitios para colocar los medidores de alto volumen, con los que se obtiene la concentración de partículas suspendidas totales.

Esta combinación de muestras reduce el número de estaciones de alto volumen, que son mucho más costosas en cuanto precio de compra, mantenimiento y operatividad.

- Equipo de muestreo

Para facilitar el monitoreo se recomienda la instalación de equipos recolectores conocidos como "Colector de Polvo Sencillo". Un esquema de este equipo se muestra en la Figura No. 6.

El Colector de Polvo Sencillo es un recipiente abierto al aire libre, construido en polietileno que tiene entre 20 y 33 cm de alto y 10 a 15 cm de diámetro.

Es conveniente añadir una solución algicida para evitar el crecimiento de algas, que interfieren en la muestra.

Para las muestras de polvo sedimentable se recomienda la ubicación en sitios libres de obstrucciones, a los 2.5 m. de altura, sobre el terreno.

Para obtener muestras de partículas suspendidas totales se recomiendan las estaciones medidoras tipo Hi-Voll, que consisten en un elemento de succión que obliga a pasar el flujo de aire por un filtro, donde se recolecta la muestra. Posee también un medidor de flujo.

- Ubicación y número de estaciones.

El número aconsejable de estaciones es de uno por hectárea de trabajo.

En los puntos de mayor índice de polvo sedimentable se colocan las estaciones de alto volumen, para cuantificar el polvo suspendido total.

Se estima que PROAGREGADOS, como entidad gremial, puede adquirir cuatro estaciones que sirvan para monitorear las plantas del gremio.

- Procedimiento de toma de muestra de polvo sedimentable.

El recipiente, tapado y limpio, se lleva al sitio de muestreo, se agrega la solución algicida, se retira la tapa y se coloca el recipiente en el soporte. Después de una exposición de 30 días calendario, se retira el recipiente, se tapa y se lleva al laboratorio, donde por desecación y filtración se obtienen los siguientes resultados:

- Polvo total
- Sólidos solubles
- Sólidos insolubles

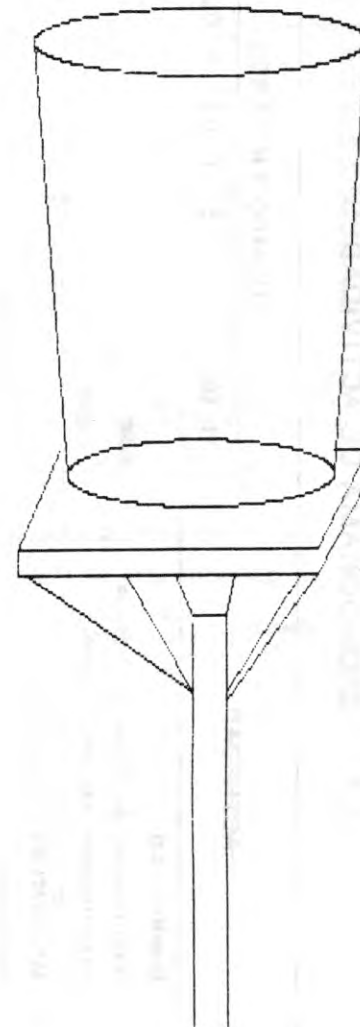
Estos resultados se expresan en unidades de masa por área y por mes.

- Interpretación de los resultados

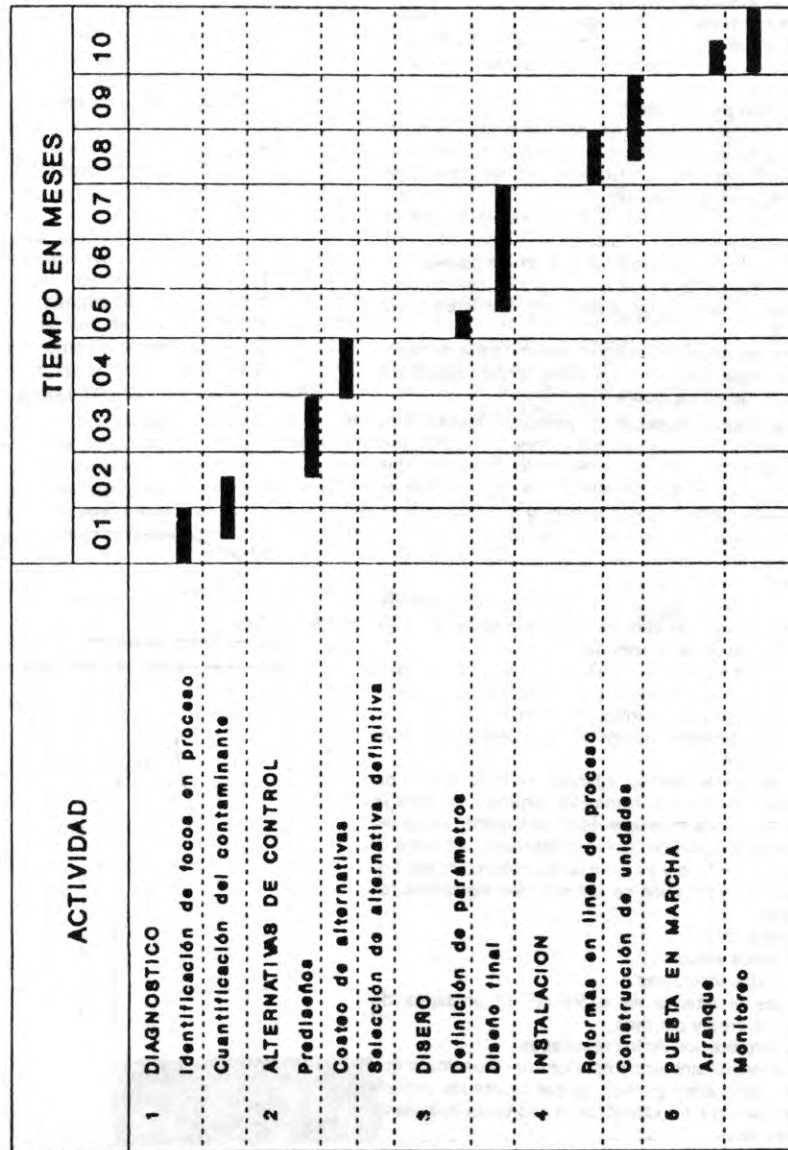
El principal atributo de esta toma de muestra es que se recogen varios gramos, lo que facilita los análisis de laboratorio para identificar el aporte de una planta determinada.

Se detectan cambios en los procesos de la industria.

FIGURA N° 6
ESQUEMA COLECTOR DE POLVO SENCILLO



PLAN CONTROL CONTAMINACION DEL AIRE
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES



MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora El Chocho
Dirección de viento: NO
Velocidad (m/seg): 4.6
Estabilidad: C

X = .1 C = 2605.551 Y = 12.14238 Z = 7.248451
X = .2 C = 1413.7 Y = 23.42231 Z = 13.79045
X = .3 C = 762.4203 Y = 34.28185 Z = 20.072
X = .4 C = 470.1329 Y = 44.85219 Z = 26.18644
X = .5 C = 318.6233 Y = 55.2004 Z = 32.17772
X = .6 C = 230.5696 Y = 65.36768 Z = 38.07156
X = .7 C = 174.9401 Y = 75.38209 Z = 43.88486
X = .8 C = 137.5387 Y = 85.26407 Z = 49.62953
X = .9 C = 111.1615 Y = 95.02918 Z = 55.31451
X = 1 C = 91.84329 Y = 104.6896 Z = 60.94673
X = 1.1 C = 77.25696 Y = 114.2553 Z = 66.53158
X = 1.2 C = 65.96304 Y = 123.7343 Z = 72.07361
X = 1.3 C = 57.0324 Y = 133.1336 Z = 77.5764
X = 1.4 C = 49.84297 Y = 142.4591 Z = 83.04326
X = 1.5 C = 43.9657 Y = 151.7156 Z = 88.47672
X = 1.6 C = 39.09643 Y = 160.9078 Z = 93.87916
X = 1.7 C = 35.01482 Y = 170.0393 Z = 99.25259
X = 1.8 C = 31.55784 Y = 179.1137 Z = 104.5987
X = 1.9 C = 28.60282 Y = 188.1341 Z = 109.9192
X = 2 C = 26.05599 Y = 197.103 Z = 115.2154
X = 2.1 C = 23.84457 Y = 206.0232 Z = 120.4886
X = 2.2 C = 21.91142 Y = 214.8968 Z = 125.74
X = 2.3 C = 20.21118 Y = 223.7258 Z = 130.9705
X = 2.4 C = 18.70742 Y = 232.5121 Z = 136.1811
X = 2.5 C = 17.37057 Y = 241.2577 Z = 141.3727
X = 2.6 C = 16.17651 Y = 249.9638 Z = 146.5461
X = 2.7 C = 15.10533 Y = 258.632 Z = 151.7019
X = 2.8 C = 14.1405 Y = 267.2638 Z = 156.8411
X = 2.9 C = 13.2682 Y = 275.8605 Z = 161.9639
X = 3 C = 12.4768 Y = 284.423 Z = 167.0711

VELOCIDAD CORREGIDA = 4.6

MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora El Chocho
Dirección de viento: N
Velocidad (m/seg): 3.0
Estabilidad: B

X = .1 C = 2950.995 Y = 18.71357 Z = 10.16233
X = .2 C = 1100.185 Y = 35.90141 Z = 20.46173
X = .3 C = 532.8989 Y = 52.33259 Z = 31.00073
X = .4 C = 310.6664 Y = 68.24328 Z = 41.74137
X = .5 C = 202.8114 Y = 83.75465 Z = 52.65638
X = .6 C = 142.6734 Y = 98.94124 Z = 63.72596
X = .7 C = 105.7999 Y = 113.8538 Z = 74.9349
X = .8 C = 81.58259 Y = 128.5293 Z = 86.27135
X = .9 C = 64.83033 Y = 142.9959 Z = 97.72559
X = 1 C = 52.76261 Y = 157.2757 Z = 109.2894
X = 1.1 C = 43.78195 Y = 171.3865 Z = 120.9562
X = 1.2 C = 36.91806 Y = 185.3429 Z = 132.7199
X = 1.3 C = 31.5539 Y = 199.1576 Z = 144.5756
X = 1.4 C = 27.28196 Y = 212.8411 Z = 156.5187
X = 1.5 C = 23.8244 Y = 226.4023 Z = 168.5453
X = 1.6 C = 20.9864 Y = 239.8493 Z = 180.6517
X = 1.7 C = 18.62815 Y = 253.1889 Z = 192.8348
X = 1.8 C = 16.64718 Y = 266.4275 Z = 205.0916
X = 1.9 C = 14.96699 Y = 279.5704 Z = 217.4197
X = 2 C = 13.52958 Y = 292.6225 Z = 229.8162
X = 2.1 C = 12.29025 Y = 305.5885 Z = 242.2793
X = 2.2 C = 11.21416 Y = 318.4724 Z = 254.8069
X = 2.3 C = 10.27382 Y = 331.2776 Z = 267.3967
X = 2.4 C = 9.447276 Y = 344.008 Z = 280.0476
X = 2.5 C = 8.716879 Y = 356.6665 Z = 292.757
X = 2.6 C = 8.068228 Y = 369.2556 Z = 305.5245
X = 2.7 C = 7.489568 Y = 381.7781 Z = 318.3478
X = 2.8 C = 6.971162 Y = 394.2367 Z = 331.2255
X = 2.9 C = 6.504903 Y = 406.6336 Z = 344.1569
X = 3 C = 6.084019 Y = 418.9708 Z = 357.1407

VELOCIDAD CORREGIDA = 3



MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora El Chocho
 Dirección de viento: SO
 Velocidad (m/seg): 2.5
 Estabilidad: B

X = .1 C = 3541.194 Y = 18.71357 Z = 10.16233
 X = .2 C = 1320.222 Y = 35.90141 Z = 20.46173
 X = .3 C = 639.4787 Y = 52.33259 Z = 31.00073
 X = .4 C = 372.7997 Y = 68.24328 Z = 41.74137
 X = .5 C = 243.3737 Y = 83.75465 Z = 52.65638
 X = .6 C = 171.2081 Y = 98.94124 Z = 63.72596
 X = .7 C = 126.9599 Y = 113.8538 Z = 74.9349
 X = .8 C = 97.8991 Y = 128.5293 Z = 86.27135
 X = .9 C = 77.7964 Y = 142.9959 Z = 97.72559
 X = 1 C = 63.31513 Y = 157.2757 Z = 109.2894
 X = 1.1 C = 52.53834 Y = 171.3865 Z = 120.9562
 X = 1.2 C = 44.30167 Y = 185.3429 Z = 132.7199
 X = 1.3 C = 37.86468 Y = 199.1576 Z = 144.5756
 X = 1.4 C = 32.73835 Y = 212.8411 Z = 156.5187
 X = 1.5 C = 28.58928 Y = 226.4023 Z = 168.5453
 X = 1.6 C = 25.18368 Y = 239.8493 Z = 180.6517
 X = 1.7 C = 22.35378 Y = 253.1889 Z = 192.8348
 X = 1.8 C = 19.97662 Y = 266.4275 Z = 205.0916
 X = 1.9 C = 17.96039 Y = 279.5704 Z = 217.4197
 X = 2 C = 16.2355 Y = 292.6225 Z = 229.8162
 X = 2.1 C = 14.74829 Y = 305.5885 Z = 242.2793
 X = 2.2 C = 13.45699 Y = 318.4724 Z = 254.8069
 X = 2.3 C = 12.32859 Y = 331.2776 Z = 267.3967
 X = 2.4 C = 11.33673 Y = 344.008 Z = 280.0476
 X = 2.5 C = 10.46025 Y = 356.6665 Z = 292.757
 X = 2.6 C = 9.681874 Y = 369.2556 Z = 305.5245
 X = 2.7 C = 8.987481 Y = 381.7781 Z = 318.3478
 X = 2.8 C = 8.365395 Y = 394.2367 Z = 331.2255
 X = 2.9 C = 7.805883 Y = 406.6336 Z = 344.1569
 X = 3 C = 7.300824 Y = 418.9708 Z = 357.1407

VELOCIDAD CORREGIDA = 2.5

MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora El Chocho
 Dirección de viento: CALMA
 Velocidad (m/seg): 0.5
 Estabilidad: A

X = .1 C = 11296.5 Y = 26.68185 Z = 14.09559
 X = .2 C = 3567.022 Y = 50.22446 Z = 28.70523
 X = .3 C = 1500.415 Y = 72.46592 Z = 49.23003
 X = .4 C = 756.7031 Y = 93.85185 Z = 76.28431
 X = .5 C = 429.4341 Y = 114.5989 Z = 110.5815
 X = .6 C = 264.5304 Y = 134.8361 Z = 152.8707
 X = .7 C = 173.0575 Y = 154.6493 Z = 203.9269
 X = .8 C = 118.555 Y = 174.1 Z = 264.549
 X = .9 C = 84.23452 Y = 193.2342 Z = 335.5584
 X = 1 C = 61.64931 Y = 212.0877 Z = 417.7987
 X = 1.1 C = 46.2423 Y = 230.689 Z = 512.1368
 X = 1.2 C = 35.41254 Y = 249.0617 Z = 619.462
 X = 1.3 C = 27.60475 Y = 267.2253 Z = 740.6862
 X = 1.4 C = 21.85196 Y = 285.1961 Z = 876.7444
 X = 1.5 C = 17.53253 Y = 302.9883 Z = 1028.594
 X = 1.6 C = 14.23518 Y = 320.6147 Z = 1197.219
 X = 1.7 C = 11.68101 Y = 338.0852 Z = 1383.622
 X = 1.8 C = 9.676514 Y = 355.4099 Z = 1588.832
 X = 1.9 C = 8.084901 Y = 372.5971 Z = 1813.904
 X = 2 C = 6.807744 Y = 389.6537 Z = 2059.909
 X = 2.1 C = 5.773021 Y = 406.587 Z = 2327.954
 X = 2.2 C = 4.927373 Y = 423.4035 Z = 2619.161
 X = 2.3 C = 4.230709 Y = 440.1076 Z = 2934.679
 X = 2.4 C = 3.652543 Y = 456.7055 Z = 3275.681
 X = 2.5 C = 3.169456 Y = 473.2008 Z = 3643.37
 X = 2.6 C = 2.763272 Y = 489.5988 Z = 4038.962
 X = 2.7 C = 2.41975 Y = 505.9029 Z = 4463.715
 X = 2.8 C = 2.127643 Y = 522.1165 Z = 4918.901
 X = 2.9 C = 1.877998 Y = 538.2435 Z = 5405.807
 X = 3 C = 1.663624 Y = 554.2863 Z = 5925.776

VELOCIDAD CORREGIDA = 5

EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION)

SITIO: EL CHOCHO

TORRES BOV INGENIERIA N° 1

FILTRO N°	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO Pies ³ minuto		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m ³
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
115	XII-12-92	5.4102	5.7918	40	25	295
116	XII-13-92	5.3236	5.6222	40	30	219
117	XII-14-92	5.3291	5.6721	40	25	265
64	XII-15-92	5.3625	5.7778	40	25	322
65	XII-16-92	5.4369	5.9364	40	25	386
66	XII-17-92	5.3238	5.8271	40	25	389
67	XII-18-92	5.3261	5.7050	40	25	293
68	XII-22-92	5.4112	5.7854	40	25	289
69	XII-23-92	5.3446	5.7014	40	25	276
70	XII-24-92	5.3931	5.8110	40	30	307

W₁ = Peso Inicial Filtro. grs. 9.40 + 0685 X
 W₂ = Peso Final Filtro con partículas grs.
 Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo. Pies³/min.

Q₂ = Flujo Final de Muestreo. Pies³/min.
 y = Curva de calibración del Equipo de Muestreo
 (Hr - W11).

EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION)

SITIO: EL CHOCHO

VIVIENDA DEL SEÑOR GONZALO N° 2

FILTRO N°	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO Pies ³ minuto		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m ³
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
81	XII-12-92	5.4017	5.9068	40	30	384
82	XII-13-92	5.4096	5.8189	40	25	332
83	XII-14-92	5.4528	5.8973	40	30	339
84	XII-15-92	5.4509	6.2356	40	30	599
85	XII-17-92	5.4075	6.3439	40	25	759
86	XII-18-92	5.4557	6.2124	40	30	577
87	XII-19-92	5.4261	5.8806	40	30	347
88	XII-22-92	5.4395	6.1429	40	20	609
89	XII-23-92	5.4221	6.0358	40	20	532
90	XII-24-92	5.4580	6.0652	40	20	508

W₁ = Peso Inicial Filtro. grs. 5.44 + 0726 X
 W₂ = Peso Final Filtro con partículas grs.
 Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo. Pies³/min.

Q₂ = Flujo Final de Muestreo. Pies³/min.
 y = Curva de calibración del Equipo de Muestreo
 (Hr - W11).



EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE
METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION) (Primera evaluación)

SITIO: EL CHOCHO

PLANTA TRITURADORA

Nº 2

FILTRO Nº	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO Pies ³ minuto		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m ³
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
71	XII-12-92	5.3914	7.0235	40	20	2824
72	XII-13-92	5.3906	6.3846	40	20	1610
73	XII-14-92	5.3622	13.1571	40	20	13484
74	XII-15-92	5.3757	18.0024	40	20	21842
75	XII-16-92	5.4810	16.4249	40	20	17592
76	XII-17-92	5.4886	18.8003	40	20	23028
77	XII-18-92	5.4551	18.9753	40	20	13008
78	XII-22-92	5.4422	17.8332	40	20	21402
79	XII-23-92	5.4837	12.7881	40	25	11832
80	XII-24-92	5.4919	14.2760	40	25	15196

W₁ = Peso Inicial Filtro, grs. 5.22 + 0774 X
W₂ = Peso Final Filtro con partículas, grs.
Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo, Pies³/min.

Q₂ = Flujo Final de Muestreo, Pies³/min.
y = Curva de calibración del Equipo de Muestreo (Hr - W11).

EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE
METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION)(Segunda evaluación)

SITIO: EL CHOCHO

PLANTA TRITURADORA

Nº 2

FILTRO Nº	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO Pies ³ minuto		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m ³
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
32	I-23-93	5.5431	10.9244	40	20	9468
119	I-24-93	5.4137	10.5218	40	25	8986
114	I-25-93	5.3876	8.2076	40	20	4960
31	I-27-93	5.5116	8.2459	40	25	4810
102	I-28-93	5.4019	9.7291	40	25	7152
113	I-29-93	5.4709	11.9642	40	25	10734
37	I-30-93	5.4138	10.9266	40	25	8950
34	I-31-93	5.4335	9.1795	40	25	6192

W₁ = Peso Inicial Filtro, grs. 6.36 + 07161 X
W₂ = Peso Final Filtro con partículas, grs.
Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo, Pies³/min.

Q₂ = Flujo Final de Muestreo, Pies³/min.
y = Curva de calibración del Equipo de Muestreo (Hr - W11).

EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE
METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION)

SITIO: EL CHOCHO

OFICINAS ADMINISTRATIVAS

No. 3

FILTRO No.	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO Pies ³ /minuto		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m ³
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
91	XII-12-92	5.4732	6.1002	40	25	518
92	XII-13-92	5.4452	5.8770	40	30	337
93	XII-14-92	5.4641	6.0359	40	30	446
94	XII-15-92	5.4231	6.3167	40	30	696
95	XII-16-92	5.4882	6.2326	40	25	669
96	XII-17-92	5.5008	6.2957	40	30	619
97	XII-18-92	5.3825	6.2868	40	30	704
98	XII-22-92	5.4124	6.1208	40	25	586
99	XII-23-92	5.3279	5.9781	40	25	537
100	XII-24-92	5.4095	5.9267	40	25	427

w₁ = Peso Inicial Filtro, grs. 6.36 + 07161 X
W₂ = Peso Final Filtro con Partículas, grs.
Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo, Pies³/min.

C₂ = Flujo Final de Muestreo, Pies³/min.
y = Curva de calibración del Equipo de Muestreo (Hr-W11).

Se comparan las cantidades de polvo entre los diferentes sectores de la red de muestreo, identificando el impacto, lo que facilita la ubicación de barreras para la dispersión del polvo.

- Presentación de resultados

Los resultados mensuales sirven para tomar medidas correctivas internas y por lo menos cada año presentar un informe a la entidad Delegada del Ministerio de Salud.

9.3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El flujograma de las actividades propuestas, con los tiempos estimados para cada actividad, se presentan en el cronograma adjunto.

ANEXO 3

TOMA DE MUESTRAS DE PARTICULAS EN SUSPENSION

a) FUNDAMENTO DEL METODO

El procedimiento de muestreo de partículas suspendidas totales se basa en los principios de la ley de Stokes (Mecánica de fluidos) en la siguiente aplicación:

La forma de los equipos de muestreo, al succionar la muestra, obliga al flujo de aire a cambiar de dirección al menos en 90 grados, antes de alcanzar el filtro.

Las partículas que siguen en el flujo de aire, después del cambio de dirección de 90 grados, han cumplido con la definición de polvo en suspensión, o sea que no sedimentan por acción de la fuerza de gravedad.

b) DESCRIPCION DEL METODO

El equipo de muestreo succiona el aire ambiente haciéndolo pasar por un filtro, donde atrapan las partículas.

El total de partículas se determina en forma gravimétrica, por diferencia en el peso del filtro.

La cantidad de aire medido se determina por diferencia de flujo al inicio y final de la toma de la muestra.

c) PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

A continuación se describe brevemente el procedimiento de muestreo:

- I. Desecado y peso inicial de los filtros
- II. Calibración de los medidores Hi-Voll
- III. Colocación del filtro limpio
- IV. Ajuste de la rata de muestreo
- V. Cambio de filtro y lectura de flujo final
- VI. Desecado y peso final del filtro

d) CALCULOS

Al final de cada muestra se obtienen los siguientes datos:

- Tiempo de muestreo
- Flujo inicial y final
- Material retenido
- Ecuación de calibración del equipo
- Temperatura promedio del ambiente

Con estos datos se calcula la concentración total de partículas suspendidas, en microgramos por metro cúbico. Se aplica la siguiente ecuación:

$$C = \frac{(W_2 - W_1)}{((F_1 + F_2)/2) \times T}$$

Donde:



C : Concentración de partículas suspendidas en el aire

W1 : Peso inicial del filtro

W2 : Peso final del filtro

F1 : Flujo inicial del equipo medidor *

F2 : Flujo al final de la toma de la muestra *

T : Tiempo de muestreo

* El flujo debe corregirse de acuerdo con la ecuación de la forma de calibración del equipo,

$Y = mX + b$

Donde:

Y = Flujo corregido

X = Lectura del rotámetro (F1 y F2)

ANEXO 4

GLOSARIO

ALTURA EFECTIVA DE LA PLUMA: Distancia hasta donde se eleva la pluma o nube de emisión de polvo.

ANEMOMETRO: Dispositivo que mide la velocidad del aire.

AREA DE INTERES SANITARIO: Extensión de terreno, en la cual los niveles de contaminación pueden ser perjudiciales para la salud humana.

CONDICION METEOROLOGICA: Conjunto de las condiciones atmosféricas que caracterizan una región.

DESECACION: Acción por medio de la cual se elimina la humedad a un elemento sólido.

DISPERSION DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE: Dilución de elementos gaseosos en el aire, que permite transporte a sitios diferentes al de emisión.

ESTABILIDAD ATMOSFERICA: Susceptibilidad de cambio en las condiciones atmosféricas de un sitio.

ESTACIONES DE MUESTREO DE ALTO VOLUMEN: Equipo para medir la concentración de partículas en el aire.

FUENTE CONTAMINANTE DE AREA: Generación de contaminantes del aire a campo abierto y sin ventilación inducida.

MACROPARTICULAS: Partículas suspendidas en el aire de tamaños entre 0.1 y 10 micras de diámetro.

METODO GRAVIMETRICO: Procedimiento de medida basado en diferencias de peso.

MODELO DE DISPERSION: Simulación teórica, para predecir la dilución y el transporte de un contaminante en el aire.

NIVELES DE PARTICULAS MEDIDOS: Concentración de polvo en el aire, obtenida mediante mediciones de campo.

PARTICULAS Suspendidas TOTALES: Polvo que no se sedimenta por acción de la gravedad.

PLUMA: Nube de emisión de un contaminante del aire.

POLVO SEDIMENTABLE: Partículas que, por su tamaño, caen al suelo bajo la acción de la gravedad.



REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO

Mayo 17 de 1993

Procedencia de la muestra:

Ingeniero Fabio Franco, filtros con polvo de mediciones de calidad del aire

Toma de muestras:

Ingeniero Fabio Franco C.

Análisis realizado:

Determinación del porcentaje de Silice

Método de Laboratorio: N° 4258 STANDARD METHODS FOR EXAMINATION.

MUESTRA (Filtro No.)	RESULTADO (%)	MUESTRA (Filtro No.)	RESULTADO (%)
48	54.1	113	63.7
39	11.3	66	37.4
43	28.9	96	48.1
52	13.1	88	39.3
16	54.2	F2	56.8
56	35.2	1	51.2
26	38.1	X2	53.7
08	58.7	51	6.3
86	52.1	01	52.4
26	38.7	107	13.5
38	12.8	111	18.3
49	15.2		

NELVER CASTRO SANCHEZ

Químico

Mat. Prof. PQ = 1017

TRITURADORA EL DIAMANTE LTDA.



CONTENIDO

	Página
1. PRESENTACION	149
2. INFORMACION GENERAL DE LA EMPRESA	149
2.1. NOMBRE Y RAZON SOCIAL	149
2.2. DIRECCION	149
2.3. OBJETIVO COMERCIAL	149
2.4. SITUACION DE LA INDUSTRIA	149
2.5. AREA DE LA INDUSTRIA	149
2.6. NUMERO DE EMPLEADOS	149
2.7. HORARIO DE FUNCIONAMIENTO	149
3. INFORMACION DEL PROCESO INDUSTRIAL	149
3.1. MATERIAS PRIMAS	149
3.2. PRODUCTOS FABRICADOS	149
3.3. DIAGRAMA DE FLUJO	150
3.4. ALMACENAMIENTO	150
4. FUENTES FIJAS DE CONTAMINACION	150
4.1. PROCESOS DE GENERACION DE EMISIONES	150
4.2. CARACTERISTICAS DE LAS EMISIONES	150
5. NORMATIVIDAD A CUMPLIR	150
5.1. NORMAS DE EMISIONES	150
5.2. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE	151
6. DETERMINACION DEL AREA DE INFLUENCIA	152
6.1. ESTIMADO DE EMISIONES	152
6.2. CONDICIONES ATMOSFERICAS	152
6.3. DISPERSION DE CONTAMINANTES	153
6.4. DELIMITACION DEL AREA DE INFLUENCIA	157
7. CARACTERISTICAS DEL AREA DE INFLUENCIA	157
7.1. CALIDAD DEL AIRE ACTUAL	157



7.2. CONDICIONES TOPOGRAFICAS.....	161
7.3. USOS DE LA TIERRA.....	161
7.4. OTRAS FUENTES DE CONTAMINACION DEL AIRE.....	161
8. EFECTOS PROBABLES	161
8.1. DE LA EMISION DE CONTAMINANTES.....	161
8.2. DE LA DISPERSION DE PARTICULAS.....	162
8.3. DE LA CALIDAD DEL AIRE.....	162
9. ACCIONES DE MITIGACION.....	162
9.1. ESTRATEGIA.....	162
9.2. ACCIONES.....	162
9.3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	164



1. PRESENTACION

Con la finalidad de revisar desde una perspectiva ambiental el proceso de producción de agregados para la construcción, y tomar, si fuere necesario, los correctivos para cumplir con el objetivo de las empresas asociadas a Proagregados de originar el mínimo impacto sobre el medio ambiente contrataron con una firma consultora realizar estudios sobre la de calidad del aire en las zonas de influencia de sus plantas.

El presente libro presenta los resultados de la investigación realizada y sus conclusiones para la planta de la Trituradora El Diamante Ltda., ubicada en el sector del río Aguacatal, en la ciudad de Cali.

En este documento se presenta la metodología que sigue las recomendaciones del Ministerio de Salud (Decreto 02 de enero 11 de 1982), así como también resultados del mencionado estudio realizado por la firma Proinsa, de la ciudad de Cali.

2. INFORMACION GENERAL DE LA EMPRESA

2.1. NOMBRE Y RAZON SOCIAL

La Empresa está registrada con el nombre "Trituradora El Diamante Ltda".

2.2. DIRECCION

Tanto la planta de producción como las dependencias administrativas están ubicadas en la zona del bajo Aguacatal, en la ciudad de Cali.

2.3. OBJETIVO COMERCIAL

El objeto comercial de la empresa es la producción de agregados pétreos para la construcción.

2.4. SITUACION DE LA INDUSTRIA

Según zonificación del Departamento de Planeación Municipal de Cali está ubicada en zona de actividad de Minas y Canteras.

2.5. AREA DE LA INDUSTRIA

El área total de la industria es de ocho hectáreas.

2.6. NUMERO DE EMPLEADOS

Se cuenta con 25 operarios en producción y cuatro empleados en la administración.

2.7. HORARIO DE FUNCIONAMIENTO

La producción se realiza durante 25 días/mes, 10 horas al día.

3. INFORMACION DEL PROCESO INDUSTRIAL

3.1. MATERIAS PRIMAS

La única materia prima utilizada en el proceso es la roca llamada diabasa, en sus diferentes estados:

- Diabasa meteorizada
- Diabasa fresca (piedra azul)
- Diabasa levemente alterada

LISTA DE TABLAS

TABLA N°	CONTENIDO	Página
1	Normas nacionales de calidad del aire	151
2	Normas de calidad del aire para Cali	151
3	Resultados del modelo de dispersión	154
4	Calidad del aire actual	159

LISTA DE FIGURAS

FIGURA N°	CONTENIDO	Página
1	Flujograma Proceso Rocales	150
2	Rosa de los vientos	152
3	Modelo de dispersión - Sistema de coordenadas	153
4	Esquema equipo de muestreo	157
5	Sistema de control de polvo	163
6	Esquema colector de polvo sencillo	164

LISTA DE CUADROS

CUADRO N°	CONTENIDO	Página
1	Cronograma para el plan de control de contaminación del aire	165

LISTA DE GRAFICAS

1	Dispersión de material particulado	155
2	Dispersión de material particulado	156
3	Dispersión de material particulado	156
4	Dispersión de material particulado	159
5	Resultados calidad del aire. Partículas Suspendidas Totales	159
6	Resultados calidad del aire. Partículas Suspendidas Totales	159
7	Comparación emisión vs. norma	160
8	Comparativo de Resultados	161

LISTA DE PLANOS

1	Mapa de cantera con ubicación de sitios de muestreo	158
---	---	-----

ANEXOS

1	Listados de resultados modelo de dispersión	166
2	Hojas de campo	168
3	Toma de muestras de partículas en suspensión	169
4	Glosario	170
5	Resultados de laboratorio	171

3.2. PRODUCTOS FABRICADOS

A partir de las diabasas se obtienen los siguientes productos:

- Gravas y finos
- Base granular

3.3. DIAGRAMA DE FLUJO

Un diagrama del proceso se presenta en la Figura No. 1. El cual se describe a continuación:

Etapa 1: Explotación de la cantera

Inicialmente se realiza la remoción del material estéril que cubre la cantera. A continuación se perfora la roca para cargar el agente de voladura. Luego se realiza la quema o voladura, obteniéndose rocas de diferente tamaño.

Las rocas más grandes se perforan nuevamente y se realiza una segunda voladura, llamada "pistoleo".

Etapa 2: Transformación

El material es recogido en la cantera y transportado a la trituradora en donde se fracciona y clasifica por tamaños. Posteriormente, parte se despacha directamente y el resto se almacena.

3.4. ALMACENAMIENTO

El producto se almacena en patios a cielo abierto.

4. FUENTES FIJAS DE CONTAMINACION

4.1. PROCESOS DE GENERACION DE EMISIONES

Los procesos implicados en la generación del polvo son:

- Voladura
- Transporte
- Triturado
- Clasificación
- Almacenamiento

4.2. CARACTERISTICAS DE LAS EMISIONES

Como se deduce del proceso productivo, la actividad de triturado y explotación de canteras no presenta fuentes puntuales fijas de contaminación del aire, pues no se cuenta con chimeneas o ductos. La emisión es del tipo "Fuente de Area", en la cual inciden principalmente fenómenos atmosféricos (vientos).

El medio de transporte de las partículas es el aire de la región. El polvo de mayor tamaño se sedimenta en el sitio de generación y solo se dispersa el material que, por su densidad, se suspende en el aire.

5. NORMATIVIDAD A CUMPLIR

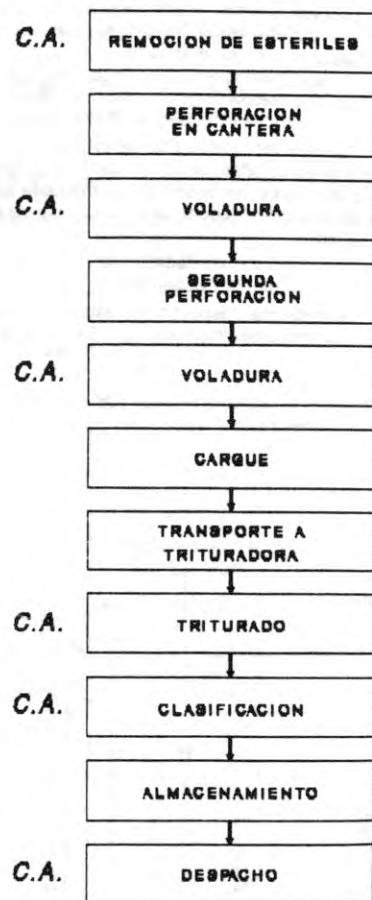
El Decreto 02 de enero 11 de 1982 estipula dos tipos de normas:

1. Emisiones
2. Calidad del aire

5.1. NORMAS DE EMISIONES

El Decreto 02 de 1982 no establece normas de emisión para la actividad de explotación de canteras y producción de triturados; sin embargo, incluye un artículo para "Industrias no Clasificadas".

FIGURA N° 1
FLUJOGRAMA PROCESO DIAMANTE



C.A. CONTAMINACION ATMOSFERICA

El artículo 70 del Decreto 02/82 regula las emisiones para "otras industrias". En ese artículo se relaciona la emisión máxima permisible con la capacidad de producción horaria. Para nuestra actividad, se tiene:

Producción horaria:

$$96.1 \text{ m}^3/\text{día} \times \text{d}/10 \text{ hr} \times 1.6 \text{ ton}/\text{m}^3 = 15.3 \text{ ton}/\text{hr}$$

Para calcular la norma de emisión se utiliza la ecuación que aparece en el artículo 71, ítem a (zona urbana).

$$E = 10.45 \times P^{0.458} \quad 10 < P < 500$$

Donde:

E: Máxima emisión de partículas en kg/hora
P: Máxima producción horaria

Reemplazando en la ecuación se tiene,

$$E = 10.45 \times 15.3^{0.458}$$

$$E = 36.4 \text{ kg/hora}$$

Según el artículo 43, para una fuente ubicada a una altura diferente de la del nivel del mar, se debe corregir de acuerdo con la siguiente expresión:

$$E_m = K \times E$$

$$\text{Donde } K = P_{bh}/760 + 0.04 \text{ H}$$

Siendo:

K = Factor de corrección por altitud.

P_{bh} = Presión barométrica del sitio en mm de Hg.

H = Altura sobre el nivel del mar en miles de metros.

Para nuestro caso se tiene:

$$K = 673.9/760 + 0.04 \times 0.995 = 0.9265$$

Por lo tanto la Norma de emisión modificada será:

$$E_m = 36.4 \times 0.9265 = 33.7 \text{ kg partículas/hora}$$

5.2. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE

El Decreto 02 de 1982 reglamentario de la Ley 09 de 1979 estipula para diferentes sustancias los valores máximos permisibles, a nivel de aire respirable, que deben cumplirse en la nación.

Para determinar las normas de calidad de aire que deben regir para las condiciones locales de la Trituradora El Diamante Ltda. se aplica la ecuación explicada en el artículo 32 del Decreto 02/82.

$$\begin{aligned} \text{Norma Local} &= \text{Norma de} \\ &\quad \text{Calidad} \\ &\quad \times \frac{\text{Presión barométrica Local}}{760 \text{ mm Hg}} \\ &\quad \times \frac{299 \text{ }^\circ\text{K}}{273 + \text{ }^\circ\text{C}} \end{aligned}$$

En donde:

Norma de calidad: Valor nacional a 25 °C y 760 mm Hg.

El artículo 31 del Decreto 02/82 establece las normas de calidad que se presentan en la Tabla 1.

TABLA No. 1
NORMAS NACIONALES DE CALIDAD DEL AIRE
(Para 25 °C y 760 mm Hg)

PARAMETRO	NORMA
Partículas en suspensión	100 microgramos/m ³ (promedio geométrico) 400 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Dióxido de azufre	100 microgramos/m ³ (promedio geométrico) 400 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses) 1500 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses en muestras de 3 hr)
Monóxido de carbono	15 microgramos/m ³ (max. 8 horas) 50 microgramos/m ³ (max. 1 hora)
Oxidantes fotoquímicos	170 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Oxidos de nitrógeno	100 microgramos/m ³ (promedio aritmético)

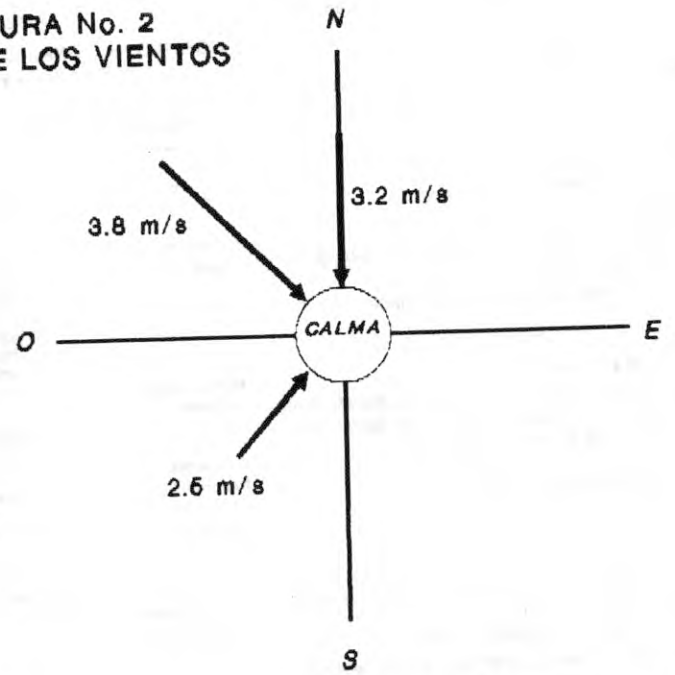
Para el caso particular de la ciudad de Cali, y efectuadas las correcciones por altitud y temperaturas, se tienen los valores que se muestran en la siguiente Tabla No. 2.

TABLA No. 2
NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE PARA CALI
(673.86 mm Hg y 25 °C)

PARAMETRO	NORMA
Partículas en suspensión	88.7 microgramos/m ³ (promedio geométrico) 354.7 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Dióxido de azufre	88.7 microgramos/m ³ (promedio geométrico) 354.7 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Monóxido de carbono	13.3 microgramos/m ³ (max. 8 horas) 44.3 microgramos/m ³ (max. 1 hora)
Oxidantes fotoquímicos	150.7 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Oxidos de nitrógeno	88.7 microgramos/m ³ (promedio aritmético)



FIGURA No. 2
ROSA DE LOS VIENTOS



6. DETERMINACION DEL AREA DE INFLUENCIA

6.1. ESTIMADO DE EMISIONES

Como en el proceso de producción de agregados el polvo que se origina en el proceso no se emite por ducto o chimenea, se convierte en una fuente de área cuya evaluación debe hacerse con muestras de alto volumen.

Por esta razón se instaló una estación de muestreo en el sitio más crítico de la planta trituradora, obteniéndose una concentración promedio de 13449 Ug/m³ de partículas suspendidas totales.

El área de generación de polvillo, considerando las zonas de trituración, clasificación y el movimiento del material en la línea de producción, se estimó en 112 m².

La velocidad de viento predominante en la zona es de 2.3 m/seg, con lo cual la emisión será:

$$2.3 \text{ m/seg} \times 112 \text{ m}^2 \times 3600 \text{ seg/hr} \times 13449 \text{ Ug/m}^3 \times \text{kg}/10^9 \text{ Ug} = 12.47 \text{ kg/hr}$$

$$12.47 \text{ kg/hr} \times 10^9 \text{ Ug/kg} \times \text{hr}/3600 \text{ seg} = 3463888.9 \text{ Ug/seg}$$

6.2. CONDICIONES ATMOSFERICAS DE LA ZONA

Los factores meteorológicos que inciden en la dispersión de contaminantes atmosféricos son:

- La magnitud del viento (velocidad)
- La dirección de los vientos
- La estabilidad atmosférica

La estabilidad atmosférica es un concepto que encierra variables como nubosidad, brillo solar e intensidad de los vientos. Estas variables en conjunto informan acerca de qué tan estable es la atmósfera de la región, lo cual a su vez rige la dispersión de los contaminantes en el aire.

