

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 GENERALIDADES**

El *DESARROLLO SUSTENTABLE*<sup>1</sup> es un proceso de transformaciones basadas en la armonía entre la explotación de los recursos, la dirección de las inversiones, la orientación del desarrollo tecnológico y el cambio institucional; todas ellas implican grandes esfuerzos y requieren acciones específicas en los diversos ámbitos de la actividad humana para ser realizadas. Por lo tanto es básico conceptualizar el medio ambiente como un sistema global integrado, con un componente natural y otro socioeconómico, que interactúan en un proceso dinámico e interdependiente, y que la naturaleza no es únicamente la abastecedora de materias primas y receptáculo de los desechos generados por la sociedad, sino el soporte de la vida misma; por ello se deben considerar las características y la evolución de los ecosistemas y de sus componentes, entre ellos, los recursos naturales.

Una de las definiciones más aceptadas de desarrollo sustentable es la que sugiere la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo (INE, 1993):

*"EL DESARROLLO SUSTENTABLE ES AQUEL QUE CUMPLE CON LAS NECESIDADES DE LA GENERACIÓN ACTUAL SIN COMPROMETER LA HABILIDAD DE LAS GENERACIONES FUTURAS DE SATISFACER SUS PROPIAS NECESIDADES"*<sup>2,3,4,5</sup>

Según esta misma comisión, los principios fundamentales para el desarrollo sustentable son los siguientes:

- Capacidad de sostener generaciones futuras
- Promover la buena calidad del aire, agua y suelo
- Planear comunidades libres de desechos y congeniales con ciudadanos activos, con acceso a bosques y agua limpia
- Reconocer que los sistemas ambientales, económicos y sociales, están inseparablemente unidos
- Disponer de empleos en industrias limpias, que hagan un uso innovativo y eficiente de la energía, los materiales y los recursos

Entender la realidad y sus problemas, así como la forma de solucionarlos, requiere de nueva perspectiva de análisis, de una nueva manera de pensar, de una nueva **FILOSOFÍA**.

En un esfuerzo para alcanzar nuevos niveles de eficiencia y competitividad los Estados Unidos, México y Canadá han resuelto integrar sus tres economías.<sup>6</sup> El **CONVENIO DEL LIBRE COMERCIO DE NORTEAMÉRICA (NAFTA)**, ha unido las economías norteamericanas en un mercado de 365 millones de personas, con un producto nacional combinado de 6.5 trillones de dólares. El objetivo del NAFTA es maximizar los usos de los recursos de América del Norte. El hecho de unificar las economías trae como consecuencia que tanto Canadá como los Estado Unidos ejerzan presión sobre México, para que regularice la situación medioambiental de sus industrias.

Hasta ahora, la *regulación* de las industrias, con escasa vigilancia, ha propiciado la permanencia de la producción ineficiente, no competitiva y la obsolescencia, además del daño ambiental.<sup>7</sup> Es necesario un cambio del enfoque de la regulación, puesto que intervenir una vez que se han generado los desechos contaminantes no es muy eficiente. La intervención en el momento de la emisión es factible a partir de controles y de un sistema de vigilancia efectivo que, según otros países, puede llegar a ser muy elevado en costos y también insuficiente en sus alcances. En México un sistema de vigilancia y control puede llegar a ser muy costoso, dada la elevada proporción de unidades económicas pequeñas: 7% de las empresas en el ámbito nacional son grandes, 10% medianas, 39.6% pequeñas y 43% microempresas. Tan sólo para la zona metropolitana de la Ciudad de México representa un universo de 10 080 empresas, relevante en

términos de productividad, pero también de factibilidad de vigilancia y seguimiento. La *industria del control ambiental industrial* cuenta en México con un mercado factible de 400 millones de dólares, creciendo 17% por arriba del PIB. El país se está endeudando con más de 200 millones de dólares sólo para reforestar la Sierra de Guadalupe; se ha abierto mercado de manejo de residuos por más de 7 200 millones de dólares; México obtuvo préstamos por 220 millones de dólares, en 1994, para plantas de tratamiento en la frontera Norte del país. Es difícil comparar este gasto con los 80 millones de dólares que el CONACYT y la iniciativa privada han invertido en modernización tecnológica, desde 1992.

Para la realización de los actos de vigilancia<sup>8,9,10,11,12</sup> y comprobación de las obligaciones que los preceptos jurídicos aplicables les imponen a los gobernados que en alguna forma participan en la afectación del medio ambiente, existía hasta el 31 de mayo de 1995, la *LEY GENERAL DE EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE (L.G.E.E.P.A)*. A partir del día 1° de junio del mismo año, entró en vigor una nueva ley, denominada específicamente: *LEY FEDERAL DE PROCEDIMIENTO ADMINISTRATIVO (L.F.P.A)*, la cual expresa que a partir de la fecha de su vigencia, quedan DEROGADAS todas las disposiciones de las leyes federales que se opongan a los preceptos de la nueva ley. El propósito del legislador fue amalgamar en una sola ley, TODO EL PROCEDIMIENTO ADMINISTRATIVO que se utiliza en el ámbito federal, para manejar bajo un solo criterio y sistema, todos los actos procedimentales de relación jurídica, entre la Administración Pública Federal y las empresas.

## **1.2 LAS NORMAS ISO 14 000**

El alto grado de deterioro ambiental que sufre el planeta, por una parte, y la imposibilidad de las instancias gubernamentales para convencer a los industriales de reducir el impacto ambiental que sus instalaciones causan, motivó a los miembros de la Organización Internacional de Normalización (International Standardization Organization, ISO) a emitir las nuevas normas de la serie 14 000, que se enfocan al control integral de la contaminación que provoca la industria, en general.<sup>13,14,15</sup> Cualquier empresa que adopte tales normas obtendrá, automáticamente amplias ventajas competitivas, sobre todo en los mercados internacionales.

Al igual que las ya conocidas normas ISO 9 000, que tratan todo lo relativo al control total de calidad en la producción de bienes y servicios, las normas ISO 14 000 se enfocan a la protección integral del medio ambiente, desde que se produce un bien hasta que termina su vida útil.

Las normas ISO 14 000 incluyen varias áreas de influencia como son:

- Términos y definiciones
- Sistemas integrales de administración
- Auditorías ambientales
- Etiquetado
- Aspectos ambientales en las normas de los productos

Como un primer paso para la adopción de la nueva normatividad, se contempla la instauración de un sistema integral de administración ambiental (Environmental Management System, EMS) en la empresa interesada en su integración a las normas. Una vez concluida esta etapa, se pasa a las auditorías ambientales y de los resultados de éstas se autorizará o no el uso de la etiqueta correspondiente que informará al consumidor que el producto cumple con las normas ISO 14 000. Finalmente, se pretende que las normas de elaboración de los productos se revisen para identificar los aspectos que causan impactos negativos sobre el medio ambiente y así tratar de reducirlos o eliminarlos definitivamente.

Al igual que las normas de la serie ISO 9 000, las normas ISO 14 000 son de aplicación voluntaria para las empresas; sin embargo, si éstas pretenden incursionar en los mercados internacionales, es muy aconsejable que se integren a esta normatividad debido a las amplias ventajas competitivas que obtendrán. Algunas de las ventajas que las empresas obtienen al adoptar esta normatividad son las siguientes:

1. Al establecer un sistema integral de administración ambiental en cualquier empresa, se descubren y corrigen procesos ineficientes y, por lo tanto, contaminantes, los cuales se pueden optimizar, reduciendo los costos de producción.

2. Similarmente a las normas ISO 9 000, en la nueva normatividad también se incluye a los proveedores dentro del programa de reducción de la contaminación, sugiriéndoles, firmemente, que se integren a las normas ISO 14 000, si quieren seguir siendo proveedores. Esto sobre todo cuando los insumos se originan en procesos de fabricación altamente contaminantes.

3. Parte importante de esta normatividad es el *reciclado, reúso y minimización* de residuos, así como la sustitución de sustancias peligrosas por otras que no lo sean. Lo anterior provoca que las empresas más eficientes y menos contaminantes reduzcan sus costos de producción y por lo tanto puedan ofrecer productos y servicios a un menor precio a sus consumidores. Aquí se hace necesario señalar que la tendencia actual, en relación con el impacto ambiental que produce un proceso de transformación, se dirige principalmente a resolver los problemas, antes de que lleguen al punto de descarga, es decir, en el proceso mismo.

4. Desde el punto de vista del mercado internacional, las empresas que cumplan con las normas ISO 14 000 tendrán un acceso preferencial a los grandes mercados de los países desarrollados, cuyas industrias ya estén integradas a dichas normas, mientras que aquellas empresas que no lo hagan, seguramente sufrirán algún tipo de sanción que reducirá su capacidad competitiva.

5. Finalmente, el empleo de la etiqueta que identifique a los productos que cumplan con las normas ISO 14 000 seguramente atraerá la atención de aquellos consumidores conscientes de la protección del medio ambiente.

Por los motivos anteriores es que actualmente las industrias mexicanas están adoptando tecnologías limpias y planificando métodos de controles eficaces para reducir la contaminación y cumplir con los principios ambientales de manera rentable. Entre ellas la *industria cerámica*, la cual contamina el medio ambiente con partículas de polvo proveniente del manejo de su materia prima: arcillas, barros, etc. En particular, la industria cerámica, objeto de nuestro estudio, tiene por objetivo certificarse con ISO 14 000.

## 1.3 ANTECEDENTES

### 1.3.1 LA CERÁMICA EN LA HISTORIA

Un recorrido histórico por los antecedentes de la industria cerámica muestra la influencia de España en el nacimiento y evolución de las baldosas cerámicas, adaptando las aportaciones de la cultura musulmana desde el siglo XI. La Península Ibérica se convertiría durante la Edad Media en el lugar de encuentro de la rica tradición cerámica tardorromana y visigótica, el bagaje tecnológico y la tradición egipcio-mesopotámica, junto a los aportes estéticos y a los nuevos valores del mundo cristiano, de procedencia nórdica y mediterránea.

Entre las novedades tecnológicas que llegaron con la irrupción en España de la cultura musulmana, se distinguen diversos procedimientos cerámicas dirigidos a dotar al producto de una capa vítrea que lo impermeabiliza y que constituye, además, el soporte y cubierta de su eventual cromatismo. Son el vidriado *plumbífero* transparente o ligeramente coloreado en tono verde, la decoración sobre engobe blanco y bajo barniz transparente, y la decoración de reflejos metalizados originaria de Mesopotamia, Persia o Egipto.

Las primeras muestras de cerámica esmaltada aplicadas a la arquitectura son de finales del siglo XII. Los especialistas parecen entroncar las técnicas utilizadas y su profusa aplicación a la arquitectura con Persia, sospechándose el impulso que tras la irrupción de Gengis Khan en Irán, pudieron haber ejercido en el desarrollo de alicatado en los siglos XIV y XV familias de alfareros emigradas a Al Andalus o Andalucía. El uso de pavimentos alicatados sería costumbre extendida en el sur de España. Antes de 1240, Ibn Said se refiere a la cerámica fabricada en Andalucía, donde se aplicaba al pavimento de las casas llamado a-zala - iyi o azulejos.

La zona en torno a Valencia constituía ya en época musulmana un importante foco de producción cerámica y la habilidosa política comercial fue el mejor soporte de una red de distribución de los productos cerámicas por los distintos estados cristianos y musulmanes del Mediterráneo, a través del puerto de Valencia, por entonces el más

activo del Mediterráneo. Es conocido el trato de favor que dispensó a los productos de Manises la República de Venecia. También se colocaron azulejos de Manises y Paterna en construcciones de Liguria, y se enviaron hasta Egipto, Siria e incluso Turquía. Pero fue Italia tal vez el cliente más importante. Entre 1445 y 1457, Alfonso el Magnánimo mandó pavimentar su palacio de Castel Nuovo, en Nápoles.

Estos son los antecedentes más destacados de la cerámica, unos orígenes llenos de historia, tradición y cultura. Más tarde, en los siglos XVII y XVIII, se producirán cambios sustanciales que motivarían fuertes fluctuaciones en los centros de producción, entrando posteriormente, en el XIX y principios del XX, en una etapa postindustrial, que desembocaría en la aparición de los primeros catálogos impresos, la incorporación de aspectos promocionales al producto y la Exposición Universal de Barcelona en 1888. Los azulejos de la primera mitad del siglo XIX se pueden calificar todavía de artesanales, entroncados con las técnicas y decoraciones barrocas. A lo largo de la *centuria* asistimos a una gradual evolución, tanto en la conformación como en la decoración. De este modo se observa una disminución paulatina del tamaño, grosor y peso de las piezas, con tendencia hacia una homologación, propiciada por la gran demanda y los avances técnicos.

Solamente el *mercado español* produjo durante el año 1999 un total de 602 millones de m<sup>2</sup> de soportes cerámicos vidriados, lo que representa un incremento del 6.7% respecto a su producción del año 1998. Esta actividad industrial, por su naturaleza, utiliza las siguientes materias primas:

- Tierras y arcillas
- Minerales
- Vidrios

En particular, las tierras y arcillas son las de mayor impacto ambiental, ya que el mal manejo de las mismas, durante el proceso, producen polvos que afectan al medio ambiente por un exceso de partículas suspendidas.

### 1.3.2 VENTAJAS DE LOS RECUBRIMIENTOS CERÁMICOS

Los *azulejos o baldosas cerámicas* son piezas planas de poco espesor, fabricadas con arcillas, sílice, fundentes, colorantes y otras materias primas. Generalmente se utilizan como pavimentos para suelos y revestimientos de paredes y fachadas. Las arcillas utilizadas en la composición del soporte pueden ser de *cocción roja* o bien de *cocción blanca*. Los azulejos, tanto de pavimento como de revestimiento de paredes, son piezas cerámicas impermeables que están constituidas normalmente por un soporte arcilloso y un recubrimiento vítreo: el *esmalte cerámico*. La extensa gama de productos cerámicos existente en el mercado actual está condicionada por las variadas utilidades de este material de construcción. En función de su aplicación, existe diferente tipología de producto y características. En la actualidad, se utilizan en *pavimentos y revestimientos*.

Algunos usos de los pavimentos son los siguientes:

- Pavimento interior de viviendas
- Pavimento exterior o de terrazas
- Pavimentos de locales públicos, como los hospitales, escuelas, etc.
- Pavimentos diversos, como piscinas, suelos industriales, etc.

Algunos usos de los revestimientos son los siguientes:

- Revestimiento interior de viviendas, en cocinas, baños, etc.
- Revestimiento exterior como terrazas
- Revestimientos diversos



La utilización del azulejo como elemento de la construcción se está generalizando en todo el mundo. Hoy día ya no sólo se usan en países donde por razones históricas se aplican de una forma generalizada, sino también otras culturas comienzan a descubrir sus ventajas. Estas son algunas de ellas:

## **1. PRODUCTO NATURAL**

Los pavimentos y revestimientos cerámicos son piezas impermeables constituidas por un soporte de naturaleza arcillosa, con o sin un recubrimiento esencialmente vítreo: el esmalte cerámico. Las materias primas que lo forman provienen de la tierra que, junto con el agua y el fuego de cocción, componen un producto natural y de alta calidad. Gracias a la utilización de estos materiales y el alto desarrollo tecnológico, hoy día existe una amplia oferta de productos cerámicos que ofrecen muchas ventajas. Y todo ello, sólo con la utilización de tres elementos básicos del medio ambiente: la tierra o la arcilla, el agua y el fuego.

## **2. FÁCIL DE LIMPIAR**

La cerámica se caracteriza por su alta facilidad de limpieza, su capacidad de preservación de la suciedad y de cualquier tipo de contaminación. La naturaleza de la superficie cerámica evita cualquier fenómeno de adherencia, y las grasas se pueden eliminar con gran facilidad. Gracias a ello, hoy en día se ha generalizado su uso en los baños, cocinas, hospitales, laboratorios, piscinas e instalaciones industriales, donde su uso evita la generación de suciedad y olores. Por otro lado, su capacidad de aislante eléctrico, repercute en que los recubrimientos cerámicos eviten la captación del polvo ambiental eléctricamente activo y, con ello contribuyen al bienestar.

### **3. HIGIÉNICO Y ANTIALÉRGICO**

La capacidad del recubrimiento cerámico de prevenir la humedad, evita el desarrollo de colonias de gérmenes y hongos, que se generan con facilidad en construcciones donde la impermeabilización es deficiente. La acción de estos organismos sobre algunos recubrimientos no cerámicos es progresiva y puede ocasionar manchas en su superficie y deterioro de su interior. Por ello también se ha extendido su utilización en donde el uso del agua es continuado, como en baños, cocinas, instalaciones industriales, laboratorios, piscinas y fachadas.

### **4. INSTALACIÓN DEFINITIVA**

Los recubrimientos cerámicos no necesitan ningún mantenimiento después de su puesta en obra, excepto las normales operaciones de limpieza. Su resistencia a los cambios bruscos de temperatura, a los agentes químicos y biológicos, su dureza y resistencia al rozamiento repercute en su gran durabilidad en las edificaciones. Una nueva instalación de azulejos puede permanecer intocable en cualquier lugar. Por ello se ha proliferado su utilización en todos los lugares, destacando en las fachadas, en los espacios públicos, centros comerciales, paseos y avenidas. También su incombustibilidad evita la propagación de incendios.

### **5. INERTE**

Su carácter inerte, es decir, que repele cualquier posibilidad de vida biológica, evita la degradación del medio ambiente, pues el barro o la arcilla, una vez pasada la fase de cocción, adquiere la misma propiedad que la piedra o elementos de la naturaleza similares.

### **1.3.3 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS CERÁMICOS**

La fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos ha experimentado cambios considerables y continuos en los últimos años. Los revestimientos cerámicos son normalmente porosos, lo que favorece la adherencia a la pared. En cambio, los pavimentos poseen una porosidad baja, inferior al 3% frente a la absorción de agua, con lo que se consiguen mejores características técnicas. Tradicionalmente, el azulejo ha sido fabricado siguiendo métodos diferentes y mediante un proceso prácticamente manual. A partir de los años sesenta, se ha ido automatizando y los métodos se han unificado bastante, siendo el más común el de *prensado en seco*, pudiendo continuar la fabricación por medio de un proceso de *bicocción* o de *monococción*.

#### **➤ PROCESO DE BICOCCIÓN**

En este proceso, la pasta prensada se quema para formar el bizcocho y, posteriormente se aplica el esmalte sobre éste y se cuece nuevamente para dar el acabado final.

#### **➤ PROCESO DE MONOCOCCIÓN**

En el proceso de monococción el esmalte se aplica directamente sobre la pasta prensada y cruda, ambas se queman simultáneamente para dar el acabado final. Durante muchos años ha existido la controversia acerca de cuál de los dos métodos es mejor. En realidad, teniendo la formulación adecuada, tanto del cuerpo como del esmalte, y observando un rigido control de todas las etapas de fabricación, es posible producir un buen azulejo con cualquiera de los dos métodos. Tradicionalmente era más utilizado el proceso de bicocción, con ciclos de cocción de cuarenta y veinte horas para la primera y segunda cocción respectivamente (cocción del soporte y del esmalte). Actualmente es más interesante el proceso de monococción, con ciclos de sólo cuarenta o cincuenta

minutos de duración. Además, junto a la economía del proceso de monococción va unida una gran facilidad para la automatización de los diferentes procesos de fabricación, con el consiguiente resultado en la reducción de costes.

Los pavimentos y revestimientos cerámicos se obtienen preparando una composición de materias primas depuradas, formada por silicatos aluminicos, siendo las composiciones diferentes para el caso de los pavimentos y revestimientos cerámicos en pasta roja o en pasta blanca. Estas composiciones se someten a un tratamiento de molienda vía seca o vía húmeda, hasta una granulometría muy fina, y a una granulación o un secado por atomización posterior para conseguir un granulado de características definidas (tamaño, forma, densidad aparente, fluidez, etc.). El polvo granulado es la base para la consecución del producto cerámico y su homogeneidad garantiza la constancia en las propiedades físicas de estos materiales. El granulado alimenta a una prensa oleodinámica con una fuerza de 600 a 1400 Tm. que conforma la pieza a la forma y espesor elegidos, para lo que se dispone de moldes metálicos de gran exactitud dimensional. Posteriormente se realiza el secado de las piezas conformadas y se esmaltan con varias capas de esmaltes de composición diversa y con decoraciones opcionales según el modelo a elegir. Una vez realizada la etapa de esmaltado y decoración de las piezas se introducen en un horno para su cocción en ciclos más o menos rápido y temperaturas altas según el tipo de productos a fabricar. Las temperaturas máximas dependen del tipo de producto que se desee conseguir.

El esmalte cerámico y la decoración dan a los azulejos su belleza y las características técnicas superficiales deseadas. En el caso de los revestimientos cerámicos la impermeabilidad, resistencia a los detergentes, etc., y en el caso de los pavimentos cerámicos su resistencia a la abrasión, resistencia a los ácidos, resistencia al rayado, etc. La tecnificación, la exigencia del control de proceso, el cuidadoso diseño adecuado para las necesidades de cada ambiente y el esmero en la clasificación, dan como resultado un producto de características homogéneas y de acuerdo con las exigencias de uso.

## 1.4 CONTAMINACIÓN DEL AIRE

La contaminación del aire forma parte de la vida moderna, aunque no es un fenómeno reciente.<sup>16</sup> En 1272, el Rey Eduardo I de Inglaterra trató de despejar los cielos llenos de humo sobre Londres, al prohibir el uso de carbón marítimo.

Procesos naturales, como por ejemplo incendios forestales, descomposición de la vegetación, tormentas de polvo y erupciones volcánicas, siempre han contaminado el aire. A pesar de que la producción mundial total de muchos de los gases y materiales particulados reconocidos como contaminantes es mucho mayor cuando procede de fuentes naturales, la distribución y dispersión global de dichos contaminantes resulta en concentraciones promedio de un bajo valor. Mediante la precipitación, oxidación y absorción en los océanos y el suelo, la atmósfera se puede limpiar por sí sola, si se le da el tiempo suficiente. Además, los contaminantes producidos por el hombre se concentran por lo general en regiones geográficas de poca extensión; por lo tanto, la mayor parte de la contaminación del aire es provocada por el hombre. En realidad, la tasa a la que se descargan los contaminantes a la atmósfera en regiones densamente pobladas, excede a veces la *tasa de limpieza de la atmósfera*.

Se define *CONTAMINACIÓN DEL AIRE*, como la presencia en la atmósfera de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas o de la propiedad, que interfiera el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades.

Un método para definir un contaminante del aire consiste primero en especificar la composición del *aire atmosférico seco, limpio*, y luego de clasificar todos los otros materiales o las cantidades aumentadas de dichos materiales presentes en la composición del aire atmosférico, considerados ellos como contaminantes. Los datos de la Tabla 1.1 muestran la composición química del aire atmosférico seco, que se encuentra usualmente en las áreas rurales.

**Tabla 1.1 Composición química del aire atmosférico seco**

<b>SUSTANCIA</b>	<b>CONCENTRACIÓN en ppm</b>
<b>Nitrógeno</b>	780 900
<b>Oxígeno</b>	209 400
<b>Argón</b>	9 300
<b>Dióxido de carbono</b>	315
<b>Neón</b>	18
<b>Helio</b>	5.2
<b>Metano</b>	1.2
<b>Criptón</b>	0.5
<b>Hidrógeno</b>	0.5
<b>Xenón</b>	0.08
<b>Dióxido de nitrógeno</b>	0.02
<b>Ozono</b>	0.01 - 0.04

Es común expresar la concentración de un contaminante presente en el aire en las unidades *partes por millón (ppm)*, de manera que:

$$1 \text{ ppm} = \frac{1 \text{ volumen de contaminante}}{10^6 \text{ volúmenes de aire + contaminante}}$$

Los distintos contaminantes que puede tener el aire son los que a continuación se detallan:

- Materia particulada o partículas
- Compuestos que contienen azufre
- Compuestos orgánicos

- Compuestos que contienen nitrógeno
- Monóxido de carbono
- Compuestos halogenados
- Compuestos radiactivos

La materia particulada se divide frecuentemente en subclases, que incluyen:

- Polvo fino, menor de 100µm de diámetro
- Polvo grueso, mayor de 100µm de diámetro
- Vapores, de 0.01 a 1µm de diámetro
- Neblinas, de 0.1 a 10µm de diámetro

Los vapores son partículas formadas por condensación, sublimación o reacción química y a veces se los designa como *humos*. Los vapores, humos, niebla y neblina forman una clase más amplia llamada *aerosoles*.

Los *contaminantes primarios* son los emitidos directamente por las fuentes, mientras que los *secundarios* son los que se forman por reacciones químicas entre los contaminantes primarios y las especies químicas que usualmente se encuentran en la atmósfera. La Tabla 1.2 presenta una lista de contaminantes primarios y secundarios para las clases de sustancias.

**Tabla 1.2** Clasificación general de los contaminantes gaseosos del aire

<b>CLASE</b>	<b>CONTAMINANTES PRIMARIOS</b>	<b>CONTAMINANTES SECUNDARIOS</b>
Compuestos que contienen azufre	SO <sub>2</sub> – H <sub>2</sub> S	SO <sub>3</sub> – H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – sulfatos
Compuestos orgánicos	Compuestos de C <sub>1</sub> y C <sub>5</sub>	Cetonas – Aldehídos - ácidos
Compuestos que contienen nitrógeno	NO – NH <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub> – nitratos
Óxidos de carbono	CO – CO <sub>2</sub>	Ninguno
Halógenos	HCl - HF	Ninguno

## 1.4.1 PARTÍCULAS

**PARTÍCULA** es un término que se emplea para describir los materiales sólidos y líquidos dispersos y arrastrados por el aire. Son mayores que  $0.0002 \mu\text{m}$  y menores que  $500 \mu\text{m}$ , entre las que se encuentran las partículas de polvo de roca empleadas en la industria cerámica, cuyos tamaños oscilan entre 1 a  $10 \mu\text{m}$ . Las partículas con un tamaño menor a  $0.1 \mu\text{m}$  muestran un comportamiento similar al de las moléculas y están caracterizadas por grandes movimientos aleatorios causados por colisiones con las moléculas de gas, este movimiento se llama BROWNIANO. Las partículas mayores de  $1 \mu\text{m}$ , pero menores de  $20 \mu\text{m}$ , tienden a seguir el movimiento del gas por el que son llevadas; en cambio, las partículas mayores de  $20 \mu\text{m}$  poseen velocidades de asentamiento significativas. Existe una extensa variedad de partículas y tamaños, algunas de las cuales se muestran en la Tabla 1.3.

Entre los efectos adversos que la alta concentración de partículas producen encontramos que:

- Representan un riesgo para los pulmones
- Incrementan las reacciones químicas en la atmósfera
- Reducen la visibilidad
- Aumentan la posibilidad de la precipitación de la niebla y las nubes
- Ensucian las materias que se encuentran en el suelo

La magnitud del problema en cada una de las áreas anteriores es una función del tamaño de las partículas presentes en la atmósfera local, la concentración y la composición fisicoquímica de las mismas. Es por ello que al momento de evaluar los efectos, es necesario examinar cada uno de estos factores.



**Tabla 1.3 Tamaños y tipos de partículas**

		DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MICROMETROS														
		0.0001	0.001	0.01	0.1	1	10	100	1000	10000						
Tamaños equivalentes										60	40	20	12	6	3	
		TAM. Z. DE REJILLA														
		100 5 30 16 8 4														
Definiciones Técnicas	Dispersoides de Gas	Sólidos	Vapores				Polvo									
		Líquidos	Niebla				Rocio									
Dispersoides atmosféricos usuales		Nebluma				Nubes Niebla		Neblina		Lluvia						
Dispersoides típicos de partículas y gases						Humo Petrolero		Ceniza fina		Fertilizante						
						Humo cigarro		Polvo/carbón								
		Polvos y vapores metalurgicos				Polvo de cemento		Arena								
						Negro de humo		Carbón pulverizado								
						Pigmentos pinturas										
						Vapores de óxido de Zn		Insectic								
						S. c. colada		Talco molido								
						Vapores alcalinos		Polvo en								
		Polvo atmosférico														
		Combustión				Polvo perjudicial para los pulmones										
		Virus				Bacterias										
	Tipos de equipos de purificación de aire		Ultrasonido				Separadores centrífugos									
		Lavadores húmedos														
		Colectores de tela				Filtros de aire										
		Filtros de aire especiales														
		Lechos empacados				Separadores mecánicos										
		Precipitadores eléctricos														
		DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MICROMETROS														
		0.0001	0.001	0.01	0.1	1	10	100	1000	10000						

## 1.4.2 EFECTOS DE LAS PARTÍCULAS EN LA ATMÓSFERA SOBRE LOS MATERIALES, LA VEGETACIÓN Y LOS ANIMALES

Las partículas arrastradas por el aire<sup>17</sup> pueden ser en sí, químicamente inertes o químicamente activas; podrán ser inertes pero absorber de la atmósfera sustancias químicamente activas; o si no, se pueden combinar para formar especies químicamente activas. Dependiendo de su composición química y estado físico, las partículas causan grandes daños a los materiales. Las partículas pueden causar daños químicos directos, ya sea por corrosividad intrínseca o por la acción de sustancias químicas absorbidas o adsorbidas, por partículas inertes emitidas a la atmósfera. En general, los metales pueden resistir la corrosión en solo el aire seco o aún en aire limpio húmedo. Sin embargo, las partículas higroscópicas que se encuentran usualmente en la atmósfera pueden corroer las superficies metálicas sin que esté presente contaminante alguno.

Las características de los polvos son importantes cuando se estudian los efectos que ellos provocan sobre la vegetación, los cuales pueden ser físicos o químicos. Al depositarse polvo sobre las hojas de las plantas pueden provocar el ahogamiento de las mismas. Es por ello que el *nivel absoluto de deposición* es un parámetro importante, el cual es afectado por el nivel de emisión de polvos, las condiciones meteorológicas y las condiciones en las cuales se encuentra la planta. Los efectos químicos del polvo sobre la planta son quizás más importantes que los efectos físicos. El polvo de cemento es altamente alcalino, algunas veces alcanza niveles de hasta un pH = 12 y los análisis indican que contiene metales y bisulfatos, todo lo cual podría tener un efecto tóxico sobre la vegetación. El polvo de roca también contiene cierta concentración de metales, lo que provoca que el mismo tenga comportamiento alcalino con altos niveles de calcio. En cambio, el polvo de carbón contiene sustancias tóxicas como lo son los compuestos de fluoruro y sulfuros. La Tabla 1.4 presenta los resultados de un estudio hecho con distintas especies de plantas.

Tabla 1.4 Efectos de los polvos en diferentes plantas

PLANTA	POLVOS	NIVEL mg/cm <sup>2</sup>	EFFECTOS	REFERENCIA
<i>Vitis vinifera</i>	Cemento	-	Bloqueo	Pierce <sup>18</sup> (1909)
<i>Lycopersicon esculentum</i>	Carbón vegetal, CaCO <sub>3</sub> ó Al(OH) <sub>3</sub>	-	Incremento de transpiración	Duggar & Cooley <sup>19</sup> (1914)
<i>Rubus idaeus</i>	Cemento	-	Inhibición de la germinación con polen	Anderson <sup>20</sup> (1914)
<i>Avena sativa</i> , <i>Trifolium repens</i> , <i>Beta vulgaris</i> & <i>Lolium temulentum</i>	Cemento, cal	0.7 – 1.5	No existen efectos	Scheffer & Pajenkamp <sup>21</sup> (1961)
<i>Beta vulgaris</i>	Cemento	-	Muerte celular	Czaja <sup>22</sup> (1961)
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Cemento	0.6	Reducción de la fotosíntesis	Darley <sup>23</sup> (1966)
<i>Triticum aestivum</i>	Cemento	7.0	Reducción de la transpiración	Singh & Rao <sup>24</sup> (1981)
<i>Zea mays</i>	Cemento	0.2 – 1.2	Reducción de las semillas	Sree Ramgasay & Jambulingan <sup>25</sup> (1973)
<i>Zea mays</i>	Cemento	0.2 – 10.9	Reducción vegetativa	Parsatharathy <sup>26</sup> (1975)
<i>Beta vulgaris</i> , <i>Medicago sativa</i>	Cemento	-	Incremento de hongos en hojas	Taylor <sup>27</sup> (1986)
<i>Gossypium hirsutum</i>	Cemento	0.4	Incremento de clorofila	Oblisami <sup>28</sup> (1978)
<i>Helianthus annus</i>	Cemento	0.5 – 1.0	Reducción de la fotosíntesis	Borka <sup>29</sup> (1980)

**Tabla 1.4 Continuación**

<i>Brassica campestris</i>	Cemento	3.0 – 5.0 – 7.0	Reducción del crecimiento	Shukla <sup>30</sup> (1990)
<i>Triticum aestivum</i> , <i>Zea mays</i>	Cemento	-	-	Hindy <sup>31</sup> (1990)
<i>Pisum sativum</i>	Inertes	-	Incremento de la transpiración	Eveling <sup>32</sup> (1969)
<i>Pisum sativum</i> , <i>Zea mays</i> , <i>Hordeum distichon</i>	Cenizas	-	Decrecimiento de la resistencia	Krajickova & Mejstrik <sup>33</sup> (1984)

Los efectos que se han observado van desde inhibición del crecimiento hasta muerte celular, es decir, que el polvo depositado sobre las plantas tiene en todos los casos efectos adversos al desarrollo normal de las mismas.

De igual forma, distintos investigadores han estudiado los efectos del polvo sobre distintas especies de árboles y los resultados están vertidos en la Tabla 1.5.

**Tabla 1.5 Efectos de los polvos en diferentes árboles**

<b>PLANTA</b>	<b>POLVOS</b>	<b>NIVEL mg/cm<sup>2</sup></b>	<b>EFFECTOS</b>	<b>REFERENCIA</b>
<i>Árboles frutales</i>	Cemento	-	Bloqueo del crecimiento	Pierce <sup>18</sup> (1909)
<i>Citrus authantium</i> <i>Citrus limon</i>	Cemento y polvo de roca	-	Reducción de producción de frutas y del crecimiento de las hojas	Parish <sup>34</sup> & Pierce <sup>35</sup> (1910)

Tabla 1.5 Continuación

<i>Prunus avium</i> , <i>Malus domestica</i> , <i>Pyrus communis</i>	Cemento	-	Reducción de la producción de fruta	Anderson <sup>20</sup> (1914)
<i>Tilia cordata</i> , <i>Acer pseudoplatanus</i> <i>Prunus spinosa</i> , <i>Corylus avellana</i> , <i>Rosa canina</i> , <i>Aesculus</i> <i>hippocastanum</i> , <i>Salix viminalis</i> , <i>Sambucus nigra</i>	Cemento	-	Destrucción celular y aumento de muerte de las hojas	Czaja <sup>22</sup> (1961)
<i>Piceae abies</i> , <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Taxus baccata</i> , <i>Rosa canina</i>	Cemento	-	Destrucción celular	Czaja <sup>36</sup> (1962)
<i>Quercus robustus</i> , <i>Pinus sylvestris</i> <i>Populus alba</i>	Cemento	-	Reducción del crecimiento	Bohne <sup>37</sup> (1963)
<i>Tsuga canadensis</i>	Piedra caliza	14.2	-	Manning <sup>38</sup> (1971)
<i>Acer rubrum</i> , <i>Quercus prinus</i> , <i>Quercus rubra</i> , <i>Liriodendron tulipifera</i>	Piedra caliza	14.2	Reducción del crecimiento	Brandt & Rhoades <sup>39</sup> (1972 - 1973)
<i>Psidium guayava</i>	Cemento	1.8 - 47.5	Incremento de los niveles de Ca, K, Na y P	Lal & Ambasht <sup>40</sup> (1982)
<i>Populus nigra</i> & <i>Prunus laurocerasus</i>	De construcción de edificios	-	Incremento de la temperatura de las hojas	Steinhubel & Halas <sup>41</sup> (1967)

Tabla 1.5 Continuación

<i>Populus tremula</i>	Sílica inerte	1.0	Reducción de la resistencia	Fluckiger <sup>42</sup> (1979)
<i>Populus tremula</i> , <i>Betula pendula</i> , <i>Alnus glutinosa</i> , <i>Fraxinus excelsior</i>	Polvo de roca	-	Reducción de la resistencia	Fluckiger <sup>42</sup> (1979)
<i>Rhododendron catawbiense</i>	Polvo de roca	-	Incremento de la absorción del sol	Eller & Brunner <sup>43</sup> (1975)
<i>Populus tremula</i> , <i>Acer campestre</i> , <i>Betula pendula</i> , <i>Alnus glutinosus</i> , <i>Prunus avium</i> , <i>Quercus spp.</i>	Polvo de roca	1.0 – 1.05	Incremento de la temperatura de las hojas	Fluckiger <sup>44</sup> (1978)
<i>Fraxinus excelsior</i>	Polvo de roca	-	Reducción de la resistencia	Fluckiger <sup>45</sup> (1982)
<i>Abies alba</i>	Polvo de roca	-	Reducción del crecimiento e incremento de los niveles de Pb y NO <sub>x</sub>	Braun & Fluckiger <sup>46</sup> (1987)
<i>Fraxinus excelsior</i>	Polvo de roca	-	Incremento de la temperatura en las hojas	Guggenheim <sup>47</sup> (1980)
<i>Mangifera indica</i> , <i>Citrus limon</i>	Cenizas	4.5 – 30.0	Reducción del crecimiento, defoliación y lesiones en las hojas y frutos	Rao <sup>48</sup> (1971)

Como conclusión, se puede decir que los efectos del polvo en las comunidades de plantas y árboles alteran el balance natural entre las especies y la comunidad. Estos cambios en la vegetación también alteran el desarrollo normal de las comunidades de animales, desde vertebrados hasta invertebrados; dado que la salud de un animal puede sufrir cuando éste se alimenta de plantas cubiertas por un particulado tóxico. Dichos compuestos pueden ser absorbidos por los tejidos de las plantas o pueden permanecer como contaminantes sobre la superficie de las mismas. La fluorosis en los animales ha sido atribuida a la ingestión de vegetación cubierta con partículas que contengan flúor. El ganado vacuno y bovino que ha ingerido la vegetación sobre la que se han asentado partículas que contengan arsénico han sido víctimas de envenenamiento por arsénico.

### **1.4.3 EFECTOS DE LAS PARTÍCULAS EN EL AIRE SOBRE LA SALUD HUMANA**

Las partículas solas o en combinación con otros contaminantes representan un peligro muy grave para la salud humana<sup>16</sup>. Los contaminantes entran principalmente al cuerpo humano por las vías respiratorias. Los daños a los órganos respiratorios pueden presentarse directamente, ya que se ha estimado que más del 50% de las partículas entre 0.01 y 0.1 $\mu$ m que penetran a las cavidades pulmonares se depositan allí. Las partículas pueden tener un efecto tóxico de una ó más de las tres maneras siguientes:

1. La partícula puede ser intrínsecamente tóxica debido a sus características inherentes químicas o físicas
2. La partícula puede interferir con uno o más de los mecanismos que despejan usualmente el aparato respiratorio
3. La partícula puede actuar como un conductor a una sustancia tóxica absorbida

Es extremadamente difícil obtener una relación directa entre la exposición a varias concentraciones de partículas y los efectos resultantes sobre la salud del hombre. Lo prolongado del tiempo de exposición es importante. Se ha observado en algunos casos,

que la exposición a las partículas en combinación con otros contaminantes, como el SO<sub>2</sub>, produce un mayor deterioro de la salud que la exposición separada a cada contaminante. Ha sido necesario hasta la fecha tener que depender de los análisis estadísticos de datos tales como el aumento en los ingresos en los hospitales y clínicas, mortalidad, etc., para tener idea de los efectos combinados de las partículas en el aire sobre la salud humana. Entre las enfermedades más comunes encontramos:

- Infecciones respiratorias
- Afecciones cardíacas
- Bronquitis
- Asma
- Pulmonía
- Enfisema y otras semejantes

Aparte, hay que recordar que gran parte de las partículas en la atmósfera es de naturaleza carcinogénica, especialmente cuando se asocia con el tabaquismo.

#### **1.4.4 FUENTES DE MATERIA PARTICULADA**

Las fuentes estacionarias de emisiones de partículas se pueden dividir en clases tales como domésticas y comerciales, industriales y de energía. Las principales fuentes industriales de la contaminación por partículas se indican en la Tabla 1.6. Por otro lado, se ha dicho acertadamente que la prevención de la contaminación del aire proveniente de fuentes industriales se inicia dentro de la fábrica o planta y para lograrlo hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

- Limpieza de los gases
- Reubicación de la fuente
- Sustitución del combustible
- Cambios en el proceso
- Práctica operatoria buena
- Clausura de la fuente



**Tabla 1.6 Principales fuentes industriales de contaminación por partículas**

<b>INDUSTRIA</b>	<b>FUENTES DE EMISIÓN</b>	<b>PARTÍCULAS</b>	<b>MÉTODO DE CONTROL</b>
<i>Fábricas de hierro y acero</i>	Altos hornos, hornos para la producción de acero, máquinas de sinterización	Óxidos de Fe, polvo de humo	Ciclones, casas de bolsas, precipitadores electrostáticos, colectores húmedos
<i>Fundiciones de hierro gris</i>	Hornos de cubilote, sistemas de vibración, fabricación de núcleos	Óxido de Fe, humo, polvo aceitoso, vapores metálicos	Lavadores, colectores centrífugos secos
<i>Metalurgia no ferrosa</i>	Fundiciones y hornos	Humo, vapores metálicos, grasas	Precipitadores electrostáticos, filtros de tela
<i>Refinerías de petróleo</i>	Regeneradores de catalizador, incineradores de lodos	Polvo del catalizador, ceniza de los lodos	Ciclones, precipitadores electrostáticos, lavadores, casas de bolsas
<i>Cemento Portland</i>	Hornos, secadores, sistema de manejo de materiales	Polvos de proceso y alcalinos	Filtros de tela, precipitadores electrostáticos, colectores mecánicos
<i>Fábrica de papel Kraft</i>	Hornos de recuperación, hornos de cal, tanques de beneficio	Polvos de origen químico	Precipitadores electrostáticos, lavadores venturi
<i>Manufactura de ácido fosfórico y sulfúrico</i>	Procesos térmicos, acidulación de las rocas, molienda	Neblina ácida, polvos	Precipitadores electrostáticos, eliminadores de malla para la neblina

**Tabla 1.6 Continuación**

<b>INDUSTRIA</b>	<b>FUENTES DE EMISIÓN</b>	<b>PARTÍCULAS</b>	<b>MÉTODO DE CONTROL</b>
<i>Manufactura del coque</i>	Operación de las estufas, manejo de los materiales a templar	Polvos de carbón y de coque, alquitranes del carbón	Diseño cuidadoso, operación y mantenimiento
<i>Vidrio y fibra de vidrio</i>	Hornos, formación y curado, manejo	Neblina ácida, polvos alcalinos, polvo y aerosoles	Filtros de tela, incineradores
<i>Cerámica</i>	Procesos de prensado, almacenamiento y manejo del material	Polvo de roca, proveniente de la materia prima	Precipitadores electrostáticos, filtros de bolsas

#### **1.4.5 NORMAS OFICIALES MEXICANAS DE EMISIÓN PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE**

La existencia de la contaminación del aire y la necesidad de una legislación para proteger la salud y el bienestar de la población en general, no son fenómenos modernos. En la Inglaterra del siglo XIII, la combustión del carbón bituminoso contaminaba la atmósfera de las áreas urbanas, en un grado tal que en 1273, el gobierno inglés promulgó una ley a fin de reducir la contaminación del aire procedente de dicha fuente. No obstante no fue sino hasta la década del 40 del siglo XX en Estados Unidos de América, que se iniciaron los esfuerzos para controlar la contaminación del aire.

