



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

13

25

FACULTAD DE QUIMICA

PROYECTO DE UN SISTEMA DE
RECUPERACION DE ARENAS
DE MOLDEO



T E S I S EXAMEN DE CALIFICACION
FAC. DE QUIMICA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
P R E S E N T A:
ADAN HERNANDEZ TORRES



MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO SEGUN EL TEMA

Presidente	Profa. María Eugenia Noguez Amaya
Vocal	Prof. Guillermo Fausto Salas Banuet
Secretario	Profa. Teresita Robert Nuñez
1er. suplente	Prof. José Alejandro García Hinojosa
2do. suplente	Prof. Sergio García Galán

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

Laboratorio de Arenas (Edif. "D" Depto. de Ingeniería Química Metalúrgica).
Facultad de Química, UNAM.

Asesor del Tema

Supervisor Técnico


M. en C. María Eugenia Noguez Amaya


Ing. Ignacio Beltrán Piña

Sustentante


Adán Hernández Torres

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES

Emilio Hernández C. y Flora Torres G.

Por la paciencia que siempre me han tenido y oportunidades que me han brindado para hacer de mi un hombre integro.

A MIS HERMANOS

**Aide, Leonor, Emilio, Jesús, Gonzalo,
Antonio, Norma, Eduardo y Alejandro**

Por lo que somos y por lo que siempre seremos
y por compartir conmigo los buenos y malos
momentos.

A MIS TIOS

Ing. Saulo V. Hernández C.

Dr. L. Hermilo Hernández C.

Por enseñarme el valor de la perseverancia,
virtud que consiste en llevar las cosas hasta el final.

A MIS CUÑADOS

CP Gonzalo Otero L.

Lic. Edmundo Montalván G.

Por su apoyo incondicional, confianza y fe que
siempre tuvieron en mi.

A MIS MAESTROS

A la M. en C. Ma. Eugenia Noguez A.

Por haberme guiado en este trabajo, por su ayuda imprescindible y la confianza y el tiempo que me brindo.

Al IQM Guillermo F. Salas B.

A la M. en I. Teresita Robert N.

Por sus valiosos comentarios.

Al IQM Ignacio Beltrán P.

Por su amistad y por su ayuda en la realización de este trabajo.

A todos los maestros de la Facultad de Química, en especial a los maestros del Depto. de Metalurgia.

A MIS AMIGOS

Ricardo V., Fernando R., Miguel Angel G.,

Roberto T., Antonio T., Elias G., Alberto F.,

Leobardo M., Arturo C., Juan Manuel A.,

Octavio P., Elcazar A., Alejandro S.,

Juan Jose C., Cipriano R., Veronica A., Carlos C.

Con quienes compartí diversas experiencias a lo largo de estos años.

INDICE

PAGINA

INTRODUCCION-----1

CAPITULO 1 ANTECEDENTES

A.. SOBRE ARENAS DE FUNDICION

1.1 DEFINICION DE ARENA-----2

1.2 FORMAS DE LA ARENA-----3

1.2.1 Arena angular

1.2.2 Arena subangular

1.2.3 Arena compuesta

1.2.4 Arena redondeada

1.3 ESTADOS Y FORMAS DE LA SILICA-----6

1.4 ARENAS DE MOLDEO-----8

1.4.1 Materiales Aglutinantes

1.4.2 Aditivos para la Arena

1.4.3 Propiedades de una Arena

1.5 DEFINICION DE RECUPERACION DE ARENA-----10

1.6 MOTIVOS PARA RECUPERAR ARENA-----11

1.7 VENTAJAS DE LA RECUPERACION-----12

1.8 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DE LA
FUNDICION Y MOLDEO AL PROCESAR ARENA RE-
CUBIERTA CON AGLUTINANTE-----12

1.9	ARENA DE DESMOLDEO-----	15
1.10	RELACION ARENA RECUPERADA/NUEVA-----	17
1.11	ETAPAS BASICAS EN LA RECUPERACION DE LA ARENA-----	18
1.12	PARAMETROS PARA LA ELECCION DE UN METODO DE RECUPERACION-----	19

CAPITULO 2 ANTECEDENTES

B.. SOBRE TIPOS DE RECUPERACION DE ARENA

2.1	CONSIDERACIONES GENERALES-----	22
2.2	RECUPERACION HUMEDA-----	22
2.2.1	Recuperación Húmeda con Diseño Avanzado de Atricionadores y Clasificadores	
2.2.2	Recuperación Húmeda con Atricionamiento	
2.3	RECUPERACION TERMICA-----	27
2.3.1	Recuperación Térmica para Arena Shell	
2.3.2	Unidad de Recuperación Térmica	
2.4	RECUPERACION SECA-----	31
2.4.1	Recuperación Neumática de Arenas Aglutinadas Químicamente	
2.4.2	Recuperación de Arena con Equipo de Limpieza Integrado	
2.4.3	Unidad Mecánica de Recuperación con Atricionador Centrifugo	
2.5	RECUPERACION COMBINADA-----	37
2.5.1	Sistema de Recuperación de Arena Húmedo-Térmico	
2.5.2	Sistema de Recuperación de Arena Neumático-Térmico para Arenas Aglutinadas con Resina	
2.5.3	Sistema de Combinación Húmedo-Térmico	

CAPITULO 3 ANTECEDENTES

C.. SOBRE EL PROGRAMA SILICA

3.1	OBJETIVO-----	42
3.2	METODOS DE ENSAYO DEL PROGRAMA SILICA-----	42
3.2.1	Ensayo de Arcilla Total por Azul de Metileno	
3.2.2	Material Carbonáceo	
3.2.3	Metálicos	
3.2.4	Sílica	
3.2.5	El método del Peso Especifico	
3.2.6	Material Fundente	

CAPITULO 4 DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1	GENERALIDADES-----	47
4.2	DESARROLLO-----	47
4.2.1	Correspondencia de los Pasos del Programa Sílica a los Pasos del Proceso de Recuperación de Arena Usada	
4.3	PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO DEL PROGRAMA SILICA PARA ARENA USADA Y PARA ARENA RECUPERADA-----	49
4.4	GUIA PARA LOS CALCULOS DEL PROGRAMA SILICA-----	54

**CAPITULO 5
RESULTADOS EXPERIMENTALES**

5.1	RESULTADOS PROGRAMA SILICA-----	56
5.2	RESULTADOS ANALISIS GRANULOMETRICO DE ARENA RECUPERADA-----	58
5.3	RESULTADOS ENSAYOS MECANICOS-----	60

**CAPITULO 6
ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS**

6.1	ANALISIS DE RESULTADOS-----	61
6.2	CONCLUSIONES-----	63

APENDICES

SISTEMA DE RECUPERACION HUMEDO-TERMICO APENDICE A -----	64
ENSAYOS EXPERIMENTALES DE LAS MEZCLAS ARENA-AGUA BENTONITA APENDICE B -----	69
RESUMEN METODOS DE ENSAYO DEL PROGRAMA SILICA APENDICE C -----	73
BIBLIOGRAFIA -----	75

INTRODUCCION

Durante varios años la industria de la fundición ha ido intensificando sus esfuerzos para volver reutilizable las grandes cantidades de arena utilizada para la hechura de corazones y moldes, ya que el reuso continuo de la arena de moldeo es seguido por el deterioro de su capacidad de ser trabajada.¹

El reciclado de la arena para moldeo y hechura de corazones hace una contribución valiosa a la protección ambiental. Con la ayuda de un método de reacondicionamiento la arena utilizada en fundición puede regresarse a la condición de arena utilizable.¹

Como parte de la problemática se tienen los residuos sólidos de las fundiciones, las arenas son las que se generan en mayor proporción variando desde 47% para hierro dúctil y gris hasta 99% para el aluminio.²

El reciclamiento de la arena de moldeo y de la de corazones es un medio de recuperar una porción de los costos de la materia prima (arena nueva), el transporte y el manejo de la arena tanto nueva como la de desecho. Al mismo tiempo, se hace una contribución permanente a la protección ambiental, a la vez que se reduce el volumen de desecho y se mejora simultáneamente la competitividad por la utilización finita de recursos. Todos comprendemos que la recuperación de arena es actual y que tiene que ocurrir.³

Mucho de este trabajo proporciona una descripción detallada, tal y como aparece en la literatura, de la instalación y de la ingeniería de proceso implicada en sistemas de recuperación de arenas de moldeo con el propósito de proveer antecedentes para enfrentar los problemas reales antes de proyectar un sistema de recuperación de arena.

En este trabajo se experimenta con la recuperación de arena de moldeo, partiendo del análisis de la arena usada del departamento de metalurgia, desde el punto de vista de los requerimientos para una recuperación.

Mediante el "Programa Sílica (Capítulo 3)" (metodología desarrollada por investigaciones patrocinadas por la AFS⁴) se evalúa el grado de suciedad de una arena de moldeo. De acuerdo a este ensayo se fundamentan las etapas de un proceso de recuperación de arena a nivel laboratorio. Además se determinan las propiedades mecánicas de la arena sucia y recuperada y se comparan con las propiedades de la arena nueva para determinar la influencia del proceso de recuperación de esta arena de moldeo.

⁴American Foundrymen Society (Sociedad Americana de Fundidores)

CAPITULO 1 ANTECEDENTES

A. SOBRE ARENAS DE FUNDICION

1.1 DEFINICION DE ARENA

La arena es, aparentemente, uno de los materiales más abundantes que hay en la tierra. Sin embargo, como muchos otros materiales abundantes pero no renovables, se esta volviendo escasa y cara,⁸ sobre todo la redonda.

Arena, es un material granular fino que puede ser natural o artificial, producido por la desintegración o rompimiento de rocas y escorias.⁹

En la industria de la fundición, la palabra arena es aplicable al conjunto de partículas de tamaño apropiado, que puede ser recubierto y compactado dentro de un molde, capaz de recibir e impartir una forma deseada al metal durante la solidificación.

La arena sílica se ha usado como molde para vaciar metales fundidos desde los inicios de la industria de la fundición, puesto que posee las características necesarias para resistir las altas temperaturas cuando esta en contacto con el metal fundido, además deberían tener una muy buena resistencia a la presión que ejercía el metal en estado líquido sobre la superficie del molde que lo contenía, y también debería mantener la forma de las piezas que se necesitaban, es decir requería buena moldabilidad.

La definición de arena de la AFS es "Cualquier mineral que se encuentre dentro del rango 1/12 a 1/500 de plg (2 a 0.05 mm) puede considerarse arena". Por lo tanto, cualquier mineral molido que se encuentre dentro del tamaño de grano de rango mencionado podrá ser llamado arena, ya sea cromita, zircon, olivinita, o sílice (sílica).³

Realmente no hay escasez de arena, el problema es la calidad de las arenas disponibles y que puede ser afectada por la recuperación de arenas.

Otras arenas diferentes a las sílicas son también empleadas en fundición, por ejemplo⁹:

- * Arenas de zircon ($ZrSiO_4$), normalmente consisten de granos elongados que poseen superficies planas, algunas más finas que la forma usual de las arenas silíceas.
- * Arenas de olivino (Fe,Mg,SiO_4) son derivadas por proceso natural de rocas que presentan una solución sólida de los minerales Forsterita ($MgSiO_4$) y Fayalita ($FeSiO_4$), solo minerales con alto contenido de forsterita son satisfactorios para el uso en la fundición.

- * Arenas de cromo (Cr_2O), las mejores cromitas son seleccionadas de minerales con altos contenidos de Cr_2O_3 con relación a la presencia de otros óxidos tales como FeO , SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , etc.

Las arenas de grano fino, generalmente son utilizadas para trabajos ornamentales y en piezas fundidas donde se requieran superficies con buen acabado. Son muy utilizadas en metales no ferrosos.

Las arenas de grano medio, son utilizadas para la fabricación de tubos y accesorios, ruedas de ferrocarril, maquinas y herramientas, etc.

Las arenas de grano grueso, son utilizadas en la fabricación de moldes a presión en donde se vacía metal para piezas de ingeniería diesel, turbinas, maquinas y herramientas muy grandes, metales con alto punto de fusión. Tanto estas arenas como las de grano medio son muy utilizadas en aleaciones ferrosas.

1.2 FORMAS DE LA ARENA

Antes de la consideración de algún método de recuperación de arenas, debe ser hecha una investigación de la forma y característica de la arena nueva básica usada en una fundición particular. Muchas de las arenas de fundición son reciclables, algunas no lo son.¹⁰

En este inciso se pretende dar a conocer las diferentes formas que pueden presentar las arenas dependiendo de su origen, la influencia que las mismas presentan sobre las propiedades físicas de las arenas⁹ y su comportamiento en el proceso de recuperación.

La sociedad americana de fundidores (AFS) clasifica a la arena en cuatro tipos, angular, subangular, compuesta y redondeada.³

Las investigaciones (9) han revelado que los granos redondeados son comúnmente encontrados en las mallas de la 6 a la 40, las subangulares de la malla 50 a la 140 y en las mallas localizadas arriba de la malla 200 así como las localizadas en las mallas finas.⁹

La siguiente consideración en el proceso de recuperación es la arena base que se usa comúnmente. Si se arroja un cubo de madera contra una pared, posiblemente se pueda romper o quebrar una esquina. Con múltiples impactos el bloque podría hacerse más redondeado. Mientras que si se toma una bola redonda y se arroja contra la pared esta es más durable. La bola tiene ya logrado la forma de grano o estructura que se necesita. Una arena angular puede dar una eficiencia baja de recuperación debido al quebrado de los bordes de grano.³

1.2.1 ARENA ANGULAR

La arena angular es un grano triturado. Tiene una gran área superficial con bordes dentados e intersticios. El grano angular requiere un gran tiempo de lavado³ y son las que mayores inconvenientes presentan debido a su forma, el acomodamiento entre los granos será muy cerrado, ocasionando de este modo la disminución al paso de los gases reduciendo la permeabilidad, dando origen a problemas serios en las piezas coladas. En lo que se refiere al aglutinamiento de los granos éste será heterogéneo debido también al poco espacio que habrá entre ellos reduciendo así las propiedades de dureza, resistencia, moldeabilidad, etc.⁹ Por lo que se dijo anteriormente la arena angular puede dar una eficiencia baja de recuperación debido al quebrado de los bordes de grano.

1.2.2 ARENA SUBANGULAR

También la arena subangular tiene intersticios, indentaciones y protuberancias, pero un poco más interperizada y redondeada³. Este tipo de arena debido a su morfología se encuentra en un tipo intermedio, aunque es considerada como buena sin ser la mejor, sus propiedades no varían mucho con respecto a las arenas redondeadas, el espacio localizado entre grano y grano es menor por lo que además de necesitar menos cantidad de aglutinante, las propiedades de aglomeramiento son mejores ya que el contacto entre los granos de arena y el aglutinante es mayor, por lo que la unión será más fuerte.⁹ En la recuperación esta arena presenta un comportamiento intermedio.

1.2.3 ARENA COMPUESTA

Si la arena recibida contiene granos compuestos o racimos de partículas se deberá conseguir otra fuente suministradora de arena. Porque aunque los granos de arena compuestos sean procesados por la planta de arena, estos serán lavados, pero solo la parte exterior de los racimos serán limpiados. Durante el atricionamiento estos granos compuestos podrían quebrarse por completo en forma irregular; por lo tanto deben ser considerados como no adecuados para recuperación; ya que el material aglutinante y todas las impurezas estarán aún dentro de los racimos. Generalmente, estos racimos o grupos de partículas tienen una unión muy débil. Cuando esta arena sea transportada neumáticamente, colocada en un molino, mezclador continuo o manejada en una operación de fundición normal, el aglutinante tenderá a quebrarse, lo cual introduce agentes de aglutinamiento perjudiciales en el proceso de moldeado o hechura de corazones.³

1.2.4 ARENA REDONDEADA

La última forma de arena es la de grano redondeado. Estos son granos intemperizados con una área superficial baja, requiriendo originalmente menos aglutinante y proporcionando una superficie lisa para la remoción del aglutinador residual de la arena aumentando la durabilidad de los granos durante la recuperación³. En la fundición la arena redondeada es considerada como la arena más deseada, esto se estableció basándose en pruebas realizadas con las diferentes formas de arenas, siendo ésta la que en términos generales presentó resultados más satisfactorios.⁹

La permeabilidad máxima es obtenida cuando los granos son grandes, de tamaño uniforme y forma redondeada. Arenas con esta descripción rara vez existen en la naturaleza, y aquellas que más se aproximan a esta, no tienden a presentar la mejor superficie de vaciado. A pesar de las muchas ventajas que esta arena pueda presentar, una de las limitaciones que se puede considerar de más importancia es la originada por el acomodamiento de los granos, ya que debido a su forma redondeada presentará espacios mayores entre grano y grano, lo cual influirá en la cantidad de aglutinantes y aditivos que se tengan que utilizar siendo mayores las cantidades utilizadas en este tipo de arenas que en las subangulares.

La figura 1 muestra la forma típica de los granos de arena nueva: a) redondo, esencialmente usado en fundiciones de acero, b) subangular, usado en fundiciones de hierro y acero, c) angular, esencialmente usado en fundiciones de hierro y d) compuesto que por su naturaleza no son recomendadas para recuperación.¹⁰

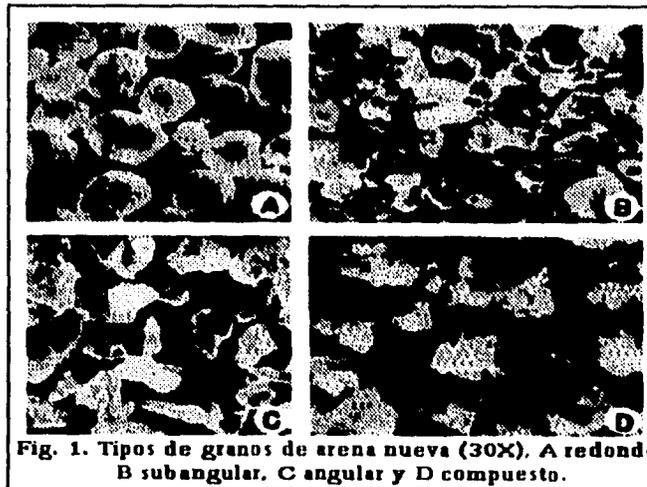


Fig. 1. Tipos de granos de arena nueva (30X). A redondo B subangular. C angular y D compuesto.

1.3 ESTADOS Y FORMAS DE LA SILICA

El óxido de silicio, dependiendo de la temperatura a la que se le encuentre, puede presentar las siguientes estructuras cristalinas,⁹ o sea presenta polimorfismo:

Estructura cristalina	Rango de Temperatura (°C)
Cuarzo alfa	Hasta 572
Cuarzo beta	572.77 -- 870.0
Tridimita	870.0 -- 1470.0
Cristobalita	1470.0 -- 1700.0
Silica vítrea	1700.0 -- o más

Estas estructuras cristalinas generalmente se presentan al colar un metal en la arena, pero principalmente se presentan en la interfase molde-metal. Las dos estructuras ultimas, solo se presentan cuando se vacían aleaciones con muy elevado punto de fusión.

Los primeros tres estados listados, cada uno tiene una forma a baja temperatura y una forma de alta temperatura, con la denominación general de alfa (para la forma de temperatura baja) y beta (respectivamente beta 1 y beta 2 en el caso de tridimita, para la forma de alta temperatura). A una cierta temperatura de inversión la "forma baja" acomete a la "forma alta". Esta inversión es bastante rápida. Sin embargo, la inversión de un estado a otro es muy lento y ocurre solo si es calentado arriba de la temperatura de inversión y por períodos de tiempo largos, ver figura 2.¹¹

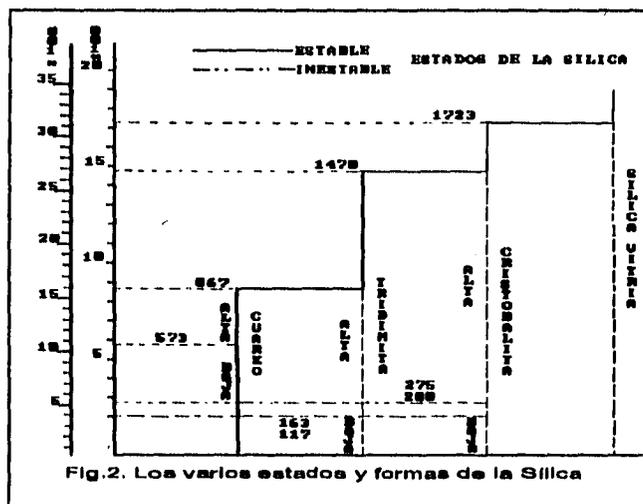


Fig.2. Los varios estados y formas de la Silica

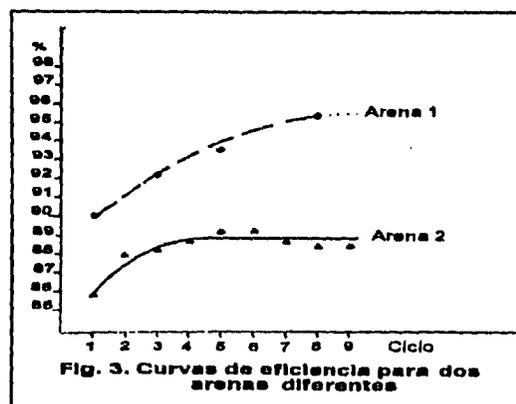
No hay un recuperador que opere a 1470 °C, que es la temperatura de inversión de la cristobalita. Esta inversión solo pasa de cuarzo a tridimita. La temperatura de inversión de esta es dada en la literatura como 867 °C. Aun cuando un recuperador pueda operar a esta temperatura (la mayoría no lo hacen), nosotros todavía tenemos que reconocer la necesidad para exposiciones largas, i.e. días mejor dicho que horas.

La inversión alfa-beta ocurre a 760 °C, es rápida y reversible. Sin embargo, nosotros vertemos aluminio a 704 °C, y latón a 1177-1232 °C. De esta manera la inversión ocurre se quiera o no. Esta alta temperatura es experimentada en el molde en una capa de material muy limitada, adyacente a la interfase metal; no debemos olvidar que la recuperación nos permite usar la arena una y otra vez. Y puesto que no tenemos manera de colocar siempre la misma arena contra el modelo, la probabilidad nos dice que esencialmente toda la arena podría ser expuesta a la inversión eventualmente.