Todos estos factores se integran en un resumen de las condiciones atmosféricas, conocido como rosa de los vientos.

Para desarrollar una rosa de vientos de una zona particular se requiere un gran número de mediciones en el tiempo que permitan deducir el porcentaje de ocurrencia del fenómeno (frecuencia) y de la velocidad del viento. Ello se sale de los alcances del presente estudio, por lo que se utilizaron los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona tales como la antigua estación San Luis Gonzaga,

ubicada en la ladera del mismo sistema montañoso de las trituradoras y se complementó con los datos de la estación del Aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón. Con ello se desarrolló la rosa de vientos que se presenta en la Figura No. 2.

Una vez construida esta rosa de vientos utilizando un anemómetro se confirmaron sus valores con mediciones puntuales en el terreno.

De las mediciones de campo, los datos de las estaciones meteorológicas antes mencionadas y de las observaciones visuales se deduce lo siguiente:

Tanto en los registros de las estaciones, con datos de más de 20 años, como en las mediciones realizadas en el área, se observa una marcada tendencia, como dirección predominante del viento, la dirección noroeste.

Otra dirección destacable de viento es la norte, aunque con menor frecuencia.

Se presentan esporádicos estados de calma; es decir, velocidades menores de 0.5 m/s y puede decir-

se que durante las 24 horas del día el viento recorre todas las direcciones, destacándose, como ya se dijo, la dirección noroeste.

6.3. DISPERSION DE CONTAMINANTES

6.3.1. Generalidades sobre el modelo de dispersión

Para determinar el área de influencia de los contaminantes a nivel del terreno se aplica el modelo de dispersión Gaussiano, que indica las concentraciones esperadas del contaminante a nivel del terreno. El área de interés sanitario es la que abarque los sitios donde la concentración esperada sobrepase la norma local calculada.

Para estimar teóricamente la dispersión de los contaminantes en la atmósfera se utiliza en este trabajo el modelo matemático tipo Gaussiano propuesto por Passquill-Guifford.

El modelo Gaussiano de dispersión de contaminantes en la atmósfera tiene la siguiente ecuación general:

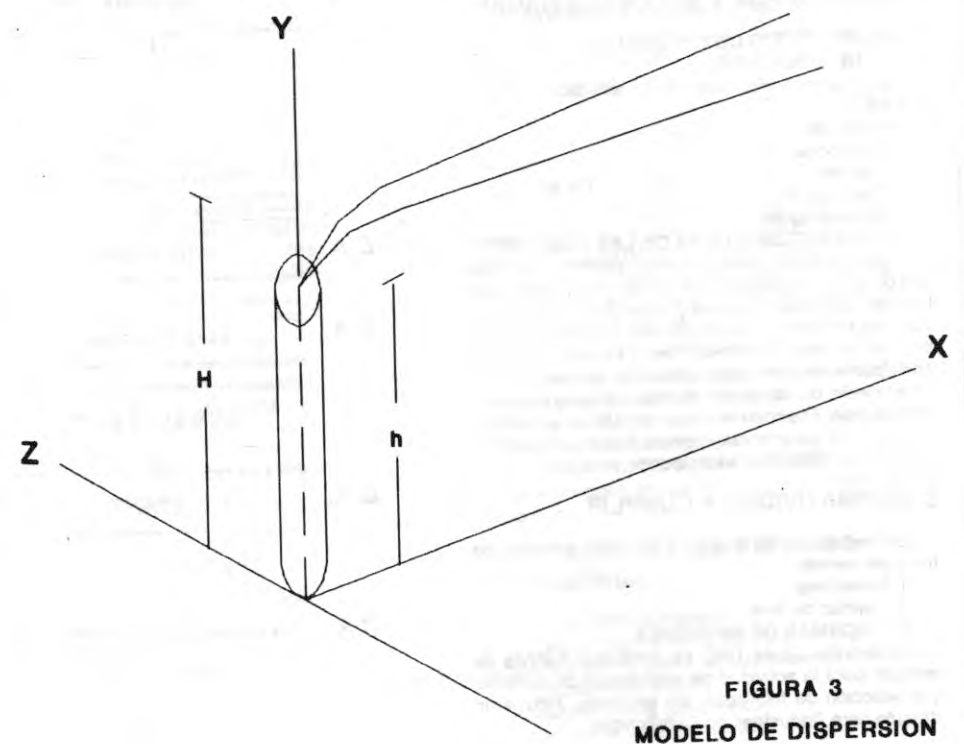


FIGURA 3
MODELO DE DISPERSION
SISTEMA DE COORDENADAS



$$Mx(X, Y, Z, Hef) = (Q/2 \cdot Cy \cdot Cz \cdot U) \cdot \text{EXP}(-0.5(Y/Cy)^2) \cdot \text{EXP}(-0.5((Z - Hef)/Cz)^2) + \text{EXP}(-0.5((Z + Hef)/Cz)^2)$$

Donde:

- Mx : Concentración de partículas en ug/m³
- Q : Emisión en ug/seg
- U : Velocidad del viento a la altura efectiva (Hef), m/seg

- Cy : Coeficiente de dispersión en el plano horizontal (m)
- Cz : Coeficiente de dispersión en el plano vertical (m)
- Hef : Altura efectiva de la pluma (m)

En la Figura No. 3 puede verse el sistema de coordenadas utilizado en el modelo.

Para el caso de la actividad de la trituración de basaltos se aplica la ecuación particular del modelo de Gauss que presenta el receptor a nivel del suelo (Z=0), la fuente emisora elevada y la concentración localizada sobre el eje X, a sotavento, o sea abajo del sentido del viento. La ecuación es la siguiente:

$$Mx(X, Hef) = (Q/\pi \cdot Cy \cdot Cz \cdot U) \cdot \text{EXP}(-0.5(Hef/Cz)^2)$$

Los coeficientes de dispersión dependen de la estabilidad atmosférica; o sea, la tranquilidad en las capas próximas a la superficie terrestre, que varían con la radiación solar y la velocidad del viento.

Para la trituradora en cuestión, y de acuerdo con la rosa de los vientos de la Figura No. 2, se aplica el modelo en las siguientes condiciones.

Situación 1:

- Dirección de viento: Noroeste
- Velocidad (m/seg): 3.8
- Tipo de estabilidad: C

Situación 2:

- Dirección de viento: Norte
- Velocidad (m/seg): 3.2
- Tipo de estabilidad: B

Situación 3:

- Dirección de viento: Suroeste
- Velocidad (m/seg): 2.5
- Tipo de estabilidad: B

Situación 4:

- Dirección de viento: Calma
- Velocidad (m/seg): 0.5
- Tipo de estabilidad: A

6.3.2. Cálculo de la dispersión

Para la aplicación del modelo Gaussiano se emplea un programa de computador; sin embargo, a continuación se presenta un modelo de cálculo realizado en forma manual.

El modelo de cálculo se realiza para la velocidad de 0.5 m/s, a una distancia de 100 metros de la emisión, estabilidad A.

La emisión se presenta aproximadamente a diez metros de altura y las velocidades de viento son tomadas a la misma altura, por lo que no es necesario corregirla.

- Concentración a nivel de terreno

Cálculo de los coeficientes de dispersión horizontal (Cy) y vertical (Cz).

$$Cy = \text{Exp}(5.357 + 0.8828 \ln X - 0.0076 (\ln X)^2)$$

$$Cz = \text{Exp}(6.035 + 2.1097 \ln X + 0.2770 (\ln X)^2)$$

Donde X : Distancia vientos abajo (Sotavento)

Reemplazando, para X=0.1 km, tenemos:

$$Cy = \text{Exp}(5.357 + 0.8828 \ln 0.1 - 0.0076 (\ln 0.1)^2) = 26.68 \text{ m}$$

$$Cz = \text{Exp}(6.035 + 2.1097 \ln 0.1 + 0.2770 (\ln 0.1)^2) = 14.09 \text{ m}$$

Cálculo de la concentración de partículas.

$$C(X, 0, 0, Hef) = (Q/3.1416 \cdot Cy \cdot Cz \cdot U) \cdot \text{EXP}(-0.5(Hef/Cz)^2)$$

Donde:

U = Velocidad del viento corregida a la altura efectiva de la pluma (Hef)

Q = Emisión del contaminante en ug/seg

$$C(2, 0, 0, Hef) = (Q/3.1416 \cdot Cy \cdot Cz \cdot U) \cdot \text{EXP}(-0.5(Hef/Cz)^2)$$

$$= (3463888.9 / (3.1416 \cdot 26.68 \cdot 14.09 \cdot 0.5)) \cdot \text{EXP}(-0.5(10/14.09)^2)$$

$$= 4558.8 \text{ ug/m}^3$$

6.3.3. Resultados del modelo de dispersión

Los resultados del modelo de dispersión para las cuatro condiciones estimadas, se presentan en la Tabla No. 3.

En las Gráficas 1 a 4 se representan estos resultados.

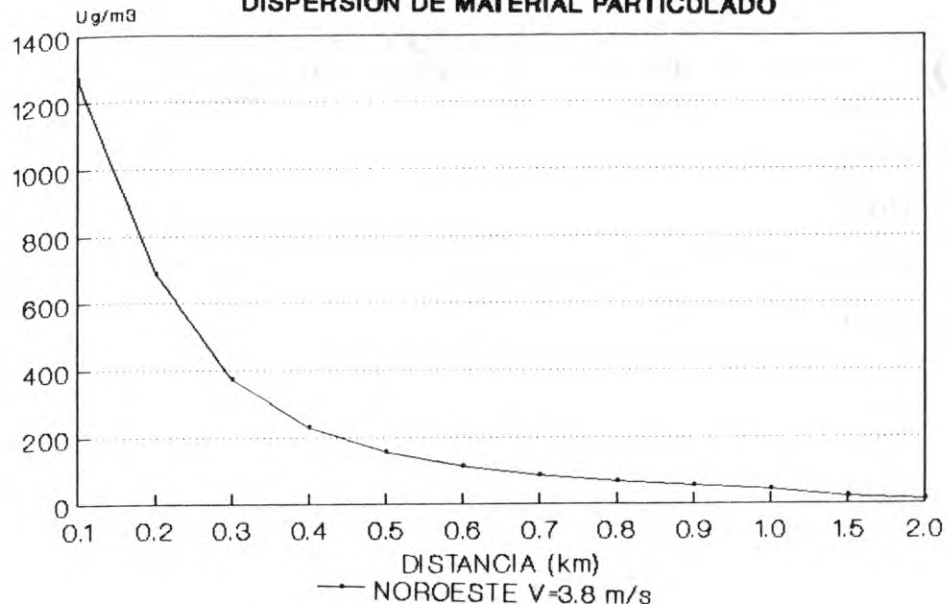
TABLA No. 3

RESULTADOS DEL MODELO DE DISPERSION

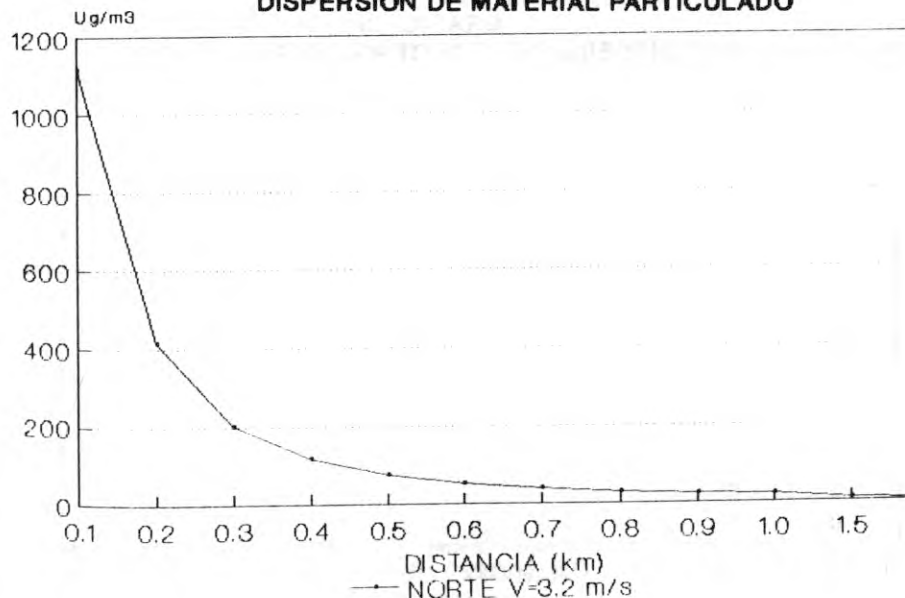
CONCENTRACION A NIVEL DE TERRENO (ug/m³)

DISTANCIA (km)	DIRECCION NOROESTE	DIRECCION NORTE	DIRECCION SUROESTE	DIRECCION CALMA
0.10	1272	1116	1429	4558
0.20	690	416	532	1439
0.30	372	201	258	605
0.40	229	117	150	305
0.50	155	76	98	173
0.60	112	53	69	106
0.70	85	40	51	69
0.80	67	30	39	47
0.90	54	24	31	33
1.00	44	19	25	24
1.20	32	14	17	14
1.40	24	10	13	8
1.60	19	8	10	5
1.80	15	6	8	4
2.00	12	5	6	3
2.50	8	3	4	1.2
3.00	6	2	3	0.6

**GRAFICA No. 1
DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO**

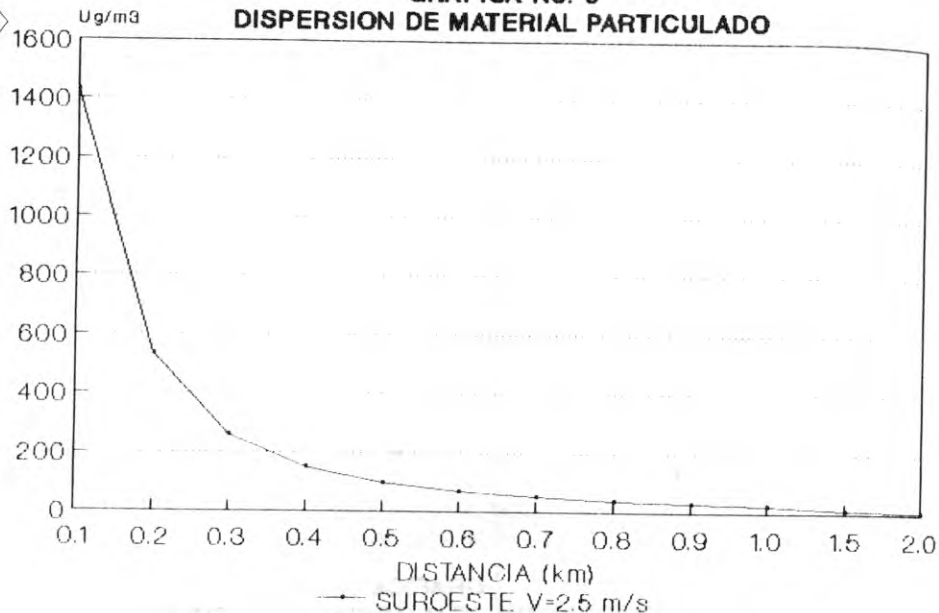


**GRAFICA No. 2
DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO**



P

GRAFICA No. 3
DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO



GRAFICA No. 4
DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO

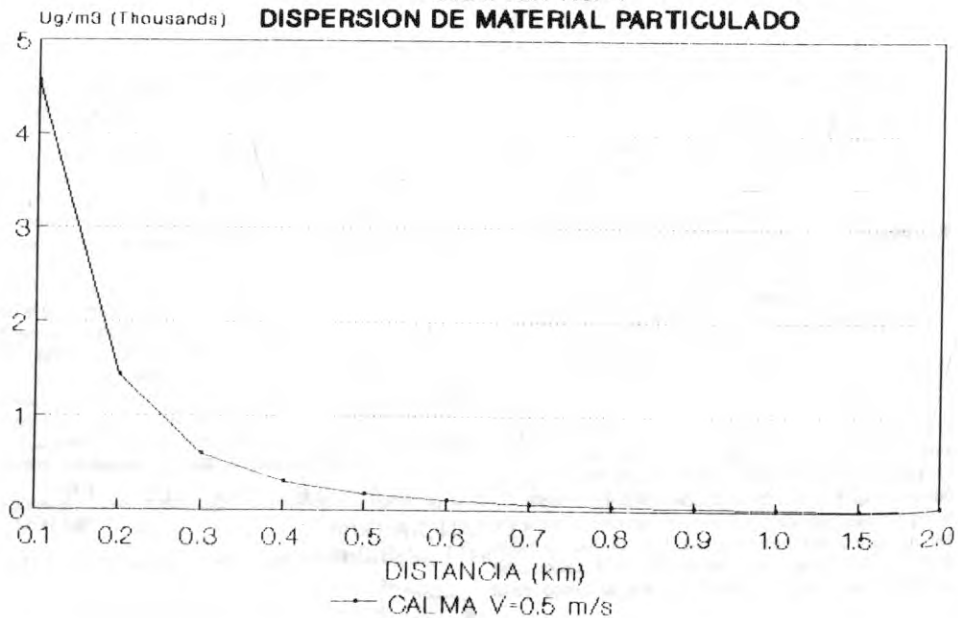
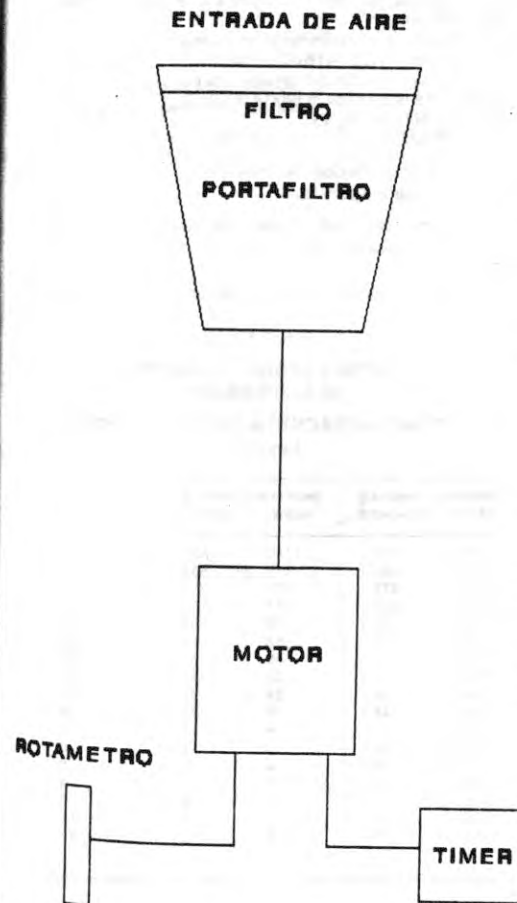


FIGURA 4

ESQUEMA EQUIPO DE MUESTREO



6.4. DELIMITACION DEL AREA DE INFLUENCIA

Para la situación 1, se obtuvo la máxima concentración en el sitio de la emisión y se esperan concentraciones mayores que la norma hasta los 600 metros abajo del sitio de la emisión.

Para la situación 2, igualmente se localizó la concentración máxima en el origen de la emisión. La distancia hasta donde se sobrepasa la norma local calculada es de 400 m.

En cuanto a la situación 3, la máxima concentración se presenta también en el sitio de la emisión y la distancia límite, hasta la cual se sobrepasa la norma de calidad del aire, es de 500 m.

Modelando la situación 4 se obtuvo el punto de máxima concentración en el origen y se sobrepasa la norma hasta los 600 metros a partir del sitio de la emisión.

Todos estos puntos se localizan dentro de las instalaciones de la trituradora.

De acuerdo con estos resultados el área de influencia se extiende hasta los 600 metros alrededor de la planta.

7. CARACTERISTICAS DEL AREA DE INFLUENCIA

7.1. CALIDAD DEL AIRE ACTUAL

Para establecer los niveles actuales de contaminación por partículas suspendidas totales en el aire ambiente de la zona de influencia se instalaron estaciones de monitoreo, de acuerdo con la metodología descrita en los siguientes numerales.

7.1.1. Equipo utilizado

Para la toma de muestras se utilizaron estaciones debidamente calibradas. Un esquema del equipo se muestra en la Figura 4.

La determinación de la concentración se basa en el método gravimétrico, utilizando filtros de papel de celulosa.

La muestra es succionada a través del papel filtro donde se retienen las partículas en suspensión. La cantidad de aire de la muestra se establece con la medida del flujo al inicio y al final de la toma de la muestra, utilizando un rotámetro. El flujo medido se corrige aplicando la ecuación de calibración del equipo, predeterminada en el laboratorio.

7.1.2. Sitios de muestreo

Se muestrearon dos puntos ubicados así:

Punto 1
Al suroccidente de la trituradora, en la zona de viviendas.

Punto 2
En el sitio de origen de la emisión en la trituradora. La ubicación de los sitios de muestreo puede apreciarse en el plano anexo.

P

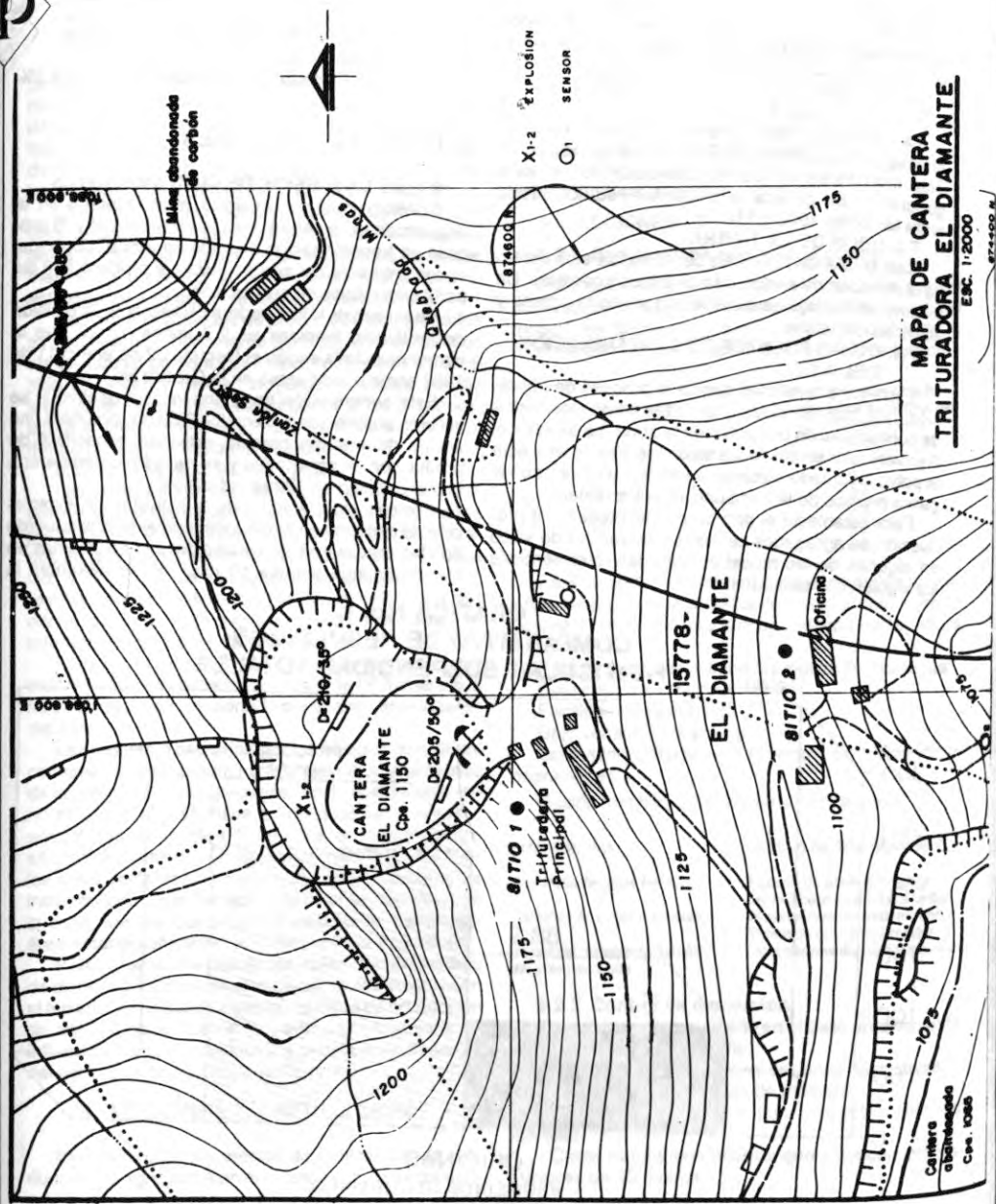
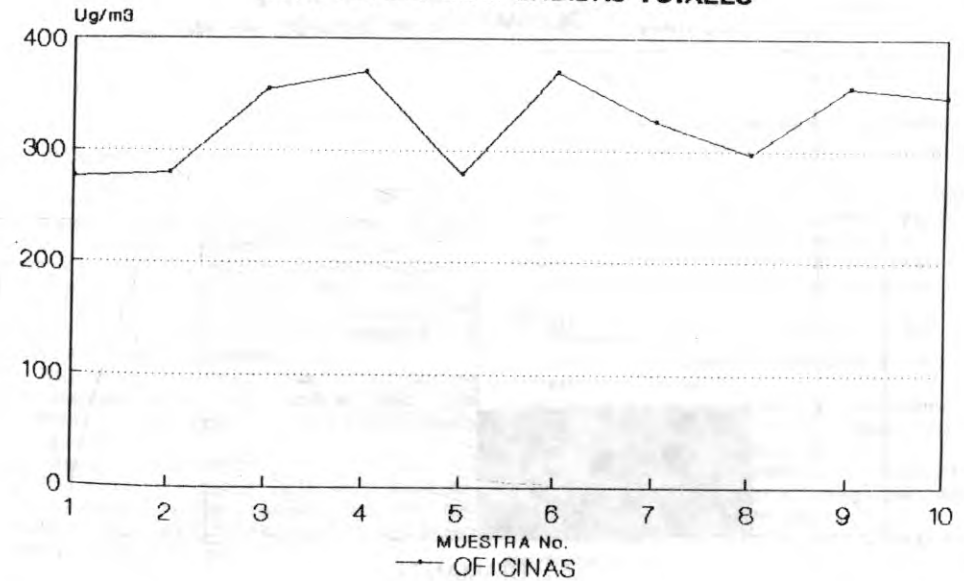


TABLA No. 4
CALIDAD DEL AIRE ACTUAL
CONCENTRACION A NIVEL DE TERRENO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

MUESTRA N°	SITIO 1 TRITURADORA	SITIO 2 OFICINA
1	10140	276
2	14176	280
3	15796	354
4	15848	370
5	12756	279
6	12464	370
7	15578	326
8	8958	297
9	15652	356
10	15496	348
PROMEDIO GEOMETRICO	13449	323

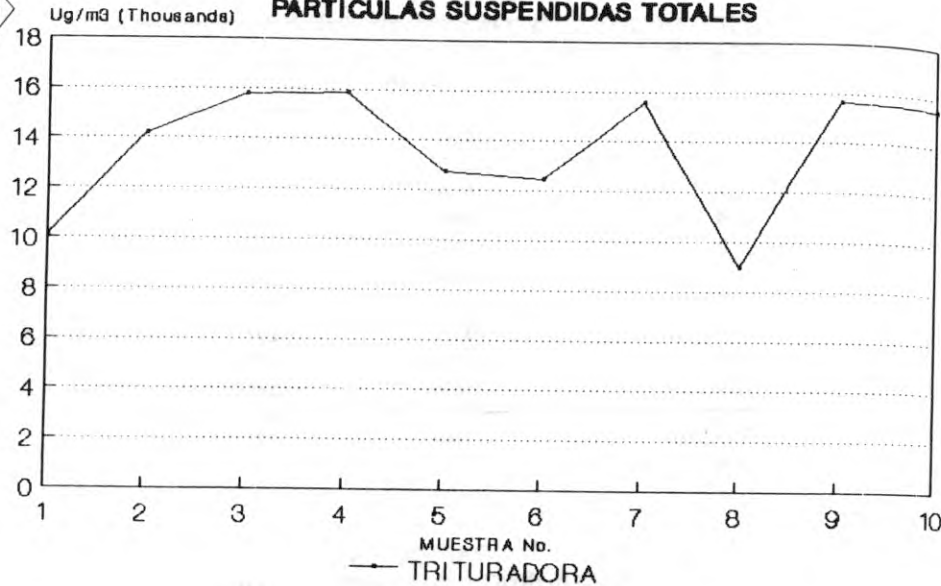


GRAFICA No.5
RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES

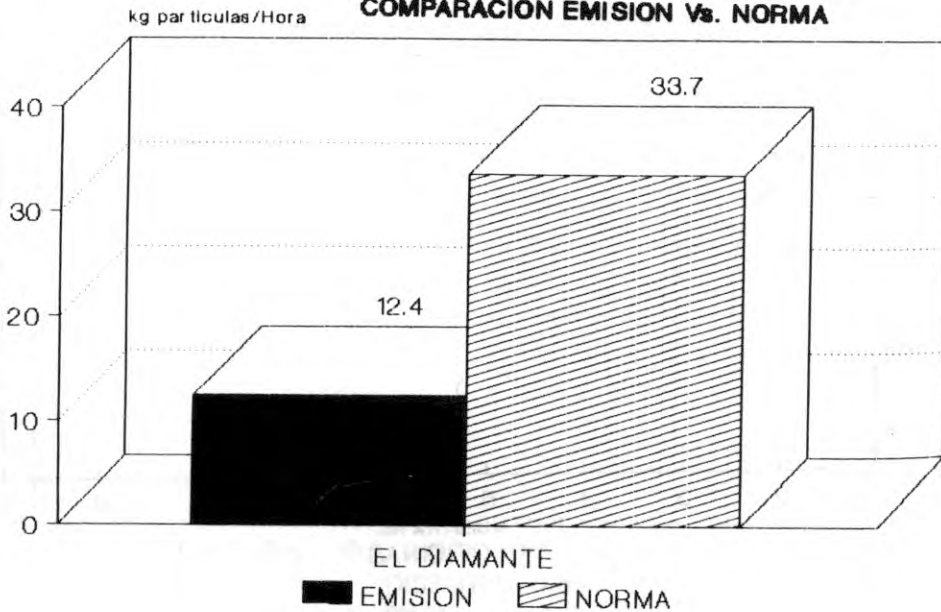




GRAFICA No.6
RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES



GRAFICA No. 7
COMPARACION EMISION Vs. NORMA



7.1.3. Resultados de las mediciones
En la Tabla No. 4 se presentan los resultados obtenidos en las mediciones, con los cuales se construyeron las Gráficas 5 a 8.

7.2. CONDICIONES TOPOGRAFICAS DE LA ZONA

La zona de influencia hace parte de la vertiente oriental de la Cordillera Occidental y se localiza en un área montañosa de ladera, colindante con el valle geográfico. En general la propiedad está localizada entre las cotas 1000 y 1400 m.

7.3. USOS DE LA TIERRA

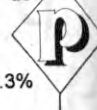
Casi la totalidad del área de influencia está dentro de la actividad de explotación de minas y canteras. Un mínimo porcentaje se destina a la vivienda urbana y actividad comercial.

7.4. OTRAS FUENTES DE CONTAMINACION DEL AIRE

Entre las actividades ajenas al proceso de trituración, que pueden estar implicadas como aportantes de contaminación por polvo en la zona, se destaca el flujo vehicular en las zonas aledañas. Por un lado está el polvo levantado físicamente en la vía y por otro los gases propios de la combustión de los motores.

Para establecer el aporte real del proceso de producción de agregados se realizaron análisis de sílice en algunas de las muestras tomadas, obteniéndose los siguientes resultados.

Muestra 1: Tomada en la trituradora, 52.4% de sílice
Muestra 2: Tomada en la zona de viviendas, 13.5 % de sílice
Muestra 3: Tomada en la zona de viviendas, 18.3% de sílice



8. EFECTOS PROBABLES

8.1. DE LA EMISION DE CONTAMINANTES

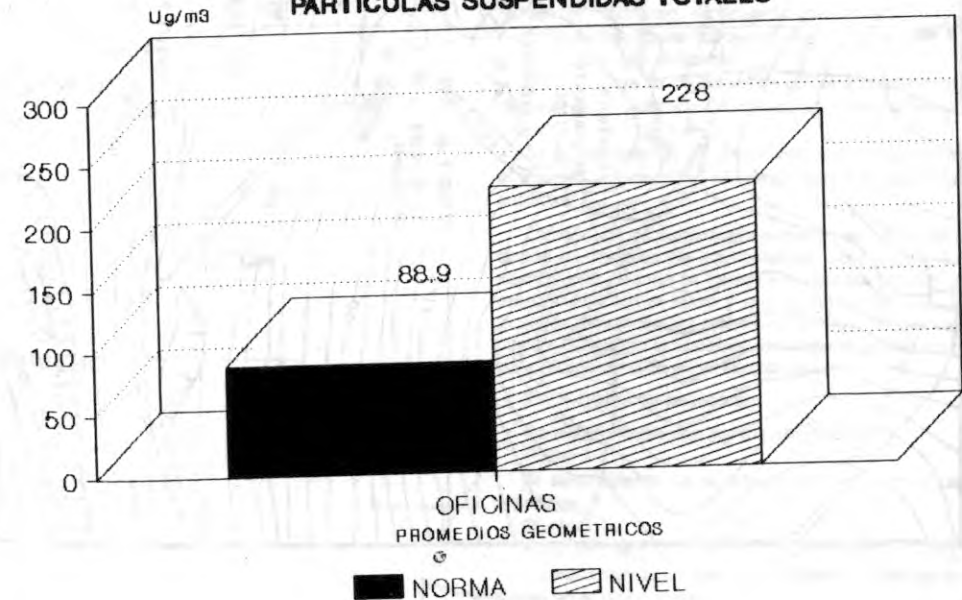
Considerando que la única materia prima en la producción de agregados es la roca natural y el proceso de transformación se hace en forma mecánica, el contaminante del aire atribuible al proceso son las partículas totales en suspensión.

En el caso de la Trituradora El Diamante, la emisión de partículas medidas es 2.7 veces menor que la norma calculada según el Decreto 02 de enero 11 de 1982 como puede verse en la Gráfica No. 7.

Esta comparación tiene una validez relativa si se tiene en cuenta que el Decreto 02/82 no considera una norma de emisión para la actividad específica de producción de agregados y es necesario compararla con el capítulo de "Otras Industrias".

Por otro lado, analizando la actividad de explotación de canteras en forma independiente y de acuerdo con las mediciones de calidad del aire efectuadas en forma continua durante 10 días, no se vislumbra la

GRAFICA No. 8
COMPARATIVO DE RESULTADOS
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES



quema de los agentes de voladura como una fuente considerable de emisión de partículas, sobre todo por lo que es puntual, instantánea y de muy poca duración.

8.2. DE LA DISPERSION DE PARTICULAS

De acuerdo con los resultados del modelo de dispersión aplicado, la concentración de partículas suspendidas a nivel de terreno, que resulta de la actividad de la producción de agregados, sobrepasa la norma local de calidad del aire, hasta una distancia máxima de 600 m, a partir de la cual el aporte de partículas se hace menor que el límite permisible (ver Tabla 3).

La condición meteorológica bajo la cual se dificulta más la dilución de partículas, es la de velocidades bajas y horas de la noche, que en últimas es la que menos se presenta, si se tiene en cuenta que la actividad de trituración se realiza durante el día.

Dado que la actividad de producción de agregados es una fuente contaminante de área, la dispersión de las partículas presenta la mayor concentración en el sitio de origen y va disminuyendo a medida que se aleja de la fuente. Este elemento minimiza el impacto sobre el área circundante, trasladándolo, sobre todo, dentro de los predios de la trituradora.

8.3. DE LA CALIDAD DEL AIRE

Las hipótesis formuladas a partir de los resultados del modelo de dispersión aplicado fueron confirmadas por los datos de los muestreos de partículas realizados en la zona. Es así como, si observamos la Gráfica No. 8 en la cual se realiza una comparación de los resultados de los diferentes puntos, se encuentra una diferencia apreciable entre los niveles del sitio del triturado (13449) y los demás sitios.

Esto se explica por la naturaleza del polvo del triturado, que es de cierta densidad, de tal manera que no alcanza a ser transportado por el aire hasta lugares distantes.

Las muestras captadas por los equipos medidores contienen otros contaminantes ajenos a la actividad de la producción de agregados, por lo que se determinó el porcentaje de sílice a varias de las muestras, encontrándose un 52.4 % de sílice en la muestra del sitio de la emisión y contenidos entre 13.5 y 18.3 en los sitios restantes. Estos resultados comprueban la incidencia de otras fuentes en el nivel de partículas de la zona, fuentes que según el estudio de vientos del área estarían ubicadas al noroeste de la trituradora.

Relacionando los resultados obtenidos del modelo de dispersión con los niveles de partículas medidos en el terreno, se encuentra que la actividad de producción de agregados es fuente de partículas en la zona de influencia, pero ésta se localiza principalmente dentro del perímetro particular de la Empresa.

9. ACCIONES DE MITIGACION

Para minimizar los efectos de la actividad de producción de agregados en el recurso aire, se recomien-

da la ejecución de un plan general de control de contaminación del aire, el cual se propone a continuación.

PLAN DE CONTROL DE CONTAMINACION DEL AIRE EN LA PRODUCCION DE AGREGADOS

9.1. ESTRATEGIA

A nivel macro se trata de integrar tres elementos:

- I. Control del contaminante en el origen
- II. Control de la dispersión del contaminante
- III. Monitoreo continuo

9.2. ACCIONES

9.2.1. Remoción de polvo en el origen

Para definir el porcentaje de eficiencia del equipo de remoción a diseñar, se realizó un estimado, con el modelo de dispersión, relacionando concentración a nivel de terreno con emisión. Los resultados fueron:

Remoción en la fuente (%)	Distancia hasta donde se sobrepasa la norma de calidad del aire (km)
50	0.4
60	0.4
70	0.3
80	0.2
90	0.1

Para controlar el material particulado en las trituradoras se propone la práctica de trabajar con material húmedo, con el sistema que se muestra en la Figura No. 5.

Este procedimiento tiene las siguientes ventajas:
Bajo costo de funcionamiento
Facilidad de operación.
Bajo consumo de energía.
Baja vulnerabilidad en sus partes, simplificando la operatividad.

Diseño sencillo, pues los parámetros son:

PARAMETRO	UNIDAD DE TRATAMIENTO
Demanda de agua (m ³ /ton)	Tubería de abastecimiento
Cantidad de polvo a remover	Especificaciones de la bomba Dimensiones del sedimentador Eficiencia del sedimentador
Velocidad de sedimentación del polvo en agua	Dimensiones del sedimentador

9.2.2. Control de dispersión

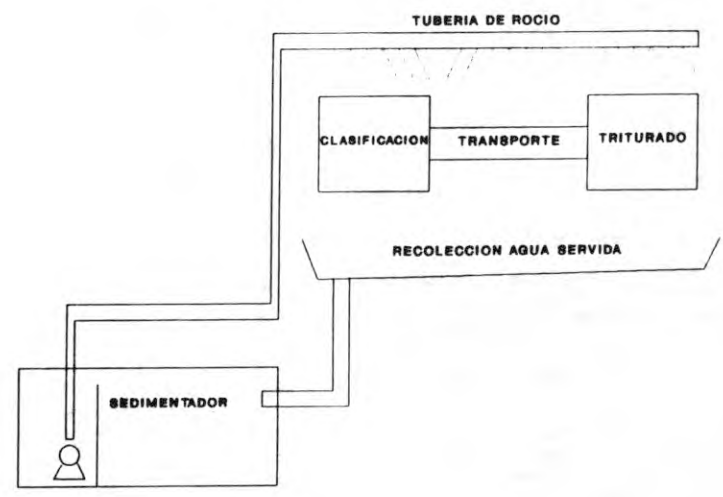
Si se logra un buen diseño en el paso anterior, este elemento no será necesario.

Se trata de establecer tres acciones correctivas:

- Encerramiento del área de triturado.
- Ventilación exhaustiva con ciclones y filtro de mangas.
- Cerco natural con árboles que alcancen alturas mayores de 10 metros.

FIGURA N° 5

SISTEMA DE CONTROL DE POLVO



PROF4

9.2.3. Monitoreo continuo

Como parte fundamental de plan se propone el monitoreo continuo de la calidad del aire, instalando una red de estaciones en diferentes sitios del área de influencia de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Estrategia de muestreo
- Se trata de una combinación de dos tipos de muestras:
- a) De polvo sedimentable
 - b) De partículas suspendidas totales

Las muestras de polvo sedimentable son una medida presuntiva, de resultados cualitativos que, instalando una red de estaciones, pueden detectar los puntos de máximo impacto en cada época del año.

Con los resultados de polvo sedimentable se seleccionan los sitios para colocar los medidores de alto volumen, con los que se obtiene la concentración de partículas suspendidas totales.

Esta combinación de muestras reduce el número de estaciones de alto volumen, que son mucho más costosas en cuanto precio de compra, mantenimiento y operatividad.

Para facilitar el monitoreo se recomienda la instalación de equipos recolectores conocidos como "Colector de Polvo Sencillo". Un esquema de este equipo se muestra en la Figura No. 6.

El Colector de Polvo Sencillo es un recipiente abierto al aire libre, construido en polietileno que tiene entre 20 y 33 cm de alto y 10 a 15 cm de diámetro.

Es conveniente añadir una solución algicida para evitar el crecimiento de algas, que interfieren en la muestra.

Para las muestras de polvo sedimentable se recomienda la ubicación en sitios libres de obstrucciones, a los 2.5 m de altura, sobre el terreno.

Para obtener muestras de partículas suspendidas totales se recomiendan las estaciones medidoras tipo Hi-Voll, que consisten en un elemento de succión que obliga a pasar el flujo de aire por un filtro, donde se recolecta la muestra. Posee también un medidor de flujo.

- Ubicación y número de estaciones

El número aconsejable de estaciones es de uno por hectárea de trabajo.

En los puntos de mayor índice de polvo sedimentable se colocan las estaciones de alto volumen, para cuantificar el polvo suspendido total.

Se estima que por intermedio de PROAGREGADOS se puedan adquirir cuatro estaciones que sirvan para monitorear las plantas del gremio.

- Procedimiento de toma de muestra de polvo sedimentable.



El recipiente, tapado y limpio, se lleva al sitio de estreo, se agrega la solución algicida, se retira la a y se coloca el recipiente en el soporte. Después una exposición de 30 días calendario, se retira el ipiente, se tapa y se lleva al laboratorio, donde por desecación y filtración se obtienen los siguientes resultados:

- Polvo total
- Sólidos solubles
- Sólidos insolubles

Estos resultados se expresan en unidades de masa por área y por mes.

- Interpretación de los resultados

El principal atributo de esta toma de muestra es que se recogen varios gramos, lo que facilita los análisis de laboratorio para identificar el aporte de una planta determinada.