Las *normas de emisión* colocan esencialmente un límite sobre la concentración de un contaminante que pueda ser emitido por una fuente. A fin de mantener o mejorar la calidad del aire ambiental, es necesario que las industrias sean controladas por normas de emisión. Estas normas de funcionamiento reflejan usualmente el grado máximo de

control de la emisión que se considera obtenible en dicha industria con la presente tecnología. Por lo tanto, las normas de emisión pueden resultar más estrictas según mejora con el tiempo el funcionamiento del equipo de control. Para el establecimiento de las normas de emisión se deben tener en cuenta los siguientes factores:

1. **La disponibilidad de tecnologías** que sean apropiadas para efectuar la limpieza de un determinado tipo de industria. En algunos casos puede que un avance tecnológico muestre solamente una promesa de disponibilidad.
2. **Se deben establecer estaciones de muestreo** para medir las emisiones actuales de la industria y la calidad del aire ambiental; de manera que se pueda establecer la eficiencia de las normas o patrones.
3. **Se habrán de organizar las oficinas reglamentadoras** para resolver las dificultades que puedan presentarse en la medición y aplicación de las normas. Las normas de emisión serán inútiles a menos que se le confiera a las autoridades locales el poder para imponerlas y multar a los infractores. Y si las autoridades locales se enfrentan a casos difíciles de resolver, se deberá prever la intervención de las autoridades nacionales.
4. **Como quizá estén presentes diferentes contaminantes** en las regiones de control, se deben establecer claramente los efectos sinérgicos de dichos agentes en particular. Puede que no baste con establecer normas de contaminación para los contaminantes individuales, sobre la base de sus efectos aislados.
5. **En muchas áreas urbanas, es necesario preparar un modelo de difusión** que pronostique con razonable exactitud, los efectos de la reducción de varias de las emisiones sobre la calidad del aire ambiente.
6. **Se debe hacer una estimación del crecimiento futuro de la industria y la población dentro de la región.** El conocimiento de los factores de crecimiento constituye una consideración extremadamente importante en la determinación de las normas de emisión.

La Tabla 1.7 muestra las normas mexicanas de control de la contaminación del aire que actualmente están en vigencia, así como un resumen de la aplicabilidad de cada una de ellas.

**Tabla 1.7 Resumen de las normas oficiales mexicanas, actualmente en vigencia, en materia de control de emisiones a la atmósfera**

<b>NORMAS</b>	<b>IMPLICANCIA</b>
<b>NOM-039-ECOL-1993</b>	Norma Oficial Mexicana, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de SO <sub>2</sub> y SO <sub>3</sub> y neblinas de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , en plantas productoras de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
<b>NOM-040-ECOL-1993</b>	Norma Oficial Mexicana, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas, así como los requisitos de control de emisiones fugitivas, provenientes de fuentes fijas dedicadas a la fabricación de cemento
<b>NOM-041-ECOL-1996</b>	Norma Oficial Mexicana, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de gases contaminantes, provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible
<b>NOM-042-ECOL-1993</b>	Norma Oficial Mexicana, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de hidrocarburos no quemados, CO y NO, provenientes del escape de vehículos automotores nuevos en planta, así como hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible que usan gasolina, gas l.p., gas natural y otros combustibles alternos, con peso bruto vehicular de 400 a 3 857 Kg.
<b>NOM-043-ECOL-1993</b>	Norma Oficial Mexicana, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas

**Tabla 1.7 Continuación**

<b>NORMAS</b>	<b>IMPLICANCIA</b>
<b>NOM-044-ECOL-1993</b>	Norma Oficial Mexicana, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de hidrocarburos, CO y NO <sub>x</sub> , partículas suspendidas totales y opacidad del humo provenientes del escape de vehículos automotores nuevos que usan diesel como combustible y que se utilizan para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor de 3 857 Kg.
<b>NOM-045-ECOL-1996</b>	Norma Oficial Mexicana, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de opacidad del humo proveniente del escape de vehículos automotores en circulación que usan diesel o mezclas que incluyan diesel como combustible.
<b>NOM-046-ECOL-1993</b>	Norma Oficial Mexicana, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de SO <sub>2</sub> , neblinas de SO <sub>3</sub> y H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> proveniente de procesos de producción de ácido dodecibencensulfónico en fuentes fijas.
<b>NOM-048-ECOL-1993</b>	Norma Oficial Mexicana, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de hidrocarburos, CO y humo, provenientes del escape de motocicletas en circulación que usan gasolina o mezclas de gasolina-aceite como combustible.
<b>NOM-050-ECOL-1993</b>	Norma Oficial Mexicana, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de gases contaminantes provenientes del escape de vehículos automotores en circulación que usan gas l.p., gas natural u otros combustible alternos
<b>NOM-051-ECOL-1993</b>	Norma Oficial Mexicana, que establece los niveles máximos permisibles en peso de azufre, en el combustible líquido gasóleo industrial que se consuma por las fuentes fijas

**Tabla 1.7 Continuación**

<b>NORMAS</b>	<b>IMPLICANCIA</b>
<b>NOM-075-ECOL-1995</b>	Norma Oficial Mexicana, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles provenientes del proceso de los separadores agua-aceite de las refinerías de petróleo
<b>NOM-076-ECOL-1995</b>	Norma Oficial Mexicana, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de hidrocarburos no quemados, CO y NO <sub>x</sub> , provenientes del escape, así como hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible, que usan gasolina, gas l.p., gas natural y otros combustibles alternos, y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor a 3 857 Kg.
<b>NOM-085-ECOL-1994</b>	Norma Oficial Mexicana, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, SO <sub>2</sub> y NO <sub>x</sub> y los requisitos y condiciones de operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión.
<b>NOM-097-ECOL-1994</b>	Norma Oficial Mexicana, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de material participado y NO en los procesos de fabricación de vidrio.
<b>NOM-EM-102-ECOL-1995</b>	Norma Oficial Mexicana de Emergencia, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de gases contaminantes proveniente del escape de vehículos automotores en circulación en el Valle de México que usan gasolina, gas l.p., gas natural, etanol y metanol, así como las posibles combinaciones de estos con gasolina ó diesel.

**Tabla 1.7 Continuación**

<b>NORMAS</b>	<b>IMPLICANCIA</b>
<b>NOM-105-ECOL-1996</b>	Norma Oficial Mexicana, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas totales y compuestos de azufre reducido total, provenientes de los procesos de recuperación de químicos de las plantas de fabricación de celulosa.
<b>NOM-121-ECOL-1997</b>	Norma Oficial Mexicana, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles (cov's) provenientes de las operaciones de recubrimiento de carrocerías nuevas en planta de automóviles, unidades de uso múltiple, de pasajeros y utilitarios; carga y camiones ligeros.
<b>NOM-128-ECOL-1998</b>	Norma Oficial Mexicana de Emergencia, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible que usan gasolina, gas l.p., gas natural y diesel, con peso bruto vehicular que no exceda los 3 856 Kg.

De todas estas normas que hacen referencia a los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera, las que se aplican a la industria cerámica son solo las:

- **NOM-043-ECOL-1993**
- **NOM-040-ECOL-1993**

Ellas son las que principalmente se tendrán en cuenta en la realización del presente trabajo.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 EFICIENCIA DE LA COLECCIÓN DE PARTÍCULAS

Un parámetro<sup>16</sup> para evaluar si el método utilizado para coleccionar partículas es el adecuado es mediante la *eficiencia total de colección*  $\eta_o$ . Este parámetro se emplea para indicar el nivel de operación de un dispositivo para la limpieza de gases, entre ellos el aire. La fórmula que la representa es:

$$\eta_o = \frac{C}{A} = \frac{C}{B+C} = \frac{A-B}{A},$$

siendo:

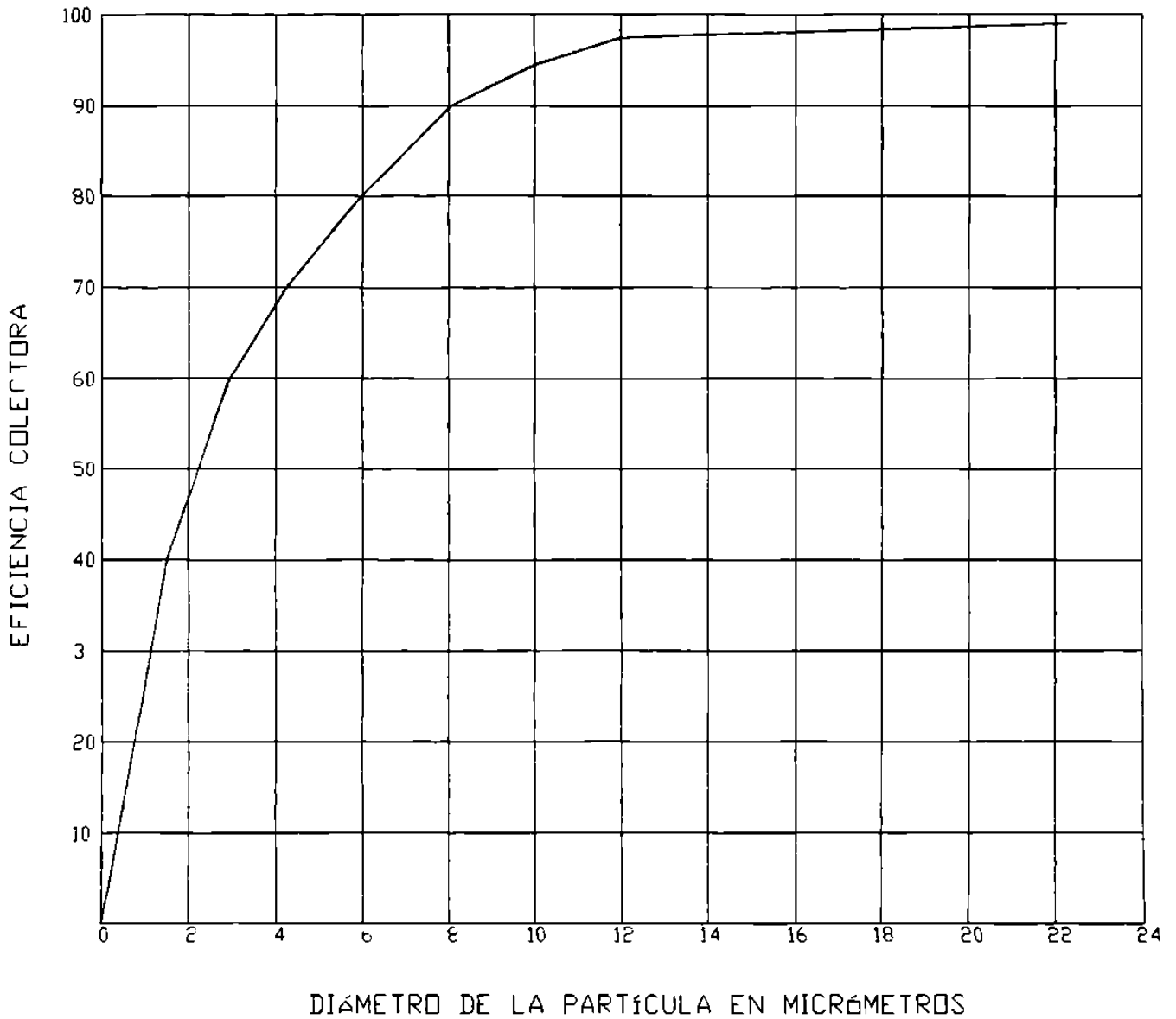
- A: carga o concentración de partículas que entran
- B: carga o concentración de las partículas que salen
- C: cantidad atrapada o retenida por el dispositivo de limpieza

Los valores de A, B y C se han de expresar en unidades consistentes. En general, la eficiencia total de colección, por peso, se pronostica con el conocimiento de:

- La distribución en masa o peso entre el tamaño de las partículas de polvo considerado
- La eficiencia de colección como una función del diámetro de la partícula



El graficado de estos últimos datos se conoce como la curva del grado de eficiencia y la Figura 2.1 muestra una curva hipotética, que es la típica de algunos colectores, en la cual se observa que la eficiencia de colección aumenta en forma proporcional con el tamaño de la partícula.



**Figura 2.1** Curva hipotética de la eficiencia colectora, como función del diámetro de la partícula

Sin embargo, es común caracterizar toda una colección de partículas mediante un solo valor de diámetro. Los diámetros típicos utilizados con este fin son el *diámetro modal*, el *diámetro mediano* y el *diámetro medio*.

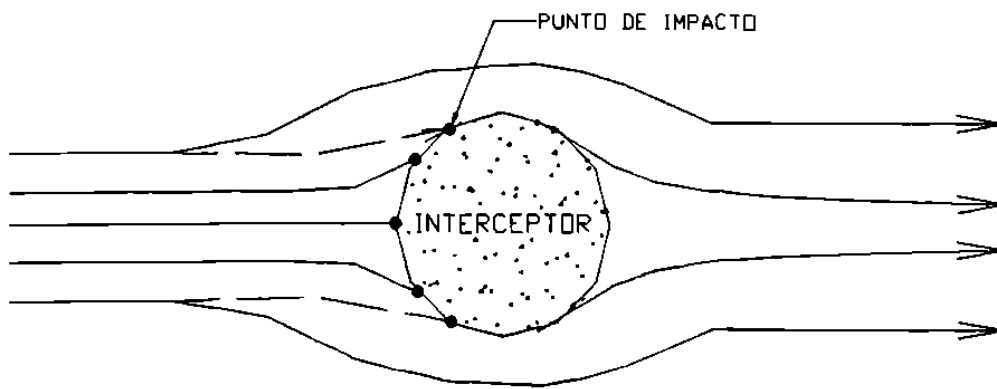
- El *diámetro modal*, se define como aquel diámetro en donde ocurre el mayor número de partículas
- El *diámetro mediano* ( $d_{NM}$ ), se define como aquel diámetro para el que el 50% de las partículas son mayores ó menores que el  $d_{NM}$
- El *diámetro medio* ( $d_M$ ), se define como aquel diámetro resultante de sumar todos los valores de la variable, que luego se divide por la suma del número total de muestras

## 2.2 MECANISMOS DE COLECCIÓN DE LAS PARTÍCULAS

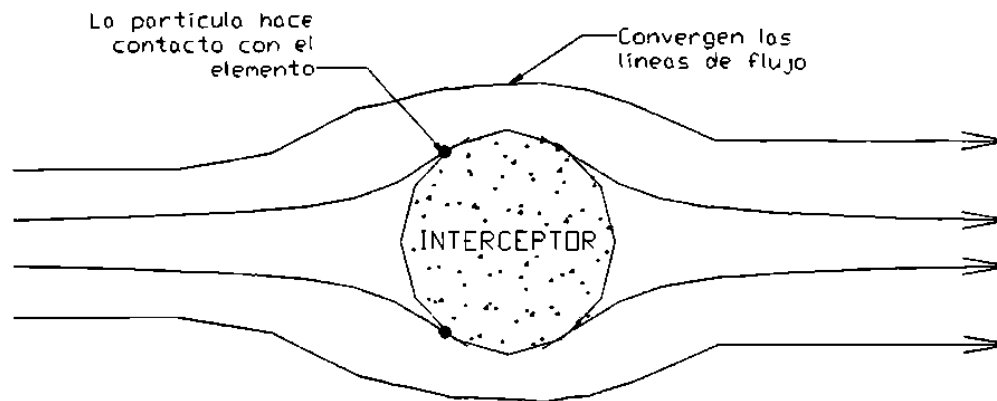
Los seis mecanismos disponibles para la colección de las partículas se pueden clasificar como:

- Sedimentación por gravedad
- Impactación centrífuga
- Impactación por inercia
- Intercepción directa
- Difusión
- Por efectos electrostáticos

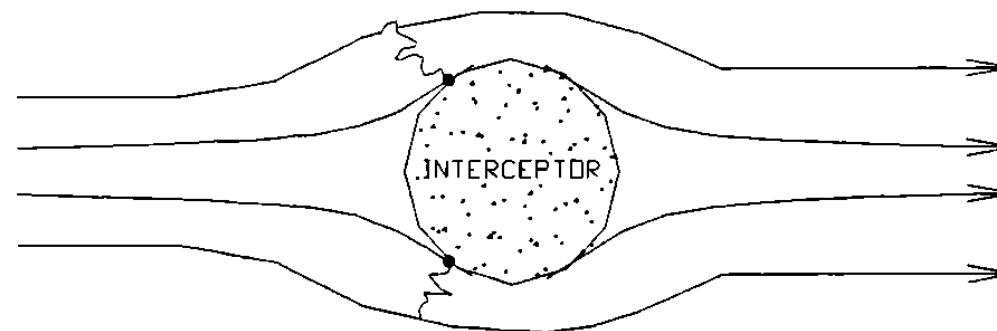
La Figura 2.2 ilustra modelos sencillos de los mecanismos de impactación por inercia, intercepción directa y difusión. Las partículas son arrastradas a aproximadamente la misma velocidad que la del gas en la tubería. Debido a su extrema ligereza, el gas se mueve en flujo laminar alrededor de cualquier objeto, en su camino. Sin embargo; la partícula sólida, con una masa mucho mayor, resiste los cambios de movimiento. Mientras mayor sea la partícula, menor será su tendencia a cambiar de dirección.



a- impactación por inercia



b- ntercepción directa



c- difusión

**Figura 2.2** Tres mecanismos para la eliminación mecánica de partículas

La *impactación por inercia* que se muestra en la Figura 2.2.a, está asociada con las partículas relativamente grandes que viajan en una ruta de colisión con el interceptor. La inercia las mantiene en su recorrido, a pesar de que el gas tiende a desviarse y pasar alrededor del interceptor. En la *intersección directa*, ilustrada en la Figura 2.2.b, algunas de las partículas más pequeñas, a pesar de que tienden a seguir el flujo laminar, pueden hacer contacto con el interceptor en el punto de mayor acercamiento. Finalmente la colección por *difusión* se muestra en la Figura 2.2.c. En este caso, las partículas muy pequeñas chocan contra el colector como resultado del movimiento browniano molecular aleatorio o difusión.

## 2.3 EQUIPO DE CONTROL DE PARTÍCULAS

Es necesario determinar cierto número de factores antes de poder hacer una apropiada selección del equipo de colección. Entre los datos requeridos más importantes se encuentran los siguientes:

- Propiedades físicas y químicas de las partículas
- Intervalo de la tasa de flujo volumétrico de la corriente de gas
- Intervalo de las concentraciones de las partículas
- Temperatura y presión de la corriente de flujo
- Humedad
- Naturaleza de la fase gaseosa, por ejemplo la corrosividad y la solubilidad
- Condición requerida por el efluente tratado

Este último elemento de información indica la eficiencia de colección que se ha de cumplir. A continuación se presentan las cinco clases básicas de equipos de colección de partículas:

1. Cámaras de sedimentación por gravedad
2. Separadores ciclónicos o centrífugos
3. Colectores húmedos
4. Filtros de tela

## 5. Precipitadores electrostáticos

Dentro de una misma clase de dispositivos pueden tenerse diferentes nombres descriptivos, basados en sus diferencias individuales de operación y construcción. La Tabla 2.1 ilustra las características generales de algunos equipos colectores mecánicos.

**Tabla 2.1 Equipos colectores mecánicos**

<b>TIPO DE COLECTOR</b>	<b>ESPACIO</b>	<b>CAUDAL cfm</b>	<b>EFICIENCIA EN PESO</b>	<b>CAÍDA DE PRESIÓN pulg.H<sub>2</sub>O</b>	<b>TEMP. °F</b>	<b>ENERGÍA HP por 1000 cfm</b>
<i>Cámara de sedimentación</i>	grandes	espacio	Buena, por encima de 50µm	0.2 – 0.5	700 a 1 000 °F	0.04 – 0.12
<i>Ciclón convencional</i>	grandes	Normal, hasta 50 000	Aprox. 50% con 20 µm	1 – 3	700 a 1 000	0.24 – 0.73
<i>Ciclón de alta eficiencia</i>	medias	Normal, hasta 12 000	Aprox. 80% con 10 µm	3 - 5	700 a 1 000	0.73 – 1.2
<i>Ciclones de tubos múltiples</i>	pequeñas	Normal, hasta 100 000	Aprox. 90% con 7 ½ µm	4.5	700 a 1 000	1.1
<i>Precipitador dinámico</i>	pequeñas	17 000	Aprox. 80% con 15 µm	Sin pérdida, verdadero ventilador	700	40 al 50%

### 2.3.1 FILTROS DE TELA

De las cinco clases anteriormente nombradas de colección de polvos en interiores, se describirá la que utiliza *filtros de tela*, dado que es la que se utilizará para controlar el polvo en el microambiente de la planta.

La filtración es uno de los métodos más antiguos y de uso más generalizado para la separación de partículas del gas que lo transporta. En general, un filtro es cualquier estructura porosa compuesta de material granular o fibroso que tiende a retener las partículas según pasa el gas que lo arrastra, a través de los espacios vacíos del filtro. El filtro se construye con cualquier material compatible con el gas y las partículas, y se puede disponer en lechos profundos, colchones o telas. Los *filtros de colchones y lechos profundos* tienen grandes espacios vacíos que llegan del 97 a 99% del volumen total. Se utilizan para cargas de polvos muy ligeras y están diseñados para permanecer en servicio durante largos períodos. Por lo general se limpian en el mismo lugar, periódicamente a intervalos relativamente cortos. Los *filtros de tela* se forman generalmente dentro de tubos cilíndricos y se cuelgan en hileras múltiples para proporcionar grandes áreas superficiales para el paso del gas. Los filtros de tela tienen eficiencias de 99% ó más, cuando colectan partículas de 0.5  $\mu\text{m}$ , y pueden remover cantidades considerables de partículas de 0.01  $\mu\text{m}$ . Las cargas típicas de polvo manipuladas oscilan entre 0.1 g/pie<sup>3</sup> y 10 g/pie<sup>3</sup> de gas.

Las telas tejidas tienen casi siempre relaciones entre el espacio de aire y el área de la tela de 1:1 a 5:1; por lo tanto, debe haber otro fenómeno distinto de la simple acción de tamiz que sea responsable de la separación inicial de las partículas. De los seis mecanismos generales para la colección de partículas, los más importantes son impactación por inercia, intersección directa y difusión. La atracción electrostática puede usarse sólo en cierto tipos de polvos. Las partículas mayores de 1 $\mu\text{m}$  se colectan principalmente por impactación e intersección directa; mientras que las partículas entre 0.001 a 1  $\mu\text{m}$  se remueven principalmente por difusión y atracción electrostática. Una de las desventajas de los filtros de tela es la necesidad de limpiarlos con frecuencia a fin de evitar caídas de presión irrazonables, de aquí resulta que el diseño básico de los filtros industriales, se basa por lo general, en unas condiciones geométricas que se presten a una relativa facilidad de limpieza. No obstante, otra consideración geométrica debe ser la

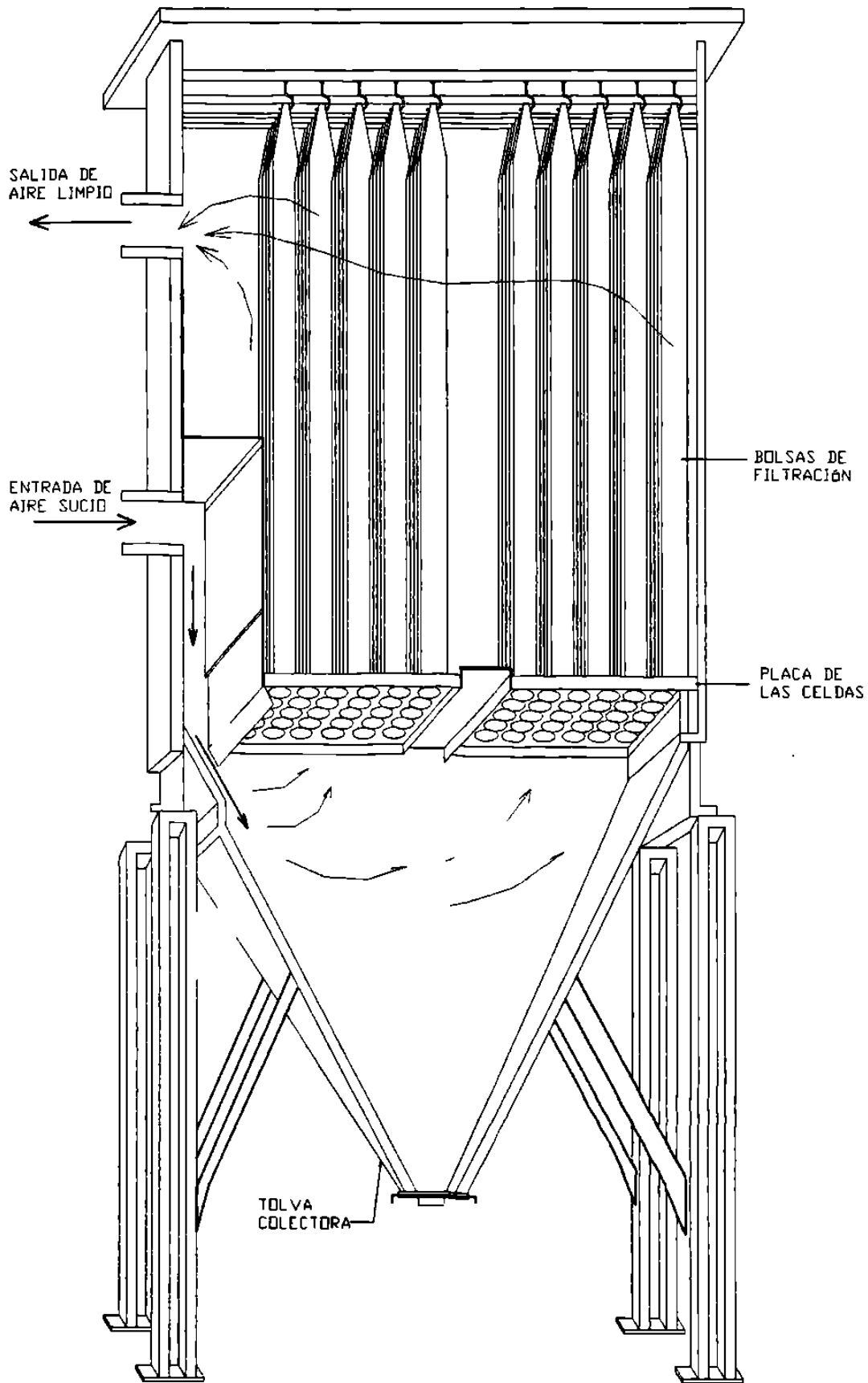
que estipule una gran área superficial por gasto volumétrico de gas contaminado. El inverso de esta relación se conoce como la *relación aire a tela* o la *relación de filtración*, y los valores óptimos van desde 1 a 8 pies/min. Ésta es también la velocidad superficial del gas. Un método básico de ajustarse a estos criterios es un sistema colector basado en la *casa de bolsas*, que se muestra en la Figura 2.3. Los cilindros de tela con diámetros que oscilan entre 5 y 14 pulgadas, y con longitudes de hasta 40 pies, se disponen en hileras verticales. Será necesario utilizar muchas bolsas individuales en una casa de bolsas cuando sea necesario limpiar grandes volúmenes de gas.

Por lo general, el gas impuro entra en la bolsa desde abajo y pasa a través de la tela, mientras que las partículas se depositan en el interior de la bolsa. A pesar de que existe una amplia variedad de diseños para las casas de bolsas, en general se pueden clasificar por el método de limpieza y por su operación, que puede ser periódica o intermitente y automática o continua, pudiéndose cerrar parte de la casa de bolsas a intervalos regulares a fin de proceder a la limpieza. La *operación automática continua* se requiere cuando no sea deseable o práctico el cierre periódico. La *operación intermitente* requiere detener totalmente el proceso a fin de limpiar la tela de los filtros. El gas impuro deja de pasar por el equipo durante el ciclo de limpieza. Este tipo de diseño tiene un uso limitado, ya que son muy pocos los efluentes que se pueden descargar a la atmósfera, aun sobre una base temporal.

La limpieza se efectúa en una diversidad de maneras, que incluyen:

- la vibración mecánica o sacudidas
- choque de impulso
- flujo invertido

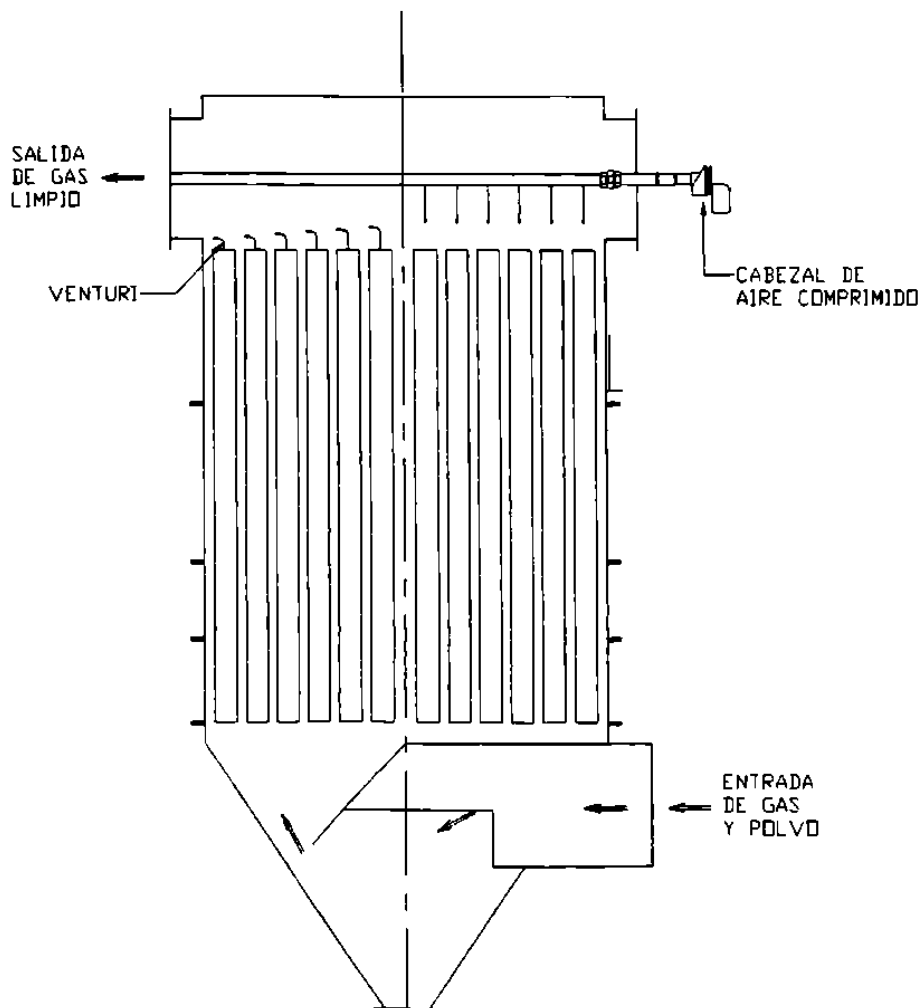
En la Figura 2.3 se muestra un colector tipo casa de bolsas equipado con sacudimiento mecánico. Este tipo de limpieza proporciona frecuentemente el costo más bajo por tasa de flujo volumétrico. La máxima velocidad de filtración para la casa de bolsas con sacudimiento, y que utilizan telas tejidas, está en el intervalo de 2 a 3.5 pie/min.



**Figura 2.3** Casa típica de bolsas con sacudimiento mecánico



En la Figura 2.4 se ilustra el sistema de *choques de impulso*. Las partículas se acumulan en la parte exterior de las bolsas. En un instante apropiado, se dirige un corto impulso hacia abajo, a través de un *venturi* situado en la parte superior de la bolsa. El impulso pasa rápidamente hacia la parte inferior de la bolsa desprendiendo de la misma grandes capas de polvo. Estos grandes trozos de polvo se asientan por gravedad en el fondo de la casa de bolsas. Como el tiempo de limpieza de bolsa es muy corto, y sólo una fracción de las bolsas se limpia cada vez, se mantiene un flujo continuo a través de la casa de bolsas. Las velocidades típicas de filtración en una casa de bolsas equipada con choques de impulso está dentro del intervalo de 5 a 15 pie/min, dependiendo de su aplicación. La altura de las bolsas en este caso es en general de 15 pies, ya que el fondo de las bolsas extremadamente largas con frecuencia no queda limpio.



**Figura 2.4** Croquis de una casa de bolsas con limpieza por impulsos

Se dispone de una gran variedad de telas. Entre las de uso común se encuentran:

- la lana
- el algodón
- el nylon
- las fibras de vidrio
- los poliésteres
- las poliamidas aromáticas

La selección de la tela depende de la composición química, la temperatura y contenido de humedad del gas, así como de las propiedades fisicoquímicas de las partículas. La composición química de la corriente de gas, como de las partículas, ejerce un efecto sobre la tasa a la que se desgasta la tela. A pesar de que una tela de algodón o lana sería aceptable para un gas hasta una temperatura de 175 a 200°F, una de fibra de vidrio es más adecuada cuando la temperatura del gas se acerca a los 500°F. Este último valor de temperatura es aproximadamente el límite superior actual, a pesar de que se continúa con las investigaciones para encontrar nuevas fibras, enfatizando en el aumento de temperatura de operación más allá de los 500°F.

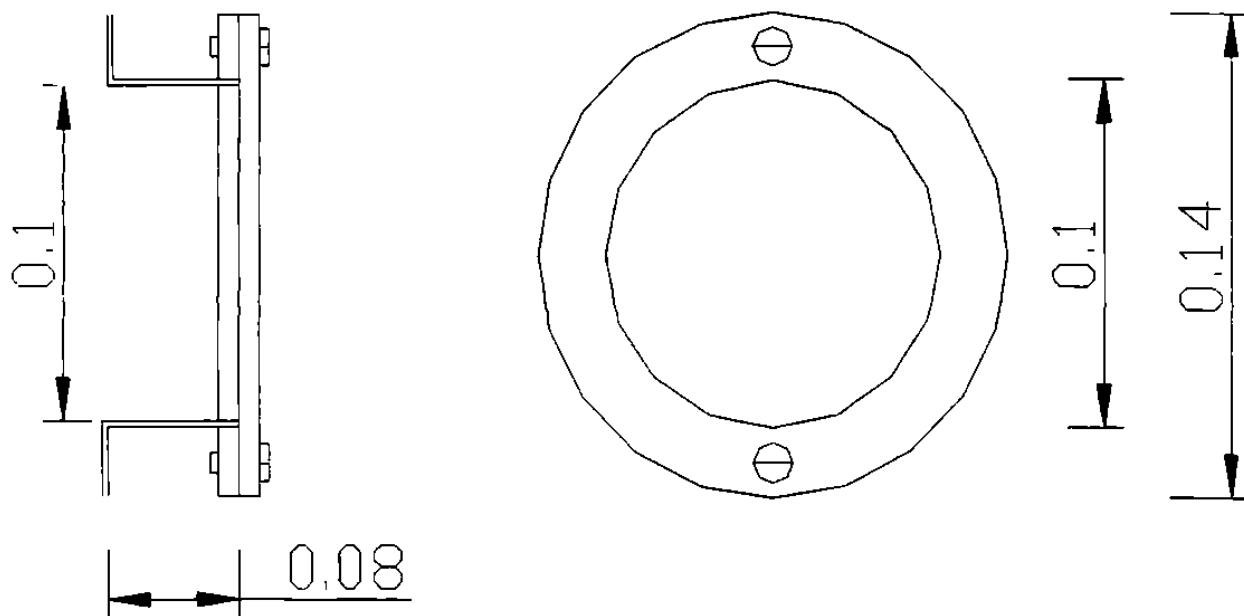
## 2.4 PUERTOS DE MUESTREO

En los colectores de polvo se hace imprescindible la instalación de *puertos de muestreo* en las chimeneas. Los puertos de muestreo tienen como finalidad permitir un acceso rápido y preciso al interior de la chimenea, para que se pueda introducir a través de ellos una *sonda* que permita analizar la composición y calidad de los gases de escape.

Instalar los puertos de muestreo, incluye la instalación la *plataforma de trabajo* y de la *escalera marina*, para tener acceso a dicha plataforma. Las normas mexicanas encargadas de regular la construcción de dichas instalaciones son:

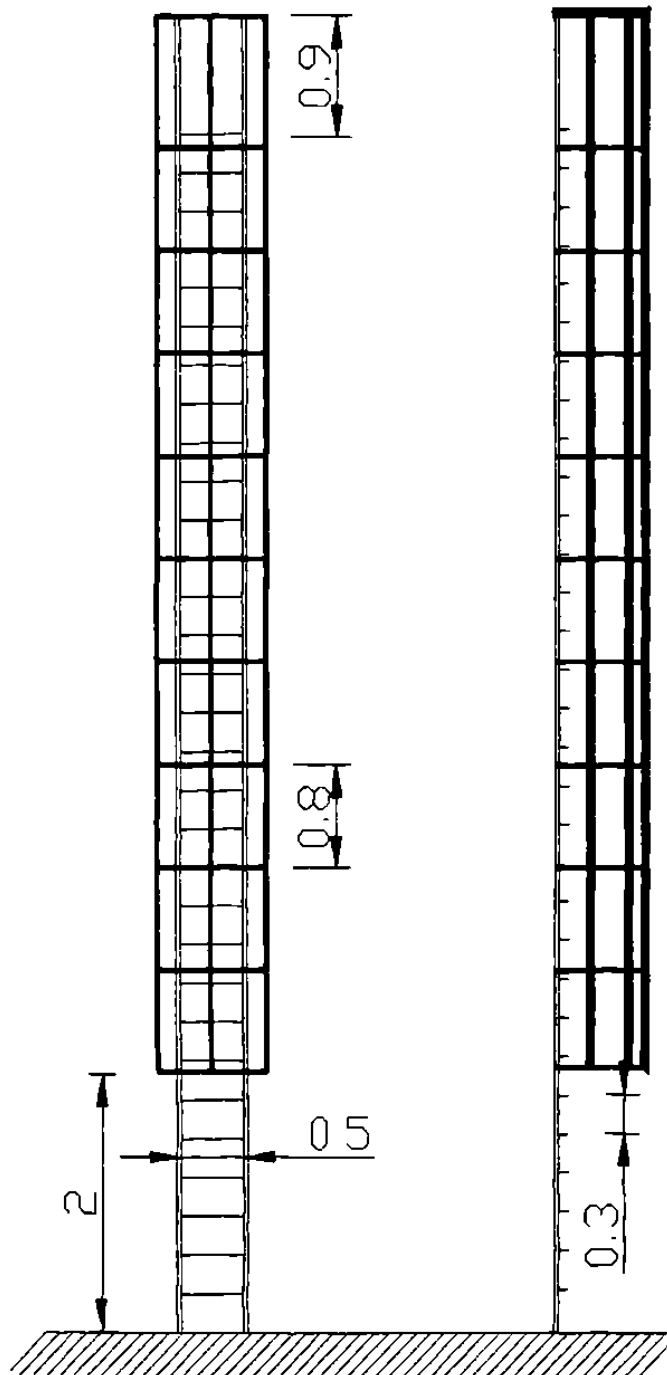
- **NMX-AA-09-1993-SCFI:** norma mexicana que indica las dimensiones recomendadas para los puertos de muestreo y la distancia a la cual se deben encontrar éstos sobre la chimenea. Esta misma norma también hace referencia al tamaño que debe tener la plataforma de trabajo y el lugar óptimo para su ubicación
- **NOM-001-STPS-1999:** esta norma hace referencia a las dimensiones con las que debe contar la escalera marina, por medio de la cual se accede a la plataforma de trabajo

La Figura 2.5 ilustra las dimensiones recomendadas por la norma, para la instalación de puertos de muestreo.



**Figura 2.5** Vista lateral y frontal del puerto de muestreo y sus dimensiones

La norma indica que los puertos de muestreo se deben colocar a una altura tal que conserve la relación de ocho diámetros corriente arriba de la última perturbación del flujo, ocasionado por expansión, contracción, codo, ventilación u otro; y dos diámetros a la salida. Las plataformas deberán ser circulares o de media luna, con un radio de 1.2m y una altura de 1m; mientras que la *escalera marina* debe cumplir con las especificaciones indicadas en la Figura 2.6.



**Figura 2.6** Vista lateral y frontal de la escalera marina

La Figura 2.7 ilustra la disposición del conjunto puerto de muestreo, plataforma de trabajo y escalera marina.