De esta manera, se puede decir claramente que la teoría de la estabilización térmica de arena, por tratamiento a alta temperatura en un recuperador y la protección de la arena procesándola por debajo de la temperatura de inversión, de alfa a cuarzo beta son un mito.

Lo que realmente se ve en la recuperación es una supervivencia de los granos apropiados. La arena es expuesta a calentamientos bruscos en la interfase del metal a temperaturas que varían con el tipo de metal vertido, pero el cual puede estar tan alto como 1649 °C en aceros; y los granos no apropiados para resistir este tratamiento podrían romperse por completo y ser removidos como desecho. Si la arena es además expuesta a atrición intensiva algunos granos incapaces de soportar este tratamiento también podrían quebrarse por completo y ser removidos como desecho.

Leidel (11), resalta que la arena recuperada es definitivamente más estable que la nueva. Esto se muestra claramente en la **figura 3**. Entre más es reciclada la arena, menor será la pérdida en el sistema de remoción de polvos. Claramente la arena recuperada es mas estable. Sin embargo, esto es cierto para cualquier sistema de recuperación y sobre todo para aquellos que incluyan una atrición más intensiva, y no solo para un tratamiento térmico.



1.4 ARENAS DE MOLDEO

El moldeo de las arenas verdes es una de las tecnologías más viejas, y compiten con numerosos sistemas nuevos; a pesar de esta competencia más del 70 % de las fundiciones producen piezas utilizando arena verde.⁴

Casi todas las fundiciones usan la arena verde en un promedio de 4 a 5 toneladas para producir una tonelada de metal, aunque hay algunas que emplean hasta 10 toneladas y otras apenas 1/2 tonelada; como puede verse todas la emplean en gran cantidad.⁵

Para producir piezas buenas es necesario manejarla y almacenarla cuidadosamente, ya que en realidad es el molde la parte vital dentro del proceso para la manufactura de las piezas coladas. De aquí que haya que prestar gran atención a todos los detalles que entran en la preparación, control, manejo y uso apropiado de la arena.⁵

El moldeo de las arenas cae en dos categorías de acuerdo al tipo de arena base empleada⁶:

a).. Arenas Aglutinadas Naturalmente

Son aquellas en que el grano refractario esta asociado en sus depósitos con la arcilla necesaria para moldeo. Tales arenas a menudo desarrollan buenas propiedades de moldeo agregando solo agua pero su contenido relativamente alto de arcilla reduce refractoriedad y permeabilidad.

b).. Arenas Sintéticas

Están basadas principalmente en arena sílica conteniendo poco o nada de aglutinante en el estado natural. Estas dan gran libertad en el control de propiedades y la proporción de aglutinante requerido es usualmente mucho menor que el presente en los materiales aglutinados naturalmente.

1.4.1 MATERIALES AGLUTINANTES

La función del aglutinante es producir cohesión entre el grano refractario en el estado seco o verde. Como los materiales aglutinantes no son altamente refractarios la potencia de cohesión requerida debe ser obtenida con la adición mínima posible de aglutinante. Los materiales aglutinantes se describen y se clasifican a continuación:

a).. Materiales Aglutinantes para Arenas de Relleno

Pueden ser orgánicos o inorgánicos. Los orgánicos son las resinas (furanicas y fenolicas), los cereales y los aceites; los inorgánicos son las bentonitas y el silicato de sodio.

b).. Materiales Aglutinantes para Corazón

Pueden ser divididos en cuatro clases principales: 1) aglutinantes que se endurecen al enfriar, 2) aglutinantes que se endurecen a temperatura ambiente, 3) aglutinantes que se endurecen con el homeado y 4) arcillas⁷.

Aglutinantes clase 1: el agua es el único que ha sido usado en la practica de fundición al presente.

Aglutinantes clase 2: es el grupo de aglutinantes que se endurece al aire a la temperatura ambiente, consisten principalmente de tales materiales como silicato de sodio, silica ester, cemento Portland, cemento rubber y cemento químico tal como oxiclora.

Aglutinantes clase 3: generalmente, este grupo incluye aglutinantes tales como aceites, cereales, resinas, brea, sulfato y proteínas. Estos aglutinantes no desarrollan su resistencia por los cambios físicos o químicos. En este respecto, pueden ser subdivididos en tres tipos:

- 1). Aquellos que se secan con el calentamiento (aceite vegetal, mineral y animal marino).
- 2). Aquellos que se endurecen con el enfriamiento después de haber sido calentados (resinas de goma, resina de madera, resinas de petróleo, brea).
- 3). Aquellos que se adhieren con el calentamiento (aglutinantes de sulfato, proteína, melaza, cereal).

Aglutinantes clase 4: son las arcillas que incluyen dos tipos principales de bentonitas, éstas son conocidas con el nombre de cálcicas y sódicas.

1.4.2 ADITIVOS PARA LA ARENA

Debido a que muchas veces conviene tener propiedades en las arenas que no es posible obtener ni con un control cuidadoso de la arena, agua y aglutinante, es frecuente añadir ciertas substancias, bien orgánicas o inorgánicas, que modifican las propiedades de la arena en el sentido conveniente para nosotros, evitando así la aparición de defectos en las piezas⁸.

Algunos aditivos que se agregan a la arena son: polvo de carbón de hulla, brea, harina de madera, dextrina, mogul, oxido de Fe, NaOH, CaCl₂, Li₂CO₃, etilen glicol y keroseno.

1.4.3 PROPIEDADES DE UNA ARENA

Las propiedades más importantes que deben considerarse en una arena para moldeo son las pruebas físicas y los ensayos mecánicos:

1). Pruebas Físicas

- * Densidad
- * Permeabilidad
- * Compactabilidad
- * Humectabilidad
- * Moldabilidad

2). Ensayos Mecánicos

- * Resistencia a la Penetración
- * Resistencia al Corte
- * Resistencia a la Compresión
- * Resistencia a la Tracción
- * Resistencia al Impacto

1.5 DEFINICION DE RECUPERACION DE ARENA.

La definición de recuperación de arena, desarrollado por el comité de recuperación de arena de la sociedad americana de fundidores es: "la recuperación de arena es el tratamiento físico (mecánico) ó químico ó térmico de un agregado refractario para permitir su reutilización sin bajarle considerablemente sus propiedades útiles, originales requeridas para la aplicación involucrada". Esta es una definición muy larga pero cuando se analiza se ve que cada parte es crítica.³

El término "como se requiere para la aplicación involucrada" abre una nueva área de interés. Los avances tecnológicos, que se han hecho en los últimos 10 años, los aglutinantes químicos, y los métodos de moldeo y manufactura de corazones están constantemente cambiando. Por lo tanto, necesitamos producir una arena recuperada, que esté muy cercana al material virgen utilizado para alcanzar todos los requerimientos y aplicaciones que una fundición pueda encontrar.

La arena de desecho tiene un recubrimiento de aglutinante residual en la superficie del grano individual, la arena nueva no lo tiene. La recuperación de arena debe remover este aglutinante residual de la superficie del grano de desecho.¹¹

La definición abarca un proceso en el cual la arena verde con una capa calcinada de arcilla, alrededor de los granos de arena individual, será tratada removiendo esta capa de arcilla calcinada, así que la arena podrá ser reutilizada en una línea de moldeo en lugar de arena nueva.¹²

1.6 MOTIVOS PARA RECUPERAR ARENA

Los motivos para recuperar arenas son ambientales, técnicos y económicos.

a).- Consideraciones Ambientales⁸

Debemos considerar recuperación de arena para reducir algunos problemas ambientales o ecológicos en el sitio donde se tira la arena.

Las arenas de desecho que se tiran cuando todavía pueden ser recuperables se ha sumado a la contaminación de la atmósfera y del agua, dando lugar a innumerables quejas. En Estados Unidos hay una reglamentación (PL94-580) de 1976 que controla en ese país, a nivel nacional, todos los desechos sólidos.

En el futuro las fundiciones se encontrarán limitadas por diferentes reglamentaciones tanto a nivel estatal, como federal y las restricciones al medio ambiente serán cada vez más estrictas, limitando los materiales que se puedan tirar libremente, sin efecto contaminante, especialmente por su efecto sobre el agua que cae sobre ellos y disuelve diferentes productos químicos que llegan a fuentes, ríos o lagos.

Fabricantes, ingenieros y diseñadores de equipo de recuperación de arena, así como fundidores, deben tomar en cuenta estas consideraciones y así poder planear y diseñar lo necesario para que un equipo de recuperación cumpla con las restricciones que sobre el medio ambiente les sean impuestas en el futuro.

b).- Factores Técnicos

El término técnico se usa para afirmar que cuando se pueda controlar el grado de atricionamiento y el manejo de la arena podremos tener un producto técnicamente superior, con el cual podremos empezar la operación de fabricación de corazones, realmente en muchos casos encontramos que lo anterior no es cierto.³

Los requerimientos técnicos conciernen a la calidad de la arena siendo retornada a la planta de moldeado y por lo tanto a la calidad de los moldes y fundiciones hechas.¹⁰

Ciertos aglutinantes, particularmente sistemas de resinas, no podrán endurecer satisfactoriamente a menos que la arena esté limpia, de un tipo específico y baja en alcalinidad; otros no pueden tolerar la presencia de finos. Algún proceso de recuperación debe, por lo tanto, retomar la arena que ha sido regenerada para establecer estos requerimientos.

c).- Factores Económicos⁸

La arena es aparentemente uno de los materiales más abundantes que hay en la tierra. Sin embargo, como muchos otros materiales abundantes pero no renovables, se está volviendo escasa y cara. Para el fundidor la arena no es solo arena, sino que es el material especial que necesita tener en el lugar necesario en el momento debido. Estas características, aunado al manejo del material, el factor tiempo y el costo de deshacerse de él, son los factores que dan a la arena de fundición su sentido de ser y de costo.

Su costo está compuesto por el de la arena nueva, más el de las facilidades para su almacenamiento, el de deshacerse de la arena usada, con un aumento cada vez mayor en la distancia donde se tira y el costo del trabajo para manejar no solo la arena que recibe, sino también la que se desecha.

Todo esto hace que la recuperación de arena usada sea bastante deseable, como un medio de recuperar una porción de los costos y al mismo tiempo, haciendo una contribución permanente a la protección ambiental.

1.7 VENTAJAS DE LA RECUPERACION

Considerando el alto costo de la arena nueva, así como el problema de disposición, es una necesidad económica investigar la posibilidad de reducir la generación de material de desecho.¹² Algunas de las ventajas del sistema de recuperación son:¹⁰

- * Reducir materialmente la cantidad de arena nueva comprada.
- * Eliminar la mayor porción de costos de disposición de arena.
- * Mejorar el control de propiedades físicas en un sistema cerrado.
- * Bajar el porcentaje de aglutinante requerido.
- * Limpiar la operación de la fundición.
- * Conservar las fuentes de arena.
- * Mantener la aplicabilidad para una operación eficiente de moldeo.
- * Contribuir permanentemente a la protección ambiental.
- * Estabilizar el grano por recuperación térmica.

1.8 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DE LA FUNDICION Y MOLDEO AL PROCESAR ARENA RECUBIERTA CON AGLUTINANTE¹⁰

- 1).** **El aglutinante se afecta térmicamente.**..La resina descompuesta térmicamente debe ser sustancialmente removida. Los efectos de retener mucho de este material incluyen:
 - a).** El consumo de aglutinante, ya que los intersticios creados por la resina descompuesta parcialmente desprendida son llenados con resina fresca durante el mezclado.
 - b).** La pérdida de fluidez; el sobrante de la resina adherida incrementa la fricción intergranular, volviendo así la mezcla de arena menos fluida.

- c). La pérdida de esfuerzo tensil. Se ha especulado que parte de esta pérdida resulta del esfuerzo tensil bajo del aglutinante descompuesto, pero en su mayor parte resulta de moldes menos densos pobres en fluidez. Se ha reportado un 30% de reducción en esfuerzo tensil por este único factor.
- d). La reducción de permeabilidad. Se asume que la permeabilidad es baja porque los aglutinantes consumidos se vuelven un material excesivamente fino que llena el vacío entre granos.

Se ha reportado que en sistemas de recuperación de arenas en producción, el recubrimiento de aglutinante de los granos de arena recuperada es superior al recubrimiento que se obtiene con el uso de arena nueva.

2). La Arena se queda recubierta con aglutinante... Hay indicaciones de que la resina curada dejada después del vaciado debe ser atricionada un poco, pero no enteramente. Una pequeña cantidad de resina residual dejada en el grano de arena al ser esta recuperada no solo es deseable sino necesaria. El mérito de dejar la cantidad apropiada de resina en los granos de arena incluye una reducción del consumo de resina pues la película residual suaviza las irregularidades del grano redondeándolo y reduciendo el área superficial. Sin embargo, aquellos residuos excesivos de resina en los granos de arena podrían presentar problemas tales como:

- a). Pérdida de fluidez. Las pequeñas protuberancias o sobrantes de resina fracturada interconectan granos de arena adyacentes creando una rugosidad, la cual incrementa la fricción intergranular con las pérdidas consecuentes de fluidez.
- b). Desequilibrio en la proporción de catalizador. La cantidad de catalizador, debe ser cuidadosamente regulada para compensar posibles acumulaciones de catalizador en la arena recuperada, para que el tiempo del sistema no sea excesivamente perturbado. En la práctica, esta condición se estabiliza después de varios ciclos de recuperación y no presenta gran problema.
- c). Excesiva generación de gas nitrógeno debido al excesivo acumulamiento de resina en los granos de arena que puede resultar en defectos de porosidad (pinhole) en la fundición.

3). Finos y polvos influyen... Las principales fuentes de polvos (partículas más pequeñas que 50 micrones) en arena recuperada son la resina descomponiéndose térmicamente y partículas del molde. Los granos de arena desgastados y fracturados constituyen los finos de 50-70 micrones de tamaño. Idealmente el polvo debe ser removido completamente y los finos controlados para mantener la distribución de tamaño de grano deseable. La acumulación excesiva de estos materiales podría resultar en una pérdida de permeabilidad y en un consumo mayor de resina lo que provoca problemas en el moldeo y la colada. Deben lograrse la eficiencia en el control de polvos y finos y esto debe ser parte de la unidad de reciclado. Finalmente para el control se adiciona arena nueva. Esta es algo razonable, ya que se pierde cierta cantidad (10-15% de arena) en las operaciones de atrición rutinaria.

4). Temperatura de arena influye... El control de la temperatura de arena cuando es proporcionado para la mezcla es muy importante. La temperatura óptima para arena de moldeo mezclada con furan nobake es 80 °F(27°C). Demasiada temperatura da por resultado una muy corta vida activa o de tiempo de fluidez y debe ser evitada. El control de la temperatura de arena recuperada tal y como sale debe ser opcional porque la demanda varía substancialmente para diferentes operaciones dependiendo del tipo de metal fundido, relación arena/metal, número de turnos, tiempo de reciclado, etc.

5). El diseño propio de una unidad de recuperación

Proporcionará :

- a). Reducción de terrones a granos de arena individual.
- b). La separación virtual de todo el aglutinante descompuesto de los granos de arena.
- c). Reducción substancial de resina nueva en los granos de arena.
- e). Remoción de todos los polvos y finos.
- f). Remoción de metal atrapado y material extraño.

6). Los ensayos de la eficacia de recuperación... Aún no ha sido establecido un procedimiento especial de análisis de arena AFS para asentar los parámetros necesarios en la recuperación de arena. Consecuentemente, las pruebas estándar deben ser modificadas y proyectar nuevas técnicas para evaluar el funcionamiento de un sistema de recuperación de arena nobake. Además de una observación microscópica que provea alguna indicación de la condición de la arena reciclada.

El análisis solo, de malla, no revela si los varios tamaños de materiales son granos limpios individuales de arena, aglomerados de varios granos pequeños reaglutinados por resina o granos de arena completamente encapsulados en resina carbonizada. El examen microscópico del material restante, en los varios tamaños de malla, proporciona una valoración cuantitativa practica de la eficiencia del recuperador de arena.

1.9 ARENA DE DESMOLDEO

Al desmoldear existe la siguiente situación en la arena⁴:

- a).. Hay amplia variación de temperatura y fluctuaciones de humedad (arena de molde-
/interfase metal vs porción exterior del molde, o aun molde no usado).
- b).. Granos de arena envueltos por una capa de arcilla calcinada debido al efecto del metal
caliente.
- c).. Un gran número de aglomeraciones originadas, ya sea de aglomerados de arena verde
o de pequeñas piezas de corazón.
- d).. Contaminantes no silíceos tales como piezas de metal, etc.

Para poder reutilizar la arena de desmoldeo en la mejor condición posible debe realizarse lo siguiente⁴:

- * Remover la arcilla calcinada pero reteniendo una cantidad máxima de arcilla útil.
- * Desmoronar completamente la arena.
- * Adecuar temperatura de arena.
- * Remover todas las aglomeraciones remanentes o partículas de una naturaleza no silícea
(magnéticos y no magnéticos).

El volumen manejado, aunque es parcialmente renovado por corazones y adiciones de arena nueva, se hace gradualmente inferior. El estado de deterioro de la masa de arena deriva de los cambios de superficie de los granos individuales, su espesor varía con las capas crecientes de recubrimiento, una cierta cantidad de los conglomerados irregulares se aglutina o fusiona en grupos de granos. Las fuerzas mecánicas de la molienda y los choques térmicos del contacto con el metal fundido pueden liberar y quitar algunos de los recubrimientos gastados y crear polvos indeseables y finos. Consecuentemente, la distribución de mallas cambia.¹⁰

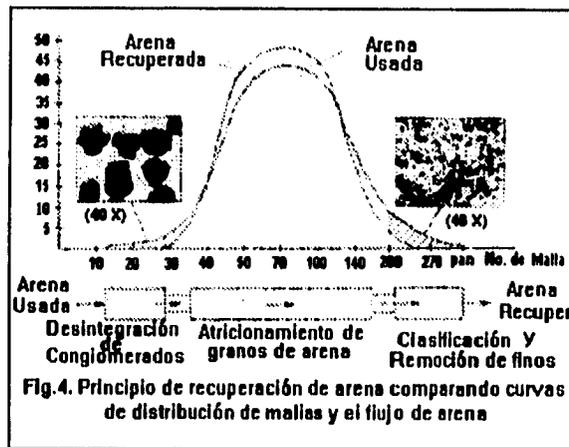
El deshacerse de la arena usada es innecesario. Muchos fundidores saben que bajo la capa de recubrimiento esta un grano de arena nuevo, virtualmente inalterado.

El proceso de recuperación de arena, que presentan los varios métodos actuales de recuperación, es un camino para reducir la cantidad de arena nueva al reusar la arena recuperada tanto como sea posible. La falta de una selección apropiada del tipo de recuperación en relación a la consistencia de la arena usada y las aplicaciones de reuso, ha prevenido a muchos fundidores de aceptar la recuperación de su arena de desecho en la forma tan natural como refunde coladas y alimentadores.

Las características físicas de la arena reciclada en operaciones de fundición cambia, y su curva de distribución de criba difiere de la de arena nueva. Cuando se encuentra en el molde, la mezcla de arena es sometida a la temperatura del metal fundido en el molde y superficie del corazón. Sucede entonces una conversión parcial de un tipo de aglutinante y el quemado de otros. Algunos grupos de granos se unen, otros se engruesan con cada capa de aglutinante fresco durante el proceso de molienda.

Cuando la arena es usada repetidamente esta es sometida a esfuerzos mecánicos, ya sea en la molienda o el apisonado, lo cual quiebra acumulaciones de arena recubierta. Una cierta cantidad de estos fragmentos se incrustan en los recubrimientos sucesivos, pero la gran mayoría se reducen a finos libres. Obviamente, como la distribución de grano original cambia, el área superficial total de la masa de arena se incrementa. Si la arena es usada en esta condición la estabilidad de la arena en la superficie del molde fundido podría deteriorarse. Para compensar este incremento del área superficial, se hace necesario incrementar la fortaleza del aglutinante y de las adiciones de agua para mantener su aplicabilidad. Eventualmente, se alcanza el punto donde la característica de la arena requerida no puede ser mantenida y la arena debe ser ya sea descartada o sometida al proceso de recuperación.

La figura 4 ilustra el efecto de la recuperación de arena. La curva de distribución de criba de arena usada es comparada con la de arena recuperada. El diagrama de flujo explica la operación de limpieza. Los grupos de granos fusionados y finos sueltos se muestran en las áreas sombreadas e ilustradas con fotomicrografías de la misma arena.



Las fotomicrografías en la figura 5, muestran granos de arena antes y después de la recuperación. Algunos conglomerados están claramente visibles en la arena usada, recubrimientos gruesos de la arena y finos sueltos, comparados con los granos individuales atricionados de la arena recuperada.

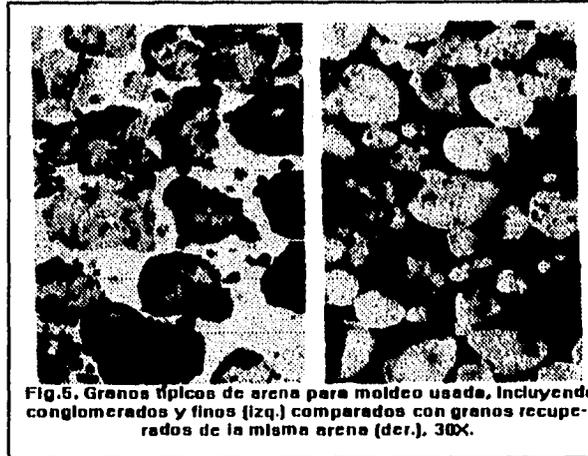


Fig.5. Granos típicos de arena para moldeo usada, incluyendo conglomerados y finos (izq.) comparados con granos recuperados de la misma arena (der.). 30X.

El reciclado de los granos de arena en el proceso de atricionamiento y el tiempo de retención resulta en una remoción uniforme de los recubrimientos usados. Los pocos puntos oscuros en la superficie son las partículas de aglutinante activo, los cuales actúan como puntos de contacto claves durante el proceso de molienda. La superficie vidriosa-lechosa de los granos atricionados proveen mejor adhesión de aglutinante. Estos dos factores permiten un ahorro adicional de aglutinante nuevo.

Experiencias en el uso de arena recuperada en la arena de moldeo, en general, muestran que un recubrimiento muy delgado uniforme alrededor de los granos provee una mejor resistencia al choque térmico y también a un mínimo de adiciones de arena nueva.

