

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Según la definición que actualmente emplea la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, la minimización de residuos consiste en la reducción en la fuente y el reciclaje. De estos dos, se prefiere la reducción en la fuente por sus beneficios ambientales, antes que el reciclaje.

El tema de los residuos industriales, su minimización y control, es algo crecientemente importante a la luz de las necesidades concurrentes de protección ambiental y competitividad. De hecho es un tema por excelencia de interfaces entre política industrial y medio ambiente. La industria utiliza materias primas para obtener productos finales con valores de mercado positivos, mediante procesos que básicamente separan, transforman y purifican los insumos(1).

La adopción de tecnologías limpias y la ejecución de controles eficaces en las fábricas, como prácticas operativas modificadas, buen mantenimiento, mantenimiento preventivo y reciclaje de subproductos, representan opciones

racionales para que las empresas reduzcan la contaminación y cumplan con los principios ambientales de manera rentable (2).

Los agentes causantes de la modificación del medio ambiente por parte de las industrias se pueden dividir en tres grupos:

- Emisiones de efluentes gaseosos, que introducen o no partículas sólidas al ambiente externo
- Residuos sólidos industriales.
- Vertidos de carácter acuoso u otros líquidos.

Las actividades industriales y los diferentes procesos de manufacturas -entre otros procesos antropogénicos- producen ciertas sustancias, incluyendo gases y humo, que pueden ser contaminantes del aire. Además de los contaminantes gaseosos, en el aire puede haber partículas sólidas y líquidas, ya sea suspendidas o dispersas. En el caso de algunas fuentes industriales de contaminación del aire, el registro de gases de desecho que se emiten continuamente es una parte importante del control del proceso, y ha sido una práctica estándar en las grandes plantas procesadoras durante muchos años; porque la falta de control puede resultar en una pérdida de producto valioso.

Tan sólo en los Estados Unidos, se calcula que cada año se liberan al aire más de 200 millones de toneladas de contaminantes; éstos no desaparecen, sino que se integran a la atmósfera en forma semipermanente,

provocando una grave contaminación. Los problemas de la contaminación atmosférica se originan cuando estos contaminantes se acumulan por períodos prolongados en una zona geográfica determinada (3).

Además de los contaminantes en forma de gases o partículas las industrias durante sus procesos también generan residuos sólidos, algunos de ellos considerados peligrosos. El INE señala que para 1991 se producían 450,000 toneladas diarias de residuos sólidos, de los cuales 14,500 ton/día corresponden a residuos peligrosos. La industria tiene dos alternativas: almacenar los residuos transitoriamente dentro de sus instalaciones o deshacerse clandestinamente de ellos, mezclándolos con basura municipal o depositándolos en drenajes municipales o cuerpos de agua (4).

En el campo de los efluentes líquidos, la mayor parte de las empresas disponen de instalaciones de decantación y depuración, y en algunos casos de sistemas de reutilización de las aguas tratadas. Estas instalaciones son en general insuficientes para la retención de las partículas en suspensión y, desde luego, no disponen de sistemas de depuración de contaminantes solubles en el agua, como es el caso de los compuestos de boro (5).

El potencial para la minimización de residuos debe desarrollarse a través de esfuerzos que incluyan incentivos al uso eficiente y al reciclaje del agua y la energía, ya que para asegurar la rentabilidad, el tratamiento al final del proceso industrial sólo debe considerarse una vez que las oportunidades de

modificación de procesos, la minimización de residuos y la recuperación de recursos se hayan examinado a fondo.

La industria reviste una enorme importancia para México. Ella ha sido en gran medida la impulsora de la urbanización del país, ha favorecido el surgimiento de un sector de servicios que ha consolidado a las metrópolis y ciudades medias y, en la actualidad, representa uno de los principales elementos dinamizadores del desarrollo; entre ellas, la industria cerámica representa una parte importante dentro del desarrollo económico de México. Sin embargo, al igual que todas las industrias, esta última genera cantidades considerables de aguas residuales que contienen residuos de esmalte que, en ocasiones, pueden llegar a ser considerados como residuos peligrosos porque incluyen partículas de plomo, viniendo a representar un impacto económico y ambiental considerable para nuestra sociedad.

Como es conocido por la mayoría de nosotros, Italia es el país en donde se elaboran productos cerámicos de excelencia en el nivel mundial; en ese país se han llevado a cabo esfuerzos para reciclar el esmalte cerámico residual dentro de la elaboración del cuerpo del recubrimiento (piso o pared), quitándole la mayor parte de su valor económico y evitándose solamente la acción del confinamiento del mismo (7).

En nuestros días debemos procurar darle prioridad a la prevención de la contaminación y tratar de evitar al máximo el tratamiento y la disposición de los

residuos industriales.

1.2 ANTECEDENTES

Desde los tiempos más remotos (8), nuestros ancestros fabricaron ladrillos, según lo demuestran las excavaciones arqueológicas realizadas en diversas regiones del mundo: un adobe, localizado en los cimientos de la ciudad de Jericó, cerca del mar muerto, con una antigüedad cercana de 10000 años, tiene huellas visibles de un dedo pulgar. En la ciudad de Kalibagan, en el valle del río Indus se encontró un ladrillo de 5000 años. En una tumba excavada en una peña, al oeste del Valle de los Reyes, en Egipto se narra una escena relacionada con la fabricación de ladrillos utilizando obreros de tez blanca, probablemente judíos.

La fabricación de azulejos y ladrillos (soportes vidriados), continuó avanzando a través del tiempo y en las diferentes civilizaciones del medio y lejano oriente, las culturas griega y romana, en la edad media y hasta los tiempos modernos. En Inglaterra la fabricación de ladrillos tuvo un gran impulso a consecuencia del gran incendio que destruyó a la ciudad de Londres durante el invierno de 1666, cuando fueron consumidas por el fuego sus construcciones de madera. En pocos años, Londres se transformó en una ciudad con construcciones de ladrillo.

Con el desarrollo de los centros urbanos se incrementó la producción

ladrillera, al igual que otros tipos de industrias, y ello actualmente ha incrementado el impacto antropogénico sobre el medio ambiente(10). Esta actividad industrial, por su naturaleza, utiliza tierras, arcillas, minerales y vidrios, los cuales se manifiestan también en sus desechos.

Solamente el mercado americano consumió 72.18 millones de m² de soportes cerámicos vidriados del total de la producción internacional en el año de 1995 como lo muestra la tabla 1.1 (9). Los soportes cerámicos vidriados con mayor impacto ambiental son el azulejo y el ladrillo para piso, debido a que durante su producción se eliminan residuos de esmalte (10).

Tabla 1.1 *Soportes cerámicos vidriados producidos por diferentes países para el mercado americano durante el año de 1995.*

PAÍS	MILLONES DE M²
Italia	25.36
México	16.26
España	13.57
Brasil	5.76
Venezuela	2.32
Otros	8.92
Total	72.18

Los vertidos de las esmaltadoras contienen aproximadamente el 10% del material usado en el proceso (10). El reciclado de los lodos cerámicos y del agua residual es una alternativa recomendable para reducir la contaminación ambiental. Cabe señalar que la adición de materiales residuales no es una novedad, porque en la manufactura de los adobes (del árabe attob), desde los tiempos inmemorables, se han utilizado residuos vegetales del trigo, arroz y otras gramíneas.

Un caso conocido y bien documentado en la industria cerámica de Rumania es el de sintetizado del producto a partir de un material residual proveniente de los lavados aplicados a una arena sílica, destinada a la industria metalúrgica, que cumplió con las especificaciones de los azulejos rumanos según su estándar 9405-80 (10).

La industria cerámica ha tenido un desarrollo de miles de años. En la actualidad la variedad de productos es muy amplia como lo es también el número de componentes y procesos utilizados. En todo proceso cerámico se parte de material sólido que con agua es convertido en una pasta llamada barbotina cuyas características de color y fluidez son específicas para cada producto deseado. Por ejemplo, la barbotina de cuerpo blanco es preparada para la producción de azulejos para recubrimiento de paredes, mientras que la barbotina de cuerpo rojo sirve para la producción de ladrillos de piso.

Las pastas o barbotinas son suspensiones que muestran ciertas

características entre las que se mencionan el comportamiento reológico (relativo a la viscosidad o fluidez de la pasta).

Se han realizado estudios reológicos, de compactación y de fundencia de pastas rojas y blancas, que tenían como aditivos lodos cerámicos o aguas residuales y en ellas no se alteró, ni el comportamiento reológico de la barbotina, ni el defecto de manchado llamado corazón negro, aunque sí hubo disminución de la porosidad (10).

En todos estos experimentos, los resultados han sido específicos para cada uno en particular, ya que el lodo cerámico en el agua residual es un material con una composición variable en arcillas, fundentes, fritas (coloración deseada que se agrega en un medio vítreo), pigmentos, aditivos, etc.

Sin embargo, la composición química del lodo es bastante similar a la composición del soporte. De acuerdo con un estudio realizado en un soporte esmaltado, se tiene, de minerales arcillosos el 15%, de llenadores el 40% y de fundentes el 40%, aproximadamente. En el caso de un soporte no esmaltado, se tienen las siguientes composiciones: minerales arcillosos el 15%, de llenadores el 45% y de fundentes el 40%, aproximadamente. Por lo tanto, ambos se pueden definir como materiales sílico-aluminosos con cantidades variables de metales pesados, alcalinos y alcalinotérreos.

Actualmente los países más industrializados cuentan con normas

específicas para caracterizar los lodos y las aguas residuales cerámicas. Con respecto a la legislación mexicana, este tipo de residuos quedan definidos en la reglamentación de la Ley General de Equilibrio Ecológico y de Protección Ambiental, que son editadas por el Diario Oficial de la Federación.

Para el caso de esta investigación, se consultaron las normas que definen los residuos según la clasificación "CRETIB": Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico al medio ambiente, Inflamable, Biológico infeccioso (Tabla 1.2) (11) en cuanto a las concentraciones del lixiviado que hacen peligroso a un residuo por su toxicidad al medio ambiente.

Tabla 1.2 *Características del lixiviado, por extracción, que hacen peligroso a un residuo por su toxicidad al ambiente.*

CONSTITUYENTES INORGÁNICOS'	CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMITIDA, mg/ L
Arsénico	5.0
Bario	100.0
Cadmio	1.0
Cromo hexavalente	5.0
Níquel	5.0
Mercurio	0.2
Plata	5.0
Plomo	5.0
Selenio	1.0

1.3 EL MANEJO DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS EN MÉXICO

La capacidad de manejo adecuado de los residuos peligrosos en México es sumamente limitada; de hecho, sólo una muy pequeña proporción del total generado es transportada, reciclada, destruida o confinada en condiciones técnicas y ambientales satisfactorias. Las razones son muchas, pero la mayor parte de ellas tienen que ver con ciertas condiciones institucionales que han impedido el desarrollo de sistemas de manejo, mercados, esquemas de concertación, información y regulación. En términos muy generales conviene enumerar algunas de ellas:

- * La opinión pública desinformada
- * Incentivos insuficientes para la reducción y manejo adecuado de residuos industriales
- * Una normatividad incompleta
- * Un bajo control de calidad ambiental en micro, pequeña y mediana industria
- * La inexistencia de iniciativas conjuntas para el manejo de residuos industriales
- * Los altos costos en la concertación entre la industria y las tres instancias de gobierno
- * Mercados poco desarrollados
- * Procedimientos administrativos excesivamente largos y costosos
- * La incertidumbre social
- * La falta de información
- * La inspección y vigilancia insuficientes

La carencia de la infraestructura necesaria para el manejo adecuado e integral de los residuos peligrosos y las controversias suscitadas por las iniciativas de ubicación de las mismas, acentúan la inquietud de la población, enrareciendo el clima de concertación necesaria para la solución adecuada de estos problemas.

Hasta ahora se ha presentado una oposición casi generalizada de comunidades locales a aceptar instalaciones para el manejo de residuos peligrosos. Frecuentemente, la población se entera del establecimiento de una instalación para el manejo de residuos peligrosos cuando el proyecto ya se encuentra en etapa de autorización. Se ha carecido de un proceso de proponer-anunciar-negociar-autorizar-instalar, o reconsiderar el emplazamiento geográfico y la naturaleza tecnológica de algún proyecto, en el que en cada paso se contemple la participación de los gobiernos locales, universidades, organismos no gubernamentales y miembros de la comunidad. Un aspecto importante en la autorización y negociación del proyecto, son los beneficios compensatorios para la comunidad, tales como carreteras, servicios públicos, empleos, entre otros, especialmente en áreas de amortiguamiento. (1)

1.4 REPERCUSIONES AMBIENTALES

Uno de los riesgos ambientales asociados al crecimiento industrial es el uso intensivo de productos químicos que son precursores de residuos peligrosos, algunos de los cuales tienen características de peligrosidad para la salud humana y la de los ecosistemas. El daño que estas sustancias pueden

causar depende, en primera instancia, de su grado de toxicidad, pero también de que los volúmenes de generación y su persistencia propicien que alcancen concentraciones suficientes para causar efectos nocivos. En este contexto, la preocupación por las sustancias químicas potencialmente tóxicas se centra en aquellas que poseen propiedades de alta toxicidad, de persistencia ambiental o de bioacumulación y que son generadas por las actividades productivas.

Se ha hecho evidente que toda sustancia química puede encerrar peligros para la salud y seguridad de los seres vivos y el ambiente, si alcanza una concentración dada y la exposición se prolonga el tiempo suficiente para que ésta ejerza sus efectos. De acuerdo con los principios esgrimidos por la Agenda 21, cada sociedad debe decidir qué riesgos considera excesivos o inaceptables y, con base en ello, definir sus marcos regulatorios y de gestión de sustancias químicas. En particular, se hace necesario considerar los siguientes aspectos:

- ✳ Los impactos ecológicos en los ecosistemas
- ✳ Los impactos en los recursos hídricos

1.4.1 LOS IMPACTOS ECOLÓGICOS EN LOS ECOSISTEMAS

Una vez en el ambiente los contaminantes tóxicos pueden ser ingeridos y retenidos en altas concentraciones por los organismos vivos, ocasionándoles serios trastornos, incluso la muerte. Si se encuentran en bajas concentraciones, causan efectos subletales, como la reducción del tiempo de vida de ciertas especies o el incremento de la susceptibilidad a enfermedades o bien pueden causar efectos mutagénicos y teratogénicos.

La presencia de compuestos químicos extraños para los ciclos naturales, puede también interferir con la movilidad de otros compuestos que son importantes para los procesos biológicos. Los organismos poseen una resistencia variable a los contaminantes, según el grado de aclimatación al tóxico. Por ejemplo, algunas especies de animales son capaces de acoplar y de disminuir o anular la toxicidad de algunos metales pesados incorporándolos en proteínas; sin embargo, otros compuestos, como los organoclorados, pueden dar lugar a metabolitos de mayor toxicidad que el compuesto que los genera.

Los ecosistemas mantienen capacidades de carga limitadas para asimilar sustancias. La presencia y cantidad de las sustancias introducidas puede representar un riesgo de desequilibrio para ellos, con las consecuencias de degeneración de los ciclos naturales de materiales y agotamiento de recursos.

Algunos de los procesos naturales más relevantes en el movimiento de sustancias tóxicas y de residuos peligrosos en el ambiente, son:

- * la lixiviación
- * la absorción-desorción
- * la volatilización
- * la bioacumulación

La **lixiviación** es la transferencia de un componente soluble de un sólido a un disolvente adecuado.

La **absorción** es el proceso mediante el cual una sustancia se transfiere de un fluido (líquido o gas) a un líquido o sólido absorbente quedando disuelta en él. La

desorción es el proceso inverso, es decir, la transferencia de un componente en un sólido o líquido a un gas. Un proceso de absorción crítico en la estabilidad climática del planeta es el del bióxido de carbono, que al ser absorbido por el agua del mar, puede ser capturado por el plancton. Este proceso es el mismo para contaminantes tales como los orgánicos persistentes, que se han acumulado en los océanos y la atmósfera, imponiendo riesgos para los organismos que los habitan.

La **volatilización** consiste en la evaporación de parte de un componente, el cual genera o se incorpora a una fase gaseosa; en este proceso ocurre una concentración de componentes tanto en la fase líquida como en la fase gaseosa. La volatilidad de compuestos orgánicos en residuos del manejo de combustibles y otros derivados del petróleo imponen riesgos de inhalación de sustancias tóxicas.

La **bioacumulación** describe la tendencia de ciertas sustancias a acumularse en los tejidos de organismos vivos. La tendencia de una sustancia a bioacumularse se relaciona con las características hidrofóbicas o lipofílicas, por lo que la predicción de algunos valores de bioconcentración se basan en el coeficiente de partición octanol/agua y otras características físico-químicas. Ciertos plaguicidas como el DDT, el aldrín y el endrín mantienen un elevado grado de bioacumulación (12).

1.4.2 IMPACTOS EN LOS RECURSOS HÍDRICOS

Sin lugar a dudas, una de las consecuencias más graves y de mayor preocupación que pueden generar las malas prácticas para la disposición de los residuos peligrosos, es la afectación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. En el primer caso, la contaminación se produce al infiltrarse el agua de lluvia a través de los residuos depositados en barrancas, cauces de ríos, laderas y grietas, circulando posteriormente con su carga contaminante hacia los cuerpos de agua ubicados en la vertiente. En el caso de los recursos hídricos subterráneos, la contaminación se da mediante un proceso similar, ya que durante y después de los episodios de precipitación pluvial, el agua que se ha percolado por los desechos y que contiene una alta carga contaminante, puede migrar al acuífero y afectar la calidad de éste.

Pueden intervenir factores que en algunos casos llegan a mitigar esta afectación, como son los siguientes:

- * La presencia de acuíferos de tipo libre, pero con niveles piezométricos muy profundos, que presentan una zona no saturada potente, en la cual una gran parte de la carga contaminante puede quedar retenida.
- * La presencia de acuíferos de tipo confinado o semiconfinado, en los cuales el material que almacena y hace que se transmita el agua, es cubierto por horizontes prácticamente impermeables o muy poco permeables respectivamente, por lo que los fluidos contaminados no llegan al acuífero (13).

1.5 OBSTÁCULOS PARA LA MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES

Es evidente que la estrategia más sensata, desde el punto de vista ambiental, es, más que solucionar los problemas de residuos una vez que éstos se han generado, tratar de reducir o abatir su producción a través de prácticas de minimización.

Aunque la minimización puede ser rentable, existen obstáculos que dificultan su implantación en las empresas. Estos tienen que ver con aspectos culturales y organizativos, inercias al cambio, la necesidad de justificar inversiones no amortizadas, y una regulación inadecuada que no establece los incentivos necesarios.

Desde luego que las limitaciones económicas juegan un papel preponderante para impedir el desarrollo suficiente de las estrategias de minimización, ya que los cambios en los procesos de producción para la implantación de tecnologías limpias no siempre son rentables en el corto plazo.

1.6 OBJETIVOS DE TRABAJO

1. Estudiar las características de los residuos de esmalte en las aguas residuales de los procesos de fabricación en la industria cerámica y los problemas que puede ocasionar su reciclado añadiéndolos a la composición de la pasta cerámica.
2. Proponer un procedimiento del reuso de las aguas residuales, junto con las líneas de flujo para la reutilización del agua.
3. Elaborar un listado de recomendaciones para el manejo de los residuos, para que al ser implementadas la empresa logre, como primer paso, ser reconocida como Industria Limpia.

1.7 HIPÓTESIS

1. Si el agua que actualmente está siendo descargada por la fábrica es reciclada en el proceso, se podrán obtener resultados inalterables en el producto, se dejará de contaminar el cuerpo receptor (suelo) y, además, se reducirá el costo que por el tratamiento, la descarga y el consumo, que la empresa sufraga.
2. Al minimizar la cantidad de residuos y emisiones que actualmente se generan en los diversos procesos de la fabricación de productos cerámicos, se corregirán algunas de las deficiencias que originan riesgos al ambiente.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 EL PROCESO DE ADAPTACIÓN AMBIENTAL DE LAS ACTIVIDADES INDUSTRIALES

Para abordar la cuestión de la sostenibilidad ecológica de las actividades industriales, puede ser útil contemplar la compatibilización ecológica de la actividad industrial como un proceso lineal o secuencial, en el que se avanza a lo largo del tiempo mediante la progresiva introducción de criterios ecológicos en la gestión de los sistemas industriales, bajo la presión de la creciente conciencia ambiental.

Este proceso de adaptación comenzó a desarrollarse de manera palpable en los países industrializados a finales de los años sesenta y tomó carta de naturalización, sobre todo a partir de la Conferencia de Estocolmo de 1972 y de la aceptación de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), en la misma época, del principio “el que contamina paga”.

Desde entonces, todos los países industrializados han venido acumulando una extensa normativa medioambiental para el control de las actividades industriales y, en respuesta a la misma, la tecnología y los métodos de producción industrial han intentado adaptarse a las nuevas restricciones, aunque con decisión y acierto muy variables por parte de las diferentes empresas, ramas industriales y países, al margen de las innumerables insuficiencias, resistencias e incluso retrocesos, registrados a lo largo del camino. Globalmente se puede considerar que la industria ha tendido y tiende a reorganizarse en la dirección de buscar una mayor compatibilidad de sus actividades con el equilibrio ecológico.

En este proceso de reorganización, cabe distinguir grandes fases o etapas que se caracterizan por el predominio, en cada una de ellas, de un determinado enfoque o modo de actuación en la búsqueda de esa compatibilidad. En esta perspectiva, el mayor o menor avance de cada rama o sector de la industria en la culminación de las sucesivas etapas de ese proceso puede ofrecer una cierta medida o referencia del grado de sostenibilidad ecológica con que realiza sus actividades productivas. En un intento de delimitar las etapas características de este proceso se podrían deslindar cuatro grandes fases, aunque tanto la definición de cada una de ellas como las fronteras entre unas y otras distan de ser nítidas:

- A. La reducción de la contaminación en la industria tradicional.
- B. La renovación tecnológica y ambiental de los procesos industriales.

C. La globalización industrial en el marco del desarrollo sostenible (18).

2.1.1 LA REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN LA INDUSTRIA TRADICIONAL

Las medidas tendientes a lograr una reducción en la liberación de contaminantes constituye la etapa inicial en los procesos de compatibilidad ambiental de la industria, aunque dista mucho de estar culminada en la mayoría de los países industriales y ni siquiera ha sido comenzada de modo significativo en muchos otros.

Su finalidad se limita a la corrección o aminoración de los principales impactos ambientales de la producción industrial, básicamente mediante la introducción de dispositivos de captación de contaminantes. Por lo general, no incluye modificaciones en los procesos de producción, ni mucho menos en la definición de los productos o de sus formas de utilización.

El entorno tecnológico de esta etapa inicial corresponde a las llamadas tecnologías de fin de siglo, cuya puesta a punto y aplicación en los centros y factorías productivas ha concentrado el grueso de la inversión ambiental de la industria a lo largo del último cuarto de siglo.

Tomemos como ejemplo la fabricación de pasta de celulosa en la industria papelera, tradicionalmente considerada como una de las más

contaminantes. Las actuaciones típicas de esta etapa inicial se refieren al tratamiento de las aguas residuales (recuperación de lejías negras, neutralización, tratamientos primarios o secundarios, etc.), así como a la reducción de las emisiones a la atmósfera (instalación de precipitadores electrostáticos y lavadores, captación e incineración de mercaptanos, sulfuro de hidrógeno y otros gases malolientes, etc.).

2.1.B LA RENOVACIÓN TECNOLÓGICO Y AMBIENTAL DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES

Dadas las limitaciones que presentan en muchos casos las tecnologías de fin de siglo para lograr niveles satisfactorios de reducción de la contaminación, así como sus considerables costos de inversión y operación, desde hace años la ingeniería ambiental viene trabajando para lograr la sustitución de los procesos industriales convencionales por otros que sean intrínsecamente más compatibles desde el punto de vista ambiental.

Este es el campo de las llamadas Tecnologías Limpias o, más genéricamente, de la Producción Limpia. En general, se denominan tecnologías limpias a aquellas que sustituyen la totalidad o partes sustanciales de los procesos industriales tradicionales altamente contaminantes por otros procesos de nueva concepción que, o bien no utilizan o producen los agentes contaminantes anteriores, o bien los mantienen en *circuito cerrado*, de modo que no se emiten al exterior en ninguna fase del proceso productivo.

Siguiendo con el ejemplo de la fabricación de pasta de celulosa, en esta etapa se incorporan nuevas tecnologías, como la sustitución del cloro por oxígeno y sus derivados (agua oxigenada, etc.) para el blanqueo de la pasta, el tamizado en circuito cerrado, la recirculación de condensados contaminados mediante arrastre de vapor, el cambio de la base cálcica a base magnésica en las pastas al bisulfito, etc.

Al endurecerse las exigencias de la normatividad ambiental, en materia de control de emisiones, en muchos países resulta ya más rentable introducir tecnologías limpias en diversos sectores de la industria que seguir incrementando las dotaciones de equipo de captación de contaminantes. De este modo, tanto en la industria papelera citada como ejemplo, como en otros muchos campos de la industria, las tecnologías limpias van sustituyendo paulatinamente a las antiguas tecnologías dotadas con dispositivos de fin de siglo. Sin embargo, tanto en esta etapa como, por supuesto, en la anterior, se sigue considerando a la industria como un sector aislado desde el punto de vista ambiental, que no se responsabiliza ni del declive de las reservas de recursos naturales que utiliza, ni del uso posterior de los productos fabricados, ni de los problemas que plantea la conversión de éstos en residuos.

Para superar las limitaciones de estas dos etapas iniciales, en las que todavía se encuentra actualmente, en el mejor de los casos, el grueso de los problemas ambientales de la industria, es necesario ampliar la perspectiva de las relaciones entre la industria y el medio ambiente, incorporando la

consideración de los problemas que se ocasionan más allá del propio recinto de la factoría y sus puntos de vertido directo. Esta ampliación conduce a vislumbrar dos nuevas etapas en la deseable evolución de la industria hacia una auténtica compatibilidad ambiental. Dos etapas que deberían ser también secuenciales, pero que por el momento están siendo divergentes y cabe temer que sigan siéndolo durante demasiado tiempo.

2.1.C LA GLOBALIZACIÓN INDUSTRIAL, EN EL MARCO DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

La globalización industrial es la primera que se encuadra en el marco conceptual del “desarrollo sostenible”, que asume la existencia y la gravedad de la crisis ecológica global y en consecuencia recomienda la introducción de importantes transformaciones en el conjunto del ciclo de la producción y el consumo, intentando aunar el crecimiento de la producción con el equilibrio ecológico y contemplando ambos fenómenos en el plano global. La proposición básica del desarrollo sostenible es la existencia de una estrecha vinculación entre crecimiento económico y cuidado ambiental a escala global: se asegura que sólo a través del crecimiento económico global es posible obtener los recursos económicos necesarios para afrontar y corregir la crisis ecológica global.

El paradigma industrial resultante de esta visión de las relaciones entre la actividad económica y el medio ambiente cabría denominarlo como “Industria

Sostenible". La perspectiva ecológica del desarrollo sostenible, marcada por la noción de globalidad, surge principalmente como respuesta a los problemas ecológicos - y sus derivaciones sociales- que lleva consigo el proceso de globalización de la economía.