Se detectan cambios en los procesos de la industria.

Se comparan las cantidades de polvo entre los diferentes sectores de la red de muestreo, identificando el impacto, lo que facilita la ubicación de barreras para la dispersión del polvo.

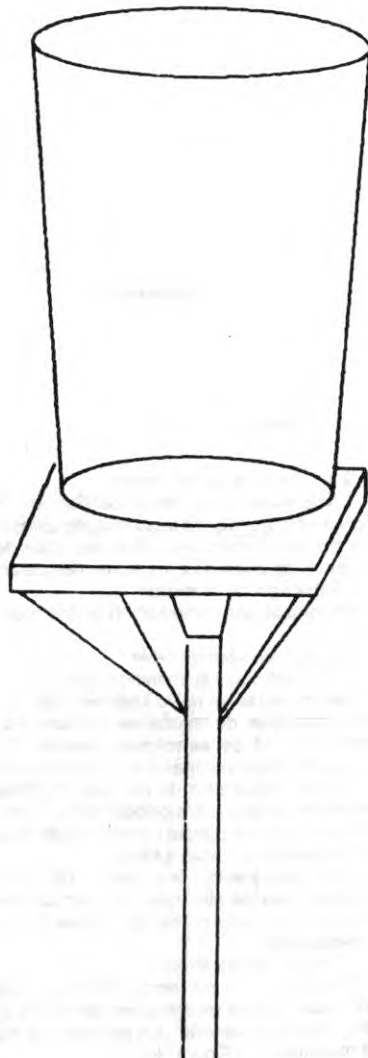
- Presentación de resultados

Los resultados mensuales sirven para tomar medidas correctivas internas y por lo menos cada año presentar un informe a la entidad Delegada del Ministerio de Salud.

9.3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El flujograma de las actividades propuestas, con los tiempos estimados para cada actividad, se presentan en el cronograma adjunto.

FIGURA N° 6
ESQUEMA COLECTOR
DE POLVO SENCILLO



PLAN CONTROL CONTAMINACION DEL AIRE CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDAD	TIEMPO EN MESES									
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
1 DIAGNOSTICO										
Identificación de focos en proceso	█									
Cuantificación del contaminante		█								
2 ALTERNATIVAS DE CONTROL										
Prediseños			█							
Costeo de alternativas				█						
Selección de alternativa definitiva					█					
3 DISERO										
Definición de parámetros					█					
Diseño final						█				
4 INSTALACION										
Reformas en líneas de proceso							█			
Construcción de unidades								█		
5 PUESTA EN MARCHA										
Arranque									█	
Monitoreo										█

MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora Diamante
 Dirección de viento: NO
 Velocidad (m/seg): 3.8
 Estabilidad: C

X= .1 C= 1272.863 Y= 12.14238 Z= 7.248451
 X= .2 C= 690.6203 Y= 23.42231 Z= 13.79045
 X= .3 C= 372.4573 Y= 34.28185 Z= 20.072
 X= .4 C= 229.6692 Y= 44.85219 Z= 26.18644
 X= .5 C= 155.6538 Y= 55.2004 Z= 32.17772
 X= .6 C= 112.6378 Y= 65.36768 Z= 38.07156
 X= .7 C= 85.46166 Y= 75.38209 Z= 43.88486
 X= .8 C= 67.1904 Y= 85.26407 Z= 49.62953
 X= .9 C= 54.30456 Y= 95.02918 Z= 55.31451
 X= 1 C= 44.86726 Y= 104.6896 Z+ 60.94673
 X= 1.1 C= 37.74154 Y= 114.2553 Z= 66.53158
 X= 1.2 C= 32.22424 Y= 123.7343 Z= 72.07361
 X= 1.3 C= 27.86145 Y= 133.1336 Z= 77.5764
 X= 1.4 C= 24.34928 Y= 142.4591 Z= 83.04326
 X= 1.5 C= 21.47811 Y= 151.7156 Z= 88.47672
 X= 1.6 C= 19.09938 Y= 160.9078 Z= 93.87916
 X= 1.7 C= 17.10543 Y= 170.0393 Z= 99.25259
 X= 1.8 C= 15.41662 Y= 179.1137 Z= 104.5987
 X= 1.9 C= 13.97304 Y= 188.1341 Z= 109.9192
 X= 2 C= 12.72886 Y= 197.103 Z= 115.2154
 X= 2.1 C= 11.64854 Y= 206.0232 Z= 120.4886
 X= 2.2 C= 10.70416 Y= 214.8968 Z= 125.74
 X= 2.3 C= 9.873561 Y= 223.7258 Z= 130.9705
 X= 2.4 C= 9.138944 Y= 232.5121 Z= 136.1811
 X= 2.5 C= 8.485866 Y= 241.2577 Z= 141.3727
 X= 2.6 C= 7.902545 Y= 249.9638 Z= 146.5461
 X= 2.7 C= 7.379253 Y= 258.632 Z= 151.7019
 X= 2.8 C= 6.907912 Y= 267.2638 Z= 156.8411
 X= 2.9 C= 6.481777 Y= 275.8605 Z= 161.9639
 X= 3 C= 6.095164 Y= 284.423 Z= 167.0711

VELOCIDAD CORREGIDA = 3.8

MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora Diamante
 Dirección de viento: N
 Velocidad (m/seg): 3.2
 Estabilidad: B

X= .1 C= 1116.471 Y= 18.71357 Z= 10.16233
 X= .2 C= 416.2409 Y= 35.90141 Z= 20.46173
 X= .3 C= 201.6155 Y= 52.33259 Z= 31.00073
 X= .4 C= 117.5367 Y= 68.24328 Z= 41.74137
 X= .5 C= 76.7311 Y= 83.75465 Z= 52.65638
 X= .6 C= 53.97867 Y= 98.94124 Z= 63.72596
 X= .7 C= 40.02804 Y= 113.8538 Z= 74.9349
 X= .8 C= 30.86574 Y= 128.5293 Z= 86.27135
 X= .9 C= 24.52773 Y= 142.9959 Z= 97.72559
 X= 1 C= 19.96206 Y= 157.2757 Z= 109.2894
 X= 1.1 C= 16.56434 Y= 171.3865 Z= 120.9562
 X= 1.2 C= 13.96748 Y= 185.3429 Z= 132.7199
 X= 1.3 C= 11.93802 Y= 199.1576 Z= 144.5756
 X= 1.4 C= 10.32178 Y= 212.8411 Z= 156.5187
 X= 1.5 C= 9.013659 Y= 226.4023 Z= 168.5453
 X= 1.6 C= 7.939938 Y= 239.8493 Z= 180.6517
 X= 1.7 C= 7.047725 Y= 253.1889 Z= 192.8348
 X= 1.8 C= 6.29825 Y= 266.4275 Z= 205.0916
 X= 1.9 C= 5.662573 Y= 279.5704 Z= 217.4197
 X= 2 C= 5.118746 Y= 292.6225 Z= 229.8162
 X= 2.1 C= 4.649858 Y= 305.5885 Z= 242.2793
 X= 2.2 C= 4.242733 Y= 318.4724 Z= 254.8069
 X= 2.3 C= 3.88697 Y= 331.2776 Z= 267.3967
 X= 2.4 C= 3.574257 Y= 344.008 Z= 280.0476
 X= 2.5 C= 3.29792 Y= 356.6665 Z= 292.757
 X= 2.6 C= 3.052512 Y= 369.2556 Z= 305.5245
 X= 2.7 C= 2.833583 Y= 381.7781 Z= 318.3478
 X= 2.8 C= 2.637451 Y= 394.2367 Z= 331.2255
 X= 2.9 C= 2.46104 Y= 406.6336 Z= 344.1569
 X= 3 C= 2.301811 Y= 418.9008 Z= 357.1407

VELOCIDAD CORREGIDA = 3.2

MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora Diamante
 Dirección de viento: SO
 Velocidad (m/seg): 2.5
 Estabilidad: B

X= .1 C= 1429.083 Y= 18.71357 Z= 10.16233
 X= .2 C= 532.7884 Y= 35.90141 Z= 20.46173
 X= .3 C= 258.0679 Y= 52.33259 Z= 31.00073
 X= .4 C= 150.447 Y= 68.24328 Z= 41.74137
 X= .5 C= 98.21582 Y= 83.75465 Z= 52.65638
 X= .6 C= 69.0927 Y= 98.94124 Z= 63.72596
 X= .7 C= 51.23589 Y= 113.8538 Z= 74.9349
 X= .8 C= 39.50815 Y= 128.5293 Z= 86.27135
 X= .9 C= 31.3955 Y= 142.9959 Z= 97.72559
 X= 1 C= 25.55144 Y= 157.2757 Z= 109.2894
 X= 1.1 C= 21.20236 Y= 171.3865 Z= 120.9562
 X= 1.2 C= 17.87837 Y= 185.3429 Z= 132.7199
 X= 1.3 C= 15.28066 Y= 199.1576 Z= 144.5756
 X= 1.4 C= 13.21188 Y= 212.8411 Z= 156.5187
 X= 1.5 C= 11.53749 Y= 226.4023 Z= 168.5453
 X= 1.6 C= 10.16312 Y= 239.8493 Z= 180.6517
 X= 1.7 C= 9.021088 Y= 253.1889 Z= 192.8348
 X= 1.8 C= 8.06176 Y= 266.4275 Z= 205.0916
 X= 1.9 C= 7.248093 Y= 279.5704 Z= 217.4197
 X= 2 C= 6.551996 Y= 292.6225 Z= 229.8162
 X= 2.1 C= 5.951818 Y= 305.5885 Z= 242.2793
 X= 2.2 C= 5.430698 Y= 318.4724 Z= 254.8069
 X= 2.3 C= 4.975323 Y= 331.2776 Z= 267.3967
 X= 2.4 C= 4.57505 Y= 344.008 Z= 280.0476
 X= 2.5 C= 4.221339 Y= 356.6665 Z= 292.757
 X= 2.6 C= 3.907215 Y= 369.2556 Z= 305.5245
 X= 2.7 C= 3.626986 Y= 381.7781 Z= 318.3478
 X= 2.8 C= 3.375937 Y= 394.2367 Z= 331.2255
 X= 2.9 C= 3.15014 Y= 406.6336 Z= 344.1569
 X= 3 C= 2.946319 Y= 418.9708 Z= 357.1407

VELOCIDAD CORREGIDA = 2.5

MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora Diamante
 Dirección de viento: CALMA
 Velocidad (m/seg): 0.5
 Estabilidad: A

X= .1 C= 4558.815 Y= 26.68185 Z= 14.09559
 X= .2 C= 1439.506 Y= 50.22446 Z= 28.70523
 X= .3 C= 605.5073 Y= 72.46592 Z= 49.23003
 X= .4 C= 305.375 Y= 93.85185 Z= 76.28431
 X= .5 C= 173.3023 Y= 114.5989 Z= 110.5815
 X= .6 C= 106.7538 Y= 134.8361 Z= 152.8707
 X= .7 C= 69.83904 Y= 154.6493 Z= 203.9269
 X= .8 C= 47.84404 Y= 174.1 Z= 264.549
 X= .9 C= 33.99367 Y= 193.2342 Z= 335.5584
 X= 1 C= 24.87918 Y= 212.0877 Z= 417.7987
 X= 1.1 C= 18.66153 Y= 230.689 Z= 512.1368
 X= 1.2 C= 14.29108 Y= 249.0617 Z= 619.462
 X= 1.3 C= 11.14017 Y= 267.2253 Z= 740.6862
 X= 1.4 C= 8.81857 Y= 285.1961 Z= 876.7444
 X= 1.5 C= 7.075424 Y= 302.9883 Z= 1028.594
 X= 1.6 C= 5.744746 Y= 320.6147 Z= 1197.219
 X= 1.7 C= 4.713984 Y= 338.0852 Z= 1383.622
 X= 1.8 C= 3.905052 Y= 355.4099 Z= 1588.832
 X= 1.9 C= 3.262741 Y= 372.5971 Z= 1813.904
 X= 2 C= 2.747332 Y= 389.6537 Z= 2059.909
 X= 2.1 C= 2.329759 Y= 406.587 Z= 2327.954
 X= 2.2 C= 1.988489 Y= 423.4035 Z= 2619.161
 X= 2.3 C= 1.707344 Y= 440.1076 Z= 2934.679
 X= 2.4 C= 1.47402 Y= 456.7055 Z= 3275.681
 X= 2.5 C= 1.279065 Y= 473.2008 Z= 3643.37
 X= 2.6 C= 1.115146 Y= 489.5988 Z= 4038.962
 X= 2.7 C= .9765136 Y= 505.9029 Z= 4463.715
 X= 2.8 C= .8586311 Y= 522.1165 Z= 4918.901
 X= 2.9 C= .7578843 Y= 538.2435 Z= 5405.807
 X= 3 C= .6713716 Y= 554.2863 Z= 5925.776

VELOCIDAD CORREGIDA = .5



EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE
METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION)

SITIO: EL DIAMANTE

OFICINAS

Nº 1

FILTRO Nº	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO Pies ³ minuto		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m ³
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
115	XII-05-92	5.3756	5.7121	40	25	276
116	XII-07-92	5.3483	5.6893	40	25	280
117	XII-08-92	5.3573	5.7596	40	20	354
118	XII-09-92	5.3432	5.7647	40	20	370
120	XII-10-92	5.3664	5.7089	40	25	279
107	I-13-93	5.3319	5.7833	40	25	370
109	I-14-93	5.3785	5.7769	40	25	326
110	I-15-93	5.3662	5.7043	40	20	297
111	I-19-93	5.3257	5.7593	40	25	356
112	I-13-93	5.3118	5.7374	40	25	348

W₁ = Peso Inicial Filtro. grs. 6.36 + 0761 X
W₂ = Peso Final Filtro con partículas. grs.
Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo. Pies³/min.

Q₂ = Flujo Final de Muestreo. Pies³/min.
y = Curva de calibración del Equipo de Muestreo
(Hr - W11).

EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE
METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION)

SITIO: EL DIAMANTE

TRITURADORA

Nº 2

FILTRO Nº	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO Pies ³ minuto		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m ³
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
104	XII-07-93	5.4419	11.7294	40	25	10140
105	XII-08-93	5.4528	14.2426	40	20	14176
106	XII-10-93	5.4921	14.6622	40	20	15796
01	I-05-93	5.4817	14.6821	40	20	15848
103	I-06-93	5.4933	12.8991	40	20	12756
108	I-14-93	5.4396	12.6760	40	20	12464
10	I-15-93	5.4393	14.4827	40	20	15578
19	I-16-93	5.4513	10.6521	40	20	8958
20	I-19-93	5.4642	14.5503	40	20	15652
101	I-20-93	5.4508	14.4465	40	20	15496

W₁ = Peso Inicial Filtro. grs. 5.22 + 0774 X
W₂ = Peso Final Filtro con partículas. grs.
Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo. Pies³/min.

Q₂ = Flujo Final de Muestreo. Pies³/min.
y = Curva de calibración del Equipo de Muestreo
(Hr - W11).

ANEXO 3

TOMA DE MUESTRAS DE PARTICULAS
EN SUSPENSION



a) FUNDAMENTO DEL METODO
El procedimiento de muestreo de partículas suspendidas totales se basa en los principios de la ley de Stokes (Mecánica de fluidos) en la siguiente aplicación:
La forma de los equipos de muestreo, al succionar la muestra, obliga al flujo de aire a cambiar de dirección al menos en 90 grados, antes de alcanzar el filtro.

Las partículas que siguen en el flujo de aire, después del cambio de dirección de 90 grados, han cumplido con la definición de polvo en suspensión, o sea que no sedimentan por acción de la fuerza de gravedad.

b) DESCRIPCION DEL METODO

El equipo de muestreo succiona el aire ambiente haciéndolo pasar por un filtro, donde atrapan las partículas.

El total de partículas se determina en forma gravimétrica, por diferencia en el peso del filtro.

La cantidad de aire medido se determina por diferencia de flujo al inicio y final de la toma de la muestra.

c) PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

A continuación se describe brevemente el procedimiento de muestreo:

- I. Desecado y peso inicial de los filtros
- II. Calibración de los medidores Hi-Voll
- III. Colocación del filtro limpio
- IV. Ajuste de la rata de muestreo
- V. Cambio de filtro y lectura de flujo final
- VI. Desecado y peso final del filtro

d) CALCULOS

Al final de cada muestra se obtienen los siguientes datos:

- Tiempo de muestreo
- Flujo inicial y final
- Material retenido
- Ecuación de calibración del equipo
- Temperatura promedio del ambiente

Con estos datos se calcula la concentración total de partículas suspendidas, en microgramos por metro cúbico. Se aplica la siguiente ecuación:

$$C = \frac{(W_2 - W_1)}{((F_1 + F_2)/2) \times T}$$

Donde:

- C : Concentración de partículas suspendidas en el aire
- W₁ : Peso inicial del filtro
- W₂ : Peso final del filtro
- F₁ : Flujo inicial del equipo medidor *
- F₂ : Flujo al final de la toma de la muestra *

T : Tiempo de muestreo
* El flujo debe corregirse de acuerdo con la ecuación de la forma de calibración del equipo,

$$Y = mX + b$$

Donde:

$$Y = \text{Flujo corregido}$$

$$X = \text{Lectura del rotámetro (F1 y F2)}$$

ANEXO 4

GLOSARIO

ALTURA EFECTIVA DE LA PLUMA: Distancia hasta donde se eleva la pluma o nube de emisión de polvo.

ANEMOMETRO: Dispositivo que mide la velocidad del aire.

AREA DE INTERES SANITARIO: Extensión de terreno, en la cual los niveles de contaminación pueden ser perjudiciales para la salud humana.

CONDICION METEOROLOGICA: Conjunto de las condiciones atmosféricas que caracterizan una región.

DESECACION: Acción por medio de la cual se elimina la humedad a un elemento sólido.

DISPERSION DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE: Dilución de elementos gaseosos en el aire, que permite transporte a sitios diferentes del de emisión.

ESTABILIDAD ATMOSFERICA: Susceptibilidad de cambio en las condiciones atmosféricas de un sitio.

ESTACIONES DE MUESTREO DE ALTO VOLUMEN: Equipo para medir la concentración de partículas en el aire.

FUENTE CONTAMINANTE DE AREA: Generación de contaminantes del aire a campo abierto y sin ventilación inducida.

MACROPARTICULAS: Partículas suspendidas en el aire de tamaños entre 0.1 y 10 micras de diámetro.

METODO GRAVIMETRICO: Procedimiento de medida basado en diferencias de peso.

MODELO DE DISPERSION: Simulación teórica, para predecir la dilución y el transporte de un contaminante en el aire.

NIVELES DE PARTICULAS MEDIDOS: Concentración de polvo en el aire, obtenida mediante mediciones de campo.

PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES: Polvo que no se sedimenta por acción de la gravedad.

PLUMA: Nube de emisión de un contaminante del aire.

POLVO SEDIMENTABLE: Partículas que, por su tamaño, caen al suelo bajo la acción de la gravedad.



REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO

Mayo 17 de 1993

Procedencia de la muestra:

Ingeniero Fabio Franco, filtros con polvo de mediciones de calidad del aire.

Toma de muestras:

Ingeniero Fabio Franco C.

Análisis realizado:

Determinación del porcentaje de Sílice.

Método de Laboratorio: N° 4258 STANDARD METHODS FOR EXAMINATION.

MUESTRA (Filtro No.)	RESULTADO (%)	MUESTRA (Filtro No.)	RESULTADO (%)
48	54.1	113	63.7
39	11.3	66	37.4
43	28.9	96	48.1
52	13.1	88	39.3
16	54.2	F2	56.8
56	35.2	1	51.2
26	38.1	X2	53.7
08	58.7	51	6.3
86	52.1	01	52.4
26	38.7	107	13.5
38	12.8	111	18.3
49	15.2		

NELVER CASTRO SANCHEZ

Químico

Mat. Prof. PQ = 1017

INDUSTRIA DE CONCRETO

INDUCON



CONTENIDO

	Página
1. PRESENTACION.....	175
2. INFORMACION GENERAL DE LA EMPRESA	175
2.1. NOMBRE Y RAZON SOCIAL	175
2.2. DIRECCION	175
2.3. OBJETIVO COMERCIAL.....	175
2.4. SITUACION DE LA INDUSTRIA.....	175
2.5. AREA DE LA INDUSTRIA.....	175
2.6. NUMERO DE EMPLEADOS.....	175
2.7. HORARIO DE FUNCIONAMIENTO.....	175
3. INFORMACION DEL PROCESO INDUSTRIAL	175
3.1. MATERIAS PRIMAS.....	175
3.2. PRODUCTOS FABRICADOS.....	176
3.3. DIAGRAMA DE FLUJO.....	176
3.4. ALMACENAMIENTO	176
4. FUENTES FIJAS DE CONTAMINACION.....	176
4.1. PROCESOS DE GENERACION DE EMISIONES	176
4.2. CARACTERISTICAS DE LAS EMISIONES	176
5. NORMATIVIDAD A CUMPLIR.....	176
5.1. NORMAS DE EMISIONES	177
5.2. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE	177
6. DETERMINACION DEL AREA DE INFLUENCIA.....	178
6.1. ESTIMADO DE EMISIONES	178
6.2. CONDICIONES ATMOSFERICAS	178
6.3. DISPERSION DE CONTAMINANTES.....	178
6.4. DELIMITACION DEL AREA DE INFLUENCIA	182
7. CARACTERISTICAS DEL AREA DE INFLUENCIA.....	182
7.1. CALIDAD DEL AIRE ACTUAL.....	182
7.2. CONDICIONES TOPOGRAFICAS	183
7.3. USOS DE LA TIERRA	183
7.4. OTRAS FUENTES DE CONTAMINACION DEL AIRE.....	183

3
5



8.	EFFECTOS PROBABLES	184
8.1.	DE LA EMISION DE CONTAMINANTES	184
8.2.	DE LA DISPERSION DE PARTICULAS	184
8.3.	DE LA CALIDAD DEL AIRE	188
9.	ACCIONES DE MITIGACION	189
9.1.	ESTRATEGIA	189
9.2.	ACCIONES	189
9.3.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	195

LISTA DE TABLAS

TABLA Nº	CONTENIDO	Página
1	Normas nacionales de calidad del aire	177
2	Normas de calidad del aire para Yumbo	178
3	Resultados del modelo de dispersión	180
4	Calidad del aire actual	183

LISTA DE FIGURAS

FIGURA Nº	CONTENIDO	Página
1	Flujograma Proceso Inducón	176
2	Rosa de los vientos	179
3	Modelo de dispersión Sistema de coordenadas	180
4	Esquema equipo de muestreo	183
5	Sistema de control de polvo	188
6	Esquema colector de polvo sencillo	189

LISTA DE CUADROS

CUADRO Nº	CONTENIDO	Página
1	Cronograma para el control de la contaminación del aire	190

LISTA DE GRAFICAS

1	Dispersión de material particulado	181
2	Dispersión de material particulado	181
3	Dispersión de material particulado	182
4	Resultados calidad del aire	185
5	Resultados calidad del aire	186
6	Resultados calidad del aire	186
7	Resultados calidad del aire	186
8	Comparación emisión vs. norma	187
9	Comparativo de resultados	187

ANEXOS

1	Listados de resultados modelo de dispersión	191
2	Hojas de campo	193
3	Toma de muestras de partículas en suspensión	195
4	Glosario	196
5	Resultados de laboratorio	197

1. PRESENTACION

Con la finalidad de revisar desde una perspectiva ambiental el proceso de producción de agregados para la construcción, y tomar, si fuere necesario, los correctivos para cumplir con el objetivo de las empresas asociadas a Proagregados de originar el mínimo impacto sobre el medio ambiente contrataron con una firma consultora realizar estudios sobre la calidad del aire en las zonas de influencia de sus plantas.

El presente libro presenta los resultados de la investigación realizada y sus conclusiones para la planta Industrias de Concreto, Inducón.

En este documento se presenta la metodología que sigue las recomendaciones del Ministerio de Salud (Decreto 02 de enero 11 de 1982), así como también resultados del mencionado estudio realizado por la firma Proinsa, de la ciudad de Cali.

2. INFORMACION GENERAL DE LA EMPRESA**2.1. NOMBRE Y RAZON SOCIAL**

La Empresa está registrada con el nombre "Industrias de Concreto Inducón".

2.2. DIRECCION

Tanto la planta de producción como las dependencias administrativas están ubicadas en el kilómetro 6 de la antigua vía Cali - Yumbo (Menga).

2.3. OBJETIVO COMERCIAL

El objeto comercial de la empresa es la producción de agregados pétreos para la construcción.

2.4. SITUACION DE LA INDUSTRIA

Se encuentra ubicada en zona de actividad de cantera, según el Departamento de Planeación Municipal.

2.5. AREA DE LA INDUSTRIA

El área actual de explotación es de 24.000 m² aproximadamente.

2.6. NUMERO DE EMPLEADOS

Se cuenta con 15 operarios en producción y cuatro empleados en la administración.

2.7. HORARIO DE FUNCIONAMIENTO

La producción se realiza durante 25 días/mes, 10 horas al día.

3. INFORMACION DEL PROCESO INDUSTRIAL**3.1. MATERIAS PRIMAS**

La única materia prima utilizada en el proceso es la roca llamada diabasa, en sus diferentes estados:

- Diabasa meteorizada
- Diabasa fresca (piedra azul)
- Diabasa levemente alterada





3.2. PRODUCTOS FABRICADOS

A partir de las diabasas se obtienen los siguientes productos:

- Rocamuerta (Relleno)
- Gravas y finos
- Base granular

3.3. DIAGRAMA DE FLUJO

Un diagrama del proceso se presenta en la Figura No. 1. El cual se describe a continuación:

Etapas 1 : Explotación de la cantera

Inicialmente se realiza la remoción del material estéril que cubre la cantera. A continuación se perfora la roca para cargar el agente de voladura. Luego se realiza la quema o voladura, obteniéndose rocas de diferente tamaño.

Las rocas más grandes se perforan nuevamente y se realiza una segunda voladura, llamada "pistoletazo".

Etapas 2: Transformación

El material es recogido en la cantera y transportado a la trituradora en donde se fracciona y clasifica por tamaños. Posteriormente, parte se despacha directamente y el resto se almacena.

3.4. ALMACENAMIENTO

El producto se almacena en patios a cielo abierto.

4. FUENTES FIJAS DE CONTAMINACION

4.1. PROCESOS DE GENERACION DE EMISIONES

Los procesos implicados en la generación del polvo son:

- Voladura
- Transporte
- Triturado
- Clasificación
- Almacenamiento

4.2. CARACTERISTICAS DE LAS EMISIONES

Como se deduce del proceso productivo, la actividad de triturado y explotación de canteras no presenta fuentes puntuales fijas de contaminación del aire, pues no se cuenta con chimeneas o ductos. La emisión es del tipo "Fuente de Area", en la cual inciden principalmente fenómenos atmosféricos (vientos).

El medio de transporte de las partículas es el aire de la región. El polvo de mayor tamaño se sedimenta en el sitio de generación y solo se dispersa el material que, por su densidad, se suspende en el aire.

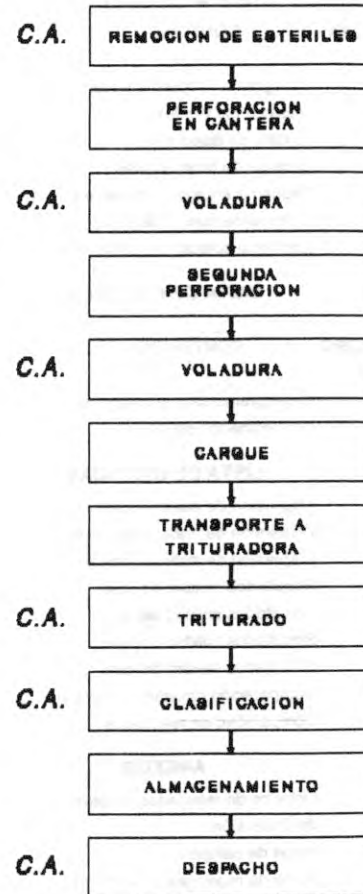
5. NORMATIVIDAD A CUMPLIR

El Decreto 02 de enero 11 de 1982 estipula dos tipos de normas:

1. Emisiones
2. Calidad del aire

FIGURA N° 1

FLUJOGRAMA PROCESO INDUCON



C.A. CONTAMINACION ATMOSFERICA

5.1. NORMA DE EMISIONES

El Decreto 02 de 1982 no establece normas de emisión para la actividad de explotación de canteras y producción de triturados; sin embargo, incluye un artículo para "Industrias no Clasificadas".

El artículo 70 del Decreto 02/82 regula las emisiones para "otras industrias". En ese artículo se relaciona la emisión máxima permisible con la capacidad de producción horaria. Para nuestra actividad, se tiene:

Producción horaria:

$$250/\text{día} \times d/10 \text{ hr} \times 1.6 \text{ ton/m}^3 = 40 \text{ ton/hr}$$

Para calcular la norma de emisión se utiliza la ecuación que aparece en el artículo 71, ítem a (zona urbana).

$$E = 10.45 \times P^{0.458} \quad 10 < P < 500$$

Donde:

E : Máxima emisión de partículas en kg/hora
P : Máxima producción horaria

Reemplazando en la ecuación se tiene,

$$E = 10.45 \times 40^{0.458}$$
$$E = 56.6 \text{ kg/hora}$$

Según el artículo 43, para una fuente ubicada a una altura diferente de la del nivel del mar, se debe corregir de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Em = K \times E$$

Donde $K = Pbh/760 + 0.04 H$

Siendo:

K = Factor de corrección por altitud.
Pbh = Presión barométrica del sitio en mm de Hg.
H = Altura sobre el nivel del mar en miles de metros.

Para nuestro caso se tiene:

$$K = 673.9/760 + 0.04 \times 0.995 = 0.9265$$

Por lo tanto la Norma de emisión modificada será:

$$Em = 56.6 \times 0.9265 = 54.4 \text{ kg partículas/hora}$$

5.2. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE

El Decreto 02 de 1982 reglamentario de la Ley 09 de 1979 estipula para diferentes sustancias los valores máximos permisibles, a nivel de aire respirable, que deben cumplirse en la nación.

Para determinar las normas de calidad de aire que deben regir para las condiciones locales de Inducón se aplica la ecuación explicada en el artículo 32 del Decreto 02/82.

Norma Local =

$$= \text{Norma de Calidad} \times \frac{\text{Presión Barométrica Local } 299 \text{ K}}{760 \text{ mm Hg } 273+C}$$

En donde:

Norma de calidad: Valor nacional a 25°C y 760 mm Hg.

El artículo 31 del Decreto 02/82 establece las normas de calidad que se presentan en la Tabla 1.

TABLA No. 1

NORMAS NACIONALES DE CALIDAD DEL AIRE (Para 25°C y 760 mm Hg)

PARAMETRO	NORMA
Partículas en suspensión	100 microgramos/m ³ (promedio geométrico) 400 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Dióxido de azufre	100 microgramos/m ³ (promedio geométrico) 400 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses) 1500 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses en muestras de 3 hr)
Monóxido de carbono	15 microgramos/m ³ (max. 8 horas) 50 microgramos/m ³ (max. 1 hora)
Oxidantes fotoquímicos	170 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Oxidos de nitrógeno	100 microgramos/m ³ (promedio aritmético)

Para el caso particular de la ciudad de Yumbo, y efectuadas las correcciones por altitud y temperaturas, se tienen los valores que se muestran en la siguiente Tabla No. 2.

TABLA No. 2

NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE PARA YUMBO

(673.86 mm Hg y 25°C)

PARAMETRO	NORMA
Partículas en suspensión	88.7 microgramos/m ³ (promedio geométrico) 354.7 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Dióxido de azufre	88.7 microgramos/m ³ (promedio geométrico) 354.7 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Monóxido de carbono	13.3 microgramos/m ³ (max. 8 horas) 44.3 microgramos/m ³ (max. 1 hora)
Oxidantes fotoquímicos	150.7 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Oxidos de nitrógeno	88.7 microgramos/m ³ (promedio aritmético)

6. DETERMINACION DEL AREA DE INFLUENCIA

6.1. ESTIMADO DE EMISIONES

Como en el proceso de producción de agregados el polvo que se origina en el proceso no se emite por ducto o chimenea, se convierte en una fuente de área cuya evaluación debe hacerse con muestras de alto volumen.

Por esta razón se instaló una estación de muestreo en el sitio más crítico de la planta trituradora, obteniéndose una concentración promedio de 10258 Ug/m³ de partículas suspendidas totales.

El área de generación de polvillo, considerando las zonas de trituración, clasificación y el movimiento del material en la línea de producción, se estimó en 50 m².

La velocidad de viento predominante en la zona es de 2.0 m/seg, con lo cual la emisión será:

$$2.0 \text{ m/seg} \times 50 \text{ m}^2 \times 3600 \text{ seg/hr} \times 10258 \text{ Ug/m}^3 \times \text{kg}/10^9 \text{ Ug} = 3.69 \text{ kg/hr}$$

$$3.69 \text{ kg/hr} \times 10^9 \text{ Ug/kg} \times \text{hr}/3600 \text{ seg} = 1025000 \text{ Ug/seg}$$

6.2. CONDICIONES ATMOSFERICAS DE LA ZONA

Los factores meteorológicos que inciden en la dispersión de contaminantes atmosféricos son:

- La magnitud del viento (velocidad)
- La dirección de los vientos
- La estabilidad atmosférica

La estabilidad atmosférica es un concepto que encierra variables como nubosidad, brillo solar e intensidad de los vientos. Estas variables en conjunto informan acerca de qué tan estable es la atmósfera de la región, lo cual a su vez rige la dispersión de los contaminantes en el aire.

Todos estos factores se integran en un resumen de las condiciones atmosféricas, conocido como rosa de los vientos.

Para desarrollar una rosa de vientos de una zona particular se requiere un gran número de mediciones en el tiempo que permitan deducir el porcentaje de ocurrencia del fenómeno (frecuencia) y de la velocidad del viento. Ello se sale de los alcances del presente estudio, por lo que se utilizaron los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona tales como la antigua estación San Luis Gonzaga, ubicada en la ladera del mismo sistema montañoso de las trituradoras y se complementó con los datos de la estación del Aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón. Con ello se desarrolló la rosa de vientos que se presenta en la Figura No. 2.

Una vez construida esta rosa de vientos utilizando un anemómetro se confirmaron sus valores con mediciones puntuales en el terreno.

De las mediciones de campo, los datos de las estaciones meteorológicas antes mencionadas y de las observaciones visuales se deduce lo siguiente:

Tanto en los registros de las estaciones, con datos de más de 20 años, como en las mediciones realizadas en el área, se observa una marcada tendencia, como dirección predominante del viento, la dirección noroeste.

Otra dirección destacable de viento es la norte, aunque con menor frecuencia.

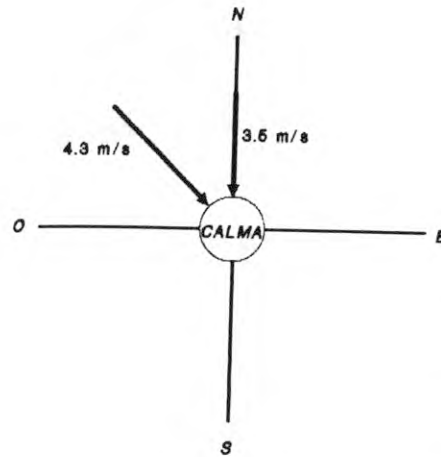
Se presentan esporádicos estados de calma; es decir, velocidades menores de 0.5 m/s y puede decirse que durante las 24 horas del día el viento recorre todas las direcciones, destacándose, como ya se dijo, la dirección noroeste.

6.3. DISPERSION DE CONTAMINANTES

6.3.1. Generalidades sobre el modelo de dispersión

Para determinar el área de influencia de los contaminantes a nivel del terreno se aplica el modelo de dispersión Gaussiano, que indica las concentraciones esperadas del contaminante a nivel del terreno. El área de interés sanitario es la que abarque los sitios donde la concentración esperada sobrepase la norma local calculada.

FIGURA No. 2 ROSA DE LOS VIENTOS



Para estimar teóricamente la dispersión de los contaminantes en la atmósfera se utiliza en este trabajo el modelo matemático tipo Gaussiano propuesto por Passquill- Guifford.

El modelo Gaussiano de dispersión de contaminantes en la atmósfera tiene la siguiente ecuación general:

$$Mx(X, Y, Z, Hef) = (Q/2 \text{ Cy} \cdot \text{Cz} \cdot \bar{U}) \text{EXP}(-0.5(Y/Cy)^2) \text{EXP}(-0.5((Z - Hef)/Cz)^2) + \text{EXP}(-0.5((Z+Hef)/Cz)^2)$$

Donde:

- Mx : Concentración de partículas en ug/m³
- Q : Emisión en ug/seg
- U : Velocidad del viento a la altura efectiva (Hef), m/seg
- Cy : Coeficiente de dispersión en el plano horizontal (m)
- Cz : Coeficiente de dispersión en el plano vertical (m)
- Hef : Altura efectiva de la pluma (m)

En la Figura No. 3 puede verse el sistema de coordenadas utilizado en el modelo.

Para el caso de la actividad de la trituración de basaltos se aplica la ecuación particular del modelo de Gauss que presenta el receptor a nivel del suelo (Z=0), la fuente emisora elevada y la concentración localizada sobre el eje X, a sotavento, o sea abajo del sentido del viento. La ecuación es la siguiente:

$$Mx(X, Hef) = (Q/\pi \cdot \text{Cy} \cdot \text{Cz} \cdot U) \text{EXP}(-0.5(Hef/Cz)^2)$$

Los coeficientes de dispersión dependen de la estabilidad atmosférica; o sea, la tranquilidad en las capas próximas a la superficie terrestre, que varían con la radiación solar y la velocidad del viento.

Para la trituradora en cuestión, y de acuerdo con la rosa de los vientos de la Figura No. 2, se aplica el modelo en las siguientes condiciones.

Situación 1:

- Dirección de viento: Noroeste
- Velocidad (m/seg): 4.3
- Tipo de estabilidad: B

Situación 2:

- Dirección de viento: Norte
- Velocidad (m/seg): 3.5
- Tipo de estabilidad: C

Situación 3:

- Dirección de viento: Calma
- Velocidad (m/seg): 0.5
- Tipo de estabilidad: A



6.3.2. Cálculo de la dispersión

Para la aplicación del modelo Gaussiano se emplea un programa de computador; sin embargo, a continuación se presenta un modelo de cálculo realizado en forma manual.

El modelo de cálculo se realiza para la velocidad de 0.5 m/s, a una distancia de 100 metros de la emisión, estabilidad A.

La emisión se presenta aproximadamente a diez metros de altura y las velocidades de viento son tomadas a la misma altura, por lo que no es necesario corregirla.

- Concentración a nivel de terreno

Cálculo de los coeficientes de dispersión horizontal (Cy) y vertical (Cz).

$$C_y = \text{Exp}(5.357 + 0.8828 \ln X - 0.0076 (\ln X)^2)$$

$$C_z = \text{Exp}(6.035 + 2.1097 \ln X + 0.2770 (\ln X)^2)$$

Donde X : Distancia vientos abajo (Sotavento)

Reemplazando, para X=0.1 km, tenemos:

$$C_y = \text{Exp}(5.357 + 0.8828 \ln 0.1 - 0.0076 (\ln 0.1)^2) = 26.68 \text{ m}$$

$$C_z = \text{Exp}(6.035 + 2.1097 \ln 0.1 + 0.2770 (\ln 0.1)^2) = 14.09 \text{ m}$$

Cálculo de la concentración de partículas.

$$C(X,0,0,H_{ef}) = (Q/3.1416 \times C_y \times C_z \times U) \text{Exp}(-0.5(H_{ef}/C_z)^2)$$

Donde:

U = Velocidad del viento corregida a la altura efectiva de la pluma (H_{ef})

Q = Emisión del contaminante en ug/seg

$$C(2,0,0,H_{ef}) = (Q/3.1416 \times C_y \times C_z \times U) \text{Exp}(-0.5(H_{ef}/C_z)^2)$$

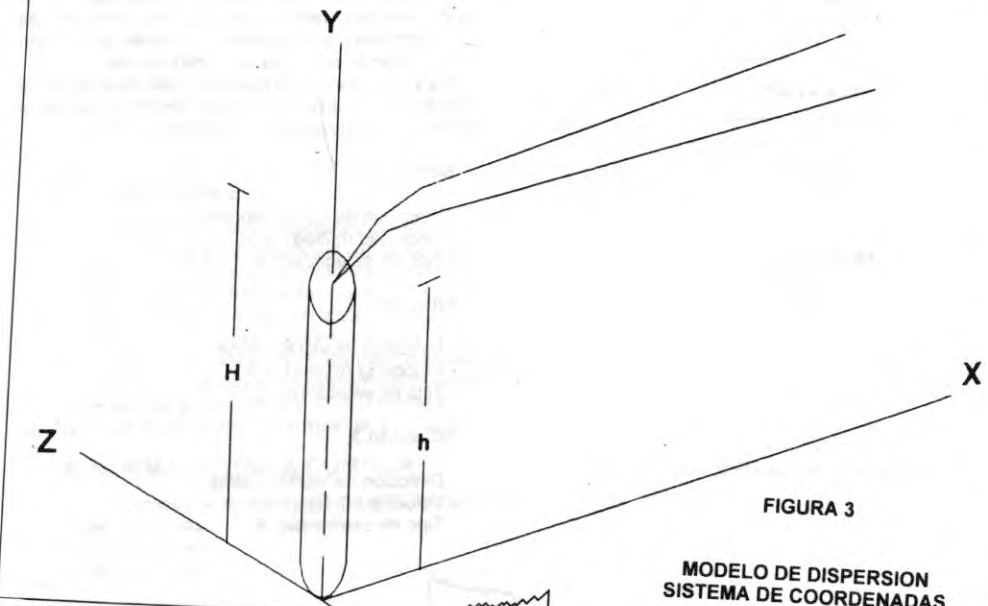


FIGURA 3

MODELO DE DISPERSION SISTEMA DE COORDENADAS

$$= (1025000 / (3.1416 \times 26.68 \times 14.09 \times 0.5)) \times \text{Exp}(-0.5(10/14.09)^2) = 1349.35 \text{ ug/m}^3$$

6.3.3. Resultados del modelo de dispersión

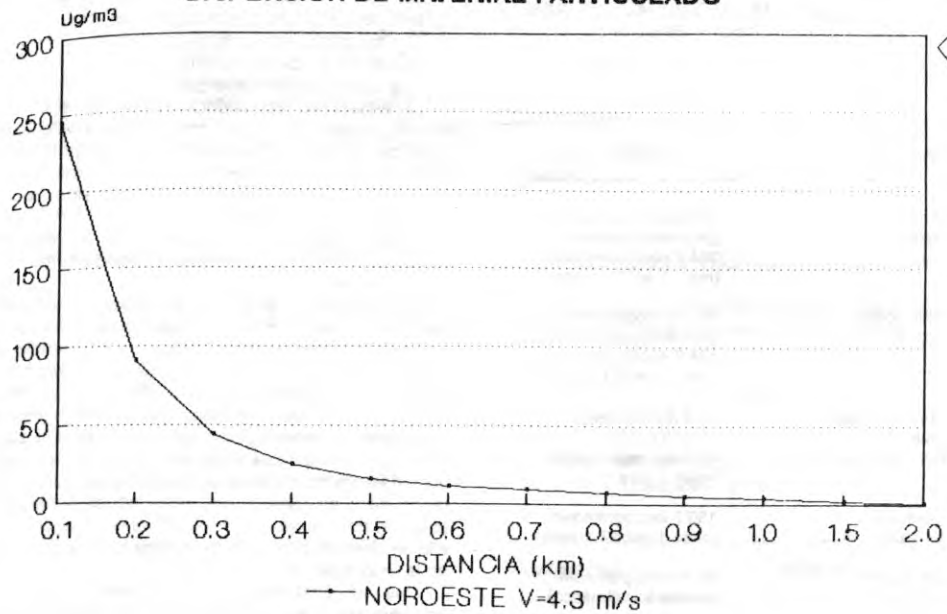
Los resultados del modelo de dispersión para las tres condiciones estimadas se presentan en la Tabla No. 3.