Cuando la arena recuperada es reutilizada para corazones se requiere el grado más alto posible de limpieza, el cual puede ser obtenido por un tiempo de retención largo durante el proceso de atricionamiento y remoción continua de finos controlados. A causa de algunas impurezas residuales no toleradas en muchas de las arenas para corazón, la arena recuperada es diluida con arena nueva, cantidad que depende del tipo de aglutinante y del procedimiento de manufactura de corazones.

1.10 RELACION ARENA RECUPERADA/NUEVA¹²

La arena de desmoldeo recuperada de una línea de moldeo de arena verde es usada como sustituto de arena nueva.

Cuando se use arena en verde reciclada se necesitará una cierta adición de arena nueva para conservar el sistema sano. La cantidad estándar de arena nueva añadida es entre 91-182 Kg por tonelada de metal vertido. Esta arena puede ser añadida a la línea de moldeo, o puede originarse de corazones colapsados. En fundiciones con altas cargas de corazones, la cantidad

de arena originada de corazones colapsados puede alcanzar proporciones excesivas, que hacen necesario remover la arena de la línea de moldeado para mantener un sistema de arena adecuadamente aglutinado arena/agua/arcilla.

Los corazones pueden ser hechos con 40% de arena recuperada y 60% de arena nueva y los modes con 80% de arena recuperada y 20% de arena nueva.

Una adición de arena nueva a la línea de moldeo es necesaria para compensar el tener granos de arena con una capa excesiva de material calcinado. Estos granos de arena se originan de la interfase molde-metal donde la arena revestida de arcilla es expuesta a alta temperatura. La capa de arcilla calcinada envolviendo el grano de arena cambia el funcionamiento de la arena en la operación de moldeo.

1.11 ETAPAS BASICAS EN LA RECUPERACION DE LA ARENA¹⁰

La intención básica de la recuperación de la arena es reducir terrones de arena después del desmoldeo al tamaño de grano individual original, librarla de finos excesivos, metálicos y aglutinante, para obtener una arena que se pueda usar como arena nueva y con una granulometría controlada.

Hay cinco etapas básicas en el proceso: **desmoldeo, triturado, enfriamiento, atricionamiento y clasificación**, cada uno de los cuales es vinculado a un colector de polvos de tamaño apropiado. La operación eficiente de cada etapa del sistema de recuperación depende fuertemente de la incorporación del equipo propio de remoción de finos.

El desmoldeo puede ser realizado por varios métodos, por ejemplo desmoldeo manual, desmoldeo vibratorio de alta energía de impacto y por un chorro o ráfaga de aire, el propósito es remover la arena del tubo, liberar la arena de metálicos y fundamentalmente reducir la masa de arena. En la práctica ferrosa, el remover partículas metálicas extrañas tales como, varillas, alambres, rebabas de metales y la transferencia de material desde el desmoldeo a la unidad de triturado deberá ser acoplada con un equipo de separación magnética, usando a la vez una polea de cabeza magnética y un separador de la polea.

La segunda etapa (triturado) puede ser ejecutada por muchos tipos diferentes de equipo, por ejemplo trituradores de rodillo, molinos de alambre, molinos de martillo y alimentadores vibratorios para reducir también terrones de arena y parcialmente remover aglutinante de los granos de arena. El medio térmico también puede ser aplicado para quitar el aglutinante de la masa de arena, tal como un horno tipo corazón, cama fluidizada u horno rotatorio.

Para el control de las características de un sistema de arena reaglutinada, la temperatura de la arena reciclada deberá ser disminuida cuando pase a través de los componentes del sistema. Esta, tercera etapa, puede ser realizada por una unidad de enfriamiento de cama fluida o enfriador rotatorio. Algunos sistemas de recuperación enfrían la arena por un chorro de aire a través de las diferentes etapas y puntos de transferencia, tales como el elevador y cinturon transportadores, de esta manera eliminamos la necesidad de un enfriador auxiliar. Hay que considerar las condiciones prácticas antes de decidir sobre la necesidad de enfriamiento de arena.

La cuarta etapa consiste de atricionamiento de arena, el propósito es limpiar cada grano de arena de este modo se logran condiciones óptimas para un recubrimiento adicional. Esta operación es realizada ya sea neumáticamente, mecánicamente o por atricionamiento húmedo. El atricionamiento neumático es hecho por bombardeo fluidizado de arena sobre una placa de acero altamente resistente al desgaste. El atricionamiento mecánico puede ser realizado por un chorro de aire abrasivo. El atricionamiento húmedo es frecuentemente usado para limpiar arena aglutinada con silicato.

Finalmente, la arena regenerada es alimentada por medio de un clasificador, u operación de cribado, en donde los granos de arena son separados en aglomerados muy grandes los cuales tienen que ser reciclados por el sistema.

Las etapas básicas existentes descritas están incorporadas en muchos sistemas de recuperación de arenas. El tamaño y complejidad de estos sistemas fluctúan desde los extremadamente sofisticados, los cuales incorporan varios triturados y atricionamiento con una colección de polvos de alta eficiencia y un enfriamiento, hasta los sistemas muy simples que incorporan triturados y clasificación con un mínimo de colección de polvos.

1.12 PARAMETROS PARA LA ELECCION DE UN METODO DE RECUPERACION

El tipo de proceso o método de recuperación de las arenas depende de varias consideraciones básicas y fundamentales. Estas consideraciones deben estar claramente establecidas antes de que las fundiciones decidan sobre el método o proceso de recuperación más adecuado. Existen en la literatura dos tipos de planteamientos para elegir un sistema de recuperación, Zayco, Robert E. (8) menciona que, conviene considerar lo siguiente⁸:

1. Número de toneladas de arena que se desechan, por día, semana o mes.
2. Las características de la arena que se tira. Consiste de arena de corazones, arena de moldeo, pedazos de corazones, etc.
3. Costo actual de la mano de obra necesaria para sacar y tirar la arena.
4. Costo de transporte y permisos para vaciar la arena en los lugares donde se deja.
5. Costo por tonelada de la arena nueva, en el lugar donde se va a emplear.
6. Análisis químico del material que se piensa recuperar.
7. Producto o uso al que se destinará el material recuperado.
8. Gastos para tirar los desechos y desperdicios de la recuperación de arenas.

9. Ubicación y espacio del que se dispone para instalar y operar la recuperadora.
10. Equipo necesario y complementario para la recuperadora.
11. Costo por operar la recuperadora.
12. Costo del mantenimiento de la recuperadora.
13. Inversión necesaria para dejar trabajando la recuperadora.
14. Relación entre la arena que se recupera y su manejo y el deshacerse de desperdicios no recuperables.

Las respuestas a las consideraciones anteriores, así como algunos otros factores, pueden significar la diferencia entre una recuperadora de arena que rinda ahorros y beneficios y una que no lo haga.

Y en la referencia (10) se mencionan las variables que determinan el grado de sofisticación requerido en una planta de recuperación de arenas.

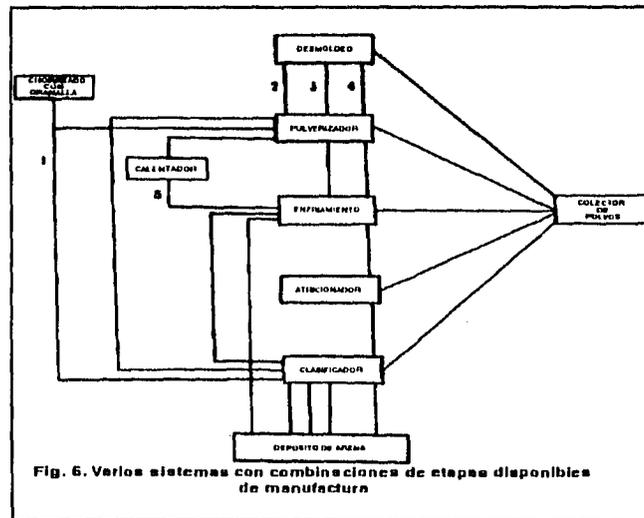
Estas variables son tonelaje de arena, grado de limpieza requerido, proporción de arena nueva, tipo de aglutinante, tamaño de la pieza fundida y metalurgia, relación arena/metal, espacio disponible y capital¹⁰. A continuación se amplían estos incisos:

- 1). **Requerimientos de tonelaje para uso de la fundición.** Se debe considerar la posibilidad de tener un sistema de recuperación pequeño para dos turnos. Esto podrá proporcionar los requerimientos de tonelaje necesarios y mantendrá el número de etapas a un mínimo.
- 2). **Limpieza de grano requerido.** Dependiendo del sistema nobake usado así como del sistema de fundición usado pueden ser tolerados diferentes grados o niveles de impurezas. Obviamente un sistema más sofisticado puede ser requerido para una fundición que desea un sistema relativamente libre de impurezas.
- 3). **Relación de arena recuperada/nueva.** Una relación de 50/50 podrá requerir menos acción de limpiado que un sistema incorporando una relación de arena recuperada/nueva 90/10.
- 4). **Tipo de aglutinante.** Un aglutinante "nobake" furánico podrá requerir menos pulverizado vigoroso y acción de atricionamiento que un sistema de aglutinante nobake "urethane".
- 5). **Variables químicas y tamaño de la pieza.** Un sistema nobake usado en una fundición de acero puede requerir mejor acción de limpiado que un sistema nobake usado para producir fundiciones de hierro.
- 6). **Relación arena/metal.** Una baja relación arena/metal podrá resultar en más aglutinante quemado que una proporción alta de arena a metal. Por lo tanto, se requiere una acción de cribado y desmoldeo grande si la relación arena/metal fue baja.

7). **Disponibilidad de área y capital.** Las siguientes dos variables están asociadas cerradamente con los requerimientos de tonelaje. Además un sistema, operando para dos turnos puede requerir menos espacio y capital inicial que un sistema operando solo un turno.

Teniendo esta lista en la mente, es evidente que cada fundición debe analizar sus objetivos, basados en prácticas existentes y métodos de operación. Un sistema que pueda proveer economía y provecho para una fundición puede ser falso y extremadamente costoso para otra fundición.

La figura 6 muestra algunas de las combinaciones de etapas disponibles de varios fabricantes de equipos de recuperación de arenas. Cada línea indica un sistema diferente y muestra la relación que existe entre las etapas diferentes para cada sistema.



El sistema 1 muestra las etapas usadas en un sistema de regeneración por chorro de granalla. Después del colapso inicial de los terrones de arena por el chorro de granalla el material es alimentado a través de un triturador y luego clasificado y enviado para almacenaje.

El sistema 2 ejemplifica un sistema donde la masa de arena es vibrada en un desmoldeador, molida y clasificada. El enfriamiento y el atricionamiento no fueron usados. El sistema 3 utiliza el triturado y etapas de enfriamiento y elimina la atrición y etapa de clasificación. El sistema 4 hace uso de las cinco etapas de proceso de recuperación de arena. El quinto y el ultimo incorpora una cámara térmica de quemado del aglutinante viejo o gastado. En esta instalación la arena es luego enfriada y enviada para almacenaje. La clasificación es realizada en la etapa de atricionamiento y enfriamiento.

CAPITULO 2 ANTECEDENTES

B. SOBRE TIPOS DE RECUPERACION DE ARENA

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

La recuperación de arena ya sea la químicamente aglutinada, mezclada con materiales en varios estados para moldes y corazones, o bien aquella aglutinada con arcillas ó bentonitas, otros materiales y agua, puede hacerse por diferentes métodos. Por lo tanto, el equipo de recuperación debe poseer un doble propósito: remover cualquier material que contamine la arena y reducir los terrones de arena a los granos individuales originales.¹³

Los tipos de recuperación de arena comúnmente utilizados son: recuperación húmeda, recuperación térmica, recuperación seca y recuperación combinada.

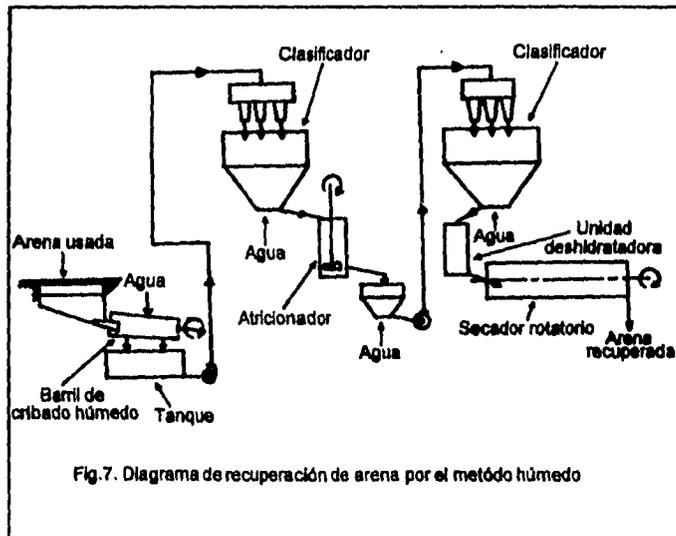
2.2 RECUPERACION HUMEDA

El "tipo húmedo", usa agua para desmoronar la arena, para quitarle el aglutinante y las arcillas. El sistema húmedo todavía no encuentra mucha aceptación y es usado hoy día en aplicaciones muy limitadas.³

Esta es una forma efectiva de limpiar la arena con la condición de que los materiales contaminantes sean solubles en agua, de diferente densidad que la arena y que no estén unidos a los granos de ésta. Los requerimientos de una planta de lavado son (ver figura 7)¹³:

1. Una sección de pulverizado para desmenuzar los grandes terrones de arena al tamaño de grano original.
2. Una sección de lavado que disponga de un suministro abundante de agua barata; ya que se necesitan más de 10 toneladas de agua para procesar una tonelada de arena.
3. Un sistema de disposición de efluentes para recircular el agua o en su defecto, prevenir la contaminación de la misma.
4. Una sección de deshidratación y secado para proveer una arena dentro de especificación que pueda volver a usarse en la fundición.
5. El espacio adecuado para el total de la instalación.

Una de las razones para rechazar este sistema es que para procesar 1 ton. de arena se pueden requerir más de 10 ton. de agua. El disponer del agua puede ser un problema mayor, algunas veces más grande que el desperdicio de arena que originalmente se intenta recuperar. Desde luego, la mayoría de los aglutinantes químicos comúnmente utilizados en la fundición no son solubles en agua y no son procesados efectivamente en un sistema de recuperación húmedo.¹⁰



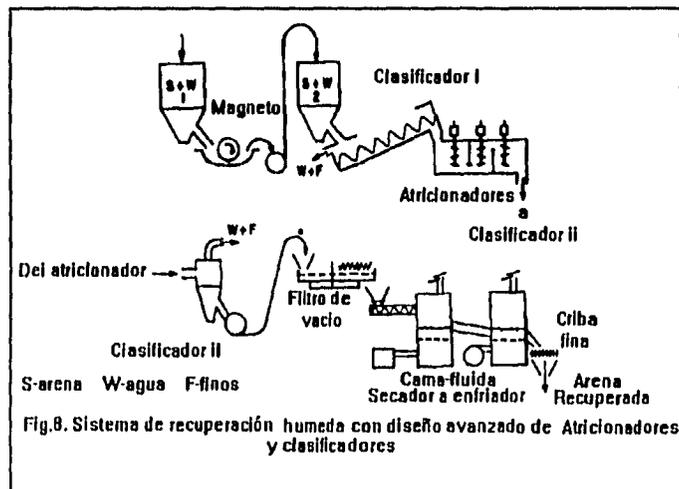
Las instalaciones de recuperación húmeda han encontrado uso limitado en la industria de la fundición debido al costo inicial alto y alto costo de mantenimiento que resulta del desgaste necesario de abrasivos en numerosos mecanismos de este sistema. Hasta donde se sabe, las instalaciones de atricionamiento húmedo encontraron uso económico en varias fundiciones grandes, cautivas de hierro y en talleres de fundición de acero que requieren arena recuperada en cantidad y al mismo tiempo deben controlar estrictamente el contenido de arcilla de las arenas de corazón y de careo.

Una mejor razón para usar recuperación de arena húmeda es el gran hecho establecido de que la arena recuperada por vía húmeda puede ser producida a menos de la mitad del costo de arena nueva. A su vez, la arena recuperada lavada es preferida a arena nueva para corazones y careo, debido a la habilidad para mantener control uniforme estricto de fineza de grano y contenido de arcilla.

La recuperación húmeda podrá encontrar uso efectivo en fundiciones que usen el proceso CO_2 , sin embargo, el proceso húmedo no podría remover silicato de sodio aglutinado con CO_2 que ha sido transformado en un recubrimiento de cerámica insoluble en granos adyacentes al metal fundido.

2.2.1 RECUPERACION HUMEDA CON DISEÑO AVANZADO DE ATRICIONADORES Y CLASIFICADORES¹⁰

Hay varios métodos de recuperación de arena donde el transportador y medio de atricionamiento es agua. Todos ellos siguen aproximadamente la misma secuencia de operación, sin embargo, el equipo implicado difiere en diseño, eficiencia y costos de mantenimiento.



La instalación ilustrada en la **figura 8** sufrió varios cambios y mejoramientos desde su instalación original y puesto que los resultados obtenidos casi todos son satisfactorios, la uniformidad del producto recuperado es de características deseadas y hay reducción considerable de mantenimiento, este sistema deberá ser considerado como el más eficiente hasta la fecha.

Se comienza con el triturado de terrones de arena, la eliminación de metal atrapado y el cribado primario, (no se muestra en el arreglo) luego la arena y el lodo S+W son descargados del tanque A y pasan bajo un imán permanente de tambor rotatorio. Esta unidad remueve las partículas pequeñas magnéticas, siempre presentes en la arena de desmoldeo. Sigue el bombeo del lodo completamente libre de metal al tanque B y la descarga en el clasificador No. 1, el cual remueve los finos sueltos; este clasificador consiste de una hélice espiral que gira lentamente con un paso cercano dentro de la artesa inclinada hacia arriba. La arena húmeda, recogida del lodo es llevada al tope terminal de la artesa. De ahí esta es cargada en atricionadores, mientras que los finos son llevados lejos con el derrame de agua W+F.

Los atricionadores, alineados en serie, difieren de ciertos equipos típicos con hélice individual rotatoria los cuales requieren cambios muy frecuentes a causa de la abrasión. El tipo usado en esta instalación consiste de tres conjuntos de impulsores con una lanza opuesta. Estos están cubiertos con caucho y adheridos a un eje giratorio veloz. El movimiento hacia abajo y hacia arriba del pesado lodo proporciona una atrición potente de granos de arena unos contra otros. El tiempo de retención y consecuentemente el grado de limpieza de la arena recuperada está en relación directa con el número de atricionadores conectados en serie. El flujo del lodo es hacia abajo en el primer atricionador y hacia arriba en el siguiente. Además, el remolino giratorio proporciona una turbulencia controlada regulada automáticamente por la velocidad del eje giratorio ajustado de acuerdo a la densidad del lodo.

Después, el material es pasado al clasificador No. 2 (un hidrociclón), en donde el lodo entra en forma tangente.

La fuerza centrífuga causa que los granos de arena se muevan a la pared de la vasija y hacia abajo, mientras que los finos se mueven hacia dentro, lejos del lodo giratorio y son llevados hacia arriba con el derrame S+W. Los granos de arena limpios con la humedad restante (40% aproximadamente) se descargan sobre un filtro giratorio con una malla fina en la cual un vacío reduce la humedad a aproximadamente 8 %. A continuación, según la operación final, la arena húmeda y limpia, es secada y enfriada y pasada a través de una criba fina, lista para reutilizarse ya sea para moldeo o hechura de corazones.

En algunos tipos de fundiciones como plantas automotrices grandes o de producciones altas, la arena usada que va a ser recuperada tiene una composición altamente variable. El material consiste de terrones de corazón con aglutinantes, con alto contenido de arcilla en diferentes arenas de moldeo, arena fresca derramada y corazones quebrados no usados en moldeo y otras impurezas del taller de fundición, etc. Por otro lado, un alto porcentaje de corazones, en relación al consumo total de arena nueva, requiere el uso de arena recuperada sin que se presenten efectos perjudiciales en la calidad de la pieza fundida. El método de recuperación húmedo es más apropiado para esta aplicación. Este produce arena más limpia que la recuperación en seco. Sin embargo, el costo inicial es el doble para el mismo rendimiento, así mismo es el requerimiento del espacio de área. El mantenimiento y gasto de corriente por tonelada de arena recuperada es también el doble. Los desechos crean un problema y la clarificación de agua es costosa. Se puede reducir el costo del tratamiento de agua si están disponibles grandes áreas de tierra para la evaporación natural, o un estanque donde el lodo pueda ser bombeado para sedimentarse en el fondo.

2.2.2 RECUPERACION HUMEDA CON ATRICIONAMIENTO³

La Fig. 9 muestra un sistema de atricionamiento húmedo. El equipo requerido en este sistema es un impulsor de alta velocidad en un tanque que contiene una pulpa (lodo) de agua y arena. Normalmente son procesados los lodos que contienen de 70 a 80 % de sólidos con un 20 a 30 % de agua. La arena entra por el lado izquierdo marcado como entrada. El deflector vertical impulsa lodo bajo la superficie, de esta manera pueda cortar la acción de

atrición. El material que entra debe pasar a través del impulsor hacia el derrame en el lado derecho proporcionando un procesado continuo y la descarga de material atricionado. Esto solo representa una porción del sistema de recuperación húmedo, ya que no se han removido los finos o el material soluble que fue desprendido de la arena. Por lo tanto, debemos enviar el lodo al segundo sistema para un proceso adicional. Esta porción del sistema de recuperación húmedo es un clasificador hidráulico o una unidad de separación de agua (Fig. 10). La arena entra por el lado izquierdo superior, donde es forzada hacia atrás rompiendo de golpe la velocidad del lodo. La combinación agua-arena fluye hacia el lado derecho del separador dejando caer las partículas pesadas fuera de la suspensión. Las partículas pesadas caen en el tubo de descarga mostrado transversalmente en el fondo. Estos tubos de descarga tienen una pequeña manguera que entra para proveer un flujo de agua a contracorriente. Este flujo a contracorriente ayuda a remover y separar el material permitiendo a los finos flotar hacia arriba donde puedan ser arrastrados a la extrema derecha y salir hacia el derrame de desecho. La arena cae al fondo a través de los orificios de salida. Después de haber lavado los agentes indeseables de la arena, la arena debe ser secada y enfriada antes de reutilizarse.