En la medida en que se considera que la globalización económica constituye un proceso inexorable por razones tecnológicas y geopolíticas, se asume la necesidad de introducir instrumentos de control ecológico de alcance global. Ello implica examinar y regular la influencia ambiental de las actividades industriales, más allá de sus efectos inmediatos en materia de contaminación.

Por supuesto, este enfoque de control ecológico global se sobrepone a las medidas de regulación de la contaminación y otros impactos locales, cuyo necesario cumplimiento se da por seguro, con no poco optimismo en numerosas ocasiones, lo que ha llegado a constituirse en un estándar de comportamiento generalizado en el conjunto de la industria, al menos en los países más desarrollados.

En el caso de la industria papelera, esta visión implica, por ejemplo, la aceptación por parte de la industria de determinadas responsabilidades en los problemas de conservación del patrimonio forestal, a escala tanto local como global, en la medida en que las corporaciones que operan en el sector están crecientemente transnacionalizadas y sitúan sus plantas y obtienen sus recursos a escala global.

Desde esta perspectiva se derivan criterios de actuación industrial que no cabría contemplar en las etapas anteriores, centradas en el control de la contaminación ocasionada directamente por los procesos industriales. Por ejemplo, la consideración del reciclado del papel o de la repoblación forestal como obligaciones a asumir por parte de la industria papelera, que comienzan a establecerse en determinados países, constituyen otros tantos instrumentos de regulación para disminuir la presión que ejerce esta industria sobre las reservas forestales globales.

Ante estos y otros hechos mucho más preocupantes en el panorama ambiental, en menos de una década desde la aparición del concepto del desarrollo sostenible, y sobre todo a partir de su consagración internacional en la Conferencia de Río de Janeiro de 1992, han comenzado a difundirse profundas dudas sobre la operatividad de estos planteamientos para frenar el proceso de declive ecológico, tanto en el plano global como en los diferentes planos locales.

Existen ya datos concretos que cuestionan las posibilidades reales de llegar a una generalización de los principios y las normas de conducta propias del desarrollo sostenible al conjunto de la escena mundial, en las condiciones geopolíticas y económicas realmente existentes. Esta constatación está dando lugar, en los últimos años, a nuevos planteamientos acerca de las relaciones entre la actividad económica y la naturaleza, con los que tratarían de buscar salidas a la aceleración del proceso de deterioro ambiental que está siendo

propiciada por la universalización del concepto del desarrollo sostenible.

2.2 CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DE EXPERIENCIAS DE MEJORA DE LA SOSTENIBILIDAD ECOLÓGICA EN EL ÁMBITO INDUSTRIAL

En el ámbito industrial, como en el conjunto de la economía, se ha adoptado universalmente la filosofía oficial del desarrollo sostenible como garantía para la continuidad indefinida de la expansión de las actividades productivas en el contexto del proceso de globalización.

Dado que este planteamiento conduce a la aceleración de la inviabilidad ecológica del sistema productivo global, la presentación como experiencias ejemplares de intervenciones de esta clase resultaría contraproducente, además de contradictoria. Para abordar con este enfoque el estudio de casos, se ha intentado establecer un mínimo conjunto de criterios que permitan verificar el grado en que una determinada intervención de adaptación ecológica de la industria puede ser ubicada en ese ámbito diferenciado de la "sostenibilidad". El conjunto de criterios propuesto es el siguiente:

1. La consideración del "ciclo global" en la organización del sistema: aceptación de responsabilidades ambientales en todas las fases de la vida del producto, desde la utilización de los fondos de recursos o materias primas hasta la conversión del producto en residuo.
2. El diseño integrado de procesos, productos, formas de utilización y residuos

para mejorar su compatibilidad ecológica.

3. La sustitución de flujos lineales por ciclos cerrados en el diseño de procesos y la circulación de materiales.
4. El fomento de la "simbiosis industrial": interconexión o, preferiblemente, yuxtaposición de industrias complementarias en la utilización de materias primas, productos, subproductos y residuos.
5. La autolimitación en el uso o afección de los recursos básicos locales no renovables: suelo, paisajes, etc.
6. La reducción progresiva de la dependencia de suministros lejanos y el aprovechamiento, en régimen renovable, de recursos locales o próximos.
7. La producción de información ecológica para el seguimiento y gestión: auditorías energéticas y de materiales, incidencia directa e indirecta sobre el medio ambiente local y global.

Ciertamente, una iniciativa industrial que adoptara fielmente el cumplimiento de todos y cada uno de estos principios en sus relaciones con el entorno físico se situaría en el límite superior - esto es, por el lado de la excelencia ambiental - del concepto no oficial de sostenibilidad arriba apuntado y estaría de hecho en la antesala de la "producción ecológica".

Posiblemente, con este código de conducta ambiental no se estaría garantizando la compatibilidad indefinida de sus actuaciones en el sentido de "sostenibilidad fuerte", pero sí se habría conseguido moderar o, más exactamente, patentizar de modo sustancial su contribución al proceso de

declive acelerado de las bases ecológicas globales.

2.3 EL AGUA, RECURSO RENOVABLE PERO LIMITADO.

El agua disponible se produce gracias a un transporte atmosférico del agua del mar a la tierra. Se puede considerar el mar como una caldera de destilación y la tierra como el condensador. El exceso de precipitación sobre la evaporación que se da en los continentes constituye el agua utilizable.

Cualquiera que sea el uso del agua por el hombre (regadío, refrigeración, etc.) aumenta su evaporación, convirtiendo una fracción mayor de los continentes en calderas de destilación, lo que repercutirá en el balance precipitación-evaporación en los continentes disminuyéndolo, pues parte del vapor generado en los continentes se precipitará también en el mar.

Esto, unido a cambios climáticos que probablemente lleven a situaciones más secas, conduce a que nuestros objetivos deban estar dirigidos a obtener un consumo más eficaz del recurso y no a aumentar el suministro. Esto sin contar los enormes daños que el sobreuso del agua está haciendo a los ecosistemas acuáticos que, o están contaminados o están secos. Aumentar el suministro, además de ser la solución más costosa, sólo lleva a retrasar una crisis, que por esta vía, sin duda se producirá.

Esto indica que casi toda el agua disponible en la superficie es utilizada. Sin embargo, esto globalmente tiene poco significado, porque hay enormes diferencias en la cuantía del balance precipitación-evapotranspiración de unas regiones a otras, por lo que en algunas de ellas consumen más agua de la que disponen y se están mermando las reservas de embalses y acuíferos, a no ser que se proceda al ahorro, al tiempo que se reutilicen las aguas residuales (14).

Las aguas de regadío se devuelven en poca proporción al sistema natural y las de abastecimientos urbanos cada día que pasa son menos reutilizables, ya que la reducción de los caudales de los ríos, por efecto de los regadíos, embalses, etc., unido al vertido excesivo de aguas residuales, ha disminuido drásticamente su capacidad de autodepuración.

Otro factor a tener en cuenta es la estacionalidad de las lluvias. Por ejemplo, se pasa por períodos muy secos, donde se evapora una gran cantidad de agua, especialmente en los regadíos, y luego las lluvias torrenciales no son utilizables mas que para destruir, entre otras cosas, parte de las cosechas que tanta agua han consumido inútilmente. Las carencias de agua local se ven, pues, agravadas, puesto que donde falta más el agua es donde hay más demanda para regadíos y éstos incrementan todavía más la evaporación.

La situación de las aguas subterráneas no es diferente. Aunque la mayoría del agua dulce del planeta es subterránea, no toda ella es fácilmente utilizable, ni se encuentra en las zonas donde se precisa. La escasez del

recurso superficial en muchas regiones ha llevado a la sobreexplotación de los acuíferos, produciéndose casos de disminuciones de niveles freáticos que pueden llegar a ser alarmantes.

La calidad de las aguas subterráneas también sufre deterioros por otras actividades humanas. Si nuestras extracciones se sitúan en zonas de cultivo intensivo, la lixiviación de sustancias procedentes de los campos produce un aumento de la concentración de nitratos y agrotóxicos, como consecuencia del abonado y de los tratamientos fitosanitarios y muchos lugares dependen de estas aguas para el suministro urbano. Otro factor que acentúa la carencia de agua es la concentración de las poblaciones humanas en determinadas zonas, de modo que actualmente unos 2.000 millones de personas viven en zonas de escasez crónica de agua y a medida que la población humana vaya creciendo la crisis se agravará, ya que su aumento es función exponencial del número de individuos y, por tanto, más grave en las zonas más densamente pobladas del planeta (15).

La introducción de procesos que economicen el agua es, al mismo tiempo, la mejor solución para combatir la contaminación. En los países en los que se han realizado programas de lucha contra la contaminación de las aguas, las acciones han conducido siempre a una reducción de la demanda de agua, incluso en los países menos húmedos. Estas experiencias serían aún de mucho más interés en los países situados en áreas con escasez de agua. Por ejemplo en Suecia, cuando la distribución de agua dejó de ser gratuita, el consumo

doméstico de agua bajó a un valor de saturación de 210 L por persona y día (14) aunque todavía arriba de la demanda de 180 L por persona por día que se tiene en Tokio, Japón.

En el caso de la industria, la reducción del consumo de agua fue drástica. En poco tiempo se redujo a menos de la mitad; las industrias se dieron cuenta de que era mucho más barato reciclar el agua que depurarla. Es decir, si se modificaban los procesos industriales de manera que sólo necesitaran una pequeña cantidad de agua para reponer la que irremisiblemente se perdía en los circuitos, reducían la factura, ya que una gran parte del gasto se debía al costo de su depuración ya fuera por medios externos, o porque ellas mismas tuvieran que hacer funcionar sus depuradoras. El mismo Falkenmark (1988) concluye que la presión para la protección de la calidad de las aguas en Suecia llevó a un ahorro de su consumo, ya que evitar el vertido es mejor solución que luego tener que extraerlo y añade que en países con deficiencia de agua éste puede ser también el factor que active procesos similares de los que se obtienen dos logros que van de la mano: disminuir la demanda y eliminar la contaminación (14).

En países como Suecia, que no gasta casi agua en la agricultura, no se considera este uso, pero también aquí las técnicas destinadas al ahorro de agua reducen no sólo la contaminación sino también los mayores peligros que conlleva la irrigación, como son la salinización y encharcamiento del suelo.

En los climas secos la evaporación de agua de riego en la superficie concentra las sales en el suelo, y esto frena la absorción de agua por parte de los vegetales, acelerando su deshidratación. En países de regiones áridas, como la India, se han tenido que abandonar grandes extensiones de cultivos en regadíos por este proceso, tomándose esto también como causa del declive de grandes civilizaciones, como el de la antigua Mesopotamia. Por esto, en zonas secas es de vital importancia la compatibilidad entre el tipo de aguas, según su mineralización, con el tipo de los suelos que se riegan, así como la nivelación de los terrenos y el uso adicional de agua para una lixiviación y drenaje necesarios para conseguir un equilibrio salino (14).

Las técnicas de riego han evolucionado hacia aumentar su eficacia y el ahorro de agua, del riego a manta, o por surcos, se ha pasado al riego por aspersión con control automático, para regar cuando las plantas lo necesiten y a la microirrigación por goteo, o por microdifusores y con bioprogramadores de irrigación. La microirrigación aporta agua justo en el lugar donde se desarrollan las raíces de las plantas, en cantidades muy pequeñas y fraccionadas en el tiempo, según los requerimientos de las plantas.

Los estudios sobre la fisiología de las plantas han avanzado y la aplicación de estos conocimientos permite utilizar a las mismas plantas como sensores, para suministrar el agua justo cuando va a ser absorbida por las raíces. De este modo, se disminuye la evaporación, la salinización del suelo y su saturación costosa de agua. (14).

2.4. CONSIDERACIONES Y CASOS EN TORNO AL AGUA

El uso de los recursos naturales provoca un efecto sobre los ecosistemas de donde se extraen y en los ecosistemas en donde se utilizan. El caso del agua es uno de los ejemplos más claros: un mayor suministro de agua significa una mayor carga de aguas residuales.

Si se entiende por *desarrollo sostenible* aquel que permita compatibilizar el uso de los recursos con la conservación de los ecosistemas, las buenas prácticas en la gestión del recurso agua serán las que tengan por finalidad:

1. Disminuir el gasto de agua, disminuyendo su consumo o reciclando y reutilizando al máximo el suministro,
2. Extraerla con el menor deterioro posible de los ecosistemas; es decir, dejando una parte para el desarrollo normal de los ríos, humedales y acuíferos subterráneos.
3. Devolverla a las fuentes naturales en condiciones aceptables para, que el impacto sobre los ecosistemas sea mínimo, lo que para el caso del agua superficial, se acostumbra a medir como calidad suficiente para que permita el baño y evite graves pérdidas piscícolas; para ello, la mejor solución es contaminarla lo menos posible en su uso y proceder luego a su tratamiento de depuración y
4. Realizar esta depuración o descontaminación con un mínimo gasto energético e impacto ecológico.

Hay que considerar también que el hombre influye sobre el ciclo del agua de dos formas distintas, bien directamente mediante extracción de las mismas y posterior vertido de aguas contaminadas como se ha dicho, o bien indirectamente, alterando la vegetación, la cobertura del suelo y hasta la temperatura y composición de la atmósfera.

Estas formas de impacto alteran el régimen de circulación y la calidad del agua. Serán buenas prácticas también aquellas que vayan encaminadas a la conservación del suelo y la vegetación, siendo de notable interés la conservación de la vegetación de ribera que, además de aumentar la biodiversidad, hace de filtro de retención de nutrientes y de numerosos contaminantes, disminuyendo mucho su entrada en los cauces de agua o en los acuíferos, al tiempo que incorpora también a su biomasa los nutrientes del agua que fluyen por los cauces y mantos fluviales.

2.5 USO DEL AGUA EN LA INDUSTRIA

Aunque se calcula que la industria usa solamente un 8% de la demanda total de agua, en algunos Estados la demanda es mucho mayor y alcanza hasta un 43%. Usualmente, la mayor parte del agua de reúso es para enfriamiento, donde una de las mayores preocupaciones es el crecimiento de limo, corrosión, incrustaciones y espumas. Estas preocupaciones son comunes en cualquier suministro de agua y suelen controlarse mediante pretratamientos químicos y biocidas.

Por ejemplo, en aplicaciones de la industria textil como el proceso de pulpa y papel se requieren ciertas características específicas de calidad del agua en cuanto a sólidos, sales disueltas y color.

Los requisitos del tratamiento varían considerablemente, de acuerdo con las calidades necesarias. Algunos Estados tienen ciertos parámetros establecidos para el tratamiento de agua que van desde el tratamiento secundario con cloración, hasta un tratamiento avanzado acompañado de cloración con tiempos de retención prolongados.

En Hawaii se utiliza el tratamiento secundario para el uso del agua en enfriamiento, acompañado de coagulación, filtración y cloración para lograr obtener un valor de 2.2 / 100 ml de coliformes fecales, y, además, se aplica un desinfectante adicional para evitar la *legionella* y la *klebsiella*. Para procesos industriales que no involucran producción de alimentos se da un tratamiento secundario con cloración para obtener un límite de 23/100 ml de coliformes fecales. (16)

2.6 GENERACIÓN DEL AGUA RESIDUAL EN LA INDUSTRIA CERÁMICA

En la industria cerámica se produce agua residual debido principalmente a la limpieza de las líneas de esmaltado y de los molinos. El caudal de agua utilizado varía mucho de unas fábricas a otras, ya que es una operación que se

realiza manualmente y que depende de los turnos que se realicen en la fábrica, de la frecuencia con que se cambie de producción, de las costumbres adquiridas por los trabajadores y de otros factores que afectan directa o indirectamente al proceso.

El caudal medio de agua residual se puede estimar en unos 15 m³ por cada metro cuadrado de producto fabricado (17).

2.6.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL EN LA INDUSTRIA CERÁMICA

El análisis medio del agua residual sin depurar, de las empresas del sector cerámico, basado en las pruebas analíticas realizadas por IPROMA (Investigación y Proyectos Medio Ambiente S.L.) viene a ser el reflejado en la Tabla 2.1.

Estas aguas suelen presentar las siguientes características:

1. Una cantidad elevada de sólidos suspendidos, debidos en su mayor parte a minerales arcillosos y restos de fritas.
2. Metales procedentes de los restos de esmalte recogidos en el lavado de líneas de esmaltes, entre los que destacan: plomo, zinc, boro, hierro y aluminio.
3. Sales disueltas; principalmente cloruros, sulfatos y fluoruros.
4. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) debida a la presencia de materia

orgánica biodegradable procedente en su mayoría de los restos de productos utilizados en serigrafía (colas, poliglicoles) y Demanda química de Oxígeno (DQO) que incluye toda la materia oxidable presente en el agua, tanto si es o no biodegradable (17).

TABLA 2.1 *Análisis característico de los efluentes de la industria cerámica.*

PARÁMETRO	VALOR MEDIO (Mg/l)
pH	8,0
Sólidos suspendidos	1100
Mat. Sedimentables	8,0
DBO ₅	200
DQO	280
Boro	18,0
Plomo	15,0
Zinc	12,0
Cobre	0,12
Aluminio	3,0
Hierro	3,5
Cromo III	0,05
Cromo VI	0,06
Manganeso	0,2
Níquel	0,2
Estaño	0,4
Cobre	0,12
Cloruros	250
Sulfatos	500
Fluoruros	0,2

2.6.2 DESCARGA DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA CERÁMICA

Antes de realizar cualquier descarga, se tiene que estudiar la forma de minimizar el consumo de agua, así como el reciclado del agua residual en los procesos que lo permitan (preparación de la barbotina, limpieza de líneas...)

Según la ley de aguas nacionales, se considera descarga a la acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar agua residual a un cuerpo receptor. Todas las descargas requieren autorización administrativa por parte de la CNA (Comisión Nacional del Agua) para lo cual se debe presentar una solicitud por parte del titular de la actividad y pagar el correspondiente costo de descarga, según lo establecido en la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua.

2.7 INSTALACIONES PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL EN LA INDUSTRIA

Las industrias comprenden múltiples actividades propias de cada rama particular y debe entenderse como un sistema complejo de procesos que, al operar, utiliza innumerables materias primas y genera, en consecuencia, una gran variedad de residuos. Como ya se mencionó, durante los procesos industriales se tienen salidas intermedias en forma de residuos antes de obtener un producto final con valor de mercado positivo. Las fuentes principales de estos residuos están en los procesos de separación, transformación y purificación que

deben aplicarse a las corrientes de materiales.

Cualquier proceso de transformación, separación o purificación puede ser dividido en lo que la ingeniería denomina *operaciones unitarias*; muchas de ellas han sido estudiadas extensamente y están claramente definidas y descritas en la literatura técnica. Tales operaciones unitarias se insertan en diferentes procesos industriales manteniendo sus principios básicos, aunque varíe en cada proceso su dinámica y la corriente de materiales. La caracterización de las operaciones unitarias permite entender la lógica de generación de residuos de manera integrada a los procesos industriales. La depuración de las aguas residuales procedentes del proceso industrial se puede dividir en varios apartados:

a) Homogeneización

Un primer paso es conseguir un agua lo más homogénea posible, para lo cual, el agua se recoge en una pila, con una capacidad suficiente para poder absorber los caudales punta y poder garantizar una alimentación regular a la instalación de depuración. Es conveniente la instalación de un sistema de agitación para garantizar la homogeneidad del agua. Existen sistemas de aireación por difusores que además de agitar el agua, favorecen la aireación de la misma, con lo que se consigue una mejor oxidación de la materia orgánica y de los compuestos oxidables, disminuyendo los problemas originados por la putrefacción de las aguas. La utilización de estas pilas, como pilas de decantación no es suficiente para la depuración de las aguas ya que no se

consigue la eliminación de metales pesados, ni de otros parámetros que contaminan el agua.

b) Coagulación-Floculación

La mayoría de los metales están presentes en el agua en forma coloidal, por lo que, debido al pequeño tamaño de las partículas y a la existencia de cargas superficiales, éstas presentan una gran estabilidad en el agua que impide su precipitación.

Este equilibrio se puede romper mediante la utilización de coagulantes, los cuales neutralizan las cargas eléctricas, eliminando las fuerzas de repulsión entre partículas, lo que, unido a una agitación adecuada, provoca un agrupamiento de partículas, favoreciendo la sedimentación de las mismas. Los coagulantes más utilizados son sales de hierro o aluminio (cloruro férrico, policloruro de aluminio, sulfato de aluminio).

Para conseguir una máxima eficacia del coagulante, conviene trabajar a un pH en el que el agua queda en la zona de la mínima solubilidad de los iones implicados, lo cual suele ocurrir a un pH ligeramente alcalino, para lo que suele utilizarse cal o sosa. Una vez rotas las cargas superficiales, que impedían la atracción de las partículas se añaden productos floculantes, los cuales actúan de puente entre las partículas suspendidas produciendo la formación de agregados mucho mayores (flóculos) favoreciendo el proceso de

sedimentación. Los floculantes suelen ser polímeros orgánicos de gran peso molecular y que pueden tener carga eléctrica lo que ayuda a potenciar la acción del floculante.

Las dosis empleadas de cada uno de estos productos (coagulantes, floculantes y álcalis) dependen de las características del agua a tratar por lo que es conveniente la realización de ensayos de floculación con el fin de conocer la dosis óptima. Mediante los ensayos de floculación, realizados en IPROMA, se han obtenido unos resultados que han ayudado a conseguir ventajas importantes en el tratamiento de las aguas residuales de entre las que cabe destacar la consecución de una mejor calidad del agua depurada y un ahorro significativo en el consumo de los reactivos empleados en la depuradora.

C) Sedimentación

Existen varios tipos de sedimentadores, los más utilizados en la industria cerámica son los sedimentadores circulares o los de lamelas. Los sedimentadores circulares están formados básicamente por un cilindro con una base cónica para la recogida de los lodos. La adición de reactivos puede realizarse en unos compartimientos contiguos al sedimentador o en la propia entrada de agua en el mismo. El agua entra en el sedimentador por el centro y sale por un rebosadero situado en el exterior del mismo.

Los sedimentadores de lamelas constan de un gran número de placas

paralelas e inclinadas, entre las que el agua circula en sentido ascendente, recogándose los lodos en la parte inferior del sedimentador. La adición de reactivos se efectúa en la entrada del sedimentador estando normalmente integrado en el mismo recinto.

La principal ventaja que presentan los sedimentadores de lamelas frente a los circulares, es la capacidad de tratar un mayor caudal de agua en un menor espacio, siendo su desventaja el mayor grado de ensuciamiento y su dificultad de limpieza, lo que disminuye el rendimiento si no se tiene cuidado en su mantenimiento.

Los lodos resultantes pueden ser reciclados de forma controlada en instalaciones de atomización o ser tratados como residuos, en cuyo caso su composición química les confiere el carácter de tóxicos y peligrosos; por lo que no pueden abandonarse, debido a que sus lixiviados producen graves problemas al medio ambiente (contaminación de acuíferos, etc.), sino que tienen que ser recogidos por un gestor autorizado para su tratamiento o depósito en vertedero controlado. Para minimizar el volumen de los lodos se puede eliminar el exceso de agua mediante filtros prensa o filtros de banda (17).

2.8 REÚSO DEL AGUA POR LA INDUSTRIA

El reúso indirecto de las aguas residuales ocurre cuando los efluentes que han sido descargados y diluidos en un río son extraídos para riego o para suplemento de agua para servicio público. En algunas circunstancias el tratamiento de aguas residuales en corrientes es una parte importante para la solución de las sequías. La práctica de descargar en aguas superficiales permite la dilución y separación en tiempo y espacio, y esto permite que el proceso de depuración natural se produzca.

El agua residual puede ser reutilizada en:

- * Riego agrícola
- * Reúso urbano
- * Reúso industrial
- * Recarga de fuentes subterráneas

La figura 2.1 presenta el promedio nacional de la demanda de agua y el reúso por categorías, en California y Florida. Las mayores demandas son para riego agrícola, generación de energía en termoeléctricas, usos industriales y domésticos. Las más grandes aplicaciones del reúso en California, son para recargas de mantos acuíferos, riego agrícola y reúso urbano. Otras aplicaciones incluyen mejoramientos ambientales (humedales, estanques, hábitats de animales). En Florida, la mayor parte del agua se usa para riego agrícola, reúso urbano, es menor la que se utiliza para recarga de acuíferos. El uso actual depende de la disponibilidad de fuentes de agua limpia, la proximidad de la

planta de tratamiento para su uso, las regulaciones locales y estatales y los requisitos particulares relativos para su tratamiento.

Los requisitos para el tratamiento de las aguas residuales deben considerar las circunstancias específicas para cada aplicación, el potencial para la orientación pública y los requerimientos estatales. Los reusos libres, semejantes como el riego de cosechas y el reuso urbano requieren de un grado mayor de tratamiento que los de usos restrictivos, como el riego de pastizales o el riego de campos de golf. En algunas áreas, los requerimientos para la remoción de nutrientes en las descargas a superficie deben ser más restrictivos y caros que los reusos alternativos para riego. Un programa de reuso debe tomar en cuenta la cantidad del agua residual, demandas de reuso, la calidad del agua efluente, la salud pública y los posibles impactos ambientales (18).