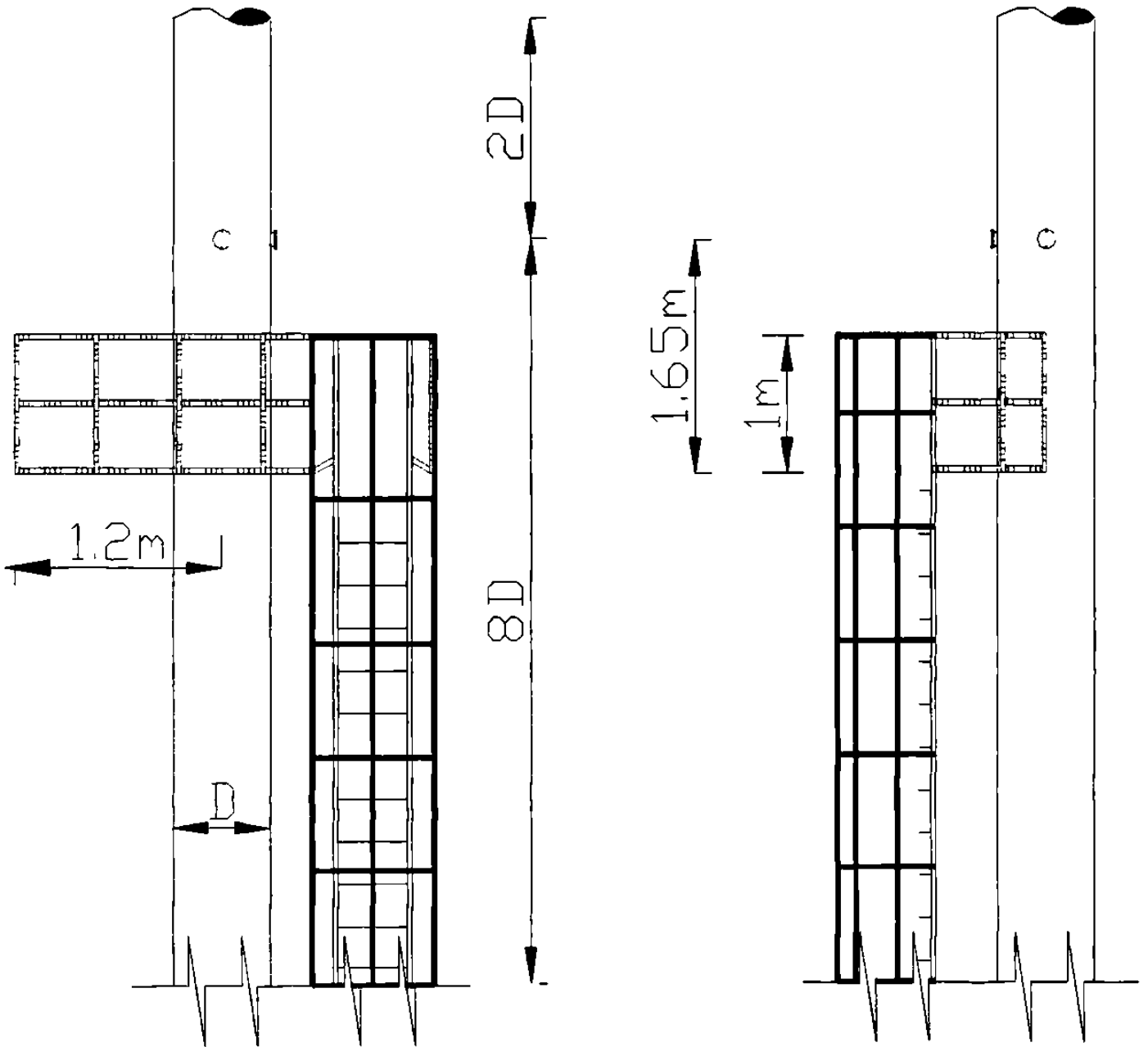


Figura 2.7 Vista lateral y frontal de la disposición de los puertos de muestreo, de la plataforma de trabajo y de la escalera marina

## **CAPÍTULO 3**

### **GENERACIÓN DE POLVOS EN LA INDUSTRIA CERÁMICA**

#### **3.1 DESARROLLO**

Para realizar este trabajo se hizo un recorrido preliminar, se investigó en forma general la manera en la que opera la planta, luego se hizo un diagnóstico de la situación ambiental de la misma y se identificaron los problemas más urgentes de ser resueltos en el tema de control de partículas. Más adelante se revisó la información existente acerca del tema elegido y se hizo una lista de la información faltante. Después se realizaron análisis de laboratorio y finalmente se hizo la propuesta para solucionar el problema. Todo este proceso se desarrolló en las siguientes etapas:

##### **1. PRIMERA ETAPA**

- Se realizó un recorrido preliminar por las instalaciones de la empresa con el fin de conocer todos los procesos que allí se realizan: fabricación de azulejos, pisos, guarniciones o piezas especiales y ladrillos.
- Se hizo un diagnóstico de la actual situación de la empresa desde el punto de vista ambiental y se encontró que en:

## **AGUAS:**

- Exceso de consumo
- Contaminación del suelo, debido a la mala disposición de las aguas residuales, contaminadas con trazas de esmaltes
- No existen medidores que permitan cuantificar el consumo de este recurso

## **AIRE:**

- No existen lugares específicamente señalados para almacenar cada tipo de materia prima
- No existen vías de acceso perfectamente definidas por las cuales circule la maquinaria encargada de transportar la materia prima desde los almacenamientos a cielo abierto hasta el proceso
- Existe un exceso de partículas suspendidas, tanto en el micro ambiente de la planta, como en el exterior de la misma. Esto debido al manejo inadecuado de la materia prima, lo cual ocasiona pérdidas de la misma
- No se cuenta con un *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS* para el mantenimiento de los equipos colectores de polvos ya instalados

## **SUELO:**

- En la *LAGUNA DE RECUPERACIÓN DE ESMALTES*, los residuos de esmaltes están en contacto directo con el suelo
- No se cuenta con procedimientos para la atención en casos de *derrames*, en ninguna área de la planta

## **DISPOSICIÓN DE RESIDUOS:**

- No existe un almacén adecuado para disponer los residuos, en donde esté perfectamente señalados cuáles de ellos son peligrosos
- No existen vías de acceso que permitan la circulación de la maquinaria encargada de transportar los residuos, desde la planta hasta el lugar de su confinamiento final

- Se eligió atacar el problema de la contaminación atmosférica debido al exceso de partículas suspendidas en el medio ambiente de la planta

## 2. SEGUNDA ETAPA

De acuerdo con lo observado y la información proporcionada:

- Se realizaron análisis de laboratorio con el fin de determinar la composición físico químico del agua de las fosas de decantación
- Se realizaron pruebas, para determinar la velocidad de evaporación del agua en las arcillas o tierras

## 3. TERCERA ETAPA

- Se diseñó la propuesta para la colección de polvos en el micro ambiente de:
  - Molienda de ladrillería
  - Muros lado oriente
- Se diseñó la propuesta para la colección de polvos en los almacenamientos a cielo abierto de:
  - Servicio directo
  - Molienda de ladrillería



## 3.2 GENERALIDADES DE LA EMPRESA DONDE SE REALIZÓ EL ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en una empresa dedicada a la fabricación de revestimientos cerámicos, ubicada en la Ciudad de Monterrey, en el estado de Nuevo León.

### 3.2.1 ASPECTOS GEOGRÁFICOS DE LA ZONA

La ciudad de Monterrey se encuentra ubicada a los 25° 40' de latitud norte y a 100° 19' de longitud oeste y a una altitud de 540 metros sobre el nivel del mar. El clima de la región corresponde al tipo de *semiseco muy cálido y cálido* en donde la temperatura media anual es de 22.1°C, siendo los meses más fríos diciembre y enero con temperaturas que promedian en 10°C y los más cálidos julio y agosto con temperaturas promedio de 30°C. La precipitación promedio anual es de 587.1 mm, la humedad es del 70% y los vientos dominantes del sudeste.<sup>49</sup>

La fisiografía de la zona indica que el accidente más importante es la *Sierra Madre Oriental*, específicamente los Pliegues Saltillo-Parras son los que afectan a la zona donde se encuentra ubicada la planta. La geología de la zona indica que en sus cercanías encontramos rocas de origen *sedimentario* correspondientes al período Cuaternario de la era Cenozoica y al período Cretácico de la era Mesozoica.

La hidrología de la región indica que la misma pertenece a la subcuenca del río San Juan; en particular, el río La Silla y el Arroyo Seco son límites naturales de la empresa, ambos afluentes del río Santa Catarina. En la zona existen mantos freáticos cuyas aguas tienen las características que se muestra en la Tabla 3.1. La misma hace referencia específica al pozo de Vigilancia ubicado en la planta objeto de estudio.

**Tabla 3.1 Análisis químico del agua del Pozo de Vigilancia**

<b>DETERMINACIÓN Ó COMPUESTO</b>	<b>VALOR OBTENIDO</b>	<b>LÍMITE PRÁCTICO DE CUANTIFICACIÓN</b>	<b>METODOLOGÍA UTILIZADA</b>
<b>MESOFÍLICOS AERÓBICOS (UFC/ml)</b>	MENOR A 10	NO APLICABLE	NOM-F-253-77
<b>COLIFORMES TOTALES (NMP/100ml)</b>	MENOR A 2	NO APLICABLE	NOM-AA-42-87
<b>pH</b>	7.59	NO APLICABLE	NMX-AA-08
<b>CONDUCTIVIDAD (<math>\mu</math>mhos/cm)</b>	1 299	NO APLICABLE	NMX-AA-93
<b>COLOR APARENTE</b>	MENOR AL LÍMITE	5 u.c.	NMX-AA-45
<b>ALCALINIDAD A LA FENOFTALEÍNA (mg/l DE CaCO<sub>3</sub>)</b>	MENOR AL LÍMITE	6.0	NMX-AA-36
<b>ALCALINIDAD AL NARANJA DE METILENO (mg/l DE CaCO<sub>3</sub>)</b>	312	6.0	NMX-AA-36
<b>DUREZA TOTAL (mg/l DE CaCO<sub>3</sub>)</b>	544	5.0	NMX-AA-72
<b>CLORUROS (mg/l DE Cl)</b>	44	0.51	NMX-AA-73
<b>SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (mg/l)</b>	1 002	1.0	NMX-AA-20

### **3.2.2 ASPECTOS DE LA PLANTA INDUSTRIAL CERÁMICA**

La planta industrial cerámica objeto de nuestro estudio se dedica a la fabricación de:

- Revestimientos para pisos
- Azulejos o revestimientos para muros
- Guarniciones o piezas especiales
- Ladrillos

La empresa cuenta con un área administrativa, la cual funciona en un único turno de trabajo y un área de planta, la cual funciona en tres turnos de ocho horas cada uno.

El estudio se hace en esta planta debido al interés mostrado por los directivos de la misma en solucionar sus problemas de contaminación ambiental, con el fin de obtener más adelante la *CERTIFICACIÓN ISO 14 000*. Es así como ellos contribuyen, brindando la información necesaria para realizar el estudio, prestando equipos e instalaciones de la empresa, además de hacerse cargo de todos los análisis de laboratorio.

### **3.3 PROCESO DE FABRICACIÓN DE PISOS Y AZULEJOS**

El proceso para la fabricación de pisos y azulejos se puede observar en el diagrama de flujo de la Figura 3.1, en donde las casillas rojas indican los puntos de generación de polvos. Dicho proceso consta de las siguientes etapas:

#### **➤ PRIMERA ETAPA: *ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA***

La materia prima que se ha de llevar al proceso es almacenada a cielo abierto en servicio directo. Los vientos reinantes en la zona y el manejo inadecuado del material hace que estos almacenamientos sean unas de las principales fuentes de contaminación atmosférica por partículas suspendidas. Aquí mismo se mezclan las cantidades adecuadas de materia prima con la finalidad de preparar las *fórmulas de cuerpo rojo y de*

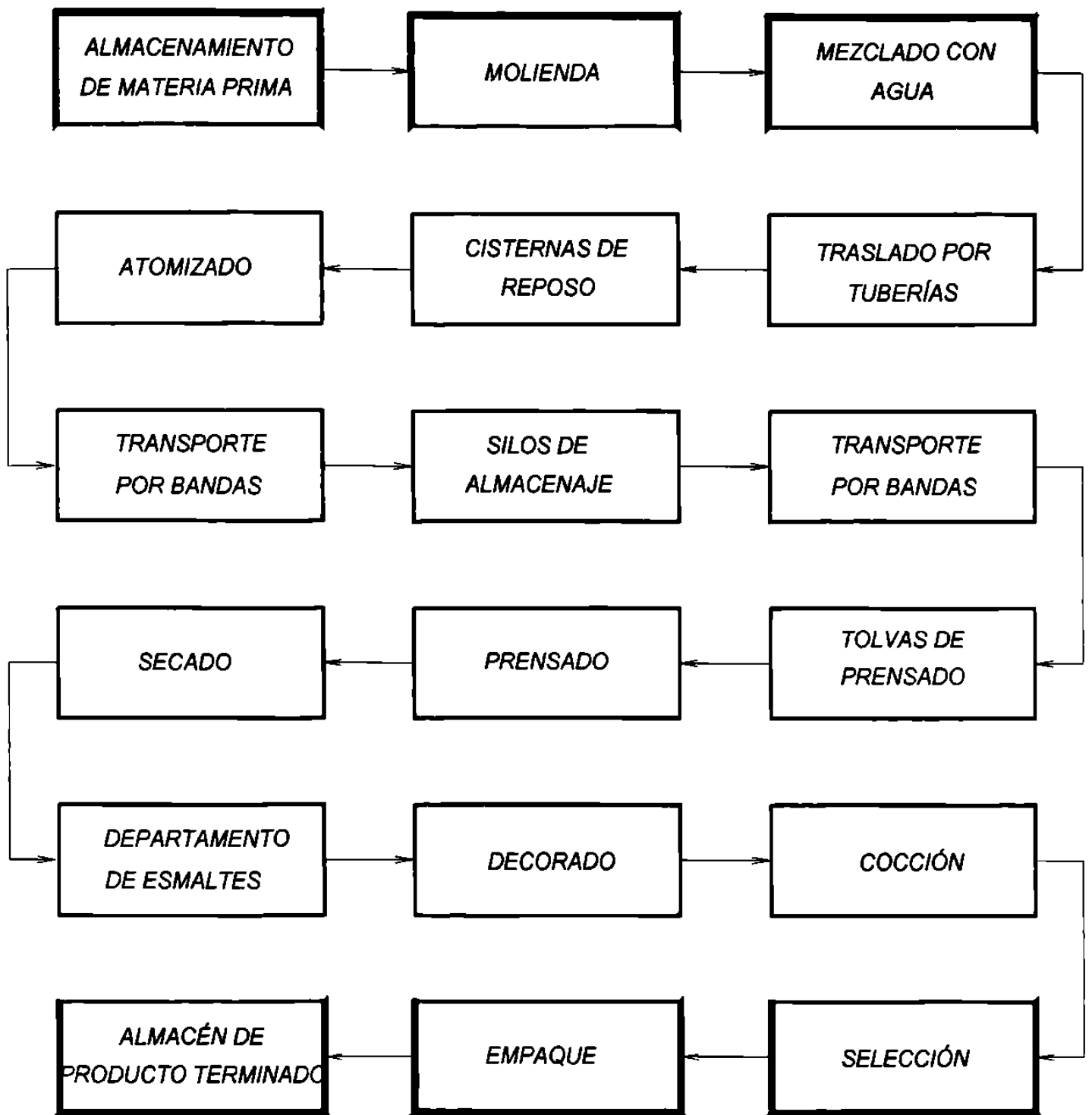
*cuerpo blanco*, cuyas proporciones se indican en la Tabla 3.2 y en la Tabla 3.3 respectivamente. La fórmula de cuerpo rojo se utiliza en la fabricación de pisos y la fórmula de cuerpo blanco en la fabricación de azulejos.

**Tabla 3.2** *Fórmula utilizada en cuerpo rojo*

<b>COMPUESTO</b>	<b>% EN PESO</b>
Barro amarillo	40
Caolín Rosalía	10
Barro Margarita	10
Arcilla PRE-300	10
Arcilla Feldespática	30
Desperdicio cocido	8
<b>ADITIVOS</b>	
Tripolifosfato	10
KD-30	30

**Tabla 3.3** *Fórmula utilizada en cuerpo blanco*

<b>COMPUESTO</b>	<b>% EN PESO</b>
Caolín Blanco	25
Caolín Rosalía	40
PRE-150	5
CaCO <sub>3</sub>	6
PRE-200	12
Desperdicio cocido	8
<b>ADITIVOS</b>	
Tripolifosfato	35
Reflex	7.5



**Figura 3.1** Diagrama de flujo del proceso de fabricación de azulejos y pisos cerámicos

## ➤ SEGUNDA ETAPA: *MOLIENDA*

La molienda se lleva a cabo en cuatro Molinos Raymond, los cuales se encargan de moler las fórmulas ya preparadas. Este es otro punto de generación de partículas suspendidas dado que la pala mecánica está continuamente volcando material seco a estos molinos. Los molinos tienen anexado un sistema captador de polvo por medio de bolsas de tela, pero no es suficiente.

## ➤ TERCERA ETAPA: *MEZCLADO CON AGUA*

Una vez que el material ha sido molido se mezcla con agua para convertirlo en una pasta llamada *BARBOTINA* cuyas características de color y fluidez son específicas para cada producto deseado. Se preparan dos tipos de barbotinas, las de cuerpo blanco para la producción de azulejos y la de cuerpo rojo para la producción de pisos. Las barbotinas son suspensiones que muestran ciertas características importantes para su manipulación y la calidad del producto final. Entre estas propiedades se encuentran la densidad y la viscosidad.

## ➤ CUARTA ETAPA: *ATOMIZADO*

Una vez que se ha formado la barbotina, se traslada la misma hacia el *ATOMIZADOR* por medio de tuberías. Dentro del atomizador la barbotina es pulverizada en forma líquida y se aplica calor bruscamente, de manera que cuando cae lo hace en forma de pequeñas esferas de arcilla secas, las cuales son más fáciles de prensar que el material arcilloso original. Esta etapa del proceso es generadora de polvos dado que se trabaja con barbotina seca. El atomizador tiene un lavador de polvos que es insuficiente para la cantidad de partículas suspendidas que se generan.

#### ➤ QUINTA ETAPA: *ALMACENAJE EN SILOS*

Las pequeñas esferas de arcilla son luego transportadas a los silos de almacenamiento por medio de bandas. El transporte también es una fuente de contaminación atmosférica dado que es común que se produzcan derrames. Pero actualmente este problema lo han solucionado confinando completamente las bandas transportadoras.

#### ➤ SEXTA ETAPA: *PRENSADO*

Luego de almacenar las pequeñas esferas de barbotina en los silos, se las transporta por medio de bandas a las tolvas de prensado. De ahí se derivan a las prensas por medio de un brazo móvil que las deposita en la parte superior de éstas. Se coloca la tierra en unos moldes y se prensa en dos etapas; una de 60 bares llamada de *desaireación* y la otra de 210 bares llamada de *compactación*. De aquí salen las piezas formadas y compactadas.

#### ➤ SÉPTIMA ETAPA: *SECADO*

Una vez que las piezas salen de las prensas, se las pasa por un horno de secado, el cual se encuentra a 1 000 °C de temperatura, durante 40 minutos. Esto se hace con el fin de que la pieza adquiera las propiedades mecánicas y de consistencia física necesarias para los tratamientos posteriores.

#### ➤ OCTAVA ETAPA: *ESMALTADO*

En esta etapa, las piezas se pasan por la línea de esmaltado en donde se les aplica el diseño correspondiente.

### ➤ NOVENA ETAPA: COCCIÓN

Luego que la pieza ha sido decorada se procede a la cocción de la misma. Para ello se la envía durante 30 minutos a un horno que la somete a una temperatura de 64 °C. Esto permite la eliminación del exceso de agua en el esmalte y la consolidación de este material sobre la base.

### ➤ DÉCIMA ETAPA: ALMACÉN DE PRODUCTO TERMINADO

Una vez cocida la pieza, se seleccionan manualmente las que tienen algún defecto y se las marca para ser descartadas. Las piezas que no tienen defectos, se las envía a una máquina empaquetadora para finalmente almacenarlas en un almacén de producto terminado.

En las etapas de secado, esmaltado, cocción y almacenamiento de producto terminado, no existe generación de polvos dado que ya no se trabaja con materia prima en forma de tierras, sino que la misma está compactada desde la etapa de prensado.

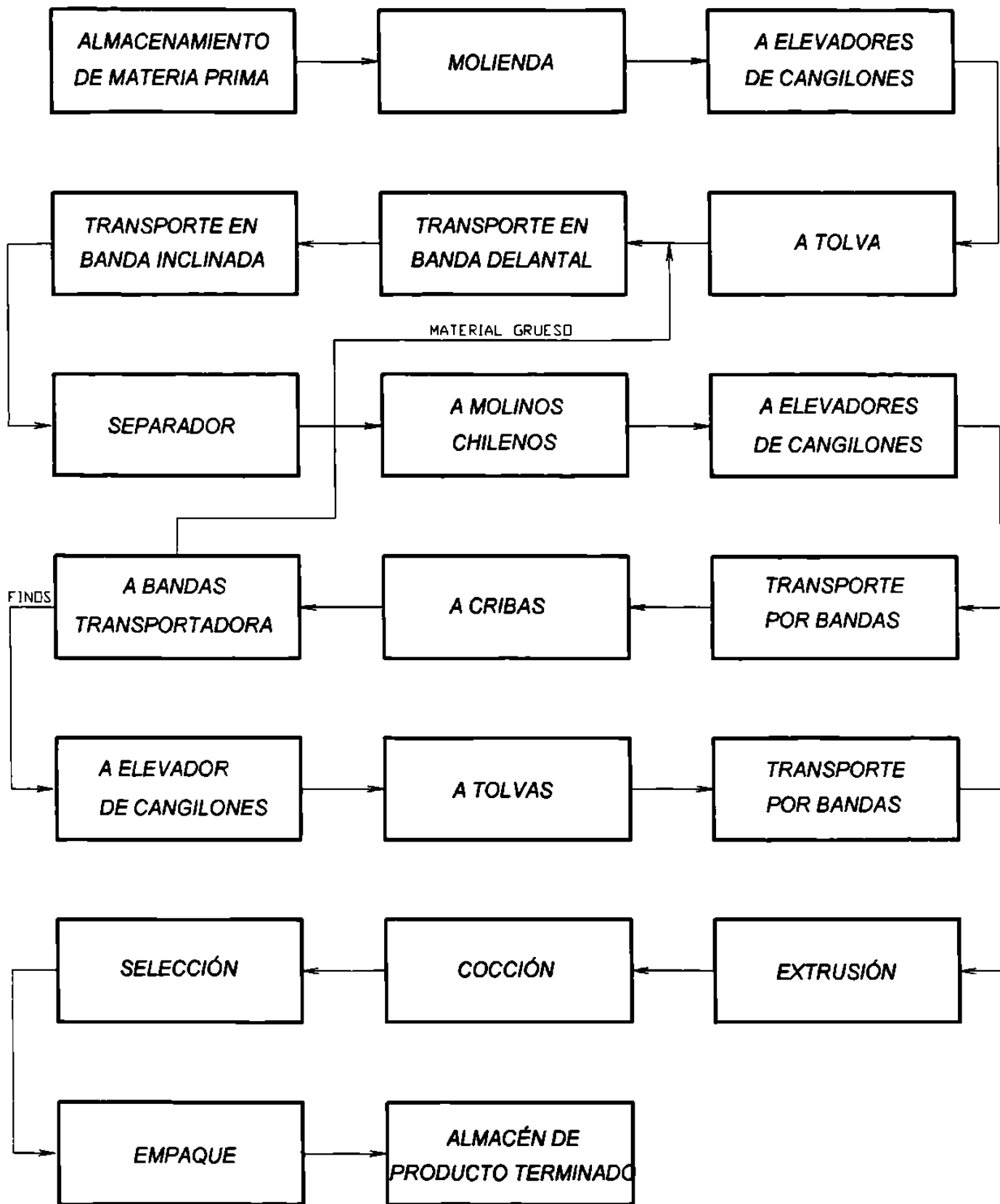
## 3.4 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LADRILLOS

El proceso para la fabricación de ladrillos se puede observar en el diagrama de flujo de la Figura 3.2, en donde las casillas rojas indican los puntos de generación de polvos. Dicho proceso consta de las siguientes etapas:

### ➤ PRIMERA ETAPA: ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA

La materia prima que se ha de llevar al proceso es almacenada a cielo abierto al lado de molienda de ladrillería. Los vientos reinantes en la zona y el manejo inadecuado del material hacen que estos almacenamientos sean unas de las principales fuentes de contaminación atmosférica por partículas suspendidas. Aquí mismo se mezclan las cantidades adecuadas de materia prima con el fin de preparar las *fórmulas del ladrillo*, cuyas proporciones se indican en la Tabla 3.4.





**Figura 3.2** Diagrama de flujo del proceso de fabricación de ladrillos

**Tabla 3.4 Fórmula utilizada en la fabricación de ladrillos**

<b>COMPUESTO</b>	<b>% EN PESO</b>
Pizarra de Allende	70
Barro de Allende	29.5
Desperdicio cocido	0.5
<b>ADITIVOS</b>	
Bióxido de manganeso	3

➤ **SEGUNDA ETAPA: MOLIENDA**

En esta etapa se vierte la materia prima en una quebradora encargada de molerla hasta un tamaño adecuado para su posterior uso. Esta es una etapa en la que se generan muchos polvos, es por ello que en la zona de vertido de materia prima se colocó un aspersor de agua.

➤ **TERCERA ETAPA: A TOLVA**

Dado que la quebradora se encuentra a una profundidad de 5.8 m del nivel del piso, se eleva el material triturado hasta una tolva, encargada de depositarlo en una banda horizontal, llamada banda delantal. Esta etapa es generadora de polvos dado que existen muchos puntos de transferencia y ellos son:

- El pasaje del material desde la quebradora a los elevadores
- La transferencia desde los elevadores hasta la tolva
- La transferencia de material desde la tolva hacia la banda delantal

#### ➤ CUARTA ETAPA: *TRANSPORTE EN BANDAS*

Una vez que el material ha sido depositado en la banda delantal se lo transfiere a una banda inclinada, la cual se encarga de elevarlo hasta colocarlo en un separador. Como en esta etapa se generaban muchos polvos, actualmente en el punto de transferencia desde la banda delantal a la banda inclinada se colocó un rociador.

#### ➤ QUINTA ETAPA: *MOLINOS CHILENOS*

La función del separador es repartir entre los dos molinos chilenos el material que le llega. Los molinos se encargan de triturar más finamente el material. El separador y ambos molinos son altamente generadores de polvos, dado que en estos puntos las tierras están secas y en constante movimiento.

#### ➤ SEXTA ETAPA: *A CRIBAS*

Luego que el material sale de los molinos chilenos, es elevado por medio de elevadores de cangilones hasta unas bandas horizontales, las cuales se encargan de alimentar a las cribas. Cuando el material llega a las mismas es porque ya ha pasado por la quebradora y por los molinos chilenos, es decir que debe estar finamente triturado. La función de las cribas es separar el material que tiene el tamaño adecuado para ser usado, de aquel material que aún está grueso. El material grueso se lo envía a la banda delantal para que alimente nuevamente los molinos chilenos y el material fino se lo envía a dos elevadores de cangilones para que lo deposite en las tolvas de almacenamiento. En esta etapa los puntos de generación de polvos son las bandas transportadoras, los elevadores de cangilones y los puntos de transferencia desde las bandas a las cribas o de las cribas a las bandas.

#### ➤ SÉPTIMA ETAPA: *TOLVAS DE ALMACENAMIENTO*

El material fino, que se ha de usar en la fabricación del ladrillo, mezclado en las proporciones adecuadas se almacena en unas tolvas destinadas a ese fin. Luego es transportado por medio de bandas a la extrusora. Estas bandas fueron causantes de la contaminación del aire por medio de polvos, pero actualmente se hallan completamente confinadas.

#### ➤ OCTAVA ETAPA: *FORMACIÓN DEL LADRILLO*

El material seco llega desde las tolvas de almacenamiento y se lo mezcla con agua. Luego pasa por el interior de la extrusora y sale el bloque de ladrillo húmedo. El único punto donde se generan polvos es cuando el material seco cae en el interior de la extrusora.

#### ➤ NOVENA ETAPA: *COCCIÓN DEL LADRILLO*

Una vez que el ladrillo está formado se lo envía a un horno para que se produzca la cocción a 1 000 °C de temperatura, durante 38 horas. De esta manera el ladrillo adquiere la consistencia física necesaria para su manejo en los tratamientos que siguen.

#### ➤ DÉCIMA ETAPA: *ALMACÉN DE PRODUCTO TERMINADO*

Una vez cocida la pieza, se seleccionan manualmente las que tienen algún defecto y se las marca para ser descartadas. Las piezas que no tienen defectos son enviadas al almacén de producto terminado.

En las etapas de formación del ladrillo, cocción y almacenamiento de producto terminado, no existe generación de polvos dado que ya no se trabaja con materia prima seca.

### 3.5 ANÁLISIS REALIZADOS EN LA PLANTA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS

A raíz de los problemas surgidos por la contaminación del medio ambiente laboral de la planta, con partículas suspendidas, se decidió hacer, en diciembre de 1998, un estudio y análisis de algunas zonas consideradas como críticas. Los resultados obtenidos, resumidos en la Tabla 3.5, fueron comparados con la *NOM-STPS-010-1993*.

Tabla 3.5 *Determinación de los contaminantes en el ambiente laboral*

<b>ZONA DE MUESTREO</b>	<b>CONTAMINANTE</b>	<b>RESULTADO <i>mg/m<sup>3</sup></i></b>	<b>LÍMITE <i>mg/m<sup>3</sup></i></b>	<b>EVALUACIÓN</b>
<i>Prensa I y II de productos varios</i>	Partículas respirables	2.07	5	CORRECTO
<i>Atomizador de productos varios</i>	Partículas respirables	3.07	5	CORRECTO
<i>Molino de bola de productos varios</i>	Partículas respirables	<b>7.54</b>	5	EXCEDIDO
<i>Línea II y III de productos varios</i>	Partículas totales	0.96	10	CORRECTO
<i>Guarnición</i>	Partículas totales	<b>24.87</b>	10	EXCEDIDO
<i>Prensas IV y V de muros</i>	Partículas totales	1.90	10	CORRECTO
<i>Prensas V y VI de muros</i>	Partículas respirables	<b>7.36</b>	5	EXCEDIDO
<i>Quebradora de ladrillería</i>	Partículas totales	3.37	10	CORRECTO
<i>Molinos Chilenos</i>	Partículas respirables	<b>26.59</b>	5	EXCEDIDO

**Tabla 3.5 Continuación**

<b>ZONA DE MUESTREO</b>	<b>CONTAMINANTE</b>	<b>RESULTADO mg/m<sup>3</sup></b>	<b>LÍMITE mg/m<sup>3</sup></b>	<b>EVALUACIÓN</b>
<i>Molienda de ladrillería</i>	Partículas totales	<b>10.87</b>	10	EXCEDIDO
<i>Extrusora de ladrillería</i>	Partículas totales	<b>37.64</b>	10	EXCEDIDO
<i>Molinos de esmalte</i>	Partículas totales	<b>17.52</b>	10	EXCEDIDO

Los resultados indicaron que existían graves problemas de contaminación por partículas en:

- Los molinos de bolas de productos varios
- En la zona de guarnición
- En las prensas V y VI de muros
- En los molinos chilenos
- En donde está la extrusora de la ladrillería
- En general en toda la molienda de ladrillería
- En los molinos de esmalte

Como estos resultados no fueron suficientes, en julio de 1999 se efectuaron otros análisis para determinar la concentración de partículas suspendidas totales y los resultados obtenidos se los comparó con la *NOM-043-ECOL-1994*. La Tabla 3.6 indica las zonas en las cuales se realizó el estudio y los datos obtenidos.

**Tabla 3.6** *Determinación de la concentración de partículas suspendidas totales*

<b>ZONA DE MUESTREO</b>	<b>RESULTADO mg/m<sup>3</sup></b>	<b>LÍMITE mg/m<sup>3</sup></b>	<b>EVALUACIÓN</b>
<i>Atomizador de productos varios</i>	96.9	226.6	CORRECTO
<i>Horno Carfer</i>	5.9	622.6	CORRECTO
<i>Horno 4 de Europiso</i>	54.4	337.2	CORRECTO
<i>Colector de polvos en muros</i>	1.2	413.5	CORRECTO
<i>Horno 1 de muros</i>	7.7	613.2	CORRECTO
<i>Secador 1 de muros</i>	4.0	777.5	CORRECTO
<i>Atomizador de muros</i>	133.4	182.0	CORRECTO
<i>Horno 1 Iberia</i>	9.0	276.1	CORRECTO

Las dos tablas anteriores ilustran los estudios que se han hecho para determinar la concentración de partículas suspendidas en todas las áreas de la planta. Cabe aclarar que en muchas zonas de la planta existen sistemas de colección de polvo, algunos de los cuales no son suficientes para atender la demanda o están sin funcionar debido a la falta de mantenimiento.

### **3.6 CONDICIONES EN LAS CUALES SE ENCUENTRAN LOS SISTEMAS DE COLECCIÓN DE POLVOS EXISTENTES EN LA PLANTA**

Actualmente, en la planta existen siete sistemas de colección de polvos instalados y la evaluación que se ha hecho de la calidad del servicio que prestan los mismos es la siguiente:

#### **1. SISTEMA DE LOS MOLINOS RAYMOND**

Esta zona tiene una gran concentración de partículas suspendidas debido a que las palas mecánicas llegan cargadas de tierra seca y la depositan en el interior de los molinos. Además es muy importante que la materia prima tenga menos de un 4% de humedad para que no dificulte el correcto funcionamiento de los molinos. Estos molinos tienen integrado un sistema de colección de polvos por medio de unas bolsas de tela, pero como la demanda supera la capacidad de las mismas y el mantenimiento no es correcto, las bolsas están completamente llenas de polvo y no brindan el servicio correcto.

#### **2. SISTEMA DEL SALÓN DE PREPARACIÓN DE LA BARBOTINA**

A esta sala llega la materia prima seca y molida. Es aquí donde se le agrega agua para formar las barbotinas. Pero el manejo de material fino seco produce polvos que se dispersan por todo el lugar. Para evitar esto último, se instaló un colector de polvos que atiende esta zona, pero el sistema de tuberías que alimenta al colector está en muy mal estado, algunas de sus tomas están abiertas y producen fugas y pérdidas. Además su diseño no es del todo correcto. En cuanto al colector, específicamente, le falta mantenimiento y está en uso intermitente.

#### **3. SISTEMA QUE ATIENDE A LA QUEBRADORA WESTERN**

La quebradora se encarga de moler desperdicio de azulejos cocidos, lo cual genera polvos. A su lado existe un colector, pero actualmente este sistema está en desuso.



#### **4. SISTEMA QUE ATIENDE LAS PRENSAS I Y II DE MUROS**

Ya se dijo que por las características de operación, las prensas generan mucho polvo, es por ello que existe actualmente un colector de bolsas que se encarga de la colección de partículas en las prensas I y II, pero presta servicio a las restantes, es decir, que las prensas III, IV y V se quedan sin servicio. El colector funciona en forma intermitente, debido a que casi no tiene mantenimiento y es necesario cambiar sus bolsas.

#### **5. SISTEMA QUE ATIENDE LAS PRENSAS VI, VII Y VIII DE MUROS**

Este sistema se implementó este año y se le ha estado dando seguimiento, por lo tanto, su funcionamiento es satisfactorio.

#### **6. SISTEMA QUE ATIENDE LA ZONA DE LOS MOLINOS DE BOLAS, AL COSTADO DE LA MOLIENDA DE LADRILLERÍA**

El colector instalado en esta zona cumple correctamente con su función y se le da mantenimiento periódico. Específicamente, este colector no atiende la molienda de ladrillería.

#### **7. SISTEMA QUE ATIENDE LAS PRENSAS DE PISO**

Este sistema fue puesto en marcha el año pasado, el colector cumple con su función a medias, dado que parte del tiempo está parado y no se le da mantenimiento.

Como puede verse, de los siete sistemas instalados, solamente dos brindan servicio satisfactorio y el resto lo hacen a medias o están fuera de servicio. Estos son los problemas que enfrenta la empresa, en lo que se refiere a los sistemas ya instalados para la colección de polvos.

### **3.7 DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS**

Teniendo en cuenta el resultado de los análisis hechos, para la determinación de la concentración de partículas de polvo en el medio ambiente laboral, el funcionamiento de los actuales sistemas de colección de polvo ya instalados y el funcionamiento del proceso de fabricación de azulejos, pisos, guarniciones y ladrillos, ya es posible determinar los puntos críticos en lo que se refiere a la generación de polvos y ellos son:

#### **1. EN MICROAMBIENTE**

- **MOLIENDA DE LADRILLERÍA:** consiste en diseñar un sistema que atienda las generaciones de polvo en los elevadores de cangilones, la quebradora, las tolvas, los molinos chilenos, el separador y las cribas
- **PRENSAS III, IV Y V DE MUROS:** se debe diseñar un sistema que colecte el polvo de las prensas III, IV y V, pero que además sea capaz de recibir todo el polvo colectado en las prensas I y II. Es decir, que un único ducto llevará las partículas colectadas en las prensas I, II, III, IV y V.

#### **2. EN LOS ALMACENAMIENTOS A CIELO ABIERTO**

- **EN SERVICIO DIRECTO:** se debe diseñar un sistema de control de polvos al medio ambiente. Es decir, que se debe evitar que los polvos allí generados escapen al medio ambiente
- **EN MOLIENDA DE LADRILLERÍA:** en forma análoga al anterior, no se diseñará un sistema de colección de partículas, sino que será de control de las mismas

### **3.8 OBJETIVOS DE ESTE TRABAJO**

1. Diseño de un sistema de extracción de polvos en los espacios cerrados de dos secciones de la planta:
  - *MOLIENDA DE LADRILLERÍA*
  - *PRENSAS I, II, III, IV y V DE MUROS*
  
2. Diseño de un sistema de control de polvos en los *almacenamientos de materia prima a cielo abierto* en:
  - *SERVICIO DIRECTO*
  - *MOLIENDA DE LADRILLERÍA*
  
3. Definición de los lugares específicos para el almacenamiento de los distintos tipos de materia prima.
  
4. Planteamiento de *rutas óptimas* para la transportación de materias primas hacia el proceso.
  
5. Propuestas y recomendaciones de adecuación de equipos, accesorios y procedimientos, para optimizar el funcionamiento de las medidas de control de la emisión de polvos.

### 3.9 HIPÓTESIS

1. Si los polvos que actualmente están siendo depositados en el suelo de la fábrica o están suspendidos en el aire, logran colectarse, se evitará la contaminación del micro ambiente por partículas suspendidas y, además, se evitará la *fuga* de materia prima que la empresa tiene por este concepto.
2. Si una delgada capa de agua, *niebla*, está constantemente depositándose sobre la materia prima en el *almacenamiento a cielo abierto, de servicio directo*, se evitará que la acción del viento y los movimientos de la misma produzcan polvos que puedan afectar la salud y la comodidad de los vecinos.
3. Si se confina el *almacenamiento a cielo abierto de molienda de ladrillería*, se evitarán algunas fugas de polvo. Esta determinación es factible, dado el tamaño pequeño de dicho almacenamiento
4. Si se definen correctamente las vías de acceso a la materia prima, de manera tal que su traslado al proceso represente el *trayecto más corto*, se evitará un *derrame* de polvos en toda el área.

## **CAPÍTULO 4**

### **DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE COLECCIÓN DE POLVOS EN EL MICRO AMBIENTE DE UNA PLANTA DE PRODUCTOS CERÁMICOS**

#### **4.1 INTRODUCCIÓN**

La importancia del diseño de un buen sistema de colección de polvos en el micro ambiente de la planta es bien conocida. Los polvos se encuentran presentes en gran parte del proceso, por lo cual es necesario limpiar el aire, en beneficio de la salud de los trabajadores y del medio ambiente laboral.

En este capítulo se abordará el problema del diseño de un sistema de colección de polvos para los micro ambientes de las secciones de *"Molienda de ladrillería"* y de las prensas ubicadas en *"Muros lado oriente"*.

El diseño de los sistemas de colección de polvos se hizo conforme a la Norma del *Committee on Industrial Ventilation*. Seguidamente, se presentará un resumen del método utilizado para el diseño del sistema, así como también las hojas de cálculo de los mismos y los planos correspondientes a la ubicación sugerida para los ductos. Además, se incluye un procedimiento para el mantenimiento de los colectores que se instalen en este proyecto. Finalmente, se hará una evaluación de los recursos con los que ya cuenta la planta, para ejecutarlo.

## 4.2 MÉTODOS DE CÁLCULO PARA UN SISTEMA DE COLECCIÓN DE POLVOS

Un sistema complejo de extracción de polvos<sup>50</sup> es actualmente un grupo de sistemas simples conectados a un ducto principal llamado "*main*". Por lo tanto, en el diseño de un sistema de ramales múltiples se aplican las mismas reglas que son utilizadas en los sistemas simples.

Para diseñar un sistema de colección de polvos es necesario contar con cierta información preliminar:

- Un plano de diseño o *layout*, de operaciones del lugar sobre el cual se hará la colección de polvos
- Un plano de la zona, en elevación
- Información acerca de los detalles de operación, la toxicidad de los materiales, etc.

Posteriormente, debe hacerse un recorrido preliminar por la zona, con el fin de identificar los puntos de transferencia de material. Normalmente, los mismos están asociados a la generación de polvos. Los puntos de transferencia serán los escogidos para colocar las "tomas" de colección de polvos. También es importante ver los espacios disponibles para la ubicación de los ductos de los ramales secundarios y del principal o *main*.

Con toda esta información se hace un trazado preliminar, en donde aparezca la ubicación preferida para los ductos, el colector y el ventilador. Las tomas, en las fuentes, se designarán con números y la intersección de dos o más ramales, o nodos, se distinguirán con letras mayúsculas.

Una vez reunida toda esta información, se determina el método de cálculo más conveniente. Existen dos métodos distintos, de diseño:

- Balance de flujo sin válvulas de ajuste
- Balance de flujo con válvulas de ajuste

Ambos métodos mencionados tienen el objetivo de obtener la capacidad de aspiración de polvos requerida en cada ramal del sistema y, al mismo tiempo, sirven para mantener la velocidad adecuada del flujo de polvos dentro de cada ramal y en la línea principal.

En el desarrollo del proyecto se utilizarán unidades del Sistema Inglés, junto con unidades del Sistema Internacional. Las primeras obedecen una costumbre de dimensionar los equipos, ductos, etc.

#### **4.2.1 MÉTODO A: BALANCE DE FLUJO SIN VÁLVULAS DE AJUSTE**

Este método provee de un procedimiento para conseguir el nivel de aspiración deseado de polvos (sistema balanceado) sin el uso de compuertas o de válvulas de ajuste. Es también llamado *Método de la presión estática balanceada*.