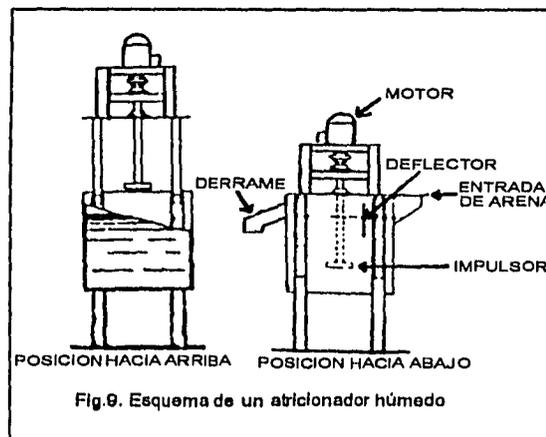


Fig. 9. Esquema de un atricionador húmedo

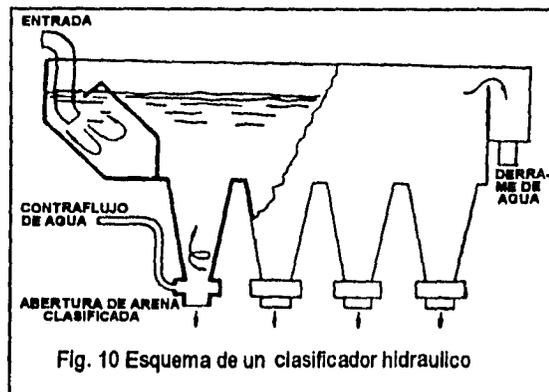


Fig. 10 Esquema de un clasificador hidráulico

2.3 RECUPERACION TERMICA

La "recuperación térmica" no está considerada como un método práctico de recuperación de arena debido al aspecto económico, ya que la arena se tiene que calentar de 760 a 927 °C para calcinar los aglutinantes orgánicos. Debido a las leyes ambientales, este sistema es considerado el más aceptable por la industria.³

El proceso de recuperación térmica, donde la arena es calentada arriba de 800° C ha encontrado limitado uso en la industria de la fundición.¹⁰

A esta temperatura los aglutinantes orgánicos pueden ser removidos de un grano de arena bajo un control estricto. Altas temperaturas, no podrían remover inorgánicos, particularmente arcilla, sin embargo la acción abrasiva de los granos de arena movidos a través del homo pueden remover una porción de arcilla u otro material inorgánico. Un industrial afirma que se puede remover hasta el 50% de la arcilla en un equipo de cama fluidizada.

La recuperación térmica de arena libre de arcilla, que es aglutinada con resina-fenólica es práctica, por ejemplo, en fundiciones de piezas de acero. El objetivo es remover resina y otros orgánicos bajo control estricto. Este control es necesario para reaglutinar la arena que luego tendrá una característica uniforme conocida.

Es interesante, que en cada una de las tres plantas se usa un medio diferente de calentamiento de arena arriba de 816 °C esto es, un homo rotatorio horizontal, un homo rotatorio vertical de multicapas y una unidad de cama fluida. Todos los dispositivos de calentamiento de arena son recubiertos por refractario.

La cama fluida de calentamiento o enfriamiento ha sido un desarrollo interesante en los últimos 10 años; sin embargo, su incapacidad para remover efectivamente arcilla debe limitar su uso a fundiciones cuya arena tiene poco o ningún contenido de arcilla.

Los costos son altos en la recuperación térmica. Además de la unidad de calentamiento, otro equipo necesario podrá incluir separación magnética, cribado-triturado, almacenamiento, enfriamiento, manejo de arena y colección de polvos.

La recuperación térmica en la recuperación de arenas aglutinadas con CO₂ no es útil, puesto que el silicato de sodio, a temperaturas arriba de 538 °C cubre un grano de arena con una cubierta de cerámica insoluble.

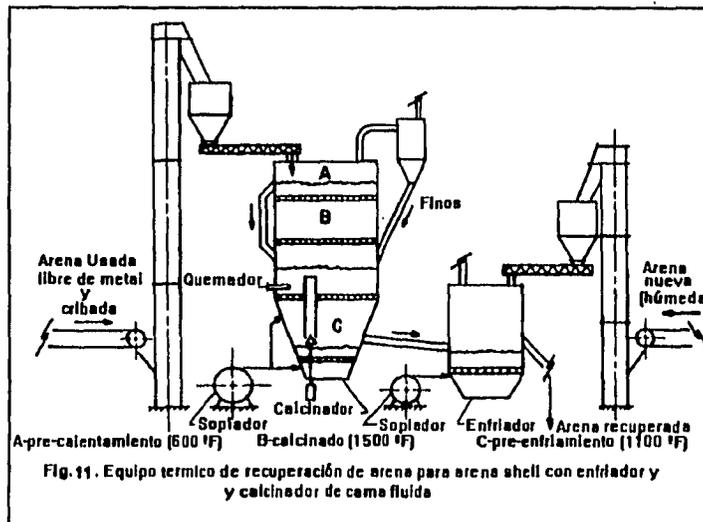
2.3.1 RECUPERACION TERMICA PARA ARENA SHELL¹⁰

Una sección considerable de la industria de la fundición usa arena aglutinada con resina, ya sea calentándola con el proceso shell o bien a temperatura ambiente, que se activa al estado sólido por un catalizador químico.

El recubrimiento de resina es orgánico y como tal expuesto a destrucción cuando está en contacto con el metal fundido. La resina podría producir gases y por lo tanto residuos de carbón en los granos de arena. La resina que se encuentra más atrás de la interfase de la pieza podría permanecer en su condición original. El material de revestimiento se comporta similar al barniz y cuando se cae, une los granos en los puntos de contacto. Después de que se rompen los granos, pueden ser rebamizados y otra vez pegados. El recubrimiento de granos individuales a causa de la distribución de resina líquida, después de varios ciclos de reutilización se vuelve de un espesor intolerable muy lejos del requerido para producción de buenos moldes y piezas fundidas. La recuperación térmica de arena es el método más eficiente, que debe usarse especialmente si los aglutinantes orgánicos son los únicos usados; tales como en el proceso shell y corazones y moldes endurecidos al aire.

Si en la masa de arena usada están presentes algunas arenas conteniendo arcilla, éstas podrían recibir suficiente calor para deshidratar su revestimiento, el cual puede aflojarse en la operación de molienda, o ser removido por atricionamiento seco adicional.

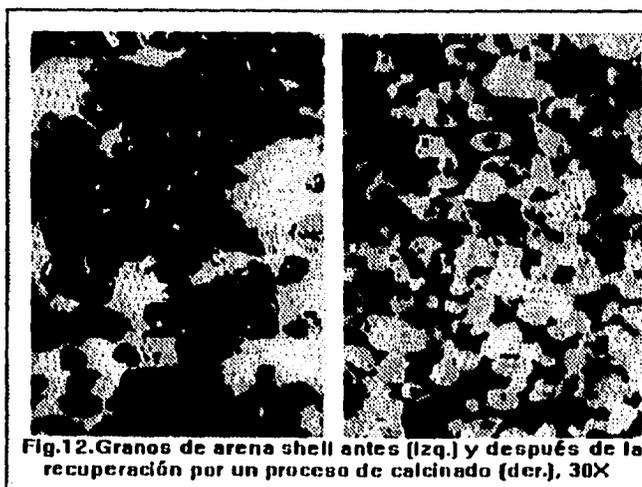
La parte principal de la instalación térmica de este sistema de recuperación de arena es la unidad de quemado donde la arena es calentada hasta 815 °C en un calcinador de cama fluida, incorporado en el sistema de recuperación de arena shell, como se muestra en la figura 11.



La arena usada del triturado shell después del cribado es alimentada al calcinador, el cual es un horno vertical recubierto de refractario, dividido en tres compartimientos. La arena es precalentada en el tope de la sección A, calcinada en el medio B del centro y preenfriada en el medio C del inferior. En esta unidad la arena fluye hacia abajo y los gases calientes hacia arriba. El calor de calcinación se desarrolla y distriye por quemadores localizados en la periferia de la sección principal. Se pasa aire comprimido a baja presión a través de la capa de arena. A causa de esta agitación, similar a la ebullición de agua, se obtiene un contacto íntimo entre la arena y gases calientes y el intercambio de calor es rápido. El pre-enfriamiento de la arena toma lugar en la cama inferior al pasar aire a través de la arena. Las aberturas de cada compartimiento refractario están tapadas en el tope, permitiendo a los gases subir pero impidiendo a la arena caer.

La altura de las camas de arena y la temperatura de quemado, son registradas y reguladas automáticamente. Los finos desprendidos son separados en el ciclón y retomados a la masa de arena. El enfriamiento de la arena a una cierta temperatura se lleva a cabo en la unidad de cama fluida. Esta unidad también sirve para secar la arena nueva húmeda que entra, la cual se requiere para la compensación de pérdidas y restauración de la distribución de criba deseada de la arena a ser cubierta con resina. El suministro de humedad de la arena nueva y su evaporación, ayudan a enfriar la arena al rango de temperaturas de 149 a 121 °C, la cual solo necesita ser levemente subida para la operación de recubrimiento de arena. Todas las características mencionadas y la ausencia de elementos rotatorios proporcionan bajo mantenimiento, una instalación altamente eficiente y arena uniformemente recuperada.

Las fotomicrografías de la **figura 12** muestran la arena usada cribada antes y después de la recuperación de arena. Es claramente visible un revestimiento distinto de resina brillante en los granos y finos creados durante el proceso de triturado. La arena recuperada esta completamente limpia, libre de impurezas y tiene el mismo color claro como arena nueva.



2.3.2 UNIDAD DE RECUPERACION TERMICA³

Las unidades térmicas son muy similares a los otros métodos de recuperación con respecto al equipo adicional requerido. Los requerimientos incluyen un triturador para quebrar por completo los terrones y las colillas de corazones porque no podemos económicamente calcinar corazones de 12 plg. (30.5 cm) por razones de eficiencia térmica, los granos desmoronados, pequeños, dan mejor eficiencia. Nuevamente necesitamos remover el metal y transportar la arena a un silo de almacenamiento. Se necesitará un cangilón elevador para obtener suficiente altura para que la alimentación sea gravimétrica al silo y al procesador térmico. Si la arena es calentada de 760 a 927 °C requerirá considerable energía de enfriamiento después del calcinado. El costo del enfriamiento puede ser tan grande como el costo de la arena recuperada térmicamente. Para clasificar la arena debemos remover el polvo inorgánico y los materiales friccionados. El enfriador de arena debe ser capaz de llevar a la arena a temperatura operacional. Muchos de los aglutinantes químicos usados en la fundición requieren que la arena esté a menos de 38 °C. La arena recuperada aglutinada con arcilla también debe ser atricionada neumáticamente o mecánicamente para remover los recubrimientos inorgánicos térmicamente degradados. Si la arena es 100% aglutinada orgánicamente puede no necesitar este paso de atricionamiento. Cualquier arena orgánica o nueva debe ser transportada a un depósito de almacenamiento.

La figura 13 es un ejemplo de una unidad de recuperación térmica. La arena alimentada entra por el lado izquierdo. La arena no calcinada pasa a lo largo del exterior del tambor giratorio a través de una serie de deflectores. Cuando el tambor rota, mueve a la arena desde el lado derecho al izquierdo del tambor. El calor del interior del tambor radia haciendo contacto con la arena entrando, calentando y mejorando su eficiencia de recuperación térmica por incremento de su temperatura. Después de que la arena alcanza el lado derecho más distante cae en la flama y fluye hacia el lado contrario izquierdo cuando la arena esta siendo calcinada. Después que la arena alcanza el final del lado izquierdo de la cámara de calcinación, ésta entra a un pasillo el cual corre paralelo a la cámara de calcinado

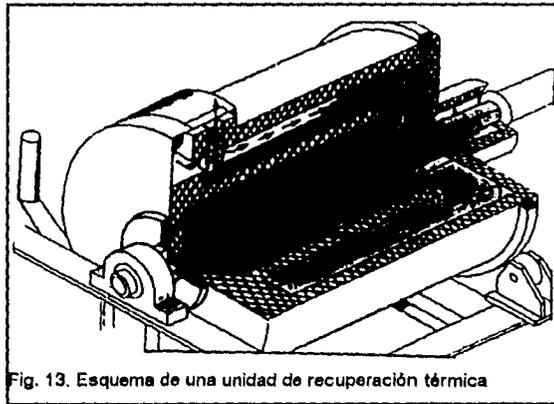


Fig. 13. Esquema de una unidad de recuperación térmica

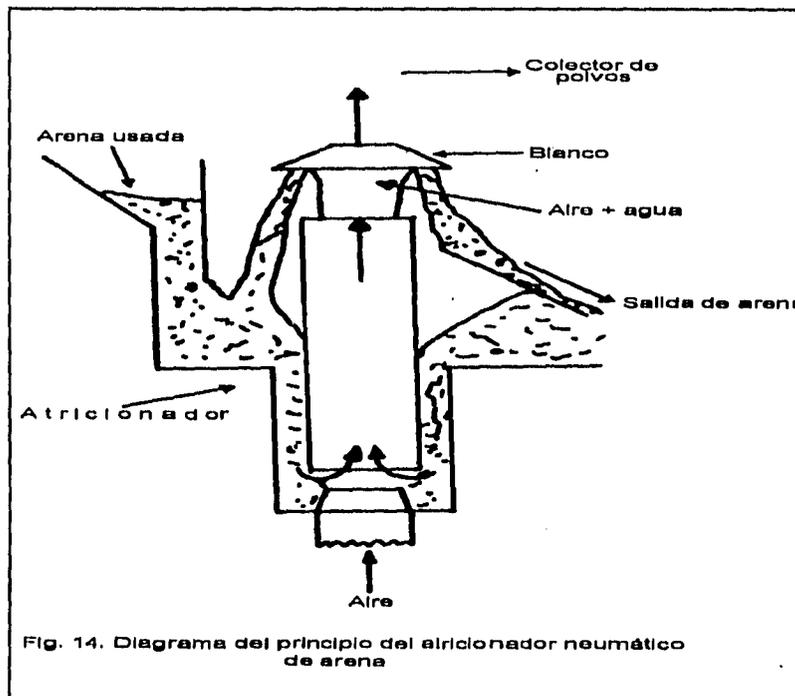
moviéndose hacia la derecha. Este modelo de flujo coloca a la arena más caliente contra un área de metal delgado junto a la entrada de la arena. La arena que entra enfría a la arena recuperada, mientras que la arena alimentada es calentada por la arena procesada cuando esta entra al sistema para maximizar la eficiencia del combustible. La arena terminada cae en el fondo en el extremo izquierdo de la unidad.

2.4 RECUPERACION SECA

El sistema mecánico ó atricionamiento mecánico ó atricionamiento neumático, atriciona y remueve el recubrimiento exterior de los granos.³

La recuperación en seco requiere de un vibrado y pulverizado de los terrones de arena, la cual es después atricionada o fricciónada para quitar aquellos materiales que están ligados a los granos de la misma. La arena procesada en este sistema debe estar completamente seca, por lo que se excluye el uso de sistemas en los cuales la arena verde es usada como parte de los procesos, ya que esta no puede ser alimentada al recuperador.¹³

Después de llevarse a cabo el vibrado y pulverizado de los terrones de arena al tamaño original de grano de ésta, los granos son fricciónados para separar cualquier polvo, contaminante o resto de aglutinante que se haya retenido, por lo que la arena debe ser limpiada antes de volverse a usar; esto se logra a través de un equipo que por medio de diferentes presiones, flujos y velocidades de aire separa los finos o impalpables de los granos de arena, dejando exclusivamente estos, que en conjunto, permiten reutilizar la arena en algunos procesos de la fundición (ver Figura 14).



2.4.1 RECUPERACION NEUMATICA DE ARENAS AGLUTINADAS QUIMICAMENTE¹⁰

Un sistema se muestra en la **figura 15**. El equipo tritura gruesos, atriciona y enfría finos y los clasifica. El equipo extra de atricionamiento esta disponible si es requerido. Aunque no se muestra, se requiere un colector de polvos. Este sistema combina el quebrado de terrones, triturado y cribado grueso, en una unidad y la unidad de atricionamiento en varios tamaños como otra unidad. La unidad de cribado/triturado combina un pan de criba vibratorio, placas de triturado montadas en muelle y una criba fina de descarga. Esta unidad incluye un elevador, una tolva de almacenaje, la unidad de atricionamiento neumático, un clasificador y una criba rotatoria de 30 mallas.

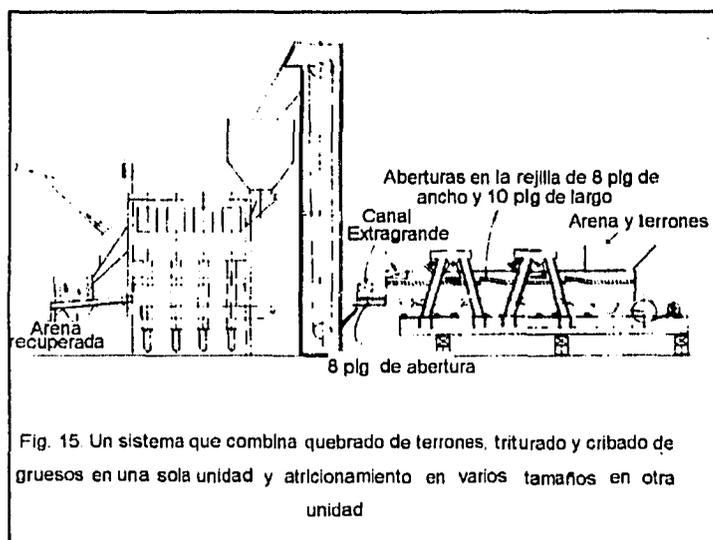


Fig. 15. Un sistema que combina quebrado de terrones, triturado y cribado de gruesos en una sola unidad y atricionamiento en varios tamaños en otra unidad

La unidad de atricionamiento y la unidad de quebrado de terrones se ofrecen en tamaños diferentes.- uno para 4-5 ton/hr y uno para 6-7 ton/hr. La unidad de atricionamiento puede ser controlada para retener la arena por periodos diferentes de tiempo para dar más o menor atricionamiento. Para atricionamiento, esta unidad acelera la arena con un jet de aire que incide contra si misma y en un blanco a altas velocidades. El enfriamiento toma lugar durante este ciclo. El tiempo de retención deseado es determinado probando y depende del tipo de aglutinante o aglutinantes, del tamaño de los terrones de arena y de la proporción arena a metal. Esta unidad es particularmente recomendada cuando es imposible prevenir contaminación de la arena de retorno con otros aglutinantes tales como resina furánica.

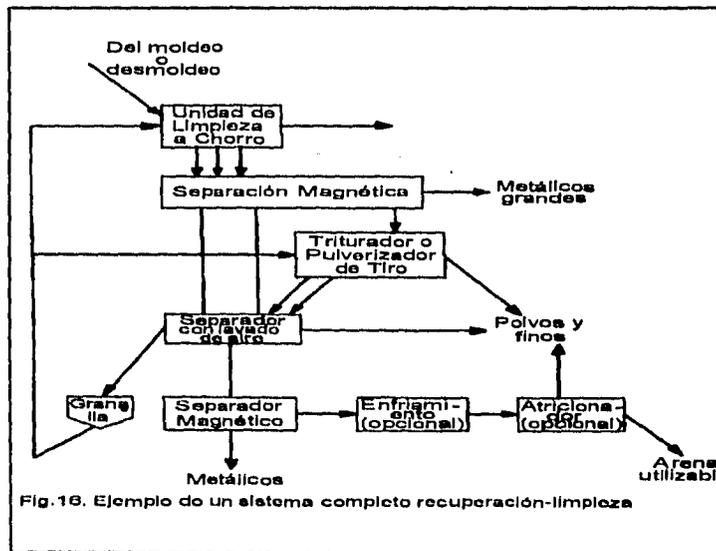
FALLA DE ORIGEN

2.4.2 RECUPERACION DE ARENA CON EQUIPO DE LIMPIEZA INTEGRADO¹⁰

Otro método básico de recuperación de arena que ha sido recientemente desarrollado (tal vez evolucionado es una mejor descripción) es la incorporación de equipo de limpieza con chorro de granalla, con otra unidad especialmente diseñada para formar un sistema de recuperación de arena completo. Este sistema puede ser incorporado en un equipo existente de limpieza de piezas fundidas o ser un sistema completo de recuperación de limpieza nuevo, diseñado e instalado para realizar los resultados deseados.

Este tipo de equipo de recuperación esta siendo usado exitosamente en todo tipo de aglutinantes nobake, en sistemas de arena verde, moldeo sin contenedor y arena que ha sido pasada a través de un desmoldeo.

Examinando unos pocos sistemas típicos, desde el punto de vista de la operación de los componentes y del flujo se verá el sistema completo limpieza-recuperador ilustrado en la figura 16. El molde y la pieza fundida se introducen ambos en la cámara del chorro, donde la acción de este, limpia las piezas fundidas y rompe por completo los terrones grandes de moldes y corazones.