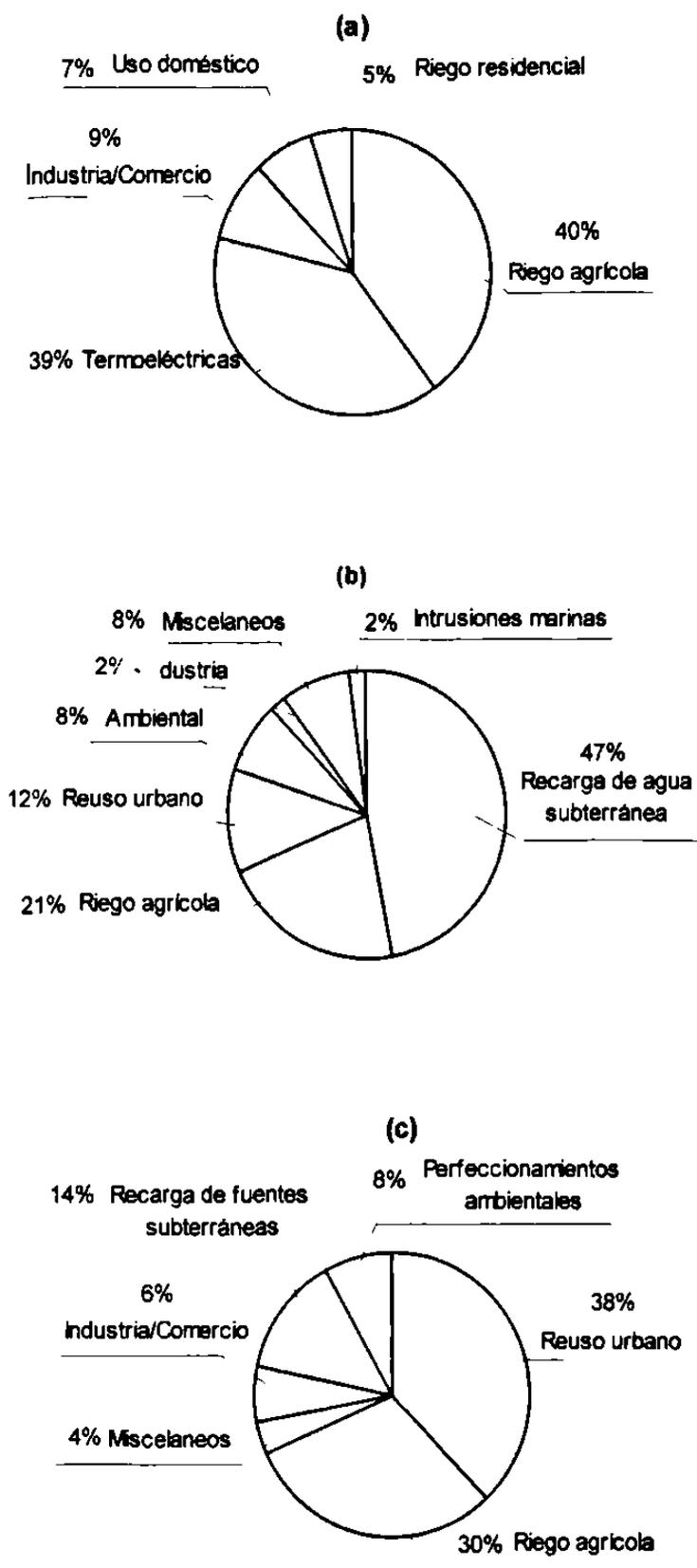


Figura 2.1 Usos del agua potable y agua de desecho (a) Demanda nacional del agua potable (b) Aplicaciones del reuso de agua de desecho en California (c) Reuso del agua de desecho en Florida

La reutilización de las aguas de desecho por las industrias resultaría más económico para muchas de ellas, además de disminuir la contaminación, ya que parte de los productos necesarios para los procesos de fabricación que se pierden en los vertidos podrían aprovecharse de nuevo. El precio del agua debe incluir en un futuro próximo el costo total de su descontaminación, por lo tanto, para las industrias debe ser más rentable modificar sus procesos industriales, para que éstos sean prácticamente secos; es decir involucrar un consumo de cantidades muy pequeñas de agua, justo el suficiente para el funcionamiento de un esquema de circulación cerrada, de manera que no descargasen aguas residuales.

En algunos casos, el circuito de agua podría involucrar una cadena de industrias de manera que unas utilizaran el agua procedente de las otras; o bien, porque no necesitaran agua de tanta calidad, o bien, porque alguno de los productos que descargara al agua la industria precedente, fuera recuperado y favoreciera sus procesos industriales. La depuración debería ser una parte indispensable de la tecnología de la producción si el agua no es reutilizable directamente, con el fin de impedir la formación de aguas residuales.

CAPÍTULO 3

EL AGUA EN LA INDUSTRIA CERÁMICA

3.1 TRATAMIENTO DEL AGUA PARA USO INDUSTRIAL

El agua es ampliamente usada en diversas aplicaciones de los procesos industriales. Uno de los mayores usos es para la alimentación de calderas y como agua de enfriamiento. El tipo y grado de tratamiento en estas aplicaciones dependen del uso final. Por ejemplo, el agua para enfriamiento requerirá solamente un tratamiento mínimo; la remoción de algunas sustancias corrosivas y algunos solutos incrustantes es esencial en el agua para la alimentación de calderas, mientras que el agua que se usa para procesos de alimentos debe estar libre de sustancias corrosivas y agentes patógenos. El tratamiento inapropiado del agua para usos industriales puede causar problemas tales como corrosión, formación de incrustaciones, reducción de la transmisión de calor en procesos que lo requieran, la reducción del flujo de agua y contaminación del producto. Estos efectos pueden reducir la eficiencia del equipo o causar fallas del mismo, o incrementar el costo de energía ocasionados por una deficiente utilización del calor o enfriamiento, costos de bombeo, deterioro del producto. Obviamente, el tratamiento efectivo del agua

para usos industriales, a un costo mínimo, es una parte muy importante para el tratamiento del agua. Son numerosos los factores que deben tomarse en cuenta en el diseño y operación de sistemas para el tratamiento de aguas industriales.

Estos necesitan considerar:

- * Los requisitos de agua
- * La cantidad y la calidad de las fuentes disponibles
- * La secuencia en el uso del agua
- * Los usos sucesivos (usos sucesivos para las aplicaciones que requieren una calidad mínima de agua progresivamente)
- * El reciclado del agua
- * Los parámetros de descarga

Tratamiento Externo: generalmente se aplica al suministro de agua de toda la planta; se usan procesos como aireación, filtración y clarificación para remover el material del agua que pudiese causar problemas, entre estas sustancias se encuentran los sólidos suspendidos o disueltos, la dureza y los gases disueltos. Siguiendo este tratamiento básico, el caudal de agua puede ser dividido en varias corrientes, algunas que se van a usar sin tratamiento posterior y el resto se va a tratar para aplicaciones específicas.

Tratamiento Interno: diseñado para modificar las propiedades del agua para aplicaciones específicas. Ejemplos de tratamiento interno son los siguientes:

- * Reacciones de oxígeno disuelto con hidrazina o sulfato
- * La adición de agentes quelantes para reaccionar con el Ca^{2+} disuelto y

prevenir la formación de depósitos de calcio.

- * La adición de precipitadores, tales como fosfato, usado para la remoción de calcio.
- * La adición de inhibidores, para prevenir la corrosión
- * El ajuste del pH
- * La desinfección, para usos en procesos de alimentos o para prevenir el desarrollo de bacterias en el agua para enfriamiento (18).

3.2 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL REUSO DEL AGUA RESIDUAL, EN LA INDUSTRIA CERÁMICA

En la industria cerámica se genera agua residual, como consecuencia de las operaciones de limpieza en las secciones de molienda, preparación de esmaltes y aplicación de esmaltes.

En estos procesos, para una correcta gestión de las aguas residuales, debe realizarse un planteamiento basado en reducir al máximo las necesidades de agua de limpieza y en aprovechar todas las posibilidades de reciclado interno de agua, con o sin depuración previa, para efectuar finalmente sólo el vertido del agua que no pueda reutilizarse, minimizando de este modo el impacto ambiental.

El agua residual obtenida en un proceso de fabricación de productos cerámicos esmaltados se puede reciclar directamente, o tras haber sufrido un

proceso de depuración más o menos completo, el cual vendrá determinado por las características de la misma, por el uso posterior y por el destino final del agua.

De un modo general, de acuerdo con la información obtenida (19,20) y atendiendo al tipo de tratamiento al que se someta el agua residual de un proceso cerámico; en principio, se pueden dar las siguientes posibilidades de reutilización:

1. El agua residual, con todos los materiales en suspensión y en disolución, sin haber sufrido ningún tipo de tratamiento excepto una homogeneización, se puede reciclar en la fase de preparación de pastas.
2. El agua tratada únicamente por proceso de separación físico (generalmente sedimentación), se puede utilizar en la preparación de pastas y en los depuradores de gases de vía húmeda.
3. El agua tratada por un proceso físico-químico (sedimentación, coagulación y floculación), se puede aprovechar para el lavado de las secciones de preparación y aplicación de esmaltes y para algunos servicios auxiliares.

La solución óptima sería utilizar toda el agua residual para las aplicaciones consideradas en el primer punto, dado que así se evita la necesidad de instalar una planta de depuración de agua, con la inversión y costos que ello supone.

Por otra parte, en los procesos de depuración de agua residual se obtienen lodos que es necesario tratar adecuadamente para completar el proceso de depuración; además, si el tratamiento del agua residual incluye una etapa química, los lodos generados normalmente contienen coagulantes y floculantes; por lo que, en caso de adicionarse a las composiciones de esmaltes y pastas, se puede alterar negativamente el comportamiento de las mismas.

En principio, la mejor solución para el tratamiento de los lodos puede ser su posible reutilización en el propio proceso que los genera; bien, adicionándolos a la composición del soporte, o reutilizándolos para la fabricación de esmaltes.

La reutilización de los lodos como materia prima constituyente del soporte en la fabricación de ladrillos para piso esmaltados es muy adecuada, presentando, *a priori*, la ventaja de una relativa facilidad de aplicación industrial. Por el contrario, esta práctica supone una depreciación de los residuos, puesto que adquieren el valor de las mismas materias primas del soporte, generalmente bastante inferior al del esmalte; siendo además, imprescindible una homogeneización previa del lodo, para evitar desuniformidades que puedan repercutir negativamente en la calidad del producto acabado.

Desde el punto de vista económico, el reciclado en la fabricación de esmaltes es el método de reutilización de lodos cerámicos quizás más

interesante, dado que con ello se consigue elevar mucho el valor de estos residuos. La principal limitación es la notable variación con el tiempo de las composiciones de los lodos, debido a la diversidad de esmaltes que se desea tener en producción, lo que podría limitar en gran medida el número de posibles esmaltes a fabricar.

En general, para adoptar cualquier opción de reciclado de agua residual y/o de lodos, se deberán realizar una serie de ensayos de laboratorio para comprobar la viabilidad del proceso, debiéndose, en una segunda etapa, verificar si estos resultados se reproducen a nivel industrial (24).

El objetivo de este trabajo llevado a cabo con el apoyo de la Industria Cerámica de Monterrey, ha sido estudiar la viabilidad del reciclado del agua residual en la propia empresa.

3.3 GENERALIDADES DE LA EMPRESA DONDE SE REALIZÓ EL ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en una empresa ubicada en la Ciudad de Monterrey N.L. cuyo giro industrial es la cerámica y cuya actividad principal es la fabricación de azulejos, piso cerámico y ladrillos de barro. La empresa funciona en tres turnos de trabajo en el área de la planta y un horario único, en el área administrativa.

En cuanto a infraestructura, cuenta con tres naves de producción, dos

áreas de molienda y dos almacenes: el de materia prima y el de producto terminado, además del área que corresponde a las oficinas generales.

El sitio donde se encuentra la planta es una zona urbana, donde el uso del suelo, según el plan director de la zona metropolitana de la Ciudad de Monterrey, es mixto: habitacional multifamiliar, de comercio e industria ligera. El clima que predomina en la región es seco semicálido, la temperatura promedio media anual es de 22 °C fluctuando entre los 14 °C para los meses de diciembre - enero y los 28 °C para los meses de julio - agosto. La precipitación anual es de 633 mm, la humedad del 70 % y los vientos dominantes del Sudeste.

En el área son comunes los afloramientos de rocas sedimentarias de los períodos Mesozoico y Cenozoico. Cercanos al área de influencia se encuentran depósitos sedimentarios, tales como calizas del Cretácico Inferior hasta suelos del Cuaternario (Cerro de La Silla e inmediaciones). Por sus características, la zona se encuentra incluida en la región conocida como llanura costera, que se caracteriza por lomeríos suaves y bajadas con llanuras de extensión considerable.

El área pertenece a la subcuenca del río San Juan, cuyo principal afluente cercano es el río Santa Catarina, y es evidente la presencia de mantos fráticos a una profundidad media de 29/22 m, considerándose predominantes

sus aguas cálcico bicarbonatadas, aptas para el riego y el uso doméstico, con dureza de mediana a moderadamente alta.

El estudio se llevó a cabo en esta empresa cerámica debido al interés mostrado por parte de los directivos, de poder aprovechar al máximo sus recursos y contribuir, de cierta forma, a evitar la contaminación del ambiente que expone a los empleados, obreros y vecinos.

Los directivos de la empresa proporcionaron la información, el equipo y el material necesario para el desarrollo de este trabajo, que se inició con un recorrido general para conocer las instalaciones y el proceso de trabajo con que cuenta la empresa, así como los procedimientos que se relacionan en forma directa con: el abastecimiento del agua, el sistema de manejo y evacuación del agua residual y el manejo de los residuos generados por el tratamiento de las aguas residuales. Posteriormente, se revisó la documentación oficial, los procedimientos y los controles, con el objetivo de conocer las características generales de la institución y los puntos débiles, en cuanto a la generación y el tratamiento del agua residual.

3.4. ABASTECIMIENTO DE AGUA AL PROCESO DE PRODUCCIÓN

El abastecimiento de agua al sistema de producción de la empresa se realiza a través de un pozo profundo que se encuentra dentro del área ocupada por la misma. Del pozo se bombea al tanque #1, para su almacenamiento y

posterior distribución. El tanque cuenta con una capacidad de 40 m³.

El volumen de suministro diario es de aproximadamente 568.0 m³, los cuales se distribuyen entre las siguientes áreas:

- * Producción de Azulejos
- * Productos varios
- * Ladrillería
- * Molinos para esmaltes
- * Servicio directo
- * Laboratorio
- * Colector de polvos
- * Pastas serigráficas
- * Pantallas

Las demandas, en cada uno de los procesos, son variables de acuerdo con las diferentes actividades. El diagrama de flujo mostrado en la figura 3.1 esquematiza la distribución del agua que se extrae del pozo #1.

En ciertas horas del día, el pozo #1 no da abasto al proceso, ya que se presentan horas pico de funcionamiento, especialmente al momento de lavar el equipo, lo cual se hace en cada cambio de turno. Para amortiguar estos picos, se conecta al sistema el pozo #2, que normalmente abastece solamente los servicios sanitarios de toda la empresa.

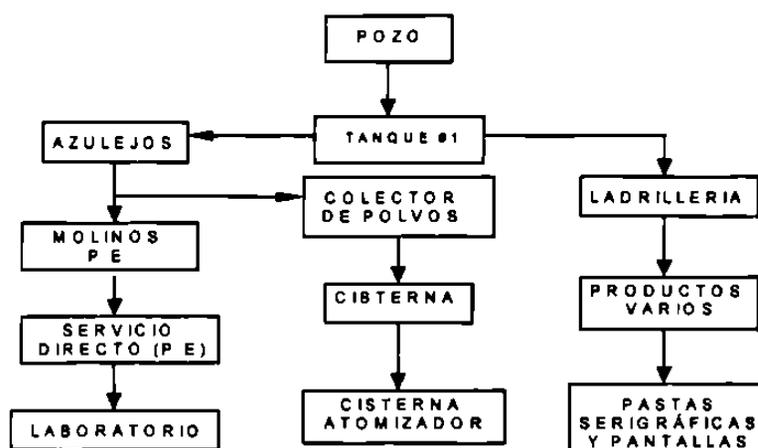


Figura 3.1 Distribución general de agua en la planta, pozo #1

De las áreas que más demandan agua, es la de preparación de esmaltes y de acuerdo con la ubicación en la red de distribución, es de las áreas que más se afecta en el abastecimiento de agua; por lo que es necesario comprar agua en el exterior, para el proceso.

3.5 GENERACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

Cabe aclarar que el agua residual que se genera no procede, en ningún momento, del proceso de fabricación, sino del lavado de las líneas de esmaltado y de los molinos de preparación de barbotina de cuerpo rojo y blanco. Esta agua residual se deposita en 3 fosas de decantación, con la capacidad que a continuación se detalla:

1. Una fosa de decantación, con cuatro compartimientos, con una capacidad de 15.0 m³ , en la que se descarga el agua generada por el área de azulejos.
2. Una segunda fosa de decantación, también con cuatro compartimientos de 11.0 m³ de capacidad en la que se descarga el agua generada en el lavado de las líneas de productos varios.
3. Una tercer fosa, con cuatro depósitos, en la que se descarga el agua de preparación de esmaltes, con capacidad de 15.0 m³.

Las descargas del agua residual que se genera en las instalaciones son las que se presentan en la Tabla 3.1

Tabla 3.1 Descargas de aguas residuales producto del proceso

OPERACIÓN GENERADORA	GASTO (m ³ /d)	NATURALEZA DE CONTAMINACIÓN	CUERPO RECEPTOR
Esmaltado de piso, área de productos varios.	62.20	Esmalte cerámico	Fosa de decantación
Lavado de pisos en área de molinos de esmaltes	53.13	Esmalte cerámico	Fosa de decantación
Esmaltado de azulejos, área de azulejos.	51.0	Esmalte cerámico	Fosa de decantación
Lavado en el esmaltado de ladrillo, esto en ladrillería.	0.030	Esmalte cerámico	Fosa de decantación
Enjuagues en el laboratorio.	0.137	Esmalte cerámico	Fosa de decantación

3.6 TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL EN LA INDUSTRIA

El agua residual es tratada en las fosas de decantación solo con precipitación química, con base en el coagulante sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$. El agua separada se utiliza para riego de áreas verdes y el esmalte se recupera en las lagunas de recuperación de esmaltes.

La generación de esmaltes en el tratamiento no se tiene estimada, ya que el tratamiento actual y la generación del agua de desecho no permiten calcularlo, pues la capacidad de las fosas es insuficiente y esto obliga a descargar agua sin que haya alcanzado el tiempo mínimo de sedimentación de los sólidos.

La empresa cuenta con su registro de descarga, pero por el inadecuado tratamiento que se le da al agua, no le permite cumplir con los valores máximos permitidos según la NOM - 001 - ECOL-1996 correspondiente al riego de áreas verdes.

Se han practicado análisis en las fosas de decantación y el resultado de estos análisis muestra que el único parámetro rebasado es el de contenido de zinc; pero también podrían considerarse los residuos de esmalte en forma de sólidos sedimentables y suspendidos, aunque no estén contemplados en la norma, ya que el esmalte, en grandes cantidades, se considera contaminante al ambiente por su contenido de fritas y caolines.

El zinc es un componente esencial, en alrededor de un centenar de enzimas, apareciendo en sólo algunas enzimas presentes en los vertebrados y con contenidos mucho menores.

El nivel normal de zinc, en las plantas, es de 25-150 mg kg⁻¹ y en concentraciones superiores a los 400 mg kg⁻¹ puede ser tóxico. Un humano adulto contiene de 1.4 - 2.3 g de zinc lo que representa alrededor de la mitad de la cantidad de hierro presente. La deficiencia de zinc en los humanos lleva a trastornos como la baja de la capacidad de coagulación de la sangre y cicatrización de heridas, anormalidades de la piel y otros problemas.

El cadmio y el zinc se encuentran asociados con una proteína soluble de bajo peso molecular llamada metalotionina, que está caracterizada por un alto contenido de cisteína. El gran número de grupos sulfhidrilos, -SH, ligan fuertemente a los metales pesados. Una de las acciones de la metalotionina es la detoxificación por cadmio, mercurio y plomo, atrapando fuertemente a estos metales a través de enlaces metal-sulfuro; de forma que no puedan intervenir en otros procesos metabólicos. Desafortunadamente, la cantidad de metalotionina disponible es muy limitada como para prevenir los efectos tóxicos de grandes ingestiones de metales pesados. (21)

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

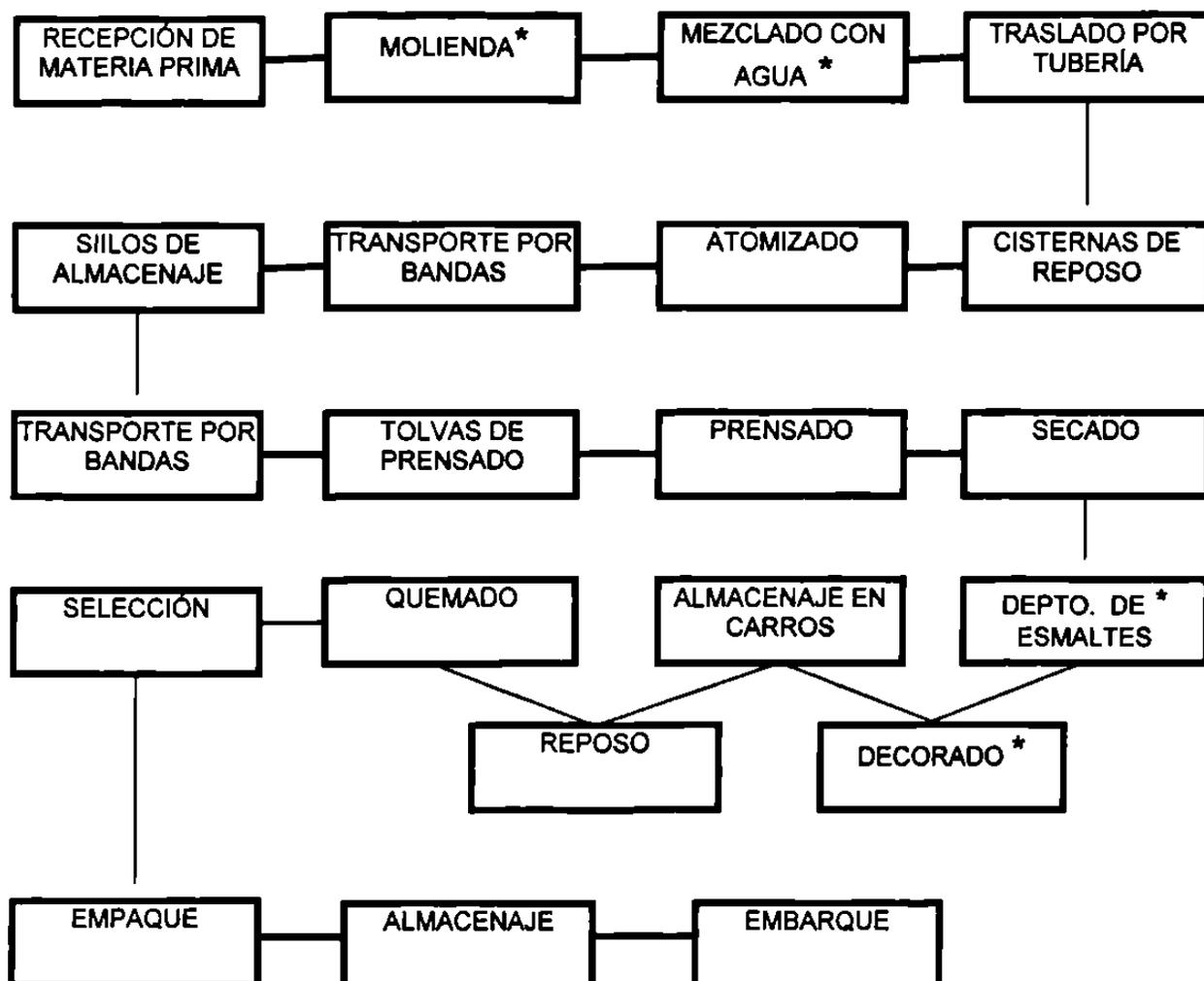
4.1 DESARROLLO

La forma en que se llevó a cabo este trabajo consistió primeramente en investigar los métodos operativos y las prácticas de manejo del agua residual y los residuos generados en los diversos procesos y operaciones de la planta. Se desarrolló en tres etapas y para cada una de ellas se realizaron las siguientes actividades:

PRIMERA ETAPA

a) Se realizó un recorrido por las instalaciones de la empresa para conocer cada uno de los procesos que se desarrollan; ellos son: preparación de esmaltes, azulejos y productos varios, como fabricación de ladrillería y molienda. En el siguiente diagrama de flujo se esquematiza, en forma general, el proceso de fabricación.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE AZULEJOS Y PISOS CERÁMICOS



* Puntos de generación de agua residual

- b) Identificaron los puntos de generación del agua residual.
- c) Se localizaron los puntos con riesgos de contaminación ambiental por descargas de agua residual con residuos de esmalte.

SEGUNDA ETAPA

- d) De acuerdo con lo observado y con la información proporcionada, se

realizaron análisis de laboratorio, para conocer las características del agua residual.

e) Se aforaron las fosas de decantación, para estimar el volumen de agua residual que se genera en los diversos procesos.

f) Se realizaron pruebas de laboratorio para comprobar el efecto de la adición del agua residual en las materias primas del soporte y en las características mecánicas y técnicas del producto final.

TERCERA ETAPA

g) Hechos los análisis necesarios, se diseñó la propuesta para la reutilización del agua residual en la planta de productos cerámicos.

4.2 BALANCES HÍDRICOS

Se realizaron los balances hídricos en el proceso de fabricación, para así conocer la cantidad de agua residual generada y para poder evaluar las posibilidades reales del reciclado del agua en la empresa. En primer lugar, se realizaron los balances hídricos al proceso global, determinando, fundamentalmente, el consumo de agua en los molinos y el agua residual generada en las líneas de fabricación de producto esmaltado.

Operando con la proporción entre el producto fabricado no esmaltado y el esmaltado, condiciones de operación habituales en la empresa, se ha obtenido un valor del caudal de agua residual generada en la limpieza de las líneas de esmaltado y molienda de $166.50 \text{ m}^3/\text{día}$, cercano a $188.5 \text{ m}^3/\text{día}$ del consumo necesario de agua en el área de molienda.

4.3 MÉTODO DE AFORO EN LAS FOSAS DE DECANTACIÓN

La medición del gasto es de gran utilidad en la toma de decisiones durante la administración de los recursos hidráulicos, en la ejecución de los programas de riego y en diversas actividades relacionadas con el manejo del agua.

La medición del gasto o caudal que llega a las descargas se realizó a través de dos métodos, el método volumétrico y el método que utiliza la fórmula de Manning para conductos cerrados parcialmente llenos.

Se entiende por gasto o caudal de una corriente líquida, al volumen de agua que, en la unidad de tiempo, atraviesa la sección normal de dicha corriente y se mide, por tanto, en unidades de volumen entre unidades de tiempo (m^3/s , l/s etc.).

4.3.1 MÉTODO QUE UTILIZA LA FÓRMULA DE MANNING

Se consideró un coeficiente de rugosidad de $n = 0.013$ y las pendientes utilizadas fueron: 100 milésimas para la fosa de productos varios, 10 milésimas en la fosa de esmaltes y 30 milésimas para la fosa de azulejos.

El cálculo del gasto volumétrico se hizo utilizando el área hidráulica y la siguiente fórmula:

$$Q = 1.49 (A/n) R^{2/3} S^{0.5}$$

Donde:

Q = Gasto volumétrico (LPS)	S = Pendiente en milésimas
A = Área hidráulica (m ²)	n = Coeficiente de rugosidad
R = Radio hidráulico (m)	H = (A/P); P = Perímetro mojado (m)

4.3.2 MÉTODO VOLUMÉTRICO

Este método es aplicable en la medición de pequeños caudales y se realiza midiendo el tiempo de llenado (t) de un recipiente de volumen conocido (v), donde se colecta la descarga. El gasto se determina con la ecuación:

$$Q = V / t \quad (22)$$

4.4 MUESTREO

La toma de las muestras se realizó según la norma NMX-AA-3-1975 que establece los lineamientos generales y las recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas.

Entendiendo por:

AGUA RESIDUAL: al líquido de composición variada proveniente de usos municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole ya sea pública o privada y que por tal motivo haya sufrido degradación o alteración en su calidad original.

DESCARGA: al conjunto de aguas residuales que se vierten o disponen en algún cuerpo receptor.

MUESTRA SIMPLE: la muestra que se toma ininterrumpidamente durante el período necesario para completar un volumen proporcional al caudal o gasto, de manera que resulte representativo de la descarga de agua residual, medida en el sitio y en el momento del muestreo.

MUESTRA COMPUESTA: la que resulta de mezclar varias muestras simples.