En las Gráficas 1 a 3 se representan estos resultados.

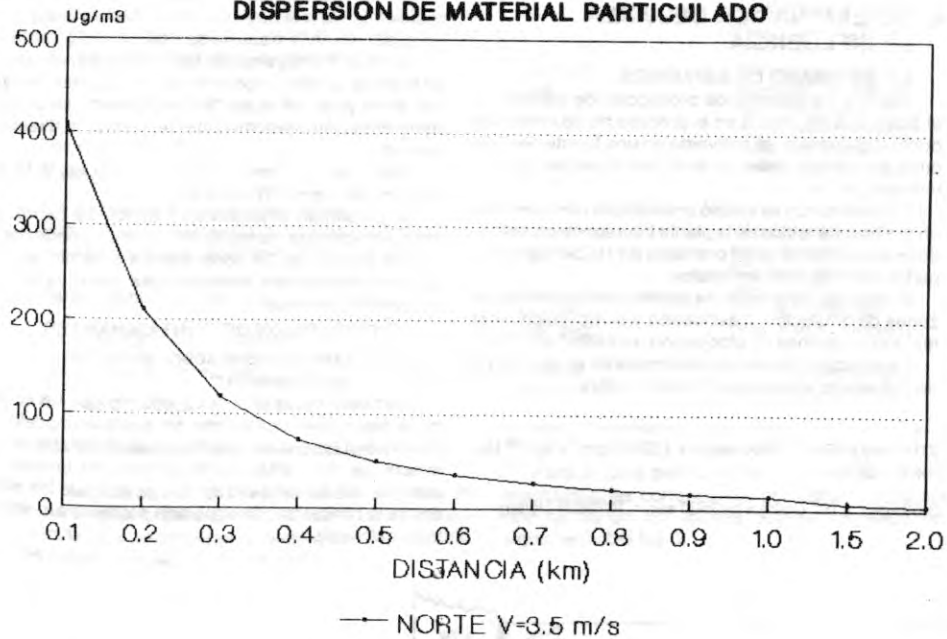
TABLA No. 3
RESULTADOS DEL MODELO DE DISPERSION
CONCENTRACION A NIVEL DE TERRENO (ug/m³)

DISTANCIA (KM)	DIRECCION NOROESTE	DIRECCION NORTE	DIRECCION CALMA
0.10	245	408	1349
0.20	91	119	425
0.30	44	221	179
0.40	25	73	80
0.50	16	50	51
0.60	11	36	31
0.70	8	27	20
0.80	7	21	14
0.90	5	17	10
1.00	4	14	7
1.20	3	10	4.2
1.40	2	7.8	2.6
1.60	1.7	6.1	1.7
1.80	1.3	4.9	1.1
2.00	1.1	4.0	0.8

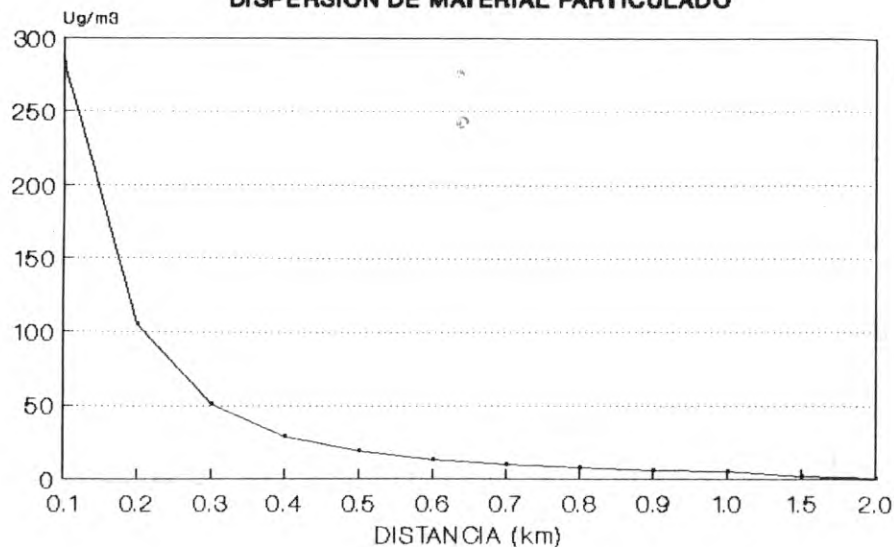
GRAFICA No. 1
DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO



GRAFICA No. 2
DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO



**GRAFICA No. 3
DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO**



← SUROESTE V=2.8 m/s

6.4. DELIMITACION DEL AREA DE INFLUENCIA

Para la situación 1 se obtuvo la máxima concentración en el sitio de la emisión y se esperan concentraciones mayores que la norma hasta los 200 metros vientos abajo del sitio de la emisión.

Para la situación 2, igualmente se localizó la concentración máxima en el origen de la emisión. La distancia hasta donde se sobrepasa la norma local calculada es de 300 m.

En cuanto a la situación 3, la máxima concentración se presenta también en el sitio de la emisión y la distancia límite, hasta la cual se sobrepasa la norma de calidad del aire, es de 400 m.

Todos estos puntos se localizan dentro de las instalaciones de la trituradora.

De acuerdo con estos resultados el área de influencia se extiende hasta los 400 metros alrededor de la planta.

7. CARACTERISTICAS DEL AREA DE INFLUENCIA

7.1. CALIDAD DEL AIRE ACTUAL

Para establecer los niveles actuales de contaminación por partículas suspendidas totales en el aire ambiente de la zona de influencia se instalaron estaciones de monitoreo, de acuerdo con la metodología descrita en los siguientes numerales.

7.1.1. Equipo utilizado

Para la toma de muestras se utilizaron estaciones de muestreo de alto volumen, debidamente calibradas.

La determinación de la concentración se basa en el método gravimétrico, utilizando filtros de papel de celulosa.

La muestra es succionada a través del papel filtro donde se retienen las partículas en suspensión. La cantidad de aire de la muestra se establece con la medida del flujo al inicio y al final de la toma de la muestra, utilizando un rotámetro. El flujo medido se corrige aplicando la ecuación de calibración del equipo, predeterminada en el laboratorio.

7.1.2. Sitios de muestreo

Se muestrearon cinco puntos ubicados así:

- Punto 1
Al suroeste de la trituradora, en la portería.
- Punto 2
Al oriente de la trituradora, en la vivienda interna.
- Punto 3
Al sur, en las oficinas.
- Punto 4
En el sitio de origen de la emisión, en la trituradora.

También se ubicó una estación en la vivienda del señor Rodrigo Llanos, al norte de la trituradora.

La ubicación de los sitios de muestreo puede apreciarse en el plano anexo.

7.1.3. Resultados de las mediciones

En la Tabla No. 4 se presentan los resultados obtenidos en las mediciones, con los cuales se construyeron las Gráficas 4 a 7.

TABLA No. 4

**CALIDAD DEL AIRE ACTUAL
CONCENTRACION A NIVEL DE TERRENO
(ug/m3)**

MUESTRA No.	SITIO 1 PORTERIA	SITIO 2 VIVIENDA 1	SITIO 3 OFICINA	SITIO 4 VIVIENDA 2
1	345	333	222	319
2	196	227	180	198
3	193	250	174	207
4	227	219	209	264
5	378	316	197	298
6	408	312	210	178
7	373	289	296	293
8	310	380	264	261
9	232	252	298	217
10	361	264	241	282

PROMEDIO GEOMETRICO	291	280	225	247
---------------------	-----	-----	-----	-----

7.2. CONDICIONES TOPOGRAFICAS DE LA ZONA

La zona de influencia hace parte de la vertiente oriental de la Cordillera Occidental y se localiza en un área montañosa de ladera, colindante con el valle geográfico. En general la propiedad está localizada entre las cotas 1000 y 1400 m.

7.3. USOS DE LA TIERRA

Casi la totalidad del área de influencia está dentro de la actividad de explotación de minas y canteras. Un mínimo porcentaje se destina a la vivienda urbana y actividad comercial.

7.4. OTRAS FUENTES DE CONTAMINACION DEL AIRE

Entre las actividades ajenas al proceso de trituración, que pueden estar implicadas como aportantes de contaminación por polvo en la zona, se destaca el flujo vehicular en las zonas aledañas. Por un lado está el polvo levantado físicamente en la vía y por otro los gases propios de la combustión de los motores.

Para establecer el aporte real del proceso de producción de agregados se realizaron análisis de sílice en algunas de las muestras tomadas, obteniéndose los siguientes resultados.

Muestra 1: Tomada en la trituradora, 52.1% de sílice

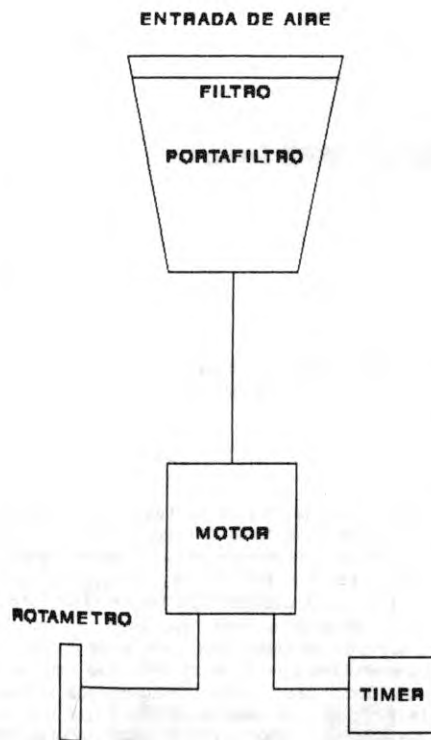
Muestra 2: Tomada en portería, 38.7 % de sílice

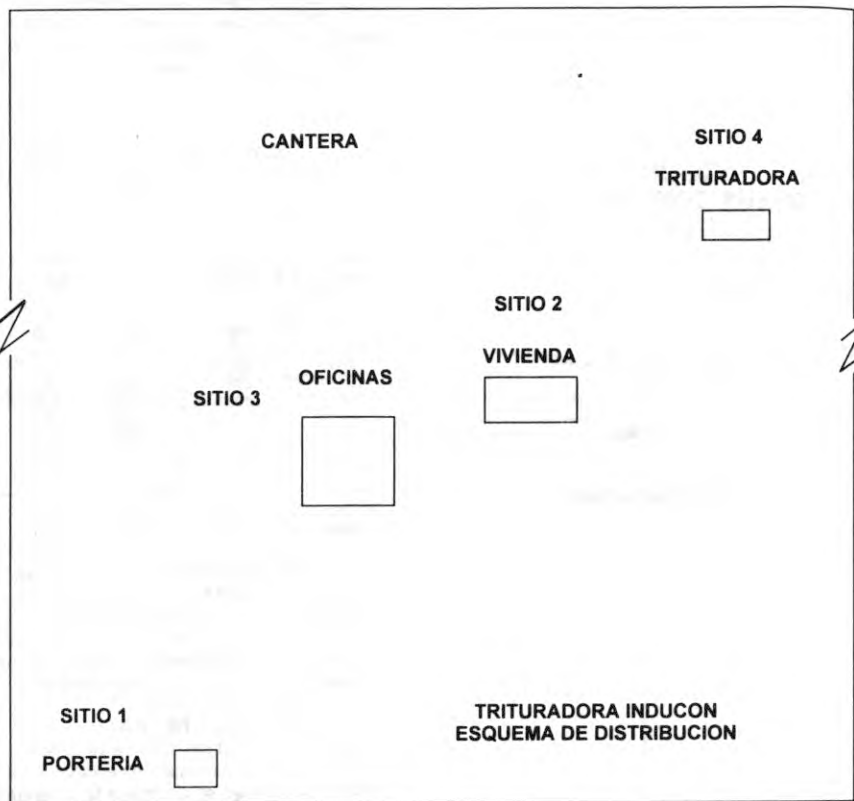
Muestra 3: Tomada en la vivienda, 12.8% de sílice

Muestra 4: Tomada en oficina, 15.2 % de sílice

En la muestra tomada en la casa del señor Rodrigo Llanos se encontró un 6.3% de sílice

**FIGURA No. 4
ESQUEMA EQUIPO DE MUESTREO**





8. EFECTOS PROBABLES

8.1. DE LA EMISION DE CONTAMINANTES

Considerando que la única materia prima en la producción de agregados es la roca natural y el proceso de transformación se hace en forma mecánica, el contaminante del aire atribuible al proceso son las partículas totales en suspensión.

En el caso de la Trituradora Inducón, la emisión de partículas medidas es 14.7 veces menor que el de la norma calculada (Decreto 02 de enero 11 de 1982) como puede verse en la Gráfica No. 8.

Esta comparación tiene una validez relativa si se tiene en cuenta que el Decreto 02/82 no considera una norma de emisión para la actividad específica de producción de agregados y es necesario compararla con el capítulo de "Otras Industrias".

Por otro lado, analizando la actividad de explotación de canteras en forma independiente y de acuerdo con las mediciones de calidad del aire efectuadas en

forma continua durante 10 días, no se vislumbra la quema de los agentes de voladura como una fuente considerable de emisión de partículas, sobre todo por lo que es puntual, instantánea y de muy poca duración.

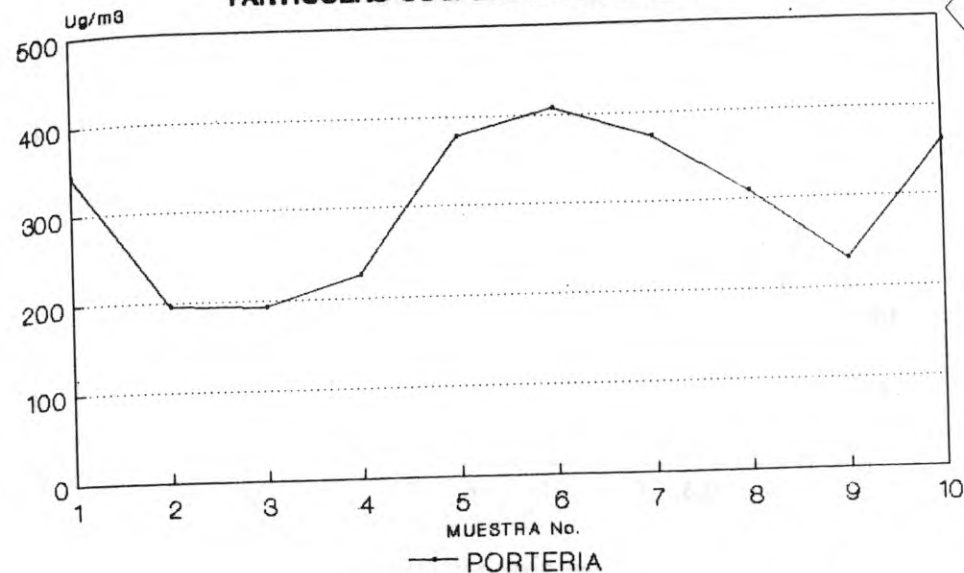
8.2. DE LA DISPERSION DE PARTICULAS

De acuerdo con los resultados del modelo de dispersión aplicado, la concentración de partículas suspendidas a nivel de terreno, que resulta de la actividad de la producción de agregados, sobrepasa la norma local de calidad del aire, hasta una distancia máxima de 400 m, a partir de la cual el aporte de partículas se hace menor que el límite permisible (ver Tabla 3).

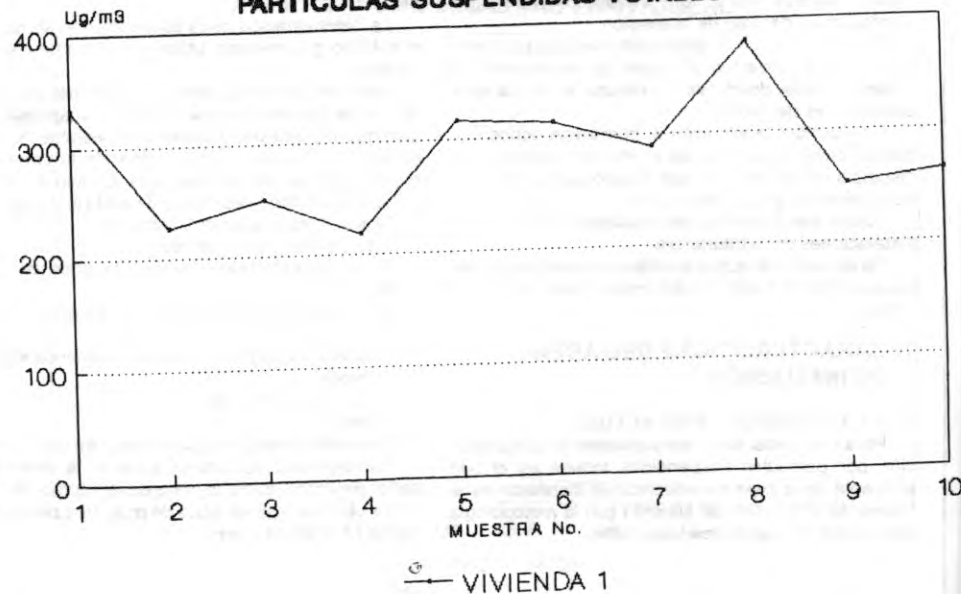
La condición meteorológica bajo la cual se dificulta más la dilución de partículas es la de velocidades bajas y horas de la noche, que en últimas es la que menos se presenta, si se tiene en cuenta que la actividad de trituración se realiza durante el día.

Dado que la actividad de producción de agregados es una fuente contaminante de área, la dispersión de

GRAFICA No. 4
RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES

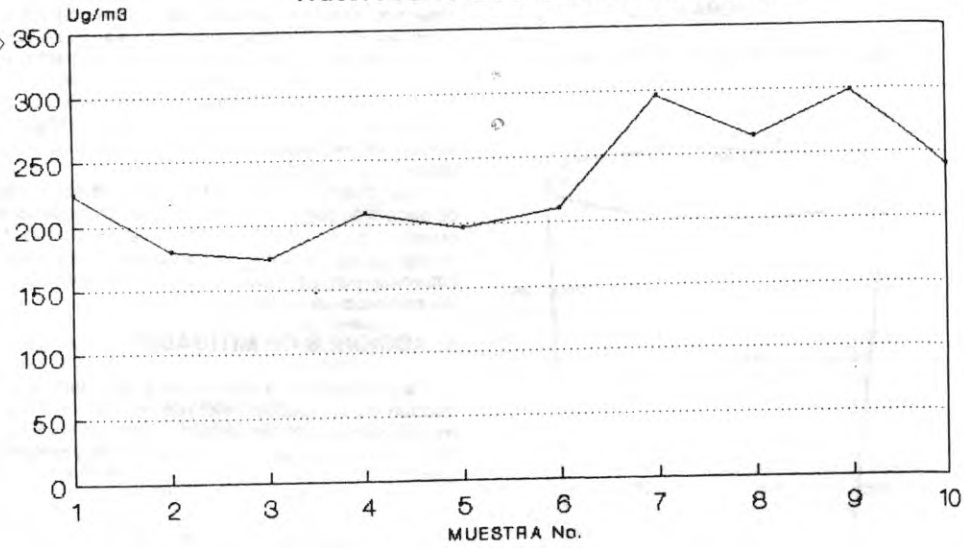


GRAFICA No 5
RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES



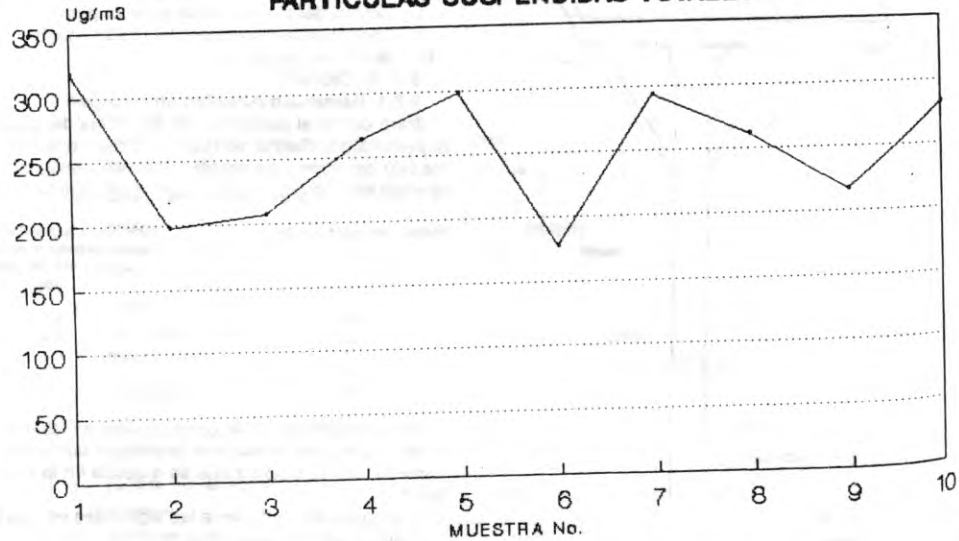
VIVIENDA 1

**GRAFICA No. 6:
RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES**



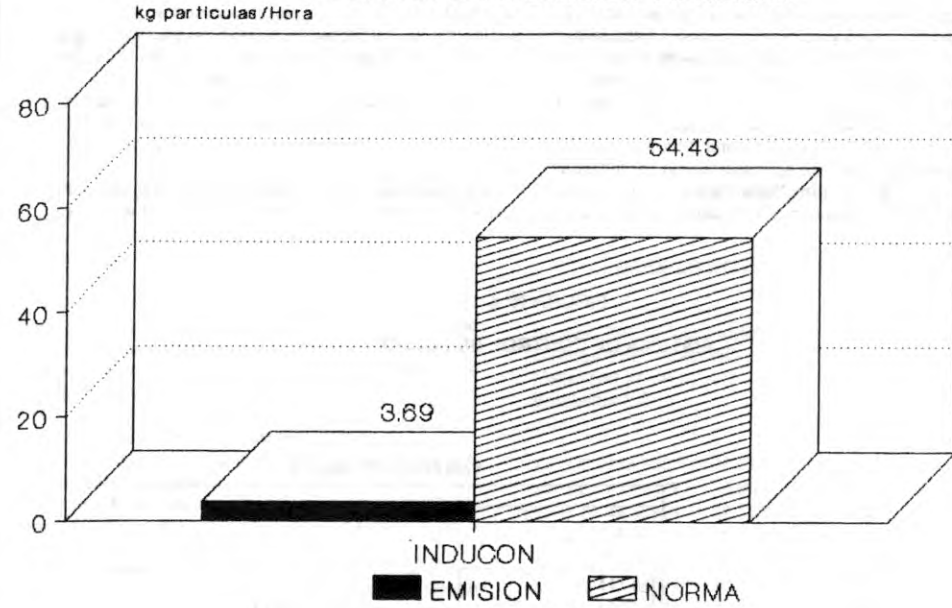
— OFICINA

**GRAFICA No.7
RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES**



— VIVIENDA 2

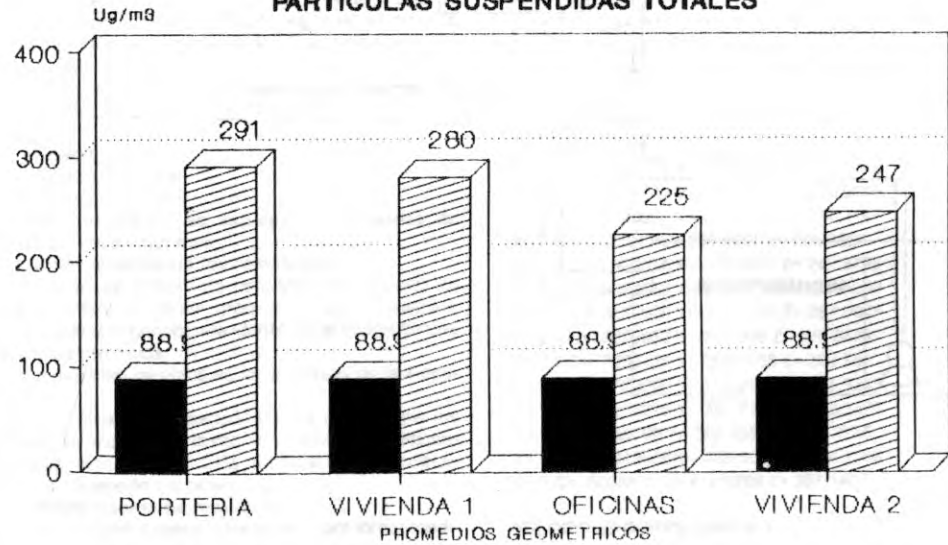
**GRAFICA No. 8
COMPARACION EMISION Vs. NORMA**



INDUCON

■ EMISION ▨ NORMA

**GRAFICA No. 9
COMPARATIVO DE RESULTADOS
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES**



■ NORMA ▨ NIVEL

las partículas presenta la mayor concentración en el sitio de origen y va disminuyendo a medida que se aleja de la fuente. Este elemento minimiza el impacto sobre el área circundante, trasladándolo, sobre todo, dentro de los predios de la trituradora.

8.3. DE LA CALIDAD DEL AIRE

Las hipótesis formuladas a partir de los resultados del modelo de dispersión aplicado fueron confirmadas por los datos de los muestreos de partículas realizados en la zona. Es así como, si observamos la Gráfica

No. 9, en la cual se realiza una comparación de los resultados de los diferentes puntos, se encuentra una diferencia apreciable entre los niveles del sitio del triturado (10258) y los demás sitios.

Esto se explica por la naturaleza del polvo del triturado, que es de alta densidad, de tal manera que no alcanza a ser transportado por el aire hasta lugares distantes.

Las muestras captadas por los equipos medidores contienen otros contaminantes ajenos a la actividad

FIGURA N° 5

SISTEMA DE CONTROL DE POLVO

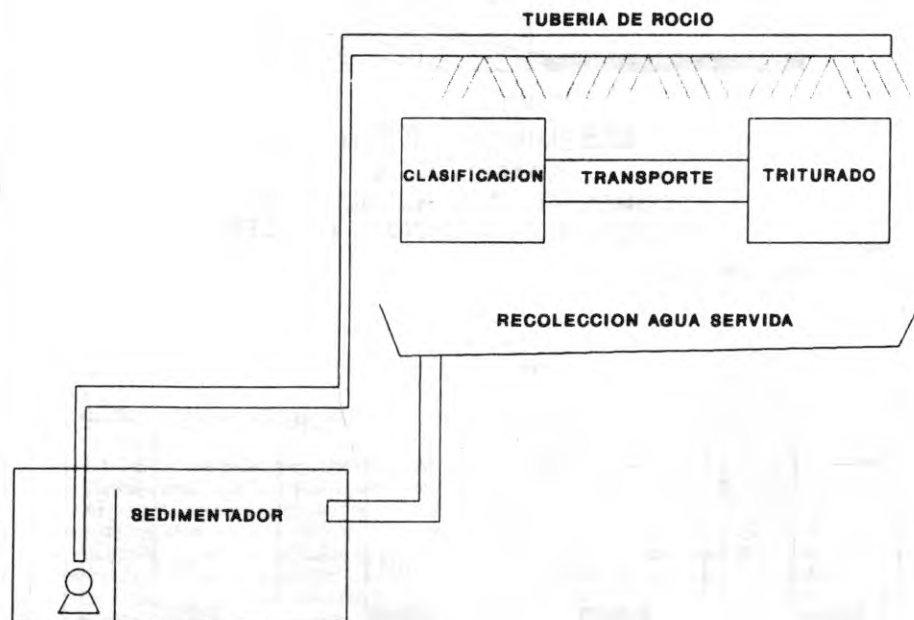
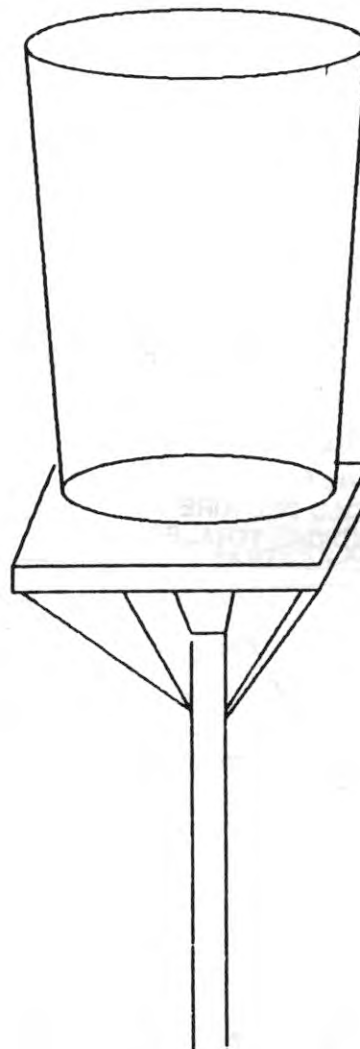


FIGURA 6

ESQUEMA COLECTOR DE POLVO SENCILLO



de la producción de agregados, por lo que se determinó el porcentaje de sílice a varias de las muestras, encontrándose un 52.1 % de sílice en la muestra del sitio de la emisión y contenidos entre 6.3 y 38.7% en los sitios restantes. Estos resultados comprueban la incidencia de otras fuentes en el nivel de partículas de la zona, fuentes que según el estudio de vientos del área estarían ubicadas al noroeste de la trituradora.

Relacionando los resultados obtenidos del modelo de dispersión con los niveles de partículas medidos en el terreno, se encuentra que la actividad de producción de agregados es fuente de partículas en la zona de influencia, pero ésta se localiza principalmente dentro del perímetro particular de la Empresa.

9. ACCIONES DE MITIGACION

Para minimizar los efectos de la actividad de producción de agregados en el recurso aire, se recomienda la ejecución de un plan general de control de contaminación del aire, el cual se propone a continuación.

PLAN GENERAL DE CONTROL DE CONTAMINACION DEL AIRE EN LA PRODUCCION DE AGREGADOS

9.1. ESTRATEGIA

A nivel macro se trata de integrar tres elementos:

- I. Control del contaminante en el origen
- II. Control de la dispersión del contaminante
- III. Monitoreo continuo.

9.2. ACCIONES

9.2.1. Remoción de polvo en el origen

Para definir el porcentaje de eficiencia del equipo de remoción a diseñar se realizó un estimado, con el modelo de dispersión, relacionando concentración a nivel de terreno con emisión. Los resultados fueron:

Remoción en la fuente (%)	Distancia hasta donde se sobrepasa la norma de calidad del aire (m)
50	0.2
60	0.2
70	0.2
80	0.1
90	0.1

Para controlar el material particulado en las trituradoras se propone la práctica de trabajar con material húmedo, con el sistema que se muestra en la Figura No. 5.

Este procedimiento tiene las siguientes ventajas:
Bajo costo de funcionamiento.
Facilidad de operación.



Bajo consumo de energía.
Baja vulnerabilidad en sus partes, simplificando la operatividad.
Diseño sencillo, pues los parámetros son:

PARAMETRO	UNIDAD DE TRATAMIENTO
Demanda de agua (m ³ /ton)	Tubería de abastecimiento
Cantidad de polvo a remover	Especificaciones de la bomba
Velocidad de sedimentación del polvo en agua	Dimensiones del sedimentador
	Eficiencia de sedimentador
	Dimensiones del sedimentador

9.2.2. Control de la dispersión

Si se logra un buen diseño en el paso anterior, este elemento no será necesario.
Se trata de establecer tres acciones correctivas:
- Encerramiento del área de triturado.
- Ventilación exhaustiva con ciclones y filtros de mangas.

- Cerco natural con árboles que alcancen alturas mayores de 10 metros.

9.2.3. Monitoreo continuo

Como parte fundamental de plan se propone el monitoreo continuo de la calidad del aire, instalando una red de estaciones en diferentes sitios del área de influencia, de acuerdo con los siguientes parámetros:
- Estrategia de muestreo
Se trata de una combinación de dos tipos de muestras:
a) De polvo sedimentable
b) De partículas suspendidas totales
Las muestras de polvo sedimentable son una medida presuntiva de resultados cualitativos que, instalando una red de estaciones, pueden detectar los puntos de máximo impacto en cada época del año.
Con los resultados de polvo sedimentable se seleccionan los sitios para colocar los medidores de alto volumen, con los que se obtiene la concentración de partículas suspendidas totales.
Esta combinación de muestras reduce el número de estaciones de alto volumen, que son mucho más costosas en cuanto precio de compra, mantenimiento y operatividad.
- Equipo de muestreo

**PLAN CONTROL CONTAMINACION DEL AIRE
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

ACTIVIDAD	TIEMPO EN MESES									
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
1 DIAGNOSTICO										
Identificación de focos en proceso	■									
Cuantificación del contaminante	■	■								
2 ALTERNATIVAS DE CONTROL										
Pre-diseños			■	■	■					
Coteo de alternativas				■	■					
Selección de alternativa definitiva										
3 DISEÑO										
Definición de parámetros					■					
Diseño final					■	■	■			
4 INSTALACION										
Reformas en líneas de proceso								■	■	
Construcción de unidades								■	■	■
6 PUESTA EN MARCHA										
Arranque										■
Monitoreo										■



presentar un informe a la entidad delegada del Ministerio de Salud.

9.3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El flujograma de las actividades propuestas, con los tiempos estimados para cada actividad, se presentan en el cronograma adjunto.

ANEXOS

MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora Inducón
Dirección de viento: NO
Velocidad (m/seg.): 4.3
Estabilidad: B

- X= .1 C= 245.8607 Y= 18.71357 Z= 10.16233
- X= .2 C= 91.66137 Y= 35.90141 Z= 20.46173
- X= .3 C= 44.39821 Y= 52.33259 Z= 31.00073
- X= .4 C= 25.88302 Y= 68.24328 Z= 41.74137
- X= .5 C= 16.89713 Y= 83.75465 Z= 52.65638
- X= .6 C= 11.88677 Y= 98.94124 Z= 63.72596
- X= .7 C= 8.814666 Y= 113.8538 Z= 74.9349
- X= .8 C= 6.797014 Y= 128.5293 Z= 86.27135
- X= .9 C= 5.401307 Y= 142.9959 Z= 97.72559
- X= 1 C= 4.395891 Y= 157.2757 Z= 109.2894
- X= 1.1 C= 3.647672 Y= 171.3865 Z= 120.9562
- X= 1.2 C= 3.07581 Y= 185.3429 Z= 132.7199
- X= 1.3 C= 2.628898 Y= 199.1576 Z= 144.5756
- X= 1.4 C= 2.272983 Y= 212.8411 Z= 156.5187
- X= 1.5 C= 1.984919 Y= 226.4023 Z= 168.5453
- X= 1.6 C= 1.748472 Y= 239.8493 Z= 180.6517
- X= 1.7 C= 1.551996 Y= 253.1889 Z= 192.8348
- X= 1.8 C= 1.386952 Y= 266.4275 Z= 205.0916
- X= 1.9 C= 1.246968 Y= 279.5704 Z= 217.4197
- X= 2 C= 1.127211 Y= 292.6225 Z= 229.8162
- X= 2.1 C= 1.023956 Y= 305.5885 Z= 242.2793
- X= 2.2 C= .9343018 Y= 318.4724 Z= 254.8069
- X= 2.3 C= .8559586 Y= 331.2776 Z= 267.3967
- X= 2.4 C= .7870953 Y= 344.008 Z= 280.0476
- X= 2.5 C= .7262425 Y= 356.6665 Z= 292.757
- X= 2.6 C= .6722006 Y= 369.2556 Z= 305.5245
- X= 2.7 C= .6239896 Y= 381.7781 Z= 318.3478
- X= 2.8 C= .580799 Y= 394.2367 Z= 331.2255
- X= 2.9 C= .5419528 Y= 406.6336 Z= 344.1569
- X= 3 C= .5068871 Y= 418.9708 Z= 357.1407

VELOCIDAD CORREGIDA= 4.3

Para facilitar el monitoreo se recomienda la instalación de equipos recolectores conocidos como "Colector de Polvo Sencillo". Un esquema de este equipo se muestra en la Figura No. 6.

El Colector de Polvo Sencillo es un recipiente abierto al aire libre, construido en polietileno que tiene entre 20 y 33 cm de alto y 10 a 15 cm de diámetro.

Es conveniente añadir una solución algicida para evitar el crecimiento de algas, que interfieren en la muestra.

Para las muestras de polvo sedimentable se recomienda la ubicación en sitios libres de obstrucciones, a los 2.5 m de altura, sobre el terreno.

Para obtener muestras de partículas suspendidas totales se recomiendan las estaciones medidoras tipo Hi-Voll, que consisten en un elemento de succión que obliga a pasar el flujo de aire por un filtro, donde se recolecta la muestra. Posee también un medidor de flujo.

- Ubicación y número de estaciones

El número aconsejable de estaciones es de uno por hectárea de trabajo.

En los puntos de mayor índice de polvo sedimentable se colocan las estaciones de alto volumen, para cuantificar el polvo suspendido total.

Se estima que por intermedio de PROAGREGADOS se pueden adquirir cuatro estaciones que sirvan para monitorear las plantas del gremio.

- Procedimiento de toma de muestra de polvo sedimentable.

El recipiente, tapado y limpio, se lleva al sitio de muestreo, se agrega la solución algicida, se retira la tapa y se coloca el recipiente en el soporte. Después de una exposición de 30 días calendario, se retira el recipiente, se tapa y se lleva al laboratorio, donde por desecación y filtración se obtienen los siguientes resultados:

- Polvo total
- Sólidos solubles
- Sólidos insolubles

Estos resultados se expresan en unidades de masa por área y por mes.

- Interpretación de los resultados

El principal atributo de esta toma de muestra es que se recogen varios gramos, lo que facilita los análisis de laboratorio para identificar el aporte de una planta determinada.

Se detectan cambios en los procesos de la industria.

Se comparan las cantidades de polvo entre los diferentes sectores de la red de muestreo, identificando el impacto, lo que facilita la ubicación de barreras para la dispersión del polvo.

- Presentación de resultados

Los resultados mensuales sirven para tomar medidas correctivas internas y por lo menos cada año



MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora Inducón
 Dirección de viento: N
 Velocidad (m/seg.): 3.5
 Estabilidad: C

X= 1 C= 408.9378 Y= 12.14238 Z= 7.248451
 X= 2 C= 221.8783 Y= 23.42231 Z= 13.79045
 X= 3 C= 119.6609 Y= 34.28185 Z= 20.072
 X= 4 C= 73.78673 Y= 44.85219 Z= 26.18644
 X= 5 C= 50.00751 Y= 55.2004 Z= 32.17772
 X= 6 C= 36.1876 Y= 65.36768 Z= 38.07156
 X= 7 C= 27.45661 Y= 75.38209 Z= 43.88486
 X= 8 C= 21.58653 Y= 85.26407 Z= 49.62953
 X= 9 C= 17.44664 Y= 95.02918 Z= 55.31451
 X= 1 C= 14.41468 Y= 104.6896 Z= 60.94673
 X= 1.1 C= 12.12538 Y= 114.2553 Z= 66.53158
 X= 1.2 C= 10.35281 Y= 123.7343 Z= 72.07361
 X= 1.3 C= 8.951159 Y= 133.1336 Z= 77.5764
 X= 1.4 C= 7.822789 Y= 142.4591 Z= 83.04326
 X= 1.5 C= 6.900358 Y= 151.7156 Z= 88.47672
 X= 1.6 C= 6.136133 Y= 160.9078 Z= 93.87916
 X= 1.7 C= 5.49553 Y= 170.0393 Z= 99.25259
 X= 1.8 C= 4.952961 Y= 179.1137 Z= 104.5987
 X= 1.9 C= 4.489175 Y= 188.1341 Z= 109.9192
 X= 2 C= 4.089452 Y= 197.103 Z= 115.2154
 X= 2.1 C= 3.742373 Y= 206.0232 Z= 120.4886
 X= 2.2 C= 3.438968 Y= 214.8968 Z= 125.74
 X= 2.3 C= 3.172119 Y= 223.7258 Z= 130.9705
 X= 2.4 C= 2.936105 Y= 232.5121 Z= 136.1811
 X= 2.5 C= 2.726288 Y= 241.2577 Z= 141.3727
 X= 2.6 C= 2.538882 Y= 249.9638 Z= 146.5461
 X= 2.7 C= 2.370762 Y= 258.632 Z= 151.7019
 X= 2.8 C= 2.219333 Y= 267.2638 Z= 156.8411
 X= 2.9 C= 2.082426 Y= 275.8605 Z= 161.9639
 X= 3 C= 1.958218 Y= 284.423 Z= 167.0711

VELOCIDAD CORREGIDA= 3.5

MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora Inducón
 Dirección de viento: CALMA
 Velocidad (m/seg.): 0.5
 Estabilidad: A

X= .1 C= 1349 Y= 26.68185 Z= 14.09559
 X= .2 C= 425.9647 Y= 50.22446 Z= 28.70523
 X= .3 C= 179.1758 Y= 72.46592 Z= 49.23003
 X= .4 C= 90.36358 Y= 93.85185 Z= 76.28431
 X= .5 C= 51.28194 Y= 114.5989 Z= 110.5815
 X= .6 C= 31.58955 Y= 134.8361 Z= 152.8707
 X= .7 C= 20.66609 Y= 154.6493 Z= 203.9269
 X= .8 C= 14.15754 Y= 174.1 Z= 264.549
 X= .9 C= 10.05907 Y= 193.2342 Z= 335.5584
 X= 1 C= 7.362005 Y= 212.0877 Z= 417.7987
 X= 1.1 C= 5.522139 Y= 230.689 Z= 512.1368
 X= 1.2 C= 4.228876 Y= 249.0617 Z= 619.462
 X= 1.3 C= 3.296489 Y= 267.2253 Z= 740.6862
 X= 1.4 C= 2.609506 Y= 285.1961 Z= 876.7444
 X= 1.5 C= 2.093691 Y= 302.9883 Z= 1028.594
 X= 1.6 C= 1.699929 Y= 320.6147 Z= 1197.219
 X= 1.7 C= 1.394916 Y= 338.0852 Z= 1383.622
 X= 1.8 C= 1.155545 Y= 355.4099 Z= 1588.832
 X= 1.9 C= .9654786 Y= 372.5971 Z= 1813.904
 X= 2 C= .8129636 Y= 389.6537 Z= 2059.909
 X= 2.1 C= .6893997 Y= 406.587 Z= 2327.954
 X= 2.2 C= .5884145 Y= 423.4035 Z= 2619.161
 X= 2.3 C= .5052207 Y= 440.1076 Z= 2934.679
 X= 2.4 C= .4361775 Y= 456.7055 Z= 3275.681
 X= 2.5 C= .3784885 Y= 473.2008 Z= 3643.37
 X= 2.6 C= .329983 Y= 489.5988 Z= 4038.962
 X= 2.7 C= .2889604 Y= 505.9029 Z= 4463.715
 X= 2.8 C= .2540778 Y= 522.1165 Z= 4918.901
 X= 2.9 C= .2242658 Y= 538.2435 Z= 5405.807
 X= 3 C= .1986658 Y= 554.2863 Z= 5925.776

VELOCIDAD CORREGIDA= .5

EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION)

SITIO: INDUCON

PORTERIA

ESTACION N° 1

FILTRO N°	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO Pies ³ minuto		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m ³
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
21	XI-27-92	5.4169	5.9145	40	35	345
22	XI-28-92	5.4770	5.7576	40	35	196
23	XI-29-92	5.4532	5.7182	40	30	193
24	XI-30-92	5.4825	5.7595	40	20	227
25	XII-01-92	5.4172	5.9059	40	25	378
26	XII-02-92	5.4097	5.9376	40	25	408
27	XII-03-92	5.4836	5.9453	40	20	373
28	XII-04-92	5.4669	5.9119	40	35	310
29	XII-05-92	5.4869	5.8047	40	30	232
30	XII-06-92	5.4160	5.9078	40	30	361

W₁ = Peso Inicial Filtro. grs. 9.40 + 0685 X
 W₂ = Peso Final Filtro con partículas. grs.
 Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo. Pies³/min.