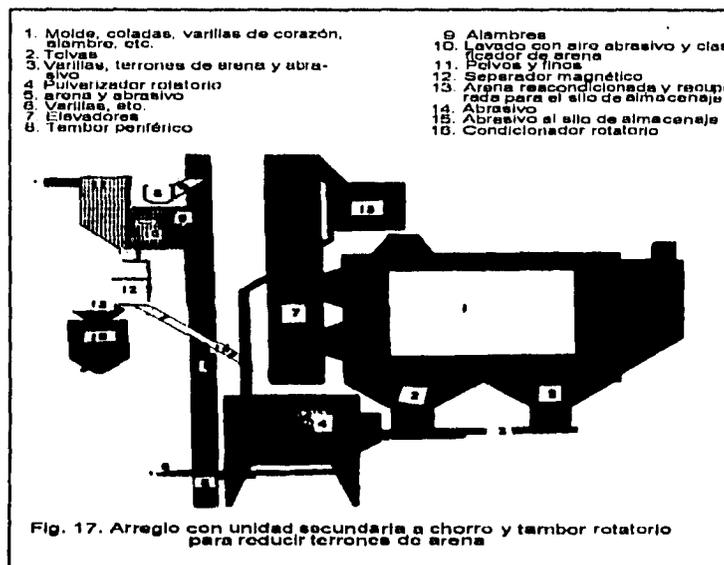
La granalla, la arena y pequeñas rebabas metálicas pasan a través de la abertura de una cubierta periférica y a los terrones grandes y partes metálicas grandes se les da un procesamiento adicional ya sea que todo material pase primero bajo el chorro de aire en una rueda secundaria, la cual reduce los terrones de arena y luego quita los metales o que la separación metálica sea realizada primero y luego un triturado mecánico, se ha empleado un

molino de martillo o un pulverizador de granalla para reducir los terrones. La arena y granalla son luego pasados a través de un separador limpiador con aire donde un flujo de aire pasa por una cortina de la mezcla arena-granalla, causando que la arena ligera y los finos metálicos sean llevados lejos del chorro junto con los polvos y el aglutinante ya desgastado hacia el colector de polvos. Debido a la alta concentración de arena en la mezcla, no es extraño tener un doble lavado de la arena para asegurar la remoción del abrasivo. La mezcla de arena y los metálicos finos es luego pasada a través de un separador magnético, usualmente del tipo de tambor rotatorio, para asegurar que solo sea retornada arena a las tolvas de almacenaje de arena.

Se puede incluir una operación de enfriamiento de arena, usualmente realizada en un tambor rotatorio o en un transportador de cama fluida, si se encuentra una gran cantidad de arena que llegue con una alta temperatura o si el enfriamiento logrado durante la limpieza a chorro y el ciclo de recuperación es insuficiente. La arena también puede ser pasada por un atricionador, tipo mecánico o neumático, para remover la mayoría de la resina restante antes del retorno para reutilizarla.

Se presentan algunos equipos esquemáticos que muestran un sistema completo de recuperación-limpieza, representativo de las muchas configuraciones disponibles para cada aplicación particular del fundidor.

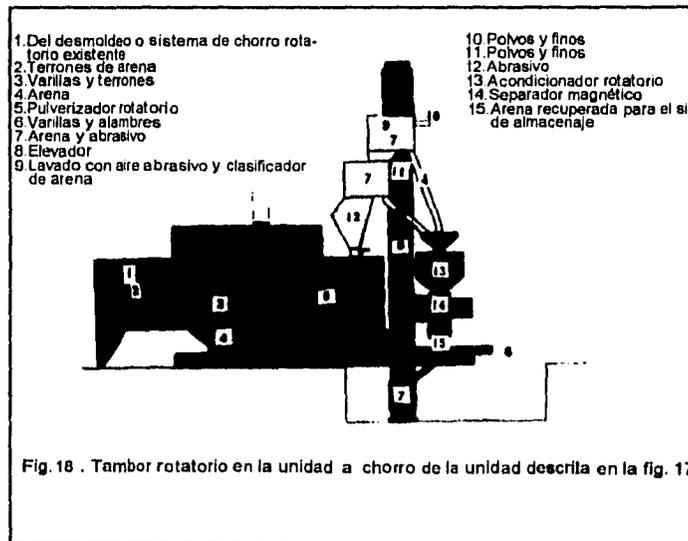
La figura 17 muestra una unidad de rueda de ráfaga secundaria y un tambor rotatorio para reducir los terrones de arena a tamaño granular. La primera operación para remover los metálicos grandes es realizada en el transportador secundario antes de la elevación y paso a través por una criba rotatoria y el proceso de separación de lavado con aire.



Un separador magnético remueve las partículas metálicas finas de la arena y luego se somete a la operación de limpieza final pasandola por un atricionador tipo mecánico. La arena esta lista para reutilizarse.

La figura 18 es un equipo esquemático que muestra el tambor rotatorio. Puede ser añadido un triturador primario como una opción anterior al triturado si los terrones son extremadamente grandes o numerosos, sin embargo, se requiere la separación magnética. El material se alimenta sobre un transportador oscilatorio que lleva el material al tambor rotatorio. La arena suelta cae por la apertura dejando solo los terrones.

Una rueda abrasiva impacta a la granalla en esta área, quebrando por completo los terrones. La arena suelta y la granalla caen a través de la criba en el transportador inferior y los metálicos grandes son transportados hacia el final.

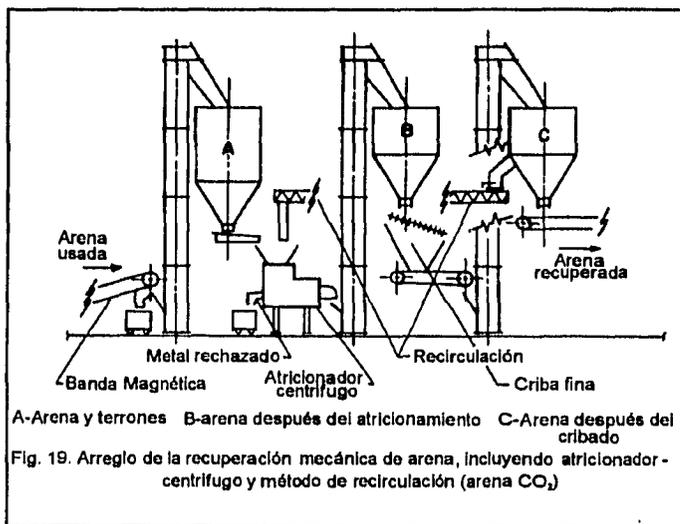


2.4.3 UNIDAD MECANICA DE RECUPERACION CON ATRICIONADOR CENTRIFUGO¹⁰

Como un ejemplo se ha seleccionado, una instalación de recuperación mecánica de arena usada para recuperación de arena CO₂ y se ilustra en la figura 19. El rasgo característico de este sistema es el triturador centrífugo único, y el arreglo para recirculación de la arena, si es necesario.

Después de la operación de desmoldeo, donde los terrones grandes son reducidos en tamaño, la arena y los terrones pequeños son levantados por el elevador, depositados en la tolva y llevados a una velocidad controlada al triturador. Aquí los terrones de tamaño grande

son quebrados entre el impulsor rotatorio y la cubierta de la unidad. La reducción de finos es realizada entre los dientes estacionarios en la circunferencia de la cubierta y los situados en la periferia de la tabla rotatoria. El espacio entre dientes es ajustable. La característica interesante de esta unidad es el rechazo del metal atrapado, el cual es importante para cualquier tipo de triturador. La velocidad del impulsor rotatorio y la diferencia del peso específico del metal cuando es comparado con arena, causa el rebote de las partículas metálicas con una fuerza centrífuga mayor que la de los terrones de arena ligeros y también ocasiona el escape del triturador a través de una abertura protegida por una cortina de goma de libre oscilación.



El quebrado de los terrones de arena no causa destrucción de los granos. Por atrición, se remueve el material aglutinante usado de los granos y otras impurezas las cuales no deberán permanecer y acumularse. Estas son vaciadas al colector de polvos anexo.

Se hace un ensayo regular de la arena recuperada por medio de un lavado ácido (HCl) para el control de las sales de calcio y sodio y también de otras impurezas solubles en ácido, usadas como índice de condición de arena nueva. Los resultados de pruebas, corridas por un periodo de seis meses, en una unidad en uso mostraron un promedio de 0.2% de impurezas en la arena nueva, 2.5% en la arena usada y 0.9% en arena recuperada. Con la adición promedio de 2.5% de arena nueva se encontró que cuando el lavado ácido de arena recuperada alcanzo 1.8% fue necesario recircular la arena para un limpiado adicional.

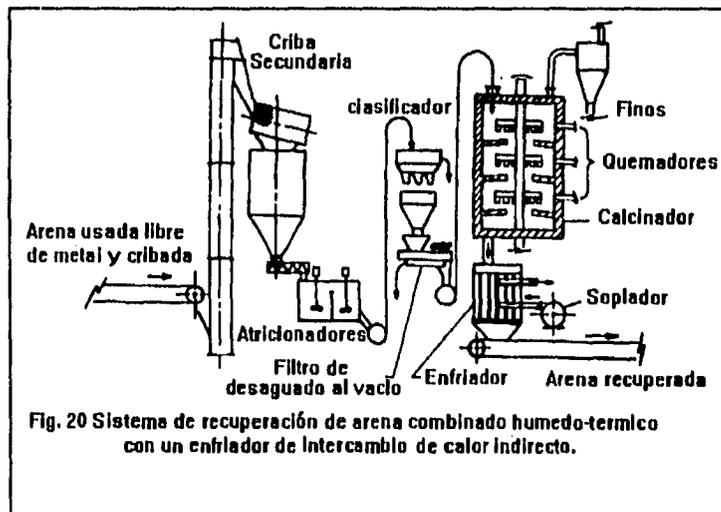
2.5 RECUPERACION COMBINADA

El último, y probablemente el más popular de los sistemas, es el sistema combinado. Con el sistema de combinación hay una utilización de dos o más de los métodos anteriores de recuperación.³

De los sistemas estudiados podemos decir que la recuperación combinada es la mas recomendable.

2.5.1 SISTEMA DE RECUPERACION DE ARENA HUMEDO-TERMICO¹⁰

La característica sobresaliente de los procesos de recuperación de arena térmico y húmedo, uno más efectivo para arena aglutinada con arcilla y el otro para arenas aglutinadas con resina, están disponibles en un tipo combinado de instalación, especialmente en el caso cuando ambas clases de arena son mezcladas en la operación de desmoldeo y alguna arena de moldeo es derramada y corazones no curados están contenidos en el flujo de arena usada. Después de pasar a través de operaciones de lavado y quemado con enfriamiento subsecuente, la arena recuperada parece limpia, como nueva. El principal inconveniente de este sistema combinado es la gran cantidad de equipo implicado, y consecuentemente, un costo de operación inicial alto. Un bosquejo simplificado del arreglo de tal instalación se muestra en la figura 20.



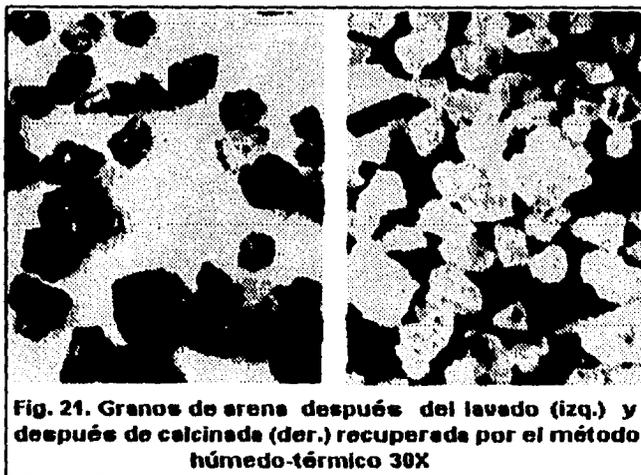
Resumiendo la descripción completa a los rasgos característicos de este arreglo debe ser notado que: la arena usada cribada es lavada en dos atricionadores, el lodo es bombeado al clasificador para separación y remoción de finos, la unidad opera con el principio de contraflujo de agua y el tamaño del orificio de cada uno de los tres conos pueden ser

cambiados mientras que la unidad está en operación. El tamaño del orificio controla la velocidad del lodo y mientras que los finos son llevados con el derrame de agua, la arena se sedimenta y carga por gravedad al filtro de vacío. Por este camino la mayoría de arcilla residual es lavada.

La siguiente sección de esta instalación es la unidad de quemado o calcinado, la cual seca la arena y quema todos los aglutinantes resinosos de los granos de arena. Esta consiste de un número de estantes refractarios que se mantienen asimismo espaciados a través de la altura de la cubierta vertical recubierta con ladrillo. Varios quemadores están adecuadamente espaciados para una combustión uniforme. Los brazos, similares a peines, están adheridos al eje vertical rotatorio y la arena se esparce a través de los estantes moviéndose del tope al fondo del horno. El tiempo de retención de la operación de quemado de la arena es regulado por la velocidad de los brazos rotatorios.

Después del quemado, la arena es pasada a través del enfriador, que consiste de un gran número de tubos verticales de acero inoxidable. El aire exterior, liberado por el soplador, pasa entre los tubos y enfría la arena que descende dentro de los tubos. El tiempo que la arena caliente es retenida en los tubos, la longitud, diámetro y el número de tubos, son calculados en relación a la producción de la arena recuperada.

Las fotomicrografías de la arena usada después de lavada y después de quemada, se muestran en la **figura 21**. La arena después de lavada no tiene granos compuestos y finos libres, pero la mayoría de los granos están todavía cubiertos con aglutinante de resina residual. Los granos de arena después de la subsecuente operación de quemado, se muestran en la otra fotomicrografía, esta limpia y en color claro.



2.5.2 SISTEMA DE RECUPERACION DE ARENA NEUMATICO-TERMICO PARA ARENAS AGLUTINADAS CON RESINA¹⁹

Una combinación de sistema de recuperación neumático y térmico es ilustrado en la **figura 22**. La arena recuperada por una unidad individual de quemado puede todavía contener cierta cantidad de partículas de resina carbonizada, libres o pegadas al grano; también otras partículas aglutinantes residuales que no fueron removidas por el calor, tales como arcillas deshidratadas.

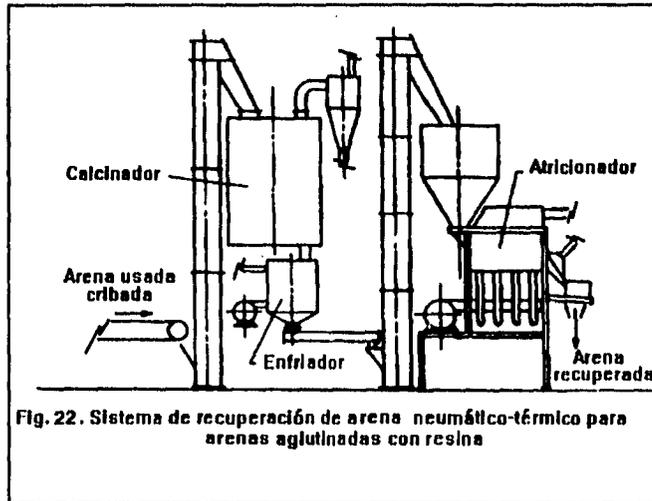


Fig. 22. Sistema de recuperación de arena neumático-térmico para arenas aglutinadas con resina

En este proceso es bastante difícil controlar la cantidad de finos liberados. Para completar el proceso de limpieza de arena y para permanecer en los límites de la distribución de criba requerida se añade un atricionador de arena neumático, como se muestra en el bosquejo del arreglo. Puesto que esta unidad es usada para operación terminal de remoción de pequeñas impurezas, el flujo de arena es veloz y la velocidad de recuperación alta. Otro beneficio derivado de esta combinación instalada es el enfriamiento adicional debido a una entrada continua de aire actuando en la arena en dispersión durante el proceso de atricionamiento. Cuando la arena recuperada es reutilizada para moldes o corazones endurecidos con aire, deberá evitarse la temperatura de arena arriba de 35 °C; el enfriamiento de las arenas quemadas hace este tipo de recuperación apropiado y eficiente.

2.5.3 SISTEMA DE COMBINACION HUMEDO-TRMICO³

La figura 23 ilustra una unidad de combinación. La arena entra desde la mitad de la entrada izquierda a un compartimiento de calcinado. Este compartimiento contiene una serie de sopladores de gas en una cama fluidizada en la que flota la arena. Cuando la arena es transportada al tubo de descarga cae a una cama fluidizada de enfriamiento. La arena luego es transportada a un temple con agua (mostrado en el fondo hacia la derecha). El temple con agua lava y desaloja algunos de los materiales indeseables. El lodo agua/arena es bombeado a un atricionador de alta velocidad donde ésta podría ser atricionada con agua. Después, el lodo es bombeado a un hidrociclón donde la mezcla agua-arena gira y separa los finos y agua de la arena. El material fino, malla 200 y mallas inferiores, sale a la parte superior como producto de desecho. El material descargado del fondo tiene aproximadamente 70% de sólidos y consiste de material de 140 mallas y gruesos.

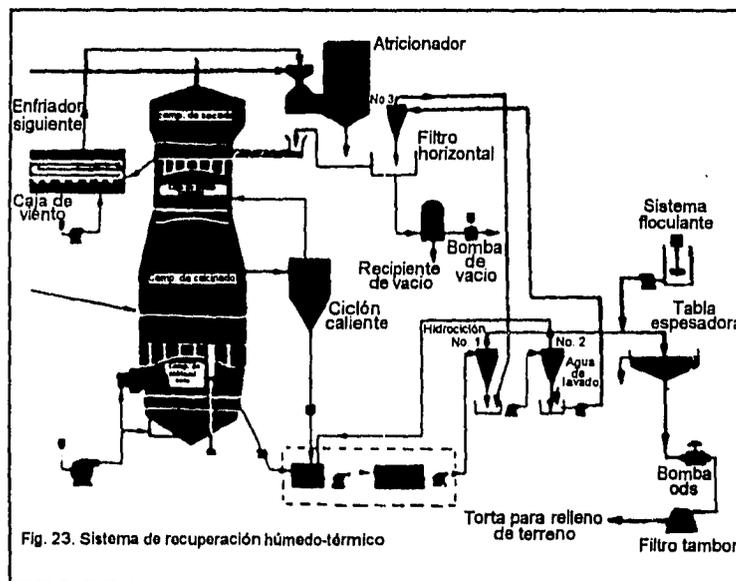


Fig. 23. Sistema de recuperación húmedo-térmico

El material descargado es bombeado a un segundo hidrociclón, el cual también clasifica y remueve los finos. Estos pasos proveen una doble etapa de remoción de finos y arcilla. Los finos son bombeados a un espesador donde un floculante es añadido al agua para hacer que las partículas se unan como un gel y caigan. Este desecho concentrado se sedimenta sobre una tabla espesadora, se procesa a través de una bomba y luego a un filtro tambor donde la materia desintegrada se descarga como una torta para relleno de terreno. Como esta torta ha sido completamente recuperada será apropiada para rellenar la mayoría de los terrenos. El agua extraída de la torta se lleva a un estanque o es procesada para reutilizarla. La porción de arena descargada del hidrociclón es transportada a la parte superior del

hidrociclón número tres. Otra vez, el lodo da vueltas, con los finos yendo a la parte superior en este caso, puesto que el material ha sido ya separado dos veces, los finos que sean sustraídos de este hidrociclón serán realimentados en el hidrociclón número uno.

En esta forma solo los finos deseados son clasificados y removidos. El material descargado de este hidrociclón es alimentado por un filtro horizontal para remover exceso de agua. El recipiente de vacío y una bomba de vacío generan un vacío en este cinturón o tabla de vacío ayudando en la reducción de humedad. El material es luego transportado al compartimiento superior de secado de la unidad del recuperador térmico. El sistema mostrado usa el calor del compartimiento de calcinado para secar la arena lavada y procesada. Después de que la arena es secada se mueve hacia el lado izquierdo de la cámara de secado y se descarga a través de un tubo en una caja serpenteada enfriada con agua para fluidizar y enfriar la arena. El polvo y algún material fino remanente son sacados fuera a un atricionador. La arena es descargada y transportada a un deposito de almacenaje para uso futuro.

En el apéndice A se encuentra una descripción detallada de un sistema de recuperación húmedo térmico instalado en México que resulta muy interesante.

CAPITULO 3 ANTECEDENTES

C. SOBRE EL PROGRAMA SILICA

3.1 OBJETIVO

Esta destinado a conocer la composición de la arena en el sistema en uso, de una manera sencilla. Al Programa Silica se le han dado dos aplicaciones principales:¹⁴

- 1). Como una forma de medir la composición de la arena por medio de la cual se pueden detectar los cambios que ocurren en la naturaleza de la arena del sistema.
- 2). Como una forma de seleccionar la composición de la arena que se requiere.

3.2 METODOS DEL ENSAYO DEL PROGRAMA SILICA¹⁴

Para llenar la necesidad de conocer la composición de la arena en uso, no solo basándose en su comportamiento mecánico, se desarrollaron algunos métodos para conocer los granos oolíticos (recubrimientos de arcilla calcinada), que en opinión de los técnicos, requerían mucha habilidad y práctica, por lo que se trabajó en el desarrollo de ensayos más sencillos; los cálculos originalmente fueron realizados en computación en un programa llamado "SILICA" para enfatizar el hecho del objetivo de conocer el porcentaje de mineral base SiO_2 . A los autores les pareció, por lo tanto, muy apropiado conservar el nombre del programa: "SILICA" para la serie de ensayos.

Los ensayos principales son:

- * Contenido de arcilla total por el método azul de metileno.
- * Material carbonáceo
- * Contenido de metálicos
- * Material fundente, definido como finos inertes y material oolítico
- * Contenido mineral base

Se definió además un factor de limpieza que fue necesario desarrollarlo debido a que hay dos tipos de materiales que pueden disminuir el % de mineral base SiO_2 , en un grupo se encuentran los metálicos y los fundentes y por otro la arcilla y el material carbonáceo. Estos últimos no afectan la limpieza y la refractoriedad de la arena pero los primeros sí.

Para distinguir estas dos condiciones se ha desarrollado este factor. El % de SiO₂ se divide entre la suma del % de SiO₂, % de material fundente y metálicos y se multiplica por 100:

$$\frac{\%SiO_2}{\%SiO_2 + \%fundente + \%metálicos} = \%factor \text{ de limpieza (F.L.)}$$

Una disminución en mineral base sin caída en el F.L., puede ser corregida, ajustando la arcilla y aditivos carbonáceos, pero si el F.L. disminuye, puede indicarnos que se necesita arena nueva.

Habitualmente para hierros colados y no ferrosos se tiene como satisfactorio un F.L. de 83-93%, pero para aceros debe ser arriba de 90% especialmente para piezas grandes.

3.2.1 EL ENSAYO DE ARCILLA TOTAL POR AZUL DE METILENO

La arcilla total disponible para los propósitos de unión en la mezcla se determina por este método. No incluye la arcilla quemada y muerta, ni los finos inertes, que puedan estar presentes.

El uso de pirofosfato tetrasódico en vez de ácido sulfúrico fue incorporado a la vista de que producía resultados precisos para ambas bentonitas. El método puede realizarse con algunas variantes que ayudan a interpretar la condición de la arcilla.