El tiempo que opera el proceso de descarga en la planta es de 24 horas, por lo que se tomaron 6 muestras simples, para obtener la muestra compuesta a un intervalo de 3 a 4 horas entre cada toma, según lo establecido en El Procedimiento Obligatorio para el Muestreo de Descargas (Artículo 278-B de la Ley Federal de Derechos 1997.)

4.5 DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el presente capítulo se estudian las características del agua residual de los procesos de fabricación de pisos y revestimientos cerámicos y los problemas que puede ocasionar su reciclado, añadiéndola a la composición de la pasta cerámica.

4.5.1 COMPOSICIONES DE REFERENCIA

Se estudiaron composiciones representativas del proceso de producción de la fábrica. Como formulación de referencia para revestimiento en pasta roja y pasta blanca, se han considerado las formadas por los siguientes porcentajes, tabla 4.1 y 4.2 respectivamente:

TABLA 4.1 *Formulación utilizada para cuerpo rojo*

COMPUESTO	% EN PESO
Barro amarillo	40
Caolín rosalía	10
Barro margarita	10
Arcilla pre-300	10
Arcilla feldespática	30
Calcinado rojo	8
ADITIVOS (g)	
Tripolifosfato (defloculante)	10
KD-30	30

TABLA 4.2 *Formulación utilizada para cuerpo blanco*

COMPUESTO	% EN PESO
Caolín blanco MD	25
Caolín rosalía blanco	40
PRE - 150	5
CaCO ₃	6
PRE - 200	12
Calcinado blanco	8
ADITIVOS (g)	
Tripolifosfato (defloculante)	35
Reflex	7,5

4.6 ORIGEN DEL AGUA RESIDUAL UTILIZADA PARA ESTE TRABAJO.

El agua residual procede del lavado de las líneas de esmaltado y de los molinos de preparación de la barbotina, del área de esmaltes, en la fabricación de pisos y revestimientos cerámicos de pasta roja y pasta blanca, haciendo hincapié en la incidencia de los mismos en el comportamiento reológico de las barbotinas de las pastas cerámicas y el efecto sobre las propiedades, en seco y en cocido, de las piezas conformadas por prensado.

4.6.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

Los residuos sólidos generados por el tratamiento del agua residual del propio proceso productivo presentan diferentes niveles de toxicidad, ya que entre ellos se encuentran restos de esmaltes no procesados, piezas con esmalte no cocido (que se han deteriorado antes de la cocción o piezas cocidas rechazadas en el proceso de selección). De todo esto, las últimas son fundamentalmente inertes.

Los lodos procedentes de la depuración del agua constituyen habitualmente los residuos más importantes de este tipo de industria. Estos lodos proceden del agua de lavado de las esmaltadoras y del lavado de los molinos de la preparación de esmaltes. Estos residuos son susceptibles de ser recuperados de diversas formas, tanto en el propio proceso productivo, como en otro proceso externo.

La naturaleza y cantidad de esta agua varía considerablemente; ya que, además de que puede ser originada en diversas etapas del proceso productivo, debe agregarse que dentro de una misma planta se suelen utilizar gran variedad de materias primas (diversos esmaltes, fritas, etc.) que dan lugar a fluctuaciones importantes en las características del agua residual; por ello no es posible definir unas características concretas de toda el agua, aunque se pueden establecer intervalos de variación.

La composición química de las fases sólidas suspendidas es bastante parecida a las de las materias primas utilizadas en el proceso. Son materiales de base silico-aluminosa que contienen cantidades muy variables de metales pesados, alcalinos y alcalinotérreos, según el origen de las aguas residuales. En general, el campo de variación de la composición del agua residual es muy amplio y a continuación se detallan en la tabla 4.3 los intervalos de variación de su composición (en % de óxido del elemento correspondiente) obtenidos a partir de un estudio de agua residual procedente de fábricas del sector cerámico, en los tres últimos años:

Tabla 4.3 *Composición en porcentaje de óxido del agua residual*

Oxido	% W, base seca	Oxido	% W, base seca
SiO ₂	40 - 60	MgO	0.5 - 3
Al ₂ O ₃	5 - 15	Na ₂ O	0.5 - 3
Fe ₂ O ₃	0.1 - 5	K ₂ O	0.5 - 3
B ₂ O ₃	0 - 10	TiO ₂	0 - 7
CaO	5 - 15	ZrO ₂	1 - 15
PbO	0.1 - 15	ZnO	1 - 8
BaO	0.1 - 3	p.p.c.	1 - 12

En principio, la reutilización del agua residual, como materia prima constituyente del soporte en la fabricación de piso y revestimientos esmaltados, es muy adecuada para la eliminación de estos residuos en el propio proceso productivo. Si bien, presenta *a priori* la ventaja de una relativa facilidad de introducción, supone una depreciación de los residuos, puesto que adquieren el mismo valor que las materias primas integrantes de la composición, siendo imprescindible una homogeneización previa del agua, para evitar desuniformidades que pudiesen repercutir negativamente en la calidad del producto acabado (5).

Este procedimiento se aplicó principalmente al proceso de vía húmeda; ya que, como se mencionó antes, el agua residual se puede utilizar como agua de molienda de la pasta. Si el proceso de preparación de pastas es por vía seca, la dispersión de los lodos es difícil y requiere de una deshidratación previa. En estos casos, se puede plantear como solución parcial la adición de una suspensión de lodos en el proceso de humidificación; aunque sin la posibilidad de recircular todos los lodos producidos.

El estudio se ha enfocado a comprobar la influencia que puede causar la adición de las aguas residuales a las materias primas del soporte y, sobre todo, evaluar el comportamiento de éstas en diversas fases del proceso:

i. Influencia sobre la barbotina.

- Estudio del comportamiento reológico.

ii. Influencia sobre las propiedades en seco y en cocido de las piezas conformadas.

- Densidad aparente en crudo de la pieza prensada.
- Densidad aparente en cocido.
- Defectos superficiales en piezas esmaltadas etc.

4.7 MÉTODOS DE ANÁLISIS

Con el objeto de determinar la influencia del agua residual en la pasta, se siguieron una serie de procedimientos; comenzando con la preparación de cuatro formulaciones diferentes, para cuerpo blanco y rojo, respectivamente. Una primera de referencia, utilizando agua de proceso; las tres restantes preparadas en un 100% con el agua residual de cada una de las fosas de captación.

La adición del agua residual se efectuó durante la etapa de molienda por vía húmeda, para una mejor homogeneización en la formulación. Las moliendas se realizaron utilizando un molino de bolas con capacidad de 10 kg, durante un tiempo de 30 minutos. Se analizaron, para cada una de las composiciones, las siguientes variables:

4.7.1 COMPORTAMIENTO REOLÓGICO

a) Determinación de la densidad de la barbotina.

La densidad es una medida de la compactación de la materia y se define como la masa contenida en la unidad de volumen; $\rho = m/v$ (23) y debe determinarse su valor para la barbotina que se prepare industrialmente o en el laboratorio. En este caso, se determinó utilizando un picnómetro, el cual se taró con su tapa, luego se vertió la barbotina dentro del picnómetro hasta llenarlo y se tapó, este procedimiento permite que el exceso de barbotina se derrame por los bordes y el orificio de la tapa; luego se limpió el picnómetro para eliminar la barbotina adherida al mismo, se pesó el picnómetro conteniendo la barbotina y por diferencia de peso, dividido entre el volumen del picnómetro (100 cm^3), se determinó directamente la densidad de la barbotina.

Su fórmula es:

$$D = \frac{P_B - P_V}{V}$$

Donde: D = densidad de la barbotina (g/cm^3)

P_B = peso del picnómetro lleno de barbotina (g)

P_V = peso del picnómetro vacío (g)

V = volumen del picnómetro (100 cm^3)

En el área de molienda y mezclado, se requiere que la barbotina tenga ciertos valores de densidad para poder pasarla a la siguiente etapa de atomizado. Estos valores van, desde un mínimo de 1.59, hasta un máximo de 1.70 gml^{-1} .

b) Determinación de la viscosidad de la barbotina

La viscosidad es una propiedad de transporte, generalmente asociada con la fluidez. La viscosidad es en realidad una medida de la resistencia al corte que presentan los fluidos y se relaciona fácilmente con la dificultad de manipularlos, agitarlos o conducirlos en canales o tubos (23). En este trabajo, se determinó haciendo uso de la copa for. El orificio inferior de la misma se tapa con el dedo índice para poder verter la barbotina, una vez llena la copa, se retiró el dedo y se dejó escurrir la barbotina a través de éste y activando al mismo instante el cronómetro, se tomó el tiempo de vaciado total de la copa, deteniendo el cronómetro al momento en que dejó de escurrir la barbotina. El resultado se expresa en segundos de descarga de la copa. Al igual que la densidad, la viscosidad debe alcanzar ciertos valores, para que se continúe la secuencia de trabajo. En este caso, se requieren valores entre los 20 y los 30 segundos copa for. Cabe aclarar que la viscosidad de la barbotina puede variar, de acuerdo con el pH del agua, los aditivos para deflocular y el tiempo de molienda y de mezclado.

c) Determinación del residuo de la barbotina

Este método se utilizó para determinar el residuo de la barbotina que se prepara industrialmente o en el laboratorio, y es importante esta determinación, ya que permite conocer la fineza de los materiales que componen la barbotina, después del proceso de molienda y/o mezclado. En residuo en malla, se

esperan tener valores del 8% como porcentaje máximo.

En un vaso de precipitado se midieron 100 cm³ de barbotina preparada y se vertieron en una malla # 200, a la vez que se puso la malla bajo el chorro de agua de la llave a presión normal para lavar la barbotina, cuidando de que la misma no se tirara por los bordes ni hubiera salpicaduras. Cuando el agua que pasaba a través de la malla salió limpia, se suspendió el cribado. Se colocó la malla con el residuo retenido en una estufa de secado, a una temperatura que no excedía a los 110°C, para secar el residuo. Ya seco éste se retiró el residuo retenido y se pesó para registrar el valor obtenido.

d) Determinación del porcentaje de sólidos

Se taró un vaso de precipitado en una balanza electrónica (precisión 0.1 g), luego se vertieron 10 g de barbotina preparada en el vaso y se llevó éste a la estufa de convección forzada y se dejó secar por un tiempo aproximado de 30 minutos a 110 ± 5°C. Después de secada la muestra, se colocó ésta dentro de un desecador, y se dejó ahí por un tiempo de 15 minutos. Posteriormente se pesó el vaso que contenía la barbotina seca y se determinó el valor del porcentaje del sólido.

Cálculos:

$$\text{C.S.} = \frac{P_s - P_v}{P_h - P_v} \times 100$$

Donde:

Ph = peso del vaso que contiene la barbotina húmeda (g)

Ps = peso del vaso conteniendo la barbotina seca (g)

Pv = peso del vaso vacío (g)

C.S = contenido en sólidos (%)

4.7.2 PRUEBAS FÍSICAS

Las pastas obtenidas (barbotina) se vaciaron en recipientes de acero, para ser sometidas al secador, a una temperatura entre 90 y 100°C, aproximadamente, durante un día.

Pasado ese tiempo, cada pasta desecada y agrietada fue triturada a mano, para disminuir el tamaño de grano, luego se molió en los molinos de bolas de alúmina con capacidad de 500 g, por un tiempo de 15 minutos. Al término de la molienda, el material se descargó, haciéndolo pasar a través de una malla del # 80. El material obtenido, ya pulverizado, se depositó en un recipiente y se continuó efectuando las pruebas necesarias que enseguida se describen:

a) Determinación de carbonatos

Este método se utilizó para determinar los carbonatos contenidos en el cuerpo o soporte cerámico. En el proceso, se esperan valores hasta de un

3.3 %. Del material obtenido en la pulverización se cribó una parte de la muestra en una malla del # 200 y se depositó en un vaso de precipitado, colocándolo luego en la estufa de convección forzada, por espacio de tres horas, como mínimo, a una temperatura de 110 ± 5 °C.

Después de secada, la muestra se colocó dentro del desecador, para enfriarla y se dejó por espacio de una hora. La determinación de carbonatos se basa en la medición del volumen de CO₂ liberado cuando una muestra de material carbonatado es atacada con HCl. El volumen de CO₂ se mide directamente, a través del volumen desplazado de agua en una bureta graduada. Previamente, el agua debe ser saturada con CO₂, a fin de evitar que el gas generado durante la medición pueda ser absorbido y disuelto apreciablemente en el agua con que se mide. Para este procedimiento, se disuelven en HCl 0.5 g de carbonato de calcio.

Para la etapa de medición de volumen de CO₂, se pesaron 5 g de la muestra y se colocaron en un matraz kitasato y dentro del mismo se colocó una cápsula magnética, se reemplazó el matraz de la prueba de preparación con el matraz kitasato, conteniendo la muestra de peso conocido. Una vez colocado el matraz, se procedió a hacer reaccionar la muestra con el ácido y, mediante el principio de vasos comunicantes, en que uno se manipula para que el nivel de agua coincida con el del otro que se haya en contacto con CO₂, se obtuvo el volumen de CO₂ liberado. Se tomó la lectura del gas producido, anotando el

volumen de agua desplazado en la bureta graduada; además, se tomó la lectura de la temperatura ambiental y la presión barométrica.

Cálculos:

$$\% \text{ CaCO}_3 \text{ equivalente} = \frac{\text{VolCO}_2 \text{ (ml)}}{\text{gmuestra seca}} * \frac{\text{Presionbarometrica(mmHg)}}{\text{Temperatura(}^\circ\text{C} + 273)} * k$$

Donde:

$$k = \frac{273 * 100}{760 * 224} = 0.1604$$

b) Determinación de la densidad específica por picnometría

Generalmente se piensa que la densidad específica es una relación adimensional, cuando en realidad, debe considerarse como la relación entre dos densidades, la de la sustancia de interés "A" y la correspondiente a la sustancia de referencia. Esto, expresado en símbolos es:

$$\rho = \frac{(\text{kg} / \text{m}^3) " A "}{(\text{kg} / \text{m}^3) " ref "}$$

Normalmente, la sustancia de referencia para los líquidos y los sólidos es el agua. Por lo tanto, la densidad específica es la relación que existe entre la densidad de la sustancia problema y la densidad del agua.

Como la muestra a analizar ya había sido sometida a un tratamiento previo, se procedió a pesar un picnómetro de aproximadamente 25 ml, el cual

se llenó con agua destilada y se volvió a pesar. Tras secar el picnómetro y agregar la muestra hasta que $\frac{1}{4}$ del volumen del mismo fue ocupado, se pesó, luego se llenó lentamente el picnómetro con agua hasta aproximadamente la mitad de su capacidad y se agitó manualmente con cuidado hasta que el agua embebió totalmente la muestra y no quedaron restos de aire. Se terminó de llenar con agua el picnómetro hasta la totalidad del volumen y se dejó reposar por cinco minutos. Transcurrido ese tiempo, se pesó el picnómetro que contenía el material con agua destilada.

La densidad específica y el volumen real se obtuvo de la siguiente forma:

$$p.e = \frac{s - P}{(W - P) - (B - s)}$$

Donde:

P = peso del picnómetro

s = picnómetro con la muestra

W = peso del picnómetro con agua

B = picnómetro con muestra y agua

c) Prensado de la materia prima para la formación de las piezas

Se colocó el material pulverizado (aproximadamente de 2 a 2.6 kg) y se extendió sobre una mesa, se roció el material con agua (en este caso se roció con agua residual) y se procedió a revolver la muestra, se repitió la acción hasta que, al tomar una porción con las manos y ejerciendo presión, se pudiera

compactar. El material en su punto se pasó por una malla abierta y se vació en una cubeta para llevarla a la prensa. Se colocó parte de la muestra en el enrasador sobre la cavidad del dado (se manejaron dos medidas nominales de dado 199.26 mm y 199.51 mm), se prensó primero a 50 bar aproximadamente, para desairar y subirlo después; se prensó utilizando de 150 a 170 bar. Se retiró la pieza prensada.

d) Determinación de la pérdida de peso por ignición

Este método se utiliza para la determinación de la pérdida de peso por ignición que es debida a reacciones que se producen al someter un material a altas temperaturas, a las cuales se generan productos volátiles, tales como CO₂, SO₂, agua estructural, etc.

Para el desarrollo de este método se pesaron 10 gramos de muestra dentro de un crisol que había sido previamente pesado (tarado). Se colocó la muestra dentro del horno, para su calcinado, hasta alcanzar una temperatura de 1060°C. por cinco horas. Después de quemada la muestra se dejó en el horno sin abrir hasta el día siguiente en que se sacó la muestra y se pesó de nuevo, en la balanza electrónica. La pérdida de peso por ignición se calcula como porcentaje en peso, referido al sólido seco, de la siguiente forma:

$$\% \text{ P.P.I} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Donde:

P_i = peso inicial de la muestra

P_f = peso final de la muestra calcinada

e) Determinación de la resistencia a la flexión en piezas de producto terminado

Esta resistencia mecánica es indicativa del grado de indeformabilidad de un material cerámico. La prueba se realiza con piezas de producto terminado, salidas de un horno de producción o de un lote de material en tarimas, tomando un mínimo de 3 piezas. En el crómetro (aparato utilizado para realizar las pruebas de resistencia a la flexión) se selecciona en la pantalla el formato a utilizar, según la lista de funciones; en este caso se dejó en la función 5 que registra la carga máxima aplicada a la pieza hasta el momento de la ruptura (la carga es expresada en kg fuerza). Se ajustaron los soportes de apoyo inferiores de acuerdo con la longitud de la pieza. La distancia del punto de apoyo, hasta el extremo de la pieza, debe ser de 10 mm de cada lado. Se colocó la pieza de prueba y se accionó la palanca que contiene los apoyos. Se anotó la carga que registra la pantalla en el momento de la ruptura de la pieza.

Los cálculos se determinaron de la siguiente forma:

$$d = \frac{3FL}{2bh^2}$$

Donde:

d = es el módulo de ruptura o resistencia a la flexión

F = es la carga requerida para romper la pieza (kg fuerza)

L = es la separación de los rodillos de apoyo (cm)

b = es el ancho de la pieza (cm)

h = es el espesor mínimo de la pieza (en cm, medido después de la prueba, a lo largo del extremo fracturado).

Así como en otros casos existen parámetros de operación, en el de los módulos de ruptura también se manejan valores mínimos, como se describe a continuación:

Cuerpo Rojo	Cuerpo Blanco
Verde 3 kg/cm ²	Verde 5 kg/cm ²
Seco 10 kg/cm ²	Seco 20 kg/cm ²
Cocido 180 kg/cm ²	Cocido 160 kg/cm ²

f) Determinación de las contracciones lineal, parcial y total

La contracción lineal, parcial o total es el efecto físico que sufren las piezas al disminuir su longitud inicial, después de haber sido prensadas, secadas y quemadas. En algunos casos, el efecto puede ser de expansión, por lo cual el valor obtenido se registra como una contracción negativa.

El equipo necesario incluye un vernier, con intervalo de 200, 300 ó 500 mm, y una estufa de gas. La prueba se realizó con piezas prensadas, secadas y

quemadas en el laboratorio, en formatos rectangulares. Se midieron las piezas por su longitud mayor, incluyendo el borde del separador y se calculó el valor promedio. Se tomaron de 1 a 10 piezas recién prensadas y se colocaron en una estufa de secado, por un tiempo de 2 a 3 horas, midiendo las piezas después del secado y anotando sus valores. Luego las piezas se introdujeron al horno de producción, el cual mantuvo valores de temperatura de 1120°C, para cuerpo rojo y 1040°C, para cuerpo blanco. Después de quemadas las piezas, se volvieron a medir y se anotaron sus valores.

Cálculos:

$$Cl = \frac{l_i - l_f}{l_i} * 100$$

Donde:

Cl = contracción lineal (%)

l_i = longitud inicial de la pieza (seca)

l_f = longitud final de la pieza (quemada)

Para calcular la contracción de la(s) pieza(s), de acuerdo con la medida nominal del dado, se tendría:

a) Contracción Parcial (seco)

$$Clp = \frac{l_i - l_s}{l_i} * 100$$

b) Contracción Total (quemado)

$$Cl_t = \frac{l_i - l_f}{l_i} * 100$$

Donde:

Cl_p = contracción lineal parcial (%)

Cl_t = contracción total (%)

l_i = longitud inicial (medida nominal del dado)

l_s = longitud parcial de la pieza (seca)

l_f = longitud total de la pieza (quemada)

g) Determinación de la resistencia a la flexión, de piezas en verde y en seco

Se procedió de la misma forma que en el inciso f, con la diferencia que las piezas están en verde, recién prensadas y sometidas únicamente a secado, a temperaturas aproximadas entre los 90 y los 100°C.

h) Determinación de la absorción de agua en piezas cocidas

La absorción de agua corresponde al porcentaje de porosidad abierto que está presente en el material. El equipo necesario para realizar esta prueba es: una balanza electrónica con capacidad de 2.1 kg, una tina metálica, un marcador indeleble, un mechero y una estufa de gas.

La prueba se realizó con piezas cocidas, siendo necesario que las mismas estuvieran completamente secas. Se pesaron las piezas y se registraron los valores del peso en seco. Se colocaron las piezas en una tina con agua, cuidando que las piezas estuviesen separadas y que no quedaran al ras del fondo, se mantuvieron las piezas dentro del agua hirviendo por espacio de 5 horas. Transcurrido ese tiempo, se interrumpió el calentamiento y se llevó el recipiente a la toma de agua para agregar agua fría y dejarlo reposar por espacio de 30 minutos. Se sacaron las piezas y se quitó el exceso de agua con un paño de tela, las piezas se pesaron y el valor se registró como peso húmedo. Por diferencia de peso se determinó el porcentaje de absorción.

El valor de la absorción de agua se obtiene como sigue:

$$\% \text{ Abs.} = \frac{\text{Pesofinal} - \text{pesoinicial}}{\text{Pesoinicial}} * 100$$

Se recomienda no cortar las piezas para realizar la prueba.

Como se vio en este capítulo, se trató de exponer, en forma general, cada uno de los procedimientos que se siguieron para el desarrollo experimental de este trabajo y así comprender mejor los resultados que se presentarán en el capítulo siguiente.

CAPITULO 5

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

5.1.1 Análisis Químico

El muestreo del agua residual se realizó en las fosas de decantación de la descarga industrial; a esta agua no se le añadió ningún reactivo químico (coagulantes, floculantes). Los análisis se realizaron en muestras compuestas, por lo que se pueden considerar representativos para las aguas de desecho de las tres diferentes fosas de decantación en la planta.

El resultado de los análisis realizados al agua de las fosas de captación, que provienen de las áreas de productos varios, azulejos y preparación de esmaltes, muestran que los niveles de concentración de sólidos sedimentables y de sólidos suspendidos son poco significativos; ello hace factible que esas aguas residuales puedan ser utilizadas en la preparación de las pastas en el proceso de molienda y que los sólidos contenidos en esas aguas pasen a formar parte de la composición de las pastas. La factibilidad de este

procedimiento trae como consecuencia que los sólidos, que de otra manera serían residuos, queden atrapados en el cuerpo cerámico y se evite así todo un procedimiento de disposición apropiado. El atrapamiento de residuos en cuerpos vítreos, cerámicos o de concreto es un tema de moda que cada vez es más practicado. El resultado de los análisis químicos de las fosas de agua residual son mostrados en la tabla 5.1

Tabla 5.1 *Análisis químico del agua residual de las fosas de decantación*

ANÁLISIS QUÍMICO			
Las concentraciones se expresan en mgL ⁻¹			
PARÁMETRO	ESMALTES	PROD. VARIOS	AZULEJOS
pH	8,19	8,31	8,02
Arsénico	0,03	0,13	0,06
Cadmio	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Cianuros	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Cromo	< 0,15	< 0,15	< 0,15
Mercurio	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Niquel	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Plomo	0,66	1,42	< 0,08
Zinc	88,19	136,06	29,81
S.Sedimentables	60.0 mL ⁻¹	25 mL ⁻¹	8.5 mL ⁻¹
S. Suspendidos	6558	4413	2365

La norma define los términos y los criterios que se aplican a diferentes situaciones, agrupándolas según los siguientes conceptos:

CARGA CONTAMINANTE: cantidad de un contaminante expresada en unidades de masa por unidad de tiempo, aportada en una descarga de aguas residuales.

METALES PESADOS Y CIANUROS: son aquellos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana solo se consideran los siguientes: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros.

CUERPO RECEPTOR: son las corrientes, depósitos naturales de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas cuando puedan contaminar al suelo o los acuíferos.

LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE: valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.

Estas, como otras, son las razones por las cuales el reciclar el agua residual en el proceso en vez de ser descargada es una de las alternativas viables para evitar continuar con la contaminación de cuerpos receptores.

5.1.2 RESULTADOS DEL MUESTREO

El objetivo fue la obtención de muestras compuestas, a partir de cada uno de los flujos de agua residual en la planta. Se entiende que una muestra compuesta es la que resulta de mezclar varias muestras simples.

El tiempo que opera el proceso de descarga en la planta es de 24 horas, por lo que se tomaron 6 muestras simples de cada fuente, para obtener la muestra compuesta de cada una de las tres. Por procedimiento se tomaron intervalos de 3 a 4 horas entre cada toma de muestra simple. Los muestreos realizados en las diferentes descargas de agua residual dieron como resultado los valores reportados en las tablas 5.2, 5.3 y 5.4:

Tabla 5.2 *Muestreos realizados en la fosa de decantación del agua proveniente del lavado del área de esmaltes.*

No. de Muestra	Tiempo (Horas)	Volumen de muestra compuesta (L)
1	11:00	1,70
2	15:00	2,98
3	18:45	2,44
4	22:30	2,90
5	3:00	0
6	6:35	2,98

Tabla 5.3 *Muestreos realizados en la fosa de decantación del agua proveniente del lavado del área de azulejos.*

No. de Muestra	Tiempo (Horas)	Volumen de muestra compuesta (L)
1	11:20	1,70
2	15:15	2,98
3	19:00	2,44
4	22:45	2,90
5	2:45	0
6	6:20	2,98

Tabla 5.4 *Muestras realizadas en la fosa de decantación del agua proveniente del lavado del área de productos varios.*

No. de Muestra	Tiempo (Horas)	Volumen de muestra compuesta (L)
1	11:00	1,70
2	15:00	2,98
3	18:45	2,44
4	22:30	2,90
5	3:00	0
6	6:35	2,98

5.1.3 AFOROS DE LAS DESCARGAS

Los resultados obtenidos en los aforos, que fueron realizados mediante un método que utiliza la fórmula de Manning, se presentan resumidos en las tablas 5.5, 5.6 y 5.7 y las figuras 5.1, 5.2 y 5.3 representan las variaciones de los flujos durante el día.