En este tipo de diseño, los cálculos comienzan en el ramal de mayor resistencia y siguen sección por sección del ramal principal, hasta llegar al ventilador. En cada nodo, la presión estática necesaria para conseguir el *nivel de aspiración deseado de polvos* (NAP) en el *main* debe ser igual a la presión estática en cada uno de los ramales que convergen a él. Esta condición prevalece en los sistemas en operación, pero si el sistema no está balanceado, quizá no se consiga el NAP en cada uno de los ramales.

Cuando los polvos contienen materiales explosivos, radiactivos o con trazas de magnesio, se deberá evitar la acumulación de polvos en los ductos del sistema. Es por ello que normalmente se usa este método cuando el flujo de polvos que se maneja contiene materiales con alta toxicidad.

#### **4.2.2 MÉTODO B: BALANCE DE FLUJO CON VÁLVULAS DE AJUSTE**

Este método depende del uso de válvulas de ajuste, las cuales son ajustadas después de la instalación de los ductos de forma tal que se pueda alcanzar el NAP en

cada ramal. Se comienza el cálculo en el ramal de mayor resistencia y la caída de presión se calcula sección por sección, en los ramales, y en el principal, hasta el ventilador.

En la sección del *main* en donde convergen dos ramales, el volumen de flujo deseado en pies cúbicos por minuto (cfm) es igual a la suma de los volúmenes de flujo de cada uno de los ramales convergentes, en ese nodo.

### 4.2.3 COMPARACIÓN DE AMBOS MÉTODOS

<b>MÉTODO A</b>	<b>MÉTODO B</b>
1. Los volúmenes de flujo no son fácilmente modificables por el operador	1. Los volúmenes de flujo son fácilmente modificables con ciertas precauciones
2. Bajo grado de flexibilidad para la adición de nuevos equipos o cambios sobre los ya existentes	2. Alto grado de flexibilidad para futuros cambios o adiciones
3. Los cambios en los volúmenes de extracción implican una revisión de los ductos	3. Las correcciones en los volúmenes de extracción son fáciles de realizar, dentro de ciertos intervalos
4. Son comunes los problemas de erosión ó de acumulación de material	4. Las válvulas parcialmente cerradas pueden causar problemas de erosión
5. Los ductos no se tapan si las velocidades son modificadas prudentemente	5. Los ductos se tapan si las válvulas de ajuste son maniobradas por personal inexperto
6. El diseño consume más tiempo que en el Método B	6. Diseño rápido
7. El volumen total de flujo es levemente mayor al volumen de diseño, debido a que es necesario aumentar un poco el flujo para conseguir el balance	7. El balance es conseguido con el volumen de diseño



### **4.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO POR EL MÉTODO B**

En este apartado se describirá el procedimiento de cálculo por el Método B, ya que éste es el que se adapta mejor a las circunstancias; lo cual quedó en evidencia en el apartado anterior.

Una vez que se seleccionaron los lugares en donde se colocarán las tomas, y que se identificaron las mismas mediante números y los nodos mediante letras mayúsculas, se integró una tabla en donde se colocaron los tramos debidamente identificados (columna 1). Se midió la longitud directa de cada tramo (columna 7) y se anotaron aquellos que tienen algún codo o que se conectan al principal mediante una entrada a 30° (columna 8). Luego se buscó en la norma, ver Láminas 4.1, 4.2, 4.3, y 4.4 en el Anexo 1, el equipo al cual se le colocó la toma y la misma produjo un valor de caudal mínimo recomendado (columnas 4 y 5), al igual que una velocidad óptima (columna 6) y una pérdida de energía a la entrada (columna 14). Se realizó el mismo procedimiento para cada equipo y los datos obtenidos para cada tramo fueron vaciados en una tabla similar a la Tabla 4.1.

La relación entre caudal, velocidad y sección transversal de un ducto es muy simple, teniendo en cuenta que:

$$Q = v.A,$$

en donde:

$Q$  : caudal de aire, medido en cfm

$v$  : velocidad del flujo, medido en fpm

$A$ : área del ducto, medido en pie<sup>2</sup>,

Entonces, ya que se tienen los datos del caudal y de la velocidad recomendada, se puede calcular el área de los ductos en cada tramo (columna 3) mediante la expresión:

$$A = \frac{Q}{v}$$

Los ductos son todos de sección circular y por lo tanto es posible calcular el diámetro (D) de cada ducto (columna 2) por medio de la relación:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

con lo cual:

$$D = 12.125 \cdot \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

en donde:

$D$  : diámetro del ducto, medido en pulgadas

12.125 : factor de conversión de pie a pulgadas

Una vez calculado el diámetro de cada ducto, se verifica que los mismos tengan medidas normalizadas, de lo contrario se adopta la medida normalizada más próxima, lo cual implica que en varias oportunidades tenga que modificarse la velocidad recomendada. Esto es factible de hacer, siempre y cuando la misma no quede por debajo de 3500 pies por minuto (fpm) por tramo. Esto queda ilustrado en la Tabla 4.2.

**Tabla 4.1 Hoja de cálculo utilizada en el Método "B"**

COL 1	COL 2	COL 3	COL 4	COL 5	COL 6	COL 7	COL 8	COL 9	COL 10	COL 11	COL 12	COL 13	COL 14	COL 15	COL 16	COL 17	COL 18
TRAMOS	DIAM. DUCTO [pulgadas]	VOL. DE AIRE CFM		VELOCIDAD PPM [ft/s / min]	LONG. DIRECTA [ft]	LONG. OBLICUA [ft]	LONGITUD DEL DUCTO		LONG. TOTAL [ft]	RESISTENCIA POR CIENTO [pulgadas]	RESISTENCIA DIRECTA [pulgadas]	PRESIÓN DINÁMICA [pulgadas]	PÉRDIDA DE ENTRADA VP	CAÍDA DE PRESIÓN CAMPANA SUCCIÓN VP	CAMPANA SUCC. [pulgadas]	RESISTENCIA PRESIÓN ESTÁTICA [pulgadas]	ODV. SP
		ÁREA DUCTO [ft <sup>2</sup> ]	TRAMO [ft <sup>2</sup> / min]				PRINCIPAL [ft <sup>2</sup> / min]	ERTRADAS [trades]									

**Tabla 4.2** *Diámetros y secciones normalizadas para ductos*

Diámetro pulgadas	ÁREA		PERÍMETRO	
	pulg. <sup>2</sup>	pie <sup>2</sup>	pulgadas	pie
<b>1</b>	0.7854	0.0054	3.1416	0.2618
<b>1 1/2</b>	1.767	0.0123	4.712	0.3927
<b>2</b>	3.14	0.0218	6.28	0.5236
<b>2 1/2</b>	4.91	0.0341	7.854	0.6544
<b>3</b>	7.07	0.0491	9.42	0.7854
<b>3 1/2</b>	9.62	0.0668	11	0.9164
<b>4</b>	12.57	0.0873	12.57	1.047
<b>4 1/2</b>	15.9	0.1105	14.14	1.178
<b>5</b>	19.63	0.1364	15.71	1.309
<b>5 1/2</b>	23.76	0.165	17.28	1.439
<b>6</b>	28.27	0.1964	18.85	1.571
<b>6 1/2</b>	33.18	0.2305	20.42	1.702
<b>7</b>	38.48	0.2673	21.99	1.833
<b>7 1/2</b>	44.18	0.3068	23.56	1.964
<b>8</b>	50.27	0.3491	25.13	2.094
<b>8 1/2</b>	56.75	0.394	26.7	2.225
<b>9</b>	63.62	0.4418	28.27	2.356
<b>9 1/2</b>	70.88	0.4923	29.85	2.487
<b>10</b>	78.54	0.5454	31.42	2.618
<b>11</b>	95.03	0.66	34.56	2.88
<b>12</b>	113.1	0.7854	37.7	3.142
<b>13</b>	132.7	0.9218	40.84	3.403
<b>14</b>	153.9	1.069	43.98	3.665
<b>15</b>	176.7	1.227	47.12	3.927
<b>16</b>	201	1.396	50.26	4.189
<b>17</b>	226.9	1.576	53.41	4.451
<b>18</b>	254.4	1.767	56.55	4.712
<b>19</b>	283.5	1.969	59.69	4.974
<b>20</b>	314.1	2.182	62.83	5.236
<b>21</b>	346.3	2.405	65.97	5.498
<b>22</b>	380.1	2.64	69.11	5.76
<b>23</b>	415.4	2.885	72.26	6.021
<b>24</b>	452.3	3.142	75.4	6.283
<b>25</b>	490.8	3.409	78.54	6.545
<b>26</b>	530.9	3.687	81.68	6.807
<b>27</b>	572.5	3.976	84.82	7.069
<b>28</b>	615.7	4.276	87.96	7.33
<b>29</b>	660.5	4.587	91.11	7.592

Aquellos tramos que tengan codos tendrán una longitud adicional, la cual variará dependiendo del ángulo que forme el mismo (columna 9). Esta longitud adicional, respecto del tramo de tubería o ducto recto, se llama *longitud equivalente* y sus valores para algunos accesorios comunes son reportados en la Tabla 4.3. Con los datos de la longitud de los tramos rectos y la longitud equivalente es posible calcular la longitud total de cada tramo (columna 10). En el caso de que no existan codos u otros accesorios en el tramo estudiado, la longitud total coincidirá con la longitud del tramo recto. Haciendo uso de los datos de los valores porcentuales de resistencia, contenidos en la Tabla 4.4, enseguida se calcula para cada tramo de ducto un valor porcentual de resistencia (columna 11), medida en pulgadas de columna de agua. Con este valor porcentual y conociendo la longitud total de cada tramo se calcula la resistencia directa en los mismos (columna 12).

La presión dinámica (columna 13) se obtiene de la siguiente manera:

$$VP = \left[ \frac{v}{4005} \right]^2,$$

en donde:

$VP$  : presión dinámica, medida en pulgadas de columna de agua.

La caída de presión en la campana de succión (columna 15), es igual a las pérdidas de carga a la entrada más una unidad. Por otro lado, la resistencia en la campana de succión (columna 16) se obtiene multiplicando, en cada tramo, la presión dinámica por la caída de presión en la campana de succión.

Finalmente, para el cálculo de la presión estática en cada tramo (columna 17) se determina la suma de la resistencia directa en cada uno de ellos y la resistencia en la campana de succión. Para calcular la caída de presión total en el principal (columna 18) debe tenerse en cuenta que la caída de presión en un cierto tramo, al cual acceden dos o más secundarios, es igual a la caída de presión propia del tramo más la caída de presión del secundario con mayor caída de presión.

**Tabla 4.3 Longitudes equivalentes de accesorios**

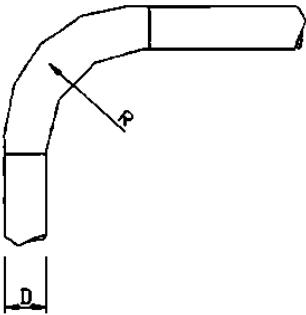
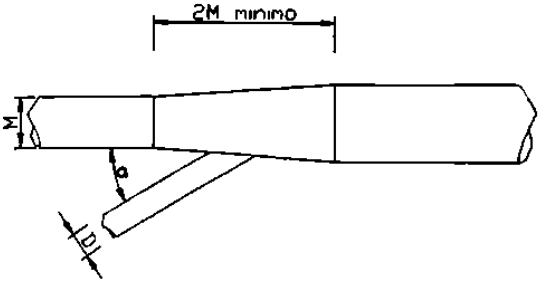
RESISTENCIA EQUIVALENTE EN PIES					
					
DIAM de la TUBERÍA	CODDO DE 90° RADIO AL CENTRO			ANGULO DE ENTRADA	
	1.5D	2D	2.5D	30	45°
3"	5	3	3	2	3
4	6	4	4	3	5
5	9	6	5	4	6
6'	12	7	6	5	7
7	13	9	7	6	9
8	15	10	8	7	11
10"	20	14	11	9	14
12'	25	17	14	11	17
14"	30	21	17	13	21
16'	36	24	20	16	25
18"	41	28	23	18	28
20"	46	32	26	20	32
24	57	40	32		
30	74	51	41		
36'	93	64	52		
40"	105	72	59		
48'	130	89	73		

Tabla 4.4 Valores porcentuales de resistencia, para cada tramo de tubería

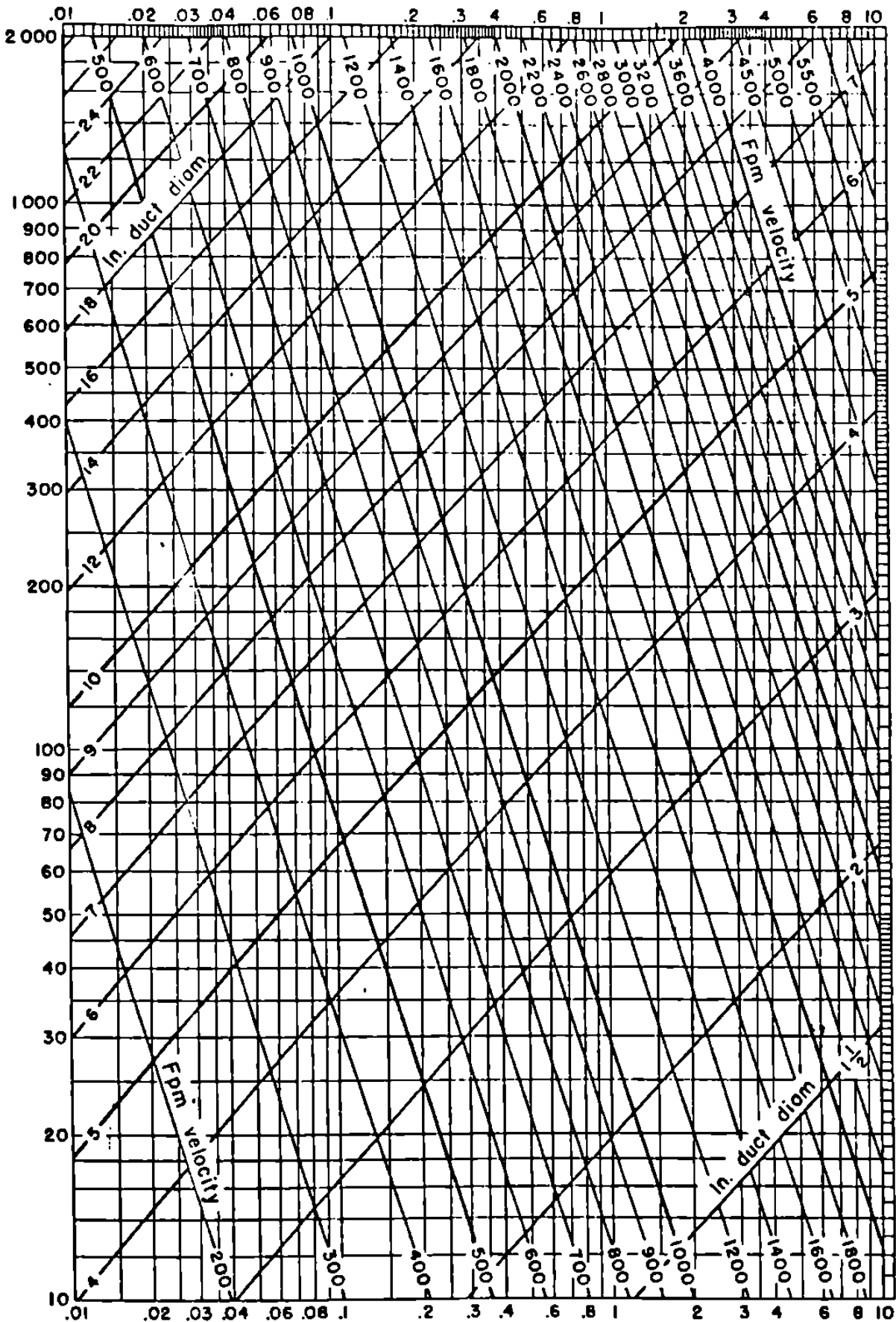
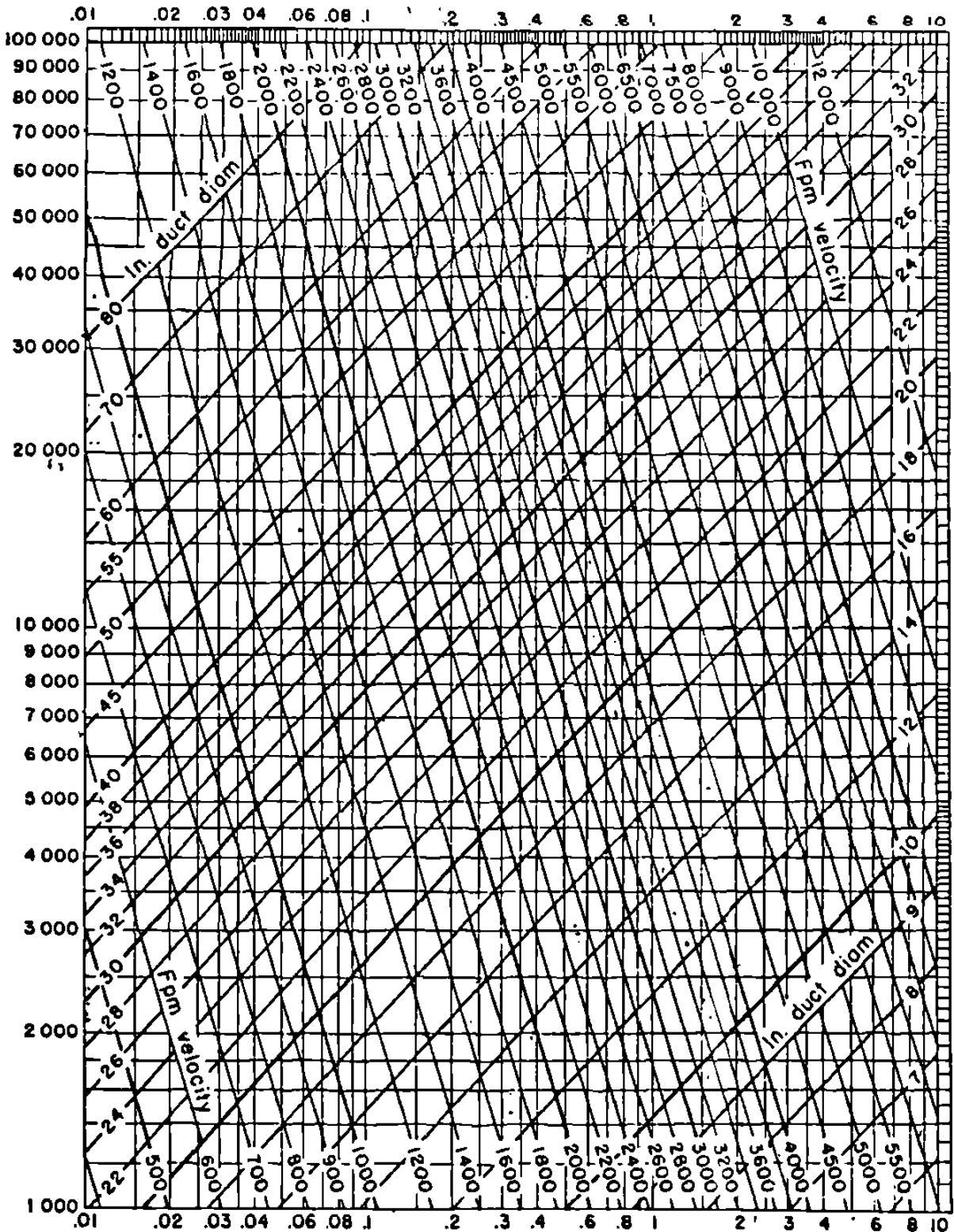


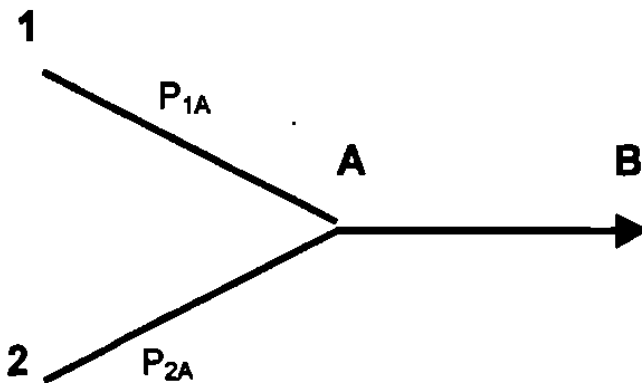
Tabla 4.4 Valores porcentuales de resistencia, para cada tramo de tubería.

Continuación





Tómese como ejemplo el siguiente diagrama:



Los puntos señalados como 1 y 2 son tomas de colección de polvos en dos equipos distintos. Los segmentos 1A y 2A son tramos secundarios que tienen por nodo al punto A, en tanto que el segmento AB es el *main* del sistema de este ejemplo.

El tramo 1A tiene una caída de presión propia P<sub>1A</sub> y el tramo 2A tiene una caída de presión propia P<sub>2A</sub>, en tanto que la caída de presión propia en el *main* AB es P<sub>AB</sub>.

Suponiendo que P<sub>1A</sub> > P<sub>2A</sub>, entonces la caída de presión total en el *main* se calcula como:

$$P_{TOTAL} = P_{1A} + P_{AB}$$

Siguiendo el proceso descrito anteriormente para cada uno de los tramos secundarios, y del principal, se podrá obtener finalmente un valor de caudal total Q y una caída de presión total medida en pulgadas de columna de agua.

#### **4.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE COLECCIÓN DE POLVOS PARA EL MICRO AMBIENTE DEL ÁREA DE MOLIENDA DE LADRILLERÍA**

Dentro de la planta cerámica uno de los micro ambientes más afectados es el de la Molienda de Ladrillería. La velocidad de flujo mínima considerada en todo el sistema es de 3500 fpm, de manera que se han colocado tomas de extracción de polvos en los siguientes equipos:

##### **➤ MOLINOS CHILENOS**

Se consideró una toma por equipo, con una campana de succión de 18" por 18", lo cual produce una sección de toma de 2.2 pie<sup>2</sup>.

Tomando un caudal de por lo menos 200 cfm/pie<sup>2</sup>, se obtiene un total de 440 cfm por toma en cada uno de los molinos chilenos.

##### **➤ SEPARADOR**

También se le colocó una campana de succión de 18" por 18", de manera que también se obtiene un caudal de extracción de 440 cfm.

##### **➤ ELEVADORES DE CANGILONES**

Existen cuatro elevadores en la molienda de ladrillería, dos elevan el material desde los molinos chilenos hasta la banda que alimenta a las cribas y dos elevan el material desde la quebradora hasta las tolvas.

Para cada uno de ellos se consideraron dos tomas; una ubicada en la parte superior del elevador y la otra al pie del mismo. En cada toma se colocó una campana de succión de 18" por 18", lo que equivale a una sección de 2.2 pie<sup>2</sup>. Considerando un caudal de 100 cfm/pie<sup>2</sup>, produjo una capacidad de 220 cfm para cada toma de los elevadores.

## ➤ CRIBAS

Existen en total tres cribas; en cada una de ellas se colocaron tres tomas de colección de polvos. Dado que cada una de las campanas de succión son de 18" por 18", lo que da un área de 2.2 pie<sup>2</sup> para cada campana, y tomando un caudal mínimo de 200 cfm/pie<sup>2</sup>, se obtuvo que el caudal de extracción de cada una de las tomas de las cribas es de 440 cfm.

## ➤ INTERSECCIÓN DE LA BANDA DELANTAL CON LA BANDA PROVENIENTE DE CRIBAS

La banda proveniente de las cribas trae material *grueso*, es decir, que no tiene el tamaño adecuado para seguir su camino hacia las tolvas; por lo tanto dicho material se vuelve a colocar en la banda delantal con el fin de volverse a triturar. En ese punto de intersección de ambas bandas se colocó una toma de extracción de polvos. La norma recomienda considerar un caudal mínimo de 350 cfm/pie de ancho de banda y, como la banda tiene un ancho de 1.48 pie, entonces el caudal de extracción será de 520 cfm.

## ➤ TOLVAS

Existen tres tolvas; a cada una se le colocó una toma de extracción de polvos en el punto de transferencia de material desde la tolva a la banda delantal. Para ello se consideró una campana de succión de 18" por 18", por lo tanto una sección de 2.2 pie<sup>2</sup>. Tomando un caudal mínimo de 200 cfm/pie<sup>2</sup> se obtiene un caudal de extracción de 440 cfm por toma en cada tolva.

## ➤ INTERSECCION DE LA BANDA DELANTAL CON LA BANDA INCLINADA

La banda delantal alimenta la banda inclinada, la cual lleva material a un separador que alimenta a los molinos chilenos. En ese punto se colocó una toma de 520 cfm por medio de una campana de succión de 18" por 18".

#### 4.4.1 RESULTADOS DE LAS HOJAS DE CÁLCULOS

Las hojas de cálculos nos indican que el caudal total de extracción es de 9880 cfm y que la caída de presión total es de 7.928 pulgadas de columna de agua a una velocidad final de flujo de polvo de 3 742 fpm, para lo cual se recomienda que el tramo de *main* que une al sistema en estudio (Molienda de Ladrillería) con el colector, tenga un diámetro de 22 pulgadas. Los resultados de todos los cálculos intermedios y finales se muestran en forma resumida, en la Tabla 4.5.

Con el fin de tomar en cuenta y anticipar seguras fluctuaciones en los niveles de polvos generados, se consideró para el caudal un factor de seguridad de un 20%, por lo tanto:

$$Q_{TOTAL} = 1.2 \cdot Q$$

$$Q_{TOTAL} = 1.2 \cdot 9880$$

$$Q_{TOTAL} = 11856 \quad cfm$$

valor que se ha redondeado a 12 000 cfm de caudal total.

De esta forma los resultados obtenidos permiten seleccionar el colector, el ventilador y el motor.

Tabla 4.5 Hoja de cálculo para el área de molienda de ladrillería

TRAMOS	DIAM. DUCTO [pulgadas]	VOL. DE AIRE CFM		VELOCIDAD		LONGITUD DEL DUCTO			RESISTENCIA		PRESIÓN DINÁMICA [pulgadas]	PÉRDIDA DE ENTRADA VP	CAIDA DE PRESIÓN CAMPANA SUCCIÓN VP	CAMPANA SUCC. [pulgadas]	RESISTENCIA FRECCIÓN ESTÁTICA [pulgadas]
		ÁREA DUCTO [pie <sup>2</sup> ]	TRAMO [pie <sup>3</sup> /min]	CFM [pie <sup>3</sup> /min]	PRINCIPAL [pie <sup>3</sup> /min]	LONG. DIRECTA [pies]	CODOS [grados]	ENTRADAS [grados]	LONG. EQUIV. [pie]	LONG. TOTAL [pie]					
1A	3.5	0.0098	236	3618		7.9	90°	3.5	11.4	6.5	0.74	1	2.00	1.542	2.26
2A	3.5	0.0098	236	3618		49	90°	3.5	52.5	6.5	3.41	1	2.00	1.52	4.93
A-B	4.5	0.1105		4253	478	11			11	8.8	0.75	1			4.93 + 0.75 = 5.68
3B	3.5	0.0098	236	3518		1.8	30°		1.8	6.5	0.117	1	2.00	1.52	1.657
B-C	6	0.1954		3590	795	5.41			5.41	3.4	0.164	1			5.68 + 0.164 = 5.844
4C	3.5	0.0098	236	3518		49	90°	3.5	52.5	6.5	3.410	1	2.00	1.52	4.93
C-F	7	0.2673		3518	840	12.62			12.62	2.7	0.340				6.864 + 0.34 = 7.204
5D	5	0.1364	480	3518		7.05	90°	6	13	4.1	0.530	0.6	1.60	1.158	1.66
6D	5	0.1364	480	3519		1.62	30°		1.62	4.1	0.066	0.5	1.50	1.156	1.224
DE	7	0.2673	690	3591		8.86			8.86	2.7	0.240	0.5	1.50	1.155	1.395
7E	5	0.1364	480	3519		1.62	30°		1.62	4.1	0.066	0.5	1.60	1.158	1.224
EF	8.5	0.3640	1440	3665		3.6	30°		3.6	2.3	0.083	0.5	1.50	1.245	1.328
F-I	11	0.6900		3609	2280	9.37			9.37	1.7	0.159				6.204 + 0.159 = 6.363
8G	5	0.1364	480	3518		7.05	90°	6	13	4.1	0.530	0.6	1.60	1.158	1.66
9G	5	0.1364	480	3519		1.62	30°		1.62	4.1	0.066	0.5	1.50	1.156	1.224
GH	7	0.2673	690	3591		8.86			8.86	2.7	0.240	0.5	1.50	1.155	1.395
10H	5	0.1364	480	3519		1.62	30°		1.62	4.1	0.066	0.5	1.60	1.158	1.224
H	8.5	0.3640	1440	3665		3.6	30°		3.6	2.3	0.083	0.5	1.60	1.245	1.328
I-L	14	1.0590		3574	3820	6.5			6.5	1.3	0.085				6.363 + 0.085 = 6.448
11J	5	0.1364	480	3519		7.05	90°	6	13	4.1	0.530	0.6	1.50	1.158	1.66
12J	5	0.1364	480	3519		1.62	30°		1.62	4.1	0.066	0.5	1.60	1.156	1.224
JK	7	0.2673	690	3591		8.86			8.86	2.7	0.240	0.5	1.50	1.155	1.395
13K	5	0.1364	480	3519		1.62	30°		1.62	4.1	0.066	0.5	1.50	1.155	1.224
KL	8.5	0.3640	1440	3665		3.6	30°		3.6	2.3	0.083	0.5	1.60	1.245	1.328
L-O	16	1.3980		3769	6280	33.18		24	57.18	1.2	0.980	0.25	1.25	1.132	6.448 + 0.98 = 7.428
14M	5	0.1364	520	3512		17.272	90°	6	23.27	4.8	1.116				2.25
15M	4.5	0.1105	440	3582		10.6	90°	5	15.6	6	0.790	0.25	1.25	1.226	2.02

Tabla 4.5 Continuación

TRAMOS	DIAM. DUCTO [pulgadas]	VOL. DE AIRE CFM		VELOCIDAD		LONGITUD DEL DUCTO				RESISTENCIA		PRESIÓN DINÁMICA [pulgadas]	PÉRDIDA DE ENTRADA DE YP	CAÍDA DE PRESIÓN CAMPANA SUCCIÓN YP	CAMPANA SUCC.	RESISTENCIA PRESIÓN ESTÁTICA	GOV. SP	
		ÁREA DUCTO [pie <sup>2</sup> ]	TRAMO [pie <sup>2</sup> /min]	CFM PRINCIPAL [pie <sup>2</sup> /min]	PPM [pie/seg]	LONG. DIRECTA [pie]	ÁNGULO [grados]	ENTRAIDAS [grados]	LONG. EQUIV. [pie]	LONG. TOTAL [pie]	POR CIENTO [pulgadas]							DIRECTA [pulgadas]
MV	7.0	0.2073	680		3682	7.215	90°	30°	5	7.215	2.6	0.20	0.80	1.25		2.248 + 0.2 =	2.248	
16V	4.5	0.1105	440		3682	10.6	90°	30°	5	15.6	5	0.78	0.96	1.25	1.225	2.018	2.248	2.5248
MR	8.5	0.3940	1400		3553	13.34	90°	30°	5	13.34	2.1	0.26	0.76	1.25	1.225	2.015	2.648	2.698
17R	4.5	0.1105	440		3682	10.6	90°	30°	5	15.6	5	0.78	0.96	1.25	1.225	2.015	2.648	2.698
RS	9.6	0.4623	1640		3737	5.41	90°	30°	5	5.41	2.2	0.12	0.87	1.25	1.225	1.875	2.648	2.698
21S	5	0.1364	520		3612	10.6	90°	30°	5	15.6	4.8	0.75	0.90	1.25	1.225	1.875	2.648	2.698
8T	11	0.6800	2360		3575	5.41	90°	30°	5	5.41	1.5	0.081	0.80	1.25	1.225	2.068 + 0.081 =	2.740	
18P	4.5	0.1105	440		3682	13.35	90°	30°	5	13.35	6	1.101	0.96	1.25	1.225	2.330		
19P	4.5	0.1105	440		3682	4.66	90°	30°	5	4.66	6	0.28	0.96	1.25	1.225	1.515		
PQ	6.5	0.2305	880		3518	3.9	90°	30°	5	3.9	3.6	0.14	0.91	1.25	1.225	2.33 + 0.14 =	2.47	
20Q	4.5	0.1105	440		3682	9	90°	30°	5	9	6	0.54	0.96	1.25	1.225	1.785		
OO	8	0.3481	1320		3781	43.65	90°	30°	26	43.65	2.7	1.178	0.90	1.25	1.225	2.47 + 1.178 =	3.648	
O-T	18	1.7870		6880	3724	10.1	90°	30°	26	36.1	0.68	0.330	0.660	1	1.542	7.128 + 0.33 =	7.468	
22U	3.5	0.0588	235		3518	10.13	90°	30°	3.5	10.13	6.5	0.660	0.771	2.00	1.542	1.622		
23U	3.5	0.0588	235		3518	18	90°	30°	3.5	18.5	6.5	1.267	0.771	2.00	1.542	2.800		
UV	4.5	0.1105	470		4253	4.32	90°	30°	3.5	4.32	6.6	0.30	1.1276	2.00	1.542	2.8 + 0.3 =	3.1	
24V	3.5	0.0588	235		3518	1.45	90°	30°	3.5	1.45	6.5	0.084	0.771	2.00	1.542	1.698		
VW	6	0.1684	705		3590	2.86	90°	30°	3.5	2.86	3.2	0.092	0.603	1	1.542	3.1 + 0.092 =	3.192	
25W	3.5	0.0588	235		3518	16	90°	30°	3.5	16	6.5	1.267	0.771	2.00	1.542	2.800		
WX	7	0.2073	940		3517	15.6	90°	30°	3.5	15.6	2.7	0.418	0.771	2.00	1.542	3.192 + 0.418 =	3.61	
YX	21	2.4030		6840	3717	18.6	90°	30°	3.5	18.6	0.8	0.416	0.86			7.458 + 0.416 =	7.874	
X-Z	22	2.6400		6880	3742	7.2	90°	30°	3.5	7.2	0.76	0.05	0.86			7.874 + 0.054 =	7.928	

## 4.4.2 SELECCIÓN DEL COLECTOR

La correcta selección del colector depende de la exactitud y veracidad de la información recabada. La hoja de especificaciones para la selección se divide en dos partes, la primera parte titulada *información esencial* es vital, sin ella no se puede seleccionar el equipo, con la segunda parte, titulada *información importante*, se define la selección del equipo más apropiado.

### INFORMACIÓN ESENCIAL

- Descripción de la aplicación: Colección de polvos en la molienda de materia prima para la fabricación de ladrillos.
- Flujo de aire a manejar: 12 000 cfm
- Temperatura aproximada de entrada del aire: 35°C
- Descripción del polvo: Polvo de roca

Sabiendo que se trata de polvo de roca, se busca entonces cuál será la relación de filtración utilizando los datos de la Tabla 4.6, en donde los datos son dados en metros cúbicos por hora, sobre metros cuadrados.

**Tabla 4.6 Relaciones de filtración recomendadas en términos de flujo de aire sobre área de tela filtrante**

<b>MATERIALES</b>	<b><math>\frac{m^3}{h}</math></b>	<b>MATERIALES</b>	<b><math>\frac{m^3}{h}</math></b>
	<b><math>m^2</math></b>		<b><math>m^2</math></b>
Almidón	180	Granos	250
Alúmina	145	Harina	220
Arcilla, Barro	165	Hierro mineral	200
Arena	145	Mica	165
Asbestos	180	Óxido de hierro	130
Aserrín	220	Óxido de plomo	110
Azúcar	110	Óxido de zinc	110
Bauxita	145	Papel	220
Cal	145	Pigmento de pintura	165
Caliza	145	Plásticos	145
Carbón mineral	145	Polvo de carbón	90
Cemento	145	Polvo de esmalte	165
Cocoa, Chocolate	220	Polvo de piel	220
Cosméticos	180	<b>Polvo de roca</b>	<b>165</b>
Detergentes	110	Cuarzo	165
Especies	180	Sílica	110
Feldespató	165	Sulfato de hierro	110
Fertilizante	145	Tabaco	200
Grafito	90	Talco	165

En base a los datos de la tabla anterior se obtuvo que la relación de filtración para polvo de roca contenido en aire es:

$$R = 165 \frac{m^3/h}{m^2}$$



Después de dividir la capacidad total calculada por la relación de filtración de polvo de roca se obtuvo el parámetro de diseño K, cuyo significado físico es obvio:

$$K = \frac{12000}{165}$$

$$K = 72.72$$

Ya con este valor de K se busca en el catálogo del fabricante el número igual o inmediato superior al calculado. Para este proyecto la selección llevó al modelo:

**KNC – 1 – 64 / 78** cuyas dimensiones se pueden ver en el catálogo del fabricante en el Anexo 2.

Las características básicas de este modelo son las siguientes:

- 64 bolsas por módulo
- Un área de filtración de 78 m<sup>2</sup> por módulo
- Una caída de presión de 4 pulgadas de columna de agua

#### INFORMACIÓN IMPORTANTE

- Características del polvo: abrasivo
- Porcentaje de humedad: 25 %
- Densidad o peso específico a granel del polvo en Kg/m<sup>3</sup>
- Contaminantes gaseosos (tipo y concentración): no existentes

Esta información se utiliza para la selección de las bolsas pues el material a utilizar varía según la aplicación, para lo cual es importante determinar el tamaño de las partículas y la carga de polvo. Esta determinación se puede hacer utilizando directamente los datos de tamaño vs carga de la Tabla 4.7. La información correspondiente al nivel de contaminantes gaseosos es muy útil ya que si existe algún tipo de contaminante, el diseño, construcción y recubrimiento del colector KNC puede variar.

**Tabla 4.7** *Determinación del tamaño y carga de partículas*

INDUSTRIA DEL	APLICACIÓN	CARGA DE POLVO	TAMAÑO DE PARTÍCULAS
ACERO	Homos de arco eléctrico	B	EF
	Manejo de carbón y coque	M	M
	Manejo de materiales	M-A	F-M
	Planta de paletizado	M	M
CARBÓN	Desempolvamiento	A	M
	Manejo de materiales	M	M
	Ventilación general	B	F
CEMENTO	Manejo de cemento	M	F
	Manejo de clicker	M	M
	Manejo de yeso	B	F
	Manejo de caliza	M	F
	Venteo de silos	B	F
CERÁMICA	Manejo de materiales	B	F-M
	Molido y pulverizado	M-A	F-M
CORTE DE PAPEL	Cuchillas	M	M
FARMACÉUTICA	Bombos	M	F-M
	Mezclado	B	M
	Granulado	B	M
	Pesado	B	M
	Envasado	B	M
FUNDICIONES	Homos de cubilote	M	V
	Limpieza con abrasivos	M-A	F-M
	Manejo de arena	M	F-M
	Metales no ferrosos	M-A	EF
	Shakeout	B-M	F
HULE Y PLÁSTICO	Acabados	B	F-M
	Bamburis	B	F
	Esmerilado y pulido	M	M
	Manejo de materiales	M	M
	Molinos de rodillos	B	F
	Polvo de talco	M	M

**Tabla 4.7 Continuación**

INDUSTRIA DEL	APLICACIÓN	CARGA DE POLVO	TAMAÑO DE PARTICULAS
MADERERA	Molduradoras	A	V
	Pulidoras	M	F
	Sierras	M	V
MANEJO DE GRANOS	Enfriadores	M	M
	Manejo de granos	B	M
	Molinos	M	M
METAL MECÁNICA	Esmerilado	B	F
	Maquinado	B	F
	Máq. limpieza de metales	M	V
PEDRERAS Y MINAS	Enfriadores	M	M
	Cribado	A	M
	Manejo de material	M-A	F-M
	Quebrado	A	M
	Secadores y homos	M-A	M
	Venteo de silos	B	M
POLVO DE METAL	Esmerilado	M-A	F-M
	Rectificado	M-A	F-M
PRODUCTOS ALIMENTICIOS	Bombos	M	F-M
	Manejo de azúcar	B	F-M
	Mezclado	B	M
	Granulado	B	M
	Pesado	B	M
	Envasado	B	M
QUÍMICA	Manejo de materiales	B-M	V
	Pesado y cribado	B-M	F-M
	Quebrado y pulverizado	A	V
	Venteo de silos	B	F-M
VIDRIO	Carga de horno	M	M
	Humos de Combustión	B	F
	Manejo de material	M	M
	Venteo de silos	B	F

La nomenclatura utilizada a lo largo de las tablas tiene el significado siguiente:

### **CARGA DE PARTÍCULAS**

B: BAJA	0.1 – 1 gr./m <sup>3</sup>
M: MEDIANA	1 – 5 gr./m <sup>3</sup>
A: ALTA	5 – 50 gr./m <sup>3</sup>

### **TAMAÑO DE PARTÍCULAS**

EF: EXTRA FINO	0.1 – 1 micra
F: FINO	1 – 5 micra
M: MEDIANO	5 – 10 micra
V: VARIADA	combinación

En la fila correspondiente a la Industria de la Cerámica se observa que para la operación de molido y pulverizado los parámetros correspondientes son:

- El tamaño de las partículas es de FINO a MEDIANO, lo que corresponde a 5 micras.
- La carga de partículas es de MEDIANA a ALTA y ello corresponde a 5 gr/m<sup>3</sup>.

### **OTRA INFORMACIÓN IMPORTANTE**

- Planos de distribución o *layout* y en elevación
- Tipo de operación: intermitente
- Disponibilidad de aire comprimido: sí
- Los polvos son reutilizables: sí

La información correspondiente al tipo de trabajo y la disponibilidad de aire comprimido se utiliza para determinar si la selección del sistema de sacudido por pulsos de aire comprimido es la adecuada.

La posibilidad de reutilización de los polvos es importante para determinar el equipo adecuado para el manejo del polvo colectado y como base para un análisis financiero. Toda la información anterior (esencial e importante) es vital para hacer una correcta selección del equipo a instalar.