Estos pueden ser:

- * Sin lavado ultrasónico; de esta manera no se afectan los aglomerados de arcilla y solo reacciona la que esta dispersa. La arcilla obtenida será reportada como arcilla dispersa.
- * Poniendo a ebullición la muestra en vez de lavar con ultrasonido, esta acción reactivará algo de la arcilla dañada por el calor y se necesitará más azul de metileno.
- * Poniendo la muestra a remojar en la solución de pirofosfato tetrasódico 24 horas antes del lavado ultrasónico. En este caso las arenas que contienen alta proporción de bentonita cálcica, requerirán mayor azul de metileno.

Si se usan algunos de estos dos últimos métodos además del estándar (con lavado ultrasónico), la diferencia entre los resultados puede ser usada para indicar la cantidad de arcilla parcialmente dañada por el calor en el sistema de arenas. Se ha visto que esta no es una función del grado de oolización sino parece variar con la proporción de bentonita cálcica, forma y tamaño de la pieza, etc..

3.2.2 MATERIAL CARBONACEO

Este ensayo es el de pérdidas por ignición o determinación de combustibles.

Se usa para dar una indicación tosca de la cantidad de material carbonáceo, sin embargo, tiene algunas limitaciones: parte de esas pérdidas son debidas a la pérdida de agua de unión presente en las arcillas y puede haber algo de pérdida también de la arena base, sobre todo si ésta tiene feldespatos o carbonatos.

En este programa, se trata de obtener un valor más exacto restando del valor obtenido como material combustible el valor de pérdida de agua de unión predeterminada multiplicado por el valor de arcilla de azul de metileno y el valor de combustibles de la arena base.

Pérdidas por Ignición= Pérdida Real - Pérdida por Agua de Unión - Pérdida de la arena Base

3.2.3 METALICOS

Se determina en una muestra lavada y calcinada, hirviéndola en ácido clorhídrico, 1:1 hasta que no hay más cambio en el color de la solución. Este tratamiento con ácido disuelve las partículas metálicas y la mayoría de los óxidos; las aleaciones que normalmente se consideran difíciles de disolver son parcialmente oxidadas calcinando a 980 °C, para que puedan ser fácilmente atacadas por ácido relativamente diluido.

La arena base puede contener algún material soluble en ácido y esto debe de considerarse en los cálculos; en la práctica, esto se maneja corriendo un blanco sobre muestras de arena que entran al sistema.

La determinación de "metálicos" del "Programa Sílica" es un paso necesario para determinar el % de SiO₂ o mineral base.

El % de metálicos en un sistema de arena es influenciado por el cuidado que se observe en el vaciado y en el mantenimiento de las mallas. En las arenas para hierros es también una guía para la eficiencia de los separadores magnéticos.

3.2.4 SILICA (SiO₂)

El mineral base en los sistemas de arena es usualmente arena de cuarzo, pero podría ser otro como olivino, zircón o un silicato de aluminio. Adicionalmente, algunas arenas esencialmente de cuarzo pueden contener granos de feldespatos, mica, etc.

Debido a esta variedad de minerales que pueden configurar a la base del agregado, el procedimiento de ensayo fue originalmente desarrollado como un método mecánico, no químico, que a grandes rasgos consistía en lavar y calcinar la muestra de arena, sometiéndola después a un frotamiento mecánico para remover la capa oolítica. Esto se hace en un molino

de alta velocidad. Sin embargo, este método tiene sus serias limitaciones y es muy tardado ya que el frotamiento se hace por índice de finura.

Como parte de este trabajo hay que determinar peso específico de la arena antes y después del frotamiento.

3.2.5 EL METODO DEL PESO ESPECIFICO

Ha sido aplicado ya por varios años para determinar la cantidad sílica y la cantidad de material oolítico en los sistemas de arena.

Simplificando el método original que emplea el frotamiento, se usa una ebullición con ácido clorhídrico y una digestión posterior con ácido fosfórico.

Este método requiere un cierto conocimiento de las arenas bases y lo usual es correr una prueba blanca con ellos, usando el mismo tratamiento.

El método consiste en lavar, calcinar y hervir en ácido clorhídrico 1:1. Posteriormente a 10 g. de una muestra representativa del residuo del lavado ácido, lavarla en 200 ml. de ácido fosfórico al 85 % para disolver el material oolítico, la pérdida en peso se usa para calcular oolíticos, y el contenido de sílica puede ser determinado del peso del residuo.

La digestión con ácido fosfórico ha sido usada por varios años en el campo de la higiene industrial como parte de un procedimiento complejo para determinar sílica libre en muestras de polvo.

Cuando la arena se calienta en ácido fosfórico al 85%, el cuarzo se disuelve mucho más lento que el material oolítico y esas capas actúan como una barrera parcial, protegiendo mucho de los finos de sílica hasta que se disuelven los oolíticos. El ácido fosfórico se concentra al hervirse y se convierte, a ácido pirofosfórico por pérdida de agua. Esto puede disolver algo de la sílica y si la deshidratación sigue, la sílica disuelta precipitará. Si la arena contiene feldespato y otros granos solubles, éstos se disolverán, pero esto se puede compensar usando la prueba blanca en la arena base.

El zircón, la cianita y la estauroлита son resistentes al ácido fosfórico mientras que el olivino es completamente soluble.

3.2.6 MATERIAL FUNDENTE

El material oolítico y los finos inertes son reportados en forma separada y se agrupan como el material fundente.

El material oolítico consiste de arcilla muerta y cenizas sobre los granos de arena y sobre los granos de carbón marino procesado. Además, los oolíticos de los granos

conglomerados contienen sílica y rebabas. Este material oolítico eleva los requerimientos de humedad de la arena y en cantidades excesivas puede contribuir a una rugosidad en la pieza y a penetración de metal; si se mantiene controlado puede ser benéfico.

Los finos inertes incluyen material fino menor de 53 micrones (malla 270) en tamaño, está formado por arcilla muerta, fragmentos de ceniza y otras partículas que no se distinguen de los oolíticos sino por el tamaño.

Estos materiales no son refractarios como los granos de arena y empiezan a fundir o sintetizar a temperaturas como de 1090 °C.

Algunos autores mencionan que hay aspectos referentes a la recuperación que son ignorados en el programa sílica y proponen seguir una metodología que abarque el material de desperdicio de la recuperadora.

Parte de esta metodología se encuentra en los siguientes dos puntos ⁸:

1. Evaluación cuantitativa de los materiales:

- a. Determinar la calidad y cantidad de materia prima comprada que eventualmente ingresará al sistema de recuperación.
- b. Ver cuáles son los desperdicios que eventualmente entrarán en el sistema de recuperación, y evaluar cómo y dónde almacenarlos o tirarlos.
- c. Identificar los desperdicios, sus diferentes tipos y sus cantidades.
- d. Identificar y evaluar los procesos a los que las materias primas y los desperdicios se van a someter.

2. Evaluación de las características de los desperdicios.

- a. Hacer las pruebas químicas y físicas que se consideren necesarias.
- b. Interpretar los resultados obtenidos en conjunto, a la luz de los trabajos y procesos de fundición.
- c. Analizar los resultados para su impacto ecológico.
- d. Estudiar los resultados a la luz de los reglamentos estatales y federales que pudieran haber, o se estima que se establecerán en un futuro.
- e. Tratar de prever posibles problemas de los desperdicios o su contenido.
- f. Identificar posibles desperdicios útiles o benéficos.

Se determinan en esta forma todos los parámetros de los desperdicios y análisis de este tipo que permiten elegir el equipo de recuperación más deseable desde un punto de vista económico, ambiental y técnico, así como si se adapta a la política de la fundición para disponer de los desperdicios generados.

CAPITULO 4 DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1 GENERALIDADES

Dado que el objetivo que se busca a corto plazo es llegar a implementar un sistema de recuperación de arena para la arena usada del taller de fundición del Departamento de Metalurgia, en este trabajo se estudia la arena usada que existe en este taller. Se realizaron diversas actividades:

1. El análisis de la arena sucia mediante el Programa Sílica.
2. La adecuación y desarrollo de un proceso de recuperación combinado a nivel laboratorio, tomando como base por un lado la bibliografía consultada y por otro lado la secuencia de los ensayos del Programa Sílica.
3. Una vez limpiada la arena de moldeo mediante el proceso implantado se analiza su grado de pureza mediante el Programa Sílica y se realiza también un análisis granulométrico.
4. Se ensaya el comportamiento mecánico en las mezclas con bentonita y agua en la arena recuperada y se compara con el comportamiento de la mezcla respectiva de arena nueva y de arena sucia. La arena nueva también se analizó mediante el Programa Sílica para tener una referencia de comparación.

4.2 DESARROLLO

Se seleccionó una muestra de la arena usada del taller. Dado que la mayor parte del uso de la arena de moldeo en el taller de fundición es para mezclarla con bentonita como aglutinante y muy esporádicamente con silicato o con aglutinante orgánico, se espera que sean los recubrimientos oolíticos los que más la afecten, sin embargo a través de una inspección visual se nota que existen también otros materiales metálicos, escoria, aun basura y colillas de cigarro que demuestran que esta es considerada como material de desecho y que debe procederse a limpiarla totalmente. La muestra de arena se sometió a los procedimientos de ensayo del Programa Sílica y se hicieron los cálculos respectivos.

Basándose en la metodología propuesta por el Programa Sílica se procesaron 5 Kg de arena sucia a nivel laboratorio.

La recuperación combinada húmeda-térmica es el método más apropiado para regresar a la arena a una condición de arena utilizable, no importando que tenga componentes de desecho orgánicos o inorgánicos, los pasos del Programa Sílica son en realidad un método húmedo-térmico de recuperación, por lo que se siguieron de la siguiente manera:

- 1). Los terrones de arena se sometieron a un atricionado en un triturador mecánico (motor marca ASEA de 1 Hp) con el propósito de desintegrar los terrones de arena y retornar la arena al tamaño de grano individual, de esta manera se remueve parte de arcilla muerta que cubre a los granos de arena; al terminar se criba.
- 2). La arena cribada se coloca en un recipiente grande en donde manualmente se le hizo pasar un imán revolviéndola para separar los metálicos.
- 3). La arena se lavó manualmente en un recipiente grande con capacidad de 20 litros, agregando agua y agitando manualmente, dejándose sedimentar la arena por 20 min. y extrayendo el agua con los finos en suspensión y exenta de sólidos por medio de una manguera, se repite la misma operación hasta que el agua de lavado esté clara. De esta manera, la arena se va limpiando disolviéndose los materiales que son solubles en agua.
- 4). La arena lavada libre de polvos y materiales solubles en agua, es secada en una estufa a una temperatura de 60 °C.
- 5). Después de secada se le somete a una calcinación durante dos horas en un recipiente cilíndrico de acero inoxidable, usando un horno de crisol que alcanza una temperatura de 1000 °C. El objetivo de la calcinación es remover cualquier material de desecho orgánico recubriendo los granos de arena.
- 6). La arena calcinada se somete a una segunda remoción de metálicos de la forma descrita en el punto 2.

A una muestra representativa de la arena recuperada se le ensaya siguiendo el procedimiento del programa sílica, para verificar su pureza y calidad.

Para comparar las propiedades mecánicas de la arena recuperada y nueva fue necesario ensayar arenas con granulometría similar. Por esto, se efectuó un análisis granulométrico a la arena recuperada, siguiendo el procedimiento estándar de la AFS que se describe en el apéndice B. La arena nueva, usada como referencia fue la Oklahoma 100-120.

Para medir las propiedades mecánicas se prepararon mezclas de arena con bentonita sódica al 6% y agua al 3% en un molino de eficiencia conocida.

Las propiedades mecánicas que se ensayaron a las arenas recuperada y nueva fueron: compactabilidad, densidad, permeabilidad, moldabilidad, humedad, dureza, resistencia al corte, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y resistencia al impacto. La arena es probada siguiendo el procedimiento estándar para la obtención de la probeta de 2 plg. por 2 plg., que se describe en el apéndice B.

4.2.1 CORRESPONDENCIA DE LOS PASOS DEL PROGRAMA SILICA A LOS PASOS DEL PROCESO DE RECUPERACION DE ARENA USADA

Como se puede apreciar en la tabla siguiente, los pasos del proceso de recuperación siguieron la secuencia de los ensayos del Programa Sílica casi en su totalidad con la excepción de la primera remoción de metálicos que se realizó siguiendo las recomendaciones de los procesos industriales.

Ensayos Programa Sílica	Pasos de Recuperación
*Se parte de una muestra desmoronada y representativa.	*Desmoronamiento y atricionamiento de los terrones de arena y cribado
-----	*Primera remoción de metálicos
*Determinación de la arcilla AFS (%)	*Lavado de arena y secado a 60 °C, para quitar arcilla
*Determinación de las pérdidas por ignición. (material combustible en %).	*Calcinado a 980 °C durante 2 hrs, para eliminar material combustible.
*Determinación del contenido de metálicos y otros mats. solubles en ácido (%)	*Segunda remoción de metálicos

4.3 PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO DEL PROGRAMA SILICA PARA ARENA USADA Y PARA ARENA RECUPERADA

Se requieren tres muestras del sistema de arena ¹⁴:

1. Una de 5 g. que se usa para el ensayo de arcilla total.
2. Una de 50 g. que se usa para los combustibles. (pérdida por ignición).
3. Una de 50 g. para los otros ensayos.

En un taller de fundición comercial se requieren muestras de las arenas bases para corazones y moldeo que entran en el sistema para correr los ensayos y tener los "blancos" de la mismas. Se procederá a describir los diferentes métodos.

Se anexa también un diagrama resumido del procedimiento (apéndice C) y una guía para los cálculos.

a).. ARCILLA TOTAL POR AZUL DE METILENO (A. M.)

Una muestra de 5 g. de arena seca se coloca en un vaso de precipitado de acero inoxidable con 50 ml. de una solución al 2% de pirofosfato tetrasódico, el recipiente es luego pasado a un limpiador ultrasónico y sujeto a 5 min. de acción para romper los apelotonamientos y dispersar la arcilla.

Después se le agrega de 80 a 85% del requerimiento estimado de azul de metileno y la suspensión se agita mecánicamente por 2 minutos para asegurar un contacto completo entre el azul de metileno y la arcilla libre. Una gota de la suspensión se coloca sobre un papel filtro y la mancha resultante es observada. La aparición de un halo verdoso indicaría la presencia de azul de metileno que no ha sido absorbido por la arcilla.

En la ausencia del halo, el azul de metileno adicional se añade en incrementos de 1 ml. con dos minutos de agitación mecánica hasta la aparición de un halo, que persistirá aún después de una agitación de 2 minutos más.

El requerimiento de azul de metileno en ml. es dividido por el factor de calibración previamente determinado (ml. de azul de metileno requeridos por cada 1% de arcilla); para calcular la arcilla total por A.M. deben de seguirse en detalle las instrucciones del proveedor del instrumento, ya que cualquier desviación afectaría los resultados.

Como ya se mencionó anteriormente, existen algunas variantes al procedimiento que dan información adicional pero que no pertenecen estrictamente al Programa Sílica.

b).. MATERIAL CARBONACEO

Una muestra seca de arena de 50 g. se pesa en un plato de cuarzo de peso conocido y se coloca en una mufla a 980 °C (1800 °F), por 1.5 hrs. y/o a peso constante. Para que se efectúe una combustión total se recomienda un plato y no un crisol (70 mm. diámetro * 25 mm. de altura).

Después de enfriada la muestra se pesa y la pérdida en peso es multiplicada por 2 y se anota como pérdidas por ignición o material combustible. Este valor debe ser corregido por pérdida de agua de unión en la arcilla y por pérdida en peso, si hay alguna, que ocurra en las arenas base, solas.

Para la mayoría de las bentonitas, la corrección es de 0.09% por cada 1% de bentonita según el ensayo de azul de metileno. Por ejemplo si el reporte de arcilla por azul de metileno es 6% la corrección será $0.09 * 6.0$ ó 0.54% de pérdida de agua de unión. Esto debe de substraerse de las pérdidas por calcinación.

c).. METALICOS, OOLITICOS Y MINERAL BASE

En una segunda muestra de 50 g. se determinan los otros componentes de este programa mediante una serie de operaciones secuenciales que se describen a continuación.

d).. LAVADO PARA ELIMINAR ARCILLA Y FINOS MENORES DE 53 MICRONES

La muestra seca de 50 g. se pesa y se coloca en vaso de precipitado alto de 1000 ml. se agregan 475 ml. de agua destilada y 25 ml. de una solución al 1.5% de pirofosfato tetrasódico; al vaso se le coloca un mezclador mecánico y la muestra es agitada por 5 min. para remover la arcilla de los granos de arena.

Al remover la mezcladora se enjuaga ésta sobre el vaso para recuperar cualquier arena adherida.

A continuación se coloca la malla de 53 micrones en el limpiador ultrasónico equipado con un drenó lateral. La suspensión con la arena se vacía a la malla así colocada en el ultrasonido en marcha. Se baja toda la muestra del vaso con un chorro de agua y se continúa lavando con el mismo por 5 minutos para remover todo el material menor de 23 micrones. Esta operación es necesaria para remover la arcilla y los finos sueltos antes del calcinado, sino se procediera así, la arcilla presente se quemaría sobre los granos de arena y se formaría otra capa de oolíticos.

El agua de lavado que sale por el tubo lateral debe ser revisada periódicamente - el lavado debe continuar hasta que el agua salga clara.

Al llegar el lavado a su término se enjuagan las paredes y la malla se coloca fuera de la unidad de ultrasonido a escurrir. Luego, se coloca en una estufa de secado o en una unidad de secado de infrarrojos y se seca hasta peso constante. Con esta unidad de infrarrojos se puede realizar la operación en 10 minutos.

Después de enfriarse, la muestra se vuelve a pesar y se registra el peso. La pérdida en peso multiplicada por 2 nos dará el % de la muestra original que es menor a 53 micrones en diámetro. Mucho material carbonáceo se lavará con la arcilla, pero aquella porción que es mayor de 53 micrones, será removida al calcinar a 980 °C (1800 °F).

e).. CALCINADO PARA DETERMINAR EL % DE MATERIAL CARBONACEO MAYOR DE 53 MICRONES.

El residuo se transfiere a un disco de cuarzo previamente pesado y se pesa nuevamente todo. El disco se coloca en una mufla a 980 °C por 1 a 1.5 hrs. o hasta que la muestra alcance peso constante.

La muestra fría se pesa y se registra la pérdida en peso. Esta pérdida multiplicada por 2 da el material carbonáceo mayor en tamaño a 53 micrones, puesto que la arcilla viva fue removida en la operación de lavado, las pérdidas por calcinación no tienen que ser corregidas por agua de unión en la arcilla.

f).. TRATAMIENTO ACIDO PARA DETERMINAR METALICOS Y OTROS SOLUBLES EN ACIDO

El residuo de la calcinación se transfiere a un vaso de 600 ml. y se añaden 100 ml. de ácido clorhídrico al contenido del vaso. (recuerde que nunca se debe añadir agua al ácido sino ácido al agua).

Este se cubre con un vidrio de reloj y se coloca sobre una parrilla, de preferencia con agitación magnética, en una campana extractora; con algunas arenas, el material del vaso tiende a saltar por lo que es recomendable poner unos topes metálicos alrededor del vaso que le impidan resbalar. La temperatura de la parrilla se ajusta exactamente abajo del punto de ebullición y se mantiene así por 1.5 a 2 hrs.. Después se quita de la parrilla con unas pinzas y se enjuaga el condensado en el vidrio de reloj.

Cuidadosamente se añade agua simple, para diluir la solución y se deja el vaso en reposo para permitir que se asienten los granos. Cuando se aclara el líquido, se decanta en un vaso más grande llenado a la mitad con agua para diluir aún más el ácido. El vaso con la muestra se vuelve a llenar con agua y nuevamente se deja en reposo para decantar posteriormente. La operación de decantado se repite 3 ó 4 veces para reducir la acidez de la muestra y no dañar la malla de 53 micrones a la que se transfiere la muestra y se lava bien para quitar cualquier residuo de ácido. Posteriormente se seca en el infrarrojo a peso constante y se registra el peso.

La diferencia de peso antes y después del lavado ácido se multiplica por 2 y se registra como pérdidas debidas al tratamiento ácido e incluyen materiales solubles en ácido en la arena y contaminantes metálicos.

g).. METODO DEL ACIDO FOSFORICO PARA DETERMINAR LA PROPORCION DE OOLITICOS Y MINERAL BASE

Existen dos diferentes maneras de llegar a la determinación del contenido de oolíticos y mineral base: una toma como base la determinación del peso específico del residuo, otra más exacta, usa una digestión en ácido fosfórico, que libera o purifica la sílice del mineral base. Este último método se transcribirá.

El método de ácido fosfórico también se recomienda especialmente cuando hay diversas arenas entrando a un sistema con diferencia significativa en pesos específicos.

El residuo del tratamiento ácido es pesado nuevamente y cuarteado para obtener una muestra representativa de 10 g. Esta muestra luego se transfiere a un vaso de paredes gruesas y se le añaden 200 ml. de ácido fosfórico al 85%. El ácido se pone a ebullición por lo menos por 1 hora o hasta que se oscurezca más. Algunas arenas requieren varias horas de ebullición para disolver todo el material oolítico, se recomienda hacerlo en una parrilla con agitador magnético, puede alcanzar 220 °C o más, si el ácido se concentra 100%.

Una vez disueltas las capas que cubren los granos de arena, el vaso se pone a enfriar. Se decanta el ácido muy cuidadosamente para no perder los granos de arena. El ácido remanente, con la arena, se enfría a 60 °C y muy cuidadosamente se diluye con suficiente agua caliente, despacio y haciéndola resbalar por las paredes. Se recomienda usar lentes de seguridad. Una vez llenado el vaso y después de que los granos se asienten, el líquido se decanta o se elimina con un sifón. Se repite esta operación y posteriormente la muestra se traslada a una malla de 25 micrones (<400 mallas). Esta se coloca en el limpiador ultrasónico para lavarla aún con un chorro de agua. Posteriormente se pesa. El porcentaje del mineral base en la muestra original se calcula basándose en el peso remanente:

$$\%Silica = \frac{A.R.}{5}$$

A = peso en g. del residuo del tratamiento con HCl

R = peso en gramos del residuo para la muestra en 10 g. después del tratamiento con ácido fosfórico.