Tabla 5.5 *Flujos medidos en la fosa de decantación del agua proveniente del lavado del área de esmaltes.*

No. de Muestra	Tiempo (Horas)	Flujos (LPS)
1	11:00	1,3
2	15:00	0,71
3	18:45	0,87
4	22:30	1,0
5	3:00	0,0
6	6:35	0,71

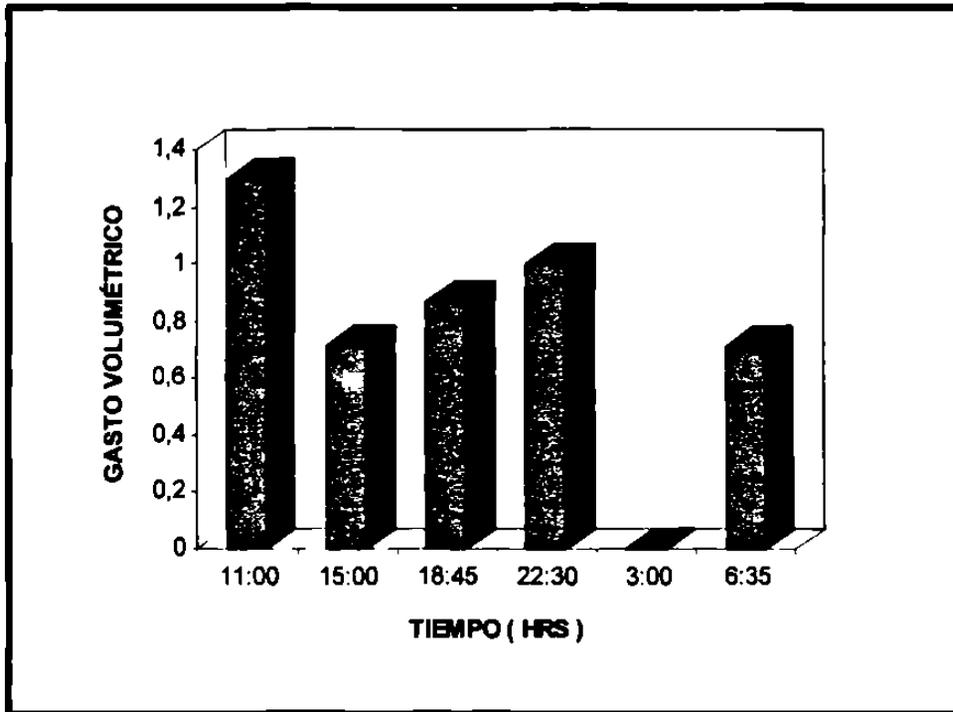


Figura 5.1 Representación del gasto volumétrico frente al tiempo en la fosa de decantación del agua proveniente del lavado del área de esmaltes.

Tabla 5.6 Flujos medidos en la fosa de decantación del agua proveniente del lavado del área de azulejos

No. de Muestra	Tiempo (Horas)	Flujo (LPS)
1	11:20	1,01
2	15:15	0,55
3	19:00	0,68
4	22:45	0,87
5	2:45	0,0
6	6:20	0,55

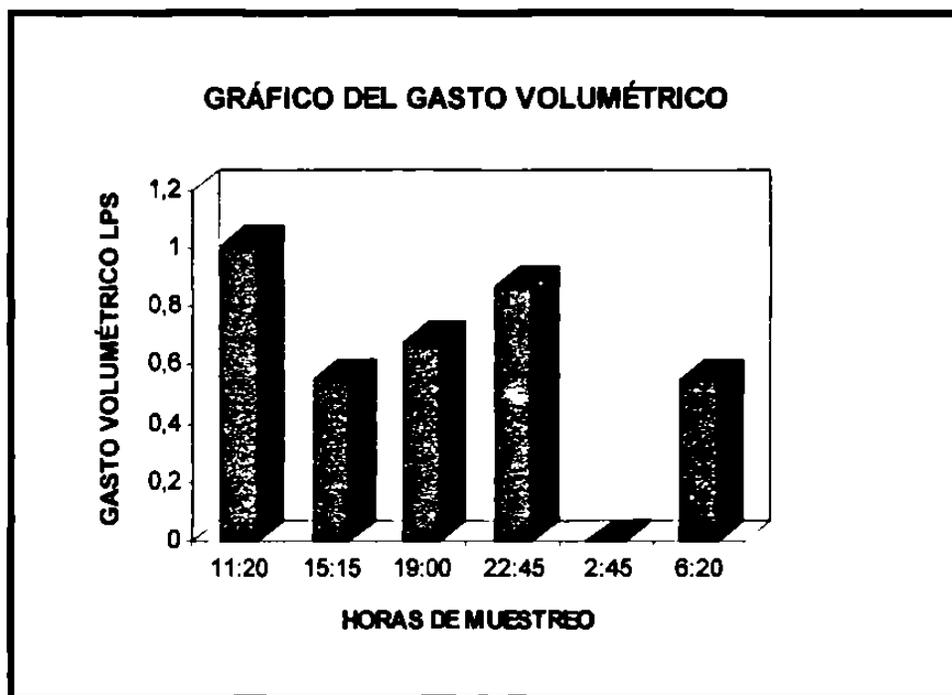


Figura 5.2 Representación del gasto volumétrico frente al tiempo en la fosa de decantación del agua proveniente del lavado del área de azulejos

Tabla 5.7 Flujos medidos en la fosa de decantación del agua proveniente del lavado del área de productos varios

No. de Muestra	Tiempo (Horas)	Flujo (LPS)
1	11:55	1.09
2	15:30	1.09
3	19:20	0.74
4	23:20	0.74
5	3:20	1.09
6	7:00	0.55

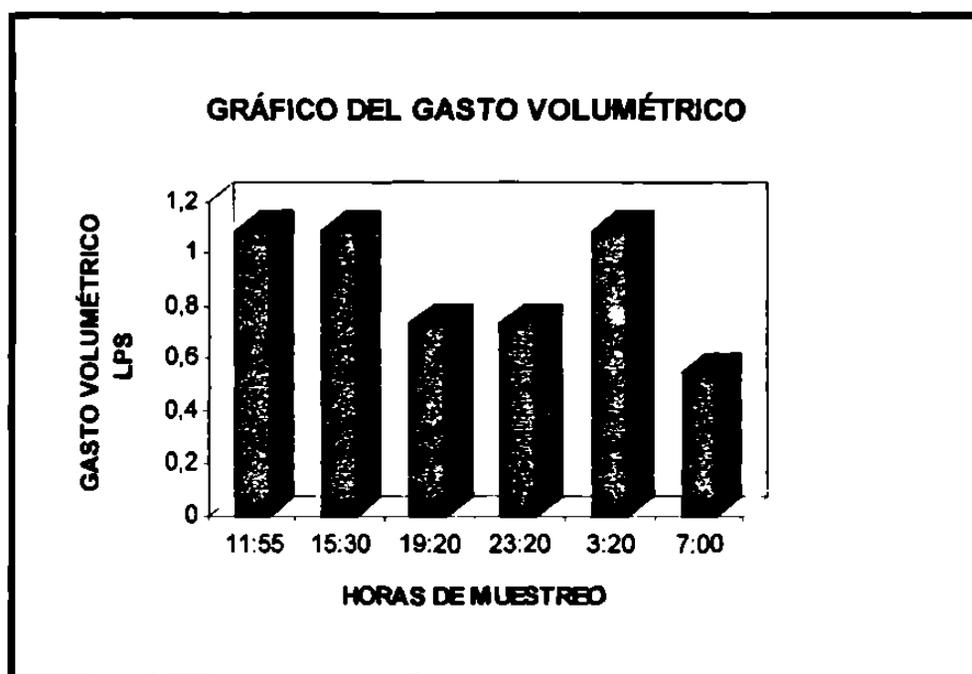


Figura 5.3 Representación del gasto volumétrico frente al tiempo en la fosa de decantación del agua proveniente del lavado del área de productos varios.

De los aforos realizados a las tres fosas de decantación puede observarse cómo los flujos varían de acuerdo con los horarios y con las diversas actividades realizadas en las líneas de esmaltado y molienda. Se observa que en ningún momento los flujos pueden considerarse estables; pero sí se pueden determinar horas pico de descargas. En la tabla 5.8 se presenta un resumen de los caudales con sus valores máximos, mínimos y medios, junto con el tiempo de medición o aforo.

Tabla 5.8 *Resumen de los resultados de los aforos hechos a las tres diferentes fosas de decantación.*

FOSA DE PRODUCTOS VARIOS	
Fecha del muestreo y aforo:	23 y 24 de Septiembre de 1998
Tiempo total del aforo	24 horas
Flujo máximo	1.09 LPS
Flujo mínimo	0.55 LPS
Flujo medio	0.88 LPS
FOSA DE ESMALTES	
Fecha del muestreo y aforo:	23 y 24 de Septiembre de 1998
Tiempo total del aforo	24 horas
Flujo máximo	1.3
Flujo mínimo	0.0 LPS
Flujo medio	0.77
FOSA DE AZULEJOS	
Fecha del muestreo y aforo:	23 y 24 de Septiembre de 1998
Tiempo total del aforo	24 horas
Flujo máximo	1.01 LPS
Flujo mínimo	0.55 LPS
Flujo medio	0.61 LPS

En las tablas 5.9, 5.10 y 5.11 se presentan los resultados obtenidos al aplicar el método de aforo volumétrico con fines de comparación frente al método que utiliza la fórmula de Manning. Las figuras 5.4, 5.5 y 5.6 muestran de forma esquemática las variaciones de flujo ocurridas para diferentes períodos de medición.

Tabla 5.9 Gastos determinados en la fosa de productos varios a través del método volumétrico.

Tiempo (min.)	Altura (m)	Volumen (m ³)	Gasto (LPS)
45	0,25	2,68	1,0
120	0,58	6,23	0,86
180	0,68	7,31	0,66
315	1 0	10,75	0,56

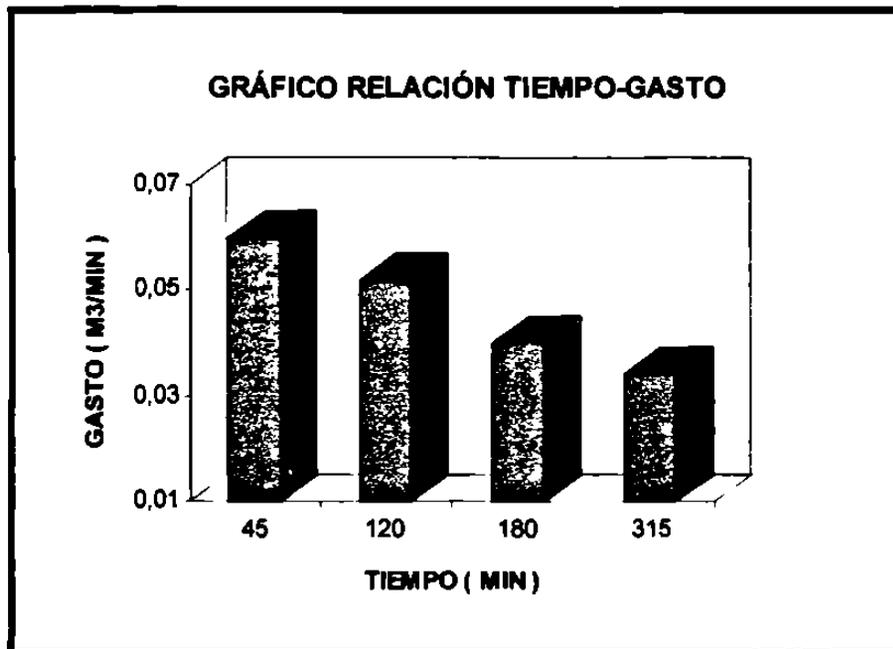


Figura 5.4 Gastos medios en la fosa de productos varios para diferentes períodos de medición.

Tabla 5.10 Gastos determinados en la fosa de azulejos a través del método volumétrico

Tiempo (min.)	Altura (m)	Volumen (m ³)	Gasto (LPS)
135	0.27	4.73	0.58
110	0.27	4.73	0.72
140	0.27	4.73	0.56

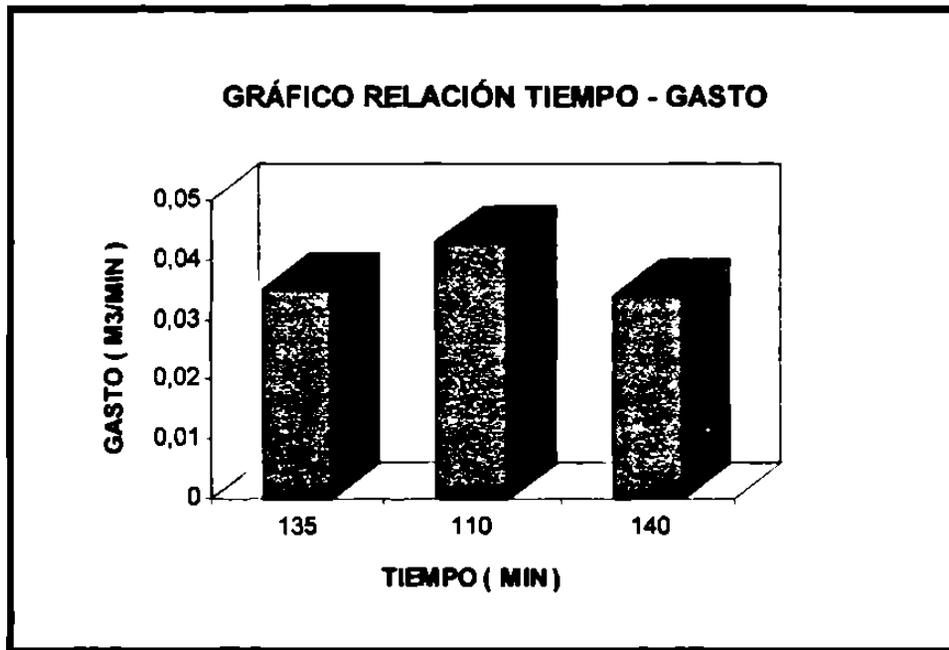


Figura 5.5 Gastos medios en la fosa de azulejos para diferentes períodos de medición.

Tabla 5.11 Gastos determinados en la fosa de esmaltes a través del método volumétrico

Tiempo (min.)	Altura (m)	Volumen (m3)	Gasto (LPS)
120	0.30	5.0	0.68
140	0.30	5.0	0.60
180	0.30	5.0	0.46

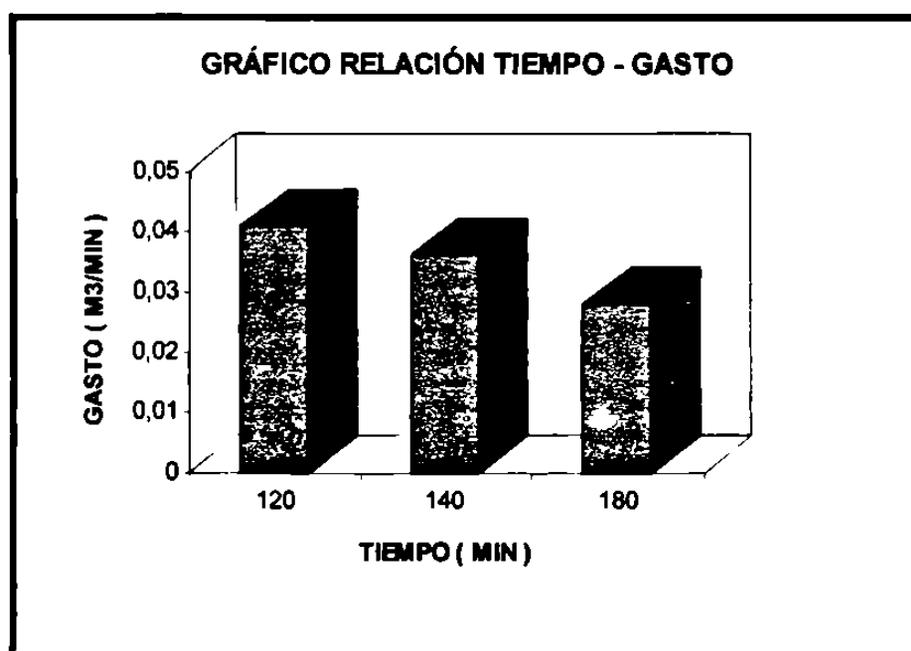


Figura 5.6 Gastos medios en la fosa de esmaltes para diferentes períodos de medición.

En la tabla 5.12 y la figura 5.7 se presentan los flujos promedios obtenidos con el método que utiliza la fórmula de Manning y el método volumétrico. Puede notarse que las diferencias entre uno y otro pueden ser considerables debido a que la generación de agua residual está supeditada a factores humanos de uso de agua. Ambos métodos pueden producir valores

idénticos, si el primero se aplica el mayor número de veces posibles durante el día o si el segundo se efectúa en períodos prolongados.

Tabla 5.12 *Flujos promedio obtenidos por la aplicación de dos diferentes métodos de medición.*

DESCARGA DE:	FLUJOS PROMEDIOS (LPS)	
	MANNING	VOLUMÉTRICO
Productos varios (PV)	0,88	0,56
Prep. Esmaltes (PE)	0,77	0,46
Azulejos (A)	0,61	0,56

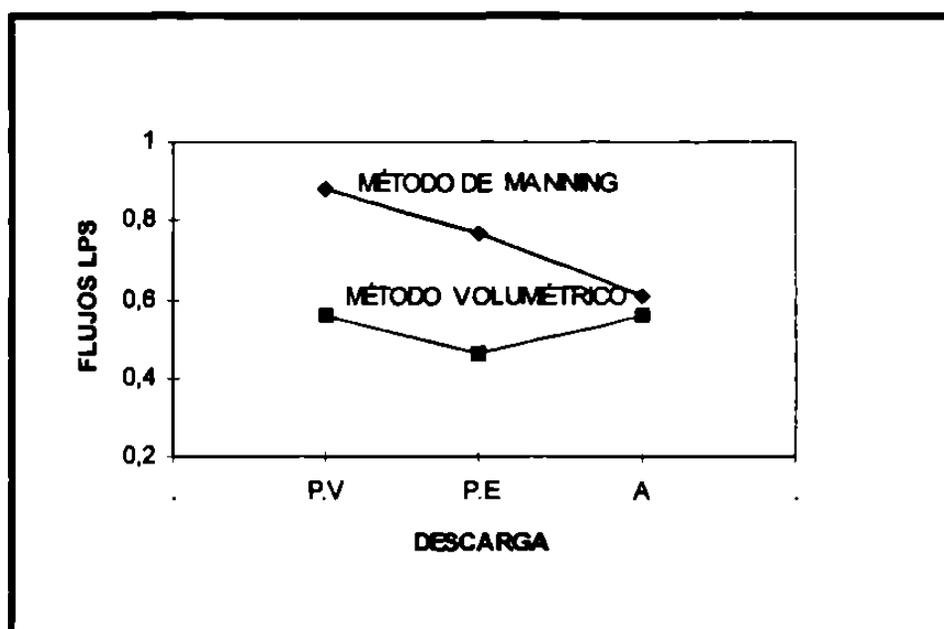


Figura 5.7 *Comparación de los resultados de los flujos promedio de las descargas obtenidos por dos métodos de medición.*

Estos datos llevaron a considerar que, en promedio general, se está descargando un gasto de 1.92 LPS, esto es 165.88 m³/día totalizado para las tres fosas. Este volumen se podrá distribuir de acuerdo con las necesidades de cada área de molienda de pastas de la planta y procurar así un ahorro de agua limpia en el proceso.

5.2 ESTUDIO DEL EFECTO DEL AGUA RESIDUAL SOBRE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

5.2.1 PROPIEDADES EN CRUDO DE LAS COMPOSICIONES

De acuerdo con los ensayos de laboratorio, las tablas 5.13, 5.14, 5.15 y 5.16 muestran las densidades, viscosidades, porcentajes de residuo en malla 200 y porcentajes de sólidos determinados a las cuatro composiciones de barbotina preparadas con cuatro diferentes tipos de agua. Además, se muestran gráficamente los resultados de cada uno de estos ensayos.

Tabla 5.13 *Densidades en crudo de las diferentes composiciones ensayadas*

FORMULACIÓN CON AGUA:	DENSIDAD (g / cm ³)	
	CUERPO ROJO	CUERPO BLANCO
Industrial (A1)	1,67	1,59
Fosa de productos varios	1,62	1,55
Fosa de preparación de esmaltes	1,66	1,58
Fosa de azulejos	1,66	1,56

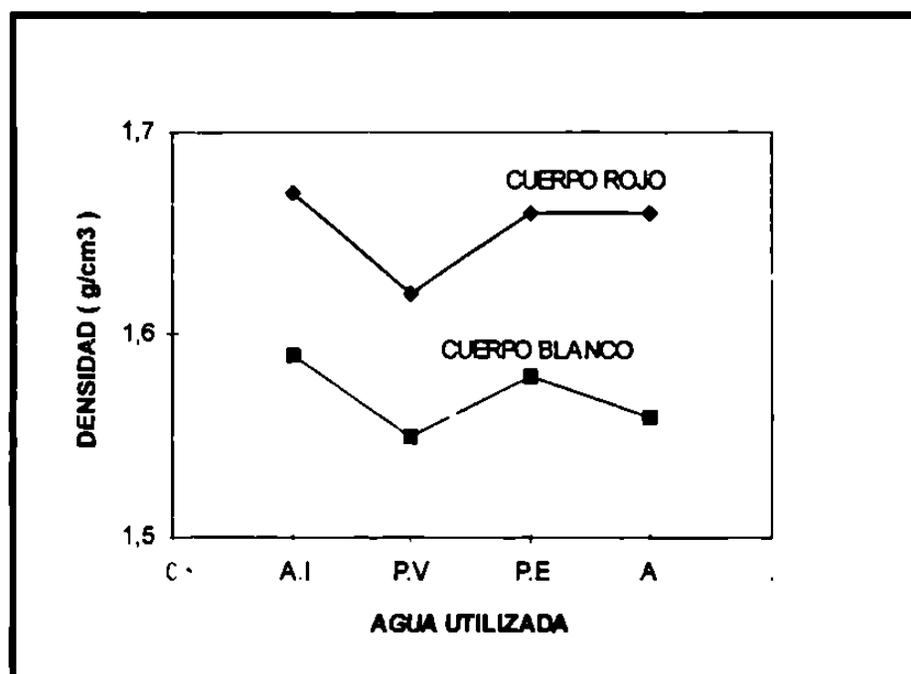


Figura 5.8 Representación gráfica de las densidades en las composiciones de cuerpo rojo y blanco en función del agua utilizada.

Antes de proseguir con el resto de las tablas y gráficas antes anunciadas, es necesario señalar que al agua industrial se le tomó como la referencia frente a la cual se comparan el agua residual proveniente de tres diferentes fuentes dentro de la planta. Ello implica que al agua industrial se le adjudica un estándar de calidad mayor que a las otras que no son previamente tratadas.

Tabla 5.14 Viscosidad de las diferentes composiciones ensayadas en crudo

FORMULACIÓN CON AGUA:	VISCOSIDAD (seg./copa for)	
	CUERPO ROJO	CUERPO BLANCO
Industrial	32	25
Fosa de productos varios	72	75
Fosa de preparación de esmaltes	85	86
Fosa de azulejos	77	35

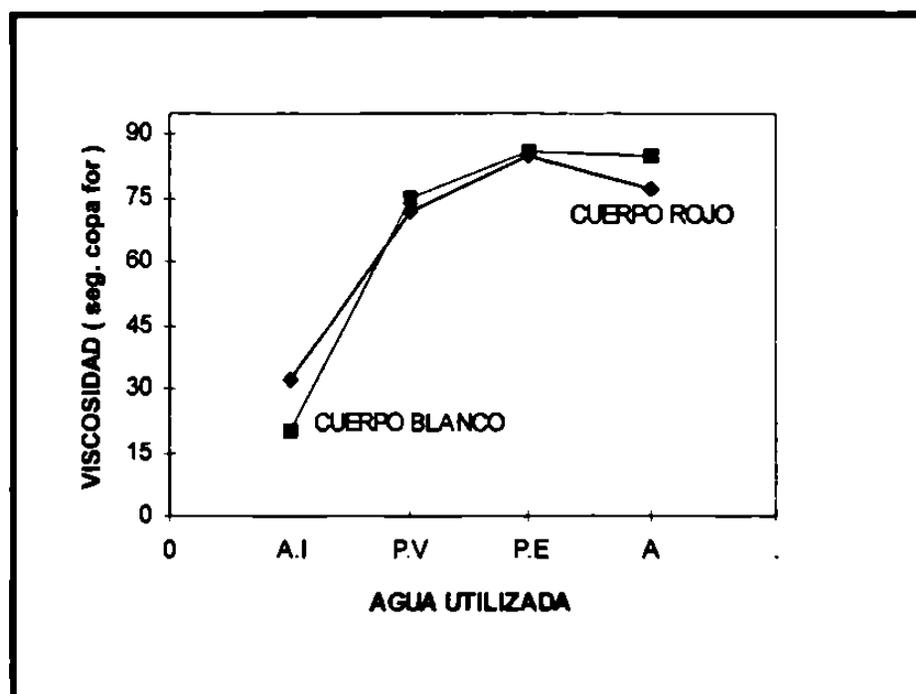


Figura 5.9 Representación gráfica de las viscosidades en las composiciones de cuerpo rojo y blanco en función del agua utilizada.