Q₂ = Flujo Final de Muestreo. pies³/min.
 y = Curva de calibración del Equipo de Muestreo (Hr - W11).

EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION)

SITIO: INDUCON

VIVIENDA

N° 2

FILTRO N°	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO Pies ³ minuto		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m ³
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
31	XI-27-92	5.4582	5.9258	40	35	333
32	XI-28-92	5.4897	5.8092	40	35	227
33	XI-29-92	5.4675	5.8201	40	35	250
34	XI-30-92	5.4926	5.7993	40	35	219
35	XII-01-92	5.5148	5.9327	40	30	316
36	XII-02-92	5.5161	5.9849	40	30	312
37	XII-03-92	5.3879	5.8427	40	30	289
38	XII-04-92	5.3324	5.8334	40	30	380
39	XII-05-92	5.4870	5.8204	40	30	252
40	XII-06-92	5.4526	5.8025	40	30	264
y = 0.27 + 0824 X						

W₁ = Pesio Inicial Filtro. grs. 5.22 + 0774 X
 W₂ = Peso Final Filtro con partículas. grs.
 Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo. Pies³/min.

Q₂ = Flujo Final de Muestreo. pies³/min.
 y = Curva de calibración del Equipo de Muestreo.

EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE
METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION)

SITIO: INDUCON

OFICINA

ESTACION Nº 3

FILTRO Nº	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO $\text{Pies}^3/\text{minuto}$		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m^3
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
31	XI-26-92	5.3526	5.6141	40	20	225
42	XI-27-92	5.3662	5.5756	40	20	180
43	XI-28-92	5.3771	5.917	40	25	174
44	XI-29-92	5.3464	5.6058	40	25	209
45	XI-30-92	5.3412	5.6042	40	25	197
46	XII-01-92	5.3465	5.6269	40	25	210
47	XII-02-92	5.3197	5.6632	40	20	296
48	XII-03-92	5.3096	5.6163	40	20	264
49	XII-04-92	5.3058	5.6739	40	25	298
50	XII-05-92	5.3507	5.6312	40	20	241

W₁ = Peso Inicial Filtro. grs. $5.44 + 0762 X$
W₂ = Peso Final Filtro con partículas. grs.

Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo. Pies^3/min .
Q₂ = Flujo Final de Muestreo. Pies^3/min .

EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE
METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION)

SITIO: INDUCON

BONANZA CASA RODRIGO LLANOS

ESTACION Nº 4

FILTRO Nº	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO $\text{Pies}^3/\text{minuto}$		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m^3
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
51	XI-27-92	5.3538	5.7168	40	20	319
52	XI-28-92	5.3439	5.5694	40	20	198
53	XI-29-92	5.3638	5.6157	40	25	207
54	XI-30-92	5.3623	5.6638	40	20	264
55	XII-01-92	5.3422	5.7047	40	25	298
56	XII-02-92	5.3514	5.5544	40	20	178
57	XII-03-92	5.3436	5.6785	40	20	293
58	XII-04-92	5.3370	5.6349	40	20	261
59	XII-05-92	5.3511	5.5996	40	20	217
60	XII-06-92	5.3927	5.7152	40	20	282

W₁ = Peso Inicial Filtro. grs. $6.36 + 07161 X$
W₂ = Peso Final Filtro con partículas. grs.
Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo. Pies^3/min .

Q₂ = Flujo Final de Muestreo. Pies^3/min .
y = Curva de calibración del Equipo de Muestreo
(Hr - W1).

EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE
METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION)

SITIO: INDUCON

ESTACION

Nº 5

FILTRO Nº	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO $\text{Pies}^3/\text{minuto}$		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m^3
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
B ₁	XI-27-92	5.3348	10.9423	40	25	10.156
B ₂	XI-28-92	5.3411	10.8321	40	25	9.945
B ₃	XI-29-92	5.3379	11.2518	40	20	11.593
B ₄	XI-30-92	5.3381	10.446	40	20	10.013
B ₅	XII-01-92	5.3402	10.9356	40	25	10.134
B ₆	XII-02-92	5.3410	11.4179	40	22	11.533
B ₇	XII-03-92	5.3459	11.6989	40	22	12.057
B ₈	XII-04-92	5.3391	11.5497	40	23	11.601
B ₉	XII-05-92	5.3463	10.6219	40	23	9.855
B ₁₀	XII-06-92	5.3419	8.9407	40	22	6.830

$$y = 0.27 + 0824 X$$

W₁ = Peso Inicial Filtro. grs.
W₂ = Peso Final Filtro con partículas. grs.
Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo. Pies^3/min .

Q₂ = Flujo Final de Muestreo. Pies^3/min .
y = Curva de calibración del Equipo de Muestreo.

ANEXO 3

TOMA DE MUESTRAS DE PARTICULAS
EN SUSPENSION

a) FUNDAMENTO DEL METODO

El procedimiento de muestreo de partículas suspendidas totales se basa en los principios de la ley de Stokes (Mecánica de fluidos) en la siguiente aplicación:

La forma de los equipos de muestreo, al succionar la muestra, obliga al flujo de aire a cambiar de dirección al menos en 90 grados, antes de alcanzar el filtro.

Las partículas que siguen en el flujo de aire, después del cambio de dirección de 90 grados, han cumplido con la definición de polvo en suspensión, o sea que no sedimentan por acción de la fuerza de gravedad.

b) DESCRIPCION DEL METODO

El equipo de muestreo succiona el aire ambiente haciéndolo pasar por un filtro, donde atrapan las partículas.

El total de partículas se determina en forma gravimétrica, por diferencia en el peso del filtro.

La cantidad de aire medido se determina por diferencia de flujo al inicio y final de la toma de la muestra.

c) PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

A continuación se describe brevemente el procedimiento de muestreo:

- I. Desecado y peso inicial de los filtros
- II. Calibración de los medidores Hi-Voll
- III. Colocación del filtro limpio
- IV. Ajuste de la rata de muestreo
- V. Cambio de filtro y lectura de flujo final
- VI. Desecado y peso final del filtro

d) CALCULOS

Al final de cada muestra se obtienen los siguientes datos:

- Tiempo de muestreo
- Flujo inicial y final
- Material retenido
- Ecuación de calibración del equipo
- Temperatura promedio del ambiente

Con estos datos se calcula la concentración total de partículas suspendidas, en microgramos por metro cúbico. Se aplica la siguiente ecuación:

$$C = \frac{(W_2 - W_1)}{((F_1 + F_2)/2) \times T}$$

Donde:

- C : Concentración de partículas suspendidas en el aire
W₁ : Peso inicial del filtro
W₂ : Peso final del filtro
F₁ : Flujo inicial del equipo medidor *
F₂ : Flujo al final de la toma de la muestra *
T : Tiempo de muestreo

* El flujo debe corregirse de acuerdo con la ecuación de la forma de calibración del equipo, que es de la forma:

$$Y = mX + b$$

Donde:

Y = Flujo corregido

X = Lectura del rotámetro (F1 y F2)

ANEXO 4

GLOSARIO

ALTURA EFECTIVA DE LA PLUMA: Distancia hasta donde se eleva la pluma o nube de emisión de polvo.

ANEMOMETRO: Dispositivo que mide la velocidad del aire.

AREA DE INTERES SANITARIO: Extensión de terreno, en la cual los niveles de contaminación pueden ser perjudiciales para la salud humana.

CONDICION METEOROLOGICA: Conjunto de las condiciones atmosféricas que caracterizan una región.

DESECACION: Acción por medio de la cual se elimina la humedad a un elemento sólido.

DISPERSION DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE: Dilución de elementos gaseosos en el aire,

que permite transporte a sitios diferentes del de emisión.

ESTABILIDAD ATMOSFERICA: Susceptibilidad de cambio en las condiciones atmosféricas de un sitio.

ESTACIONES DE MUESTREO DE ALTO VOLUMEN: Equipo para medir la concentración de partículas en el aire.

FUENTE CONTAMINANTE DE AREA: Generación de contaminantes del aire a campo abierto y sin ventilación inducida.

MACROPARTICULAS: Partículas suspendidas en el aire de tamaños entre 0.1 y 10 micras de diámetro.

METODO GRAVIMETRICO: Procedimiento de medida basado en diferencias de peso.

MODELO DE DISPERSION: Simulación teórica, para predecir la dilución y el transporte de un contaminante en el aire.

NIVELES DE PARTICULAS MEDIDOS: Concentración de polvo en el aire, obtenida mediante mediciones de campo.

PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES: Polvo que no se sedimenta por acción de la gravedad.

PLUMA: Nube de emisión de un contaminante del aire.

POLVO SEDIMENTABLE: Partículas que, por su tamaño, caen al suelo bajo la acción de la gravedad.

REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO

Mayo 17 de 1993

Procedencia de la muestra:

Ingeniero Fabio Franco, filtros con polvo de mediciones de calidad del aire

Toma de muestras:

Ingeniero Fabio Franco C.

Análisis realizado:

Determinación del porcentaje de Silice.

Método de Laboratorio: N° 4258 STANDARD METHODS FOR EXAMINATION.

MUESTRA (Filtro No.)	RESULTADO (%)	MUESTRA (Filtro No.)	RESULTADO (%)
48	54.1	113	63.7
39	11.3	66	37.4
43	28.9	96	48.1
52	13.1	88	39.3
16	54.2	F2	56.8
56	35.2	1	51.2
26	38.1	X2	53.7
08	58.7	51	6.3
86	52.1	01	52.4
26	38.7	107	13.5
38	12.8	111	18.3
49	15.2		

NELVER CASTRO SANCHEZ

Químico

Mat. Prof. PQ = 1017

ROCALES EL AGUACATAL LTDA.



CONTENIDO

	Página
1. PRESENTACION	203
2. INFORMACION GENERAL DE LA EMPRESA	203
2.1. NOMBRE Y RAZON SOCIA	203
2.2. DIRECCION	203
2.3. OBJETIVO COMERCIAL	203
2.4. SITUACION DE LA INDUSTRIA	203
2.5. AREA DE LA INDUSTRIA	203
2.6. NUMERO DE EMPLEADOS	203
2.7. HORARIO DE FUNCIONAMIENTO	203
3. INFORMACION DEL PROCESO INDUSTRIAL	203
3.1. MATERIAS PRIMAS	203
3.2. PRODUCTOS FABRICADOS	204
3.3. DIAGRAMA DE FLUJO	204
3.4. ALMACENAMIENTO	204
4. FUENTES FIJAS DE CONTAMINACION	204
4.1. PROCESOS DE GENERACION DE EMISIONES	204
4.2. CARACTERISTICAS DE LAS EMISIONES	204
5. NORMATIVIDAD A CUMPLIR	204
5.1. NORMAS DE EMISIONES	204
5.2. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE	205
6. DETERMINACION DEL AREA DE INFLUENCIA	206
6.1. ESTIMADO DE EMISIONES	206
6.2. CONDICIONES ATMOSFERICAS DE LA ZONA	206
6.3. DISPERSION DE CONTAMINANTES	206
6.4. DELIMITACION DEL AREA DE INFLUENCIA	211
7. CARACTERISTICAS DEL AREA DE INFLUENCIA	211
7.1. CALIDAD DEL AIRE ACTUAL	211

7.2. CONDICIONES TOPOGRAFICAS DE LA ZONA	215
7.3. USOS DE LA TIERRA	215
7.4. OTRAS FUENTES DE CONTAMINACION DEL AIRE	215
8. EFECTOS PROBABLES	215
8.1. DE LA EMISION DE CONTAMINANTES	215
8.2. DE LA DISPERSION DE PARTICULAS	216
8.3. DE LA CALIDAD DEL AIRE	216
9. ACCIONES DE MITIGACION	216
9.1. ESTRATEGIA	216
9.2. ACCIONES	216
9.3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	218

LISTA DE TABLAS		
TABLA	CONTENIDO	Página
Nº		
1	Normas nacionales de calidad del aire	205
2	Normas de calidad del aire para Cali	205
3	Resultados del modelo de dispersión	208
4	Calidad del aire actual	213

LISTA DE FIGURAS		
FIGURA	CONTENIDO	
Nº		
1	Flujograma Proceso Rocales	204
2	Rosa de los vientos	206
3	Modelo de dispersión - Sistema de coordenadas	207
4	Esquema equipo de muestreo	211
5	Sistema de control de polvo	218
6	Esquema colector de polvo sencillo	219

LISTA DE CUADROS		
CUADRO	CONTENIDO	
Nº		
1	Cronograma para el plan de control de contaminación del aire	220

LISTA DE GRAFICAS		
1	Dispersión de material particulado	209
2	Dispersión de material particulado	209
3	Dispersión de material particulado	210
4	Dispersión de material particulado	210
5	Resultados calidad del aire. Partículas Suspendidas Totales	213
6	Resultados calidad del aire. Partículas Suspendidas Totales	214
7	Resultados calidad del aire. Partículas Suspendidas Totales	214
8	Comparación emisión vs. norma	215
9	Comparativo de Resultados	217

LISTA DE PLANOS		
1	Mapa de cantera con ubicación de sitios de muestreo	212

ANEXOS		
1	Listados de resultados modelo de dispersión	221
2	Hojas de campo	223
3	Toma de muestras de partículas en suspensión	
4	Glosario	
5	Resultados de laboratorio	225

1. PRESENTACION

Con la finalidad de revisar desde una perspectiva ambiental el proceso de producción de agregados para la construcción, y tomar, si fuere necesario, los correctivos para cumplir con el objetivo de las empresas asociadas a Proagregados de originar el mínimo impacto sobre el medio ambiente contrataron con una firma consultora realizar estudios sobre la de calidad del sitio del aire en las zonas de influencia de sus plantas.

El presente libro presenta los resultados de la investigación realizada y sus conclusiones para la planta de la Trituradora Rocales El Aguacatal Ltda., ubicada en la zona de El Aguacatal, en la ciudad de Cali.

En este documento se presenta la metodología que sigue las recomendaciones del Ministerio de Salud (Decreto 02 de enero 11 de 1982), así como también resultados del mencionado estudio realizado por la firma Proinsa, de la ciudad de Cali.

2. INFORMACION GENERAL DE LA EMPRESA

2.1. NOMBRE Y RAZON SOCIAL

La Empresa está registrada con el nombre "Rocales El Aguacatal Ltda."

2.2. DIRECCION

Tanto la planta de producción como las dependencias administrativas están ubicadas en la zona del Bajo Aguacatal, en la ciudad de Cali.

2.3. OBJETIVO COMERCIAL

El objeto comercial de la empresa es la producción de agregados pétreos para la construcción.

2.4. SITUACION DE LA INDUSTRIA

Según zonificación del Departamento de Planeación Municipal de Cali está ubicada en zona de actividad de Minas y Canteras.

2.5. AREA DE LA INDUSTRIA

El área total de la industria es de 5.5 hectáreas.

2.6. NUMERO DE EMPLEADOS

Se cuenta con 18 operarios en producción y 4 empleados en la administración.

2.7. HORARIO DE FUNCIONAMIENTO

La producción se realiza durante 25 días/mes, ocho horas al día.

3. INFORMACION DEL PROCESO INDUSTRIAL

3.1. MATERIAS PRIMAS

La única materia prima utilizada en el proceso es la roca llamada diabasa, en sus diferentes estados:

- Diabasa meteorizada
- Diabasa fresca (piedra azul)
- Diabasa levemente alterada

3.2. PRODUCTOS FABRICADOS

A partir de las diabasas se obtienen los siguientes productos:

- Gravas y finos
- Base granular

3.3. DIAGRAMA DE FLUJO

Un diagrama del proceso se presenta en la Figura No. 1. El cual se describe a continuación:

Etapa 1: Explotación de la cantera

Inicialmente se realiza la remoción del material estéril que cubre la cantera. A continuación se perfora la roca para cargar el agente de voladura. Luego se realiza la quema o voladura, obteniéndose rocas de diferente tamaño.

Las rocas más grandes se perforan nuevamente y se realiza una segunda voladura, llamada "pistoleo".

Etapa 2: Transformación

El material es recogido en la cantera y transportado a la trituradora en donde se fracciona y clasifica por tamaños. Posteriormente, parte se despacha directamente y el resto se almacena.

3.4. ALMACENAMIENTO

El producto se almacena en patios a cielo abierto.

4. FUENTES FIJAS DE CONTAMINACION

4.1. PROCESOS DE GENERACION DE EMISIONES

Los procesos implicados en la generación del polvo son:

- Voladura
- Transporte
- Triturado
- Clasificación
- Almacenamiento

4.2. CARACTERISTICAS DE LAS EMISIONES

Como se deduce del proceso productivo, la actividad de triturado y explotación de canteras no presenta fuentes puntuales fijas de contaminación del aire, pues no se cuenta con chimeneas o ductos. La emisión es del tipo "Fuente de Area", en la cual inciden principalmente fenómenos atmosféricos (vientos).

El medio de transporte de las partículas es el aire de la región. El polvo de mayor tamaño se sedimenta en el sitio de generación y solo se dispersa el material que, por su densidad, se suspende en el aire.

5. NORMATIVIDAD A CUMPLIR

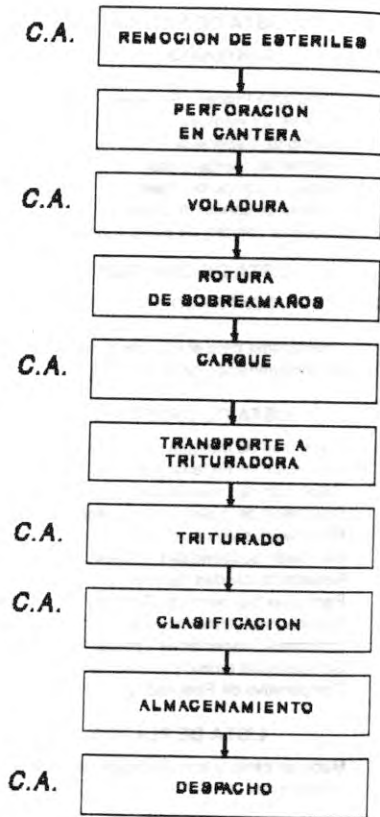
El Decreto 02 de enero 11 de 1982 estipula dos tipos de normas:

1. Emisiones
2. Calidad del aire

5.1. NORMA DE EMISIONES

El Decreto 02 de 1982 no establece normas de emisión para la actividad de explotación de canteras y producción de triturados; sin embargo, incluye un artículo para "Industrias no Clasificadas".

FIGURA 1
FLUJOGRAMA PROCESO ROCALES



C.A. CONTAMINACION ATMOSFERICA

El artículo 70 del Decreto 02/82 regula las emisiones para "otras industrias". En ese artículo se relaciona la emisión máxima permisible con la capacidad de producción horaria. Para nuestra actividad, se tiene:

Producción horaria:

$$90.8 \text{ m}^3/\text{día} \times \text{d}/8 \text{ hr} \times 1.6 \text{ ton}/\text{m}^3 = 18 \text{ ton}/\text{hr}$$

Para calcular la norma de emisión se utiliza la ecuación que aparece en el artículo 71, ítem a (zona urbana).

$$E = 10.45 \times P^{0.458} \quad 10 < P < 500$$

Donde:

E: Máxima emisión de partículas en kg/hora

P: Máxima producción horaria

Reemplazando en la ecuación se tiene,

$$E = 10.45 \times 18^{0.458}$$

$$E = 39.2 \text{ Kg de partículas/hora}$$

Según el artículo 43, para una fuente ubicada a una altura diferente de la del nivel del mar, se debe corregir de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Em = K \times E$$

Donde

$$K = \text{Pbh}/760 + 0.04 \text{ H}$$

Siendo:

K = Factor de corrección por altitud.

Pbh = Presión barométrica del sitio en mm de Hg.

H = Altura sobre el nivel del mar en miles de metros.

Para nuestro caso se tiene:

$$K = 673.9/760 + 0.04 \times 0.995 = 0.9265$$

Por lo tanto la Norma de emisión modificada será:

$$Em = 39.2 \times 0.9265 = 36.3 \text{ kg partículas/hora}$$

5.2. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE

El Decreto 02 de 1982 reglamentario de la Ley 09 de 1979 estipula para diferentes sustancias los valores máximos permisibles, a nivel de aire respirable, que deben cumplirse en la nación.

Para determinar las normas de calidad de aire que deben regir para las condiciones locales en Trituradora Rocales El Aguacatal Ltda., se aplica la ecuación explicada en el artículo 32 del Decreto 02/82.

$$\text{Norma Local} = \frac{\text{Norma de Calidad Presión Barométrica Local}}{760 \text{ mm Hg}}$$

$$\times \frac{299 \text{ }^\circ\text{K}}{273 + \text{ }^\circ\text{C}}$$

En donde:

Norma de calidad: Valor nacional a 25°C y 760 mm Hg.

El artículo 31 del Decreto 02/82 establece las normas de calidad que se presentan en la Tabla 1.

TABLA No. 1

NORMAS NACIONALES DE CALIDAD DEL AIRE (Para 25°C y 760 mm Hg)

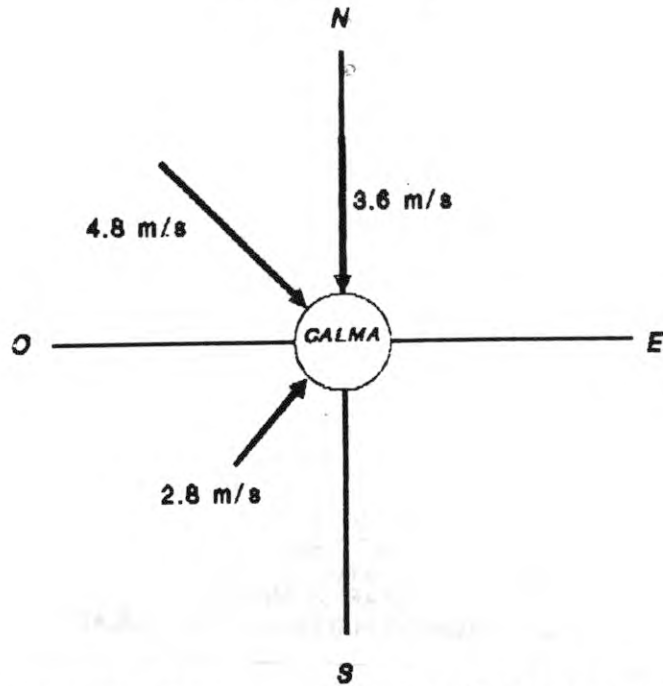
PARAMETRO	NORMA
Partículas en suspensión	100 microgramos/m ³ (promedio geométrico) 400 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Dióxido de azufre	100 microgramos/m ³ (promedio geométrico) 400 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Monóxido de carbono	1500 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses en muestras de 3 hr) 15 microgramos/m ³ (max. 8 horas) 50 microgramos/m ³ (max. 1 hora)
Oxidantes fotoquímicos	170 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Oxidos de nitrógeno	100 microgramos/m ³ (promedio aritmético)

Para el caso particular de la ciudad de Cali, y efectuadas las correcciones por altitud y temperaturas, se tienen los valores que se muestran en la Tabla No. 2.

TABLA No. 2
NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE PARA CALI (673.86 mm Hg y 25°C)

PARAMETRO	NORMA
Partículas en suspensión	88.7 microgramos/m ³ (promedio geométrico) 354.7 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Dióxido de azufre	88.7 microgramos/m ³ (promedio geométrico) 354.7 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Monóxido de carbono	13.3 microgramos/m ³ (max. 8 horas) 44.3 microgramos/m ³ (max. 1 hora)
Oxidantes fotoquímicos	150.7 microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Oxidos de nitrógeno	88.7 microgramos/m ³ (promedio aritmético)

FIGURA N° 2
ROSA DE LOS VIENTOS



6. DETERMINACION DEL AREA DE INFLUENCIA

6.1. ESTIMADO DE EMISIONES

Como en el proceso de producción de agregados el polvo que se origina en el proceso no se emite por ducto o chimenea, se convierte en una fuente de área cuya evaluación debe hacerse con muestras de alto volumen.

Por esta razón se instaló una estación de muestreo en el sitio más crítico de la planta trituradora, obteniéndose una concentración promedio de 13722 Ug/m^3 de partículas suspendidas totales.

El área de generación de polvillo, considerando las zonas de trituración, clasificación y el movimiento del material en la línea de producción, se estimó en 56 m^2 .

La velocidad de viento predominante en la zona es de 2.2 m/seg , con lo cual la emisión será:

$$2.2 \text{ m/seg} \times 56 \text{ m}^2 \times 3600 \text{ seg/hr} \times 61 \text{F Ug/m}^3 \times \text{kg}/10 \text{ Ug}^9 = 2.76 \text{ kg/hr}$$

$$2.76 \text{ kg/hr} \times 10^9 \text{ Ug/kg} \times \text{hr}/3600 \text{ seg} = 766666.7 \text{ Ug/seg}$$

6.2. CONDICIONES ATMOSFERICAS DE LA ZONA

Los factores meteorológicos que inciden en la dispersión de contaminantes atmosféricos son:

- La magnitud del viento (velocidad)
- La dirección de los vientos
- La estabilidad atmosférica

La estabilidad atmosférica es un concepto que encierra variables como nubosidad, brillo solar e intensidad de los vientos. Estas variables en conjunto informan acerca de qué tan estable es la atmósfera de la región, lo cual a su vez rige la dispersión de los contaminantes en el aire.

Todos estos factores se integran en un resumen de las condiciones atmosféricas, conocido como rosa de los vientos.

Para desarrollar una rosa de vientos de una zona particular se requiere un gran número de mediciones

en el tiempo que permitan deducir el porcentaje de ocurrencia del fenómeno (frecuencia) y de la velocidad del viento. Ello se sale de los alcances del presente estudio, por lo que se utilizaron los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona tales como la antigua estación San Luis Gonzaga, ubicada en la ladera del mismo sistema montañoso de las trituradoras y se complementó con los datos de la estación del Aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón. Con ello se desarrolló la rosa de vientos que se presenta en la Figura No. 2.

Una vez construida esta rosa de vientos utilizando un anemómetro se confirmaron sus valores con mediciones puntuales en el terreno.

De las mediciones de campo, los datos de las estaciones meteorológicas antes mencionadas y de las observaciones visuales se deduce lo siguiente:

Tanto en los registros de las estaciones, con datos de más de 20 años, como en las mediciones realiza-

das en el área, se observa una marcada tendencia, como dirección predominante del viento, la dirección noroeste.

Otra dirección destacable de viento es la norte, aunque con menor frecuencia.

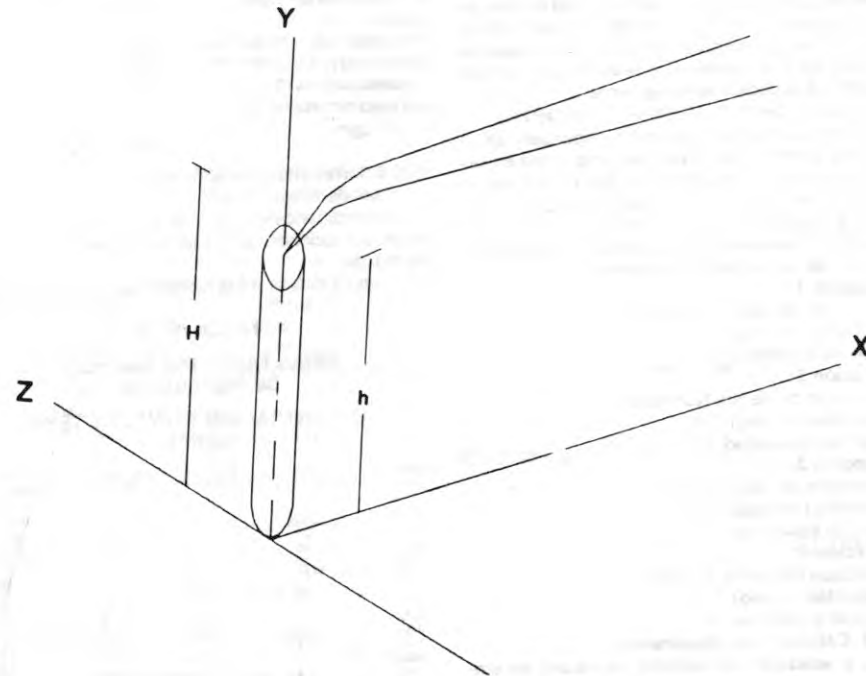
Se presentan esporádicos estados de calma; es decir, velocidades menores de 0.5 m/s y puede decirse que durante las 24 horas del día el viento recorre todas las direcciones, destacándose, como ya se dijo, la dirección noroeste.

6.3. DISPERSION DE CONTAMINANTES

6.3.1. Generalidades sobre el modelo de dispersión

Para determinar el área de influencia de los contaminantes a nivel del terreno se aplica el modelo de dispersión Gaussiano, que indica las concentraciones esperadas del contaminante a nivel del terreno. El área de interés sanitario es la que abarque los sitios

FIGURA 3
MODELO DE DISPERSION SISTEMA DE COORDENADAS



donde la concentración esperada sobrepase la norma local calculada.

Para estimar teóricamente la dispersión de los contaminantes en la atmósfera se utiliza en este trabajo el modelo matemático tipo Gaussiano propuesto por Passquill- Guifford.

El modelo Gaussiano de dispersión de contaminantes en la atmósfera tiene la siguiente ecuación general:

$$Mx(X, Y, Z, Hef) = (Q/2 \cdot Cy \cdot Cz \cdot U) \cdot \text{EXP}(-0.5(Y/Cy)^2) \cdot \text{EXP}(-0.5((Z - Hef)/Cz)^2) + \text{EXP}(-0.5((Z + Hef)/Cz)^2)$$

Donde:

- Mx : Concentración de partículas en ug/m³
- Q : Emisión en ug/seg
- U : Velocidad del viento a la altura efectiva (Hef), m/seg
- Cy : Coeficiente de dispersión en el plano horizontal (m)
- Cz : Coeficiente de dispersión en el plano vertical (m)
- Hef : Altura efectiva de la pluma (m)

En la Figura No. 3 puede verse el sistema de coordenadas utilizado en el modelo.

Para el caso de la actividad de la trituración de basaltos se aplica la ecuación particular del modelo de Gauss que presenta el receptor a nivel del suelo (Z=0), la fuente emisora elevada y la concentración localizada sobre el eje X, a sotavento, o sea abajo del sentido del viento. La ecuación es la siguiente:

$$Mx(X, Hef) = (Q/\pi \cdot Cy \cdot Cz \cdot U) \cdot \text{EXP}(-0.5(Hef/Cz)^2)$$

Los coeficientes de dispersión dependen de la estabilidad atmosférica; o sea, la tranquilidad en las capas próximas a la superficie terrestre, que varían con la radiación solar y la velocidad del viento.

Para la trituradora en cuestión, y de acuerdo con la rosa de los vientos de la Figura No. 2, se aplica el modelo en las siguientes condiciones.

Situación 1:

- Dirección de viento: Noroeste
- Velocidad (m/seg): 4.8
- Tipo de estabilidad: C

Situación 2:

- Dirección de viento: Noroeste
- Velocidad (m/seg): 3.6
- Tipo de estabilidad: B

Situación 3:

- Dirección de viento: Suroeste
- Velocidad (m/seg): 2.8
- Tipo de estabilidad: B

Situación 4:

- Dirección de viento: Calma
- Velocidad (m/seg): 0.5
- Tipo de estabilidad: A

6.3.2. Cálculo de la dispersión

Para la aplicación del modelo Gaussiano se emplea un programa de computador; sin embargo, a continuación se presenta un modelo de cálculo realizado en forma manual.

El modelo de cálculo se realiza para la velocidad de 0.5 m/s, a una distancia de 100 metros de la emisión, estabilidad A.

La emisión se presenta aproximadamente a diez metros de altura y las velocidades de viento son tomadas a la misma altura, por lo que no es necesario corregirla.

- Concentración a nivel de terreno

Cálculo de los coeficientes de dispersión horizontal (Cy) y vertical (Cz).

$$Cy = \text{Exp}(5.357 + 0.8828 \cdot \text{Ln } X - 0.0076 (\text{Ln } X)^2)$$

$$Cz = \text{Exp}(6.035 + 2.1097 \cdot \text{Ln } X + 0.2770 (\text{Ln } X)^2)$$

Donde X : Distancia vientos abajo (Sotavento)

Reemplazando, para X=0.1 km, tenemos:

$$Cy = \text{Exp}(5.357 + 0.8828 \cdot \text{Ln } 0.1 - 0.0076 (\text{Ln } 0.1)^2) = 26.68 \text{ m}$$

$$Cz = \text{Exp}(6.035 + 2.1097 \cdot \text{Ln } 0.1 + 0.2770 (\text{Ln } 0.1)^2) = 14.09 \text{ m}$$

$$Cz = \text{Exp}(6.035 + 2.1097 \cdot \text{Ln } 0.1 - 0.2770 (\text{Ln } 0.1)^2) = 14.09 \text{ m}$$

$$Cz = \text{Exp}(6.035 + 2.1097 \cdot \text{Ln } 0.1 - 0.2770 (\text{Ln } 0.1)^2) = 14.09 \text{ m}$$

Cálculo de la concentración de partículas.

$$C(X, 0, 0, Hef) = (Q/3.1416 \cdot Cy \cdot Cz \cdot X \cdot \text{Exp}(-0.5(Hef/Cz)^2))$$

$$\text{Exp}(-0.5(Hef/Cz)^2)$$

Donde:

U = Velocidad del viento corregida a la altura efectiva de la pluma (Hef).

Q = Emisión del contaminante en ug/seg

$$C(2, 0, 0, Hef) = (Q/3.1416 \cdot Cy \cdot Cz \cdot X \cdot \text{Exp}(-0.5(Hef/Cz)^2))$$

$$= (766666.7 / (3.1416 \cdot 26.68 \cdot 14.09 \cdot 0.5))$$

$$\cdot \text{Exp}(-0.5(10/14.09)^2)$$

$$= 1009 \text{ ug/m}^3$$

6.3.3. Resultados del modelo de dispersión

Los resultados del modelo de dispersión para las cuatro condiciones estimadas se presentan en la Tabla No. 3.

En las Gráficas 1 a 4 se representan estos resultados.

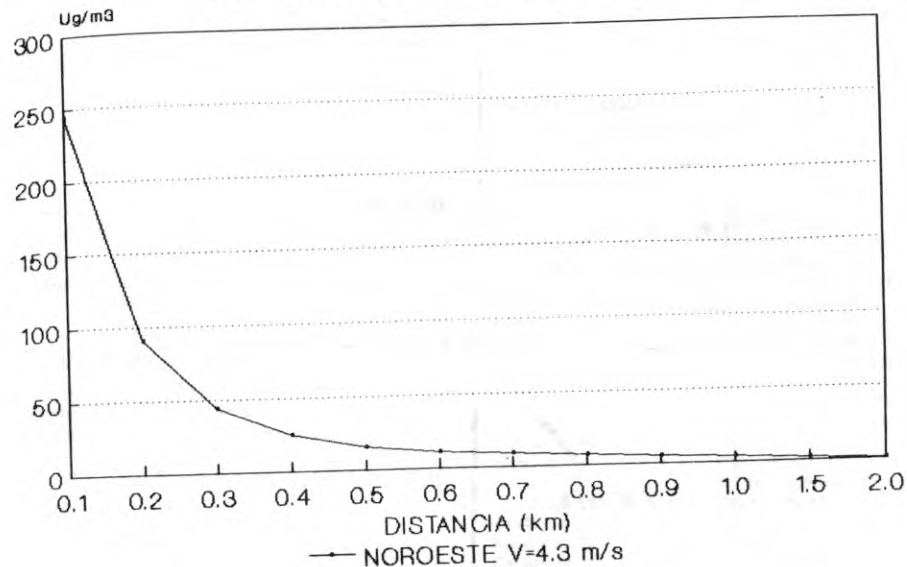
TABLA No. 3

RESULTADOS DEL MODELO DE DISPERSION

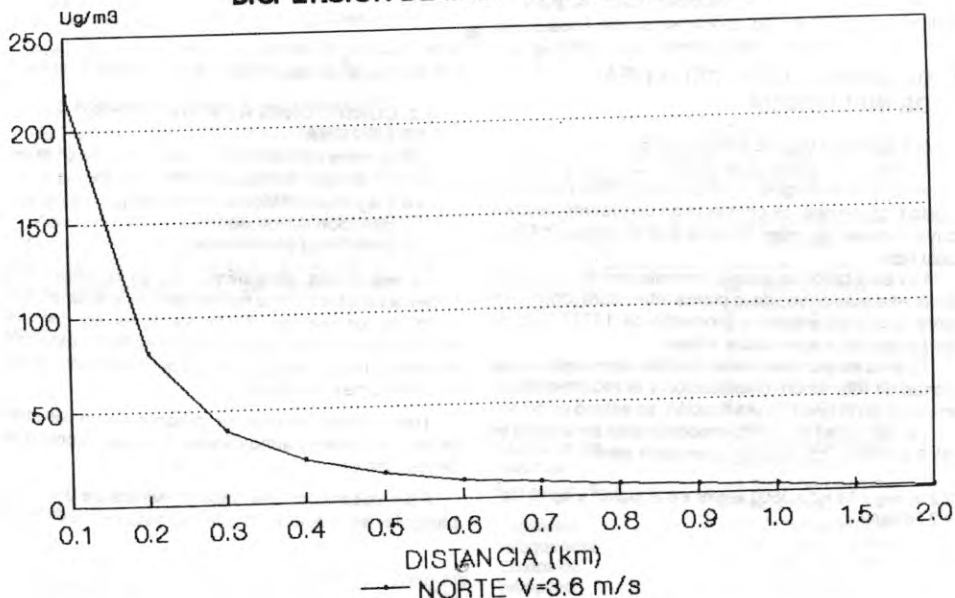
CONCENTRACION A NIVEL DE TERRENO (ug/m³)

DISTANCIA (km)	DIRECCION NOROESTE	DIRECCION NORTE	DIRECCION SUROESTE	DIRECCION CALMA
0.10	223	219	282	1009
0.20	121	81	105	318
0.30	65	39	50	134
0.40	40	23	29	67
0.50	27	15	19	38
0.60	19	10	13	23
0.70	14	7	10	15
0.80	11	6	8	10
0.90	9	4	6	7
1.00	8	3	5	5
1.20	5	2	3	3
1.40	4	2	2	2
1.60	3	1	2	1
1.80	2	1	1	0
2.00	2	1	1	0
2.50	1	0	0	0
3.00	1	0	0	0

**GRAFICA No. 1
DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO**

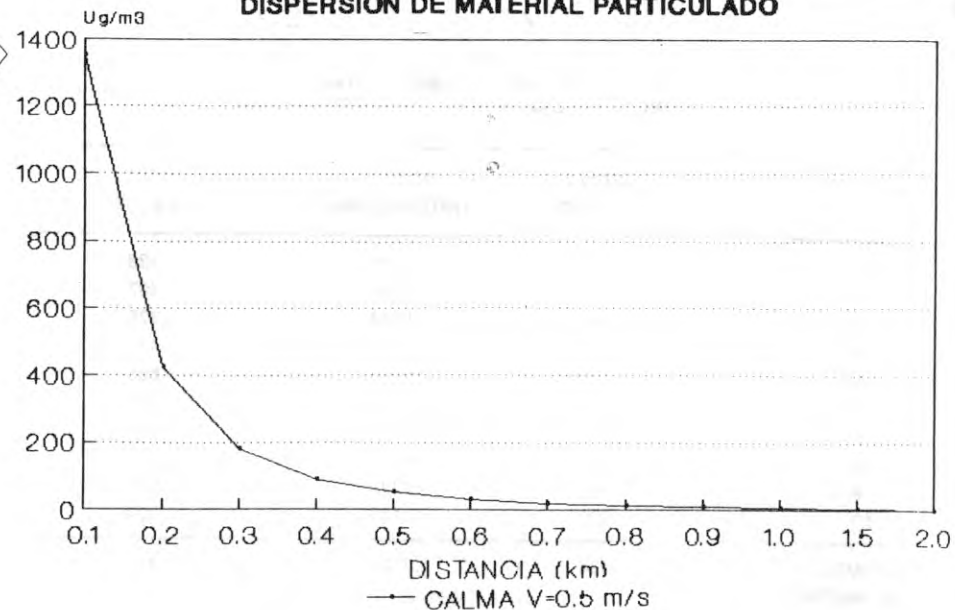


**GRAFICA No. 2
DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO**



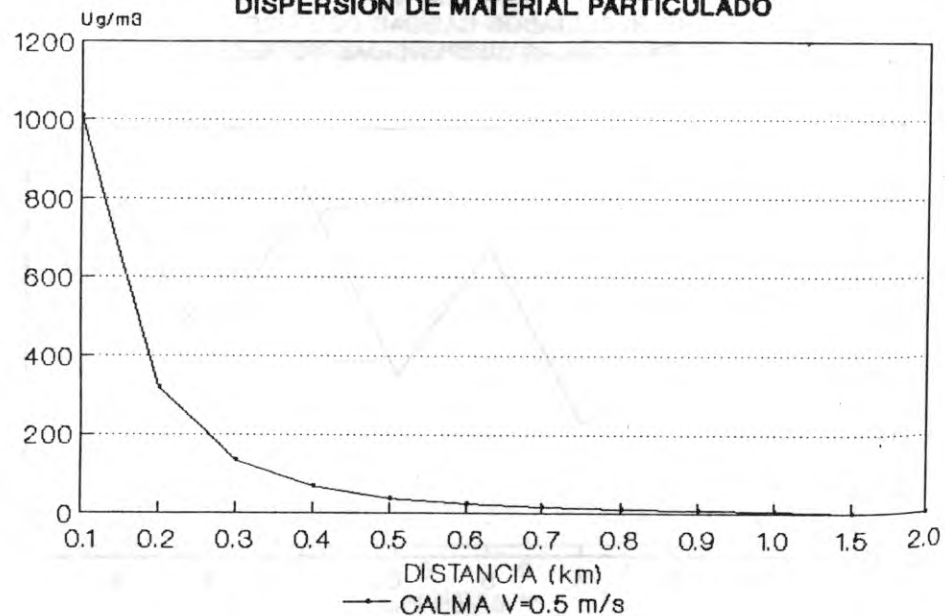
GRAFICA No. 3

DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO



GRAFICA No. 4

DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO



6.4. DELIMITACION DEL AREA DE INFLUENCIA

Para la situación 1 se obtuvo la máxima concentración en el sitio de la emisión y se esperan concentraciones mayores que la norma hasta los 200 metros vientos abajo del sitio de la emisión.