El uso de la malla de 25 micrones se debe a que al liberarse los granos de las capas, resulta una pedacería muy fina de SiO₂, que se perdía en la de 53 micrones.

4.4 GUIA PARA LOS CALCULOS DEL PROGRAMA SILICA

a).. Arcilla Total por Azul de Metileno

$$\text{Arcilla A.M. (\%)} = (E) = \frac{B}{K}$$

B = Requerimiento en ml. de azul de metileno

K = Factor de calibración para arcillas

b).. Material Carbonáceo

$$\text{Material Carbonáceo (\%)} = (D) = C - (.0095 + c)$$

C = Pérdidas por calcinación (%)

E = Arcilla A.M. (%)

c = Pérdidas por calcinación en % para la arena base

c).. Metálicos

$$\text{Metálicos (\%)} = (M) = 2((N - A) - (n - a))$$

N = Residuo de la calcinación a 980 °C (g)

A = Residuo después del lavado con HCl (g)

n = Residuo de calcinación de la arena base (g)

a = Residuo después del lavado con HCl para la arena base (g)

d).. Finos Inertes

$$\text{Finos Inertes (\%)} = (I) = (100 - 2A) = (E + D + M)$$

A = Residuo después de lavar con el HCl (g)

E = 5 arcilla A.M.

D = % Material carbonáceo

M = % Metálicos

e).. Material Oolítico

Si el peso es 10 g

$$\text{Material Oolítico} = (P) = \frac{2A.R.}{10} = \frac{A.R.}{5}$$

A = Residuo del lavado con HCl (g)

R = Residuo del tratamiento con fosfórico (g)

f).. Material Fundente

$$\text{Material Fundente (\%)} = (F) = I + A$$

I = % finos inertes

P = % material oolítico

g).. Mineral Base SiO₂

$$\text{SiO}_2\% = (S) = 2A - P$$

A = Residuo después de HCl (g)

P = % de material oolítico

h).. Factor de Limpieza

$$\text{Factor de Limpieza (a)} = \frac{100S}{(S+M+F)}$$

S = % SiO₂

M = % metálicos

F = % fundentes

CAPITULO 5 RESULTADOS EXPERIMENTALES

5.1 RESULTADOS PROGRAMA SILICA

En la tabla 1 se reportan aparte, como actividades especiales del Programa Sílica los ensayos: arcilla por azul de metileno, material fundente y el factor de limpieza, estos ensayos ayudan a evaluar mejor la arena recuperada.

Los resultados obtenidos en los ensayos del Programa Sílica a la arena sucia y a la arena recuperada después de haber sido sometida al método húmedo-térmico implementado, se muestran en la tabla 1A, en donde también se ve el % de limpieza logrado en la recuperación efectuada en este trabajo.

En la tabla 1B se encuentran datos sobre las arenas nuevas que en distintas épocas han sido empleadas en este taller de fundición. Los datos de la arena nueva 1 y 2 fueron obtenidos usando los ensayos estándares para caracterizar una arena nueva y son, pérdidas por ignición, análisis químico de la arena y el método usual para determinar arcilla AFS. Como los resultados finales de estos ensayos son expresados en porciento, pueden ser comparables con los resultados del Programa Sílica. Los datos de la arena Oklahoma son los obtenidos mediante las técnicas del Programa Sílica.

Los porcentajes de limpieza logrados en la arena recuperada de los 4 primeros ensayos reportados en la tabla 1 fueron obtenidos con relación a los valores de la arena usada. El porcentaje de limpieza logrado en el mineral base se hizo con referencia a la arena nueva No. 1

TABLA 1

Ensayo	Arena Usada	Arena Recuperada
Arcilla por Azul de Metileno(%)	6.93	0.000
Material Fundente (%)	16.9776	1.6398
Factor de Limpieza (%)	81.2963	97.5021

TABLA 1A
DATOS COMPARATIVOS ENTRE LAS ARENAS USADA Y RECUPERADA

Ensayo	Arena usada	Arena recuperada	Limpieza lograda(%)
Arcilla AFS (%)	12.0490	0.1752	98.54
Material Carbonáceo (%)	0.7102 ^b	0.3448 ^b	51.45
Contenido de metálicos (%)	1.3906	0.8494	38.91
Material oolítico (%)	4.9286	1.4646	70.28
Mineral base (%)	80.9215	97.1659	99.75
Total (%)	99.9999	99.9999	-----

TABLA 1B
DATOS DE ARENA NUEVA

Ensayo	Arena 1	Arena 2	Arena Oklahoma
Arcilla AFS (%)	0.62	1.6	0.1124
Material Carbonáceo (%)	0.18	0.88	0.0878
Contenido de metálicos (%)	0.77	0.44	0.2832
Material oolítico(%)	-----	-----	-----
Oxidos (%)	1.08	4.1	-----
Mineral base (%)	97.2	92.8	99.5165
Total (%)	99.85	99.82	99.9999

^b No se le resta el valor de pérdida de agua de unión y el valor de pérdidas de combustibles de la arena base.

5.2 RESULTADOS ANALISIS GRANULOMETRICO DE ARENA RECUPERADA

El análisis granulométrico efectuado mostró que la arena recuperada tiene un número AFS 105-110, como se puede ver en la tabla No. 2. Este sirvió de base para escoger como arena de referencia la Oklahoma 100-120 para determinar los ensayos mecánicos en las mezclas con bentonita y agua.

TABLA 2

Mallas	Gramos Retenidos	% Retenidos	Factor Multiplicativo	Producto
6	-----	-----	3	-----
12	-----	-----	6	-----
20	0.0076	7.6020E-3	10	0.07602
30	1.8999	1.9004	20	38.008
40	6.4183	6.4200	30	192.60
50	10.7351	10.7380	40	429052
70	10.9282	10.9312	50	546.56
100	13.3021	13.3057	70	931.339
140	23.5467	23.5531	100	2355.31
200	17.4975	17.5023	140	2450.322
270	9.7877	9.7903	200	1958.06
Charola	5.8494	5.8510	300	1755.33
Total	99.9725	99.999602	-----	10657.1550

Formulas para el Cálculo del No. AFS

$$\frac{\text{Peso Retenido}}{\text{Peso Total}} = (\%) \text{Retenido}$$

$$\text{Producto} = \% \text{ Retenido} \times \text{Factor}$$

$$\text{No. AFS} = \frac{\text{Producto Total}}{\% \text{ Retenido Total}}$$

$$\text{No. AFS} = \frac{1057.15502}{99.999602} = 106.5719$$

Granulometría Arena Recuperada = 105-110 AFS

5.3 RESULTADOS ENSAYOS MECANICOS

En la tabla 3 se muestran los resultados de las propiedades medidas a las mezclas de arena nueva, recuperada y usada, con 6% de bentonita y 3% de agua. Los resultados que aparecen son el promedio de varias determinaciones, se muestra además (tabla 3A) el índice de deformación, este es un parámetro sugerido en la referencia (15), que se obtiene dividiendo la resistencia al impacto entre la resistencia a la compresión. La humedad real fue de 3, 2.4 y 4.7 y la densidad 95, 92 y 90.5 respectivamente para la arena nueva, recuperada y usada.

TABLA 3

COMPARACION DE CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES MECANICAS DE ARENA NUEVA, RECUPERADA Y USADA

Ensayos	Arena Nueva	Arena Recuperada	Arena Usada
Compactabilidad (%)	61	54	54
Permeabilidad (dieter)	83.5	87.66	147
Resistencia al corte (psi)	2.16	2.21	4.3
Resistencia a la compresión (%)	8.2	8.63	15.66
Resistencia a la tracción (oz/in ²)	17.33	16.33	28.75
Resistencia a la penetración (%)	80	82.66	85

TABLA 3A

Ensayo	Arena Nueva	Arena Recuperada	Arena Usada
Moldabilidad (%)	72.65	39.8	3.71
Resistencia al impacto (%)	71.05	49.66	30.47
Indice de deformación (%)	8.66	5.75	1.94

CAPITULO 6

ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

6.1 ANALISIS DE RESULTADOS

1). Analizando la tabla 1A que muestra los datos comparativos del Programa Sílica efectuados a la arena usada, recuperada y el % de limpieza lograda en la arena recuperada, observamos que a la arena usada le quitamos un 98% de arcilla AFS dejando a la arena recuperada con un porcentaje de arcilla muy cercano al de la arena nueva Oklahoma que es una arena muy limpia, y si las comparamos con las otras dos arenas nuevas vemos que el porcentaje de arcilla es mucho menor, esto nos indicaría que la limpieza en este aspecto fue excelente.

Se observa también en la tabla 1A que se logró una remoción del 50% de material carbonáceo en la arena recuperada, aunque el porcentaje parece bajo este dato nos indica que se logro una cantidad menor a la arena nueva No. 2, por lo que el grado de limpieza puede considerarse bueno.

En cuanto al contenido de metálicos, observando el % de limpieza logrado en la arena recuperada y los datos de arena nueva notamos que el porcentaje de metálicos obtenidos en la recuperación es apenas superior en 7 décimas de punto a la arena nueva No. 1. Lo cual es bastante aceptable.

El material oolítico en arena recuperada esta todavía presente, recordando que algunos autores mencionan que algo de oolíticos es benéfico a la arena se puede considerar que la recuperación en este aspecto puede ser también aceptable.

Examinando el mineral base se ve que la arena recuperada es absolutamente comparable con las arenas 1 y 2, superior a esta ultima y prácticamente igual a la arena 1.

Resumiendo, en cuanto a los resultados obtenidos y a los porcentajes de limpieza logrados aunque parecen en algunos casos ser bajos, en realidad nos indican que la arena recuperada es prácticamente una arena nueva.

Los ensayos que se reportan en la tabla 1 contribuyen a afirmar el grado de limpieza obtenido en la arena recuperada. Notese que el factor de limpieza es muy similar al % de mineral base por la forma como son obtenidos los datos.

Un aspecto que debe mencionarse es el que la arena recuperada se ha limpiado por completo de la arcilla activa, por lo cual se acerca más a las características de una arena nueva.

2). En cuanto a las propiedades mecánicas de las mezclas aún y cuando se usó para la mezcla con arena nueva la arena más limpia, la Oklahoma, los datos obtenidos con la mezcla de arena recuperada son semejantes a los de la nueva exceptuando el porcentaje de moldabilidad, la resistencia al impacto (shatter) y el índice de deformación. Estos tres ensayos están relacionados entre sí, indican en términos generales la fluidez o plasticidad de la mezcla. Esto es, indica que los datos bajos en moldabilidad y resistencia al impacto son evidencia de una arena poco deformable como es una arena muy usada. Son la única evidencia de que la arena recuperada no es nueva. Los datos de la arena usada reflejan esta pérdida de plasticidad que acompaña a las arenas sucias, por su valor alto de resistencia a la compresión, bajo en resistencia al impacto y bajo también por lo tanto en moldabilidad e índice de deformación. Es de hacerse notar que en estos cuatro ensayos mencionados la arena recuperada se encuentra en valores intermedios entre la nueva y la usada mucho más cercanos a la nueva.

6.2 CONCLUSIONES

- 1). Respecto a los sistemas de recuperación de arena podemos concluir lo siguiente:
 - * El tipo húmedo de recuperación sólo es efectivo si los componentes de la arena sucia son solubles en agua, por esto este tipo de recuperación es muy limitado, ya que sólo es aplicable a arenas aglutinadas con arcilla y silicatos.
 - * El tipo térmico aunque es muy recomendado por consideraciones ambientales no es muy usado por consideraciones económicas y por no ser efectivo al 100 por ciento ya que no puede remover aglutinantes de tipo inorgánico.
 - * El tipo seco no es un sistema de recuperación efectivo debido al hecho de que la arena obtenida recuperada no queda totalmente limpia y entonces necesitaríamos agregar más cantidad de arena nueva. Otra de sus limitaciones es que la arena sucia a ser recuperada debe estar totalmente seca.
 - * El tipo combinado es uno de los métodos mas recomendables ya que este método es el único capaz de devolverle a la arena sus propiedades originales no importando la naturaleza de la arena usada.
- 2). Antes de proyectar un sistema de recuperación debemos considerar ciertos parámetros fundamentales, ya que dependiendo de estos parámetros un sistema de recuperación puede ser adecuado y provechoso para una fundición particular y demasiado costoso para otra fundición.
- 3). Se logro recuperar la arena de moldeo del taller de fundición con el proceso implementado.
- 4). La arena recuperada recobro sus propiedades mecánicas rutinarias útiles originales, obteniendo una pureza muy cercana a la arena nueva. Por lo tanto esta arena puede ser usada en lugar de arena nueva.
- 5). Los resultados de moldabilidad, resistencia al impacto e índice de deformación son los únicos que muestran evidencia de que la arena recuperada no es nueva.
- 6). El uso de los ensayos del Programa Sílica permitió:
 - * Conocer el grado de limpieza de la arena usada.
 - * Verificar la calidad de la arena recuperada.
 - * Junto con el conocimiento del proceso industrial, sentar las bases del proceso de recuperación usado en el laboratorio.

APENDICE A

SISTEMA COMBINADO HUMEDO-TERMICO¹³

Una combinación del sistema húmedo y del incinerador o calcinador es la más recomendable, por lo que a continuación, se describirá un sistema de recuperación de arenas y su operación, el cual es capaz de retomarle a una arena utilizada en las áreas de moldeo y corazones, las condiciones originales; no importando que esté seca o húmeda.

El sistema que se describe puede o no estar integrado a la operación de una planta de fundición; el caso que se describe si esta integrado a la operación de una fundición.

La alimentación del sistema se hace por medio de una pala mecánica y un transportador de banda, la arena alimentada se compone de arena proveniente de corazones defectuosos o bien en un 50%, de arena sobrante de las máquinas de resina y aceite después de su operación. Así como de arena negra que se obtiene de las líneas de moldeo y de arena mixta que se obtiene al vibrar las piezas en la zona de preacabado. Parte de esta arena es del corazón de la pieza vibrada y parte del molde donde se produjo la misma. En el caso de esta última no hay control en la carga, en el caso de la arena negra se carga al sistema a razón de 50% de la carga total externa.

Una vez descargada la arena en la banda, ésta la transporta hasta una polea magnética que separa las partículas metálicas dejándolas caer en un ducto y por medio de él hasta una tolva; donde se lleva a la sección de fusión. La arena exenta de partículas metálicas es descargada a otro ducto que la lleva a una segunda banda, la cual transporta arena que proviene del vibrador del área de preacabado. Al final de este transportador se encuentra otra polea magnética que efectúa una segunda separación de partículas metálicas, dejándolas caer en una tolva similar a la anteriormente citada, siguiendo dicho material en el proceso antes mencionado.

Este sistema consta de una serie de aparatos y máquinas cuyo principal objetivo es obtener una arena que se pueda usar como una arena nueva y con una granulometría controlada. Para lograr este objetivo la arena es sometida a un lavado y después a una calcinación; el lavado tiene por objeto remover de la superficie de los granos de arena los materiales finos como son; las bentonitas inertes, el mogul, la harina de madera etc, y la calcinación tiene como finalidad elevar la temperatura de la arena arriba de 850 °C, quitando así cualquier vestigio de materia orgánica, tal como; resinas, aceite, carbón etc, los cuales a pesar del lavado aun cubren los granos.

Teóricamente la arena que es transformada por este sistema, está completamente limpia y clasificada, y es ideal para ser usada en la manufactura de corazones o en cualquier mezcla donde se requiera arena nueva. El sistema consta de un conjunto de transportadores de banda, poleas magnéticas, criba, molino de martillos, elevador de cangilones, tolva de almacenamiento, atricionadores, bombas de lodos, clasificador, filtro de mesa, bomba de vacío

y calcinador que comprende la cámara de precalentamiento, cámara de calcinación y caja de viento, un enfriador, un cambiador de calor, criba, elevador del producto y tolvas de almacenamiento, más equipos auxiliares como son: turbo sopladores y extractores de finos.

El total de arena de carga es conducido hasta una criba vibratoria, con el propósito de que pasen a través de ella sólo las partículas de tamaño inferior a 1/8 de pulgada, las partículas de tamaño mayor que 1/8 de pulgada caen mediante la acción mecánica de la criba vibratoria y por gravedad a un molino de martillos, el cual las tritura hasta dejarlas de un tamaño inferior a 1/8 de pulgada. Toda la arena así obtenida se sube por medio de un elevador de cangilones y cae por gravedad a una tolva de almacenamiento construida para garantizar por este medio la disponibilidad de materia prima.

De la tolva de almacenamiento se descarga arena por medio de una compuerta giratoria a un transportador de gusano; es en este punto donde se inicia la operación del sistema húmedo. El transportador de gusano tiene en la parte superior un cabezal de tubería de 3/4 " con agua a presión, que permite pulverizar la misma a lo largo del alimentador, mezclando agua con arena en un volumen de 20% de agua y 80% de arena, el transportador descarga por medio de un ducto rectangular a un tanque agitador en donde por medio de una agitación centrífuga empieza el proceso de lavado de arena.

El agitador es un tanque cilíndrico vertical: de 91 cm de altura * 89 cm de diámetro con un cilindro abierto en los dos extremos, alojado concéntricamente al tanque, separado del exterior 31 cm y con dos agujeros dispuestos a 180° uno de otro en las paredes verticales, con una propela recubierta de hule impulsada eléctricamente que provoca una agitación y un flujo concéntrico, debido a los cuales la arena se va friccionando unos granos contra otros, produciéndose de esta forma el lavado de la misma y desprendiéndose así los materiales finos como las arcillas, mogul, carbono, etc.; simultáneamente se adiciona agua calculando tener una pulpa con un contenido de sólidos de 60 a 70% en volumen.

El agitador derrama la pulpa por la parte superior a un tubo de 4" que tiene una válvula de mariposa que nos permite enviarla al tanque de admisión de las bombas de lodo.

Cabe hacer notar que la distribución de los granos de arena no es uniforme en el agitador, por lo que la lectura de 60 a 70% de sólidos se consigue tomando la muestra en la parte media inferior de la altura del agitador, la pulpa que se derrama del agitador tiene de 15 a 25% de sólidos y constituye la alimentación de las bombas de lodos.

Las bombas de lodos elevan la pulpa a un clasificador ATKINS que se encuentra en la parte superior y que es del tipo helicoidal inclinado, el desnivel del mismo se controla por medio de un volante el cual hace variar la inclinación subiendo o bajando uno de los extremos del eje de la hélice. El clasificador separa las partículas gruesas enviándolas al filtro de mesa y las partículas menores de 140 mallas, las derrama a un tubo de 4", que por gravedad las conduce junto con el agua en exceso con que trabaja el clasificador, a un espesador que se encuentra en la parte inferior. Este espesador es un tanque cilíndrico de 3.75 m de altura * 4.80 m de diámetro el cual tiene en el centro una flecha con aspas, la flecha por medio de una

transmisión gira a una velocidad de 22 RPM; debido a este movimiento y a la forma de las aspas se favorece el asentamiento de las partículas sólidas más pesadas, (arena, arcillas, etc.), las cuales son descargadas por la parte inferior a unas tolvas y tiradas al exterior en forma de lodo.

Por la parte superior el agua exenta de sólidos se guía por un canal hasta un tanque de almacenamiento, el cual además de esta agua, tiene una alimentación continua, con objeto de compensar el agua desalojada con los sólidos y las pérdidas del sistema. El tanque de almacenamiento alimenta dos bombas, las cuales impulsan el agua hacia el alimentador de gusano y al agitador centrífugo.

Volviendo al clasificador en el cual se tiene la separación de partículas mayores de 140 mallas y con un contenido de agua de 35% en volumen en forma de pulpa, ésta es desplazada hacia una tolva que alimenta un filtro de mesa.

El filtro de mesa es un recipiente circular que gira a una velocidad de 40 RPM. La superficie en contacto con la arena está recubierta con una malla de acero inoxidable de 140 mallas por pulgada, por los orificios que deja la malla pasa el agua, la cual es succionada por una bomba de vacío, que succiona de un tanque cilíndrico por la parte superior.

El tanque tiene una presión de vacío de $-10''$ de H_2O y por la parte inferior lateral se conecta a un tubo que es el que succiona el agua del filtro de mesa. El cilindro descarga el agua aspirada del filtro por medio de un tubo hasta el espesador. Prácticamente a partir del filtro de mesa empieza el proceso de calcinación de la arena, el cual se efectúa en el calcinador. Este aparato está constituido por varios cilindros de acero, recubiertos interiormente de refractario y está dividido en tres compartimientos que son: cámara de precalentamiento, cámara de calcinación y caja de viento.

La cámara de precalentamiento es un compartimiento que se encuentra en la parte superior del aparato y está separada de la cámara de calcinación por una bóveda, en la cual están distribuidas 32 toberas; por las toberas pasan los gases calientes de la cámara de calcinación. La arena que se deposita en la cámara de precalentamiento forma una capa o cama cuya altura fluctúa entre 35 y 40 cm. Los gases producen una turbulencia en esta cámara favoreciendo la remoción de agua de dicha arena, registrándose temperaturas entre 120° y 170° C y 17500 pies cub/min, de fluido a través de la arena.

Cuando en la cámara de precalentamiento se llega a la temperatura y altura de cama adecuadas, se transfiere parte de la arena a la cámara de calcinación. La altura de la capa o cama de arena se controla por medio de dos injertos que dan una presión de comparación entre diferentes puntos de la cámara. Estos datos van a un integrador el cual los registra directamente en una gráfica, la temperatura es controlada por medio de un termopar que manda la señal al integrador de temperatura; el cual registra directamente en una gráfica. cuando por algún motivo cesara la alimentación en la cámara de precalentamiento y llegara a subir la temperatura arriba del límite superior, el termopar manda una señal a un circuito

que hace actuar unos rociadores, los cuales pulverizan agua sobre la cama de arena con objeto de abatir cualquier incremento en la temperatura.

Cuando en la cámara de precalentamiento se llega al nivel de cama y temperatura de la arena prefijada, se transfiere parte de ésta a la cámara de calcinación por medio de una válvula de transferencia. Esta válvula de transferencia es un pasaje construido con tubo de acero inoxidable de 4" de diámetro y que comunica la cámara de precalentamiento, con la cámara de calcinación y cuyo extremo queda a una distancia aproximada de un metro del nivel máximo de la arena en la cámara de calcinación. En el interior de este pasaje hay un tubo de 1-1/2" de diámetro de acero inoxidable que protege una barra de 3/4" de diámetro también de acero inoxidable la cual sostiene un cono por medio de una unión universal; la barra de 3/4" de diámetro es accionada hacia arriba y abajo por medio de un pistón neumático, haciendo que el cono obstruya o deje libre el tubo de 4" de diámetro, al dejar libre este tubo, se inyecta aire a presión por el tubo de 1-1/2" de diámetro con objeto de contrarrestar la presión que existe en la cámara de calcinación.