Tabla 5.15 *Porcentajes de residuo en malla 200 de las diferentes composiciones ensayadas en crudo.*

FORMULACIÓN CON AGUA:	PORCENTAJE RESIDUO EN MALLA 200	
	CUERPO ROJO	CUERPO BLANCO
Industrial	10,3	6,4
Fosa de productos varios	13,6	8,5
Fosa de preparación de esmaltes	10,6	8,8
Fosa de azulejos	11,8	9,8

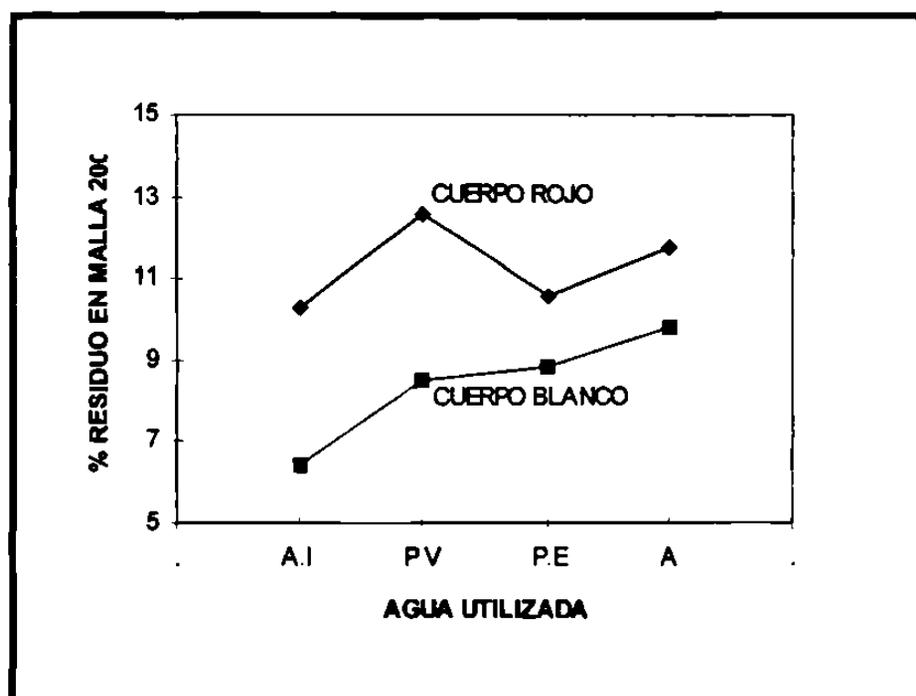


Figura 5.10 *Representación gráfica de los porcentajes de residuo en malla 200 en las composiciones de cuerpo rojo y blanco en función del agua utilizada.*

Tabla 5.16 *Porcentaje de sólidos en las diferentes composiciones ensayadas en crudo*

FORMULACIÓN CON AGUA:	PORCENTAJE DE SÓLIDOS	
	CUERPO ROJO	CUERPO BLANCO
Industrial	63,0	60,0
Fosa de productos varios	60,0	63,0
Fosa de preparación de esmaltes	57,0	63,0
Fosa de azulejos	55,0	61,0

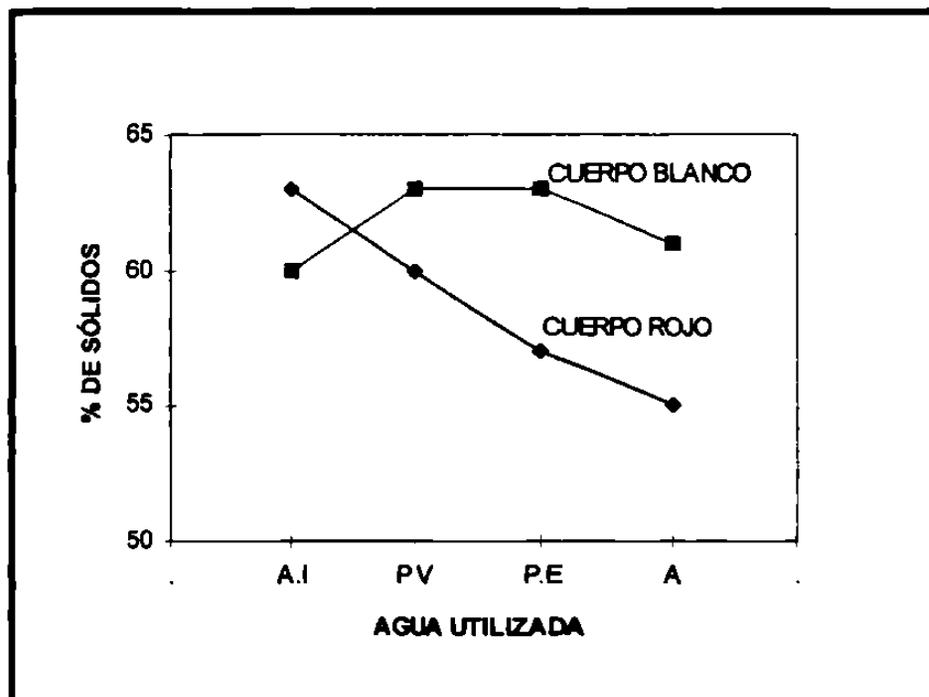


Figura 5.11 *Representación gráfica del porcentaje de sólidos en las composiciones de cuerpo rojo y blanco en función del agua utilizada.*

De estos resultados se desprende que no se han producido variaciones considerables en el comportamiento de las pastas durante su proceso en crudo al sustituir totalmente el agua industrial de amasado por agua residual, a excepción de la viscosidad cuyos valores, aunque semejantes en las barbotinas preparadas con aguas residuales, se muestran superiores a los obtenidos con agua industrial. El efecto de ello se podría manifestar en el manejo o manipulación de las barbotinas, aunque durante las pruebas posteriores no se reportaron problemas en ese sentido.

5.2.2 PROPIEDADES EN COCIDO DE LAS COMPOSICIONES

En las tablas 5.17 y 5.18 se detallan los resultados obtenidos en los ensayos realizados a las cuatro composiciones estudiadas antes de ser prensadas. Las pruebas efectuadas fueron porcentaje de carbonatos y densidad específica medida por picnometría. Las figuras 5.12 y 5.13 muestran estos resultados de manera gráfica.

Tabla 5.17 *Determinación del porcentaje de carbonatos en el cuerpo o soporte.*

FORMULACIÓN CON AGUA:	% DE CARBONATOS	
	CUERPO ROJO	CUERPO BLANCO
Industrial	0,5	1,1
Fosa de productos varios	1,8	3,2
Fosa de preparación de esmaltes	1,2	3,2
Fosa de azulejos	2,0	4,0

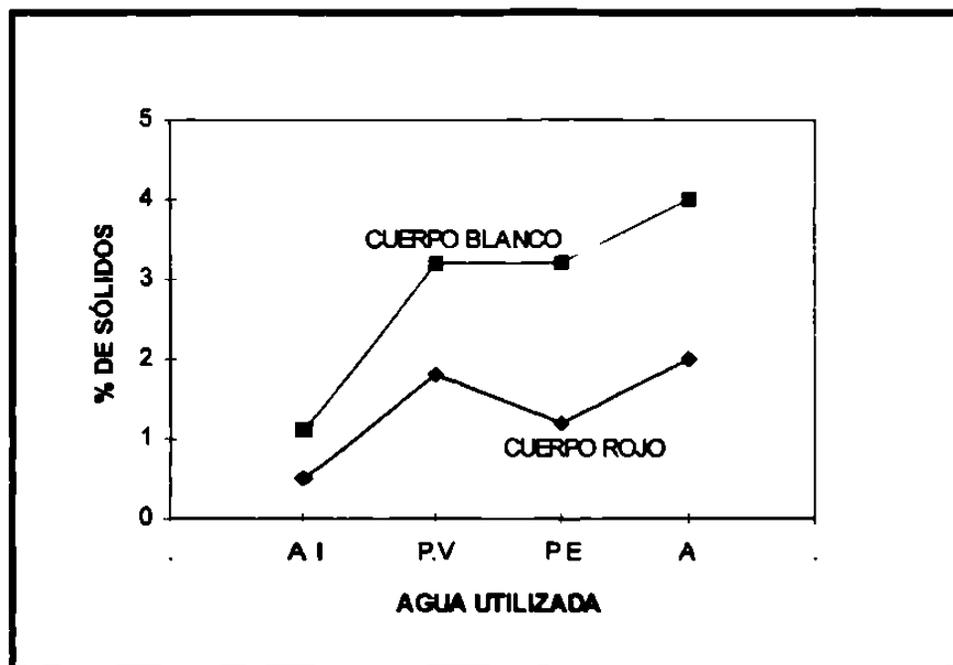


Figura 5.12 *Porcentaje de carbonatos en función del agua utilizada en las composiciones de cuerpo rojo y blanco.*

Tabla 5.18 *Determinación de densidades específicas de las composiciones, medidas por picnometría.*

FORMULACIÓN CON AGUA:	DENSIDAD (g/cm ³)	
	CUERPO ROJO	CUERPO BLANCO
Industrial	2,68	2,60
Fosa de productos varios	2,54	2,65
Fosa de preparación de esmaltes	2,80	2,58
Fosa de azulejos	2,70	2,61

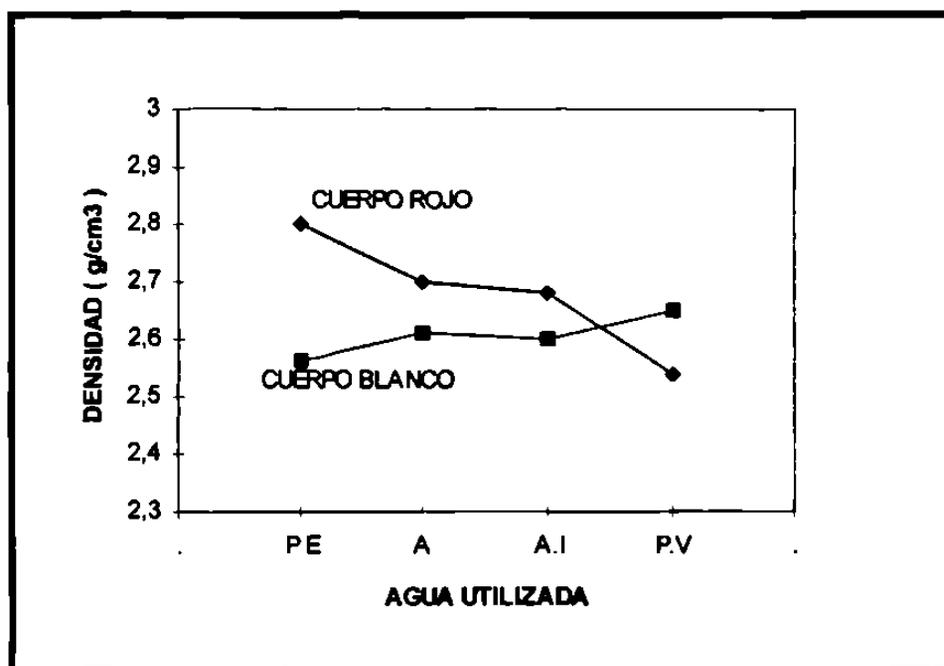


Figura 5.13 *Densidades específicas en función del agua utilizada en las composiciones de cuerpo rojo y blanco.*

De los resultados obtenidos de las diferentes pruebas realizadas a las cuatro composiciones se concluye que no existen variaciones apreciables en

las propiedades del soporte de cuerpo rojo y blanco adjudicables al tipo de agua utilizada para su preparación.

5.2.3 PROPIEDADES EN EL COCIDO DE LAS COMPOSICIONES COMO PIEZAS PRENSADAS

En las tablas 5.19, 5.20, 5.21, 5.22, 5.23, 5.24 y 5.25 se reflejan los resultados de los análisis efectuados a las piezas ya prensadas, en verde, seco y quemadas. Las piezas con las tres composiciones fueron quemadas en el horno industrial, a fin de conservar, en la medida de lo posible las condiciones reales de operación.

Esta porción de las pruebas de laboratorio es posiblemente la más importante del proyecto; pues en ella se evalúan las propiedades de los materiales como salen a las etapas de acabado o de almacén y mercado. Algunas variaciones marcadas en las piezas, con respecto a las características obtenidas durante su elaboración con agua industrial, podrían influir en la decisión de reutilizar las aguas residuales en el proceso de molienda.

Los ensayos efectuados fueron: resistencia a la flexión en verde, seco y quemadas, contracción total y parcial de piezas en verde, seco y quemadas, pérdida de peso por ignición y porcentaje de absorción de agua.

Tabla 5.19 Resistencia a la flexión de piezas en verde

FORMULACIÓN CON AGUA:	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Kg/cm ²	
	CUERPO ROJO	CUERPO BLANCO
Industrial	10,1	6,8
Fosa de productos varios	12.1	6.5
Fosa de preparación de esmaltes	13.0	7.6
Fosa de azulejos	11.7	8.0

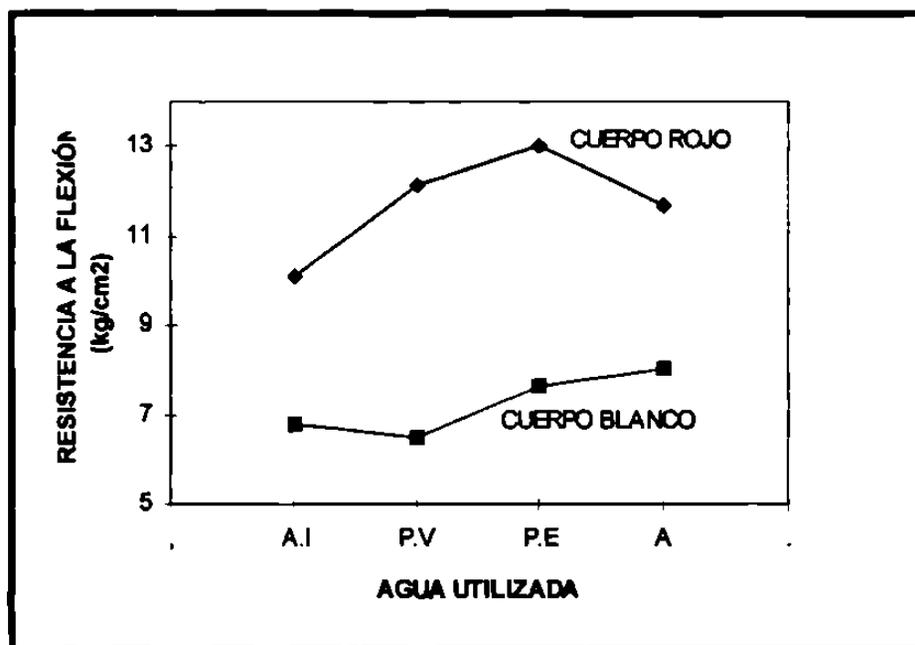


Figura 5.14 Gráfica de la resistencia a la flexión de las piezas en verde en función del agua utilizada.

Tabla 5.20 Resistencia a la flexión de piezas en seco

FORMULACIÓN CON AGUA:	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Kg/cm ²	
	CUERPO ROJO	CUERPO BLANCO
Industrial	24,20	28,60
Fosa de productos varios	21.93	21.93
Fosa de preparación de esmaltes	13.00	24.63
Fosa de azulejos	11.70	25.07

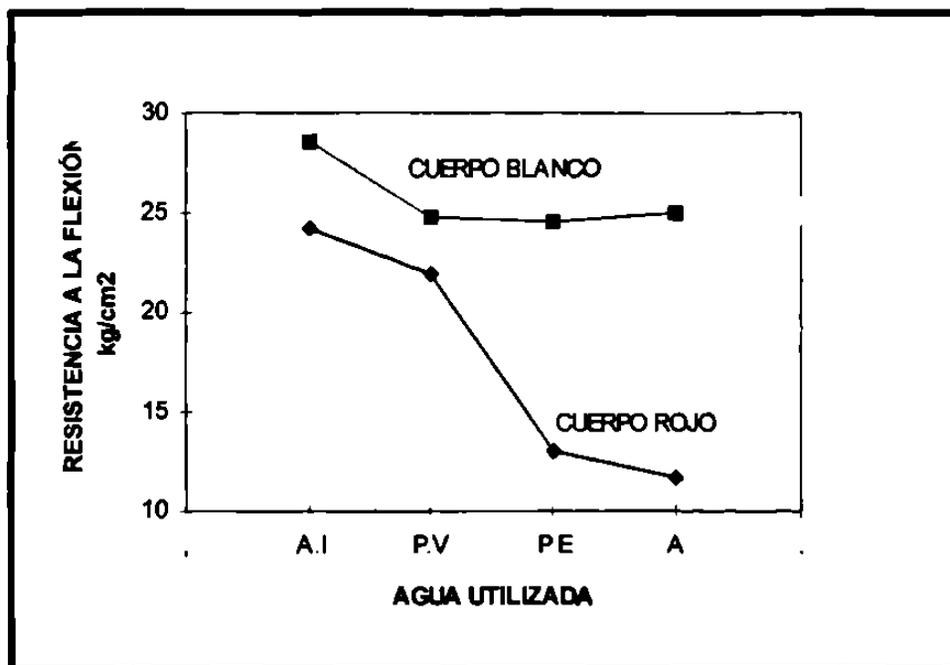


Figura 5.15 Gráfica de la resistencia a la flexión de las piezas en seco en función del agua utilizada.

Tabla 5.21 Resistencia a la flexión de piezas quemadas

FORMULACIÓN CON AGUA:	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Kg/cm ²	
	CUERPO ROJO	CUERPO BLANCO
Industrial	349.00	205.50
Fosa de productos varios	367.03	289.29
Fosa de preparación de esmaltes	321.92	281.32
Fosa de azulejos	395.65	225.81

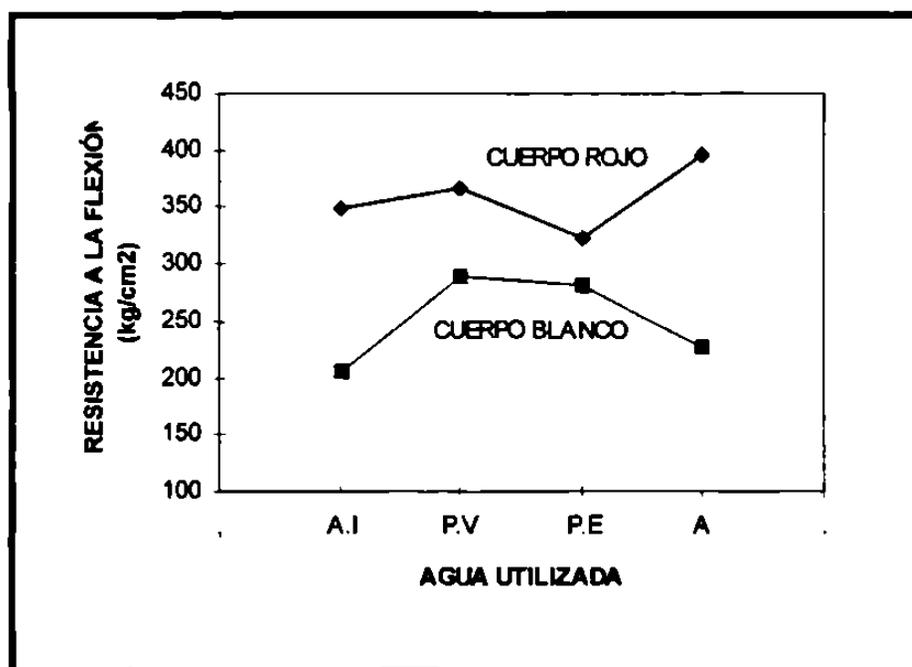


Figura 5.16 Gráfica de la resistencia a la flexión de las piezas quemadas en función del agua utilizada.

Tabla 5.22 *Contracción parcial de piezas en verde*

FORMULACIÓN CON AGUA:	CONTRACCIÓN PARCIAL (%)	
	CUERPO ROJO	CUERPO BLANCO
Industrial	0.28	0.38
Fosa de productos varios	0.30	0.42
Fosa de preparación de esmaltes	0.25	0.33
Fosa de azulejos	0.30	0.30

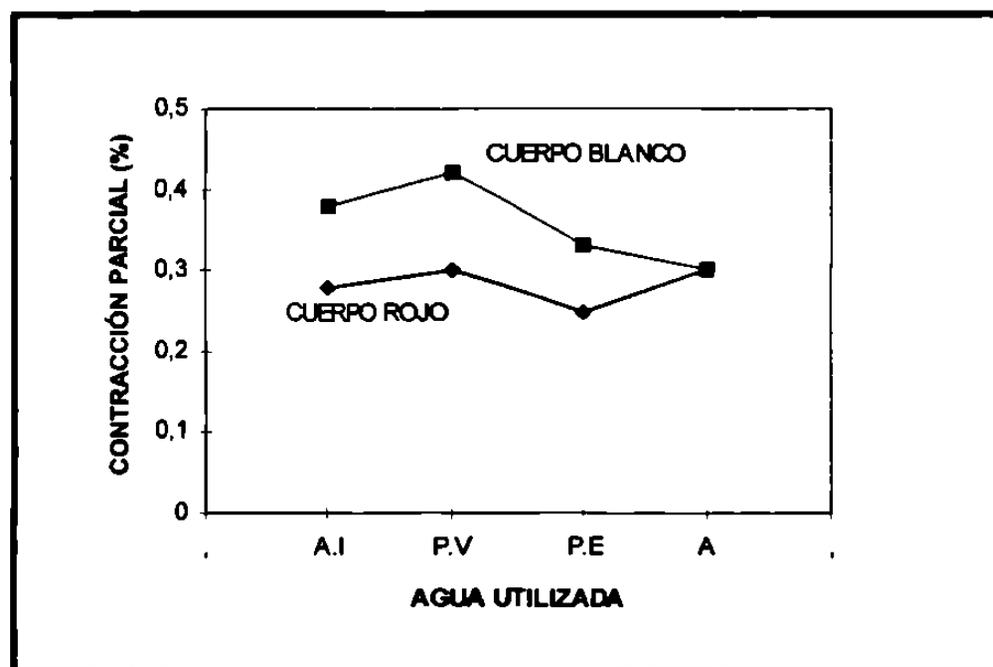


Figura 5.17 *Gráfica de la contracción parcial de las piezas en verde en función del agua utilizada.*

Tabla 5.23 *Contracción total de piezas quemadas*

FORMULACIÓN CON AGUA:	CONTRACCIÓN TOTAL (%)	
	CUERPO ROJO	CUERPO BLANCO
Industrial	4.6	0.30
Fosa de productos varios	4.3	0.68
Fosa de preparación de esmaltes	4.1	0.48
Fosa de azulejos	4.4	0.56

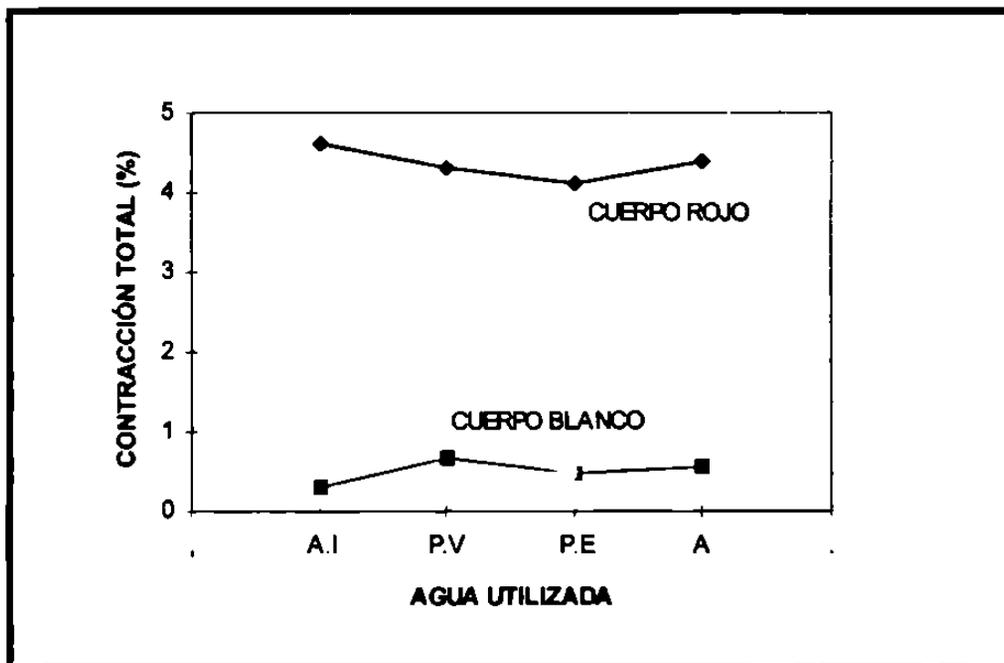


Figura 5.18 *Gráfica de la contracción total de las piezas quemadas en función del agua utilizada.*

Tabla 5.24 *Perdida de peso por ignición*

FORMULACIÓN CON AGUA:	PERDIDA DE PESO (%)	
	CUERPO ROJO	CUERPO BLANCO
Industrial	5.0	8.0
Fosa de productos varios	5.0	7.0
Fosa de preparación de esmaltes	4.0	8.0
Fosa de azulejos	3.0	8.0

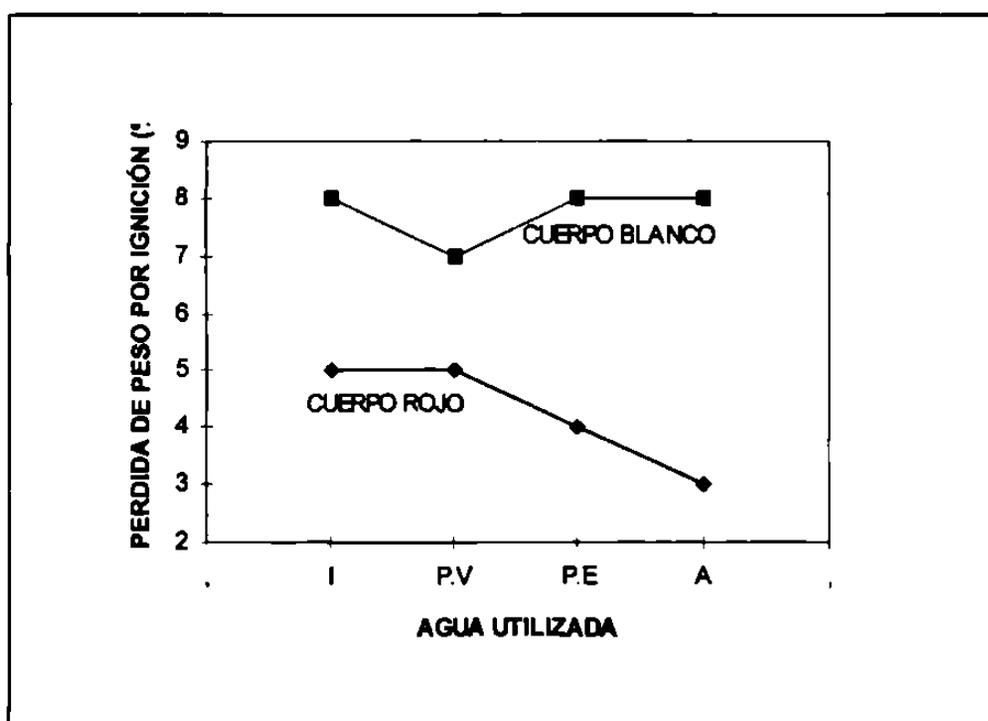


Figura 5.19 *Gráfica de la pérdida de peso por ignición en función del agua utilizada.*

Tabla 5.25 Porcentaje de absorción de agua en piezas cocidas

FORMULACIÓN CON AGUA:	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (%)	
	CUERPO ROJO	CUERPO BLANCO
Industrial	4.3	13.7
Fosa de productos varios	6.3	12.4
Fosa de preparación de esmaltes	5.5	11.6
Fosa de azulejos	5.6	13.5

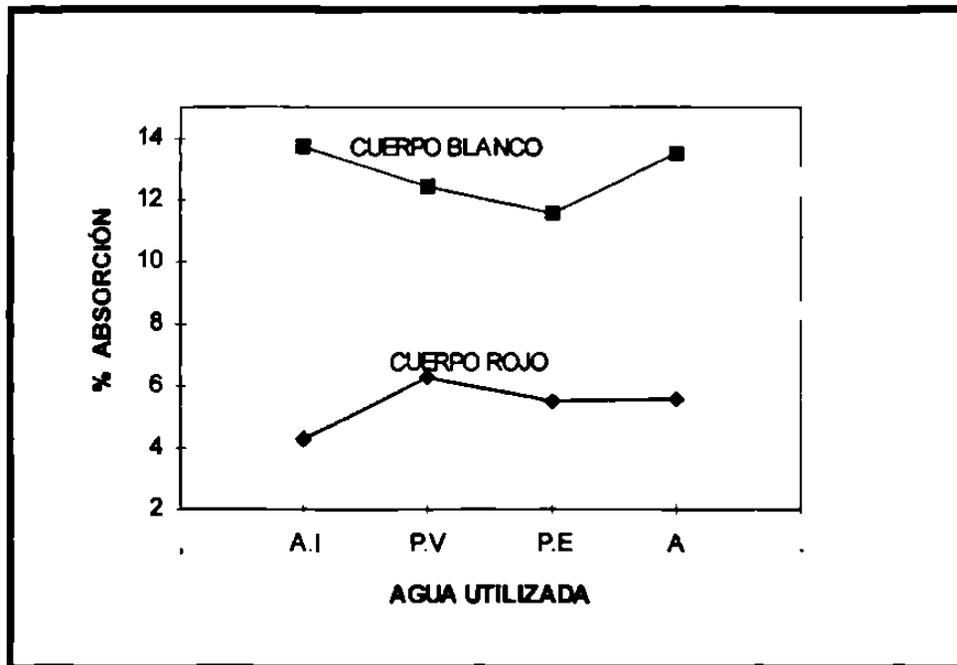


Figura 5.20 Gráfica del porcentaje de absorción de agua en función del agua utilizada.