### 4.4.3 CARACTERÍSTICAS DEL COLECTOR SELECCIONADO

Los colectores de polvos modelo KNC están diseñados para la operación continua y automática, y usan el sistema de pulsos de aire comprimido limpio y seco entre 85 y 100 lb/pulg<sup>2</sup> de presión, en contra corriente, para la limpieza de las bolsas. La Figura 4.1 muestra una vista en corte de un colector de polvos modelo KNC. En la entrada del colector se encuentra instalado un baffle o deflector (1) que obliga al aire con polvo a cambiar bruscamente de dirección, lo cual hace que las partículas grandes y pesadas se separen y precipiten al fondo de la tolva (2), el aire con las partículas más pequeñas pasa a través de las bolsas (3) donde el polvo es capturado en la superficie, formando una capa que en determinado momento ayuda a mejorar la eficiencia del colector, el aire filtrado pasa de las bolsas a la cámara de aire limpio (4) localizada en la parte superior y es descargado a través de la brida de salida (5).

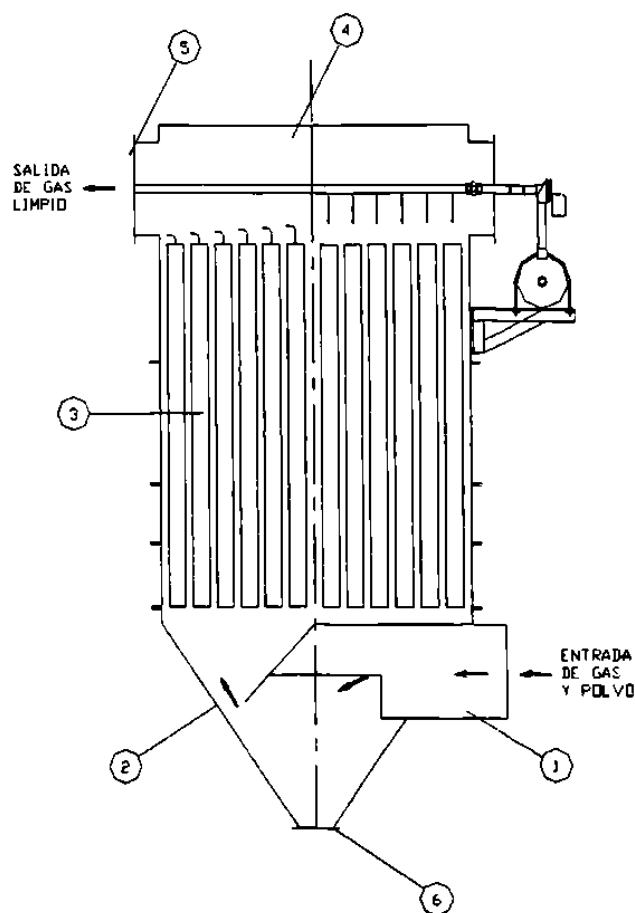
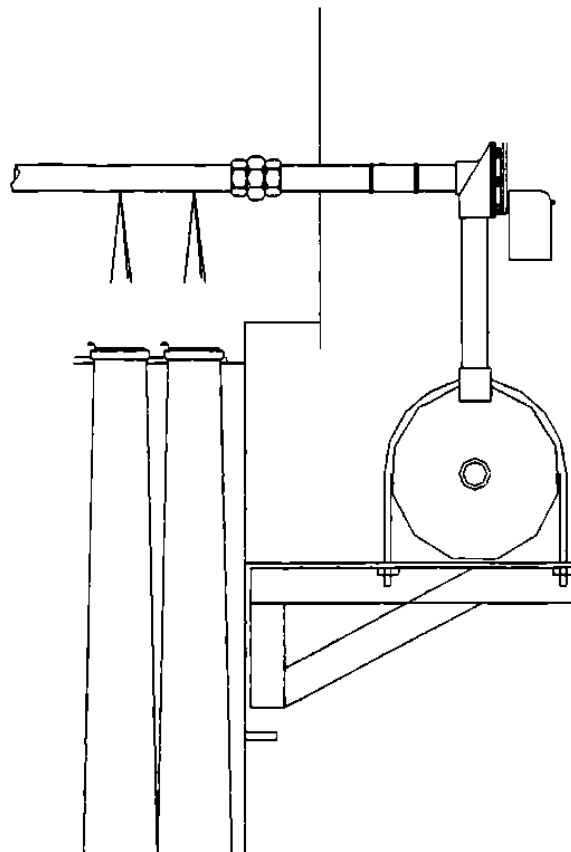


Figura 4.1 Colector de polvos modelo KNC

Todas las bolsas se sacuden periódicamente con pulsos de aire comprimido, los cuales se controlan mediante un secuenciador electrónico de tal forma que en un momento dado sólo un porcentaje del número total de bolsas son limpiadas mientras que el resto continúa filtrando, lo que permite que la unidad permanezca en operación continua.

Las partículas son capturadas en las bolsas, en donde se aglomeran formando partículas más grandes y pesadas que al desprenderse de la bolsa por acción del pulso de aire comprimido caen a la tolva y son desalojadas del colector por medio de una válvula instalada en la brida de descarga (6).

La Figura 4.2 muestra un detalle del cabezal de aire comprimido.



**Figura 4.2** *Detalle mostrando el cabezal de aire comprimido y válvulas para operación de limpieza*

## MATERIAL DE LAS BOLSAS

Las bolsas utilizadas en los colectores varían según el uso que se les vaya a dar y de otros factores presentados en las especificaciones. La Tabla 4.8 muestra algunos materiales calificados por un índice de 1 a 5, según sea su comportamiento:

- 1 – malo
- 2 – regular
- 3 – bueno
- 4 – muy bueno
- 5 – excelente

**Tabla 4.8** Comportamiento de algunos materiales frente a algunos factores adversos

<b>Cualidad</b>	<b>Máx. Temp.</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Resistencia</b>
<b>Material</b>	<b>en °C</b>	<b>a la abrasión</b>	<b>a los ácidos</b>	<b>a la tensión</b>	<b>a álcalis</b>
<b>Polipropileno</b>	94	4	5	5	5
<b>Poliéster</b>	135	4	3	5	3
<b>Nomex</b>	205	5	2	4	5
<b>Teflón</b>	233	2	5	2	5
<b>Fibra de vidrio</b>	260	2	2	5	2

Dadas las características del polvo con el cual se trabaja en la planta, se recomienda el uso de bolsas de POLIPROPILENO.

## CANASTILLAS

Las canastillas están hechas de acero al carbón, de diferentes calibres, con galvanizado electrolítico.

## MANÓMETRO DIFERENCIAL

Todos los colectores tienen un manómetro diferencial que indica la caída de presión en las bolsas.

## SECUENCIADOR ELECTRÓNICO

El secuenciador electrónico tiene la capacidad de poder ser ajustado de acuerdo con las necesidades específicas. Éste siempre se entrega por separado, para dejar a criterio del cliente el lugar óptimo de su colocación.

El material con el cual está construido el colector es acero al carbono, en diferentes espesores. El acabado normal consta de un primario y un esmalte alquídico. Sin embargo, sobre pedido se puede suministrar el equipo con pintura epóxica, con preparación de limpieza a chorro de arena o *sandblast* y hasta con recubrimientos especiales.

Todos los colectores KNC tienen:

- Fácil acceso por escalera marina
- Baranda de protección
- Puertas de acceso en la parte superior para fácil inspección y mantenimiento de las bolsas
- Plataforma para el mantenimiento de las válvulas
- La unión de las partes principales del colector es por medio de tornillos y bridas para evitar la soldadura en el campo

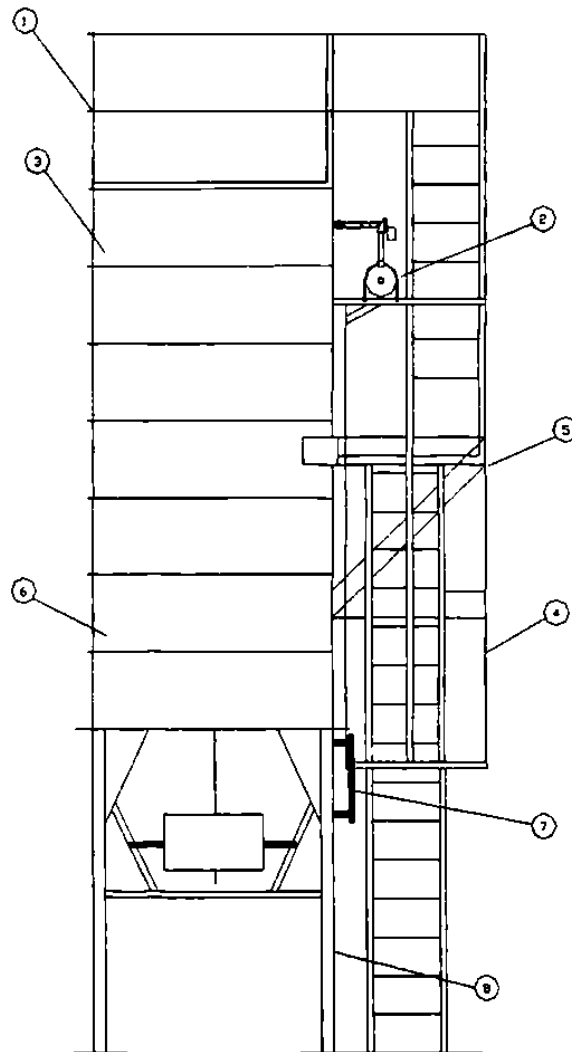
## INSTALACIÓN

Para la instalación de un colector es importante poner especial atención a la cimentación, su nivelación, cuadratura y tolerancias antes del montaje. En la Figura 4.3 se pueden ver las distintas partes de un colector modelo KNC, las cuales se montan siguiendo los siguientes pasos:



## MONTAJE

1. Montar tolva (7) y estructura de soporte (8) sobre la cimentación
2. Subir el cuerpo (6) y atornillarlo a la tolva colocando empaque entre las bridas
3. Colocar plenum (3) sobre el cuerpo, colocando empaque entre las bridas, poniendo especial atención en la posición del cabezal (2) y de la salida del aire antes de atornillar.
4. Montar plataforma de servicio (5), baranda (1) y escalera marina (4).
5. Montar secuenciador electrónico y hacer conexiones eléctricas a válvulas solenoides.
6. Hacer las conexiones eléctricas y neumáticas
7. Montar las bolsas e introducir canastillas en las bolsas



**Figura 4.3** Partes de un colector modelo KNC

## **VERIFICACIONES PREVIAS AL ARRANQUE**

- 1. Verificar que las puertas de acceso estén cerradas**
- 2. Verificar la presión en el cabezal; que debe estar entre 80 y 100 psi**
- 3. Verificar el montaje total de las bolsas**
- 4. Verificar que no haya objetos olvidados dentro del colector**

## **ARRANQUE**

**El arranque consta básicamente de dos fases:**

**FASE I: Arranque del colector sin flujo de aire**

- 1. Encender el interruptor principal**
- 2. Abrir la alimentación de aire comprimido al tanque de presión**
- 3. Arrancar el equipo de descarga de polvos (si existe)**
- 4. Arrancar el secuenciador electrónico**

**Verificar el correcto funcionamiento de válvulas solenoides y de diafragma**

**Verificar la inexistencia de fugas en los tubos de aire comprimido**

**Verificar el equipo de desalojo de polvo a la tolva**

**FASE II: Arranque del colector con flujo de aire.**

**Se repiten los pasos 1, 2, 3, 4 y**

- 5. Arrancar el ventilador**

**Verificar que no existan infiltraciones de aire en las conexiones y puertas de acceso**

## **PARO DEL EQUIPO**

**El paro del equipo tiene el siguiente orden:**

- 1. Apagar el ventilador**
- 2. Apagar el secuenciador electrónico**

3. Parar la descarga de polvo
4. Cerrar la alimentación de aire comprimido al cabezal
5. Apagar el interruptor principal

## OPERACIÓN

Todos los colectores de polvo modelo KNC tienen un manómetro diferencial que indica la caída de presión en las bolsas. Ésta debe oscilar entre 3 y 4 pulgadas de columna de agua, pues así se obtiene la máxima eficiencia de arrastre y colección. En el caso de que la caída de presión sea mayor deberá de modificarse el período de tiempo entre pulso y pulso en el secuenciador electrónico, con el fin de tratar de mantener este intervalo de caída de presión. Si con diversos intentos de cambio de tiempo entre pulsos la caída se mantiene alta, lo más probable es que las bolsas estén sumamente sucias, como consecuencia posiblemente de la excesiva humedad o la presencia de aceite, factores que fuerzan la compactación del polvo y tornan imposible la operación de sacudido con los pulsos de aire comprimido. Ante una situación así habrá que detener el equipo, lavar las bolsas y, lo más importante, hacer un análisis del proceso; eliminar la fuente probable de humedad o aceite antes de arrancar nuevamente el equipo.

Si el caso es a la inversa, es decir, que la presión se mantenga baja y se verifica que a la salida del aire a través del ventilador éste contiene polvo, existe entonces la posibilidad de que esté dañada alguna bolsa. Sólo durante las primeras horas de operación es aceptable ver salir del ventilador aire con polvo, ya que es un período de ajuste en el que los poros de las bolsas empiezan a llenarse con la cantidad óptima de polvo para llegar a la caída de presión deseada.

## MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Las inspecciones recomendadas son las siguientes:

1. Verificar el flujo de gas limpio a la salida del ventilador
2. Verificar la caída de presión a través de las bolsas

3. Verificar la función de limpieza de las bolsas
4. Inspeccionar el hermetismo de las puertas de servicio y las conexiones
5. Hacer una verificación anual completa de la condición general del colector; considerando los componentes mecánicos, electromecánicos, bolsas de filtrado, etc.

## **MANTENIMIENTO**

Los elementos de mayor necesidad de mantenimiento en este equipo son: las bolsas, el secuenciador electrónico y el ventilador.

Para darles mantenimiento a las bolsas se procede de la siguiente manera:

1. Parar el equipo
2. Levantar las tapas del plenum
3. Levantar la boquilla de soplado que corresponda a la hilera de bolsas a inspeccionar. Si una bolsa se daña por el uso, es recomendable cambiar todas las demás, pues es indicativo del deterioro general de las mismas.
4. Sacar la canastilla que está dentro de la bolsa filtrante
5. Se desprende la bolsa tomándola por el fleje y se tira hacia el centro del mismo, colapsándolo, pudiendo así estirar la bolsa sacándola totalmente. La inserción de la bolsa sigue el orden inverso.

### **4.4.4 SELECCIÓN DEL VENTILADOR**

Cada tipo de álabe es específicamente diseñado para los requerimientos particulares de cada industria. Después de la fabricación los álabes son dinámicamente balanceados.

Algunas tablas de selección de ventiladores están basadas en las condiciones estándar del aire, las cuales son:

- Aire seco
- Temperatura de 70°F (21.1°C)
- A nivel del mar, es decir 406.692 pulgadas de columna de agua de presión
- 0.075 libras/pie<sup>3</sup> (0.0012 gcm<sup>-3</sup>) de densidad

Sin embargo, las variaciones de altitud y temperatura afectan la selección del ventilador, lo que implica que deben hacerse las correcciones apropiadas. Los ventiladores tienen constante el volumen de sus máquinas, lo que implica que tienen la velocidad y todos los otros factores iguales. El volumen del fluido circulando será igual independientemente de la densidad del mismo.

La altura de caída total desarrollada por el ventilador depende de la densidad del fluido. La potencia es el producto de la presión y el volumen, sin embargo la misma varía directamente con la densidad. La densidad del aire es inversamente proporcional con la temperatura absoluta y directamente proporcional a la presión absoluta.

El método más común de selección de ventiladores es el de *frío estático* y está basado en la siguiente ley de ventilación: **A CAUDAL (CFM) Y VELOCIDAD (RPM) CONSTANTES, LA POTENCIA (BHP) Y LA PRESIÓN ESTÁTICA VARÍAN INVERSAMENTE CON LA TEMPERATURA ABSOLUTA Ó DIRECTAMENTE CON LA DENSIDAD DEL AIRE.**

Por lo tanto, la selección del ventilador se hace a partir de los siguientes datos:

- Caudal en cfm
- Presión atmosférica local, en pulgadas de columna de agua
- Presión estática del sistema más el colector, en pulgadas de columna de agua
- Temperatura en °F
- Altitud local en pies

## CÁLCULO DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA LOCAL

Teniendo en cuenta que la Ciudad de Monterrey se encuentra aproximadamente a 530 m sobre el nivel del mar, para calcular la presión atmosférica local se aplicará la siguiente fórmula:

$$\frac{P_{ATMOSF.LOCAL}}{P_{ATMOSF.MAR.}} = (1 - 2.26 \times 10^{-5} \cdot h)^{5.256}$$

$$P_{ATMOSF.LOCAL} = 0.9386 \quad atm$$

lo que equivale a decir que la presión atmosférica local es de 381.72 pulgadas de columna de agua.

Ya con el dato de presión se completa el grupo de los siguientes parámetros de diseño:

- Q = 12 000 cfm
- P<sub>ATMOSFÉRICA</sub> = 381.72 pulgadas de columna de agua
- P<sub>ESTÁTICA</sub> = 12 pulgadas de columna de agua
- T = 95 °F (35 °C)
- H = 1720.77 pies

Con lo que se procede a la selección como sigue:

1. Cálculo del factor de densidad FD; se aplica la siguiente fórmula:

$$FD = \frac{(Temp.normal)(Presión.atmosf.local)}{(Temp.local)(Presión.atmosf.normal)}$$

$$FD = \frac{(460 + 70)(381.72")}{(460 + 95)(406.692")}$$

$$FD = 0.896$$

2. Se realiza la siguiente operación para el cálculo del factor de presión estática SP:

$$SP = \frac{12}{0.896}$$

$$SP = 13.39''$$

3. Interpolando del catálogo del fabricante el cual se aprecia en el Anexo 2, para SIZE 55 se obtienen las revoluciones por minuto y la potencia del motor

$$\begin{array}{lcl} Q = 12\ 000\ \text{cfm} & \Rightarrow & \text{Velocidad} = 1521\ \text{rpm} \\ SP = 13'' & & \text{Potencia} = 40.15\ \text{BHP} \end{array}$$

4. Corrección de los valores obtenidos:

$$SP_{\text{corregidos}} = 13'' \times 0.896$$

$$SP_{\text{corregidos}} = 12''$$

$$POT_{\text{corregida}} = 40.15 \times 0.896$$

$$POT_{\text{corregida}} = 35.9\ \text{HP}$$

Por consecuencia se recomienda la adquisición del ventilador centrífugo con las características siguientes:

- Modelo **MAC – SIZE 55**
- SP = 13''
- Velocidad = 1521 rpm
- Potencia = 36 HP
- Diámetro de la rueda = 38 ½''
- Área o sección de salida = 2.823 pie<sup>2</sup>
- Área o sección de entrada = 2.982 pie<sup>2</sup>

#### **4.4.5 INSTALACIÓN DE LOS PUERTOS DE MUESTREO**

Para la instalación de los puertos de muestreo se utilizará la norma NMX-AA-09-1993-SCFI, la cual establece las distancias mínimas a la que se deben colocar los puertos en función del diámetro del *main*.

Para el sistema de la Molienda de Ladrillería el *main* recomendado es de un diámetro de 22 pulgadas. Teniendo en cuenta que los puertos de muestreo se deben colocar a ocho diámetros por encima de la última perturbación del flujo y a 2 diámetros del final del ducto, se recomienda la siguiente disposición:

- Instalar dos puertos de muestreo en forma perpendicular
- Los puertos deben de ser suficientemente resistentes para soportar una fuerza cortante de 100 Kg. y una fuerza lateral de 25 Kg. con un diámetro nominal de 10 cm y 7.62 cm de extensión con brida ciega
- Los puertos deberán colocarse a una altura de 176 pulgadas, corriente arriba de la última perturbación del flujo y 44 pulgadas a la salida
- La plataforma deberá ser de media luna, con un diámetro de 1.2m y 1m de altura. El piso de la plataforma deberá estar a 1.65m del eje que une el centro de los puertos de muestreo
- La plataforma deberá tener suficiente iluminación y ser capaz de soportar una carga de 400 Kg.
- La escalera debe ser del tipo marina, con un ancho de 50 cm y la distancia entre los centros de los peldaños debe ser de 30 cm.
- La escalera debe contar con protección circundante de un diámetro comprendido entre 60 y 100 cm a partir de 200 cm del piso y hasta 90 cm por encima del último nivel o peldaño al que asciende
- La separación entre el frente de los peldaños y los objetos más próximos al lado del ascenso, debe ser por lo menos de 75 cm



#### **4.4.6 RESUMEN DE LOS RESULTADOS PARA LA ELIMINACIÓN DE POLVOS EN LA SECCIÓN DE MOLIENDA DE LADRILLERÍA**

##### **SISTEMA**

**Caudal total = 12 000 cfm**

**Caída de presión total = 7.928 pulgadas de columna de agua**

**Diámetro del ducto principal = 22 pulgadas**

##### **COLECTOR**

**Modelo recomendado: KNC – 1 – 64/78 (VENTURI)**

**Un solo módulo**

**64 bolsas por módulo**

**Bolsas de polipropileno**

**Área de filtración = 78 m<sup>2</sup>**

**Caída de presión en el colector = 4" columna de agua**

##### **VENTILADOR**

**Centrífugo modelo MAC – SIZE 55**

**SP = 13" columna de agua**

**Velocidad = 1521 rpm**

**Potencia = 36 HP**

**Diámetro de la rueda = 38 ½ "**

**Área de salida = 2.823 pie<sup>2</sup>**

**Área de entrada = 2.982 pie<sup>2</sup>**

**SE ANEXAN PLANOS, VER ANEXO 3**

**Un plano en planta**

**Un plano en elevación**

## **4.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE COLECCIÓN DE POLVOS PARA EL MICRO AMBIENTE DE LA SECCIÓN DE PRENSAS EN MUROS LADO ORIENTE**

Dentro de la planta de productos cerámicos otro de los micro ambientes afectados es el de MUROS LADO ORIENTE, donde se encuentran las prensas 1, 2, 3, 4 y 5. La velocidad de flujo mínima considerada en todo el sistema es de 3500 fpm, de manera que se han colocado tomas de extracción de polvos en los siguientes equipos:

### **➤ PRENSAS 1 Y 2**

Este sistema ya está instalado, pero es importante considerarlo ya que va a ser conectado al mismo *main* de las prensas 3, 4 y 5 (sistema nuevo). Existen seis tomas de colección de polvos por cada prensa, lo que hace un total aproximado de 4480 cfm. El diámetro del ducto recomendado para conducir dicha caudal de aire es de 15 pulgadas.

### **➤ PRENSAS 3 Y 4**

Se han colocado diez tomas de colección de polvos por cada prensa, lo que hace un total aproximado de 7600 cfm que se conectan al *main*. El diámetro del ducto que tiene la capacidad para conducir ese caudal es de 19 pulgadas.

### **➤ PRENSA 5**

Se le han colocado un total de diez tomas de colección de polvos a la prensa 5, con lo cual se tiene un caudal de 3800 cfm que se conectan al *main*. Para ello se recomienda la instalación de un ducto de 14 pulgadas de diámetro.

## **4.5.1 RESULTADOS DE LAS HOJAS DE CÁLCULOS**

Las hojas de cálculos nos indican que el caudal total de extracción es de 15 880 cfm y que la caída de presión total es de 4 pulgadas de columna de agua, ello a una velocidad final de flujo de polvo de 3 713 fpm. Para esas cantidades se recomienda que el tramo de *main* que une al sistema con el colector tenga un diámetro de 28 pulgadas.

Para efectos de mayor seguridad, se consideró para el caudal un factor de seguridad de un 10%, por lo tanto:

$$Q_{TOTAL} = 1.1 \cdot Q$$

$$Q_{TOTAL} = 1.1 \cdot 15880$$

$$Q_{TOTAL} = 17468 \quad cfm$$

cifra que se cerró en 17 500 cfm de caudal total.

De esta forma los resultados obtenidos nos permiten seleccionar el colector, el ventilador y el motor. Los cálculos efectuados se hallan contenidos en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9 Hoja de cálculo para el área de las prensas de muros

TRAMOS	DIAM. DUCTO [pulgadas]	VOL. DE AIRE CFM		VELOCIDAD FPW [pie / min]	LONGITUD DEL DUCTO		COCOS [radios]	ENTRADAS [radios]	LONG. EQUIV. [pie]	LONG. TOTAL [pie]	REANISTERCIA		PERMAN DINÁMICA [pulgadas]	PERÍODA DE ENTRADA VP	CAÍDA DE PRESIÓN CAMPANA SUCCIÓN VP	CAMPANA BUCC. [pulgadas]	RESISTENCIA	
		ÁREA DUCTO [pie <sup>2</sup> ]	TRAMO [pie / min]		PRINCIPAL [pie / min]	DIRECTA [pulgadas]					POR CIENTO [pulgadas]	PRESIÓN ESTÁTICA [pulgadas]					GOV. BP	
1A	4.5	0.1105	400	3620	1.62	30"		30"	1.620	1.620	4.900	0.079	0.816	0.50	1.50	1.224	1.30	
2A	4.5	0.1105	400	3620	1.62	30"		30"	1.620	1.620	4.900	0.079	0.816	0.50	1.50	1.224	1.30	
AC	6	0.1984	600	4073	10.06	90"		7	17.060	17.060	4.100	0.700	1.034	0.50	1.50	1.224	1.303 + 0.07 =	2.003
3B	4.5	0.1105	400	3620	1.62	30"		30"	1.620	1.620	4.900	0.079	0.816	0.50	1.50	1.224	1.30	
4B	4.5	0.1105	400	3620	1.62	30"		30"	1.620	1.620	4.900	0.079	0.816	0.50	1.50	1.224	1.30	
5C	6	0.1984	600	4073	6.60	30"		30"	6.600	6.600	4.100	0.267	1.034	0.50	1.50	1.551	1.303 + 0.2665 =	1.57
EC	9	0.4418	1600	3621	4.36	30"		30"	4.360	4.360	2.100	0.091	0.817	0.50	1.50	1.224	2.003 + 0.091 =	2.094
5D	4.5	0.1105	400	3620	1.62	30"		30"	1.620	1.620	4.900	0.079	0.816	0.50	1.50	1.224	1.30	
6D	4.5	0.1105	400	3620	1.62	30"		30"	1.620	1.620	4.900	0.079	0.816	0.50	1.50	1.224	1.30	
DE	6	0.1984	600	4073	6.60	30"		30"	6.600	6.600	4.100	0.267	1.034	0.50	1.50	1.551	1.303 + 0.2665 =	1.57
EF	11	0.6600	2400	3636	0.11	30"		30"	0.110	0.110	1.600	0.00176	0.824	0.50	1.50	1.462	2.064 + 0.00176 =	2.065
F	4.5	0.1105	440	3662	8.26	30"		30"	8.260	8.260	6.000	0.467	0.966	0.50	1.50	1.265	1.9766	
FG	12	0.7854	2640	3616	19.00	90"		17	36.000	36.000	1.400	0.504	0.815	0.50	1.50	1.265	2.066 + 0.504 =	2.569
7G	4	0.0673	320	3666	8.11	30"		30"	8.110	8.110	5.600	0.470	0.837	0.50	1.50	1.265	1.7255	
G-I	12	0.7854	3160	4023	3.26	30"		30"	3.250	3.250	1.600	0.0565	1.000	0.50	1.50	1.265	2.969 + 0.0565 =	2.637
8H	4	0.0673	320	3666	11.04	90"		4	15.036	15.036	5.500	0.627	0.837	0.50	1.50	1.265	2.062	
8H	4	0.0673	320	3666	4.67	30"		30"	4.670	4.670	5.500	0.267	0.837	0.50	1.50	1.265	1.522	
H	5.5	0.1660	640	3676	11.66	30"		30"	11.660	11.660	4.200	0.490	0.937	0.50	1.50	1.265	2.062 + 0.49 =	2.572
I-J	14	1.0980	3600	3554	30.60	90"		51.6	1.200	1.200	0.621	0.767	0.937	0.50	1.50	1.224	2.667 + 0.621 =	3.278
10K	4.5	0.1105	400	3620	1.62	30"		30"	1.620	1.620	4.900	0.079	0.816	0.50	1.50	1.224	1.30	
11K	4.5	0.1105	400	3620	1.62	30"		30"	1.620	1.620	4.900	0.079	0.816	0.50	1.50	1.224	1.30	
1K	6	0.1984	600	4073	10.06	90"		7	17.060	17.060	4.100	0.700	1.034	0.50	1.50	1.224	1.303 + 0.07 =	2.003
12M	4.5	0.1105	400	3620	1.62	30"		30"	1.620	1.620	4.900	0.079	0.816	0.50	1.50	1.224	1.30	
13M	4.5	0.1105	400	3620	1.62	30"		30"	1.620	1.620	4.900	0.079	0.816	0.50	1.50	1.224	1.30	
14M	6	0.1984	600	4073	6.60	30"		30"	6.600	6.600	4.100	0.267	1.034	0.50	1.50	1.551	1.303 + 0.2665 =	1.57
14M	9	0.4418	1600	3621	4.36	30"		30"	4.360	4.360	2.100	0.091	0.817	0.50	1.50	1.224	2.003 + 0.091 =	2.094
14O	4.5	0.1105	400	3620	1.62	30"		30"	1.620	1.620	4.900	0.079	0.816	0.50	1.50	1.224	1.30	

Tabla 4.9 Continuación

TRAMO	DIAM. DUCTO (pulgadas)	ÁREA DUCTO (ft <sup>2</sup> )	VOL. DE AIRE TRANS. (ft <sup>3</sup> /min)	VELOCIDAD PRINCIPAL (ft/s)	VELOCIDAD FFM (ft/s)	LONGITUD DEL DUCTO		LONG. TOTAL (ft)	RESISTENCIA		PRESIÓN DINÁMICA (pulgadas)	PÉRDIDA DE ENTRADA -VP-	CAIDA DE PRESIÓN CAMPANA SUCCIÓN -VP-	CAMPANA SUCC. -VP-	RESISTENCIA PRESIÓN ESTÁTICA	GOV. BP
						LONG. DIRECTA (ft)	LONG. INDIRECTA (ft)		RESISTENCIA POR CIENTO (pulgadas)	DIRECTA (pulgadas)						
180	4.5	0.1105	400	3620	3620	1.62		1.620	4.800	0.078	0.816	0.50	1.80	1.224	1.30	
190	6	0.1984	800	4073	4073	6.50		6.500	4.100	0.267	1.034	0.50	1.80	1.561	1.30 + 0.2668 =	1.07
200	11	0.6800	2400	3636	3636	0.11		0.110	1.800	0.00176	0.824	0.50	1.50	1.482	2.084 + 0.00176 =	2.086
210	4.5	0.1105	440	3682	3682	8.28		8.280	8.000	0.467	0.886	0.50	1.50	1.482	1.9788	
220	12	0.7854	2840	3616	3616	11.36	30°	28.36	1.45	0.4110	0.82	0.50	1.50	1.224	2.085 + 0.411 =	2.506
230	4.5	0.1105	400	3620	3620	1.62		1.620	4.800	0.078	0.816	0.50	1.80	1.224	1.30	
240	4.5	0.1105	400	3620	3620	1.62		1.620	4.800	0.078	0.816	0.50	1.80	1.224	1.30	
250	8	0.1984	800	4073	4073	6.50		6.500	4.100	0.267	1.034	0.50	1.80	1.561	1.308 + 0.2668 =	1.07
260	9	0.4418	1600	3621	3621	4.38		4.380	2.100	0.084	0.817	0.50	1.80	1.224	2.003 + 0.081 =	2.084
270	4.5	0.1105	400	3620	3620	1.62		1.620	4.800	0.078	0.816	0.50	1.80	1.224	1.30	
280	4.5	0.1105	400	3620	3620	1.62		1.620	4.800	0.078	0.816	0.50	1.80	1.224	1.30	
290	8	0.1984	800	4073	4073	6.50		6.500	4.100	0.267	1.034	0.50	1.80	1.561	1.308 + 0.2668 =	1.07
300	11	0.6800	2400	3636	3636	0.11		0.110	1.800	0.00176	0.824	0.50	1.80	1.482	2.003 + 0.00176 =	2.084
310	4.5	0.1105	440	3682	3682	8.28		8.280	8.000	0.467	0.886	0.50	1.80	1.482	1.9788	
320	12	0.7854	2840	3616	3616	11.36	30°	28.36	1.45	0.4110	0.82	0.50	1.80	1.224	2.085 + 0.411 =	2.506
330	17	1.5760	6680	3604	3604	6.48		6.480	0.8	0.0568	0.809	0.50	1.80	1.285	2.508 + 0.0568 =	2.56
340	4	0.0873	320	3685	3685	8.11		8.110	5.800	0.470	0.837	0.50	1.80	1.285	1.7266	
350	4	0.0873	320	3685	3685	8.11		8.110	5.800	0.470	0.837	0.50	1.80	1.285	1.7266	
360	18	1.7670	6320	3678	3678	2.72		2.720	2.6	0.0569	0.787	0.50	1.80	1.285	2.86 + 0.0569 =	2.916
370	4	0.0873	320	3685	3685	11.04	30°	15.038	5.500	0.627	0.837	0.50	1.80	1.285	2.082	
380	4	0.0873	320	3685	3685	4.87		4.870	5.500	0.267	0.837	0.50	1.80	1.285	1.821	
390	5.5	0.1890	640	3678	3678	11.68		11.680	4.200	0.480	0.837	0.50	1.80	1.285	2.082 + 0.48 =	2.572
400	4	0.0873	320	3685	3685	11.04		11.038	5.500	0.627	0.837	0.50	1.80	1.285	2.082	
410	4	0.0873	320	3685	3685	4.87		4.870	5.500	0.267	0.837	0.50	1.80	1.285	1.821	

Tabla 4.9 Continuación

TRAMOS	DIAM DUCTO (pulgadas)	VOL DE AIRE CFM		VELOCIDAD FPM (ft/min)	LONGITUD DEL DUCTO			RESISTENCIA		PÉRDIDA DE ENTRADA YP	CAIDA DE PRESIÓN CAMPANA SUCCIÓN YP	CAMPANA SUCC. (Inchegoes)	RESISTENCIA PRENSIÓN ESTÁTICA (Inchegoes)	GOV. SP
		ÁREA DUCTO (pie <sup>2</sup> )	TRAMO (pie / min)		LONG. DIRECTA (pies)	EXCOS. (grados)	ENTRADAS (grados)	LONG. TOTAL (pies)	POR CIENTO (Inchegoes)					
T-G	5.6	0.1950	640	3678	11.68	30"	90"	30"	4.200	0.480	0.937	2.062 + 0.49 =	2.572	
T-J	18.0	1.9680	7600	3690	10.36	90"			0.900	0.363	0.928	2.619 + 0.363 =	2.982	
J-N	24	3.1420		3628	62.00				0.810	0.317	0.920	3.279 + 0.317 =	3.696	
1A'	4.5	0.1105	400	3620	1.82	30"			4.800	0.079	0.819	1.30		
2A'	4.5	0.1105	400	3620	1.82	30"			4.800	0.079	0.816	1.30		
A'C'	6	0.1964	800	4073	10.08	90"		7	4.100	0.700	1.034	1.303 + 0.7 =	2.008	
3B'	4.5	0.1105	400	3620	1.82	30"			4.800	0.079	0.816	1.30		
4B'	4.5	0.1105	400	3620	1.82	30"			4.800	0.079	0.816	1.30		
B'C'	6	0.1964	900	4073	6.50	30"			4.100	0.267	1.084	1.308 + 0.2665 =	1.57	
C'D'	8	0.4418	1600	3621	13.00	90"		12	2.100	0.526	0.817	1.872 + 0.526 =	2.5	
1'A'	4.5	0.1105	400	3620	1.82	30"			4.800	0.079	0.816	1.30		
2'A'	4.5	0.1105	400	3620	1.82	30"			4.800	0.079	0.816	1.30		
A'C'	6	0.1964	800	4073	10.08	90"		7	4.100	0.700	1.084	1.303 + 0.7 =	2.008	
3'B'	4.5	0.1105	400	3620	1.82	30"			4.800	0.079	0.816	1.30		
4'B'	4.5	0.1105	400	3620	1.82	30"			4.800	0.079	0.816	1.30		
B'C'	6	0.1964	900	4073	6.50	30"			4.100	0.267	1.084	1.308 + 0.2665 =	1.57	
C'D'	9	0.4418	1600	3621	13.00	90"		12	2.100	0.526	0.817	1.872 + 0.526 =	2.5	
D'E'	12	0.7854	3200	4074	6.49	30"			1.700	0.110	1.084	2.5 + 0.11 =	2.61	
E'E'	4	0.0873	320	3685	8.11	30"			5.800	0.470	0.837	1.7265		
E'B'	13.0	0.9218	3630	3818	2.60				1.200	0.0812	0.906	2.81 + 0.0812 =	2.6412	
7'E'	4	0.0873	320	3685	11.04	90"		4	5.600	0.827	0.837	2.062		
8'E'	4	0.0873	320	3685	4.87	30"			5.600	0.267	0.837	1.822		
F'E'	5.5	0.1950	640	3678	11.68	30"			4.200	0.480	0.937	2.062 + 0.49 =	2.572	
8'B'	4.0	0.0873	320	3685	14.90	30"			4.800	0.716	0.837	1.87		
G'H'	15	1.2270	4480	3681	8.74	30"			1.800	0.156	0.831	2.81 + 0.156 =	2.765	
M-OOL	28	4.2780		3713	30.18	90"		50	0.500	0.400	0.880	3.995 + 0.4 =	4	

## 4.5.2 SELECCIÓN DEL COLECTOR

### INFORMACIÓN ESENCIAL

- Descripción de la aplicación: colección de polvos en las prensas de materia prima
- Flujo de aire a manejar: 17 500 cfm
- Temperatura aproximada de entrada del aire: 35°C
- Descripción del polvo: Polvo de roca

Sabiendo que se trata de polvo de roca se consulta, como antes se hizo, en la Tabla 4.6 y se obtiene la relación de filtración en metros cúbicos por hora, sobre metro cuadrado.

$$R = 165 \frac{m^3/h}{m^2}$$

Al dividir la capacidad total calculada por la relación de filtración de polvo de roca se obtiene el parámetro de diseño K:

$$K = \frac{17500}{165}$$

$$K = 106$$

Con este valor de  $K$  se ingresa en el catálogo del fabricante, en la segunda columna, y se busca el número igual o inmediato superior al obtenido.

Para este caso se recomienda el modelo: **KNC – 1 – 96 / 116**, cuyas dimensiones se pueden consultar en el catálogo del fabricante que se encuentra a disposición en el Anexo 2. Así, las características básicas de este modelo son las siguientes:

- 96 bolsas por módulo
- Un área de filtración de 116 m<sup>2</sup> por módulo
- Una caída de presión de 4 pulgadas de columna de agua

La información importante, al igual que las características del polvo, las características del colector, la operación, puesta en marcha y mantenimiento del colector, son todas esencialmente idénticas a las ya descritas para el colector de *Molienda de Ladrillería*.

### 4.5.3 SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Para la selección del ventilador se parte de los siguientes datos:

- $Q = 17\ 500$  cfm
- $P_{\text{ATMOSFÉRICA}} = 381.72$  pulgadas de columna de agua
- $P_{\text{ESTÁTICA}} = 8$  pulgadas de columna de agua
- $T = 95$  °F (  $35$  °C)
- $H = 1720.77$  pies

El proceso de selección es el siguiente:

1. Cálculo del Factor de Densidad,  $FD = 0.896$  (el mismo anterior)
2. Se realiza la siguiente operación para el cálculo del factor de presión estática  $SP$ :

$$SP = \frac{8}{0.896}$$

$$SP = 8.92''$$

3. Se elige del catálogo del fabricante el ventilador SIZE 60:

$Q = 17\ 500$  cfm

=>

Velocidad = 1123 rpm

$SP = 9''$

Potencia = 45.77 BHP



#### 4. Corrección de los valores obtenidos:

$$SP_{\text{corregidos}} = 9" \times 0.896$$

$$SP_{\text{corregidos}} = 8"$$

$$POT_{\text{corregida}} = 45.77 \times 0.896$$

$$POT_{\text{corregida}} = 41 \quad HP$$

Por lo tanto se recomienda la adquisición del ventilador centrífugo **MAC – SIZE 60** el cual se puede ver en el Anexo 2, con las siguientes características:

$$SP = 9"$$

$$\text{Velocidad} = 1123 \text{ rpm}$$

$$\text{Potencia} = 41 \text{ HP}$$

$$\text{Diámetro de la rueda} = 42"$$

$$\text{Área de salida} = 3.351 \text{ pie}^2$$

$$\text{Área de entrada} = 3.544 \text{ pie}^2$$

#### 4.5.4 INSTALACIÓN DE LOS PUERTOS DE MUESTREO

Para la instalación de los puertos de muestreo se seguirá las especificaciones indicadas en la norma NMX-AA-09-1993-SCFI.

Para el sistema de las prensas de Muros lado Oriente el main recomendado es de un diámetro de 28 pulgadas, con lo cual se deberán instalar dos puertos de muestreo en forma perpendicular a una altura de 224 pulgadas corriente arriba y 56 pulgadas a la salida. La instalación de la plataforma de trabajo y de la escalera marina seguirá las mismas especificaciones dadas para el sistema de molienda de ladrillería.

## **4.5.5 RESUMEN DE LOS RESULTADOS PARA LAS PRENSAS DE MUROS LADO ORIENTE**

### **SISTEMA**

**Caudal total = 17 500 cfm**

**Caída de presión total = 4" columna de agua**

**Diámetro del ducto principal = 28"**

### **COLECTOR**

**Modelo recomendado: KNC – 1 – 96/116 (VENTURI)**

**Un solo módulo**

**96 bolsas por módulo**

**Bolsas de polipropileno**

**Área de filtración = 116 m<sup>2</sup>**

**Caída de presión en el colector = 4" columna de agua**

### **VENTILADOR**

**Centrífugo modelo MAC – SIZE 60**

**SP = 9" columna de agua**

**Velocidad = 1123 rpm**

**Potencia = 41 HP**

**Diámetro de la rueda = 42 "**

**Área de salida = 3.35 pie<sup>2</sup>**

**Área de entrada = 3.544 pie<sup>2</sup>**

**SE ANEXAN PLANOS EN EL ANEXO 3**

**Un plano en planta**

**Un plano en elevación**

## **CAPÍTULO 5**

### **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE POLVOS EN LOS ALMACENAMIENTOS DE MATERIA PRIMA**

#### **5.1 INTRODUCCIÓN**

En la planta de este estudio existen dos almacenamientos de materia prima, uno en "*Servicio Directo*" y el otro ubicado en la "*Molienda de Ladrillería*". En el almacenamiento de servicio directo se encuentra la materia prima que se utilizará en la fabricación de azulejos, pisos y guarniciones. En cambio, en el almacenamiento de la molienda de ladrillería se encuentra confinada la materia prima que se utilizará en la fabricación de ladrillos. Ambos almacenamientos representan un problema desde el punto de vista ecológico, dado que los vientos reinantes en la zona y el traslado de dicha materia prima al proceso producen polvos que causan molestias a los vecinos.