Para la situación 2, igualmente se localizó la concentración máxima en el origen de la emisión. La distancia hasta donde se sobrepasa la norma local calculada es de 100 m.

En cuanto a la situación 3, la máxima concentración se presenta también en el sitio de la emisión y la distancia límite, hasta la cual se sobrepasa la norma de calidad del aire, es de 200 m.

Modelando la situación 4 se obtuvo el punto de máxima concentración en el origen y se sobrepasa la norma hasta los 300 metros a partir del sitio de la emisión.

La mayoría de estos puntos se localiza dentro de las instalaciones de la trituradora.

De acuerdo con estos resultados el área de influencia se extiende hasta los 300 metros alrededor de la planta.

7. CARACTERISTICAS DEL AREA DE INFLUENCIA

7.1. CALIDAD DEL AIRE ACTUAL

Para establecer los niveles actuales de contaminación por partículas suspendidas totales en el aire ambiente de la zona de influencia se instalaron estaciones de monitoreo, de acuerdo con la metodología descrita en los siguientes numerales.

7.1.1. Equipo utilizado

Para la toma de muestras se utilizaron estaciones de muestreo de alto volumen debidamente calibradas. La determinación de la concentración se basa en el método gravimétrico, utilizando filtros de papel de celulosa.

La muestra es succionada a través del papel filtro donde se retienen las partículas en suspensión. La cantidad de aire de la muestra se establece con la medida del flujo al inicio y al final de la toma de la muestra, utilizando un rotámetro. El flujo medido se corrige aplicando la ecuación de calibración del equipo, pre-determinada en el laboratorio.

7.1.2. Sitios de muestreo

Se muestrearon tres puntos ubicados así:

Punto 1

Al noroeste de la trituradora, en el taller.

Punto 2

Al oeste de la trituradora, en las oficinas.

Punto 3

En el sitio de origen de la emisión, en la trituradora.

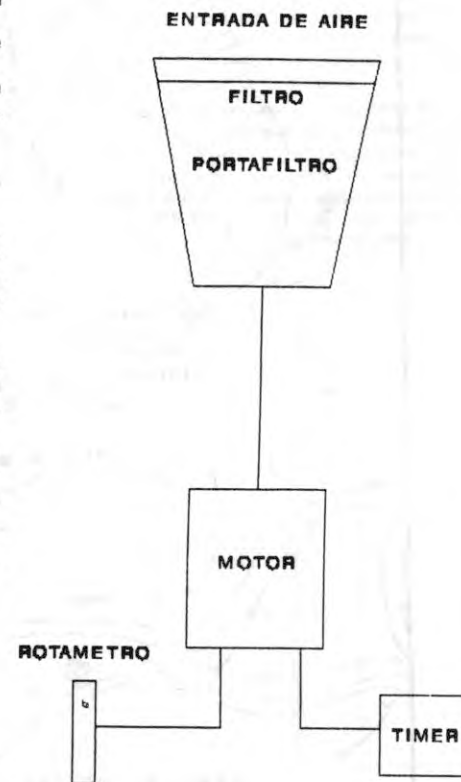
La ubicación de los sitios de muestreo puede apreciarse en el plano anexo.

7.1.3. Resultados de las mediciones

En la Tabla No. 4 se presentan los resultados obtenidos en las mediciones, con los cuales se construyeron las Gráficas 5 a 7.

FIGURA 4
ESQUEMA EQUIPO DE MUESTREO

FIGURA No. 4
ESQUEMA EQUIPO DE MUESTREO



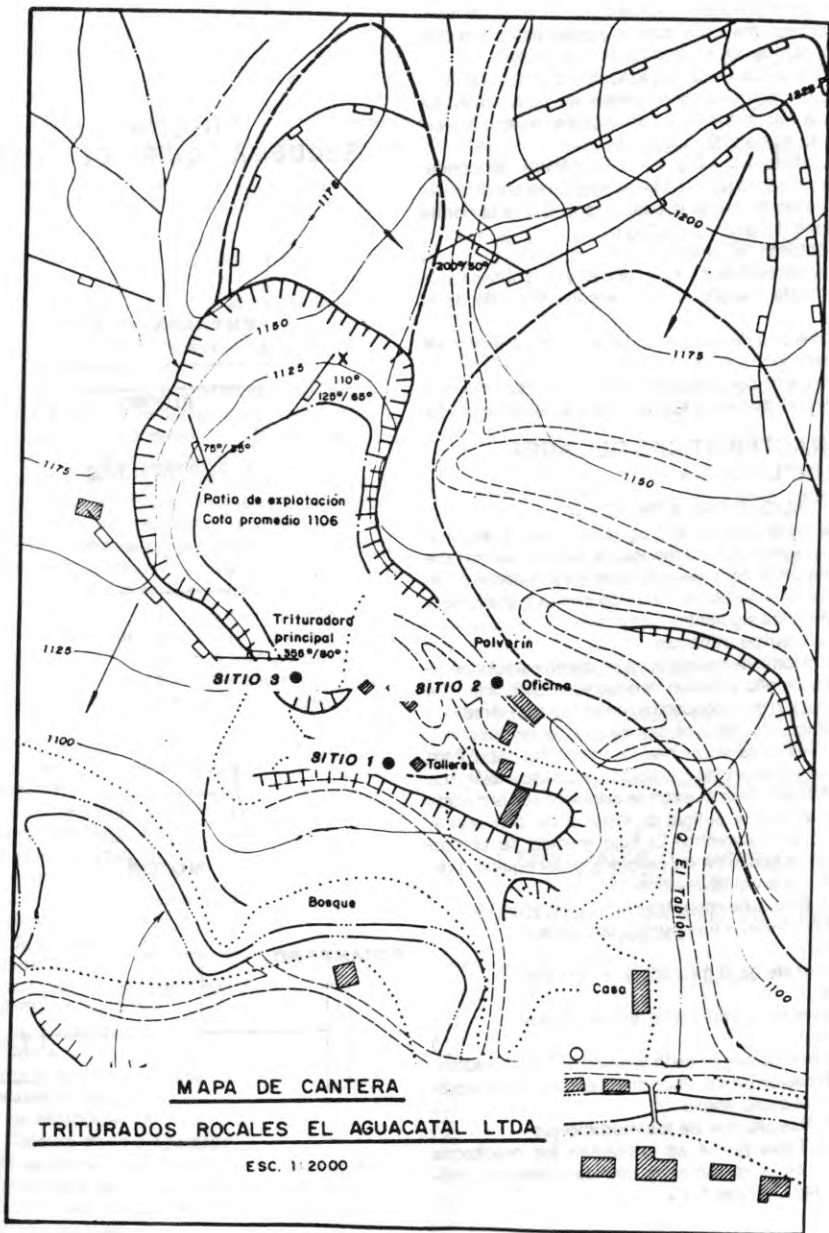
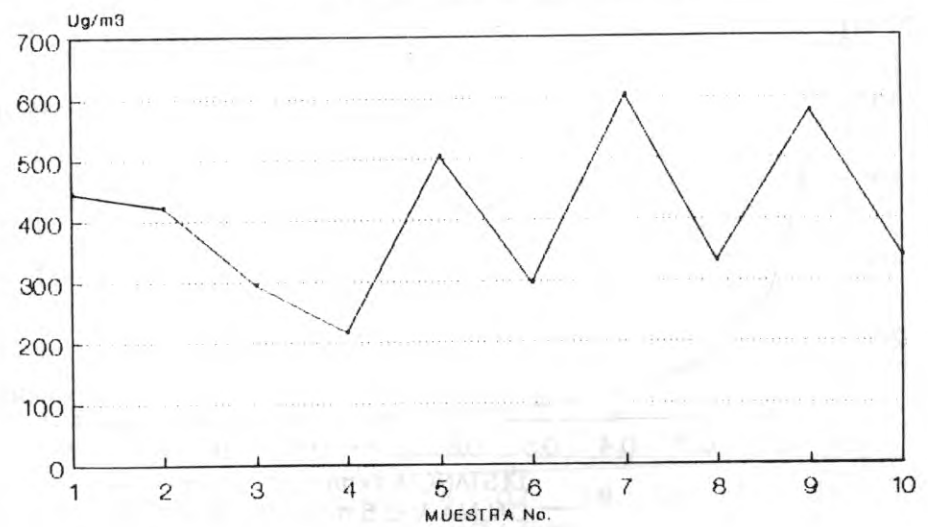


TABLA No. 4
CALIDAD DEL AIRE ACTUAL
CONCENTRACION A NIVEL DE TERRENO (ug/m³)

MUESTRA N°	SITIO 1 TALLER	SITIO 2 TRITURADORA	SITIO 3 OFICINAS
1	446	12170	526
2	423	15264	497
3	294	9844	325
4	217	14778	447
5	505	15400	555
6	296	19210	489
7	604	15770	462
8	332	14950	257
9	577	10322	510
10	339	12170	324
PROMEDIO GEOMETRICO	384	13722	427

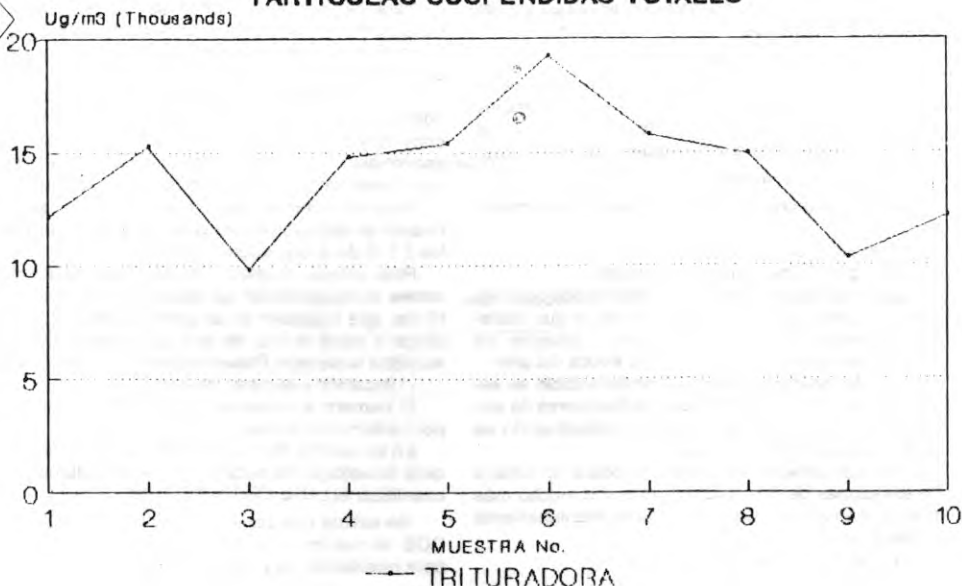
GRAFICA No. 6
RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES



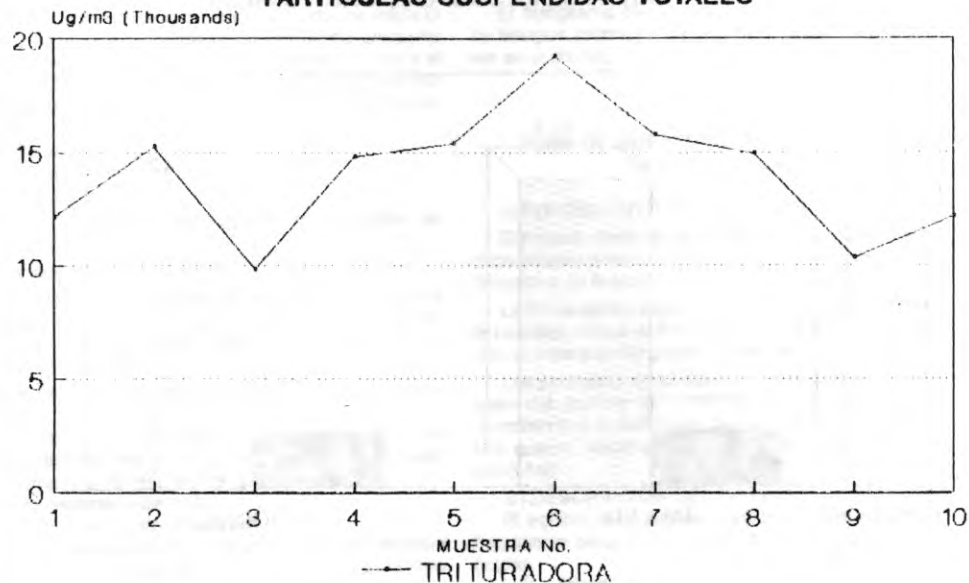
○ TALLER



GRAFICA No.7
RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES



GRAFICA No.7
RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES



214

7.2. CONDICIONES TOPOGRAFICAS DE LA ZONA

La zona de influencia hace parte de la vertiente oriental de la Cordillera Occidental y se localiza en un área montañosa de ladera, colindante con el valle geográfico. En general la propiedad está localizada entre las cotas 1000 y 1400 m.

7.3. USOS DE LA TIERRA

Casi la totalidad del área de influencia está dentro de la actividad de explotación de minas y canteras. Un mínimo porcentaje se destina a la vivienda urbana y actividad comercial.

7.4. OTRAS FUENTES DE CONTAMINACION DEL AIRE

Entre las actividades ajenas al proceso de trituración, que pueden estar implicadas como aportantes de contaminación por polvo en la zona, se destaca el flujo vehicular en las zonas aledañas. Por un lado está el polvo levantado físicamente en la vía y por otro los gases propios de la combustión de los motores.

Para establecer el aporte real del proceso de producción de agregados se realizaron análisis de sílice en algunas de las muestras tomadas, obteniéndose los siguientes resultados.

Muestra 1: Tomada en la trituradora, 54.2 % de sílice

Muestra 2: Tomada en el taller, 35.2 % de sílice

Muestra 3: Tomada en las oficinas, 38.1 % de sílice

Muestra 4: Tomada en la trituradora, 58.7% de sílice

8. EFECTOS PROBABLES

8.1. DE LA EMISION DE CONTAMINANTES

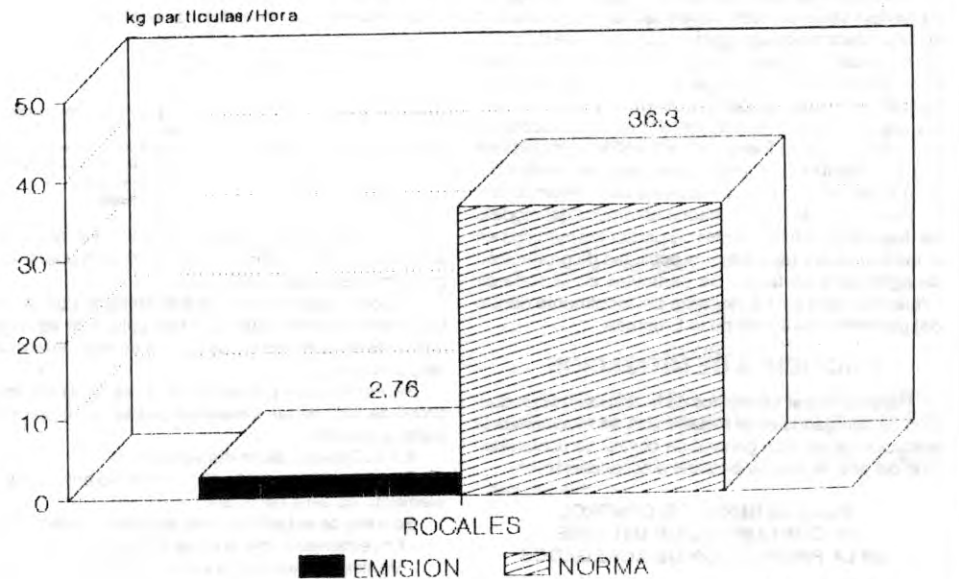
Considerando que la única materia prima en la producción de agregados es la roca natural y el proceso de transformación se hace en forma mecánica, el contaminante del aire atribuible al proceso son las partículas totales en suspensión.

En el caso de Triturados Rocales El Aguacatal Ltda. la emisión de partículas medidas es 13.1 veces menor que el de la norma calculada (Decreto 02 de enero 11 de 1982), como puede verse en la Gráfica No. 8.

Esta comparación tiene una validez relativa si se tiene en cuenta que el Decreto 02/82 no considera una norma de emisión para la actividad específica de producción de agregados y es necesario compararla con el capítulo de "Otras Industrias".

Por otro lado, analizando la actividad de explotación de canteras en forma independiente y de acuerdo con las mediciones de calidad del aire efectuadas en forma continua durante 10 días, no se vislumbra la quema de los agentes de voladura como una fuente considerable de emisión de partículas, sobre todo por lo que es puntual, instantánea y de muy poca duración.

GRAFICA No. 8
COMPARACION EMISION Vs. NORMA



215

8.2. DE LA DISPERSION DE PARTICULAS

De acuerdo con los resultados del modelo de dispersión aplicado, la concentración de partículas suspendidas a nivel de terreno, que resulta de la actividad de la producción de agregados, sobrepasa la norma local de calidad del aire, hasta una distancia máxima de 3km, a partir de la cual el aporte de partículas se hace menor que el límite permisible.

La condición meteorológica bajo la cual se dificulta más la dilución de partículas es la de velocidades bajas y horas de la noche, que en últimas es la que menos se presenta, si se tiene en cuenta que la actividad de trituración se realiza durante el día.

Dado que la actividad de producción de agregados es una fuente contaminante de área, la dispersión de las partículas presenta la mayor concentración en el sitio de origen y va disminuyendo a medida que se aleje de la fuente. Este elemento minimiza el impacto sobre el área circundante, trasladándolo, sobre todo, dentro de los predios de la trituradora.

8.3. DE LA CALIDAD DEL AIRE

Las hipótesis formuladas a partir de los resultados del modelo de dispersión aplicado fueron confirmadas por los datos de los muestreos de partículas realizados en la zona. Es así como, si observamos la Gráfica No. 9, en la cual se realiza una comparación de los resultados de los diferentes puntos, se encuentra una diferencia apreciable entre los niveles del sitio del triturado (13722) y los demás sitios.

Las muestras captadas por los equipos medidores contienen otros contaminantes ajenos a la actividad de la producción de agregados, por lo que se determinó el porcentaje de sílice a varias de las muestras, encontrándose un 54.2 % de sílice en la muestra del sitio de la emisión y contenidos entre 35.2 y 38.5 en los sitios restantes. Estos resultados comprueban la incidencia de otras fuentes en el nivel de partículas de la zona, fuentes que según el estudio de vientos del área estarían ubicadas al noroeste de la trituradora.

Relacionando los resultados obtenidos del modelo de dispersión con los niveles de partículas medidos en el terreno se encuentra que la actividad de producción de agregados es fuente de partículas en la zona de influencia, pero ésta se localiza principalmente dentro del perímetro particular de la Empresa.

9. ACCIONES DE MITIGACION

Para minimizar los efectos de la actividad de producción de agregados en el recurso aire, se recomienda la ejecución de un plan general de control de contaminación del aire, el cual se propone a continuación.

PLAN GENERAL DE CONTROL DE CONTAMINACION DEL AIRE EN LA PRODUCCION DE AGREGADOS

9.1. ESTRATEGIA

A nivel macro se trata de integrar tres elementos:

- I. Control del contaminante en el origen
- II. Control de la dispersión del contaminante
- III. Monitoreo continuo

9.2. ACCIONES

9.2.1. Remoción de polvo en el origen

Para definir el porcentaje de eficiencia del equipo de remoción a diseñar se realizó un estimado, con el modelo de dispersión, relacionando concentración a nivel de terreno con emisión. Los resultados fueron:

Remoción en la fuente (%)	Distancia hasta donde se sobrepasa la norma de calidad del aire (m)
50	0.2
60	0.2
70	0.2
80	0.1
90	0.1

Para controlar el material particulado en las trituradoras se propone la práctica de trabajar con material húmedo, con el sistema que se muestra en la Figura No. 5.

Este procedimiento tiene las siguientes ventajas:

- Bajo costo de funcionamiento.
- Facilidad de operación.
- Bajo consumo de energía.
- Baja vulnerabilidad en sus partes, simplificando la operatividad.

Diseño sencillo, pues los parámetros son:

PARAMETRO	UNIDAD DE TRATAMIENTO
Demanda de agua (m ³ /ton)	Tubería de abastecimiento
Cantidad de polvo a remover	Especificaciones de la bomba
Velocidad de sedimentación del polvo en agua	Dimensiones del sedimentador
	Eficiencia del sedimentador
	Dimensiones del sedimentador

Tiene este sistema la desventaja de ser el de más alto costo de operación como también considerable el consumo de agua (2.000 l/m³)

2. Como alternativa se puede trabajar con un sistema semi-húmedo que significa aplicar el agua por medio de aspersores en los puntos de alta generación de partículas.

Se estima que por este medio se retienen en el orden de 50% de las emisiones que se generan en un punto específico.

9.2.2. Control de la dispersión

Si se logra un buen diseño en el paso anterior, este elemento no será necesario.

Se trata de establecer tres acciones correctivas:

- Encerramiento del área de triturado
- Ventilación exhaustiva con ciclones y filtros de mangas.

- Cerco natural con árboles que alcancen alturas mayores de 10 metros.

9.2.2. Monitoreo continuo

Como parte fundamental de plan se propone el monitoreo continuo de la calidad del aire, instalando una red de estaciones en diferentes sitios del área de influencia de acuerdo con los siguientes parámetros:

- Estrategia de muestreo

Se trata de una combinación de dos tipos de muestras:

- a) De polvo sedimentable
- b) De partículas suspendidas totales

Las muestras de polvo sedimentable son una medida presuntiva, de resultados cualitativos que, instalando una red de estaciones, pueden detectar los puntos de máximo impacto en cada época del año.

Con los resultados de polvo sedimentable se seleccionan los sitios para colocar los medidores de alto volumen, con los que se obtiene la concentración de partículas suspendidas totales.

Esta combinación de muestras reduce el número de estaciones de alto volumen, que son mucho más costosas en cuanto precio de compra, mantenimiento y operatividad.

- Equipo de muestreo

Para facilitar el monitoreo se recomienda la instalación de equipos recolectores conocidos como "Colector de Polvo Sencillo". Un esquema de este equipo se muestra en la Figura No. 6.

El Colector de Polvo Sencillo es un recipiente abierto al aire libre, construido en polietileno que tiene entre 20 y 33 cm de alto y 10 a 15 cm de diámetro. Es conveniente añadir una solución algicida para evitar el crecimiento de algas, que interfieren en la muestra.

Para las muestras de polvo sedimentable se recomienda la ubicación en sitios libres de obstrucciones, a los 2.5 m de altura, sobre el terreno.

Para obtener muestras de partículas suspendidas totales se recomiendan las estaciones medidoras tipo Hi-Vol, que consisten en un elemento de succión que obliga a pasar el flujo de aire por un filtro, donde se recolecta la muestra. Posee también un medidor de flujo.

- Ubicación y número de estaciones

El número aconsejable de estaciones es de uno por hectárea de trabajo.

En los puntos de mayor índice de polvo sedimentable se colocan las estaciones de alto volumen, para cuantificar el polvo suspendido total.

Se estima que por intermedio de PROAGREGADOS, se pueden adquirir cuatro estaciones que sirvan para monitorear las plantas del gremio.

GRAFICA No. 9
COMPARATIVO DE RESULTADOS
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES

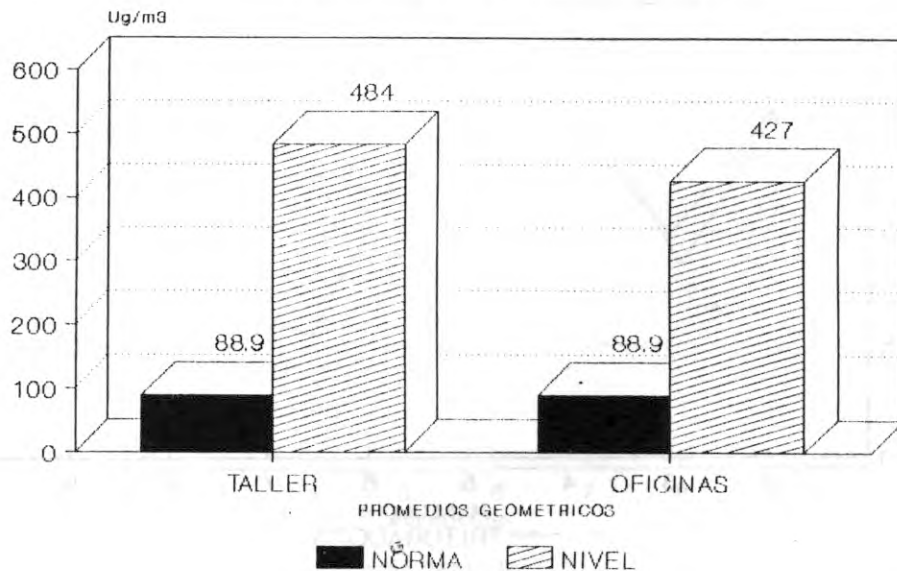
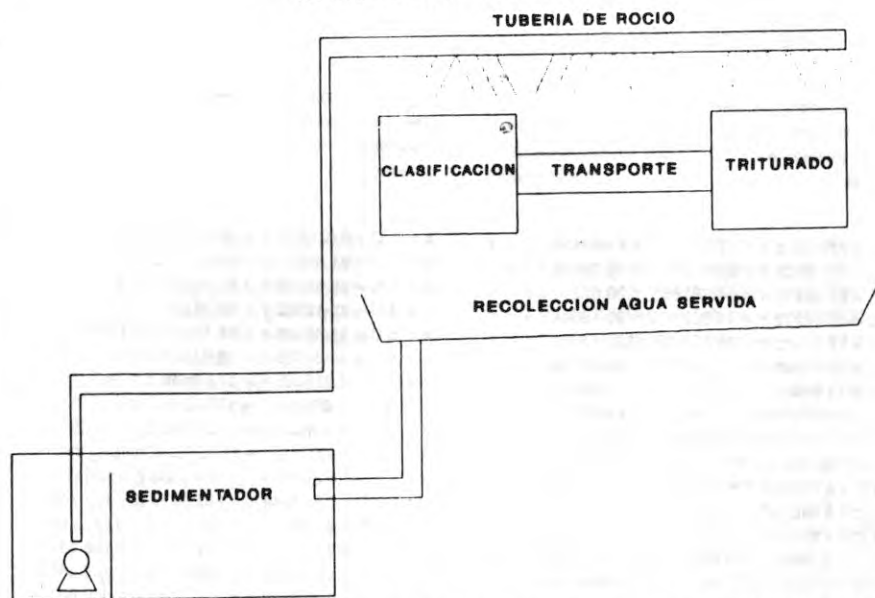


FIGURA Nº 5

SISTEMA DE CONTROL DE POLVO



- Procedimiento de toma de muestra de polvo sedimentable.

El recipiente, tapado y limpio, se lleva al sitio de muestreo, se agrega la solución algicida, se retira la tapa y se coloca el recipiente en el soporte. Después de una exposición de 30 días calendario, se retira el recipiente, se tapa y se lleva al laboratorio, donde por desecación y filtración se obtienen los siguientes resultados:

- Polvo total
- Sólidos solubles
- Sólidos insolubles

Estos resultados se expresan en unidades de masa por área y por mes.

- Interpretación de los resultados

El principal atributo de esta toma de muestra es que se recogen varios gramos, lo que facilita los análisis de laboratorio para identificar el aporte de una planta determinada.

Se detectan cambios en los procesos de la industria.

Se comparan las cantidades de polvo entre los diferentes sectores de la red de muestreo, identificando el impacto, lo que facilita la ubicación de barreras para la dispersión del polvo.

- Presentación de resultados

Los resultados mensuales sirven para tomar medidas correctivas internas y por lo menos cada año

presentar un informe a la entidad Delegada del Ministerio de Salud.

9.3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El flujograma de las actividades propuestas, con los tiempos estimados para cada actividad, se presentan en el cronograma adjunto.

ANEXO 3

TOMA DE MUESTRAS DE PARTICULAS EN SUSPENSION

a) FUNDAMENTO DEL METODO

El procedimiento de muestreo de partículas suspendidas totales se basa en los principios de la ley de Stokes (Mecánica de fluidos) en la siguiente aplicación:

La forma de los equipos de muestreo, al succionar la muestra, obliga al flujo de aire a cambiar de dirección al menos en 90 grados, antes de alcanzar el filtro.

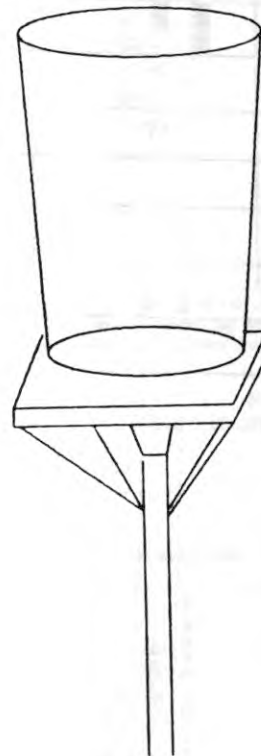
Las partículas que siguen en el flujo de aire, después del cambio de dirección de 90 grados, han cumplido con la definición de polvo en suspensión, o sea que no sedimentan por acción de la fuerza de gravedad.

b) DESCRIPCION DEL METODO

El equipo de muestreo succiona el aire ambiente haciéndolo pasar por un filtro, donde atrapan las partículas.

FIGURA Nº 6

ESQUEMA COLECTOR DE POLVO



El total de partículas se determina en forma gravimétrica, por diferencia en el peso del filtro. La cantidad de aire medido se determina por diferencia de flujo al inicio y final de la toma de la muestra.

c) PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

A continuación se describe brevemente el procedimiento de muestreo:

- I. Desecado y peso inicial de los filtros
- II. Calibración de los medidores Hi-Vol
- III. Colocación del filtro limpio
- IV. Ajuste de la rata de muestreo
- V. Cambio de filtro y lectura de flujo final
- VI. Desecado y peso final del filtro

d) CALCULOS

Al final de cada muestra se obtienen los siguientes datos:

- Tiempo de muestreo
- Flujo inicial y final
- Material retenido
- Ecuación de calibración del equipo
- Temperatura promedio del ambiente

Con estos datos se calcula la concentración total de partículas suspendidas, en microgramos por metro cúbico. Se aplica la siguiente ecuación:

$$(W2-W1)$$

$$C = \frac{(F1+F2)/2}{T} \times T$$

Donde:

C : Concentración de partículas suspendidas en el aire

W1 : Peso inicial del filtro

W2 : Peso final del filtro

F1 : Flujo inicial del equipo medidor *

F2 : Flujo al final de la toma de la muestra *

T : Tiempo de muestreo

* El flujo debe corregirse de acuerdo con la ecuación de la forma de calibración del equipo, que es la forma:

$$Y = mX + b$$

Donde:

Y = Flujo corregido

X = Lectura del rotámetro (F1 y F2)

ANEXO 4

GLOSARIO

ALTURA EFECTIVA DE LA PLUMA: Distancia hasta donde se eleva la pluma o nube de emisión de polvo.

ANEMOMETRO: Dispositivo que mide la velocidad del aire.



**PLAN CONTROL CONTAMINACION DEL AIRE
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

**PLAN CONTROL CONTAMINACION DEL AIRE
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

ACTIVIDAD	TIEMPO EN MESES									
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
1 DIAGNOSTICO										
Identificación de focos en proceso	█									
Cuantificación del contaminante		█								
2 ALTERNATIVAS DE CONTROL										
Prediseños		█								
Costeo de alternativas			█							
Selección de alternativa definitiva				█						
3 DISERIO										
Definición de parámetros					█					
Diseño final						█				
4 INSTALACION										
Reformas en líneas de proceso										
Construcción de unidades										
6 PUESTA EN MARCHA										
Arranque										
Monitoreo										



MODELO DE DISPERSION

MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora Rocales
 Dirección de viento: NO
 Velocidad: (m/seg): 4.8
 Estabilidad: C

Fuente: Trituradora Rocales
 Dirección de viento: N
 Velocidad: (m/seg): 3.6
 Estabilidad: B

- X = .1 C = 223.0316 Y = 12.14238 Z = 7.248451
- X = .2 C = 121.0108 Y = 23.42231 Z = 13.79045
- X = .3 C = 65.26213 Y = 34.28185 Z = 20.072
- X = .4 C = 40.24272 Y = 44.85219 Z = 26.18644
- X = .5 C = 27.27372 Y = 55.2004 Z = 32.17772
- X = .6 C = 19.73645 Y = 65.36768 Z = 38.07156
- X = .7 C = 14.97463 Y = 75.38209 Z = 43.88486
- X = .8 C = 11.77313 Y = 85.26407 Z = 49.62953
- X = .9 C = 9.515268 Y = 95.02918 Z = 55.31451
- X = 1 C = 7.86166 Y = 104.6896 Z = 60.94673
- X = 1.1 C = 6.613089 Y = 114.2553 Z = 66.53158
- X = 1.2 C = 5.646345 Y = 123.7343 Z = 72.07361
- X = 1.3 C = 4.881895 Y = 133.1336 Z = 77.5764
- X = 1.4 C = 4.26649 Y = 142.4591 Z = 83.04326
- X = 1.5 C = 3.763404 Y = 151.7156 Z = 88.47672
- X = 1.6 C = 3.346601 Y = 160.9078 Z = 93.87916
- X = 1.7 C = 2.997221 Y = 170.0393 Z = 99.25259
- X = 1.8 C = 2.701307 Y = 179.1137 Z = 104.5987
- X = 1.9 C = 2.448362 Y = 188.1341 Z = 109.9192
- X = 2 C = 2.230356 Y = 197.103 Z = 115.2154
- X = 2.1 C = 2.041062 Y = 206.0232 Z = 120.4886
- X = 2.2 C = 1.875587 Y = 214.8968 Z = 125.74
- X = 2.3 C = 1.730049 Y = 223.7258 Z = 130.9705
- X = 2.4 C = 1.60133 Y = 232.5121 Z = 136.1811
- X = 2.5 C = 1.486897 Y = 241.2577 Z = 141.3727
- X = 2.6 C = 1.384687 Y = 249.9638 Z = 146.5461
- X = 2.7 C = 1.292996 Y = 258.632 Z = 151.7019
- X = 2.8 C = 1.210407 Y = 267.2638 Z = 156.8411
- X = 2.9 C = 1.13574 Y = 275.8605 Z = 161.9639
- X = 3 C = 1.067997 Y = 284.423 Z = 167.0711

VELOCIDAD CORREGIDA = 4.8

- X = .1 C = 219.6532 Y = 18.71357 Z = 10.16233
- X = .2 C = 81.89071 Y = 35.90141 Z = 20.46173
- X = .3 C = 39.66559 Y = 52.33259 Z = 31.00073
- X = .4 C = 23.12302 Y = 68.24328 Z = 41.74137
- X = .5 C = 15.09598 Y = 83.75465 Z = 52.65638
- X = .6 C = 10.61969 Y = 98.94124 Z = 63.72596
- X = .7 C = 7.875066 Y = 113.8538 Z = 74.9349
- X = .8 C = 6.072486 Y = 128.5293 Z = 86.27135
- X = .9 C = 4.825555 Y = 142.9959 Z = 97.72559
- X = 1 C = 3.927311 Y = 157.2757 Z = 109.2894
- X = 1.1 C = 3.258848 Y = 171.3865 Z = 120.9562
- X = 1.2 C = 2.747944 Y = 185.3429 Z = 132.7199
- X = 1.3 C = 2.34867 Y = 199.1576 Z = 144.5756
- X = 1.4 C = 2.030695 Y = 212.8411 Z = 156.5187
- X = 1.5 C = 1.773336 Y = 226.4023 Z = 168.5453
- X = 1.6 C = 1.562093 Y = 239.8493 Z = 180.6517
- X = 1.7 C = 1.38656 Y = 253.1889 Z = 192.8348
- X = 1.8 C = 1.23911 Y = 266.4275 Z = 205.0916
- X = 1.9 C = 1.114047 Y = 279.5704 Z = 217.4197
- X = 2 C = 1.007056 Y = 292.6225 Z = 229.8162
- X = 2.1 C = 9148071 Y = 305.5885 Z = 242.2793
- X = 2.2 C = 8347098 Y = 318.4724 Z = 254.8069
- X = 2.3 C = 7647176 Y = 331.2776 Z = 267.3967
- X = 2.4 C = 7031948 Y = 344.008 Z = 280.0476
- X = 2.5 C = 6488287 Y = 356.6665 Z = 292.757
- X = 2.6 C = 6005473 Y = 369.2556 Z = 305.5245
- X = 2.7 C = 5574755 Y = 381.7781 Z = 318.3478
- X = 2.8 C = 5188887 Y = 394.2367 Z = 331.2255
- X = 2.9 C = 4841833 Y = 406.6336 Z = 344.1569
- X = 3 C = 4528555 Y = 418.9708 Z = 357.1407

VELOCIDAD CORREGIDA = 3.6

MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora Rocales
 Dirección de viento: SO
 Velocidad: (m/seg): 2.8
 Estabilidad: B

X = 1 C = 282.4112Y = 18.71357 Z = 10.16233
 X = 2 C = 105.2881 Y = 35.90141 Z = 20.46173
 X = 3 C = 50.99861 Y = 52.33259 Z = 31.00073
 X = 4 C = 29.73088 Y = 68.24328 Z = 41.74137
 X = 5 C = 19.40912 Y = 83.75465 Z = 52.65638
 X = 6 C = 13.65389 Y = 98.94124 Z = 63.72596
 X = 7 C = 10.12508 Y = 113.8538 Z = 74.9349
 X = 8 C = 7.807482 Y = 128.5293 Z = 86.27135
 X = 9 C = 6.204284 Y = 142.9959 Z = 97.72559
 X = 1 C = 5.0494 Y = 157.2757 Z = 109.2894
 X = 1.1 C = 4.189947 Y = 171.3865 Z = 120.9562
 X = 1.2 C = 3.53307 Y = 185.3429 Z = 132.7199
 X = 1.3 C = 3.019719 Y = 199.1576 Z = 144.5756
 X = 1.4 C = 2.610893 Y = 212.8411 Z = 156.5187
 X = 1.5 C = 2.280004 Y = 226.4023 Z = 168.5453
 X = 1.6 C = 2.008406 Y = 239.8493 Z = 180.6517
 X = 1.7 C = 1.782721 Y = 253.1889 Z = 192.8348
 X = 1.8 C = 1.593141 Y = 266.4275 Z = 205.0916
 X = 1.9 C = 1.432347 Y = 279.5704 Z = 217.4197
 X = 2 C = 1.294786 Y = 292.6225 Z = 229.8162
 X = 2.1 C = 1.176181 Y = 305.5885 Z = 242.2793
 X = 2.2 C = 2.073199 Y = 318.4724 Z = 254.8069
 X = 2.3 C = 9832084 Y = 331.2776 Z = 267.3967
 X = 2.4 C = 9041076 Y = 344.008 Z = 280.0476
 X = 2.5 C = 8342083 Y = 356.665 Z = 292.757
 X = 2.6 C = 7721322 Y = 369.2556 Z = 305.5245
 X = 2.7 C = 7167542 Y = 381.7781 Z = 318.3478
 X = 2.8 C = 6671426 Y = 394.2367 Z = 331.2255
 X = 2.9 C = 6225213 Y = 406.6336 Z = 344.1569
 X = 3 C = 5822428 Y = 418.9708 Z = 357.1407

VELOCIDAD CORREGIDA = 2.8

MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora Rocales
 Dirección de viento: CALMA
 Velocidad: (m/seg): 0.5
 Estabilidad: A

X = 1 C = 1009.007 Y = 26.68185 Z = 14.09559
 X = 2 C = 318.6075 Y = 50.22446 Z = 28.70523
 X = 3 C = 134.0176 Y = 72.46592 Z = 49.23003
 X = 4 C = 67.58896 Y = 93.85185 Z = 76.28431
 X = 5 C = 38.35719 Y = 114.5989 Z = 110.5815
 X = 6 C = 23.62794 Y = 134.8361 Z = 152.8707
 X = 7 C = 15.45755 Y = 154.6493 Z = 203.9269
 X = 8 C = 10.58937 Y = 174.1 Z = 264.549
 X = 9 C = 7.523854 Y = 193.2342 Z = 335.5584
 X = 1 C = 5.506535 Y = 212.0877 Z = 417.7987
 X = 1.1 C = 4.130377 Y = 230.689 Z = 512.1368
 X = 1.2 C = 3.163059 Y = 249.0617 Z = 619.462
 X = 1.3 C = 2.465665 Y = 267.2253 Z = 740.6862
 X = 1.4 C = 1.951824 Y = 285.1961 Z = 876.7444
 X = 1.5 C = 1.566011 Y = 302.9883 Z = 1028.594
 X = 1.6 C = 1.271491 Y = 320.6147 Z = 1197.219
 X = 1.7 C = 1.043351 Y = 338.0852 Z = 1383.622
 X = 1.8 C = 8643092 Y = 355.4099 Z = 1588.832
 X = 1.9 C = 722146 Y = 372.5971 Z = 1813.904
 X = 2 C = 6080698 Y = 389.6537 Z = 2059.909
 X = 2.1 C = 5156481 Y = 406.587 Z = 2327.954
 X = 2.2 C = 4401145 Y = 423.4035 Z = 2619.161
 X = 2.3 C = 3778883 Y = 440.1076 Z = 2934.679
 X = 2.4 C = 3262463 Y = 456.7055 Z = 3275.681
 X = 2.5 C = 2830968 Y = 473.2008 Z = 3643.37
 X = 2.6 C = 2468163 Y = 489.5988 Z = 4038.962
 X = 2.7 C = 2161328 Y = 505.9029 Z = 4463.715
 X = 2.8 C = 1900417 Y = 522.1165 Z = 4918.901
 X = 2.9 C = 1677434 Y = 538.2435 Z = 5405.807
 X = 3 C = 1485954 Y = 554.2863 Z = 5925.776

VELOCIDAD CORREGIDA = 5

EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE
METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION)

SITIO: ROCALES

TALLER

N° 1

FILTRO N°	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO $\text{Pies}^3/\text{minuto}$		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m^3
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
01	I-22-93	5.3871	5.8841	40	20	446
02	I-24-93	5.3436	5.8136	40	20	423
03	I-25-93	5.3910	5.7618	40	30	294
04	I-26-93	5.3918	5.6327	40	20	217
05	I-27-93	5.3762	5.9376	40	20	505
06	I-28-93	5.3636	5.7142	40	25	296
56	I-29-93	5.4751	6.1464	40	20	604
07	I-30-93	5.4096	5.8189	40	25	332
08	II-01-93	5.4557	6.2124	40	30	577
09	II-02-93	5.4528	5.8973	40	30	339

W₁ = Peso Inicial Filtro. grs. 5.44 + 0720 X
 W₂ = Peso Final Filtro con partículas. grs.
 Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo. Pies^3/min .