Del análisis de los resultados obtenidos se desprende que no se han producido variaciones significativas en el comportamiento de las diferentes piezas prensadas al sustituir totalmente el agua industrial por aguas residuales.

Las muestras prensadas que se prepararon con las diferentes aguas residuales tuvieron valores muy similares a las piezas prensadas y preparadas con agua industrial, por lo que se puede apreciar que el hecho de utilizar el agua residual en la preparación del cuerpo cerámico no influye de forma negativa a la misma, antes bien deben señalarse casos reportados en las tablas y gráficas en los que las propiedades fueron incluso mejoradas.

En consecuencia, los resultados obtenidos en este trabajo justifican como apropiado un diseño para la reutilización de las aguas residuales en el proceso de fabricación cerámica.

CAPÍTULO 6

PROPUESTA DE REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

6.1 INTRODUCCIÓN

La importancia del agua en la industria cerámica es fundamental. El agua se halla presente en la preparación de las materias primas utilizadas en pastas de diferentes composiciones. Por ejemplo, en el proceso de fabricación de ladrillos y revestimientos cerámicos el agua representa alrededor del 7% en peso de las pastas con que se fabrica el material de soporte. Existen otros usos y necesidades de agua en las diferentes etapas del proceso, en donde sobresale la demanda impuesta por las operaciones de lavado en las líneas de esmaltado en diferentes turnos o entre operaciones de elaboración de diferentes productos.

En este capítulo se abordará el problema del balance de agua para una planta de producción de pastas cerámicas esmaltadas con solo una operación de cocción, se analizará la demanda de agua en las dos principales etapas y se argumentará que el uso directo de las aguas de desecho en la operación de molienda en húmedo es una opción segura desde el punto de vista de las propiedades de las pastas y de los productos terminados, así como también

económica pues se descarta la operación de depuración de esas aguas y con ello la generación de desechos sólidos que en este caso habrán de quedar atrapados en el material del soporte. Finalmente, se presentará el diagrama de flujo del agua para el proceso en lo global.

6.2 BALANCE DE AGUA

La mejor manera de representar los diferentes usos del agua y también las diferentes fuentes de agua de desecho en una instalación industrial es mediante un balance hídrico o balance de agua, el cual puede ser elaborado a partir de mediciones directas de los flujos o caudales en donde ello sea posible, junto con cálculos que tomen como información el contenido de agua en los materiales sólidos y en las pastas. Generalmente, la cantidad de agua que sale de un proceso es fácil de medir si se recurre a una medición de caudal; pero cuando los materiales son sometidos a cocción, el agua sale del proceso por evaporación y en esa forma se dificulta su medición, resultando más fácil estimarla o calcularla a partir de los cambios de masa que sufren los materiales, por calentamiento o cocción.

Para una planta de productos cerámicos pueden establecerse con relativa facilidad las cantidades de agua utilizada y las salidas en ciertas etapas del proceso. Así, para ejemplificar acerca de las cantidades utilizadas, la preparación de barbotinas o pastas requiere, por razones de manejo y manipulación que el material tenga un contenido de agua establecido dentro de

límites relativamente estrictos bien conocidos. Por otro lado, para ejemplificar acerca de las aguas que salen del proceso, durante la cocción del material el agua se pierde por evaporación; pero es posible calcular las cantidades a partir del conocimiento del porcentaje de humedad en el material de arribo. No obstante, existen otras etapas en las que no es fácil establecer los volúmenes utilizados de agua con precisión, como es el caso de las áreas de lavado.

Las operaciones de lavado en las líneas de esmaltado son efectuadas manualmente y, debido a sus características, difícilmente pueden ser controladas. El lavado se requiere para acondicionar el equipo en cada cambio de turno y producción, sobre todo si se desea evitar la contaminación por color entre un lote y el siguiente. La percepción de limpieza y el procedimiento del lavado cambian de un operador a otro, de tal manera que hasta factores humanos influyen en la cantidad de agua utilizada en las operaciones de lavado.

La figura 6.1, muestra en forma esquemática el balance de agua simplificado para una planta que produce piezas esmaltadas con la etapa de molienda en húmedo y solo una cocción. Las líneas con diferente sombreado indican los flujos o caudales principales de agua y el número reportado es el volumen de agua utilizado, en litros, por metro cuadrado de superficie de producto manufacturado.

El volumen de agua de lavado en la etapa de esmaltado (15 litros/m²) es

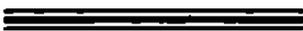
sólo indicativo para efectos de balance de masa. De hecho, el agua de lavado es la principal demanda impuesta por la etapa de esmaltado y es a su vez la principal contribución al caudal de aguas de desecho de la planta completa.

Debido a la naturaleza de la operación de lavado, la cantidad de agua oscila entre 10 y 20 litros/m², en el peor de los casos; reduciéndose el margen a 12 y 18 litros/m² si se ejerce algún tipo de control durante los lavados. De todas maneras, nótese que ese volumen medio indicativo de 15 litros/m² es idéntico al requerido para la operación de molido y formulación de la pasta para soporte. Los volúmenes o caudales menores son requeridos para las etapas de preparación de esmaltes y de prensado con 1.5 y 0.5 litros/m², respectivamente.

La figura 6.1 es altamente ilustrativa de los números típicos encontrados en las diferentes líneas de caudal de agua en este tipo de plantas de productos cerámicos. Por ejemplo, los 15 litros/m² requeridos en la molienda son evaporados en la subsecuente etapa de atomizado, mientras que los relativamente altos volúmenes consumidos en la operación de lavado dentro del área de esmaltado son prácticamente los mismos que llegan como aguas de desecho al tratamiento de depuración, es decir, 15 litros/m² contra 15,7 litros/m². De la última cantidad se separan y eliminan, por depurado, los sólidos sedimentables que, como antes se dijo, contienen en su mayor parte residuos de esmaltes crudos y cocidos y otros componentes relacionados con las

materias primas que consume el proceso (24).

Indicador para las figuras 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4

	AGUA DE ACUEDUCTO O POZO
	AGUA DEL MATERIAL
	AGUA EVAPORADA
	AGUA DE DESECHO
	AGUA DEPURADA
	AGUA EN LOS LODOS

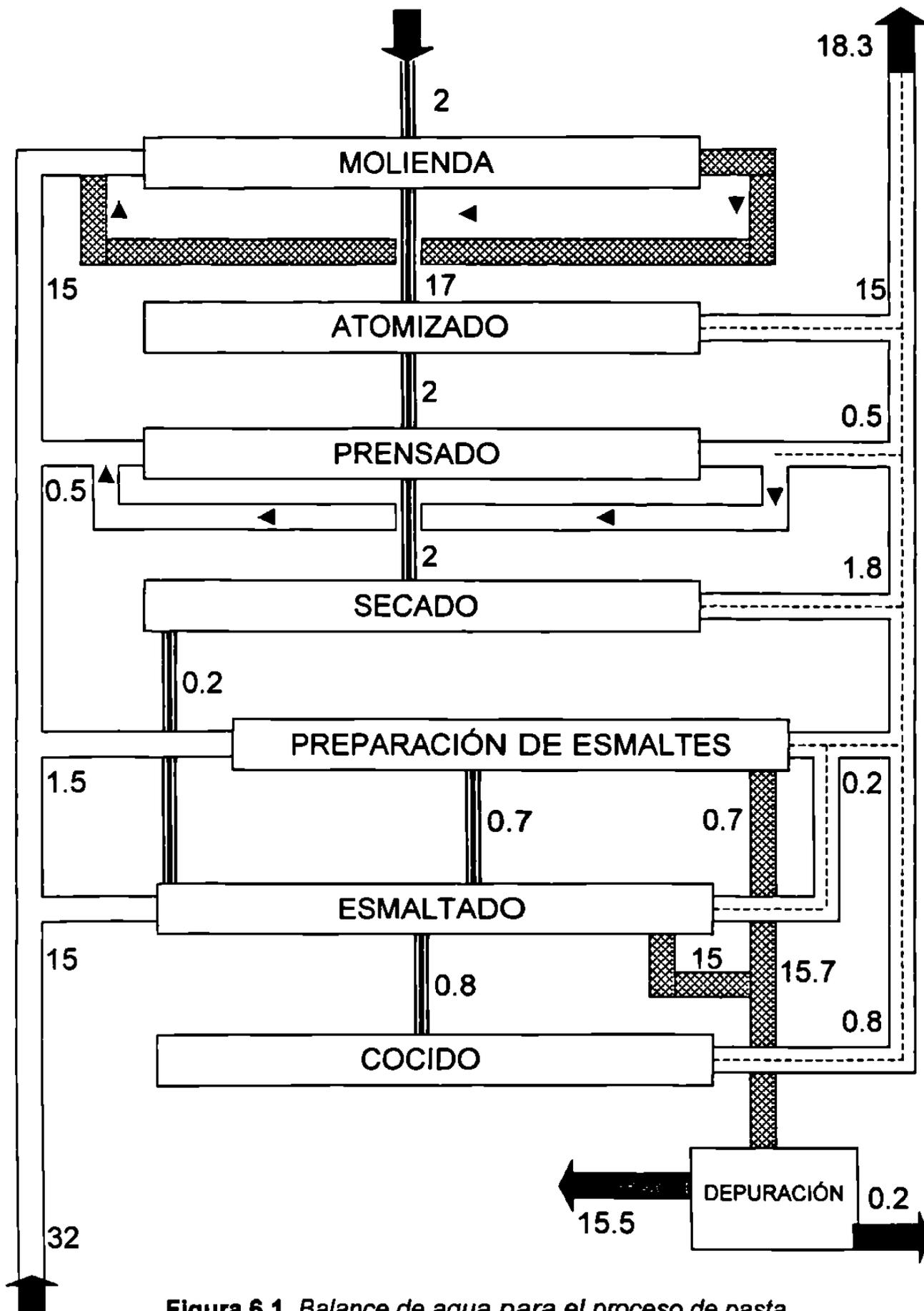


Figura 6.1 Balance de agua para el proceso de pasta cerámica esmaltada y cocida

6.3 DEPURACIÓN Y NATURALEZA DE LOS SÓLIDOS

Como ya se abordó oportunamente en el capítulo 4, la naturaleza y cantidad de los sólidos suspendidos en el agua de desecho varían considerablemente, ya que tienen su origen en diferentes etapas del proceso; en el que, para complicar aun más las cosas se utilizan una gran variedad de materias primas, dependiendo del producto que se elabora. Por todo ello, no es posible definir características concretas para todos los lodos que se pudiesen sedimentar de las aguas de desecho de la planta. Con respecto a la composición química de esos sólidos es suficiente decir que es bastante similar a la de las materias primas utilizadas en el proceso, excepto por la presencia minoritaria de otros materiales como residuos de fritas y de esmaltes crudos y cocidos.

La cantidad y composición de los sólidos suspendidos presentes en el agua de desecho (de 2 365 hasta 6 558 mgL⁻¹), en este caso particular de estudio, se podrían considerar significativos en cuanto a su posible impacto ambiental y también económicos, si se intentara su remoción y final disposición. En cambio, retornados con el agua de desecho como parte del material de soporte, no podrían considerarse de negativas consecuencias; pues al remitirnos a su composición química (tabla 4.3), ella es muy similar a la de las materias primas; aun si se presentaran diferencias en ello, no serían tampoco importantes, pues los lodos representan cuantitativamente una fracción ínfima frente a las cantidades unitarias de las materias primas utilizadas para cada una

de las formulaciones de las pastas rojas y blancas.

Así pues, el tratamiento de remoción de sólidos suspendidos, y con ello la depuración de las aguas de desecho, además de innecesario, puede implicar un costo cuyo impacto, a largo plazo, puede ser importante. Tal remoción requeriría de tratamientos químicos y físicos que demandarían una planta que, aunque sencilla, consumiría espacio, reactivos, gastos de operación y gastos para la disposición final de los sólidos.

6.4 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA REUTILIZACIÓN TOTAL DEL AGUA DE DESECHO

Con todos los argumentos expuestos en la sección anterior, y con la evidencia experimental del nulo efecto negativo y sí algunas veces ventajoso de utilizar las aguas de desecho para las operaciones de molienda, las aguas de desecho de la planta serán reutilizadas directamente sin tratamiento físico o químico de ninguna índole, exceptuando la homogeneización de esas aguas, mediante una agitación violenta que evite la depositación de los sólidos en el fondo de las fosas de captación.

La figura 6.2, 6.3 y 6.4 muestran en forma esquemática el balance de agua simplificado para la planta de esta investigación. En este diagrama se muestran los gastos de agua en litros por metro cuadrado de superficie de producto terminado. Esta red de flujo muestra también que el gasto de agua de

la planta se reduce en casi un 50%, pues el agua de lavado pasa íntegramente a las etapas de molienda.

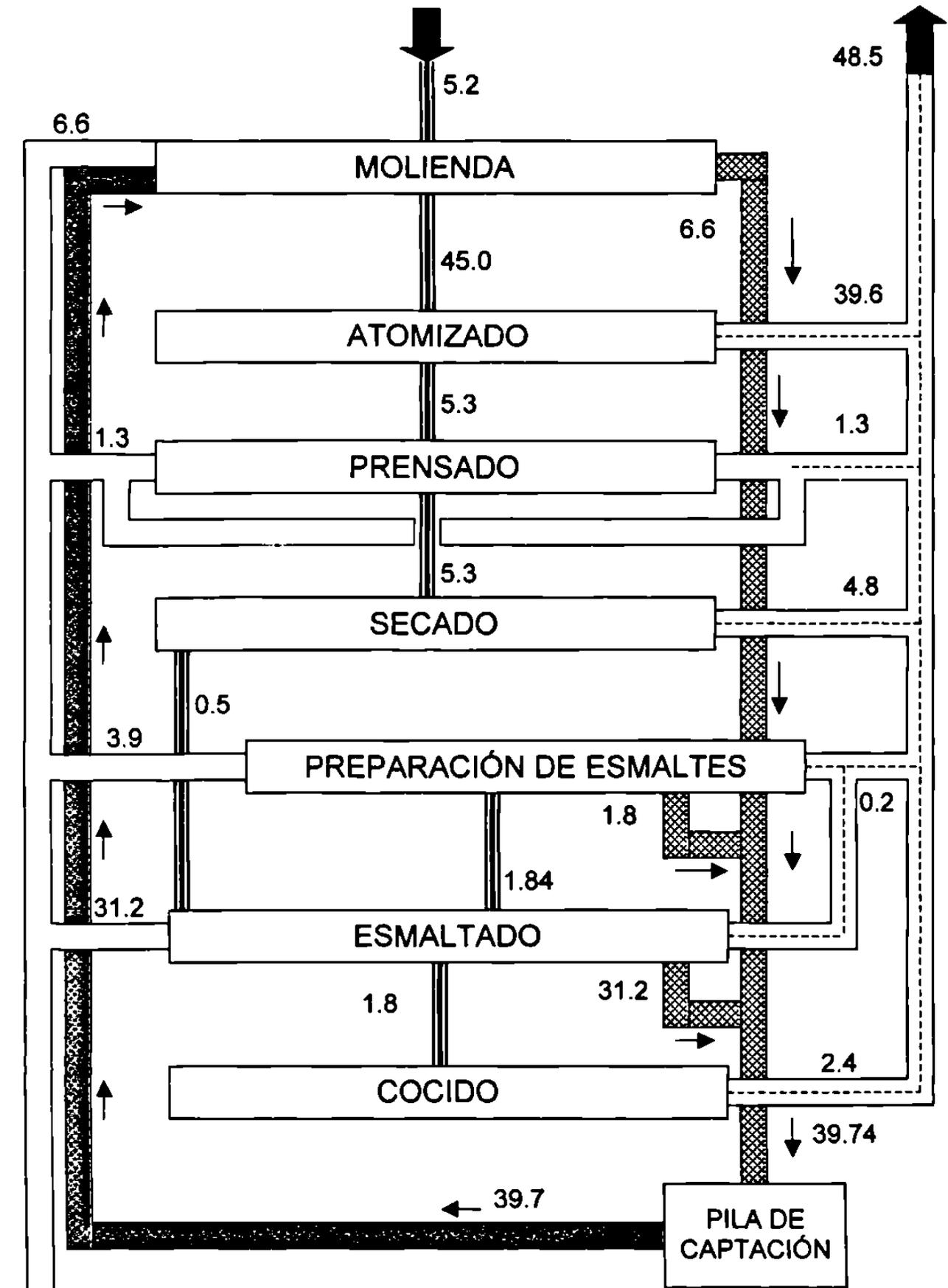


Figura 6.2 Balance de agua para el proceso de pasta cerámica esmaltada y cocida en el área de preparación de esmaltes

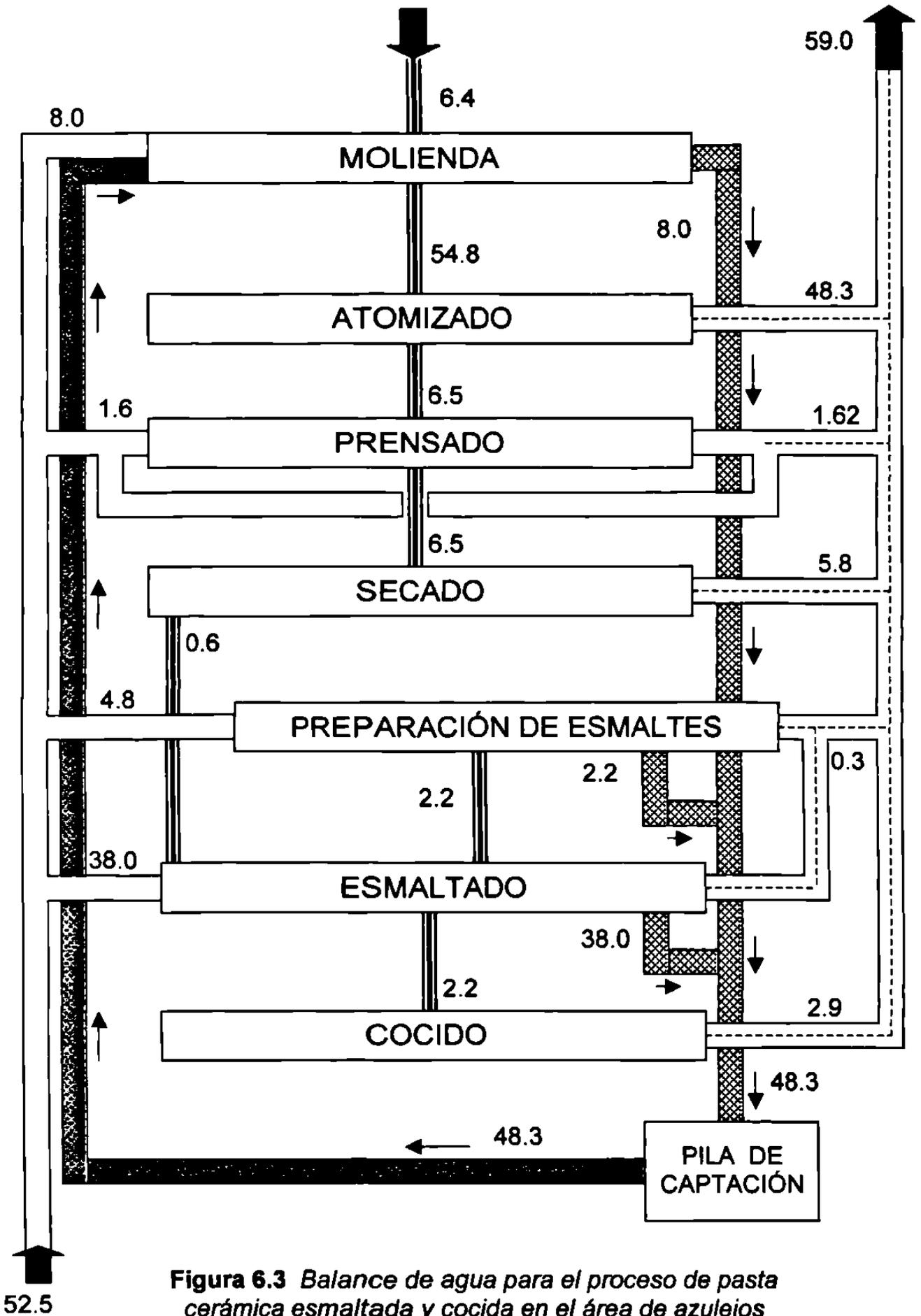


Figura 6.3 Balance de agua para el proceso de pasta cerámica esmaltada y cocida en el área de azulejos

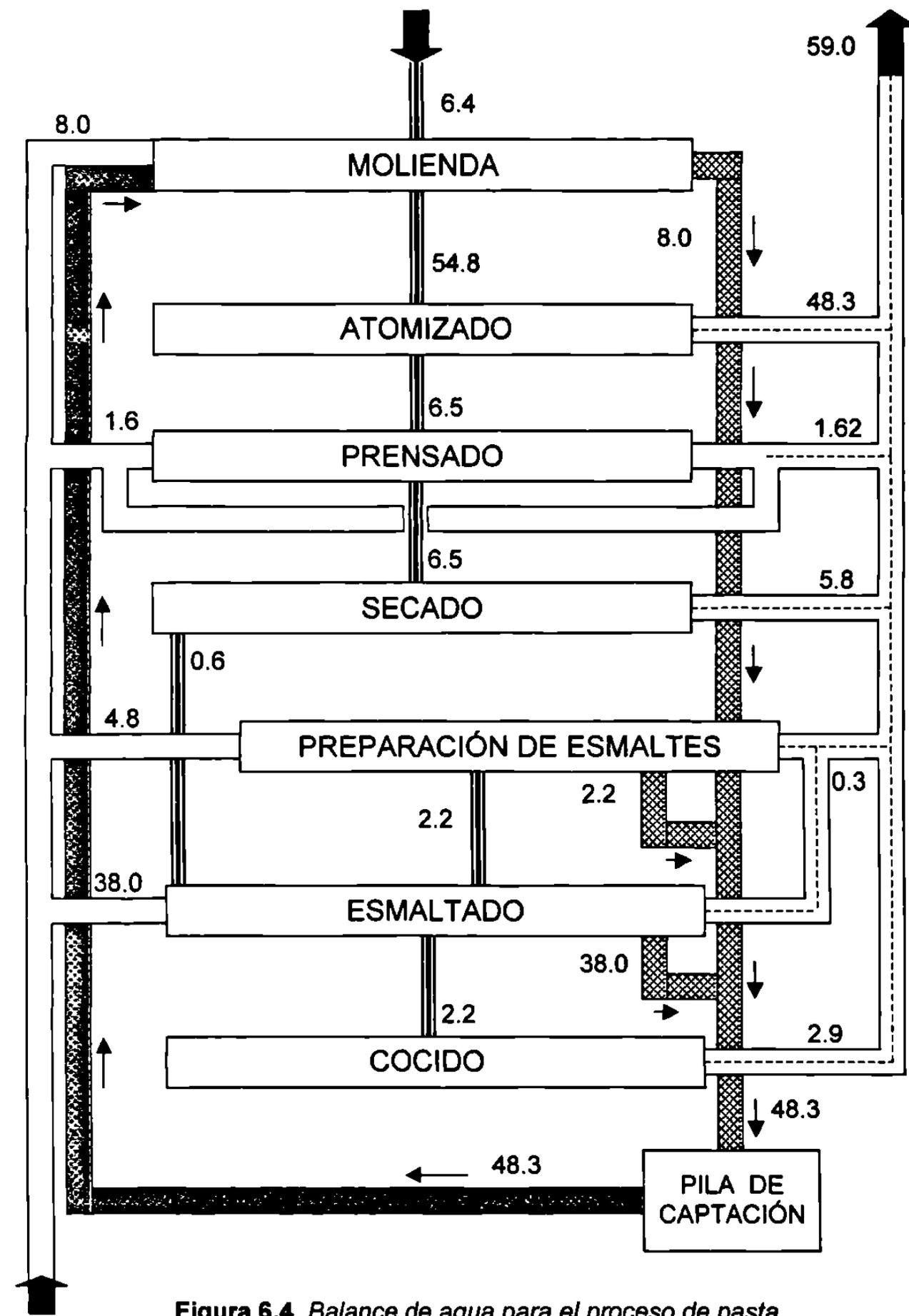


Figura 6.4 Balance de agua para el proceso de pasta cerámica esmaltada y cocida en el área de productos varios

6.4.1 DISEÑO DE LAS PILAS DE CAPTACIÓN CON AGITACIÓN VIOLENTA

Las aguas de desecho del proceso son dirigidas a tres puntos de captación. Ellas contienen sólidos suspendidos cuya sedimentación es indeseable pues disminuyen la eficiencia del equipo y las tuberías utilizados en su manejo. La captación de esas aguas deberá entonces hacerse en sendas pilas, equipadas con sistemas de agitación que prevengan la sedimentación o acumulación de sólidos en el fondo de ellas; al mismo tiempo que se logre la homogeneización de esas aguas, es decir, que el contenido de sólidos suspendidos en ellas sea lo más uniforme posible. Ésto último se logra si la agitación genera un régimen de turbulencia en las pilas poco antes y durante los intervalos en que el agua es bombeada hacia el área de molienda, que es en donde esas aguas son aprovechadas en la reutilización propuesta por esta investigación.

6.4.1.1 PRINCIPIOS DE LA OPERACIÓN DE MEZCLADO

Las pilas o tanques con mezclado o agitación violenta son comunes en las instalaciones industriales y en plantas de tratamiento de aguas. La agitación evita la sedimentación de sólidos, cuando ello debe prevenirse, promueve el contacto de reactivos en sistemas reaccionantes, aumenta la homogeneidad de mezclas o soluciones, etc.

La agitación o mezclado es una operación fundamental que está gobernada por principios físicos. El grado de mezclado puede directamente

identificarse con la potencia impartida al sistema que se agita. Esa potencia se mide por el gradiente de velocidad G , cuyo significado físico puede ser fácilmente explicado: Súpongase que dos partículas se hallan separadas entre sí por 0.001 m y se mueven a una velocidad de 0.5 m/s respecto una de la otra; el gradiente de velocidad es 0.5 m/s dividido por 0.001 m, resultando en $G = 500 \text{ s}^{-1}$.

La ecuación del gradiente de velocidad para la agitación mecánica es

$$G = [W / \mu]^{1/2} = [P/\mu V]^{1/2},$$

en donde:

G = gradiente de velocidad (m/ms o s^{-1})

W = potencia impartida al agua por unidad de volumen ($\text{Nms}^{-1}\text{m}^{-3}$)

P = potencia impartida al agua (Nms^{-1})

V = volumen del tanque o pileta (m^3)

μ = viscosidad absoluta del agua (0.00131 Nsm^{-2} a 20°C).