La cámara de calcinación recibe pues la arena que proviene de la cámara de precalentamiento, depositándose sobre una bóveda y formando la capa o cama de calcinación. Al caer la arena en la cámara de calcinación de inmediato sufre una oxidación instantánea; quemándose o calcinándose de inmediato la materia orgánica que cubre los granos cristalinos, ya que en esta cámara la temperatura ambiente es de 850 °C. Esta temperatura es producida por el calor generado por la combustión de gas natural, el cual es inyectado por cinco pistolas o quemadores que están colocados en la periferia de la base de la cámara de calcinación.

Por la bóveda se hace pasar aire a través de 37 toberas, este aire procede de un turbosoplador que distribuye el mismo a través de una caja de viento y de ahí a las toberas; la cantidad de aire soplado por unidad de tiempo o gasto es de 800 pies cub/min. La cama de calcinación debe trabajar con una altura de cama de 1 a 1.20 m y una temperatura de 780 a 860 °C. El gasto de gas natural en las pistolas se gradúa por medio de una válvula hasta obtener una lectura en el indicador de 60 a 65 mcub/hora. La altura de la capa o cama de arena se controla por medio de dos injertos que nos dan una presión de comparación entre diferentes puntos de la cámara, estos datos van a un integrador el cual los registra directamente en una gráfica, la temperatura, es controlada por medio de un termopar que manda la señal al integrador de temperatura, el cual la registra en un indicador y en una gráfica. El indicador tiene un dispositivo para fijar los límites mínimo y máximo de temperaturas; cuando la temperatura llega al máximo permitido por el indicador, éste manda una señal a una válvula de diafragma la cual cierra el paso del gas a las pistolas y cuando la temperatura baja al límite inferior permitido, manda otra señal la cual abre la válvula.

Cuando en la cámara de calcinación se llega a la altura de cama y temperatura de operación, se efectúa la transferencia de arena de la cámara de calcinación al enfriador por medio de un pasaje recubierto de refractario que va desde la parte inferior de la cámara de calcinación a la parte media del enfriador.

El enfriador es un aparato que consta básicamente de dos cilindros de acero recubiertos interiormente de refractario, en el cilindro de menor diámetro se recibe la arena que viene de la cámara de calcinación a una temperatura que oscila entre 780 y 860 °C. La arena forma una capa o cama sobre una bóveda formada por refractario y 15 toberas. Por la parte inferior del aparato se hace pasar aire por 15 toberas que se encuentran distribuidas en la bóveda y que dividen la cámara de enfriamiento de la caja de viento del enfriador, que es alimentada por otro turbosoplador que nos da un gasto de 300 pies cub/min. En el cilindro superior se inyecta agua a presión por medio de dos rociadores que trabajan a una presión de 40 lb/pulg cuadrada y con un gasto de 2.2 gal/min.

Esta agua es completamente limpia y sólo se inyecta cuando la temperatura rebasa el límite superior del rango de operación, el cual es de 80 a 100 °C. A temperaturas menores del límite inferior, cesa la inyección de agua.

Cuando el nivel de la capa o cama es mayor que 1 m, la arena pasa por un tubo que está colocado precisamente a esta altura, éste conduce la arena a un intercambiador de calor que tiene la forma de "u"; en la base de la "u" se inyecta aire a una presión de 90 lb/pulg cuadrada, con el objeto de mover la arena, por este medio, la arena llega a la parte superior derecha del cambiador y cae a otro cambiador de calor que, a la vez, sirve como transportador por gravedad y conduce la arena hasta una criba vibratoria.

Los cambiadores de calor trabajan con agua enfriada en las torres de enfriamiento, la cual es bombeada a una presión de 40 lb/pulg cuadrada, con un gasto de 28 gal/min. La criba vibratoria tiene por objeto separar los grumos, pedazos de refractario e impurezas que pudiera contener la arena, dejando pasar solamente granos de arena hasta 1/8" de tamaño, el material de desecho es descargado por un tubo a una tolva que lo colecta tirándolo al exterior. De la criba vibratoria la arena limpia y clasificada que aquí se obtiene es transportada por medio de un elevador de cangilones, el cual la descarga a un tubo inclinado, conduciendo éste la arena y descargándola en las tolvas de almacenamiento de arena recuperada.

Estas tolvas son dos recipientes de acero rectangulares que terminan en la parte inferior en forma troncopiramidal invertida y están conectados directamente a los mezcladores de corazones. En un lado de la parte troncopiramidal de la tolva existe una conexión con los molinos de arena para moldeo, con el objeto de efectuar las adiciones de arena nueva al proceso de arenas para moldeo.

En estas tolvas de almacenamiento de arena recuperada, termina el proceso de recuperación de arenas.

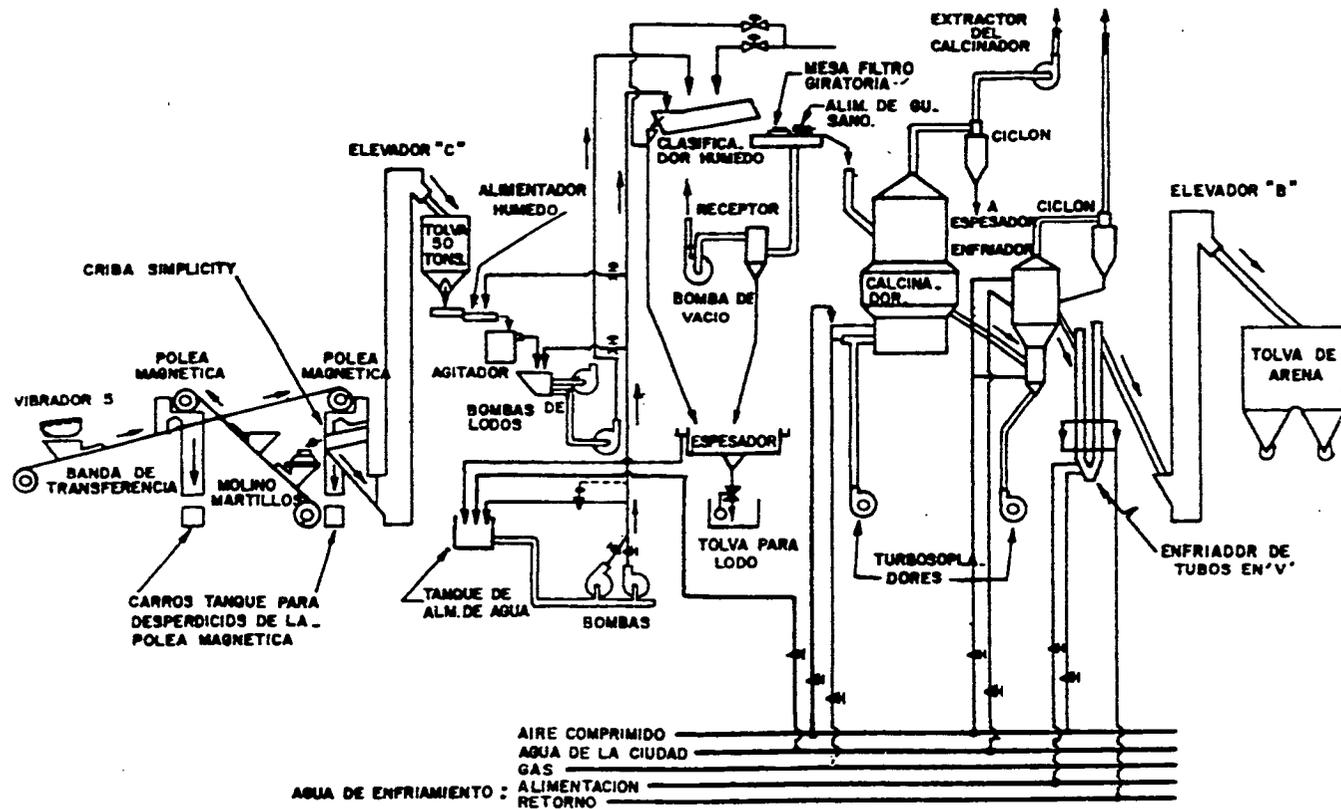


DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE RECUPERACION DE ARENAS.

APENDICE B

ENSAYOS EXPERIMENTALES DE LAS MEZCLAS ARENA-AGUA-BENTONITA

Para medir las propiedades mecánicas se prepara una mezcla de arena con bentonita y agua, con un porcentaje de humedad y bentonita conocidos, en un molino de eficiencia conocida, siguiendo los procedimientos aprobados por la AFS. Las propiedades de la arena a medir son :

1).. HUMEDAD

El ensayo se efectúa para conocer el contenido de agua en las mezclas de arena de moldeado en verde después de haber sido preparadas, ya que el contenido de agua real es diferente a la teórica o calculada. Esta diferencia puede ser debido al tiempo de mezclado, o al agua contenida en las materias primas.

La cantidad de humedad perdida durante la operación, se determina pesando la muestra antes y después de dirigir el aire caliente a través de la misma. El contenido de humedad se calcula entonces como porcentaje utilizando el peso de humedad perdido y el peso original de la muestra ¹⁶.

2).. MOLDABILIDAD

La prueba de moldabilidad es un valor que tiene por objeto medir la propiedad de la mezcla de arcilla a granel, antes de sujetarse a sacudidos, apisonados o prensado. Esta mide la cohesión intergranular de la arena a granel y provee un índice de la capacidad de la arena a fluir alrededor del molde ¹⁷.

El índice de moldabilidad es fuertemente afectado por la cantidad de agua en la mezcla y refleja el grado de activación de los aglutinantes y es sensible a la molienda y de alguna forma al tiempo de almacenamiento, ya que estos factores afectan la cantidad de agua ligada a la arcilla.

El equipo requerido es un aparato dotado de una criba rotatoria; la criba rotatoria deberá ser construida con una abertura de 8 mallas y con un diámetro de 7 pulgadas, la velocidad de operación deberá ser de 57 rpm.

Para realizar la prueba se coloca una charola debajo de la criba rotatoria para recolectar toda la arena que pase a través de la criba. Usando una criba con una abertura de 7/8 de plg. Se criba arena directamente de un recipiente sobre la balanza hasta obtener una muestra de 200 gramos, se transfiere la muestra dentro de la criba rotatoria y se hace rotar durante 10 minutos.

El índice de moldabilidad se calcula dividiendo el peso de la arena que pasó a través de la criba rotatoria entre el peso original de la muestra y multiplicado por 100.

3).. DENSIDAD

El ensayo de densidad se realiza porque el peso de la probeta estándar se ve afectada por la compactación de los granos, como consecuencia de la variación de humedad. El objetivo de determinar la densidad de una mezcla de arena es conocer el peso de una probeta estándar según el indicador de densidad y así reproducir las dimensiones de un molde.

La determinación de densidad en el presente trabajo fue realizada tomando un peso constante de 165 gramos, y por medio de un aditamento especial montado en el equipo apisonador se leyendo directamente sobre la escala el valor correspondiente a la densidad de la muestra.

4).. COMPACTABILIDAD

La prueba de compactabilidad determina el porcentaje que decrece en altura una masa de arena por la influencia de la compactación. Los valores de compactabilidad son directamente relacionados a la acción de la arena en el moldeo y reflejan el grado óptimo de la arena en el moldeo. El procedimiento para la determinación Norma AFS, es la siguiente: se pone el tubo patrón para la obtención de las probetas en un pedestal de cuba, montado sobre una base de ajuste.

Se coloca debajo de una tolva de llenado que tiene acoplado una criba de 0.635 mm de abertura. Este arreglo elimina variaciones en el llenado del tubo patrón, se pasa la arena a través de la criba y se llena el tubo hasta que se este desparramando, entonces cuidadosamente, se quita el exceso de arena con una espátula, quedando la altura idéntica a la altura del tubo. Cuidadosamente se coloca el tubo bajo la cabeza del émbolo del apisonador y se da tres apisonadas. Después de apisonar, se observa, a través de la parte superior de la varilla del émbolo y se lee la compactabilidad en porciento desde la escala, colocada en la parte superior del aparato de compactación.

5).. PERMEABILIDAD

Se puede definir la permeabilidad como la propiedad física de la masa moldeada de una mezcla de arena, que permita el paso de gas a través de la misma. Se determina por la cantidad de aire que puede pasar a través de una muestra cilíndrica de norma (50.8 mm * 50.8 mm), bajo una presión también normalizada.

El ensayo de permeabilidad responde al empaquetamiento de los granos y la forma de los orificios. Un incremento en permeabilidad indica una estructura más abierta, y si el incremento continúa, puede conducir a un quemado y penetración con una superficie tosca.

Una disminución indica un empaquetamiento más justo, o un cambio en orificios; una disminución continua puede conducir a sopladuras, pinholes y superficie tosca.

6).. DUREZA

La dureza a la cual se apisona un molde, afecta casi todas las propiedades físicas de la arena, tales como resistencia en verde, deformación, tenacidad, densidad, permeabilidad.

Se puede definir como la resistencia, que ofrece la superficie de un molde de arena en verde, a la penetración de un indentador bajo carga.

7).. RESISTENCIA A LA COMPRESION

Es la máxima fuerza de compresión que una mezcla de arena es capaz de soportar cuando es preparada, compactada y probada, acorde con el procedimiento norma que se describe a continuación: poner la probeta estándar entre las mordazas indicadas que están ya colocadas en la máquina del tipo de péndulo de peso muerto, en seguida conectar el interruptor y empezar a aplicar la carga, hasta el momento de la ruptura; en este instante el péndulo regresa a su posición original dejando el aditamento magnético sobre la escala en la posición de máxima resistencia, indicando así el valor a de la resistencia a la compresión.

8).. RESISTENCIA A LA TRACCION

Es la resistencia máxima que la mezcla es capaz de soportar, cuando se la prepara y ensaya de acuerdo con el procedimiento norma AFS. La máquina utilizada para las determinaciones es del tipo universal de viga.

La probeta normal es apisonada en un tubo dividido en dos partes diseñado para que la arena pueda separarse durante la prueba, cuando esta se rompe.

Una vez preparada la probeta se coloca en el portatubo de la máquina y se sujeta firmemente con los tornillos, el tensor se coloca a los pernos que posee el tubo de la probeta y se aplica la carga hasta que la probeta sea dividida en dos partes, una vez que ocurra esto, la máquina para, y se acciona la reversa automáticamente. El valor de la resistencia a la tracción se lee directamente del disco en la escala correspondiente.

9).. RESISTENCIA AL CORTE

Es la resistencia máxima que puede desarrollar una mezcla de arena, después de habersela retirado del tubo formador, por la aplicación uniforme de una carga, a las dos mitades diametralmente opuestas de las dos superficies planas de la probeta.

10).. RESISTENCIA AL IMPACTO

El ensayo de impacto es una medida adicional de la tenacidad de la arena. El espécimen de prueba de compresión estándar es expulsado de su molde tubular por medio de un poste desalojador. El espécimen es impactado dejando caer a través de una altura de 6 pies una bola de acero. Los fragmentos son colocados en una criba de malla de 0.5, el resultado de la prueba de impacto es aquel porcentaje del peso retenido en la criba.

11).. ANALISIS GRANULOMETRICO

Las cribas seleccionadas para la prueba se colocan en forma de columna, con la criba de abertura más grande en la parte superior y la más fina en el fondo. Un deposito cerrado se coloca abajo de la criba del fondo para recibir las partículas finales de menor tamaño y se coloca una tapadera sobre la parte superior de la criba más gruesa para evitar el escape de la muestra.

El material que se va a ensayar se coloca en la criba superior, más burda y entonces el juego de cribas se coloca en un sacudidor de cribas que vibra el material en un plano vertical.

Después del tiempo necesario, el conjunto de cribas se separa y se pesa la cantidad de material retenido en cada una de las cribas.¹⁸

Formulas para el Cálculo del No. AFS

$$\frac{\text{Peso Retenido}}{\text{Peso Total}} = (\%) \text{Retenido}$$

$$\text{Producto} = \% \text{ Retenido} \times \text{Factor}$$

$$\text{No. AFS} = \frac{\text{Producto Total}}{\% \text{ Retenido Total}}$$

APENDICE C

RESUMEN DE LOS METODOS DEL ENSAYO DEL PROGRAMA SILICA

a). Arcilla Total por Azul de Metileno

- * Pesar muestra de 5 g
- * Adicionar 50 ml de pirofosfato de sodio (2%) en un vaso de acero inoxidable.
- * Colocar el vaso en el agitador del ultrasonido, durante 5 min. para dispersar la arcilla calcinada.
- * Adicionar 10 ml de azul de metileno.
- * Agitar durante 2 min.
- * Colocar una gota de la solución en papel filtro (observar halo azul).
- * Repetir de 1 ml en 1 ml hasta la presencia adecuada de halo.

b). Lavado para Eliminar Arcilla AFS Menor a 53 Micrones

- * Pesar 50 g de arena de moldeo seca.
- * Colocar la arena en un vaso de precipitados de 1000 ml
- * Agregar 25 ml de pirofosfato de sodio (2%) y agitar.
- * Llenar el vaso de agua.
- * Decantar (10 min.).
- * Extraer agua (hasta 200 ml).
- * Volver a llenar vaso (hasta 1 litro).
- * Decantar y extraer el agua.
- * Repetir la operación hasta que el agua quede clara.
- * Secar y pesar.

c). Material Carbonáceo Mayor a 53 Micrones

- * Pesar el residuo del lavado para eliminar arcilla
- * Calcinar arena a 980 °C durante 1.5 horas.
- * Dejar enfriar y pesar.

d). Tratamiento Acido para Determinar Metálicos y Otros Materiales Solubles en Acido.

- * El residuo de la calcinación se transfiere a un vaso de precipitados. Pero antes se pesa.
- * Añadir 100 ml de ácido clorhídrico.
- * Cubrir con vidrio de reloj y colocar sobre una parrilla con agitación magnética.
- * Ajustar temperatura abajo del punto de ebullición y mantener de 1.5 a dos horas.
- * Lavar la solución con agua simple.
- * Secar el residuo y pesar.

e). Método del Acido Fosfórico para Determinar la Proporción de Oolíticos y mineral base.

- * Pesar 10 g del residuo del tratamiento ácido.
- * Colocar en vaso de precipitados.
- * Agregar 200 ml de ácido fosfórico.
- * Poner en una parrilla con agitación magnética a ebullición durante 1 hora.
- * Enfriar la solución y decantar el ácido.
- * Lavar la arena con agua tibia.
- * Secar la arena y pesarla.

BIBLIOGRAFIA

- 1). Thermal Reconditioning of Core Sand in an Aluminum Foundry: a Contribution to Environmental Protection
S. Wesp
W. Engelhardt
Mercedes Benz AG
Esslingen-Mettingen. GERMANY
Año 1991
- 2). Arenas de Fundición y Medio Ambiente
Dr. Guillermo J. Román Moguel
Depto. Ingeniería Metalúrgica
ESIQUE-IPN
- 3). A Foundryman's Perspective on Sand Reclamation
Daryl F. Hoyt
Wedron Silica Co., Wedron, IL
Año 1988
- 4). Combined Cooling, Reclamation, and Particulation for Improved Green Sand Performance
Jerry W. Kucharczyk
Highland Foundry Ltd., Surrey, B.C., CANADA
Dieter S. Leidel
Tanoak Enterprises Inc., Barrie, Ont., CANADA
Año 1988
- 5). Proyecto y construcción de un Sistema de Recirculación de Arena de Moldeo
Tesis Profesional
Marcelino Madrigal Duarte
ESIME-IPN
Año 1971
- 6). Clay-Bonded Foundry Sand
W. B. Parkes
Applied Science Publishers LTD
London
- 7). Foundry Core Practice
Harry W. Dieter
Third Edition, 1966
Published by American Foundrymen's Society
Des Plaines, Ill.

- 8). "Sand Reclamation Environmental Consideration". Molding Methods and Materials Session at the 86th American Foundrymen's Society Casting Congress.
Memoirs of: Zayko, Robert E.
- 9). Caracterización de una Arena Silicea para su uso en la industria de la Fundición.
Tesis Profesional
Ma. del Carmen J. Liceaga García
Leonel Tamayo Rodríguez
UNAM
Año 1980
- 10). Reclamation of Chemically-Bonded Sand
Presented as a Panel Discussion at the 76th AFS Casting Congress, Philadelphia, P.A.,
May 10, 1972
- 11). Reclaimed Shakeout Sand as New Sand Substitute in Green Sand Molding Lines
D. Lawson
Wagner Castings Company
Decatur, IL
D.S. Leidel
Eirich Machines
Maple, Ontario, Canada
Año 1984
- 12). Myths, Misconceptions, and Mistakes in Sand Reclamation
D.S. Leidel
Tanoak Enterprises Inc., Barrie, Ontario
CANADA
Año 1988
- 13). Recuperación y reutilización de las arenas utilizadas en la manufactura de corazones y moldes.
Memorias de: Marcelino Madrigal Duarte
Conferencia: 3 Junio de 1992
FORD MOTOR CO., S.A.
- 14). The Silica Program Measuring Performance of System Sand
H.W. Dieter, A.L. Graham, R. Praski, F. Hofmann
AFS Trans 1975, Vol. 23, págs. 233-244

- 15). Prueba de Estrellamiento Como Medida de Plasticidad de las Arenas en Verde
Tesis Profesional
Jorge Rogelio Medina Cabrera
UNAM
Año 1993
- 16). "A Sand Control Program That Saves Castings"
H.W. Dieter, A.L. Graham, J.S. Schumacher
A.F.S. Trans, Vol. 82, 1974, pags. 329-342
- 17). Evaluación de las Diferentes Medidas de Resistencia Mecánica y Otras Mediciones Físicas en Mezclas de Moldeo en Verde
Tesis Profesional
Jose Guadalupe Mendoza León
UNAM
Año 1985
- 18). Tecnología de Procesamiento de Materiales
Tratamiento de Menas y Recuperación de Minerales
B.A. wills, BSc, PhD, CEng. MIMM
Editorial Limusa