Q₂ = Flujo Final de Muestreo. Pies^3/min .
 y = Curva de calibración del Equipo de Muestreo
 (Hr - W11).

EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE
METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION)

SITIO: ROCALES

OFICINA

N° 2

FILTRO N°	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO $\text{Pies}^3/\text{minuto}$		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m^3
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
21	I-23-93	5.4042	6.0151	40	20	526
22	I-24-93	5.3495	5.9657	40	25	497
23	I-25-93	5.3819	5.8106	40	30	325
24	I-26-93	5.3728	5.9275	40	25	447
25	I-27-93	5.4077	6.0963	40	25	555
26	I-28-93	6.4082	5.9762	40	30	489
33	I-29-93	5.4320	5.9683	40	20	462
34	I-30-93	5.4949	5.9940	40	20	257
35	I-01-93	5.5046	6.1375	40	25	320
36	I-02-93	5.5876	5.6312	40	20	328

W₁ = Peso Inicial Filtro. grs. 5.22 + 0774 X
 W₂ = Peso Final Filtro con partículas. grs.
 Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo. Pies^3/min .

Q₂ = Flujo Final de Muestreo. Pies^3/min .
 y = Curva de calibración del Equipo de Muestreo
 (Hr - W11).

EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE
METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION)

SITIO: ROCALES

TRITURADORA

Nº 3

FILTRO Nº	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO Pies ³ minuto		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m ³
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
11	I-23-93	5.4419	11.7294	40	25	10140
12	I-24-93	5.4528	14.2426	40	20	14176
13	I-25-93	5.4921	14.6622	40	20	15796
14	I-26-93	5.4817	14.6821	40	20	15848
15	I-27-93	5.4933	12.8991	40	20	12756
16	I-28-93	5.4396	12.6760	40	20	12464
17	I-29-93	5.4393	14.4827	40	20	15578
18	I-30-93	5.4513	10.6521	40	20	8958
19	II-01-93	5.4642	14.5503	40	20	15652
20	II-02-93	5.4508	14.4465	40	20	15496

W₁ = Peso Inicial Filtro. grs. 9.40+ 0685 X
W₂ = Peso Final Filtro con partículas. grs.
Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo. Pies³/min.

Q₂ = Flujo Final de Muestreo. Pies³/min.
y = Curva de calibración del Equipo de Muestreo
(Hr - W11).

AREA DE INTERES SANITARIO: Extensión de terreno, en la cual los niveles de contaminación pueden ser perjudiciales para la salud humana.

CONDICION METEOROLOGICA: Conjunto de las condiciones atmosféricas que caracterizan una región.

DESECACION: Acción por medio de la cual se elimina la humedad a un elemento sólido.

DISPERSION DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE: Dilución de elementos gaseosos en el aire, que permite transporte a sitios diferentes del de emisión.

ESTABILIDAD ATMOSFERICA: Susceptibilidad de cambio en las condiciones atmosféricas de un sitio.

ESTACIONES DE MUESTREO DE ALTO VOLUMEN: Equipo para medir la concentración de partículas en el aire.

FUENTE CONTAMINANTE DE AREA: Generación de contaminantes del aire a campo abierto y sin ventilación inducida.

MACROPARTICULAS: Partículas suspendidas en el aire de tamaños entre 0.1 y 10 micras de diámetro.

METODO GRAVIMETRICO: Procedimiento de medida basado en diferencias de peso.

MODELO DE DISPERSION: Simulación teórica, para predecir la dilución y el transporte de un contaminante en el aire.

NIVELES DE PARTICULAS MEDIDOS: Concentración de polvo en el aire, obtenida mediante mediciones de campo.

PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES: Polvo que no se sedimenta por acción de la gravedad.

PLUMA: Nube de emisión de un contaminante del aire.

POLVO SEDIMENTABLE: Partículas que, por su tamaño, caen al suelo bajo la acción de la gravedad.

REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO

Mayo 17 de 1993

Procedencia de la muestra:
Ingeniero Fabio Franco, filtros con polvo de mediciones de calidad del aire.

Toma de muestras:
Ingeniero Fabio Franco C.

Análisis realizado:
Determinación del porcentaje de Silice.

Método de Laboratorio: Nº. 4258 STANDARD METHODS FOR EXAMINATION.

MUESTRA (Filtro No.)	RESULTADO (%)	MUESTRA (Filtro No.)	RESULTADO (%)
48	54.1	113	63.7
39	11.3	66	37.4
43	28.9	96	48.1
52	13.1	88	39.3
16	54.2	F2	56.8
56	35.2	1	51.2
26	38.1	X2	53.7
08	58.7	51	6.3
86	52.1	01	52.4
26	38.7	107	13.5
38	12.8	111	18.3
49	15.2		

NELVER CASTRO SANCHEZ

Quimico

Mat. Prof. PQ = 1017



TRITURADORA SARATOGA LTDA.



CONTENIDO

	Página
1. PRESENTACION	
2. INFORMACION GENERAL DE LA EMPRESA	231
2.1. NOMBRE Y RAZON SOCIAL	231
2.2. DIRECCION	231
2.3. OBJETIVO COMERCIAL	231
2.4. SITUACION DE LA INDUSTRIA	231
2.5. AREA DE LA INDUSTRIA	231
2.6. NUMERO DE EMPLEADOS	231
2.7. HORARIO DE FUNCIONAMIENTO	231
3. INFORMACION DEL PROCESO INDUSTRIAL	231
3.1. MATERIAS PRIMAS	231
3.2. PRODUCTOS FABRICADOS	232
3.3. DIAGRAMA DE FLUJO	232
3.4. ALMACENAMIENTO	232
4. FUENTES FIJAS DE CONTAMINACION	232
4.1. PROCESOS DE GENERACION DE EMISIONES	232
4.2. CARACTERISTICAS DE LAS EMISIONES	232
5. NORMATIVIDAD A CUMPLIR	233
5.1. NORMAS DE EMISIONES	233
5.2. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE	233
6. DETERMINACION DEL AREA DE INFLUENCIA	234
6.1. ESTIMADO DE EMISIONES	234
6.2. CONDICIONES ATMOSFERICAS DE LA ZONA	234
6.3. DISPERSION DE CONTAMINANTES	235
6.4. DELIMITACION DEL AREA DE INFLUENCIA	239
7. CARACTERISTICAS DEL AREA DE INFLUENCIA	239
7.1. CALIDAD DEL AIRE ACTUAL	239
7.2. CONDICIONES TOPOGRAFICAS DE LA ZONA	243



7.3.	USOS DE LA TIERRA	243
7.4.	OTRAS FUENTES DE CONTAMINACION DEL AIRE	243
8.	EFFECTOS PROBABLES	243
8.1.	DE LA EMISION DE CONTAMINANTES	243
8.2.	DE LA DISPERSION DE PARTICULAS	244
8.3.	DE LA CALIDAD DEL AIRE	244
9.	ACCIONES DE MITIGACION	244
9.1.	ESTRATEGIA	245
9.2.	ACCIONES	245
9.3.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	246

TABLA N°	LISTA DE TABLAS CONTENIDO	Página
1	Normas nacionales de calidad del aire	233
2	Normas de calidad del aire para Cali	233
3	Resultados modelo de dispersión	236
4	Calidad del aire actual	241

FIGURA N°	LISTA DE FIGURAS CONTENIDO	
1	Flujograma proceso Saratoga	232
2	Rosa de los vientos	234
3	Sistema de coordenadas Modelo de dispersión.	235
4	Esquema equipo de muestreo	239
5	Sistema de control de polvo	245
6	Esquema colector de polvo sencillo	247

CUADRO N°	LISTA DE CUADROS CONTENIDO	
1	Cronograma para el control de la contaminación del aire	248

	LISTA DE GRAFICAS	
1	Dispersión de material particulado	237
2	Dispersión de material particulado	237
3	Dispersión de material particulado	238
4	Dispersión de material particulado	238
5	Resultados calidad del aire	341
6	Resultados calidad del aire	242
7	Resultados calidad del aire	242
8	Comparación emisión vs. norma	243
9	Comparativo de resultados	244

	LISTA DE PLANOS	
1	Mapa de cantera con sitios de muestreo	240

	ANEXOS	
1	Listados de resultados modelo de dispersión	249
2	Hojas de campo	252
3	Toma de muestras de partículas en suspensión	253
4	Glosario	254
5	Resultados de laboratorio	255

1. PRESENTACION

Con la finalidad de revisar, desde una perspectiva ambiental, el proceso de producción de agregados para la construcción, y tomar, si fuera necesario, los correctivos para cumplir con el objetivo de las empresas asociadas a Proagregados de originar el mínimo impacto sobre el medio ambiente, contrataron con una firma consultora realizar estudios sobre la calidad del aire en las zonas de influencia de sus plantas.

El presente libro presenta los resultados de la investigación realizada y sus conclusiones para la planta de Trituradora Saratoga Ltda., ubicada en el kilómetro 8, vía al mar.

En este documento se presenta tanto la metodología, que sigue las recomendaciones del Ministerio de Salud (Decreto 02 de enero 11 de 1982), como también resultados del mencionado estudio, realizados por la firma Proinsa, de la ciudad de Cali.

2. INFORMACION GENERAL DE LA EMPRESA

2.1. NOMBRE Y RAZON SOCIAL

La Empresa está registrada con el nombre "Trituradora Saratoga Ltda."

2.2. DIRECCION

La planta de producción está ubicada en el kilómetro 8 de la vía al mar. Las dependencias administrativas se encuentran en la calle 3 No. 42-50 de la ciudad de Cali.

2.3. OBJETIVO COMERCIAL

El objeto comercial de la Empresa es la producción de agregados pétreos para la construcción.

2.4. SITUACION DE LA INDUSTRIA

Según Zonificación del Departamento de Planeación Municipal de Cali está ubicada en la zona de actividad de Minas y Canteras.

2.5. AREA DE LA INDUSTRIA

El área de la propiedad es de ochenta y cuatro (84 ha) hectáreas más 4.869 m², y en una zona de ella se encuentra ubicada la explotación de la industria.

2.6. NUMERO DE EMPLEADOS

Se cuenta con 38 operarios en producción y 11 empleados en la administración. Además está la innumerable cantidad de empleos indirectos que origina.

2.7. HORARIO DE FUNCIONAMIENTO

La producción se realiza durante 25 días/mes, 12 horas al día.

3. INFORMACION DEL PROCESO INDUSTRIAL

3.1. MATERIAS PRIMAS

La única materia prima utilizada en el proceso es la roca llamada diabasa, en sus diferentes estados:

- Diabasa meteorizada (materia prima para la roca muerta).
- Diabasa fresca (piedra azul) (materia prima para los agregados).
- Diabasa levemente alterada (materia prima para la base granular).

3.2. PRODUCTOS FABRICADOS

A partir de las diabasas se obtienen los siguientes productos:

- Roca muerta para rellenos.
- Gravas y finos para concretos y prefabricados.
- Base granular para vías y pavimentos.

3.3. DIAGRAMA DE FLUJO

Un diagrama del proceso se presenta en la Figura No. 1. El cual se describe a continuación:

Etapa 1 : Explotación de cantera

Inicialmente se realiza la remoción del material estéril que cubre la cantera. A continuación se perfora la roca para cargar con agentes de voladura. Luego se realiza la quema o voladura, obteniéndose rocas de diferente tamaño.

Las rocas más grandes se perforan nuevamente y se realiza una segunda voladura, llamada "pistoleo".

Etapa 2 : Transformación

El material es recogido de la cantera y transportado a la trituradora en donde se fracciona y clasifica por tamaños. Posteriormente, parte se despacha directamente y el resto se almacena.

3.4. ALMACENAMIENTO

El producto se almacena en patios a cielo abierto.

4. FUENTES FIJAS DE CONTAMINACION

4.1. PROCESOS DE GENERACION DE EMISIONES

Los procesos implicados en la generación del polvo son:

- Voladura
- Transporte
- Trituración
- Clasificación
- Almacenamiento

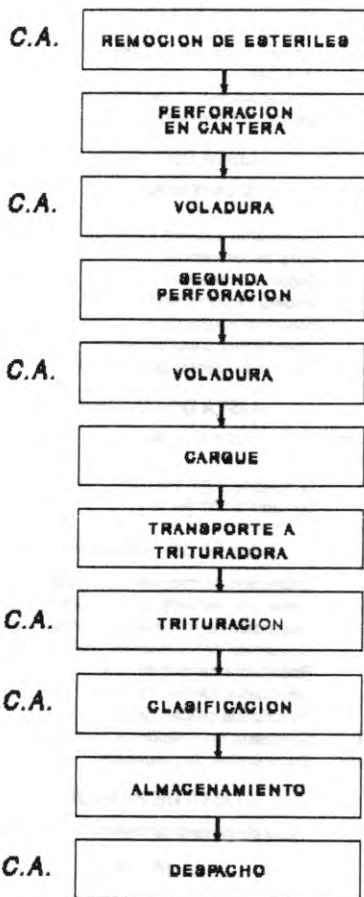
4.2. CARACTERISTICAS DE LAS EMISIONES

Como se deduce del proceso productivo, la actividad de triturado y explotación de canteras no presenta fuentes puntuales fijas de contaminación del aire, pues no se cuenta con chimeneas o ductos. La emisión es del tipo "Fuente de área", en la cual inciden principalmente fenómenos atmosféricos (vientos).

El medio de transporte de las partículas es el aire ambiente de la región. El polvo de mayor tamaño se sedimenta en el sitio de generación, y solo se dispersa el material que, por su densidad, se suspende en el aire.

FIGURA N° 1

FLUJOGRAMA PROCESO SARATOGA



5. NORMATIVIDAD A CUMPLIR

El Decreto 02 de enero 11 de 1982 estipula dos tipos de normas:

1. Emisiones
2. Calidad del aire

5.1. NORMAS DE EMISIONES

El Decreto 02 de 1982 no establece normas de emisión para la actividad de explotación de canteras y producción de triturados; sin embargo, incluye un artículo para "Industrias no clasificadas".

El artículo 70 del Decreto 02/82 regula las emisiones para "otras industrias". En ese artículo se relaciona la emisión máxima permisible con la capacidad de producción horaria. Para nuestra actividad, se tiene:

Producción horaria:

$$320 \text{ m}^3/\text{día} \times \text{d}/10 \text{ hr} \times 1.6 \text{ ton}/\text{m}^3 = 51.2 \text{ ton/hr}$$

Para calcular la norma de emisión se utiliza la ecuación que aparece en el artículo 71, ítem a (zona urbana)

$$E = 10.45 \times P^{0.458} \quad 10 < P < 500$$

Donde:

E : Máxima emisión de partículas en kg/hora
P : Máxima producción horaria

Reemplazando en la ecuación se tiene,

$$E = 10.45 \times 51.2^{0.458}$$

$$E = 63.4 \text{ kg de partículas/hora}$$

Según el artículo 43, para una fuente ubicada a una altura diferente de la del nivel del mar, se debe corregir de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Em = K \times E$$

$$\text{Donde } K = \text{Pbh}/760 + 0.04 \text{ H}$$

Siendo:

K = Factor de corrección por altitud
Pbh = Presión barométrica del sitio en mm de Hg.
H = Altura sobre el nivel del mar en miles de metros.

Para nuestro caso se tiene:

$$K = 673.9/760 + 0.04 \times 0.995 = 0.9265$$

Por lo tanto la Norma de emisión modificada será:

$$Em = 63.4 \times 0.9265 = 58.7 \text{ kg partículas/hora}$$

5.2. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE

El Decreto 02 de 1982 reglamentario de la Ley 09 de 1979 estipula para diferentes sustancias los valores máximos permisibles, a nivel de aire respirable, que deben cumplirse en la nación.

Para determinar las normas de calidad de aire que deben regir para las condiciones locales de la Trituradora Saratoga Ltda., se aplica la ecuación explicada en el artículo 32 del Decreto 02/82.

$$\text{Norma Local} = \frac{\text{Norma de Calidad} \times \text{Presión barométrica Local}}{760 \text{ mm Hg}}$$

$$\times \frac{299 \text{ }^\circ\text{K}}{273 + \text{ }^\circ\text{C}}$$

En donde:

Norma de calidad: Valor nacional a 25°C y 760 mm Hg.

El artículo 31 de del Decreto 02/82 establece las normas de calidad que se presentan en la Tabla 1.

TABLA No. 1
NORMAS NACIONALES DE CALIDAD DEL AIRE
(Para 25°C y 760 mm Hg)

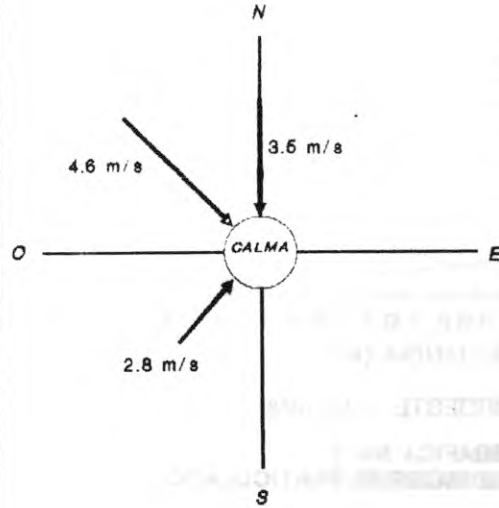
PARAMETRO	NORMA
Partículas en suspensión	100 Microgramos/m ³ (promedio geométrico) 400 Microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Dióxido de azufre	100 Microgramos/m ³ (promedio geométrico) 400 Microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Monóxido de carbono	1500 Microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses en muestras de 3 hr) 15 Microgramos/m ³ (max. 8 horas) 50 Microgramos/m ³ (max. 1 hora)
Oxidantes fotoquímicos Oxidos de nitrógeno	170 Microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses) 100 Microgramos/m ³ (promedio aritmético)

Para el caso particular de la ciudad de Cali y efectuadas las correcciones por altitud y temperatura, se tienen los siguientes valores, que se muestran en la Tabla No. 2.

TABLA No. 2
NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE PARA CALI
(673.86 mm Hg y 25°C)

PARAMETRO	NORMA
Partículas en suspensión	88.7 Microgramos/m ³ (promedio geométrico) 354.7 Microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Dióxido de azufre	88.7 Microgramos/m ³ (promedio geométrico) 354.7 Microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses)
Monóxido de carbono	13.3 Microgramos/m ³ (max. 8 horas) 44.3 Microgramos/m ³ (max. 1 hora)
Oxidantes fotoquímicos Oxidos de nitrógeno	150.7 Microgramos/m ³ (max. 1 vez/12 meses) 88.7 Microgramos/m ³ (promedio aritmético)

FIGURA N° 2
ROSA DE LOS VIENTOS



6. DETERMINACION DEL AREA DE INFLUENCIA

6.1. ESTIMADO DE EMISIONES

Como en el proceso de producción de agregados el polvo que se origina en el proceso no se emite por ducto o chimenea, se convierte en una fuente de área cuya evaluación debe hacerse con muestras de alto volumen.

Por esta razón se instaló una estación de muestreo en el sitio más crítico de la trituradora, obteniéndose una concentración promedio de 5620 Ug/m^3 de partículas suspendidas totales.

El área de generación del polvillo, considerando las zonas de trituración, clasificación y el movimiento del material en la línea de producción, se estimó en 240 m^2 .

La velocidad de viento predominante en la zona es de 2.6 m/seg , con lo cual la emisión será:

$$2.6 \text{ m/seg} \times 240 \text{ m}^2 \times 3600 \text{ seg/hr} \times 5620 \text{ Ug/m}^3 \times \text{kg}/10^9 \text{ Ug} = 12.62 \text{ kg partículas/hora}$$

$$12.62 \text{ kg/hr} \times 10^9 \text{ Ug/kg} \times \text{hr}/3600$$

$$\text{seg} = 3505555 \text{ Microgramos de partículas/segundos}$$

6.2. CONDICIONES ATMOSFERICAS DE LA ZONA

Los factores meteorológicos que inciden en la dispersión de contaminantes atmosféricos son:

- La magnitud del viento (velocidad)
- La dirección de los vientos
- La estabilidad atmosférica

La estabilidad atmosférica es un concepto que encierra variables como nubosidad, brillo solar e intensidad de los vientos. Estas variables en conjunto informan acerca de qué tan estable es la atmósfera de la región, lo que a su vez rige la dispersión de los contaminantes del aire.

Todos estos factores se integran en un resumen de las condiciones atmosféricas, conocido como rosa de los vientos.

Para desarrollar una rosa de vientos de una zona particular se requiere un gran número de mediciones en el tiempo que permitan deducir el porcentaje de ocurrencia del fenómeno (frecuencia) y de la velocidad del viento. Ello se sale de los alcances del presente estudio, por lo que se utilizaron los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona tales como la antigua estación San Luis Gonzaga, ubicada en la ladera del mismo sistema montañoso de las trituradoras y se complementó con los datos de la estación del Aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón, con lo que se desarrolló la rosa de vientos que se presenta en la Figura No. 2.

Una vez construida esta rosa de vientos, utilizando un anemómetro se confirmaron sus valores con mediciones puntuales en el terreno.

De las mediciones de campo, los datos de las estaciones meteorológicas antes mencionadas y de las observaciones visuales se deduce lo siguiente:

Tanto en los registros de las estaciones, con datos de más de 20 años, como en las mediciones realizadas en el área, se observa una marcada tendencia como dirección predominante del viento la dirección noroeste.

Otra dirección de viento destacable es la norte, aunque con menor frecuencia.

Se presentan esporádicos estados de calma; es decir, velocidades menores de 0.5 m/s y puede decirse que durante las 24 horas del día, el viento recorre todas las direcciones, destacándose, como ya se dijo, la dirección noroeste.

6.3. DISPERSION DE CONTAMINANTES

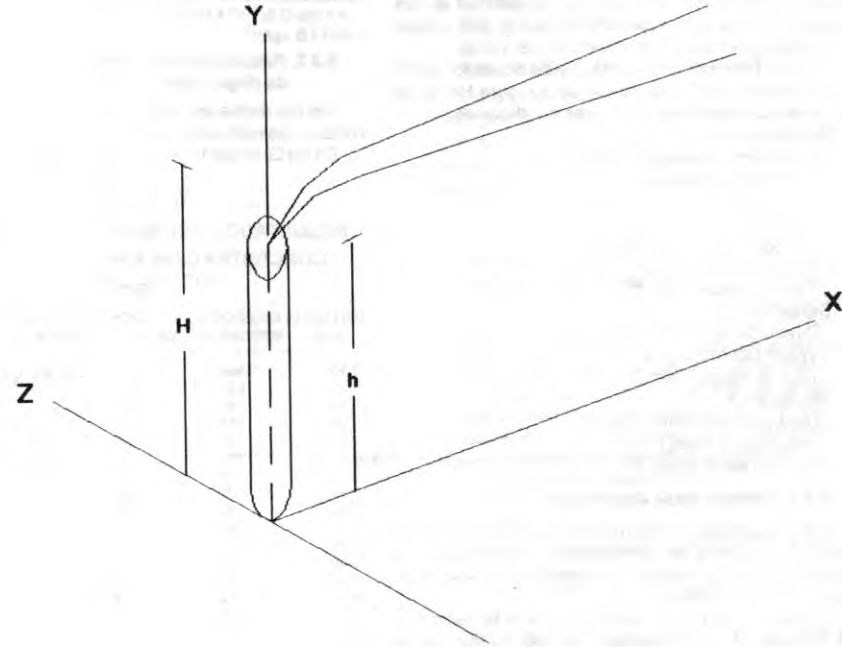
6.3.1 Generalidades sobre el modelo de dispersión

Para determinar el área de influencia de los contaminantes a nivel del terreno se aplica el modelo de dispersión Gaussiano que indica las concentraciones esperadas del contaminante a nivel del terreno. El área de interés sanitario es la que abarque los sitios donde la concentración esperada sobrepase la norma local calculada.

Para estimar teóricamente la dispersión de los contaminantes en la atmósfera se utiliza en este trabajo el modelo matemático de tipo Gaussiano propuesto por Passquill- Guifford.

El modelo Gaussiano de dispersión de contaminantes en la atmósfera tiene la siguiente ecuación general:

FIGURA 3
MODELO DE DISPERSION SISTEMA DE COORDENADAS



$$Mx(X, Y, Z, Hef) = \frac{Q}{2 C_y C_z U} \text{EXP}(-0.5(Y/C_y)^2) \cdot \text{EXP}(-0.5((Z-Hef)/C_z)^2) + \text{EXP}(-0.5((Z+Hef)/C_z)^2)$$

Donde:

- Mx : Concentración de partículas en ug/m³
- Q : Emisión en ug/seg
- U : Velocidad del viento a la altura efectiva (Hef), m/seg
- Cy : Coeficiente de dispersión en el plano horizontal (m)
- Cz : Coeficiente de dispersión en el plano vertical (m)
- Hef : Altura efectiva de la pluma (m)

En la Figura No. 3 puede verse el sistema de coordenadas utilizado en el modelo.

Para el caso de la actividad de la trituración de basaltos se aplica la ecuación particular del modelo de Gauss que presenta receptor a nivel del suelo (Z=0), la fuente emisora elevada y la concentración localizada sobre el eje X, a sotavento, o sea del sentido del viento. La ecuación es la siguiente:

$$Mx(X, Hef) = \frac{Q}{\pi \cdot C_y \cdot C_z \cdot U} \text{EXP}(-0.5(Hef/C_z)^2)$$

Los coeficientes de dispersión dependen de la estabilidad atmosférica, o sea, la tranquilidad en las capas próximas a la superficie terrestre, que varían con la radiación solar y la velocidad del viento.

Para la Trituradora Saratoga, y de acuerdo con la rosa de los vientos presentada en la Figura No. 3, se aplica el modelo en las siguientes condiciones.

Situación 1:

- Dirección de viento: Noroeste
- Velocidad (m/seg): 4.2
- Tipo de estabilidad: C

Situación 2:

- Dirección de viento: Oeste
- Velocidad (m/seg): 3.5
- Tipo de estabilidad: B

Situación 3:

- Dirección de viento: Norte
- Velocidad (m/seg): 2.8
- Tipo de estabilidad: B

Situación 4:

- Dirección de viento: Calma
- Velocidad (m/seg): 0.5
- Tipo de estabilidad: A

6.3.2. Cálculo de la dispersión

Para la aplicación del modelo Gaussiano se emplea un programa de computador; sin embargo, a continuación se presenta un modelo de cálculo realizado en forma manual.

El modelo de cálculo se realiza para la velocidad de 0.5 m/s, a una distancia de 100 metros de la emisión, estabilidad A.

La emisión se presenta aproximadamente a diez metros de altura y las velocidades de viento son tomadas a la misma altura, por lo que no es necesario corregirla.

- Concentración a nivel de terreno
Cálculo de los coeficientes de dispersión horizontal (Cy) y vertical (Cz)

$$C_y = \text{Exp}(5.357 + 0.8828 \ln X - 0.0076 (\ln X)^2)$$

$$C_z = \text{Exp}(6.035 + 2.1097 \ln X + 0.2770 (\ln X)^2)$$

Donde X : Distancia vientos abajo (Sotavento)

Reemplazando, para X=0.1 km, tenemos:

$$C_y = \text{Exp}(5.357 + 0.8828 \ln 0.1 - 0.0076 (\ln 0.1)^2) = 26.68 \text{ m}$$

$$C_z = \text{Exp}(6.035 + 2.1097 \ln 0.1 + 0.2770 (\ln 0.1)^2) = 14.09 \text{ m}$$

Cálculo de la concentración de partículas.

$$C(X, 0, 0, Hef) = \frac{Q}{3.1416 \cdot C_y \cdot C_z \cdot U} \text{EXP}(-0.5(Hef/C_z)^2)$$

Donde:

U = Velocidad del viento corregida a la altura efectiva de la pluma (Hef).

Q = Emisión del contaminante en ug/seg

$$C(2, 0, 0, Hef) = \frac{Q}{3.1416 \cdot C_y \cdot C_z \cdot U} \text{EXP}(-0.5(Hef/C_z)^2) = \frac{(3505555 \cdot 5 / (3.1416 \cdot 26.68 \cdot 14.09 \cdot 0.5)) \cdot \text{Exp}(-0.5(10/14.09)^2)}{4613.6} \text{ ug/m}^3$$

6.3.3. Resultados del modelo de dispersión

Los resultados del modelo de dispersión para las cuatro condiciones estimadas se presentan en la Tabla No. 3.

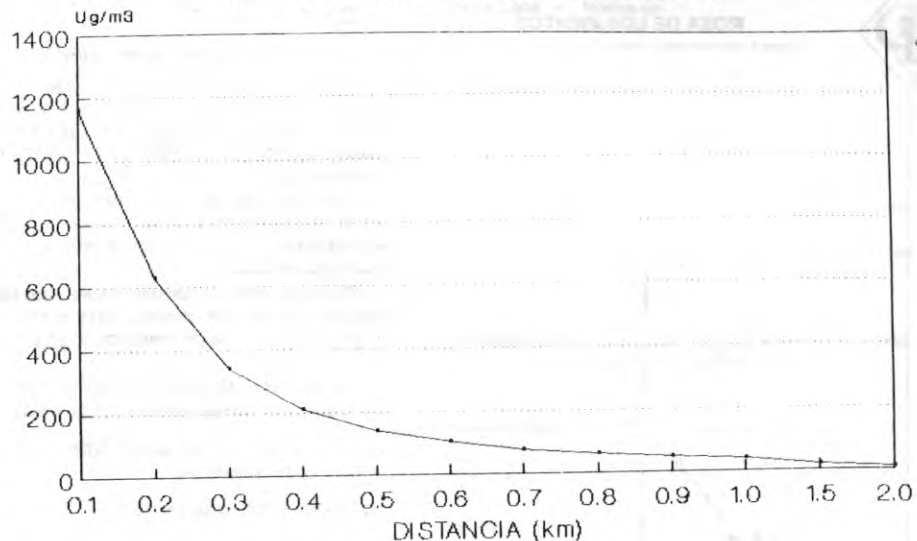
En las Gráficas 1 a 4 se representan estos resultados.

TABLA No. 3

RESULTADOS DEL MODELO DE DISPERSION CONCENTRACION A NIVEL DE TERRENO (ug/m³)

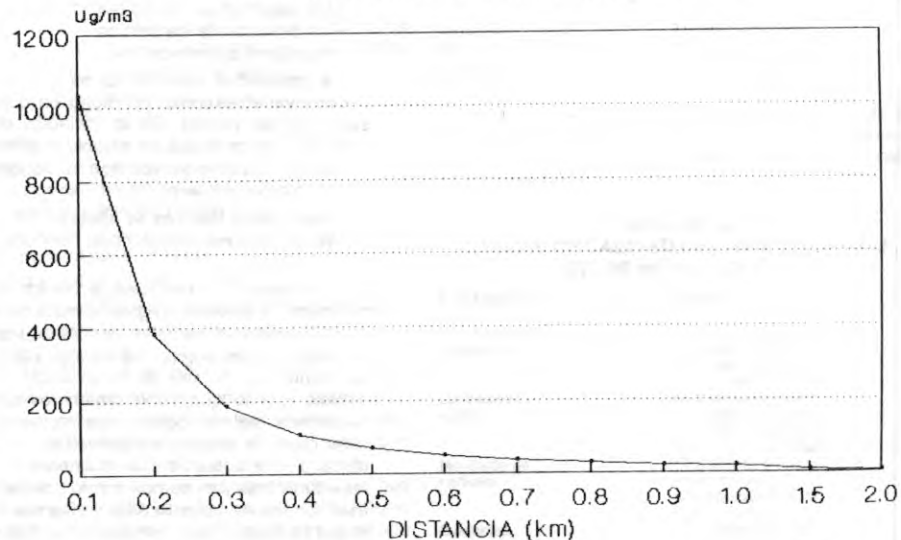
DISTANCIA (Km)	DIRECCION NOROESTE	DIRECCION OESTE	DIRECCION NORTE	DIRECCION CALMA
0.10	1165	1033	1291	4613
0.20	632	385	481	1456
0.30	341	186	233	612
0.40	210	108	135	309
0.50	142	70	88	175
0.60	103	49	62	108
0.70	78	3	7	4670
0.80	61	28	35	48
0.90	49	22	28	34
1.00	41	18	23	25
1.20	29	12	16	14
1.40	22	9	11	9
1.60	17	7	9	6
1.80	14	5	7	4
2.00	11	4	5	2
2.50	7	3	3	1.3
3.00	5	2	2	0.6

**GRAFICA No. 1
DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO**



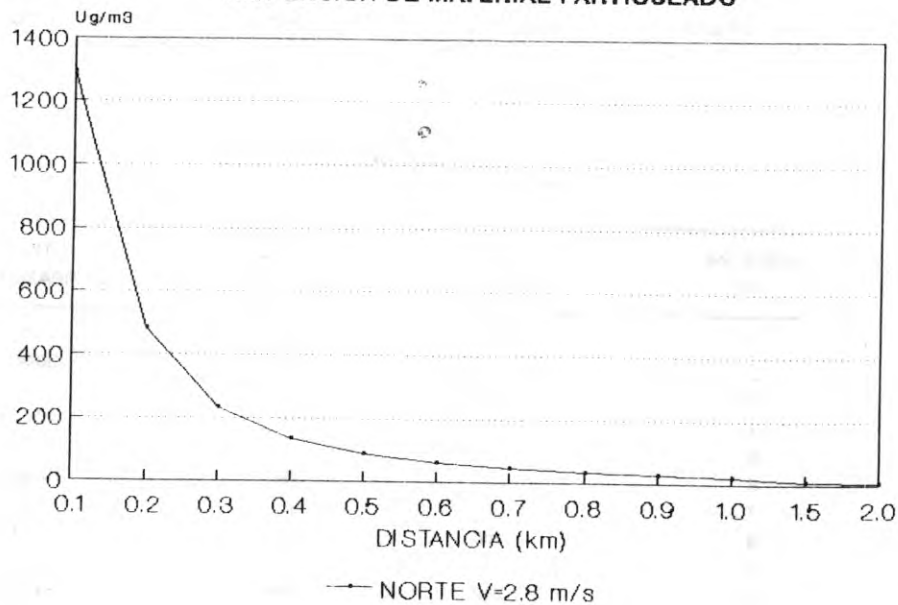
← NOROESTE V=4.2 m/s

**GRAFICA No. 2
DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO**



← OESTE V=3.5 m/s

GRAFICA No. 3
DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO



GRAFICA No. 4
DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO

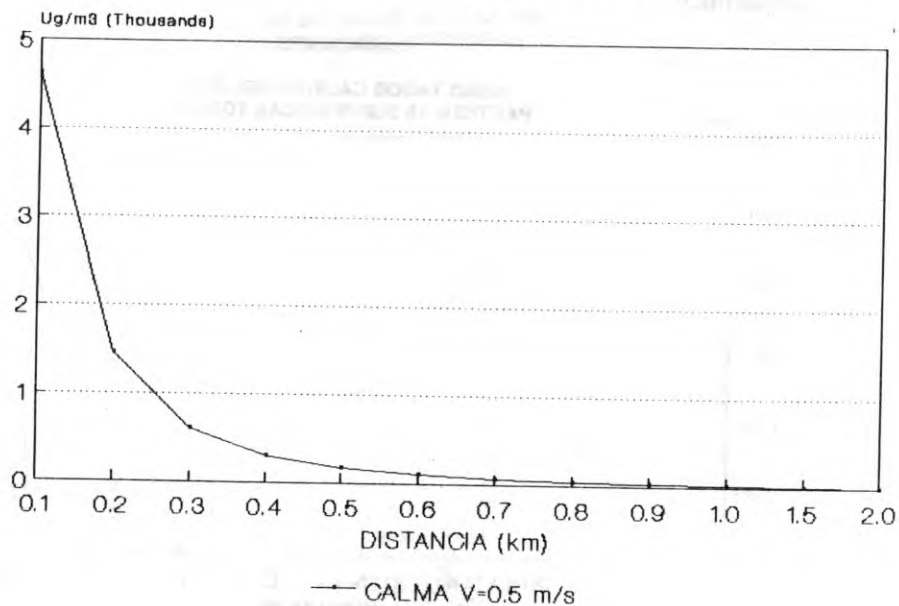
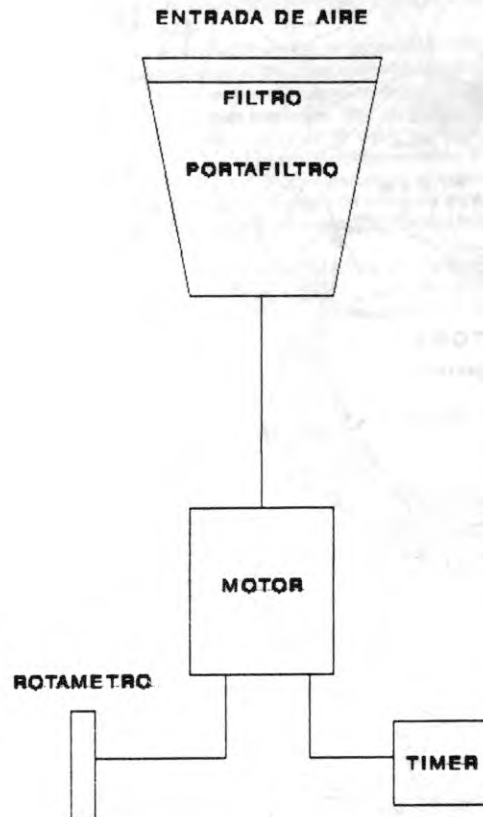


FIGURA 4
ESQUEMA EQUIPO DE MUESTREO



6.4. DELIMITACION DEL AREA DE INFLUENCIA

Para la situación 1 se obtuvo la máxima concentración en el sitio de la emisión y se esperan concentraciones mayores a la norma hasta los 600 metros vientos abajo del sitio de la emisión.

Para la situación 2, igualmente se localizó la concentración máxima en el origen de la emisión. La distancia hasta donde se sobrepasa la norma local calculada es de 400 m.

En cuanto a la situación 3, la máxima concentración se presenta también en el sitio de la emisión y la distancia límite, hasta la cual se sobrepasa la norma de calidad del aire, es de 500 m.

Modelando la situación 4 se obtuvo el punto de máxima concentración en el origen y se sobrepasa la norma hasta los 600 metros a partir del sitio de la emisión.

Todos estos puntos se localizan dentro de las instalaciones de la trituradora.

De acuerdo con estos resultados el área de influencia se extiende hasta los 600 metros alrededor de la planta.

7. CARACTERISTICAS DEL AREA DE INFLUENCIA

7.1. CALIDAD DEL AIRE ACTUAL

Para establecer los niveles actuales de contaminación por partículas suspendidas totales en el aire ambiente de la zona de influencia se instalaron estaciones de monitoreo, de acuerdo con la metodología descrita en los siguientes numerales.

7.1.1. Equipo utilizado

Para la toma de muestras se utilizaron estaciones debidamente calibradas de muestreo de alto volumen.

La determinación de la concentración se basa en el método gravimétrico, utilizando filtros de celulosa.

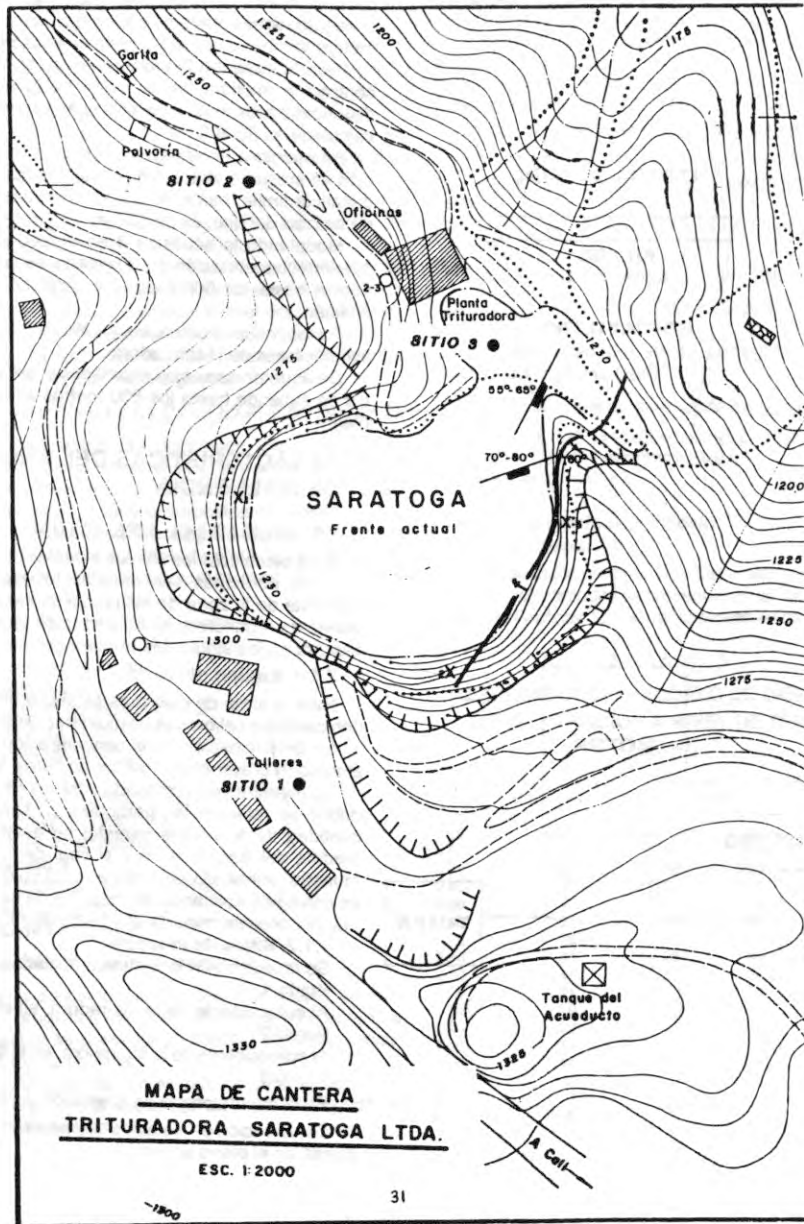
La muestra es succionada a través del papel filtro, donde se retienen las partículas en suspensión. La cantidad de aire de la muestra se establece con la medida del flujo al inicio y al final de la toma de la muestra, utilizando un rotámetro. El flujo así medido, es corregido aplicando la ecuación de calibración del equipo, predeterminada en el laboratorio.