En este capítulo se propondrá una nueva ubicación para la materia prima, de manera que la misma quede lo más cerca del proceso para el cual se la utiliza. Asimismo, se trazarán nuevamente las "calles", de forma que la descarga y traslado de materia prima se realice por el trayecto más corto. Además, para evitar la fuga de polvos, se propondrá un sistema de control de los mismos por medio de *aspersores de agua*. También se incluye un procedimiento para el manejo y traslado de la materia prima, con el fin de producir la menor cantidad de polvos en la fuente misma.

## **5.2 PROPUESTA DE RE-UBICACIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

El objetivo de la propuesta es de reubicar la materia prima confinada en los almacenamientos de Servicio Directo y de Molienda de Ladrillería, de tal manera que, ocupando la menor área posible, se logre una distribución ordenada de la misma y que su nueva ubicación sea lo más cercana al lugar de su proceso. Actualmente, las áreas en donde se almacena la materia prima, en ambas zonas, no están bien definidas y parte del espacio es ocupado por materiales obsoletos.

### **5.2.1 ALMACENAMIENTOS EN EL ÁREA DE SERVICIO DIRECTO**

En el área de servicio directo, la materia prima se confina en dos lugares distintos:

- Almacenamientos techados
- Almacenamientos a cielo abierto

En los almacenamientos techados se encuentran los siguientes materiales:

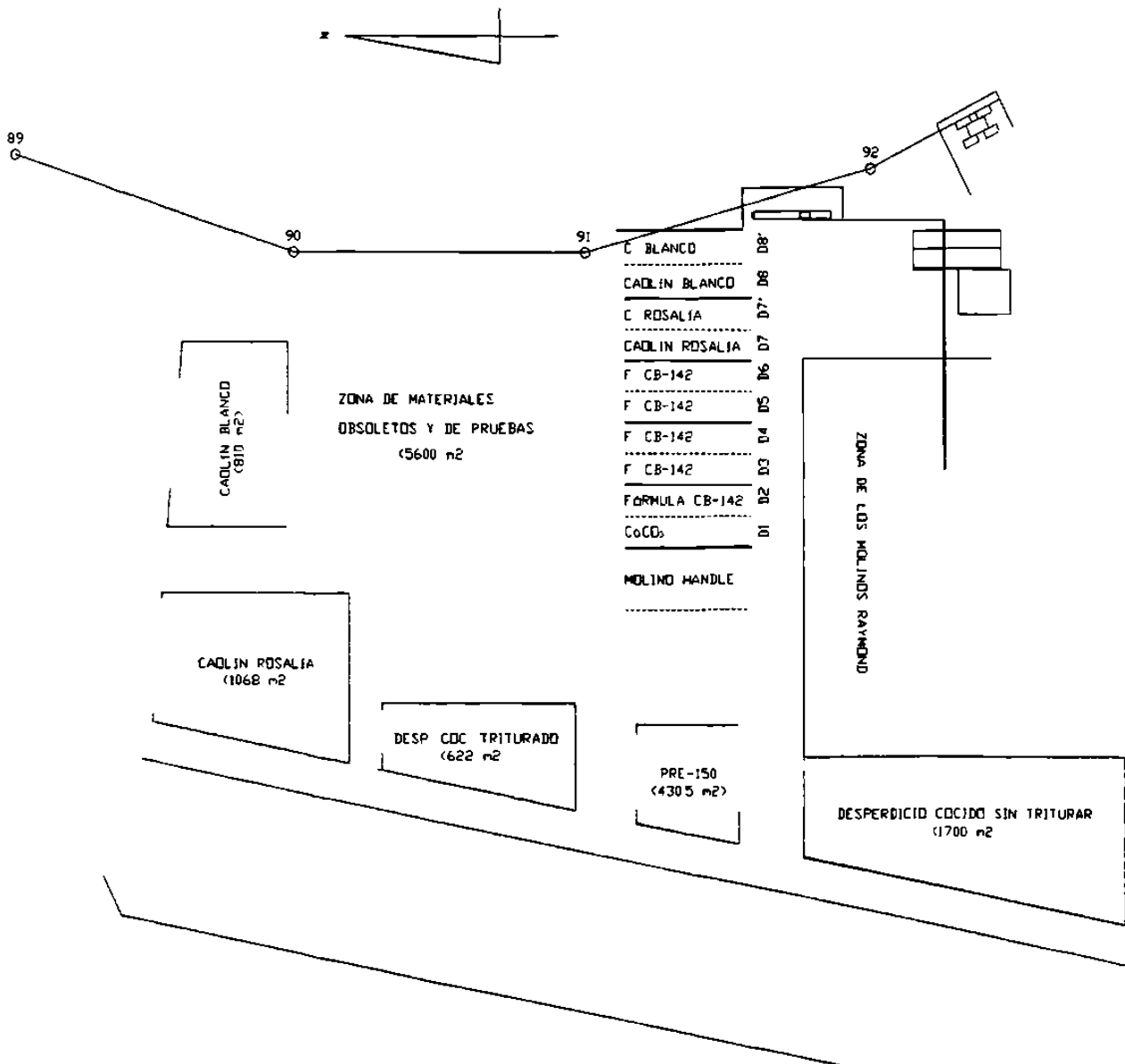
- Depósito N°1: Carbonato de Calcio
- Depósito N°2: Fórmula CB-142
- Depósito N°3: Fórmula CB-142
- Depósito N°4: Fórmula CB-142
- Depósito N°5: Fórmula CB-142
- Depósito N°6: Fórmula CB-142
- Depósito N°7: Caolín Rosalía
- Depósito N°7': Caolín Rosalía
- Depósito N°8: Caolín Blanco
- Depósito N°8': Caolín Blanco

Esto seguirá siendo así, ya que la materia prima ubicada en el área techada no se cambiará de lugar porque las instalaciones son apropiadas.

En la zona de almacenamiento a cielo abierto se encuentran los siguientes materiales:

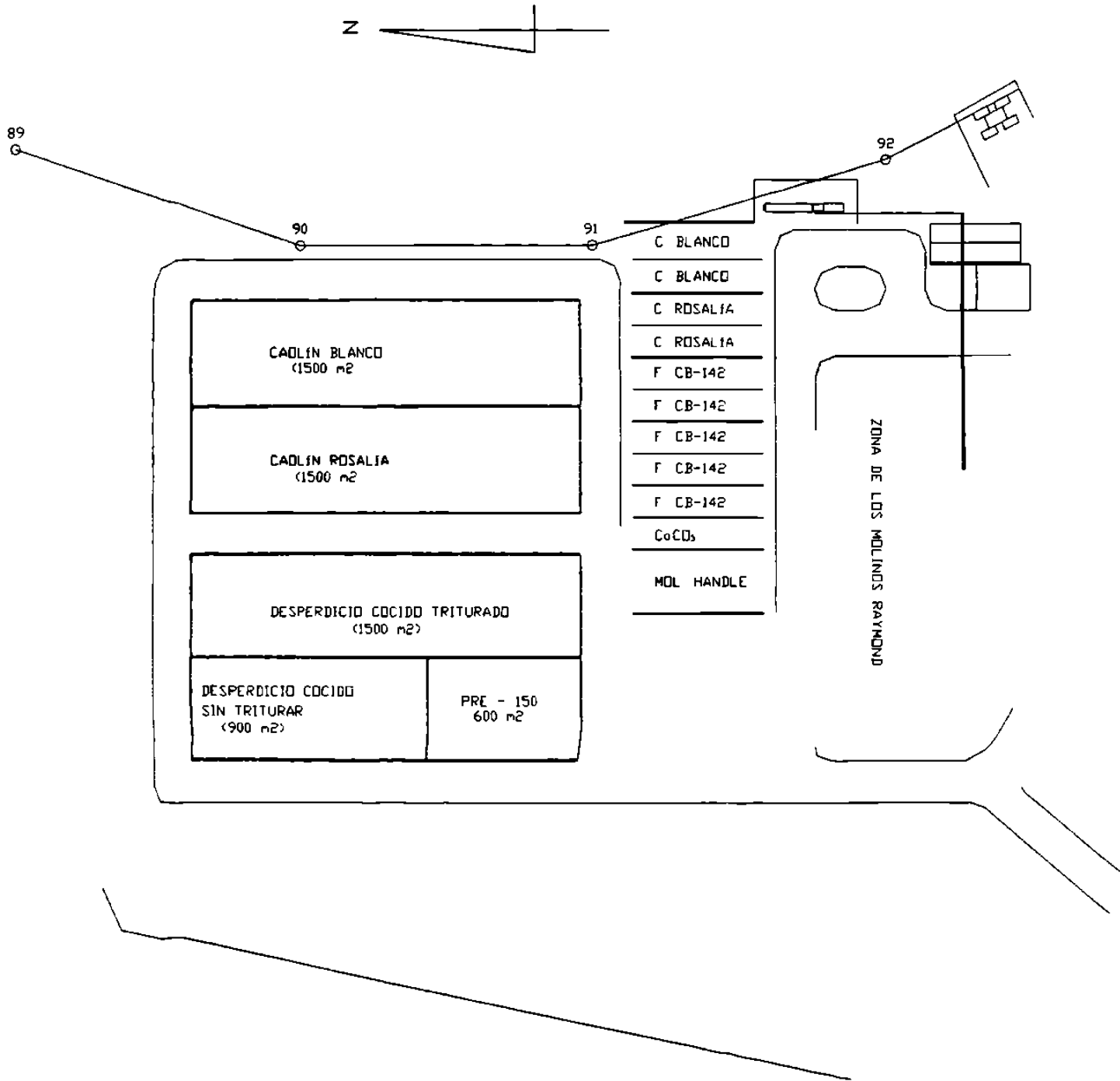
- Materiales obsoletos
- Caolín Blanco
- Caolín Rosalía
- PRE - 150
- Desperdicio cocido sin triturar
- Desperdicio cocido triturado

La ubicación de los materiales se puede ver en la Figura 5.1



**Figura 5.1** Esquema indicativo de la ubicación de la materia prima en los almacenamientos de servicio directo

Como primer paso se propone disponer de los materiales obsoletos, de manera que toda el área destinada al confinamiento de materia prima quede perfectamente libre. Luego re-ubicar los materiales conforme a la disposición mostrada en la Figura 5.2.



**Figura 5.2** Esquema indicativo de la ubicación sugerida para la materia prima en los almacenamientos de servicio directo

Las ventajas de la ubicación propuesta son las siguientes:

1. Mayor aprovechamiento del espacio por eliminación de materiales obsoletos
2. Disposición con mejor geometría
3. El *desperdicio cocido sin triturar* se halla cercano a la Trituradora Western
4. El *desperdicio cocido triturado* está próximo al Molino Handle
5. El *caolín Blanco* se encuentra cerca de los Depósitos N° 8 y 8'
6. El *caolín Rosalía* se halla cercano a los Depósitos N° 7 y 7'
7. Las áreas propuestas son mayores que las ya existentes

## 5.2.2 ALMACENAMIENTOS EN EL AREA DE MOLIENDA DE LADRILLERÍA

En Molienda de ladrillería, la materia prima se confina en dos lugares distintos:

- Almacенamientos techados
- Almacенamientos a cielo abierto

En los almacенamientos techados se encuentran los siguientes materiales:

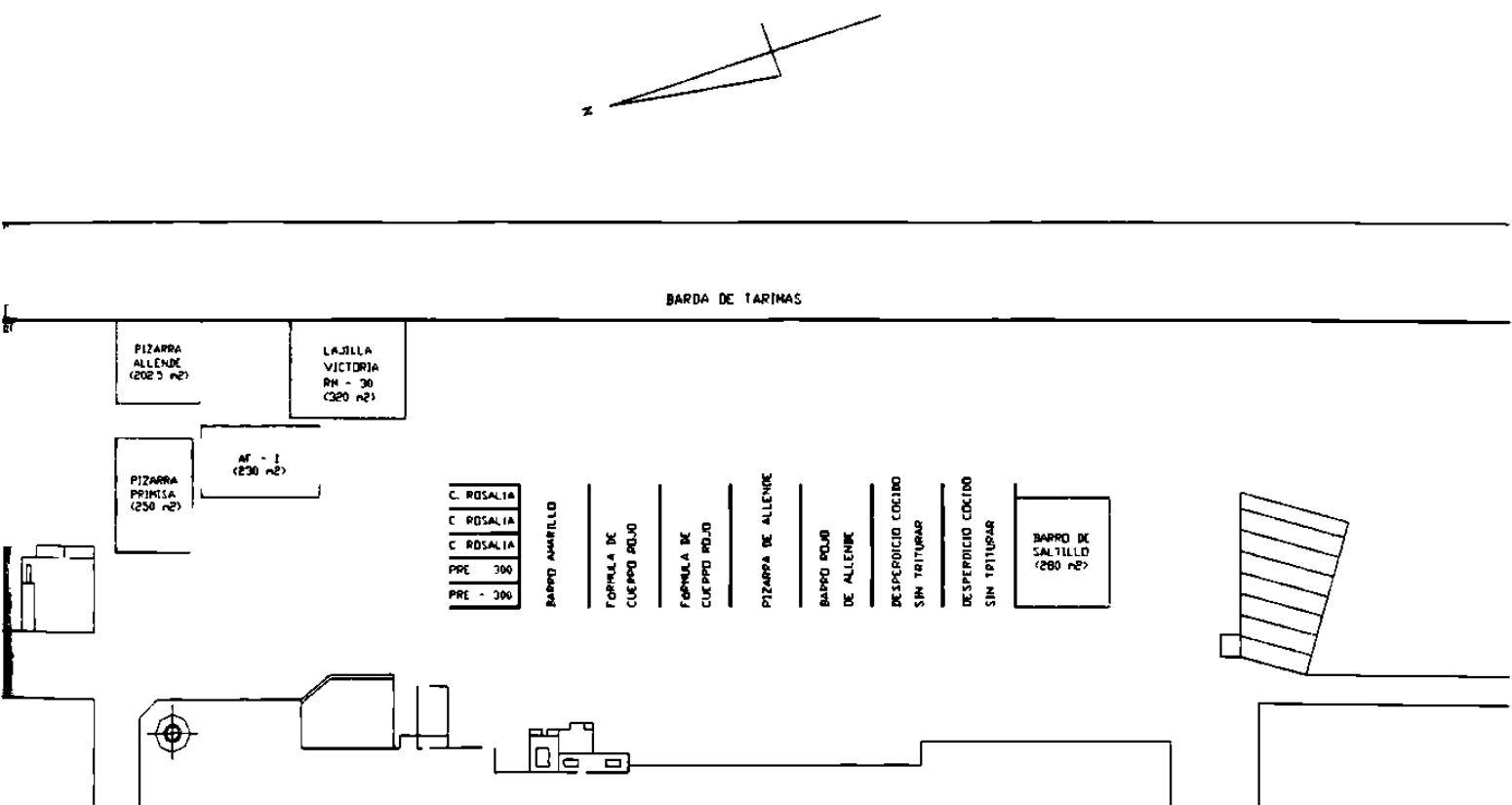
- Caolín Rosalía
- PRE - 300
- Desperdicio crudo
- Barro Amarillo
- Fórmula de cuerpo rojo
- Pizarra de Allende
- Barro rojo de Allende

Esto seguirá siendo así ya que la materia prima ubicada en el área techada no se cambiará de lugar porque las instalaciones son apropiadas.

En la zona de almacenamiento a cielo abierto se encuentran los siguientes materiales:

- Materiales obsoletos
- Pizarra de Allende
- Pizarra Primisa
- AF - 1
- Lajilla Victoria - RM - 30
- Desperdicio cocido sin triturar
- Barro de Saltillo

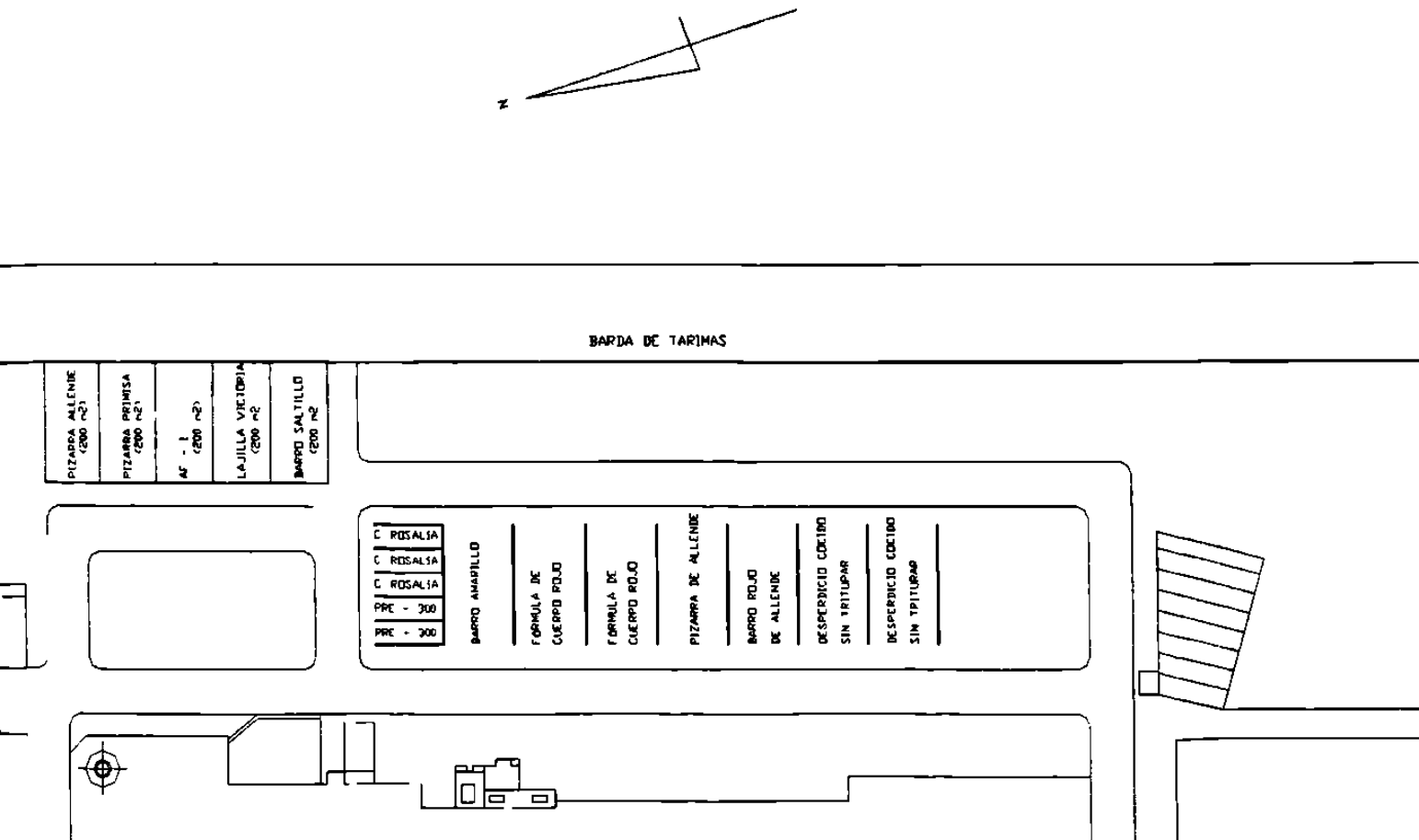
La disposición antes descrita se puede observar en la Figura 5.3.



**Figura 5.3** Esquema indicativo de la ubicación de la materia prima en los almacenamientos de molinería de ladrillería



Como primer paso, se propone disponer de los materiales obsoletos, de manera que toda el área destinada al confinamiento de materia prima quede perfectamente libre. Posteriormente los materiales serán reubicados como se indica en la Figura 5.4.



**Figura 5.4** Esquema indicativo de la ubicación sugerida para la materia prima en los almacenamientos de molienda de ladrillería.

Las ventajas de la ubicación propuesta son las siguientes:

1. Mayor aprovechamiento del espacio por eliminación de materiales obsoletos
2. Disposición con mejor geometría
3. Los nuevos confinamientos son de fácil acceso para el transportista que debe descargar la materia prima en los mismos
4. Las áreas propuestas son mayores que las ya existentes

### **5.3 DEFINICIÓN Y CARPETEO DE LAS RUTAS DE TRÁNSITO**

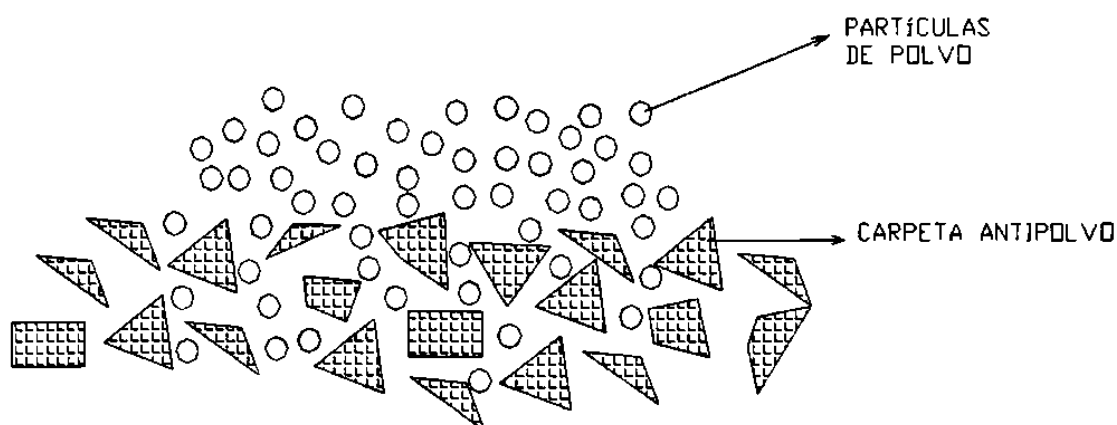
Para definir las rutas en las áreas de almacenamiento de materia prima se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Tienen que ser de fácil acceso a los transportistas que traen la materia prima desde las canteras hasta su área de confinamiento temporal, en los almacenamientos de servicio directo y de molienda de ladrillería
- Tienen que ser vías rápidas desde los almacenamientos hasta el proceso
- Deben representar la menor trayectoria desde el almacenamiento hasta el proceso

Por lo tanto, en servicio directo se proponen las rutas señaladas en la Figura 5.2 y en molienda de ladrillería se proponen las rutas indicadas en la Figura 5.4. Las rutas deben de tener una carpeta o relleno *antipolvo*, esto habrá de lograrse colocándole desperdicio cocido triturado apisonado, de manera tal que las partículas de polvo penetren en los intersticios de la misma y no se disipen en el medio ambiente. Esto se puede ver en la Figura 5.5.

### **5.4 PROCEDIMIENTO DE MANIOBRA DE LA MATERIA PRIMA EN LOS CONFINAMIENTOS DE SERVICIO DIRECTO Y MOLIENDA DE LADRILLERÍA**

Hay que tener en cuenta que la materia prima con la cual se va a trabajar genera polvos, si no es correctamente tratada, es por ello que este apartado está dedicado a brindar sugerencias de cómo maniobrar con la misma, sin que ello ocurra. Una copia de este *procedimiento*, debe estar a la vista del personal que maniobra con la materia prima, en los confinamientos de *servicio directo* y en *molienda de ladrillería*. Además se debe repartir copia impresa del mismo, al transportista y al personal interno de la planta.



**Figura 5.5** Esquema indicativo de la constitución de la alfombra antipolvo

#### **5.4.1 REGLAMENTO PARA EL TRANSPORTISTA**

1. El transportista proveedor de materia prima, al ingresar a la planta, debe hacerlo con la *carrocera protegida*; es decir, cubierta con una lona o similar, con el fin de evitar el derrame de materia prima en el trayecto dentro de la misma
2. Personal interno de la planta, especialmente designado para ello, debe acompañar al transportista todo el tiempo que éste permanezca dentro de las instalaciones
3. Una vez que ha llegado hasta los almacenamientos de materia prima, puede desplazarse dentro de ellos exclusivamente por los caminos señalizados para tal fin
4. No debe de colocar la materia prima que transporta en otro lugar que no sea el previamente destinado para ello. Estos lugares estarán debidamente indicados con carteles alusivos
5. Una vez dentro del área de confinamiento, el vehículo irá hasta el fondo de la misma y desplazándose por el centro del área, descargará; evitando que el montículo de materia prima rebase los 4m de altura
6. Los vehículos no deben de salir de la planta con las ruedas sucias, evitando así dejar "huellas" en las calles de la ciudad
7. Se deben limpiar las ruedas de los transportes en las instalaciones destinadas para ello

## **5.4.2 REGLAMENTO INTERNO PARA EL MANEJO DE LA PALA MECÁNICA**

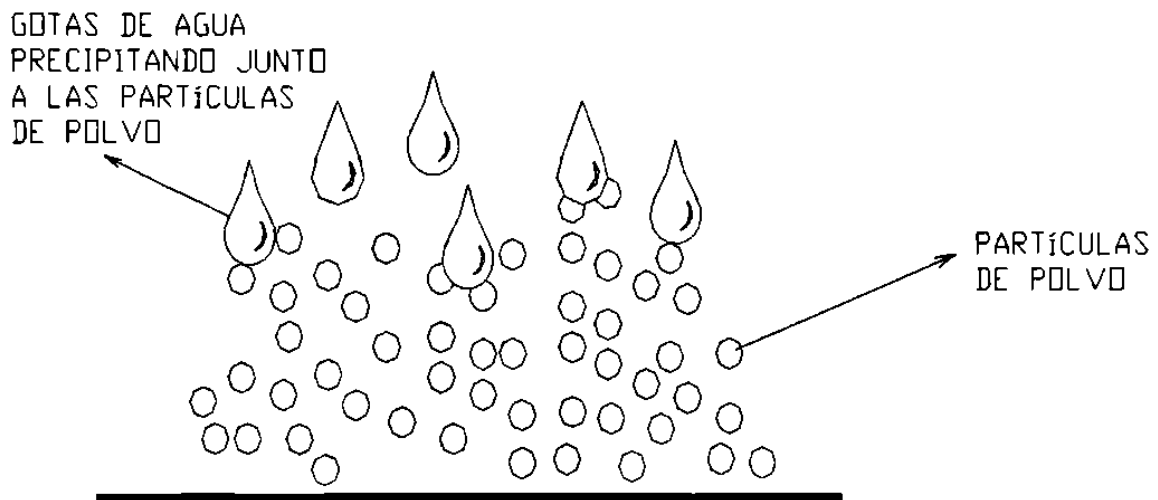
1. Las palas mecánicas encargadas de transportar la materia prima desde los almacenamientos a cielo abierto hasta los depósitos, deben ser maniobradas exclusivamente por personal autorizado para tal fin
2. No se debe llenar la pala hasta que se produzcan derrames de materia prima
3. Si la pala es sobrecargada, se debe sacudir la misma, antes de iniciar el transporte
4. Antes de iniciar el transporte, se debe permitir que el agua proveniente de los aspersores humedezca levemente la materia prima.
5. No se debe golpear la pala contra la estructura de soporte de los depósitos.
6. No se debe circular por otros lugares que no sean las calles destinadas para tal fin.

## **5.5 DISEÑO DE UN SISTEMA DE ASPERSIÓN POR NIEBLA DE AGUA, PARA LOS ALMACENAMIENTOS DE MATERIA PRIMA, EN EL ÁREA DE SERVICIO DIRECTO**

Se considera que los problemas de contaminación atmosférica producida por las partículas de polvo de arcilla suspendidas en esta zona, se pueden solucionar, instalando un *sistema de aspersión por niebla por agua*. De manera tal que, al producirse polvo, tales partículas se encuentren con gotas de agua suspendidas en el ambiente y precipiten junto con ellas. La Figura 5.6 muestra un esquema de cómo las partículas de agua suspendidas producen la precipitación del polvo.

### **5.5.1 SELECCIÓN DE LOS ASPERSORES**

Para seleccionar los aspersores se debe tener en cuenta que los mismos, por razones de economía de agua, deberán ser de bajo gasto y suficientes en número para cubrir el área deseada.



**Figura 5.6** Esquema indicativo de la precipitación de las partículas de polvo debido a la presencia de la niebla de agua

## SELECCIÓN DE LOS ASPERSORES EN LOS ALMACENES DE MATERIA PRIMA TECHADOS

Para el área de los *almacenes de materia prima techados* se ha seleccionado el aspersor que se describe, reforzado con *polipropileno* para lograr una mayor resistencia a la abrasión y a la corrosión a 71°C.:

**QUICK WHIRLJET de SPRAYING SYSTEMS CO.** cuyo catálogo se muestra en el ANEXO 2

### MODELO QAPA-PP-10-2.5W

Diámetro de entrada: 2 mm

Diámetro del orificio: 3.2 mm

Presión de trabajo: 40 psi

Capacidad: 0.56 L/min.

Ángulo de cobertura,: 133 °

La Figura 5.7 ilustra la cobertura del aspersor seleccionado y el esquema de la Figura 5.8 se utiliza para realizar el cálculo trigonométrico de la altura recomendada de la materia prima, en el interior de los almacenamientos techados.

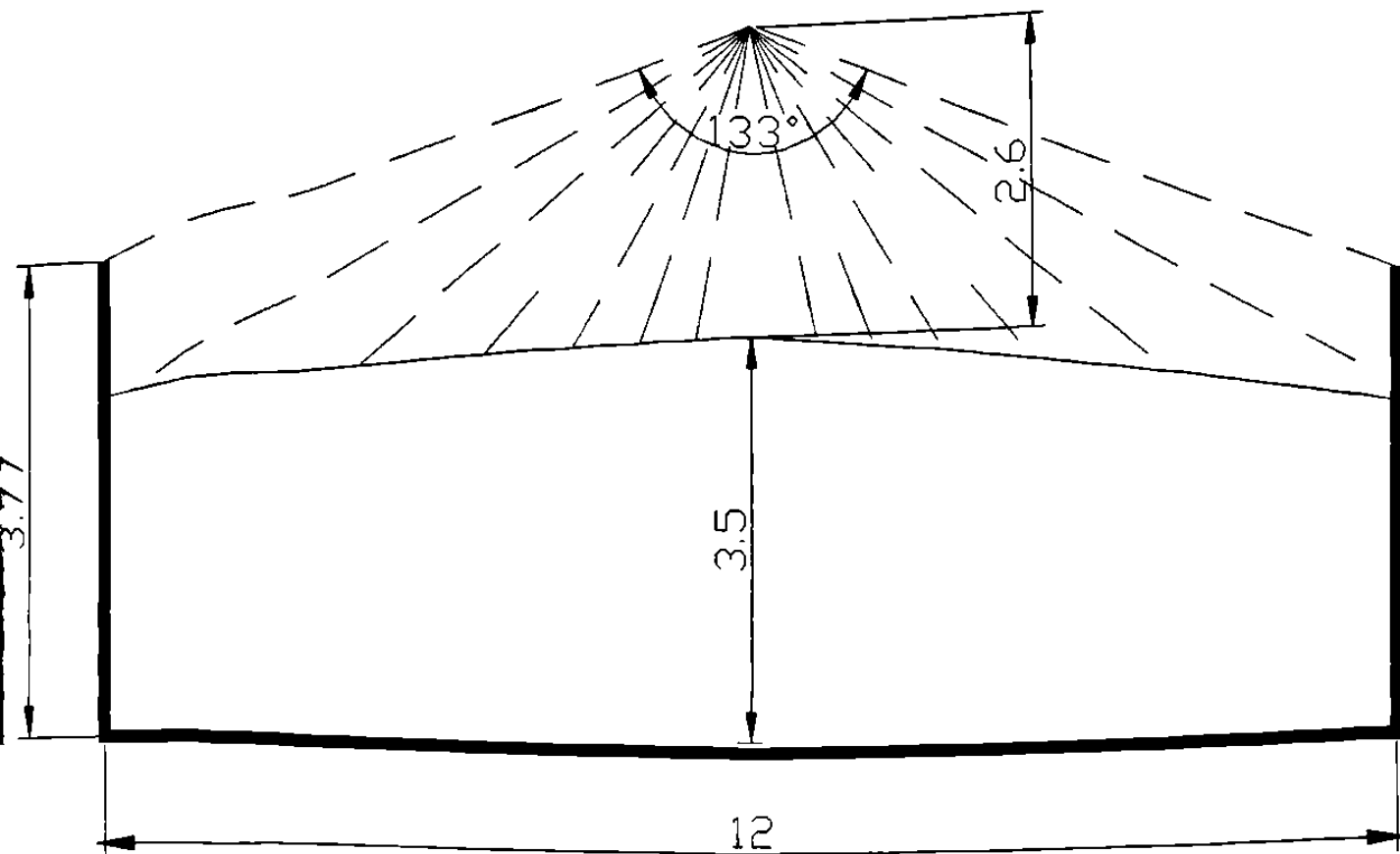
$$\text{tang } 66.5^\circ = \frac{6}{x}$$

$$x = \frac{6}{\text{tang } 66.5^\circ}$$

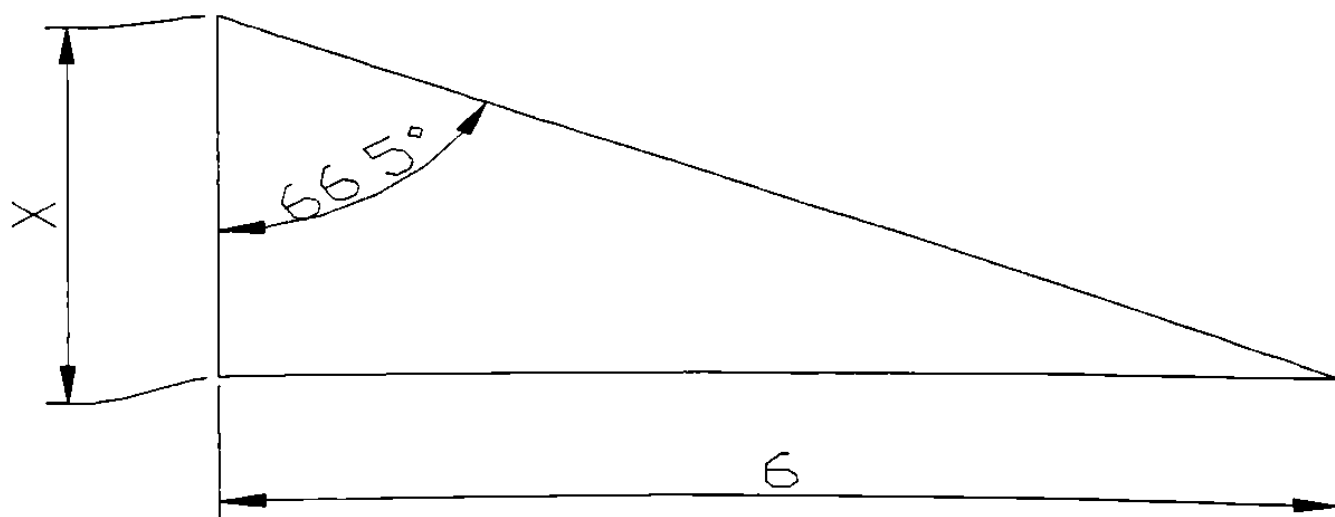
$$x = \frac{6}{2.3}$$

$$x = 2.6 \text{ m}$$

Lo que indica que para que el aspersor cubra los 12 m de ancho del almacén, debe de estar ubicado a 2.6 m de altura. Como el almacén tiene 6 m de altura, implica que el montículo de tierra puede ascender solo hasta 3.5 m, con lo cual, si se desea que el aspersor cubra toda la materia prima acumulada en el almacén, se recomienda no sobrepasar los 3.5 m de altura.



**Figura 5.7** Esquema del área de cobertura del aspersor QAPA-PP-10-2.5W



**Figura 5.8** Cálculo trigonométrico de la altura recomendada

## SELECCIÓN DE LOS ASPERSORES EN LOS ALMACENES DE MATERIA PRIMA A CIELO ABIERTO

Para el área de los *almacenes de materia prima a cielo abierto* se ha seleccionado el siguiente aspersor:

**FOGJET de SPRAYING SYSTEMS CO.** cuyo catálogo se ve en el ANEXO 2

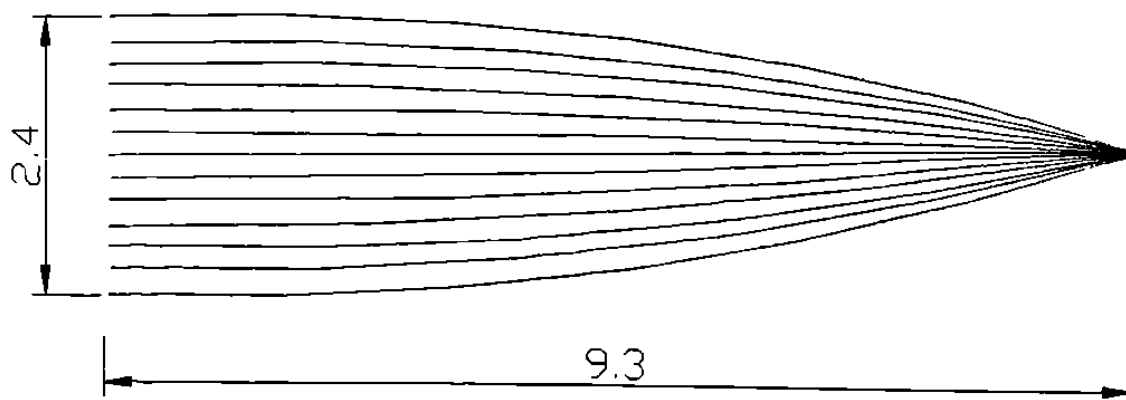
MODELO ¼ - FF-12

Presión de trabajo: 40 psi

Capacidad: 12 gal/min. (47 l/min.)

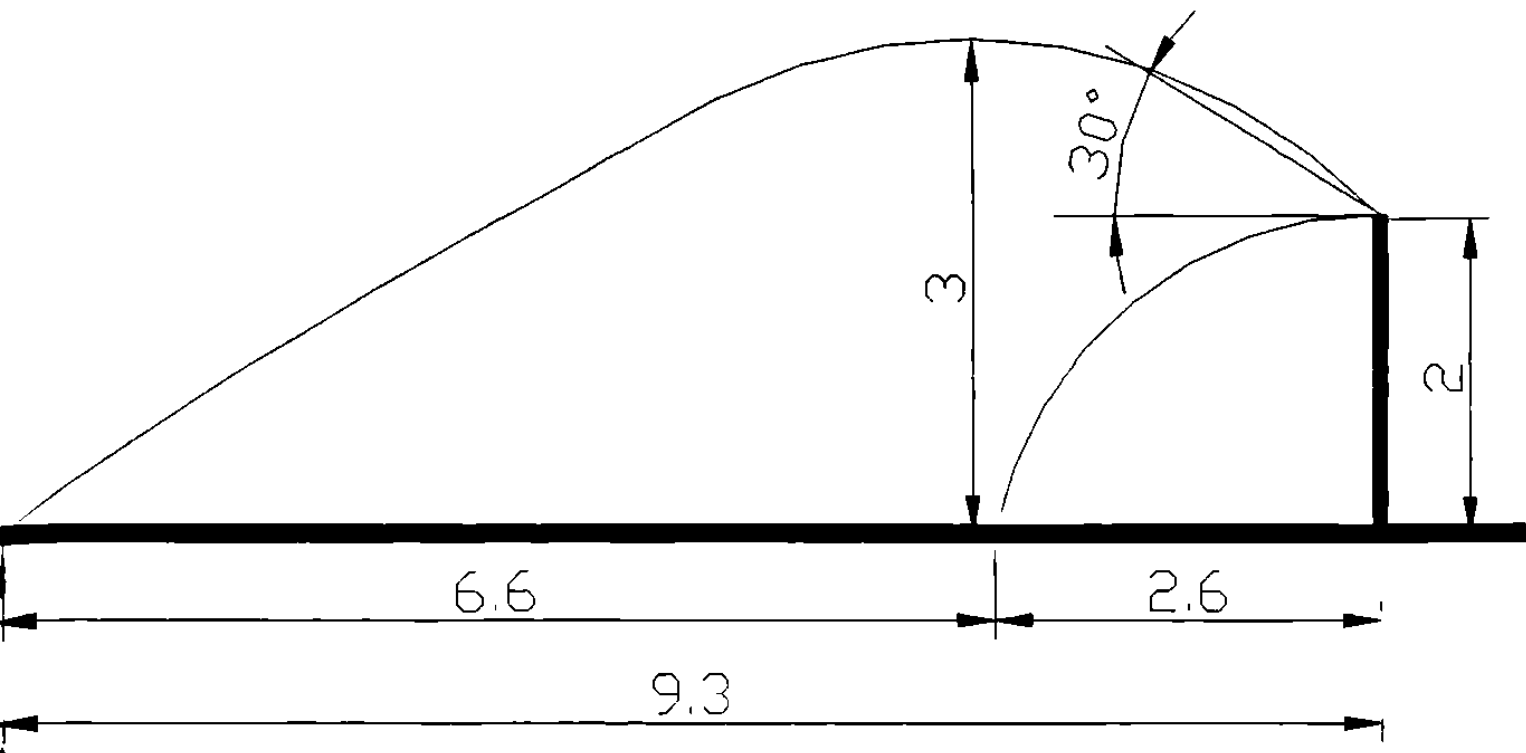
El material de construcción de los aspersores es latón

Según el fabricante, a 2m de altura, 30° de inclinación y 40 psi de presión, el alcance de los aspersores corresponde con la forma y dimensiones dados en la Figuras 5.9 y 5.10.