El gradiente de velocidad se halla relacionado a varios efectos que toman lugar en el agua, o cualquier otro fluido agitado, que contenga sólidos u otros líquidos suspendidos, es decir, se aplica tanto a suspensiones como a emulsiones. Así, la frecuencia y rapidez de las colisiones entre partículas de sólidos suspendidos son proporcionales con el valor de G , así como también las fuerzas cortantes que se presentan en la fase líquida. Esos factores, al aumentar de valor, son los directamente responsables de prevenir la sedimentación de los sólidos suspendidos en el agua. Para el caso de esta

investigación, se requerirá que G tenga un valor tal que los sólidos puedan mantenerse suspendidos en un medio turbulento generado mecánicamente en las piletas de captación.

6.4.1.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL EQUIPO DE AGITACIÓN

Aunque la potencia impartida al agua puede provenir de agitación mecánica, neumática o forzada por disposición de mamparas, la potencia requerida por cualquiera de esos medios debe ser la misma, si el mezclado ha de ser de igual intensidad.

La agitación mecánica es el método más comúnmente utilizado para el mezclado rápido de líquidos pues es muy confiable, efectiva y flexible. Generalmente se emplean impulsores de turbina, impulsores de paletas o, en algunos casos, propelas que se colocan en la base de una flecha vertical posicionada dentro del tanque o pileta. En todos los casos el equipo de agitación le imparte movimiento y turbulencia al agua.

A fin de dar una idea acerca de los valores de G que son comunes en operaciones de mezclado, como la coagulación y la floculación en el tratamiento de aguas y aguas de desecho, baste decir que para la coagulación se requiere de una agitación energética que ponga en contacto rápidamente a los coloides con las especies coagulantes, para ello los valores de G se ubican en el intervalo de 1000 a 700 s^{-1} , lo cual depende del tiempo de mezclado que puede

ser del orden de 20 segundos hasta un minuto o más, en relación con los valores de G dados. En el otro extremo, la floculación requiere de una agitación suave que disminuya las fuerzas cortantes en el agua y que permita la formación de los flocúlos. En este caso los valores de G son del orden de 20 a 50 s^{-1} .

Para este trabajo, se seleccionó utilizar un impulsor de turbina en cada pileta. Los tipos de impulsores de turbina se muestran en la figura 6.5 y ellos son: los de hoja recta, de disco con paletas, de hoja curva y de difusor estacionario con hoja curva encubierta. De esos tipos, el de disco con paletas es el más ampliamente utilizado. El diámetro del impulsor puede oscilar entre un 25 a un 50% del ancho o diámetro de la pileta y se coloca un diámetro arriba del fondo de la misma. La rapidez de giro puede ubicarse entre 10 y 150 rpm, produciéndose así un flujo radial hacia el exterior de la turbina y que se divide en la pared de la pileta como lo ilustra la figura 6.6. La pileta puede ser equipada con mamparas (baffles) para aumentar la eficiencia de la agitación, previniendo así la formación de un vórtice en el centro y de zonas tranquilas (sin agitación) en los rincones.

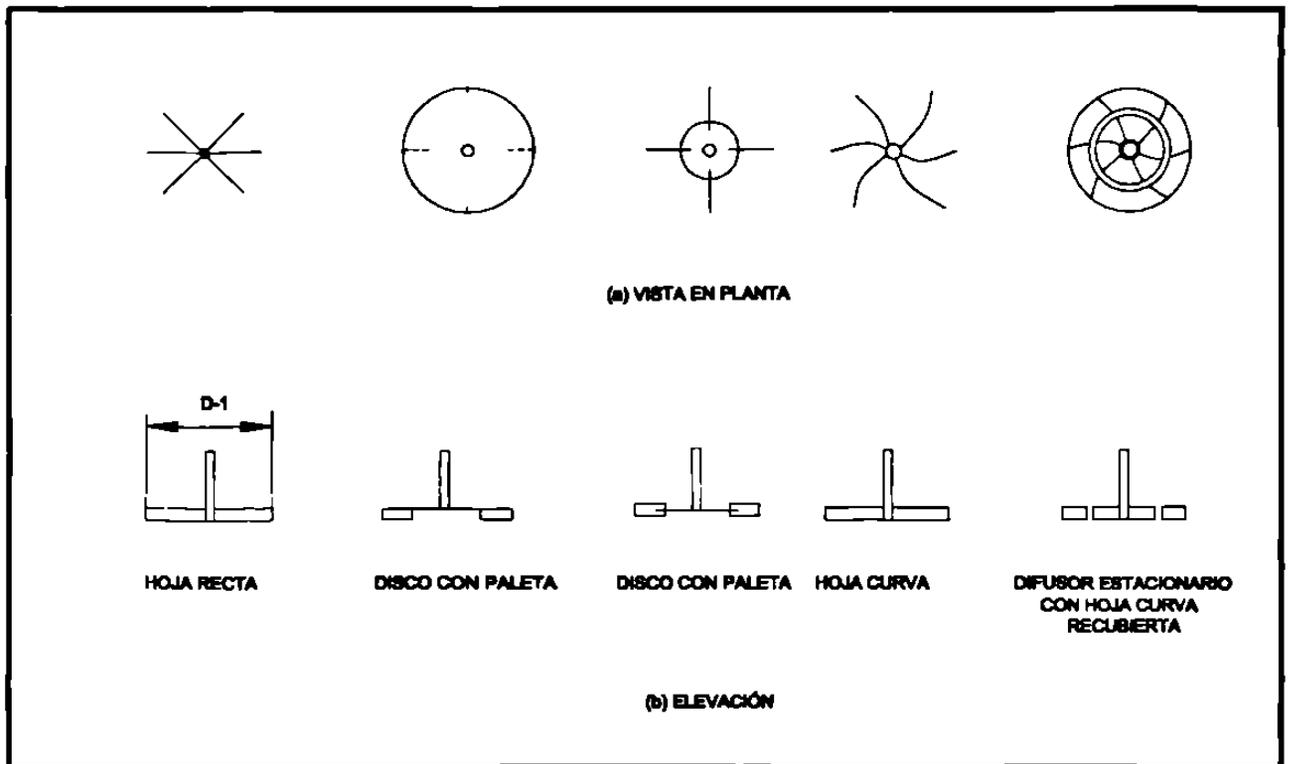


Figura 6.5 Tipos de impulsores de turbina (25)

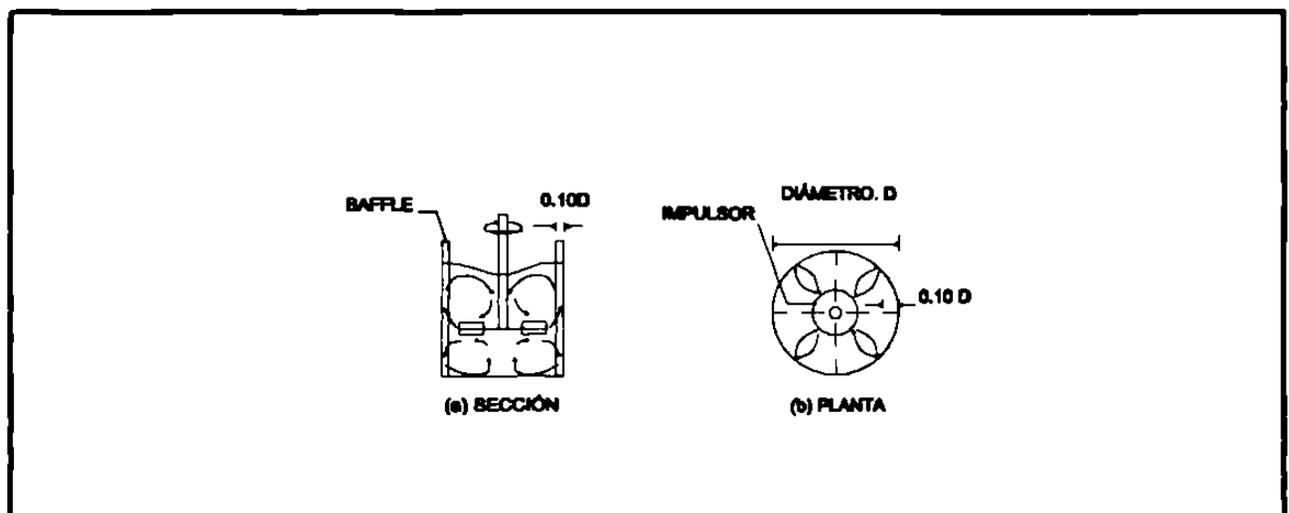


Figura 6.6 Flujo radial producido hacia el exterior de la turbina (25)

6.4.1.3 DIMENSIONAMIENTO DE LAS PILETAS Y SISTEMAS DE AGITACIÓN

Las aguas residuales de la planta de este proyecto son actualmente captadas en tres puntos diferentes, utilizándose en cada uno de ellos un arreglo de 4 piletas de escasa profundidad, en las que las aguas reposan y se permite así la sedimentación de los sólidos. Esos sólidos son manualmente removidos del fondo después de extraer y disponer el agua. Los valores máximos de los volúmenes de agua residual que alcanzan a almacenarse en los tres puntos de captación son del orden de 43m^3 , 60m^3 y 60m^3 por día.

Esos valores fueron obtenidos de un riguroso estudio de los niveles máximos observados en las 12 piletas del arreglo actual. La propuesta de este estudio es el establecimiento de sólo tres piletas de captación, de una capacidad de 61m^3 cada una, para un margen de seguridad de 25%, en promedio, en referencia a los volúmenes captados de aguas residuales. Las dimensiones de esas piletas son: largo, 3.5 m, ancho, 3.5 m y profundidad, 5 m. Enseguida se aborda el problema de calcular las dimensiones y características del equipo de agitación.

La potencia impartida a un líquido por los diferentes impulsores vistos puede ser calculada a partir de relaciones desarrolladas por Rushton (Rushton, 1952 (26); Rushton *et al.*, 1947(27); Rushton *et al.*, 1950(28); Rushton & Oldshue, 1953 (29); Rushton & Mahoney, 1954 (30) para los impulsores

utilizados en las industrias de proceso químico. Para flujo turbulento ($N_{Re} > 10\,000$), la potencia impartida por un impulsor en un tanque con mamparas es dada por la ecuación siguiente;

$$P = K_T n^3 D_i^5 \rho,$$

siendo, para los impulsores, definido el número de Reynolds por la ecuación

$$N_{Re} = D_i^2 n \rho / \mu,$$

donde:

P = potencia (N m / s)

K_T = constante del impulsor en flujo turbulento

n = velocidad rotacional, rps (s^{-1})

D_i = diámetro del impulsor (m)

ρ = densidad del líquido ($N\ s^2\ m^4 = kg\ m^{-3}$)

N_{Re} = número de Reynolds, de dimensión uno (adimensional)

μ = viscosidad absoluta del líquido (agua: $0.00131\ Nsm^{-2}$ a $20^\circ C$).

Como en este proyecto el líquido a ser agitado es en esencia agua, en la ecuación que sirve para calcular la potencia P puede verse la proporcionalidad entre el valor de P y el producto del diámetro y las revoluciones del impulsor.

Eso permite suponer que el impulsor más adecuado, en el caso de un volumen grande de agua, deba ser aquél que tenga el mayor valor de K_T . De entre los tipos de impulsores mencionados, aquéllos de turbina con disco con paletas son los que poseen los mayores valores de K_T con 5.31, 5.75 y 4.8

(para los casos de 4 y 6 hojas planas y 6 hojas curvadas, respectivamente).

Esos valores son muy superiores al resto de los impulsores para los que K_T oscila entre 0.32 y 1.65 como se muestra en la tabla 6.1.

Tabla 6.1 Valores de la constante K_T para los diferentes tipos de impulsores utilizados en la agitación de líquidos en tanques.

Tipo de Impulsor	K_T
Propela, un tazón con 3 hojas	0.32
Propela, dos tazones con 3 hojas	1.00
Turbina, disco con 4 paletas planas	5.31
Turbina, disco con 6 paletas planas	5.75
Turbina, con 6 paletas curvas	4.80
Turbina, con 6 paletas curvas y estator	1.12

Los cálculos serán hechos conforme a los siguientes datos:

volumen de agua en la pileta; 61 m^3 ,

dimensiones de la pileta; $3.5 \times 3.5 \times 5.0 \text{ m}$, sin mamparas verticales,

tipo de impulsor; turbina, de disco con 6 paletas planas ($K_T = 5.75$),

diámetro aceptable para el impulsor; 0.25 a 0.5 del ancho de la pileta,

rapidez de giro de la flecha; 100 rpm (1.667 rps),

régimen deseado de la agitación; turbulento,

primer valor de G para el inicio de iteraciones; 700 s^{-1} ,

a) Primera iteración ($G = 700 \text{ s}^{-1}$).

Los valores de potencia por unidad de volumen y potencia total son;

$$W = G^2 \mu = (700)^2 (0.00131) = 641.9 \text{ N m / s m}^3$$

$$P = W V = (641.9) (61\text{m}^3) = 39\,156 \text{ N m / s (igual a J s}^{-1} \text{ o vatios)}$$

De la ecuación $P = K_T n^3 D_i^5 \rho$ se despeja el valor de D_i ,

$$D_i = [P / K_T n^3 \rho]^{1/5}$$

$$D_i = [39\,156 / \{(5.75) (1.667)^3 (1000)\}]^{1/5} = 1.08 \text{ m,}$$

valor que representa un 30.85% del ancho de la pileta.

La verificación de turbulencia se hace a partir del cálculo del número de Reynolds, el cual debe ser mayor de 10 000;

$$N_{Re} = D_i^2 n \rho / \mu = (1.08)^2 (1.667) (1000) / (0.00131) = 1\,484\,266,$$

lo cual indica que el requisito de turbulencia es cumplido. No obstante, pueden repetirse los cálculos de tal manera que el valor de potencia sea menor y al mismo tiempo se cumplan los requisitos de turbulencia y proporción de tamaño del impulsor. Los incisos que siguen muestran la repetición de estos cálculos y sus resultados.

b) Segunda iteración ($G = 600 \text{ s}^{-1}$).

Los valores de potencia por unidad de volumen y potencia total son;

$$W = G^2 \mu = (600)^2 (0.00131) = 471.6 \text{ N m} / \text{s m}^3$$

$$P = W V = (471.6) (61 \text{ m}^3) = 28\,768 \text{ N m} / \text{s} \text{ (igual a } \text{J s}^{-1} \text{ o vatios)}$$

De la ecuación $P = K_T n^3 D_i^5 \rho$ se despeja el valor de D_i ,

$$D_i = [P / K_T n^3 \rho]^{1/5}$$

$$D_i = [28768 / \{ (5.75) (1.667)^3 (1000) \}]^{1/5} = 1.016 \text{ m},$$

valor que representa un 29% del ancho de la pileta.

La verificación de turbulencia se hace a partir del cálculo del número de Reynolds, el cual debe ser mayor de 10 000;

$$N_{Re} = D_i^2 n \rho / \mu = (1.016)^2 (1.667) (1000) / (0.00131) = 1312\,273.$$

Los resultados de este cálculo muestran que existe margen para disminuir la potencia requerida para la agitación, lo que se puede observar en el valor extremadamente grande del número de Reynolds. La siguiente iteración está orientada a buscar un valor menor de P y al mismo tiempo disminuir el valor de N_{Re} cuidando que se cumpla con el requisito de turbulencia.

c) Tercera iteración ($G = 500 \text{ s}^{-1}$).

Los valores de potencia por unidad de volumen y potencia total son;

$$W = G^2 \mu = (500)^2 (0.00131) = 327.5 \text{ N m / s m}^3$$

$$P = W V = (327.5) (61 \text{ m}^3) = 19\,977 \text{ N m / s (igual a J s}^{-1} \text{ o vatios)}$$

De la ecuación $P = K_T n^3 D_i^5 \rho$ se despeja el valor de D_i ,

$$D_i = [P / K_T n^3 \rho]^{1/5}$$

$$D_i = [19977 / \{ (5.75) (1.667)^3 (1000) \}]^{1/5} = 0.944 \text{ m,}$$

valor que representa el 27% del ancho de la pileta.

La verificación de turbulencia se hace a partir del cálculo del número de Reynolds, el cual debe ser mayor de 10 000;

$$N_{Re} = D_i^2 n \rho / \mu = (0.944)^2 (1.667) (1000) / (0.00131) = 1\,134\,203.$$

Se intentará una iteración más a fin de disminuir la potencia de la agitación cuidando que el diámetro del impulsor cumpla con el requisito de dimensión establecido al principio de los cálculos.

d) Cuarta iteración ($G = 400 \text{ s}^{-1}$).

Los valores de potencia por unidad de volumen y potencia total son;

$$W = G^2 \mu = (400)^2 (0.00131) = 209.6 \text{ N m / s m}^3$$

$$P = W V = (209.6) (61\text{m}^3) = 12\,786 \text{ N m / s (igual a J s}^{-1} \text{ o vatios)}$$

De la ecuación $P = K_T n^3 D_i^5 \rho$ se despeja el valor de D_i ,

$$D_i = [P / K_T n^3 \rho]^{1/5}$$

$$D_i = [12\,786 / \{(5.75) (1.667)^3 (1000)\}]^{1/5} = 0.48 \text{ m}$$

La verificación de turbulencia se hace a partir del cálculo del número de Reynolds, el cual debe ser mayor de 10 000;

$$N_{Re} = D_i^2 n \rho / \mu = (0.48)^2 (1.667) (1000) / (0.00131) = 293\,188.$$

Las fórmulas utilizadas hasta aquí son válidas para tanques o piletas con mamparas. Si no se utilizan mamparas la potencia impartida representa solo un 75% de aquella que se presenta en un tanque que sí las tiene. Por lo tanto, a fin de impartir la misma potencia se requiere de un impelente mayor pues K_T es $0.75 (5.75) = 4.31$. Estos últimos argumentos se hallan contenidos en el cálculo final que ahora se presenta.

Los resultados de la cuarta iteración producen una potencia un tanto más razonable desde el punto de vista del motor que para ello se requiere, así como además se cumple holgadamente el requisito de turbulencia. Tomando ese valor de P como aceptable, el diámetro definitivo del impulsor es:

$$D_i = [P / K_T n^3 \rho]^{1/5}$$

$$D_i = [12\,786 / \{(4.31) (1.667)^3 (1000)\}]^{1/5} = 0.915 \text{ m,}$$

valor que representa un 26% del ancho de la pileta, por cierto ya muy cercano al límite inferior sugerido por el criterio de selección del tamaño del impulsor respecto al diámetro de la pileta.

Cabe señalar que una iteración posterior con $G=300 \text{ s}^{-1}$ hubiese cumplido con el requisito de turbulencia, pero el diámetro resultante del impulsor quedaría por debajo del valor establecido como mínimo recomendado.

En la tabla 6.2 se presenta un resumen de las dimensiones y valores calculados para este trabajo.

TABLA 6.2 *Dimensiones y valores para el diseño de las piletas de captación del agua residual de la planta de productos cerámicos.*

DIMENSIONES DE LA PILETA (m)		TIPO DE IMPULSOR	
Largo	3.5	Turbina, de disco con 6 paletas	
Ancho	3.5	Díametro del impulsor (m)	0.915
Profundidad	5.0	Potencia P min. del motor (hp)	20

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

En los capítulos anteriores se han descrito los procedimientos de preparación de las pastas cerámicas, utilizando cuatro tipos diferentes de agua; tres de las cuales son provenientes de los desechos de diferentes porciones del proceso y una, tomada como referencia, es el agua común de uso industrial. Las pruebas a que se sometieron las pastas y las mediciones hechas a las propiedades del material cocido evidenciaron que el agua de desecho del proceso puede ser utilizada sin tratamiento de ninguna índole, excepto una adecuada homogeneización en la preparación de las pastas, ya que no modificó significativamente el comportamiento de las mismas, durante las distintas etapas del proceso productivo, ni las características del producto acabado.

De acuerdo con los resultados obtenidos, tanto en los ensayos del comportamiento del material, como en los balances hídricos al proceso, se concluye que se puede llevar a cabo el reciclado completo del agua residual en el propio proceso productivo. La práctica de reutilizar el agua de desecho con todos los sólidos suspendidos que ella contiene, permite también evidenciar que se puede ahorrar en los renglones de agua limpia municipal, tratamiento de

aguas de desecho y la disposición final de residuos sólidos, ya que estos últimos quedan confinados o atrapados en el producto final, sin detrimento de las características de éste.

Vale la pena considerar que la práctica de la reutilización del agua de desecho de una planta de productos cerámicos es la aplicación de uno de los métodos actuales para disminuir la generación de desechos sólidos, clasificados según la Norma como tóxicos y cuya acumulación representa un riesgo potencial de contaminación.

REFERENCIAS

1. Programa para la minimización y el manejo integral de los residuos industriales y peligrosos en México 1996 - 2000.
2. Strauss, W., and Mainwaring, S.J., 1993. *Contaminación del aire, causas, efectos y soluciones*. México, Trillas, pp. 87.
3. Flores, Julio., López, Sergio., Albert, Lilia. 1995. *La contaminación y sus efectos en la salud y el ambiente*. México. Centro de Desarrollo y Ecología.
4. México. Secretaria de Gobernación, Sistema Nacional de Protección Civil. *"Panorama general del manejo de los residuos peligrosos en México"*. 1995. Fascículo No 9. pp. 2 - 4.
5. A, Blasco., F. Gines., J.C., Jarque y E. Montmort., 1992. *"Adición de fangos reciclados a composiciones de pavimentos y revestimientos cerámicos"* (I). En *Técnica cerámica*, No. 195., pp 470 - 483.
6. Andreola, Nora., Manfredini, Tizano., Pellicani, G.C., Pozzi, Paolo., Romagnoli, M. 1993. *Recycling of Ceramic Wastes in Tile Bodies to Reduce Pollution*, American Ceramic Society Bulletin. Vol. 72, No. 4.
7. Andreola, F., Bonafatti, L., Manfredini., Pellicani, G.C., Pozzi, Paolo. 1992. *Tile and Brick International*. pp. 9 - 13.
8. Grosser, Donato. 1996. *Tile and decorative surface*. No. 44.
9. Joseph, Werner. 1981. *Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. Bologna. Vol. No. 20.Pp. 99 - 103.

10. The annual Meeting and Exposition. 1992. *Progress in processing and environmental solution continues*. American Ceramic Society Bulletin 71. pp. 889 - 94.
11. México, Secretaria de Desarrollo Social., Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Protección Ambiental., Diario Oficial de la Federación., Viernes 22 de Octubre de 1993.
12. Wania, F. And Mackay D. 1996. *Tracking the Distribution of Persistent Organic Pollutants*. Environmental Science & Technology. pp. 390 - 396.
13. Falkenmark, M. 1988. "El agua en las ciudades ". Mundo Científico 10: pp 752 - 759.
14. Shutes, R.B., Ellis, J.B., Revitt, D.M. & Zang, T.T. 1993. "The tamed river" Limnology now. A paradigm of planetary problems: Elsevier. pp 219 - 236.
15. Part, N. & Ward, J.V. 1994. " Los nitratos y los plaguicidas se infiltran en el agua del grifo" Mundo Científico 10. pp 796.
16. Hammer, Mark J. And Hammer, Mark J. Jr. 1996. *Water Wastewater Technology*. Prentice Hall International, Inc. pp. 496.
17. Ripollés, Felix., Arnau, Amilcar. Y Gimeno, Myriam. 1992. *Las aguas residuales en la industria cerámica*. Técnica cerámica, No. 209. pp. 851 - 855.
18. Manaham, Stanley E. 1991. *Environmental Chemistry*. Lewis Publishers, Inc. Londres. pp. 183 -185.

19. Blasco, A., Escardino, A., Busani, G., Monfort, E., Amoros, J.L., Enrique, J.E., Beltran, V., Negree, F. 1992. *Tratamiento de emisiones gaseosas, efluentes líquidos y residuos sólidos de la Industria Cerámica. Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas: Instituto de Tecnología Cerámica, Castellón.*
20. Tenaglia, A. 1992. *Re-use of wastes. New Technologies for the rational use of energy in the ceramics industry.* Orleans, pp. 20-22.
21. O'Neill, Peter. 1993. *Environmental Chemistry.* Chapman & Hall. Londres, Pp. 221.
22. Briones, Gregori., e Ignacio, García,. 1997. *Aforo del agua en canales y tuberías.* México, Trillas. pp. 15.
23. Reid, Robert C., Prausnitz, John M., Poling, Bruce E. 1988. *The properties of gases and liquids.* McGraw-Hill Book Co. Singapore. pp. 388-389.
24. C. Palmonari., A. Tenaglia., G. Timelini. 1983. *"Inquinamento Idrico Da Industrie Ceramiche. Smaltimento e Reutilizzo Dei Fanghi Residu"* . Centro Cerámico – Bologna. pp. 24 – 30.
25. Reynolds, Tom D., Richards, Paul A., 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering.* Boston. PWS Publishing Company. pp. 182 – 186.
26. Rushton, J. H. 1952. *Mixing of Liquids in Chemical Processing. Ind. And Eng. Chem.* 44, No 12:2931.

27. Rushton, J. H., Bissell, E. S., Hesse, H. C., and Everett, H. J. 1947. *Designing and Utilization of Internal Fittings for Mixing Vessels. Chem. Engr. Progr.* 43, No. 12:649.
28. Rushton, J. H., Costich, E. W., and Everett, H. J. 1950. *Power Characteristics of Mixing Impellers, Parts I and II. Chem. Eng. Progr.*, 46, No. 8:35; and 46, No. 9:467.
29. Rushton, J. H., and Oldshue, J. Y. 1953. *Mixing Present Theory and Practice, Parts I and II. Chem. Eng. Progr.* 49, No. 4:161; and 49, No. 5:267.
30. Rushton, J. H., and Mahoney, L. H. 1954. *Mixing Power and Pumpage Capacity. Annual Meeting of AIME, 1954, New York.*

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Fátima Isela Flores Nolasco

Candidata para el Grado de

Maestra en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental

Tesis: MINIMIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE ESMALTE EN UNA PLANTA DE PRODUCTOS CERÁMICOS, A TRAVÉS DEL RECICLADO DEL AGUA RESIDUAL.

Campo de Estudio: Aguas residuales de la Industria y su reutilización.

Biografía:

Datos Personales: Nacida en Tegucigalpa, Honduras el 31 de Marzo de 1969, hija de Julio Alberto Flores Guzmán y Blanca Lidia Nolasco Deras.

Educación: Egresada de la Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán Tegucigalpa, M.D.C, Honduras, grado obtenido Profesora de Educación Media en el área de Ciencias Naturales con Orientación en Biología - Química en el Grado de Licenciatura.

Experiencia Profesional:

**Propietaria- Directora del Jardín de Niños "Villa Suyapa" .
Asesora del Trabajo Educativo Social de Bachillerato, Mayan School.
Instructora del Departamento de Ciencias Naturales en el Área de Biología, Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán.
Asistente de la Coordinación de Ciencias Naturales y Coordinadora del Trabajo Educativo Social Universitario del Programa de Profesionalización y Capacitación Docente (PROCADO), Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán.**

Tegucigalpa M.D.C., Honduras C.A.