7.1.2. Sitios de muestreo

Se muestrearon tres puntos ubicados así:

- Punto 1
Al suroccidente de la trituradora, en el taller.
- Punto 2
Al noroccidente de la trituradora, en el campamento.
- Punto 3
En el sitio de origen de la emisión, en la trituradora.

La ubicación de los sitios de muestreo puede apreciarse en el plano anexo.



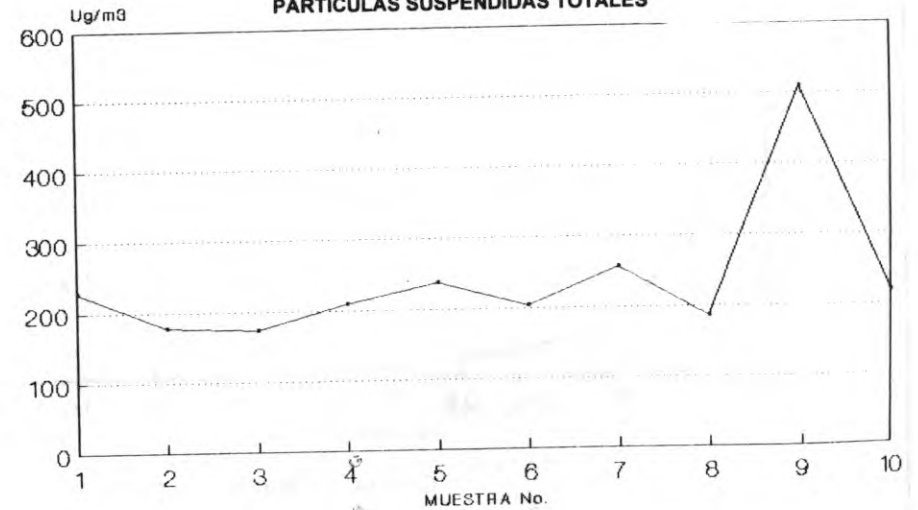
7.1.3. Resultados de las mediciones
En la Tabla No. 4 se presentan los resultados

obtenidos en las mediciones, con los cuales se construyeron las Gráficas 5 a 7.

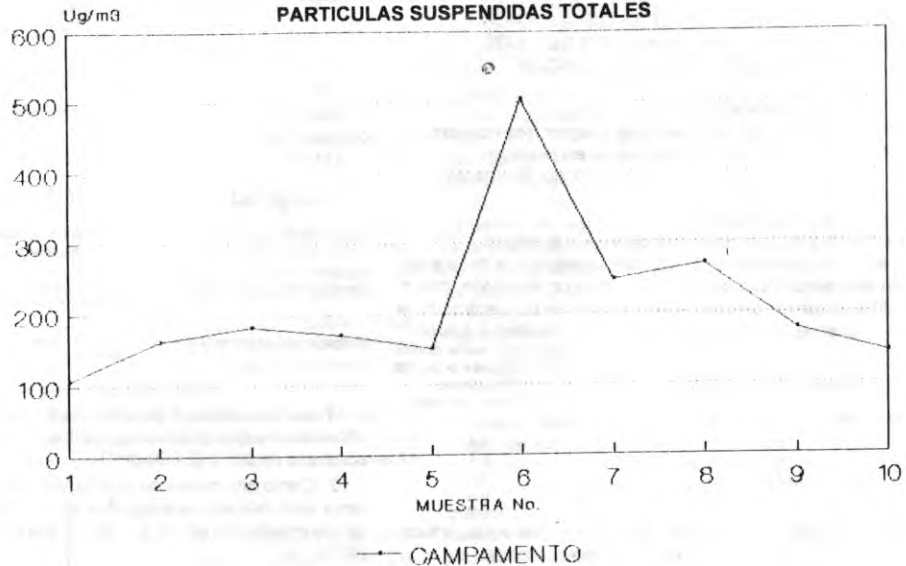
**TABLA No. 4
CALIDAD DEL AIRE ACTUAL
CONCENTRACION A NIVEL DE TERRENO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

MUESTRA N°	SITIO 1 TRITURADORA	SITIO 2 TALLER	SITIO 3 CAMPAMENTO
1	228	106	17842
2	178	162	3044
3	174	183	7286
4	209	170	3560
5	238	151	5626
6	203	504	10322
7	257	247	1604
8	186	269	3754
9	510	178	7752
10	219	144	4246
PROMEDIO GEOMETRICO	228	230	5260

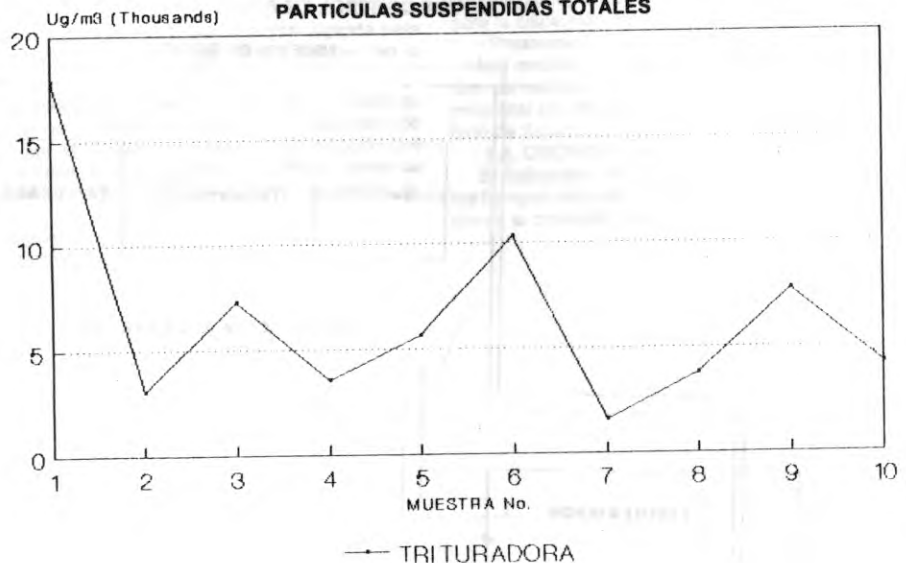
**GRAFICA N° 5
RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES**



GRAFICA N° 6
RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES



GRAFICA N° 7
RESULTADOS CALIDAD DEL AIRE
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES



7.2. CONDICIONES TOPOGRAFICAS DE LA ZONA

La zona de influencia hace parte de la vertiente oriental de la Cordillera Occidental y se localiza en un área montañosa, de ladera, colindante con el valle geográfico. En general el área está localizada entre las cotas 1000 y 1400 en la parte más alta.

7.3. USOS DE LA TIERRA

Casi la totalidad del área de influencia está dentro de la actividad de explotación de minas y canteras. Un mínimo porcentaje se destina a la vivienda y a la actividad comercial.

7.4. OTRAS FUENTES DE CONTAMINACION DEL AIRE

Entre las actividades ajenas al proceso de trituración que pueden estar implicadas como aportantes de contaminación por polvo en la zona se destaca el flujo vehicular en las zonas aledañas. Por un lado está el polvo levantado físicamente en la vía y por otro los gases propios de la combustión de los motores. Para establecer el aporte real del proceso de producción de agregados se realizaron análisis de sílice en algunas de las muestras tomadas, obteniéndose los siguientes resultados.

- Muestra 1: Tomada en la trituradora 54.1 % de sílice
- Muestra 2: Tomada en el taller, 11.3% de sílice
- Muestra 3: Tomada en el campamento, 28.9 % de sílice

Muestra 4: Tomada en el taller, 13.1 % de sílice

8. EFECTOS PROBABLES

8.1. DE LA EMISION DE CONTAMINANTES

Considerando que la única materia prima en la producción de agregados es la roca natural y el proceso de transformación se hace en forma mecánica, el contaminante del aire atribuible al proceso son las partículas totales en suspensión.

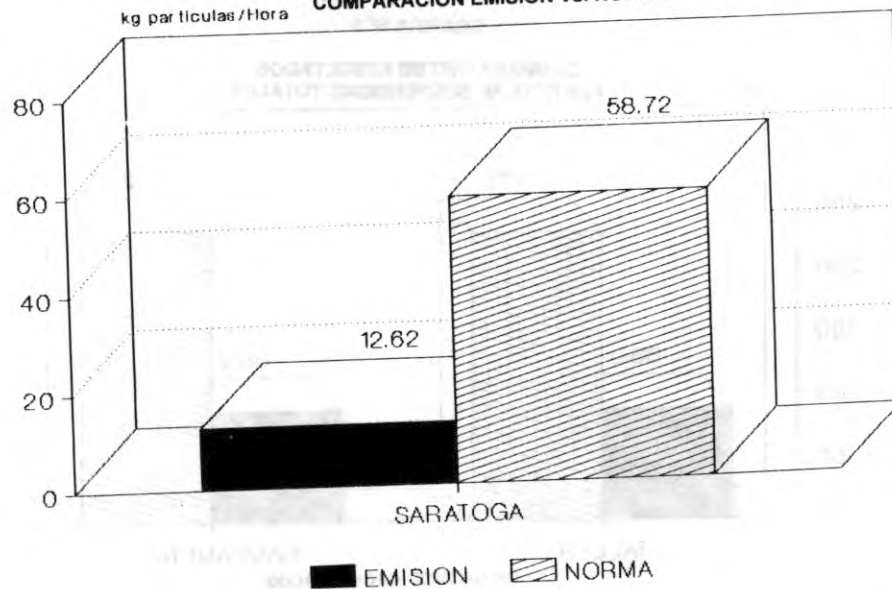
En el caso de la Trituradora Saratoga la emisión de partículas medidas es 4,65 veces menor que el de la norma calculada, (Decreto 02 de enero 11 de 1982), como puede verse en la Gráfica No. 8.

Esta comparación tiene una validez relativa si se tiene en cuenta que el Decreto 02/82 no considera norma de emisión para la actividad específica de la producción de agregados y es necesario compararla con el capítulo "Otras Industrias".

Por otro lado, analizando la actividad de explotación de cantera en forma independiente y de acuerdo con las mediciones de calidad del aire efectuadas en forma continua durante 10 días, no se vislumbra la quema de explosivos como una fuente considerable de emisión de partículas, sobre todo por que es puntual, instantánea y de muy poca duración.

GRAFICA N° 8

COMPARACION EMISION Vs. NORMA



8.2. DE LA DISPERSION DE PARTICULAS

De acuerdo con los resultados del modelo de dispersión aplicado, la concentración de partículas suspendidas a nivel de terreno, que resulta de la actividad de la producción de agregados, sobrepasa la norma local de calidad del aire, hasta una distancia máxima de 600 m, a partir de la cual el aporte de partículas se hace menor que el límite permisible (ver Tabla No. 3).

La condición meteorológica, bajo la cual se dificulta más la dilución de partículas, es la de velocidades bajas y horas de la noche, que en últimas es la que menos se presenta si se tiene en cuenta que la actividad del triturado se realiza durante el día (7 a.m. a 5 p.m.)

Dado que la actividad de producción de agregados es una fuente contaminante de área, la dispersión de las partículas presenta la mayor concentración en el sitio de origen y va disminuyendo a medida que se aleja de la fuente. Este elemento minimiza el impacto sobre el área circundante, trasladándolo sobre todo dentro de los predios de la trituradora.

8.3. DE LA CALIDAD DEL AIRE

Las hipótesis formuladas a partir de los resultados del modelo de dispersión aplicado fueron confirmadas por los datos de los muestreos de partículas realizados en la zona. Es así como, si observamos la Gráfica No. 9, en la cual se realiza una comparación de los resultados en los diferentes puntos, se encuentra una diferencia apreciable entre los niveles del sitio de trituración (5620) y los demás sitios.

Esto se explica por la naturaleza del polvo del triturado, que es de cierta densidad, que no alcanza a ser transportado por el aire hasta lugares distantes.

Las muestras captadas por los equipos medidores contienen otros contaminantes ajenos a la actividad de la producción de agregados, por lo que se determinó el porcentaje de sílice a varias de las muestras, encontrándose un 54,1% de sílice en la muestra del sitio de la emisión y contenidos entre 28,9 y 13,1 en los sitios restantes. Estos resultados comprueban la incidencia de otras fuentes en el nivel de partículas de la zona, fuentes que según el estudio de vientos del área estarían ubicadas al noroeste de la trituradora.

Relacionando los resultados obtenidos del modelo de dispersión con los niveles de partículas medidos en el terreno, se encuentra que la actividad de producción de agregados es fuente de partículas en la zona de influencia, pero ésta se localiza principalmente dentro del perímetro particular de la empresa, y por lo tanto la perturbación ambiental fuera de los predios de la trituradora es menor.

9. ACCIONES DE MITIGACION

Aunque la empresa cumple con la legislación actual relativa a contaminación atmosférica es importante minimizar los efectos de la actividad de producción de agregados en el recurso aire, por lo cual se recomienda la ejecución de un plan general de control de

contaminación del aire el cual se propone a continuación.

PLAN GENERAL DE CONTROL DE CONTAMINACION DEL AIRE EN LA PRODUCCION DE AGREGADOS

9.1. ESTRATEGIA

A nivel macro se trata de integrar tres elementos:

- I. Control del contaminante en el origen
- II. Control de la dispersión del contaminante
- III. Monitoreo continuo

9.2. ACCIONES

9.2.1. Remoción de polvo en el origen

Para definir el porcentaje de eficiencia del equipo de remoción a diseñar se realizó un estimado, con el modelo de dispersión, relacionando concentración a nivel de terreno con emisión. Los resultados fueron:

Remoción en la fuente %	Distancia hasta donde se sobrepasa la norma de calidad del aire (km)
50	0.4
60	0.4
70	0.4
80	0.3
90	0.2

Para controlar el material particulado en las trituradoras se proponen las siguientes opciones:

1. La práctica de trabajar con material húmedo, por el sistema que se muestra en la Figura No. 5. Este procedimiento tiene las siguientes ventajas:

- Facilidad de operación.
- Bajo consumo de energía.
- Baja vulnerabilidad en sus partes, simplificando la operatividad.
- Diseño sencillo, pues los parámetros son:

PARAMETRO	UNIDAD DE TRATAMIENTO
Demanda de agua (m ³ /ton)	Tubería de abastecimiento Especificaciones de la bomba
Cantidad de polvo a remover	Dimensiones del sedimentador Eficiencia del sedimentador
Velocidad de sedimentación	Dimensiones del sedimentador del polvo en agua

Tiene este sistema la desventaja de ser el de más alto costo de operación como también considerable el consumo de agua (2.000 l/m³)

2. Como alternativa se puede trabajar con un sistema semi-húmedo que significa aplicar agua por medio de aspersores en los puntos de alta generación de partículas.

GRAFICA N° 9

COMPARATIVO DE RESULTADOS PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES

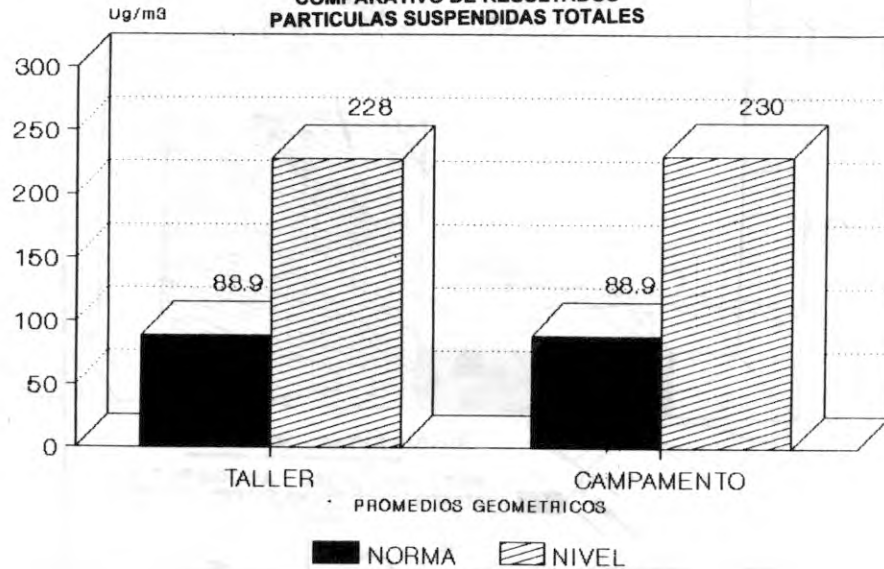
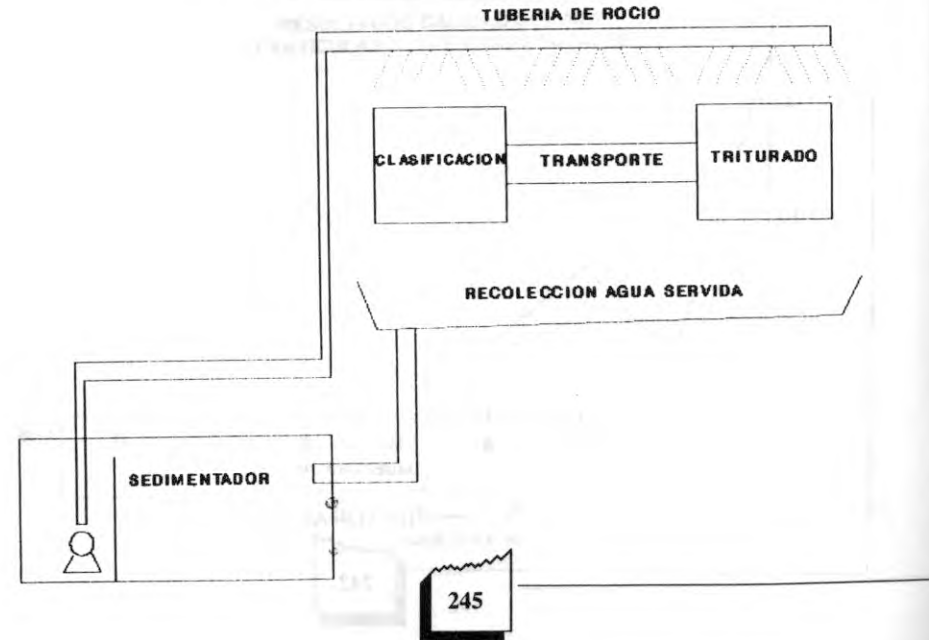


FIGURA N° 5

SISTEMA DE CONTROL DE POLVO



Se estima que por este medio se retienen en el en de 50% de las emisiones que se generan en un sitio específico.

9.2.2. Monitoreo continuo

Como parte fundamental del plan se propone el monitoreo continuo de la calidad del aire, instalando una red de estaciones en diferentes sitios del área de influencia y de acuerdo con los siguientes parámetros:

- Estrategia de muestreo

Se trata de una combinación de dos tipos de muestras:

- a) De polvo sedimentable
- b) De partículas suspendidas totales

Las muestras de polvo sedimentable son una medida presuntiva, de resultados cualitativos, que instalando una red de estaciones, pueden detectar los puntos de máximo impacto en cada época del año.

Con los resultados de polvo sedimentable se seleccionan los sitios para colocar los medidores de alto volumen, con los que se obtiene la concentración de partículas suspendidas totales.

Esta combinación de muestras reduce el número de estaciones de alto volumen, que son mucho más costosas en cuanto precio de compra, mantenimiento y operatividad.

- Equipo de muestreo

Para facilitar el monitoreo se recomienda la instalación de equipos recolectores conocidos como "Colector de Polvo Sencillo". Un esquema de este equipo se muestra en la Figura No.6. El Colector de Polvo Sencillo es un recipiente abierto, al aire libre, construido en polietileno que tiene entre 20 y 33 cm de alto y 10 a 15 cm de diámetro.

Es conveniente añadir una solución algicida para evitar el crecimiento de algas, que interfieren en la muestra.

Para obtener muestras de partículas suspendidas totales se recomiendan las estaciones medidoras tipo Hi-Vol, que consisten en un elemento de succión que obliga a pasar el flujo de aire por un filtro, donde se recolecta la muestra. Posee también un medidor de flujo.

- Ubicación y número de estaciones

Para las muestras de polvo sedimentable se recomienda la ubicación en sitios libres de obstrucciones, a 2.5 m de altura sobre el terreno.

El número aconsejable de estaciones es de uno por hectárea de trabajo.

En los puntos de mayor índice de polvo sedimentable se colocan las estaciones de alto volumen, para cuantificar el polvo suspendido total.

Se recomienda a las empresas estudiadas y a PROAGREGADOS adquirir cuatro (4) estaciones medidoras tipo Hi-Voll que servirán para monitorear las trituradoras del gremio.

El recipiente, tapado y limpio, se lleva al sitio de muestreo, se agrega la solución algicida, se retira la tapa y se coloca el recipiente en el soporte. Después de una exposición de 30 días calendario, se retira el recipiente, se tapa y se lleva al laboratorio, donde por desecación y filtración se obtienen los siguientes resultados:

- Polvo total
- Sólidos solubles
- Sólidos insolubles

Estos resultados se expresan en unidades de masa por área y por mes.

- Interpretación de los resultados

El principal atributo de esta toma de muestra es que se recogen varios gramos, lo que facilita los análisis de laboratorio para identificar el aporte de una planta determinada.

Se detectan cambios en los procesos de la industria.

Se comparan las cantidades de polvo entre los diferentes sectores de la red de muestreo, identificando el impacto, lo que facilita la ubicación de barreras para la dispersión del polvo.

- Presentación de resultados

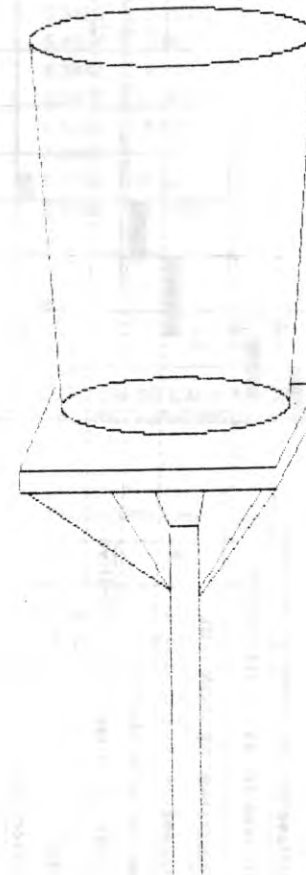
Los resultados mensuales sirven para tomar medidas correctivas internas y por lo menos cada año presentar un informe a la entidad delegada del Ministerio de Salud.

9.3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El flujograma de las actividades propuestas, con los tiempos estimados para cada actividad, se presentan en el cronograma adjunto.

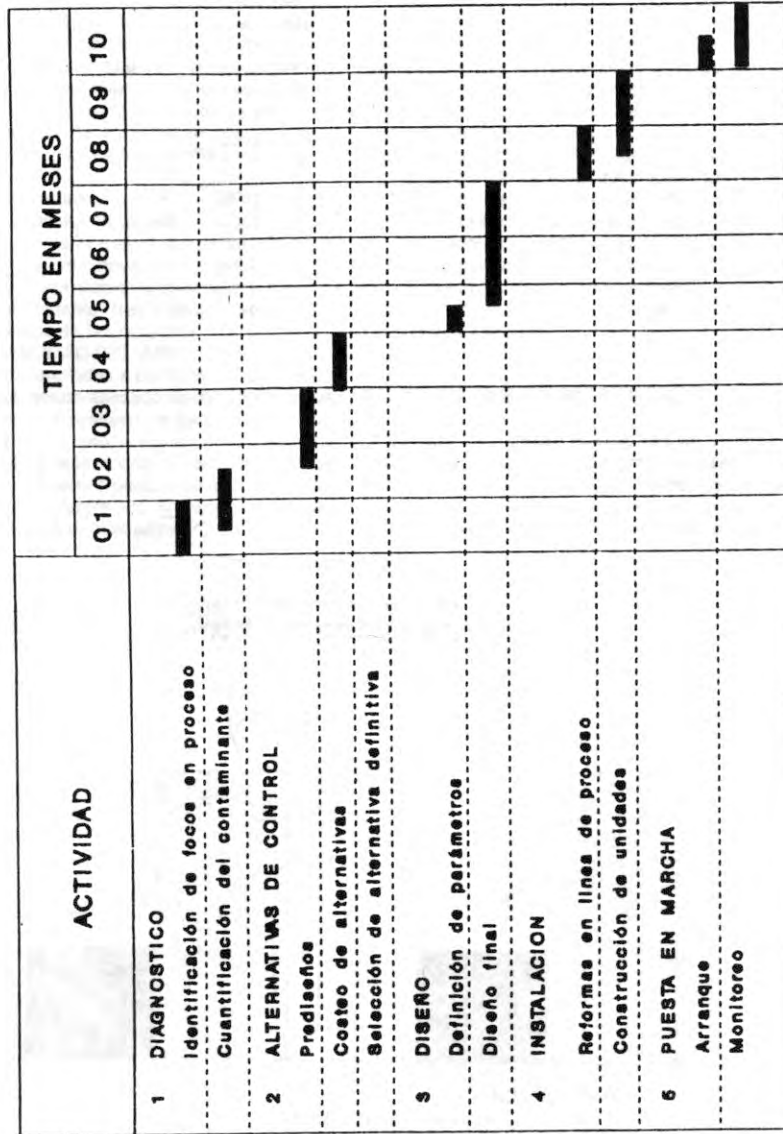
FIGURA N° 6

ESQUEMA COLECTOR DE POLVO SENCILLO





**PLAN CONTROL CONTAMINACION DEL AIRE
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**



ANEXOS

MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora Saratoga
 Dirección de viento: NO
 Velocidad: (m/seg): 4.2
 Estabilidad: C

- X = .1 C = 1165.491 Y = 12.14238 Z = 7.248451
- X = .2 C = 632.3633 Y = 23.42231 Z = 13.79045
- X = .3 C = 341.0388 Y = 34.28185 Z = 20.072
- X = .4 C = 210.2955 Y = 44.85219 Z = 26.18644
- X = .5 C = 142.5236 Y = 55.2004 Z = 32.17772
- X = .6 C = 103.1363 Y = 65.36768 Z = 38.07156
- X = .7 C = 78.25256 Y = 75.38209 Z = 43.88486
- X = .8 C = 61.52257 Y = 85.26407 Z = 49.62953
- X = .9 C = 49.72372 Y = 95.02918 Z = 55.31451
- X = 1 C = 41.08249 Y = 104.6896 Z = 60.94673
- X = 1.1 C = 34.55787 Y = 114.2553 Z = 66.53158
- X = 1.2 C = 29.50598 Y = 123.7343 Z = 72.07361
- X = 1.3 C = 25.51121 Y = 133.1336 Z = 77.5764
- X = 1.4 C = 22.2953 Y = 142.4591 Z = 83.04326
- X = 1.5 C = 19.66633 Y = 151.7156 Z = 88.47672
- X = 1.6 C = 17.48826 Y = 160.9078 Z = 93.87916
- X = 1.7 C = 15.66251 Y = 170.0393 Z = 99.25259
- X = 1.8 C = 14.11616 Y = 179.1137 Z = 104.5987
- X = 1.9 C = 12.79435 Y = 188.1341 Z = 109.9192
- X = 2 C = 11.65512 Y = 197.103 Z = 115.2154
- X = 2.1 C = 10.66593 Y = 206.0232 Z = 120.4886
- X = 2.2 C = 9.801213 Y = 214.8968 Z = 125.74
- X = 2.3 C = 9.040681 Y = 223.7258 Z = 130.9705
- X = 2.4 C = 8.368031 Y = 232.5121 X = 136.1811
- X = 2.5 C = 7.770044 Y = 241.2577 Z = 141.3727
- X = 2.6 C = 7.235929 Y = 249.9638 Z = 146.5461
- X = 2.7 C = 6.756778 Y = 258.632 Z = 151.7019
- X = 2.8 C = 6.325197 Y = 267.2638 Z = 156.8411
- X = 2.9 C = 5.935008 Y = 275.8605 Z = 161.9639
- X = 3 C = 5.581007 Y = 284.423 Z = 167.0711

VELOCIDAD CORREGIDA = 4.2

MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora Saratoga
 Dirección de viento: O
 Velocidad (m/seg): 3.5
 Estabilidad: B

- X = .1 C = 1033.053 Y = 18.71357 Z = 10.16233
- X = .2 C = 385.1409 Y = 35.90141 Z = 20.46173
- X = .3 C = 186.5516 Y = 52.33259 Z = 31.00073
- X = .4 C = 108.7548 Y = 68.24328 Z = 41.74137
- X = .5 C = 70.99804 Y = 83.75465 Z = 52.65638
- X = .6 C = 49.94558 Y = 98.94124 Z = 63.72596
- X = .7 C = 37.03729 Y = 113.8538 Z = 74.9349
- X = .8 C = 28.55956 Y = 128.5293 Z = 86.27135
- X = .9 C = 22.69511 Y = 142.9959 Z = 97.72559
- X = 1 C = 18.47057 Y = 157.2757 Z = 109.2894
- X = 1.1 C = 15.32672 Y = 171.3865 Z = 120.9562
- X = 1.2 C = 12.92388 Y = 185.3429 Z = 132.7199
- X = 1.3 C = 11.04605 Y = 199.1576 Z = 144.5756
- X = 1.4 C = 9.550576 Y = 212.8411 Z = 156.5187
- X = 1.5 C = 8.340192 Y = 226.4023 Z = 168.5453
- X = 1.6 C = 7.346694 Y = 239.8493 Z = 180.6517
- X = 1.7 C = 6.521145 Y = 253.1889 Z = 192.8348
- X = 1.8 C = 5.827668 Y = 266.4275 Z = 205.0916
- X = 1.9 C = 5.239486 Y = 279.5704 Z = 217.4197
- X = 2 C = 4.736292 Y = 292.6225 Z = 229.8162
- X = 2.1 C = 4.302438 Y = 305.5885 Z = 242.2793
- X = 2.2 C = 3.925732 Y = 318.4724 Z = 254.8069
- X = 2.3 C = 3.59655 Y = 331.2776 Z = 267.3967
- X = 2.4 C = 3.307202 Y = 344.008 Z = 280.0476
- X = 2.5 C = 3.051512 Y = 356.6665 Z = 292.757
- X = 2.6 C = 2.824439 Y = 369.2556 Z = 305.5245
- X = 2.7 C = 2.621868 Y = 381.7781 Z = 318.3478
- X = 2.8 C = 2.44039 Y = 394.2367 Z = 331.2255
- X = 2.9 C = 2.277167 Y = 406.6336 Z = 344.1569
- X = 3 C = 2.129829 Y = 418.9708 Z = 357.1407

VELOCIDAD CORREGIDA = 3.5



MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora Saratoga
 Dirección de viento: N
 Velocidad (m/seg): 2.8
 Estabilidad: B

X = .1 C = 1291.316 Y = 18.71357 Z = 10.16233
 X = .2 C = 481.4262 Y = 35.90141 Z = 20.46173
 X = .3 C = 233.1895 Y = 52.33259 Z = 31.00073
 X = .4 C = 135.9435 Y = 68.24328 Z = 41.74137
 X = .5 C = 88.74756 Y = 83.75465 Z = 52.65638
 X = .6 C = 62.43198 Y = 98.94124 Z = 63.72596
 X = .7 C = 46.29661 Y = 113.8538 Z = 74.9349
 X = .8 C = 35.69945 Y = 128.5293 Z = 86.27135
 X = .9 C = 28.36889 Y = 142.9959 Z = 97.72559
 X = 1 C = 23.08822 Y = 157.2757 Z = 109.2894
 X = 1.1 C = 19.15839 Y = 171.3865 Z = 120.9562
 X = 1.2 C = 16.15485 Y = 185.3429 Z = 132.7199
 X = 1.3 C = 13.80756 Y = 199.1576 Z = 144.5756
 X = 1.4 C = 11.93822 Y = 212.8411 Z = 156.5187
 X = 1.5 C = 10.42524 Y = 226.4023 Z = 168.5453
 X = 1.6 C = 9.183369 Y = 239.8493 Z = 180.6517
 X = 1.7 C = 8.15143 Y = 253.1889 Z = 192.8348
 X = 1.8 C = 7.28486 Y = 266.4275 Z = 205.0916
 X = 1.9 C = 6.549357 Y = 279.5704 Z = 217.4197
 X = 2 C = 5.920365 Y = 292.6225 Z = 229.8162
 X = 2.1 C = 5.378048 Y = 305.5885 Z = 242.2793
 X = 2.2 C = 4.907165 Y = 318.4724 Z = 254.8069
 X = 2.3 C = 4.495688 Y = 331.2776 Z = 267.3967
 X = 2.4 C = 4.134002 Y = 344.008 Z = 280.0476
 X = 2.5 C = 3.81439 Y = 356.6665 Z = 292.757
 X = 2.6 C = 3.530549 Y = 369.2556 Z = 305.5245
 X = 2.7 C = 3.277335 Y = 381.7781 Z = 318.3478
 X = 2.8 C = 3.050487 Y = 394.2367 Z = 331.2255
 X = 2.9 C = 2.846459 Y = 406.6336 Z = 344.1569
 X = 3 C = 2.662286 Y = 418.9708 Z = 357.1407

VELOCIDAD CORREGIDA = 2.8

MODELO DE DISPERSION

Fuente: Trituradora Saratoga
 Dirección de viento: CALMA
 Velocidad (m/seg): 0.5
 Estabilidad: A

X = .1 C = 4613.653 Y = 26.68185 Z = 14.09559
 X = .2 C = 1456.822 Y = 50.22446 Z = 28.70523
 X = .3 C = 612.791 Y = 72.46592 Z = 49.23003
 X = .4 C = 309.0483 Y = 93.85185 Z = 76.28431
 X = .5 C = 175.387 Y = 114.5989 Z = 110.5815
 X = .6 C = 108.038 Y = 134.8361 Z = 152.8707
 X = .7 C = 70.67913 Y = 154.6493 Z = 203.9269
 X = .8 C = 48.41956 Y = 174.1 Z = 264.549
 X = .9 C = 34.40258 Y = 193.2342 Z = 355.5584
 X = 1 C = 25.17845 Y = 212.0877 Z = 417.7987
 X = 1.1 C = 18.88601 Y = 230.689 Z = 512.1368
 X = 1.2 C = 14.46298 Y = 249.0617 Z = 619.462
 X = 1.3 C = 11.27417 Y = 267.2253 Z = 740.6882
 X = 1.4 C = 8.924648 Y = 285.1961 Z = 876.7444
 X = 1.5 C = 7.160534 Y = 302.9883 Z = 1028.594
 X = 1.6 C = 5.813849 Y = 320.6147 Z = 1197.219
 X = 1.7 C = 4.770668 Y = 338.0852 Z = 1383.622
 X = 1.8 C = 3.952026 Y = 355.4099 Z = 1588.832
 X = 1.9 C = 3.301989 Y = 373.5971 Z = 1813.904
 X = 2 C = 2.780379 Y = 389.6537 Z = 2059.909
 X = 2.1 C = 2.357784 Y = 406.587 Z = 2327.954
 X = 2.2 C = 2.012409 Y = 423.4035 Z = 2619.161
 X = 2.3 C = 1.727882 Y = 440.1076 Z = 2934.679
 X = 2.4 C = 1.491751 Y = 456.7055 Z = 3275.681
 X = 2.5 C = 1.294451 Y = 473.2008 Z = 3643.37
 X = 2.6 C = 1.12856 Y = 489.5988 Z = 4038.962
 X = 2.7 C = 9882601 Y = 505.9029 Z = 4463.715
 X = 2.8 C = 8689596 Y = 522.1165 Z = 4918.901
 X = 2.9 C = 767001 Y = 538.2435 Z = 5405.807
 X = 3 C = 6794476 Y = 554.2863 Z = 5925.776

VELOCIDAD CORREGIDA = .5

EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE
METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION)

SITIO: SARATOGA

FILTRO Nº	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO Pies ³ minuto		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m ³
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
88	I-30-93	5.6074	17.1387	40	25	17.842
8	II-01-93	5.4315	7.2932	40	20	3044
9	II-02-93	5.3456	9.8224	40	25	7286
10	II-03-93	5.4904	7.6672	40	20	3560
7	II-05-93	5.3842	9.0193	40	25	5626
42	II-06-93	5.5417	11.8526	40	30	10322
44	II-08-93	5.5010	6.8418	40	24	1604
45	II-09-93	5.5366	7.8316	40	20	3754
48	II-10-93	5.5814	10.3214	40	20	7752
51	II-11-93	5.5564	8.1526	40	20	4256

W₁ = Peso Inicial Filtro. grs. Nº 1 9.40+0.085X
 W₂ = Peso Final Filtro con partículas. grs.
 Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo. Pies³/min.

Q₂ = Flujo Final de Muestreo. Pies³/min.
 y = Curva de calibración del Equipo de Muestreo
 (Hr - W11).

EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE
METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION)

SITIO: SARATOGA

FILTRO Nº	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO Pies ³ minuto		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m ³
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
34	I-30-93	5.4785	5.7616	40	25	228
35	I-31-93	5.4768	5.6837	40	20	178
36	II-02-93	5.4965	6.6987	40	20	174
37	II-06-93	5.4438	5.6872	40	20	209
46	II-09-93	5.4776	5.7729	40	25	238
50	II-11-93	5.4879	5.7231	40	20	343
52	II-12-93	5.4945	5.7940	40	20	257
53	II-14-93	5.4627	5.6791	40	20	186
39	II-05-93	5.5046	6.1375	40	25	520
34	II-03-93	5.4926	5.7993	40	25	219

W₁ = Peso Inicial Filtro. grs. No. 5.22 + 0774X
 W₂ = Peso Final Filtro con partículas. grs.
 Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo. Pies³/min.

Q₂ = Flujo Final de Muestreo. Pies³/min.
 y = Curva de calibración del Equipo de Muestreo
 (Hr - W11).

**EVALUACION DE CALIDAD DEL AIRE
METODO GRAVIMETRICO (PARTICULAS EN SUSPENSION)**

SITIO: SARATOGA

CAMPAMENTO

FILTRO Nº	FECHA DE MUESTREO	PESO FILTRO (Grs)		FLUJO DE MUESTREO ^{Pies³} minuto		CONCENTRACION DE PARTICULAS Ug/m ³
		W ₁	W ₂	Q ₁	Q ₂	
19	I-30-93	5.3827	5.50561	40	20	106
20	I-31-93	5.4091	5.6089	40	25	162
29	II-01-93	5.4297	5.6418	40	20	183
30	II-02-93	5.4011	5.9982	40	20	170
38	II-05-93	5.4388	5.6248	40	25	151
40	II-06-93	5.5024	5.0850	40	20	504
41	II-07-93	5.4435	5.7284	40	20	47
43	II-08-93	5.4131	5.7289	40	20	269
47	II-09-93	5.4274	5.6472	40	25	178
49	II-11-93	5.4210	5.5876	40	20	140

W₁ = Peso Inicial Filtro. grs No. 3 5.44 + 0762 X
W₂ = Peso Final Filtro con particulas. grs.

Q₁ = Flujo Inicial de Muestreo. ^{Pies³}/min.
Q₂ = Flujo Final de Muestreo. ^{pies³}/min.

**ANEXO 3
TOMA DE MUESTRAS DE PARTICULAS
EN SUSPENSION**

a) FUNDAMENTO DEL METODO

El procedimiento de muestreo de partículas suspendidas totales se basa en los principios de la Ley de Stoke (Mecánica de fluidos) en la siguiente aplicación:

La forma de los equipos de muestreo, al succionar la muestra, obliga al flujo de aire a cambiar de dirección al menos en 90 grados, antes de alcanzar el filtro.

Las partículas que siguen en el flujo de aire, después del cambio de dirección de 90 grados, han cumplido con la definición de polvo en suspensión, o sea que no sedimentan por acción de la fuerza de gravedad.

b) DESCRIPCION DEL METODO

El equipo de muestreo succiona el aire ambiente haciéndolo pasar por un filtro, donde atrapa las partículas.

El total de partículas se determina en forma gravimétrica, por diferencia en el peso del filtro.

La cantidad de aire muestreado se determina por mediciones de flujo al inicio y al final de la toma de la muestra.

c) PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

A continuación se describe brevemente el procedimiento de muestreo:

- I. Desecado y peso inicial de los filtros
- II. Calibración de los medidores Hi-Voll
- III. Colocación del filtro limpio
- IV. Ajuste de la rata de muestreo
- V. Cambio de filtro y lectura de flujo final
- VI. Desecado y peso final del filtro

d) CALCULOS

Al final de cada muestra se obtienen los siguientes datos:

- Tiempo de muestreo
- Flujo inicial y final
- Material retenido
- Ecuación de calibración del equipo
- Temperatura ambiente promedio

Con estos datos se calcula la concentración de partículas suspendidas totales, en microgramos por metro cúbico, aplicando la siguiente ecuación:

$$C = \frac{(W_2 - W_1)}{((F_1 + F_2) / 2) \times T}$$

Donde:

C : Concentración de partículas suspendidas en aire

W₁ : Peso inicial del filtro

W₂ : Peso final del filtro

F₁ : Flujo inicial del equipo medidor *

F₂ : Flujo al final de la toma de la muestra *

T : Tiempo de muestreo

* El flujo debe corregirse de acuerdo con la ecuación de calibración del equipo, que es de la forma:

$$Y = mX + b$$

Donde:

Y = Flujo corregido

X = Lectura del rotámetro (F₁ y F₂)



REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO

Mayo 17 de 1993

Procedencia de la muestra:
Ingeniero Fabio Franco. Filtros con polvo de mediciones de calidad del aire

Toma de muestras:
Ingeniero Fabio Franco C.

Análisis realizado:
Determinación del porcentaje de Sílice.

Método de Laboratorio: N°. 4258 STANDARD METHODS FOR EXAMINATION.

MUESTRA (Filtro No.)	RESULTADO (%)	MUESTRA (Filtro No.)	RESULTADO (%)
48	54.1	113	63.7
39	11.3	66	37.4
43	28.9	96	48.1
52	13.1	88	39.3
16	54.2	F2	56.8
56	35.2	1	51.2
25	38.1	X2	53.7
08	58.7	51	6.3
86	52.1	01	52.4
26	38.7	107	13.5
38	12.8	111	18.3
49	15.2		

NELVER CASTRO SANCHEZ

Químico

Mat. Prof. PQ = 1017

Efectos ambientales en las canteras/sismica,
ruido, emisiones atmosféricas/Proagregados

338.2 P962e Ej.1

CATALOGADO POR: HELP FILE LTDA

FECHA PEDIDO	PRESTADO A	FECHA DEVUELTO

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA



01002198

BIBLIOTECA