**Figura 5.9** Alcance de los aspersores seleccionados a 30° de inclinación, 2 m de altura y a una presión de 40 psi. Vista desde arriba





**Figura 5.10** Alcance de los aspersores seleccionados a 30° de inclinación, 2 m de altura y a una presión de 40 psi. Vista lateral

## 5.5.2 UBICACIÓN DE LAS LÍNEAS DE ASPERSIÓN

En la planta deberán colocarse dos tipos de líneas de aspersión distintas, las usadas en:

- Los almacenes de materia prima, techados
- Los almacenes de materia prima, a cielo abierto

## ALMACENES TECHADOS

Se recomienda la instalación de una línea única, con un total de 12 aspersores modelo QAPA-PP-10-2.5W, con capacidad de 0.56 l/min. cada uno. Dado que los mismos funcionarán simultáneamente, el gasto total de dicha línea será de 6.72 l/min.

## ALMACÉN A CIELO ABIERTO

Se recomienda la instalación de 8 líneas paralelas, con 11 aspersores cada una, modelo FOGJET - ¾ - FF-12 de una capacidad de 12 gal/min cada uno. En cada línea los 11 aspersores funcionarán simultáneamente, por lo que el gasto de cada línea será de 132 gal/min. Sin embargo, las 8 líneas no funcionarán al mismo tiempo, sino que lo harán en forma secuencial, una por vez. En el ANEXO 3 se muestra el plano indicativo de la ubicación de las líneas de aspersión en los almacenamientos de materia prima techados y a cielo abierto.

### 5.5.3 ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DEL AGUA A UTILIZAR

La propuesta de diseñar un sistema de control de polvos utilizando un sistema de aspersión de agua es doblemente benéfica si el agua utilizada para ello es agua de desecho, proveniente del proceso. Esta agua tiene las características de contener fundamentalmente partículas suspendidas de polvo de arcilla. Normalmente se la acumula en unas *pilas de decantación*, en donde parte de ella es agitada para reincorporarla al proceso y la otra parte se deja sedimentar. Es precisamente esta agua, previamente sedimentada, la que habrá de ser utilizada para alimentar las líneas de aspersión.

Con el fin de evaluar su calidad y su pertinencia para ser utilizada en los aspersores, se extrajeron muestras del agua proveniente de las pilas de decantación, se analizaron y se llegó a la conclusión de que esta fuente cumple con los requisitos o parámetros CRETIB y que, además, posee en promedio, una cantidad de partículas suspendidas totales equivalente a sólo 52 mg/l. Las Tablas 5.1 y 5.2 ilustran las características fisicoquímica del agua de las pilas de sedimentación de Servicio Directo y de Muros.

**Tabla 5.1 Características fisicoquímica del agua de las pilas de sedimentación de Servicio Directo**

<b>DETERMINACIÓN O COMPUESTO</b>	<b>VALOR OBTENIDO</b>	<b>LÍMITE PRÁCTICO DE CUANTIFICACIÓN</b>	<b>METODOLOGÍA UTILIZADA</b>
ALUMINIO (mg/l)	15.75	1.0	USEPA-2021
ARSÉNICO (mg/l)	0.0015	0.001	AWWA-AS-3114
CADMIO (mg/l)	MENOR AL LÍMITE	0.05	NMX-AA-51
COBRE (mg/l)	MENOR AL LÍMITE	0.1	NMX-AA-51
MERCURIO (mg/l)	MENOR AL LÍMITE	0.001	NMX-AA-51
PLOMO (mg/l)	MENOR AL LÍMITE	0.2	NMX-AA-51
NÍQUEL (mg/l)	MENOR AL LÍMITE	0.2	NMX-AA-51
ZINC (mg/l)	5.56	0.05	NMX-AA-51
<b>SÓLIDOS SEDIMENTABLES (mg/l)</b>	19	0.2	NMX-AA-4
<b>GRASAS Y ACEITES (mg/l)</b>	6.6	5.0	NMX-AA-5
DBO (mg/l)	448.4	1.0	NMX-AA-28
NITRÓGENO TOTAL (mg/l)	1.69	1.0	NMX-AA-26
<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/l)</b>	52	1.0	NMX-AA-34/76
DQO (mg/l)	2684	1.0	NMX-AA-30
pH	8.0	NO APLICA	NMX-AA-8
CONDUCTIVIDAD ( $\mu$ mhos/cm)	459	1.0	NMX-AA-93
FÓSFORO TOTAL (mg/l)	0.53	0.07	NMX-AA-29

**Tabla 5.1 Continuación**

<b>DETERMINACIÓN O COMPUESTO</b>	<b>VALOR OBTENIDO</b>	<b>LÍMITE PRÁCTICO DE CUANTIFICACIÓN</b>	<b>METODOLOGÍA UTILIZADA</b>
DUREZA TOTAL (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )	144	5.0	NMX-AA-72
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO (mg/l)	MENOR AL LÍMITE	0.03	NMX-AA-39
CROMO IV (mg/l)	MENOR AL LÍMITE	0.01	NMX-AA-44
DUREZA DE CALCIO (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )	94	5.0	
CIANUROS (mg/l)	MENOR AL LÍMITE	0.01	

**Tabla 5.2 Características fisicoquímica del agua de las pilas de sedimentación de  
Muros**

<b>DETERMINACIÓN O COMPUESTO</b>	<b>VALOR OBTENIDO</b>	<b>LÍMITE PRÁCTICO DE CUANTIFICACIÓN</b>	<b>METODOLOGÍA UTILIZADA</b>
ALUMINIO (mg/l)	3.7	1.0	USEPA-2021
ARSÉNICO (mg/l)	0.0036	0.001	AWWA-AS-3114
CADMIO (mg/l)	MENOR AL LÍMITE	0.05	NMX-AA-51
COBRE (mg/l)	MENOR AL LÍMITE	0.1	NMX-AA-51
MERCURIO (mg/l)	MENOR AL LÍMITE	0.001	NMX-AA-51
PLOMO (mg/l)	MENOR AL LÍMITE	0.2	NMX-AA-51

**Tabla 5.2 Continuación**

<b>DETERMINACIÓN O COMPUESTO</b>	<b>VALOR OBTENIDO</b>	<b>LÍMITE PRÁCTICO DE CUANTIFICACIÓN</b>	<b>METODOLOGÍA UTILIZADA</b>
NÍQUEL (mg/l)	MENOR AL LÍMITE	0.2	NMX-AA-51
ZINC (mg/l)	4.95	0.05	NMX-AA-51
SÓLIDOS SEDIMENTABLES (mg/l)	MENOR AL LÍMITE	0.2	NMX-AA-4
GRASAS Y ACEITES (mg/l)	5.9	5.0	NMX-AA-5
DBO (mg/l)	509.2	1.0	NMX-AA-28
NITRÓGENO TOTAL (mg/l)	5.53	1.0	NMX-AA-26
DQO (mg/l)	779	1.0	NMX-AA-30
pH	7.64	NO APLICA	NMX-AA-8
CONDUCTIVIDAD ( $\mu$ mhos/cm)	1478	1.0	NMX-AA-93
FÓSFORO TOTAL (mg/l)	1.22	0.07	NMX-AA-29
DUREZA TOTAL (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )	770	5.0	NMX-AA-72
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO (mg/l)	1.71	0.03	NMX-AA-39
CROMO IV (mg/l)	MENOR AL LÍMITE	0.01	NMX-AA-44
DUREZA DE CALCIO (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )	580	5.0	
CIANUROS (mg/l)	MENOR AL LÍMITE	0.01	

#### **5.5.4 CÁLCULO HIDRAÚLICO**

En la zona de servicio directo se colocará un tanque de almacenamiento o de regulación, al cual llegará el agua previamente sedimentada proveniente de las pilas de decantación de servicio directo y de muros. Esta agua deberá ser filtrada para efecto de quitarle las partículas suspendidas que le queden. Luego, desde el tanque, el agua será bombeada hacia las líneas de aspersión. Por lo tanto, el sistema así propuesto cuenta con tres bombas:

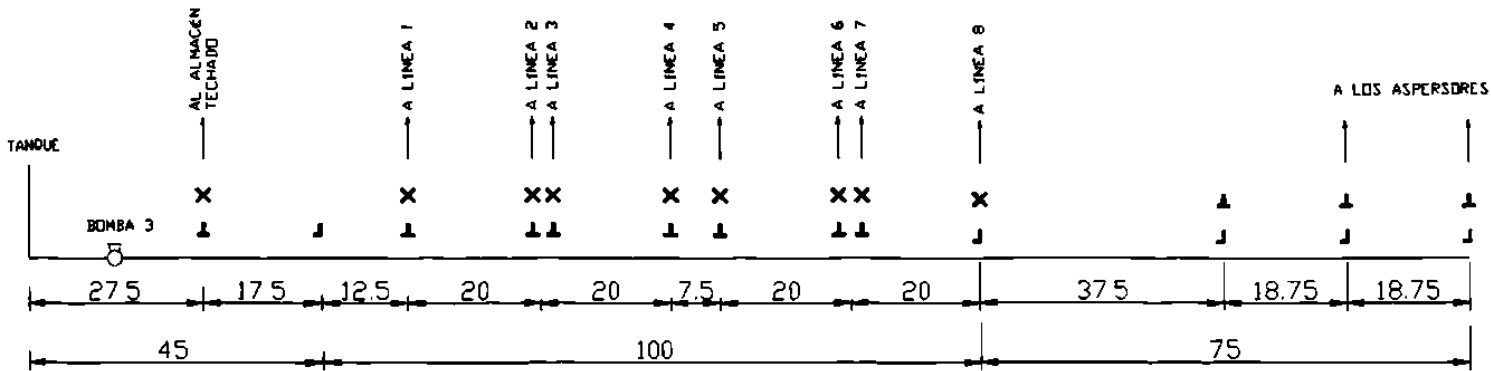
- BOMBA 1: conduce agua sedimentada, desde las pilas de decantación de muros, hasta el tanque de almacenamiento
- BOMBA 2: conduce agua sedimentada, desde las pilas de decantación de servicio directo, hasta el tanque de almacenamiento
- BOMBA 3: conduce agua, desde el tanque de almacenamiento hasta las 9 líneas de aspersión

#### **CÁLCULO DE LA BOMBA 3**

En la forma en que está propuesto el sistema, se trabajará con las siguientes nueve líneas:

- Ocho líneas de 132 gal/min. cada una, en el almacén a cielo abierto
- Una línea de 1.77 gal/min., en el almacén techado

Dado que las 9 líneas funcionarán en forma secuencial, el cálculo se hará para la línea 8, es decir, la más larga y más alejada de la fuente de abastecimiento. Si el cálculo se hace para una bomba con la capacidad suficiente para alimentar a dicha línea, ella será también suficiente para alimentar las restantes líneas. La figura 5.11 muestra un diagrama unifilar del sistema alimentado por la bomba 3, en las condiciones de mayor demanda de potencia ya descritas.



**Figura 5.11** Diagrama unifilar del sistema alimentado por la BOMBA 3

Los cálculos involucrados en esta sección o ramal son descritos enseguida:

1. CAUDAL TOTAL

Son 11 aspersores de 12 gal/min cada uno, por lo tanto:

$$Q_{TOTAL} = 11 \cdot 12 \text{ gal/min}$$

$$Q_{TOTAL} = 132 \text{ gal/min}$$

$$Q_{TOTAL} = 17.67 \text{ pie}^3/\text{min}$$

2. VELOCIDAD PROMEDIO EN LA LÍNEA 8

Para realizar el balance se toman como puntos de referencia aquellos en los que la velocidad del agua sea cero, como es el caso en la superficie del agua en el tanque de almacenamiento, por un lado, y en el interior de la tubería justo antes de ingresar al aspersor. Éste último permite tomar también como dato el requisito del fabricante de

cumplir con una presión estática en la tubería de 40 psi, para así alcanzar por dispersión las distancia y cobertura requeridas. Por lo tanto será la presión y no la velocidad el dato fundamental del balance de energía de Bernoulli que seguirá párrafos adelante.

### 3. DISTANCIA TOTAL EN TRAMOS DE TUBERÍA RECTA

Esta distancia está medida desde el tanque de almacenamiento hasta la línea 8 y es:

$$L = 220 \quad m$$

### 4. ACCESORIOS

Las tuberías de conducción están compuestas por tramos rectos y por accesorios que permiten los cambios de sentido para ajustarse a los accidentes topográficos y a la geometría de las instalaciones en la planta, así como por válvulas y medidores para el control del flujo en la tubería o, simplemente, para asegurar que el funcionamiento de la línea de conducción sea eficiente.

Las conexiones de la tubería en las intersecciones, cambios de dirección, variaciones de diámetro, accesos a válvulas, etc., se denominan comúnmente como accesorios o *piezas especiales*.

Las piezas especiales de *fierro fundido* son las más comunes y se fabrican para todos los diámetros de las tuberías.<sup>51,52</sup> Estas piezas se conectan entre sí o a las válvulas por medio de bridas y tornillos y con un empaque de sellamiento intermedio, que puede ser de plomo, hule ó plástico.

Por ejemplo las *válvulas de compuerta ON - OFF* se emplean con el objeto de habilitar la bomba cuando el sistema así lo requiera. Está diseñada para ser operada cuando se requiera un cierre o abertura total. Además una *válvula check*, evitará el retorno de flujo.



Cada uno de los accesorios utilizados ofrece una cierta *resistencia* al pasaje del agua, por lo tanto será necesario convertir cada accesorio en una *longitud equivalente de tubería recta del mismo diámetro*. Hallar una longitud equivalente para un accesorio determinado es hallar la longitud de un tramo de tubería cuya resistencia al pasaje del agua sea equivalente a la resistencia ofrecida por el accesorio en cuestión. Todos estos valores se pueden observar en la Tabla 5.3.

**Tabla 5.3** *Largo equivalente representativo en diámetro de tubería (L/D) de varias válvulas y ajustes*<sup>51,52</sup>

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>L/D</b>
Válvulas de globo convencional, sin obstrucción en el asiento de tipo plano, completamente abierta	340
Válvulas de globo convencional, con disco de aleta, completamente abierta	450
Válvulas de globo modelo Y, con vástago a 60°, completamente abierta	175
Válvulas de globo modelo Y, con vástago a 45°, completamente abierta	145
Válvulas angulares convencional, sin obstrucción en el asiento tipo plano, completamente abierta	145
Válvulas angulares convencional, con disco de aleta, completamente abierta	200
Válvula de compuerta, completamente abierta	13
Válvula de compuerta, abierta tres cuartas partes	35
Válvula de compuerta, abierta la mitad	160
Válvula de compuerta, abierta una cuarta parte	900
Válvulas de lodo, completamente abierta	17
Válvulas de lodo, abierta las tres cuartas partes	50
Válvulas de lodo, abierta la mitad	260
Válvulas de lodo, abierta la cuarta parte	1 200
Tubería Conduit, completamente abierta	3

**Tabla 5.3 Continuación**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>L/D</b>
Válvulas de retención, giro convencional, completamente abierta	135
Válvulas de retención, giro de despeje, completamente abierta	50
Válvulas de aspiración con cedazo, con disco de alza completamente abierta	420
Válvulas de aspiración con cedazo, con disco articulado completamente abierta	75
Válvulas de mariposa, completamente abiertas	20
Grifos, directo a través, área rectangular de la clavija al 100% del área del tubo, completamente abierta	18
Válvula de tres conductos, flujo directamente a través, completamente abierta	44
Válvula de tres conductos, flujo a través de la bifurcación, abierta	140
<i>Conexiones, codo normal a 90°</i>	30
Conexiones, codo normal a 45°	16
Conexiones, codo de radio largo a 90°	20
Conexiones, codo para calle a 90°	50
Conexiones, codo para calle a 45°	26
Conexiones, codo para esquina cuadrada	57
<i>Conexiones, T normal con flujo a lo largo</i>	20
Conexiones, T con flujo a través de la rama	60
Patrón cerrado con flujo de retorno	50

- 5 Codos de 90°, para cada uno utilizar la relación;      L/D = 30
- 4 conexiones "T", con el flujo a lo largo, para cada una L/D = 20
- 1 válvula tipo compuerta, en este caso aplique      L/D= 13

## 5. DIÁMETRO DE LAS TUBERÍAS

Consideraremos dos diámetro de tuberías:

- PRIMER TRAMO: desde el tanque de almacenamiento hasta el primer codo el diámetro será de 4 pulgadas
- SEGUNDO TRAMO: desde el primer codo en adelante, el diámetro será de 3 pulgadas

## 6. BALANCE DE ENERGÍA MEDIANTE LA ECUACIÓN DE BERNOULLI

Para realizar el balance en el sistema se parte de la siguiente ecuación:

$$P_1.V_1 + Z_1 \cdot \frac{g}{g_c} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g_c} + W = P_2.V_2 + Z_2 \cdot \frac{g}{g_c} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g_c} + \sum F ,$$

en donde:

$P_1$  : Presión del agua en la superficie del tanque de almacenamiento

$P_2$  : Presión del agua un instante antes de salir por los aspersores

$$P_1 - P_2 = 40 \text{ psi}$$

$V_1 = V_2$ : Entendiéndose que V es el volumen específico del agua

$$\text{Vol.espec.} = \frac{1}{\text{densidad}} = 0.0161 \quad \text{pie}^3 / \text{lb}$$

$Z_1$ : Nivel del agua en la superficie del tanque, se toma igual a "0"

$Z_2 = Z_1$ : Nivel del agua al salir por los aspersores, referido al nivel de  $Z_1$

$v_1$ : velocidad del agua en el tanque = 0

$v_2$ : velocidad del agua un instante antes de salir por los aspersores = 0

$v_1 = 0$  Se hace la consideración de que el diámetro del tanque es lo suficientemente grande que permite suponer que la velocidad de desplazamiento del agua (velocidad del cambio de nivel) en su superficie es prácticamente igual a cero

$v_2 = 0$ . Se hace esta suposición en un punto en que la energía cinética es irrelevante en comparación con la energía de desplazamiento asociada a la presión interna; ese punto es dentro de la tubería pero justo antes del ingreso del agua a los aspersores.

$g/g_c = 1$ , es un factor utilizado para fines de conversión de unidades

$W$ : Carga total requerida, medida en pies de carga o cabeza (*head*)

$\Sigma F$ : La pérdida total de carga debida a la fricción combinada en los tramos de tubería recta y todos los accesorios.

Así, de la Ecuación de Bernoulli, se despeja  $W$ :

$$W = (P_2 - P_1) \cdot V_1 + (Z_2 - Z_1) \cdot \frac{g}{g_c} + \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2g_c} + \Sigma F$$

$$W = (40 \text{ psi}) \cdot (0.0161 \text{ pie}^3 / \text{lb}) \cdot (144 \text{ pulg}^2 / \text{pie}^2) + \Sigma F$$

$$W = 92.736 \text{ pie} + \Sigma F$$

## 7. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR FRICCIÓN

### SECCIONES TRANSVERSALES

Para calcular las secciones transversales de las tuberías de 3" y 4"; se aplica la siguiente fórmula:

$$A = \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

$$A2'' = 0.0233 \text{ pie}^2$$

$$A3'' = 0.0513 \text{ pie}^2$$

$$A4'' = 0.0884 \text{ pie}^2$$

### VELOCIDAD PROMEDIO DEL FLUJO

Para calcular esta velocidad se aplica la siguiente expresión fundamental:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Al tener en cuenta a los factores de conversión:

$$v2'' = \underbrace{(132 \text{ gal} / \text{min.}) \left( \frac{\text{min}}{60\text{s}} \right) \left( \frac{8.34 \text{ lbH}_2\text{O}}{\text{gal}} \right) \left( \frac{\text{pie}^3}{62.3 \text{ lbH}_2\text{O}} \right) \left( \frac{1}{0.0233 \text{ pie}^2} \right)}_{0.29451}$$

$$v2'' = (0.29451) / 0.0233 = 12.63 \text{ fps}$$

$$v3'' = (0.29451) / 0.0513 = 5.741 \text{ fps}$$

$$v4'' = (0.29451) / 0.0884 = 3.3316 \text{ fps}$$

Fue precisamente el valor de 12.63 fps que hizo desistir de utilizar tubería de 2" de diámetro en este proyecto, ya que las pérdidas por fricción aumentan severamente con la velocidad de desplazamiento lineal del agua por el interior de las tuberías, como se verá más adelante. Los más moderados valores de 5.741 y 3.3316 fps orientaron la selección final y definitiva de tuberías de 3 y 4" de diámetro.

### CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN EL TRAMO DE TUBERÍA DE 4"

Longitud recta del tramo: 146 pies

Accesorios (en todos ellos el diámetro es igual al de la tubería, es decir, 4" ó 0.329 pie):

"T" con flujo a lo largo:  $L/D = 20 \Rightarrow \text{Leq} = (20) \times (0.329) = 6.58 \text{ pies}$

Codo a 90° :  $L/D = 30 \Rightarrow \text{Leq} = 9.87 \text{ pie}$

En las reducciones que se producen desde el tanque de almacenamiento a la tubería de 4" y en el pasaje de la tubería de 4" a la de 3", se utiliza un coeficiente de resistencia (L/D) que se lo obtiene de la gráfica de la Figura 5.12.

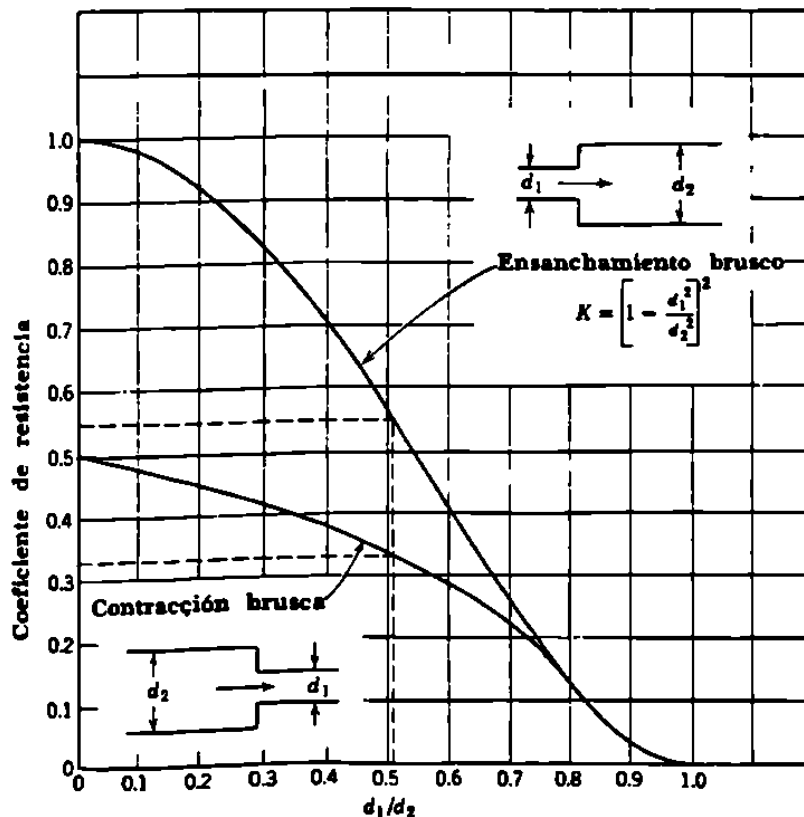


Figura 5.12 Resistencia debida a ensanchamientos ó contracciones bruscas

Reducción de 4" a 3":  $L/D = 0.18 \Rightarrow Leq = 5.9$  pie

Reducción del tanque/4":  $L/D = 30 \Rightarrow Leq = 9.87$  pie

$$L_{total} = 146 + 6.58 + 9.87 + 5.9 + 9.87$$

$$L_{total} = 178.22 \quad \text{pie}$$

## CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS

Ésta es una cantidad de dimensión 1 (adimensional)  $N_{RE}$ , la que para el caso de flujo en tuberías se define por la expresión siguiente. Nótese que ella relaciona al diámetro interno de la tubería  $D$  con la velocidad lineal  $v$ , densidad  $\rho$  y viscosidad  $\mu$  del fluido;

$$N_{RE} = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu}$$

$$N_{RE} = \frac{(4/12)(3.3316)(62.4)}{(1)(0.000672)}$$

$$N_{RE} = 103121$$

Para las tuberías de acero comercial existe una rugosidad  $\varepsilon$  que es inherente a la operación de rolado mediante el cual se fabrican; ello conduce a una cantidad conocida como rugosidad relativa  $\varepsilon/D$  que toma en cuenta al diámetro de la tubería. Así, para el tramo en estudio aplica una rugosidad relativa  $\varepsilon/D = 0.00045$ . Este valor se lo puede obtener del gráfico de la Figura 5.13. Ya con la rugosidad relativa y el N° de Reynolds, se ingresa en el gráfico de la Figura 5.14 y se obtiene el *factor de fricción*  $f = 0.0205$ .

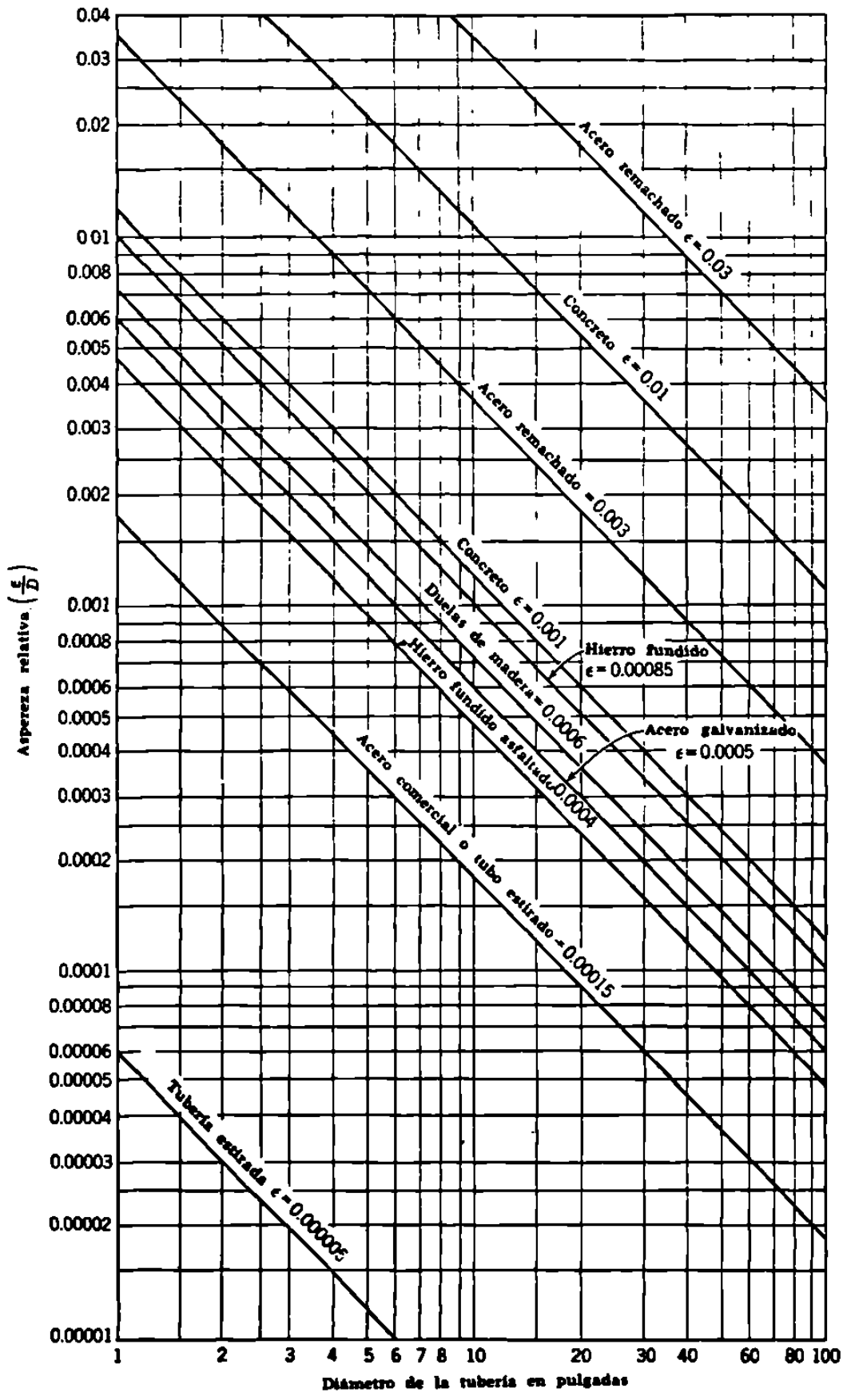


Figura 5.13 *Aspeza relativa como una función del diámetro, para tuberías de varios materiales*



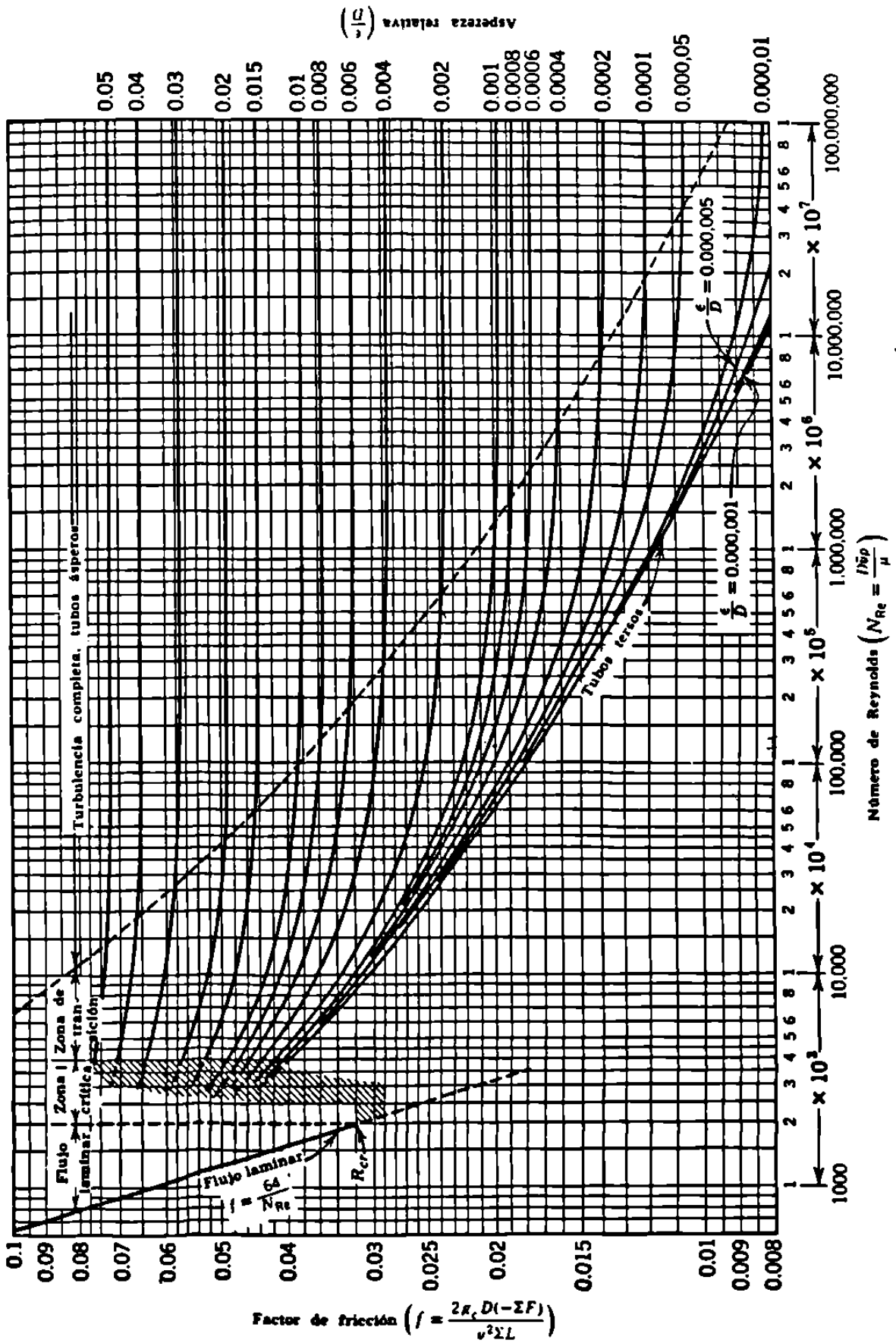


Figura 5.14 El factor de fricción como una función del Número de Reynolds, con asperezas relativas como parámetro

Con todos éstos datos ya pueden finalmente ser calculadas las pérdidas de carga o cabeza por fricción, mediante la siguiente expresión:

$$\sum F = \frac{f.v^2.L_{total}}{2.g_c.D}$$

$$\sum F = \frac{(0.0205)(3.3316)^2(178.22)}{(2)(32.2)(4/12)}$$

$$\sum F = 1.89 \quad pie$$

#### CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN EL TRAMO DE TUBERÍA DE 3"

Se calcula de forma similar a la anterior.

Longitud recta del tramo:            578 pies

Accesorios:

3 "T" con flujo a lo largo:    L/D = 20    =>    Leq = 5 pie    =>    Leq = 15 pie

4 codos a 90° :                    L/D = 30    =>    Leq = 7.5 pie    =>    Leq = 30 pie

1 válvula de compuerta:        L/D = 13    =>    Leq = 3.25 pie

$$L_{total} = 578 + 15 + 30 + 3.25$$

$$L_{total} = 626.25 \quad pie$$

## CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS

$$N_{RE} = \frac{D.v.\rho}{\mu}$$

$$N_{RE} = \frac{(3/12)(5.741)(62.4)}{(1)(0.000672)}$$

$$N_{RE} = 133273.2$$

Para el acero comercial  $\frac{\epsilon}{D} = 0.0006$ , teniendo en cuenta esta relación y el número de Reynolds, ingresamos en la Figura 5.13 para obtener el *factor de fricción*  $f = 0.021$

Con todos estos datos se calculan las pérdidas por fricción, con la siguiente expresión ya utilizada antes:

$$\sum F = \frac{f.v^2.Ltotal}{2.g_c.D}$$

$$\sum F = \frac{(0.021)(5.741)^2(626.25)}{(2)(32.2)(3/12)}$$

$$\sum F = 27 \quad pie$$

## 8. CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA

La carga o cabeza total que demanda el sistema en las condiciones de mayor exigencia es:

$$W = 92.736 \text{ pie} + \sum F_{tubería4^n} + \sum F_{tubería3^n}$$

$$W = 92.736 + 1.89 + 27$$

$$W = 121.6 \text{ pie}$$

A éste resultado de "W", se le considera un factor de seguridad de un 15%. Con lo cual, tras multiplicar por 1.15 queda:

$$W = 140 \text{ pie}$$

Entonces la potencia de la bomba se calcula finalmente a partir de la expresión:

$$P = W[\text{pie}]Q\left[\frac{\text{gal}}{\text{min}}\right]\left[\frac{\text{HP}\cdot\text{min}}{33000\text{pie}\cdot\text{lb}}\right]\left[\frac{8.34\text{lb}}{\text{gal}}\right]$$

$$P = (140)(132)\left[\frac{8.34}{33000}\right]$$

$$P = 5 \text{ HP}$$

Con los datos de la potencia  $P = 5 \text{ HP}$  y con el gasto de la línea  $Q = 132 \text{ gal/min.}$ , puede ser seleccionado el par motor – bomba apropiado ingresando en un software que se encarga de hacer el cálculo correspondientes. La Figura 5.15 muestra la planilla de cálculo del programa, mientras que la Figura 5.16 ilustra un gráfico mediante el cual se selecciona la bomba

**CONDICIONES DE OPERACION**

FLUIDO <i>Agua</i>	FLUJO (GPM) <i>132.00</i>	DENSIDAD RELATIVA <i>1.000</i>	VISCOSIDAD (CP) <i>0.890</i>
TEMPERATURA (oF) <i>77.000</i>	GRADO API		
FACTOR DE SERVICIO (P.S.) <i>1.10</i>			

**SUCCION**

**CALCULO DE NPSH PARA EL RAMAL CRITICO**

Presión inicial mínima (psig)	<i>0.00</i>	Presión en el recipiente (psia)	<i>14.50</i>
Columna hidrostática (psig)	<i>2.60</i>	Presión de vapor (psia)	<i>0.46</i>
Presión inicial (psig)	<i>2.60</i>	Nivel mínimo de operación (ft)	<i>7.00</i>
Pérdidas por fricción línea (psi)	<i>0.11</i>	Elevación boquilla de succión (ft)	<i>1.00</i>
DP línea a cap. de diseño (psi)	<i>0.14</i>	Presión disponible (ft)	<i>38.42</i>
Pérdidas por fricción equipo (psi)	<i>0.00</i>	DP línea a cap. de diseño (ft)	<i>0.32</i>
DP eq. a cap. de diseño (psi)	<i>0.00</i>	DP equipo a cap. de diseño (ft)	<i>0.00</i>
Presión de succión (psig)	<i>2.48</i>	N P S H DISPONIBLE (ft)	<i>38.09</i>
Presión de succión a cap. de diseño (psi)	<i>2.46</i>		

**EVALUACION PERDIDAS POR FRICCION EN RAMAL CRITICO No [ 1 ]**

S U C C I O N					D E S C A R G A				
DIAM.	VEL.	LONG.	DP100	DP	DIAM.	VEL.	LONG.	DP100	DP
(in)	ft/seg	ft	psi/100ft	psi	(in)	ft/seg	ft	psi/100ft	psi
<i>4.026</i>	<i>3.32</i>	<i>21.78</i>	<i>0.526</i>	<i>0.115</i>	<i>4.026</i>	<i>3.32</i>	<i>226.05</i>	<i>0.526</i>	<i>1.19</i>
					<i>3.068</i>	<i>5.73</i>	<i>618.91</i>	<i>2.054</i>	<i>12.71</i>

**D E S C A R G A P A R A E L R A M A L C R I T I C O No [ 1 ]**

Presión terminal máxima (psig)	<i>40.00</i>	Presión diferencial (psig)	<i>56.53</i>
Columna hidrostática (psig)	<i>2.17</i>	Columna diferencial con aprox. de 5 pies (ft)	<i>135.00</i>
Pérdidas en orificio (psi)	<i>0.00</i>	Presión de descarga (psig)	<i>60.96</i>
Presión total fija (psig)	<i>42.17</i>	Presión de descarga de diseño (psig)	<i>60.93</i>
DP cambiadores de calor (psi)	<i>0.00</i>	DP válvula de control (psi)	<i>0.00</i>
DP otros equipos (psi)	<i>0.00</i>		
Pérdidas por fricción línea (psi)	<i>13.90</i>		
Pérdidas totales variables (psi)	<i>13.90</i>	POTENCIA AL FRENO=	<i>6.923 BHP</i>
DP tot. var. de diseño (psig)	<i>16.82</i>		
Pérdidas totales (psi)	<i>56.87</i>		
DP tot. de diseño (psi)	<i>58.99</i>	EFICIENCIA DE LA BOMBA (ESTIMADA)	<i>65.00 %</i>
DP mín. válvula de control (psi)	<i>0.00</i>		

Figura 5.15 Planilla de cálculo del programa para la BOMBA 3

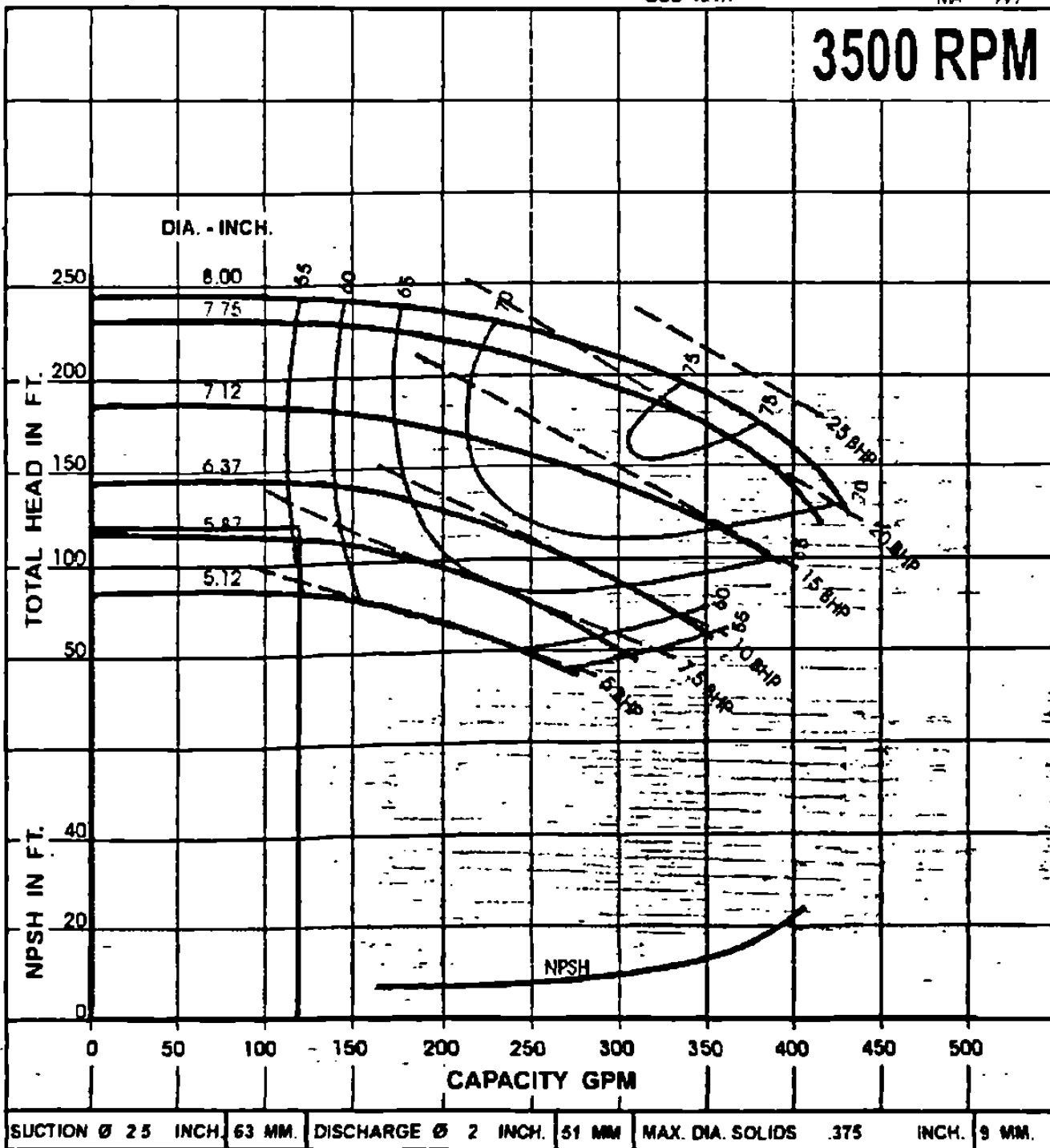
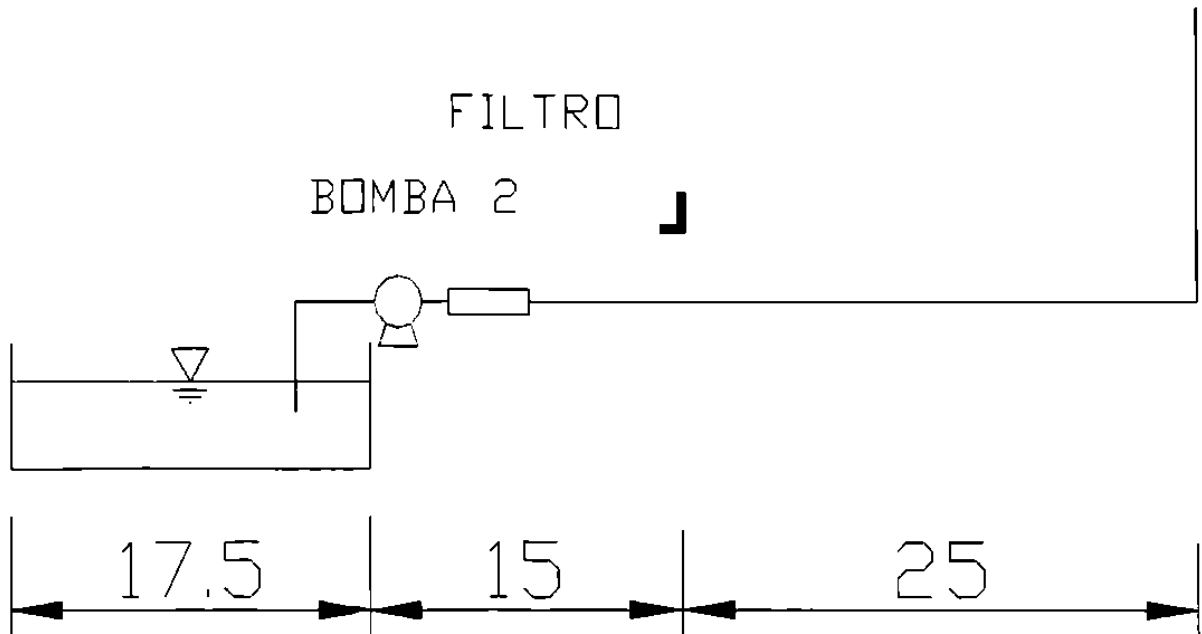


Figura 5.16 Gráfico de selección de la BOMBA 3

## CÁLCULO DE LA BOMBA 2

La BOMBA 2 conduce el agua desde las pilas de decantación de servicio directo hasta el tanque de almacenamiento, esto queda representado en el esquema de la Figura 5.17.



**Figura 5.17** Diagrama unifilar del sistema alimentado por la BOMBA 2

La bomba estará protegida por medio de una electroválvula en la succión, la que se encontrará enclavada con el sensor de nivel en el tanque. Una válvula de compuerta en la succión y otra en la descarga, cumplirán la función de aislar el sistema en el caso de que se requiera sacar de servicio a la bomba. Además una válvula *check* protege de los reflujos. Este cálculo se realiza siguiendo el mismo procedimiento que se utilizó en el cálculo de la bomba 3, así que lo único que se presentará será las planillas de cálculo editadas por el software, las cuales se pueden apreciar en la Figura 5.18 y el diagrama de selección de la bomba 2, el cual se ilustra en la Figura 5.19.

**CONDICIONES DE OPERACION**

FLUIDO <i>Agua</i>		FLUJO (GPM) <i>132.00</i>		
TEMPERATURA (oF) <i>77.000</i>		DENSIDAD RELATIVA <i>1.000</i>	VISCOSIDAD (CP) <i>0.890</i>	
FACTOR DE SERVICIO (F.S.) <i>1.10</i>		GRADO API		

**SUCCION**

**CALCULO DE NPSH PARA EL RAMAL CRITICO**

Presion inicial minima (psig)	<i>0.00</i>	Presion en el recipiente (psia)	<i>14.50</i>
Columna hidrostatica (psig)	<i>-3.47</i>	Presion de vapor (psia)	<i>0.46</i>
Presion inicial (psig)	<i>-3.47</i>	Nivel minimo de operacion (ft)	<i>-7.00</i>
Perdidas por friccion linea (psi)	<i>0.34</i>	Elevacion boquilla de succion (ft)	<i>1.00</i>
DP linea a cap. de diseno (psi)	<i>0.41</i>	Presion disponible (ft)	<i>24.42</i>
Perdidas por friccion equipo (psi)	<i>0.00</i>	DP linea a cap. de diseno (ft)	<i>0.95</i>
DP eq. a cap. de diseno (psi)	<i>0.00</i>	DP equipo a cap. de diseno (ft)	<i>0.00</i>
Presion de succion (psig)	<i>-3.00</i>	N P S H DISPONIBLE (ft)	<i>23.47</i>
Presion de succion a cap. de diseno (psi)	<i>-3.88</i>		

**EVALUACION PERDIDAS POR FRICCION EN RAMAL CRITICO No [ 1 ]**

S U C C I O N					D E S C A R G A				
DIAM.	VEL.	LONG.	DP100	DP	DIAM.	VEL.	LONG.	DP100	DP
(in)	ft/seg	ft	psi/100ft	psi	(in)	ft/seg	ft	psi/100ft	psi
<i>4.026</i>	<i>3.32</i>	<i>64.36</i>	<i>0.526</i>	<i>0.339</i>	<i>4.026</i>	<i>3.32</i>	<i>374.07</i>	<i>0.526</i>	<i>1.969</i>

**D E S C A R G A P A R A E L R A M A L C R I T I C O No [ 1 ]**

Presion terminal maxima (psig)	<i>1.00</i>	Presion diferencial (psig)	<i>24.00</i>
Columna hidrostatica (psig)	<i>3.03</i>	Columna diferencial con aprox. de 5 pies (ft)	<i>25.00</i>
Perdidas en orificio (psi)	<i>0.00</i>	Presion de descarga (psig)	<i>7.02</i>
Presion total fija (psig)	<i>4.03</i>	Presion de descarga de diseno (psig)	<i>6.95</i>
DP cambiadores de calor (psi)	<i>0.00</i>	DP valvula de control (psi)	<i>0.00</i>
DP otros equipos (psi)	<i>0.00</i>		
Perdidas por friccion linea (psi)	<i>1.97</i>		
Perdidas totales variables (psi)	<i>1.97</i>	POTENCIA AL PRENO=	<i>1.282 BHP</i>
DP tot. var. de diseno (psig)	<i>2.38</i>		
Perdidas totales (psi)	<i>6.00</i>		
DP tot. de diseno (psi)	<i>6.41</i>	EFICIENCIA DE LA BOMBA (ESTIMADA)	<i>65.00 %</i>
DP min. valvula de control (psi)	<i>0.00</i>		

**Figura 5.18** Planilla de cálculo del programa para la BOMBA 2



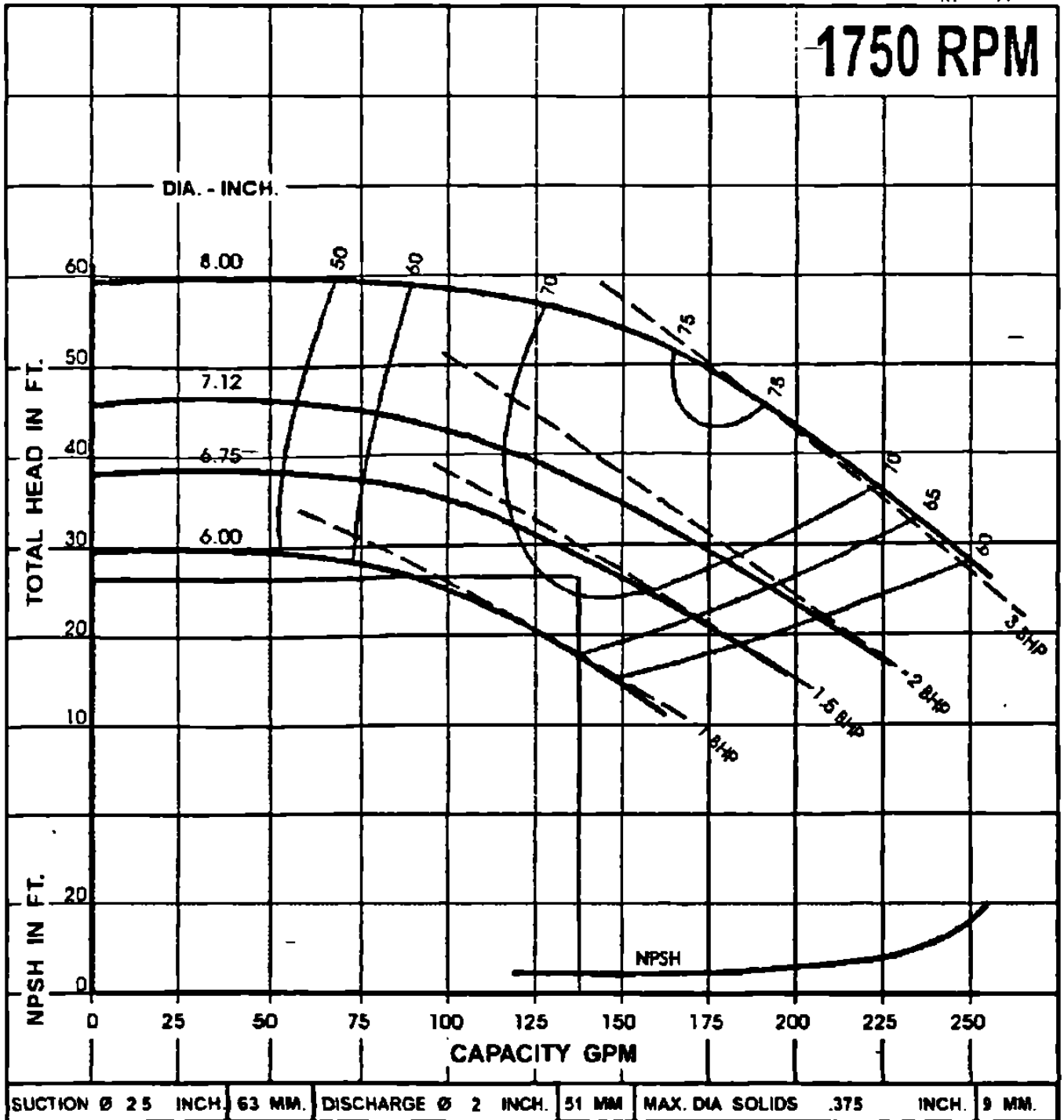
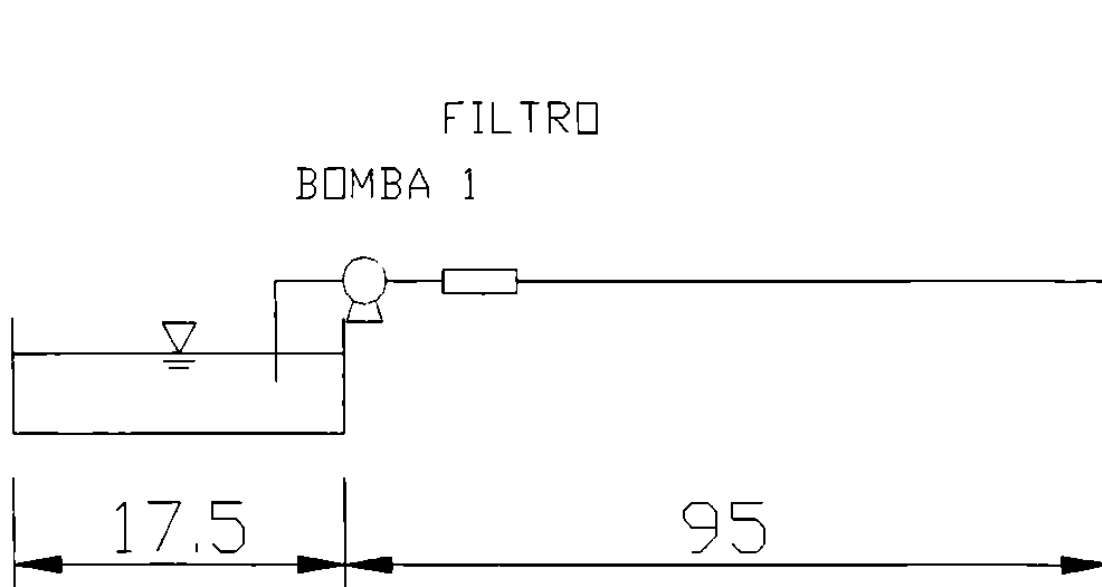


Figura 5.19 Gráfico de selección de la BOMBA 2

## CÁLCULO DE LA BOMBA 1

La BOMBA 1 conduce agua desde las pilas de decantación de muros, hasta el tanque de almacenamiento, lo cual se aprecia en el esquema de la Figura 5.20.



**Figura 5.20** Diagrama unifilar del sistema alimentado por la BOMBA 1

Las protecciones de esta bomba serán iguales a la de la Bomba 2 y el método de cálculo también, es por ello que los resultados quedan plasmados en la planilla de cálculo de la Figura 5.21 y la selección de la bomba en el diagrama de la Figura 5.22.

**CONDICIONES DE OPERACION**

FLUIDO <i>Agua</i>	FLUJO (GPM) <i>132.00</i>		
TEMPERATURA (oF) <i>77.000</i>	DENSIDAD RELATIVA <i>1.000</i>	VISCOSIDAD (CP)	<i>0.890</i>
FACTOR DE SERVICIO (F.S.) <i>1.10</i>	GRADO API		

**SUCCION** **CALCULO DE NPSH PARA EL RAMAL CRITICO**

Presión inicial mínima (psig)	<i>0.00</i>	Presión en el recipiente (psia)	<i>14.50</i>
Columna hidrostática (psig)	<i>-3.47</i>	Presión de vapor (psia)	<i>0.46</i>
Presión inicial (psig)	<i>-3.47</i>	Nivel mínimo de operación (ft)	<i>-7.00</i>
Pérdidas por fricción línea (psi)	<i>0.34</i>	Elevación boquilla de succión (ft)	<i>1.00</i>
DP línea a cap. de diseño (psi)	<i>0.41</i>	Presión disponible (ft)	<i>24.42</i>
Pérdidas por fricción equipo (psi)	<i>0.00</i>	DP línea a cap. de diseño (ft)	<i>0.95</i>
DP eq. a cap. de diseño (psi)	<i>0.00</i>	DP equipo a cap. de diseño (ft)	<i>0.00</i>
Presión de succión (psig)	<i>-3.80</i>	N P S H DISPONIBLE (ft)	<i>23.47</i>
Presión de succión a cap. de diseño (psi)	<i>-3.88</i>		

**EVALUACIÓN PERDIDAS POR FRICCIÓN EN RAMAL CRÍTICO No [ 1 ]**

S U C C I O N					D E S C A R G A				
DIAM.	VEL.	LONG.	DP100	DP	DIAM.	VEL.	LONG.	DP100	DP
(in)	ft/seg	ft	psi/100ft	psi	(in)	ft/seg	ft	psi/100ft	psi
<i>4.026</i>	<i>3.32</i>	<i>64.36</i>	<i>0.526</i>	<i>0.339</i>	<i>4.026</i>	<i>3.32</i>	<i>195.07</i>	<i>0.526</i>	<i>1.027</i>

**D E S C A R G A P A R A E L R A M A L C R I T I C O No [ 1 ]**

Presión terminal máxima (psig)	<i>1.00</i>	Presión diferencial (psig)	<i>24.00</i>
Columna hidrostática (psig)	<i>3.03</i>	Columna diferencial con aprox. de 5 pies (ft)	<i>25.00</i>
Pérdidas en orificio (psi)	<i>0.00</i>	Presión de descarga (psig)	<i>7.02</i>
Presión total fija (psig)	<i>4.03</i>	Presión de descarga de diseño (psig)	<i>6.95</i>
DP cambiadores de calor (psi)	<i>0.00</i>	DP válvula de control (psi)	<i>0.00</i>
DP otros equipos (psi)	<i>0.00</i>		
Pérdidas por fricción línea (psi)	<i>1.03</i>	POTENCIA AL FRENO=	<i>1.282 BHP</i>
Pérdidas totales variables (psi)	<i>1.03</i>		
DP tot. var. de diseño (psig)	<i>1.24</i>	EFICIENCIA DE LA BOMBA (ESTIMADA)	<i>65.00 %</i>
Pérdidas totales (psi)	<i>5.06</i>		
DP tot. de diseño (psi)	<i>5.27</i>		
DP mín. válvula de control (psi)	<i>0.00</i>		

**Figura 5.21 Planilla de cálculo del programa para la BOMBA 1**

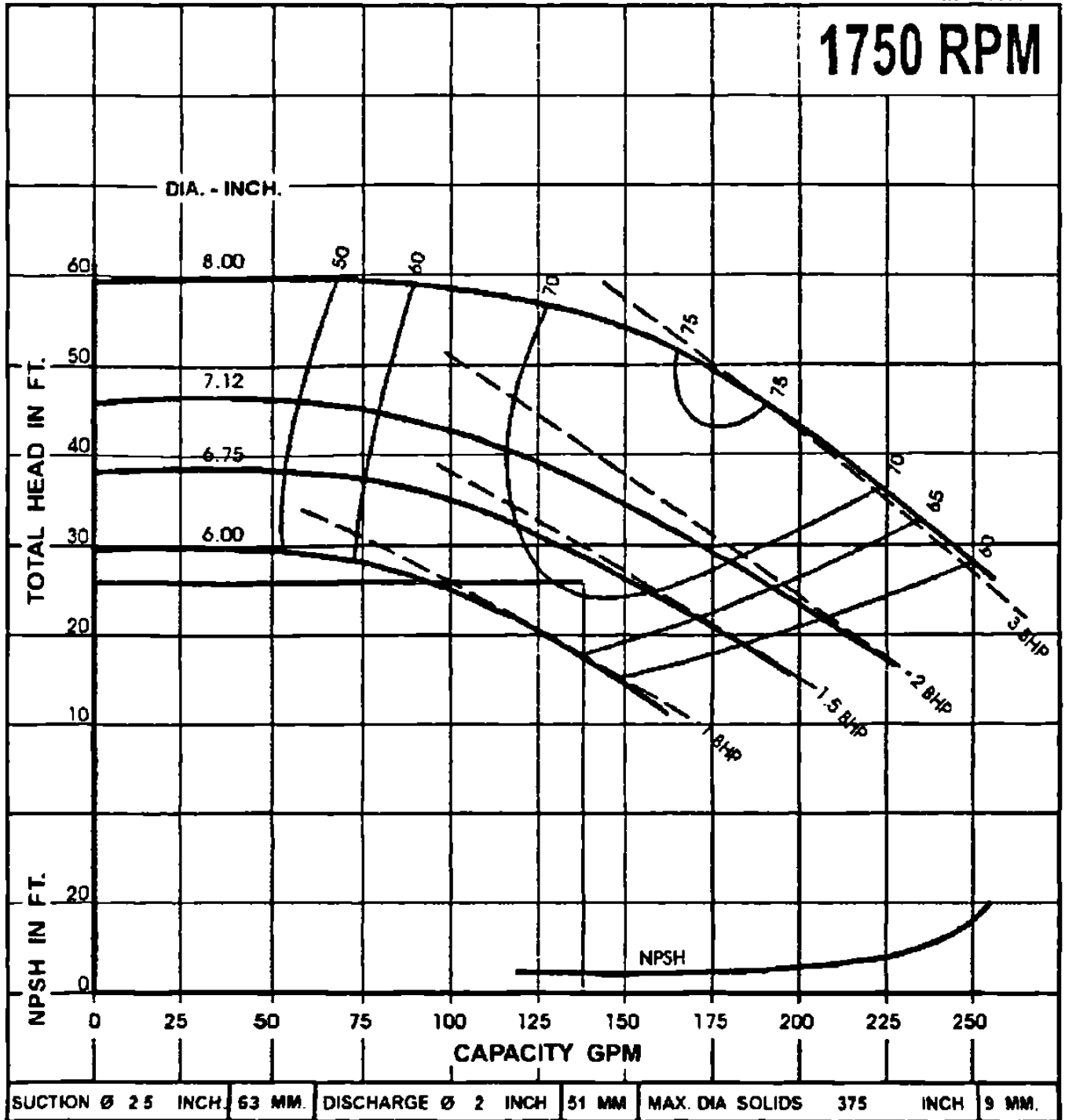
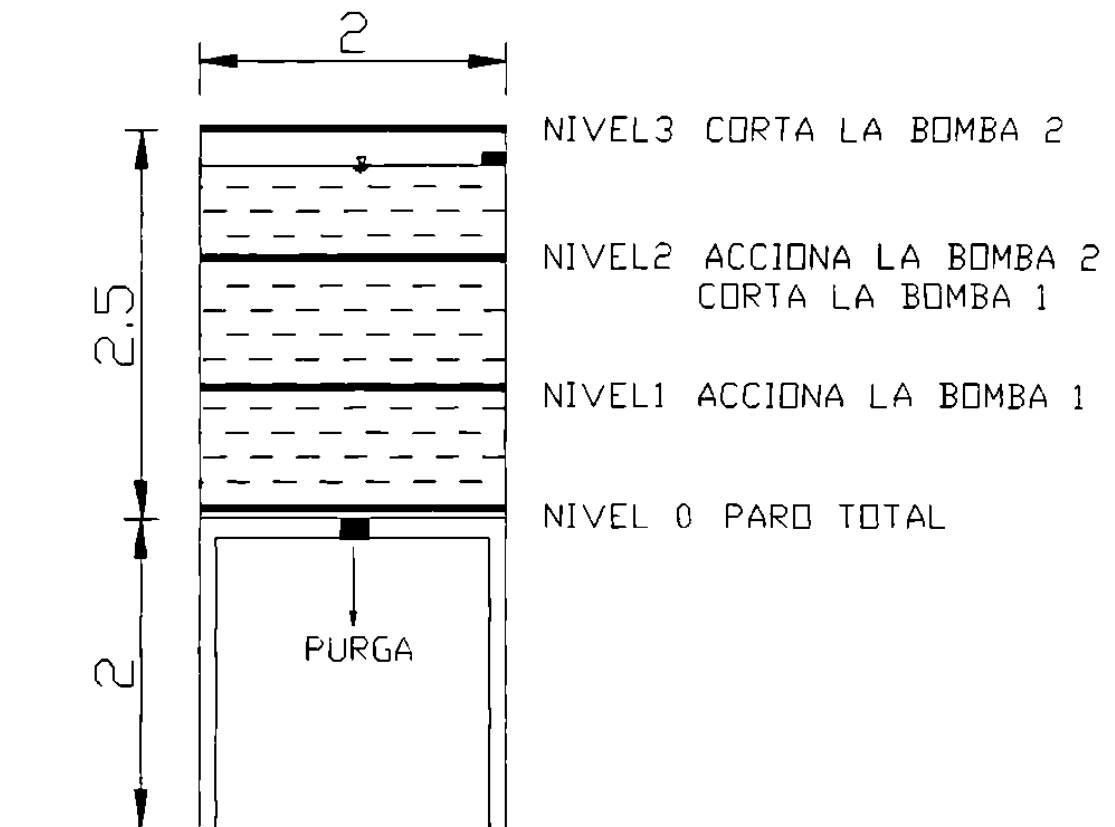


Figura 5.22 Gráfico de selección de la BOMBA 1

## DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

El agua que se usa en el sistema, proviene de las pilas de decantación de servicio directo y de muros. El agua proveniente de las *pilas de decantación de servicio directo*, es bombeada, a través de la BOMBA 2, a un tanque de almacenamiento siendo previamente filtrada. El agua proveniente de las *pilas de decantación de muros* es bombeada a través de la BOMBA 1, al mismo tanque de almacenamiento, siendo previamente filtrada. De dicho tanque se extraerá un caudal de 132 gal/min, pero por seguridad se desea que el tanque tenga una capacidad de 20 veces mayor que el gasto, para que en caso de falla del sistema se disponga por lo menos 20 minutos para restablecerlo. La Figura 5.23 ilustra un esquema de funcionamiento del tanque elevado.



**Figura 5.23** Esquema explicativo del tanque elevado

Para lograr este objetivo, se colocará un *detector de nivel* en el tanque, enclavado a la electroválvula de la BOMBA 2, de manera que cuando el nivel del tanque esté por debajo de un nivel determinado, se abra la electroválvula de la BOMBA 2 y ésta empiece a bombear agua hacia el tanque. Cuando el agua llegue hasta el límite superior en el tanque, el detector enviará una señal a la electroválvula para que corte el suministro. En el caso de que no haya más agua en las pilas de decantación de servicio directo, el nivel de agua del tanque seguirá bajando hasta que llegue a un cierto valor en el cual el detector enviará una señal a la BOMBA 1, para que bombee agua desde las pilas de decantación de muros. El tanque poseerá una apertura en la parte inferior, con el fin de realizar la *PURGA*, una vez que se haya acumulado gran cantidad de sólidos sedimentables.

Se recomienda un tanque elevado, de base cuadrada, con las siguientes características:

- Capacidad: 10 m<sup>3</sup>
- Dimensiones: 2 x 2 x 2.5 m
- Elevación: 2 m
- Con 4 niveles de detección:

NIVEL "0" : 1 m<sup>3</sup> , corte total del sistema, no hay agua en ninguna de las pilas de decantación

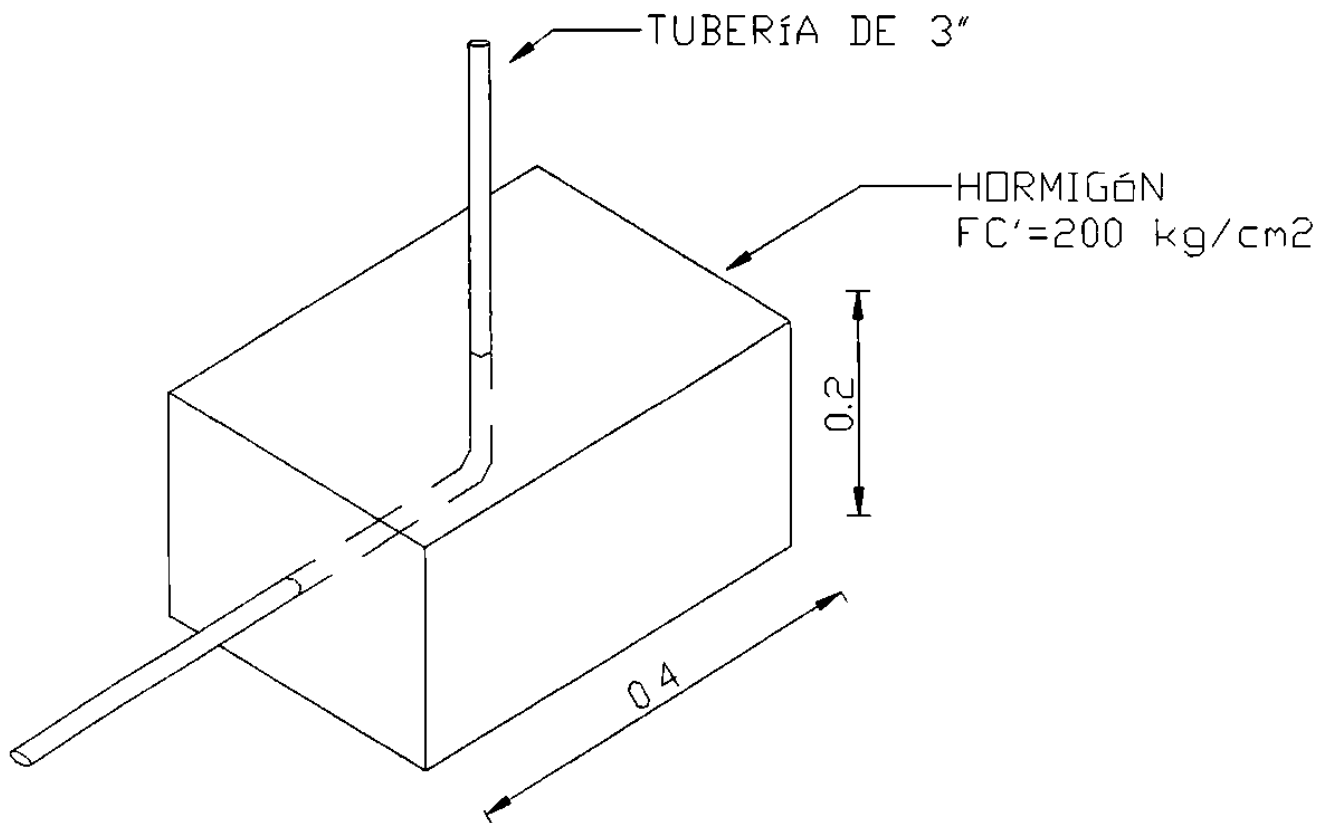
NIVEL "1": 4 m<sup>3</sup> , acciona la BOMBA 1, no hay agua en la pila de decantación de servicio directo

NIVEL "2": 7m<sup>3</sup> , corta la BOMBA 1, y/o acciona la BOMBA 2

NIVEL "3": 10 m<sup>3</sup> , corta la BOMBA 2

### 5.5.5 CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE

La tubería a la que están conectados los aspersores es de hierro fundido comercial, de 3 pulgadas de diámetro. Es por ello que se decide sostener la tubería aérea mediante una fundación de hormigón con una resistencia a la compresión de 200 Kg/cm<sup>2</sup>. La Figura 5.24 da una perspectiva de tal estructura y la Figura 5.26 da una vista lateral de la misma.

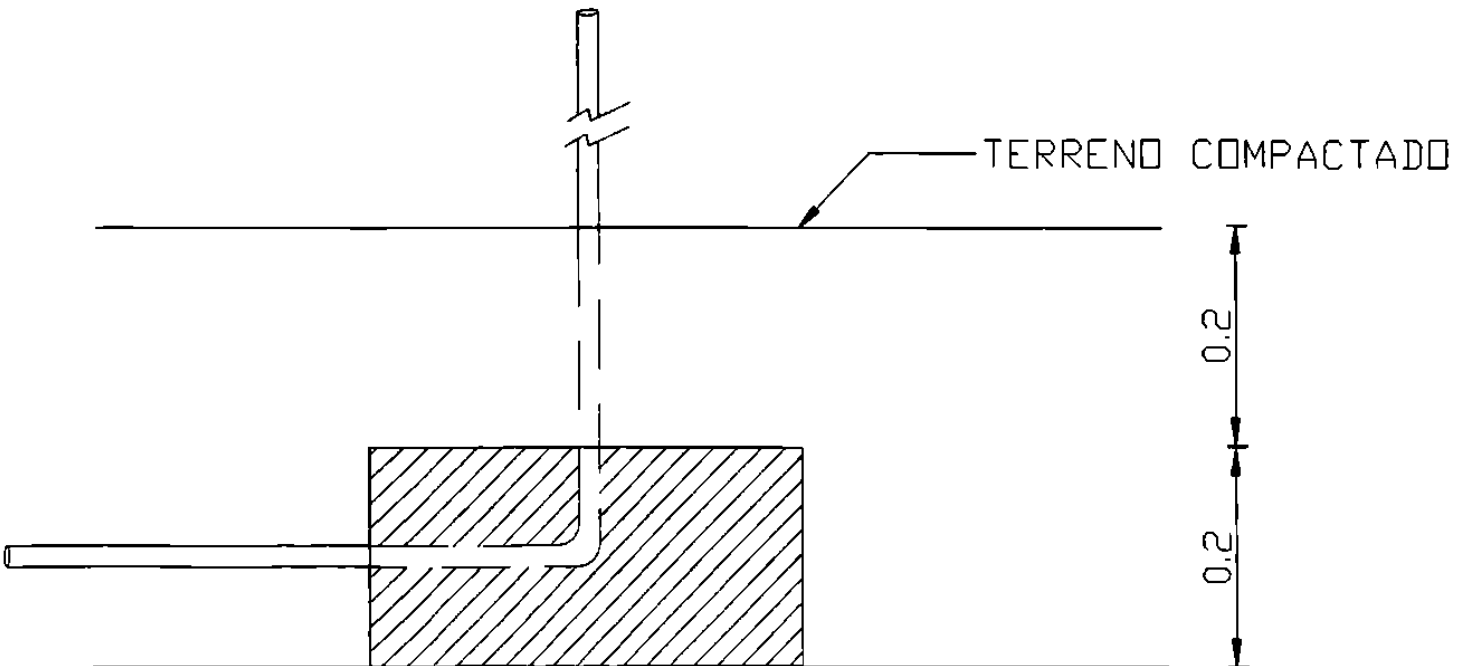


**Figura 5.24** *Perspectiva de la fundación*

Se recomienda la construcción de una fundación con las siguientes características:

- De las dimensiones: 0.4 x 0.4 x 0.2 m
- Hormigón con una resistencia a la compresión de 200 kg/cm<sup>2</sup>

- Enterrado en terreno compactado a una profundidad de 0.4 m



**Figura 5.25** Vista lateral de la fundación

### 5.5.6 SELECCIÓN DEL FILTRO

Conociendo las características del agua a utilizar, sabiendo que contiene 52 mg/l de sólidos suspendidos totales, se puede determinar el tipo de filtro a utilizar. Es por ello que se recomienda la instalación de un filtro con las siguientes características:

**MODELO: SPRAYING SYSTEMS CO. 39185 - ¾ -SAN - 150**

La malla 150 tiene una apertura de 0.102 mm, lo cual garantiza que todas las partículas que aún continúen en el agua, luego de pasar por el filtro, no causarán daños a los aspersores. El catálogo de este filtro se encuentra en el ANEXO 2.



### **5.5.7 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SECUENCIADO**

Para determinar el *tiempo de secuencias de las líneas de aspersión*, se calculó el tiempo que demora en evaporarse el agua en los sitios *regados por los aspersores*. Para ello se realizó el siguiente experimento:

1. Con una *balanza de precisión*, se mide el peso de un recipiente de acrílico de 10 cm de largo, por 10 cm de ancho, por 1 cm de altura
2. Se coloca la materia prima a analizar dentro de la caja y se pesa el conjunto, teniendo en cuenta que la tierra debe estar completamente seca
3. Se rocía con agua la materia prima contenida en la caja y se pesa el conjunto
4. Se coloca la caja en la zona del almacenamiento de materia prima a cielo abierto, en servicio directo
5. Se mide la temperatura ambiente y la humedad en dicha zona
6. Se pesa la caja cada 5 minutos hasta que se evapore toda el agua, es decir cuando el peso sea igual al que tenía en el punto 2.
7. Se realizó este procedimiento con las siguientes materias primas:
  - Caolín Rosalía
  - Caolín Blanco
  - Barro de Saltillo
8. Se realizó este procedimiento varias veces con cada material, en distintas condiciones climáticas
9. Se obtuvo un promedio de los tiempos totales obtenidos
10. La temperatura promedio fue de 32.5 °C

**Tabla 5.4** Valores promedio de secado de las distintas tierras analizadas

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PESO EN GRAMOS</b>
CAJA VACÍA	42
CAJA CON TIERRA SECA	173.5
CAJA CON TIERRA HÚMEDA	175.5
5 MINUTOS DESPUÉS	175.08
10 MINUTOS DESPUÉS	174.73
15 MINUTOS DESPUÉS	174.33
20 MINUTOS DESPUÉS	174.05
25 MINUTOS DESPUÉS	173.8
30 MINUTOS DESPUÉS	173.5

Se considera que, en *promedio*, desde que el agua toca la tierra hasta que se seca completamente, transcurren aproximadamente 30 minutos

### **5.5.8 EQUIPO SECUENCIADOR**

La función del secuenciador será controlar 8 electroválvulas, una por cada línea, de manera tal que la secuencia cumpla con lo siguiente:

1. Inicie la *línea 1* y que permanezca funcionando durante *5 segundos* y corte
2. Al cabo de *5 segundos* comience funcionar la *línea 2* y permanezca funcionando durante *5 segundos* y corte
3. Al cabo de *5 segundos*, comience funcionar la *línea 3* y permanezca funcionando durante *5 segundos* y corte

4. Al cabo de 5 segundos comience funcionar la *línea 4* y permanezca funcionando durante 5 segundos y corte
5. Al cabo de 5 segundos comience funcionar la *línea 5* y permanezca funcionando durante 5 segundos y corte
6. Al cabo de 5 segundos comience funcionar la *línea 6* y permanezca funcionando durante 5 segundos y corte
7. Al cabo de 5 segundos comience funcionar la *línea 7* y permanezca funcionando durante 5 segundos y corte
8. Al cabo de 5 segundos comience funcionar la *línea 8* y permanezca funcionando durante 5 segundos y corte

Desde que se inició la secuencia con la *línea 1*, hasta que termina la última línea, es decir la *línea 9*, han transcurrido **45 segundos**

Luego que termina la *línea 9*, para que vuelva a reiniciar la secuencia con la *línea 1*, pasarán **25 minutos**.

Además de cumplir con esta secuencia, el equipo debe permitir:

- Cambiar los tiempos de funcionamiento y corte de las electroválvulas
- Las electroválvulas deben permitir ser operadas manualmente

Para lograr todas las funciones descritas anteriormente, se recomienda la instalación de siguiente equipo:

## **EQUIPO DE POTENCIA**

Tablero de control secuenciador, con las siguientes características:

- IN totales: 14
- OUT totales: 10
- Voltaje de alimentación: 120 V en corriente alterna monofásica
- Voltaje de salida por punto: 120 V en corriente alterna

- Gabinete NEMA 12 para alojar los componentes listados, con las siguientes medidas: 0.4 m de alto, por 0.3 m de ancho y 0.15 m de fondo

## **EQUIPO DE CONTROL**

- Secuenciador basado en controlador lógico programable integrado dentro del gabinete de potencia, compuesto por 14 IN a 24 Vcd y 10 salidas a un relevador de 1 A
- Cables de conexión
- Botonera de control

Además se debe de tener en cuenta que:

- El gabinete de control esté pintado en pintura epóxica color beige
- La lógica del secuenciador será: en *Automático*, activar salida 1, esperar un tiempo preseleccionado T1 y al finalizar éste cambiar a la salida 2, y así sucesivamente hasta completar todas las salidas.  
En *Manual*, cada una se activará independientemente según se requiera a través del operador
- Contará además con un interruptor o *switch* selector para poder seleccionar en automático cualesquiera de los tres tiempos preseleccionados de permanencia en cada salida es igual para el resto.

En el ANEXO 2 se pueden encontrar los catálogos del equipo seleccionado.

## **5.6 PROPUESTA DE CONTROL DE POLVOS EN LOS ALMACENAMIENTOS DE MATERIA PRIMA EN LA MOLIENDA DE LADRILLERÍA**

Posiblemente una de las áreas más simples de abordar en el problema de control de polvos de la planta es la relativa a los almacenamientos de materia prima, en la molienda de ladrillería. Lo anterior se debe básicamente a los tipos de materiales involucrados, a sus propiedades físicas y consistencias, al espacio que ocupan y a su ubicación en la red de flujo de la planta.

La molienda de ladrillería utiliza fundamentalmente cinco tipos de barros, que se almacenan en la actualidad a cielo abierto, y ellos son:

- Pizarra de Allende
- Pizarra Primisa
- AF – 1
- Lajilla Victoria – RM – 30
- Barro de Saltillo

Excepto el Barro de Saltillo, todos los materiales son del tipo granular y por lo tanto, no producen muchos polvos; sin embargo durante su manipulación estos materiales son fracturados, produciéndose con ello polvos que, por efecto de los vientos reinantes en la zona, pueden ser dispersados. El único contacto que se tiene con esta materia prima es por parte del operador de la pala mecánica, cuando realiza su traslado hacia el proceso.

Como primera propuesta de control, se plantea la reubicación de la materia prima que actualmente se halla a cielo abierto. Para ello, se propone un reordenamiento de estos materiales en cinco áreas de 20 m de largo por 10 m de ancho cada uno. Este traslado físico del sitio de los almacenamientos los colocará fuera del alcance de actividades que nada tengan que ver con ellos, previniendo así un factor de generación de polvos.

Teniendo en cuenta los factores antes descritos, y el hecho de que los espacios recomendados para los almacenamientos son de escasa dimensión, como segunda propuesta se sugiere techar estas áreas, de manera que la acción del viento no produzca

más derrames ni dispersiones. Para lo anterior se recomienda la construcción de una estructura techada similar a la ya existente en el área colindante, como puede apreciarse en la Figura 5.4.

## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSIONES**

En los capítulos anteriores se han planteado alternativas para solucionar el problema de contaminación atmosférica causado por alta concentración de partículas suspendidas en un medio ambiente interior y otro exterior de la planta. Se ha visto que un buen diseño de un sistema de colección de polvos en el interior de la planta, y su posterior mantenimiento, permitirá disminuir los niveles de partículas a concentraciones aceptables para el trabajador.

Los estudios hechos para determinar la velocidad de secado del agua en la materia prima indican que es posible el diseño de un sistema de aspersion por niebla de agua, en el almacenamiento a cielo abierto de servicio directo, sin necesidad de que tengan que utilizarse grandes cantidades de la misma. Además, los análisis de laboratorio indican que el agua sedimentada en las pilas de decantación brinda una alternativa viable para alimentar a los aspersores, siempre y cuando se la someta a una filtración previa. Este sistema evita la formación de polvo en la fuente misma de generación.

Sin embargo, en los almacenamientos a cielo abierto de la molienda de ladrillería se optó por confinar completamente el sector, debido a que sus dimensiones no son muy grandes y que no hay personal activo en su interior. El ingreso de personal al almacenamiento se hace en forma esporádica y en dichos casos se recomienda el uso del equipo de protección personal, como *maskarillas con filtro*.

Todas estas acciones están encaminadas a obtener un medio ambiente laboral más sano y con ello evitar la propagación de polvo por los alrededores, que pudiera

afectar a los vecinos. Además, la implantación de un sistema de aspersión con niebla de agua que utilice agua residual soluciona el problema causado por el confinamiento de la misma.

La ejecución de este proyecto solucionará uno de los principales problemas de contaminación ambiental de la planta: la contaminación atmosférica.