



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

CARACTERIZACIÓN DE LAS TIERRAS DE MOLDEO DE EL PORVENIR DE LA PROVINCIA DE SULLANA

Julio César Ordinola Castillo

Piura, Agosto de 2011

FACULTAD DE INGENIERÍA

Área Departamental de Ingeniería Mecánico-Eléctrica



Esta obra está bajo una [licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERIA



“CARACTERIZACIÓN DE LAS TIERRAS DE MOLDEO DE EL PORVENIR DE LA
PROVINCIA DE SULLANA”

Tesis para optar el Título de
Ingeniero MECÁNICO ELÉCTRICO

JULIO CÉSAR ORDINOLA CASTILLO

Asesor: Ing. Jorge Arturo Yaksetig Castillo

Piura, agosto 2011

*A Dios, mi familia, mis
amigos y a las personas que
me acompañaron en este
proyecto.*

Prólogo

En la actualidad el arte de la fundición, en la provincia de Sullana en el departamento de Piura, empieza a ser necesario su desarrollo en las áreas que lo integran y por si fuera poco las industrias empiezan a aparecer y los requerimientos en las diferentes áreas de la ingeniería aumentan.

Es así que la práctica del arte de la fundición no debe detenerse, además estudios e investigaciones han demostrado que la provincia de Sullana y los distritos que la conforman ofrecen elementos para las tierras de moldeo, que pueden hacer que la fabricación de piezas a partir de la fundición de metales, sea mejor y mayor.

La caracterización de una tierra de moldeo, es uno de los pilares para la fabricación de una pieza de metal sana; actualmente para las diferentes tierras de moldeo no se realiza dicha caracterización, no existe un registro detallado de las diferentes características y propiedades de cada una de estas tierras de moldeo, en Sullana.

Adicionalmente a todo esto, el estudio tiene como finalidad ser un punto de partida para posteriores proyectos de investigación en la ciencia de la fundición de metales y las tierras de moldeo, en su crecimiento práctico y teórico.

Finalmente, agradezco a todas las personas que han contribuido en el desarrollo del presente proyecto. A mi asesor Ing. Jorge Yaksetig Castillo, por el constante apoyo que me brindó durante la elaboración de mi tesis, a mi familia por su constante confianza y a mis amigos por su apoyo y fuerzas para poder cumplir con este objetivo. Así mismo agradezco a la Universidad de Piura por permitirme el espacio necesario para poder cumplir con mi objetivo y al Ing. Wilfredo Castillo Castro por compartir su tiempo y sus sabios conocimientos.

Resumen

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo principal caracterizar una de las tierras de moldeo utilizada en la provincia de Sullana, proveniente de El Porvenir ubicada en la misma provincia. La caracterización de una tierra de moldeo es una aplicación de las medianas y grandes industrias, para disminuir en buena medida los costos que requiere la fabricación de una pieza de metal sana y aumentar la calidad de la misma.

La caracterización de una tierra de moldeo radica en la información que obtengamos para realizar los cambios correspondientes o no ya sea en la cantidad o en el reemplazo de uno o varios componentes de dicha tierra de moldeo. El resultado final será una tierra de moldeo para una o varias aleaciones de metal.

Esto ha sido posible gracias al estudio de las diferentes normas de la Sociedad Americana de Fundición (AFS) utilizadas como guía para el diseño y construcción de los dispositivos empleados en este trabajo.

Índice General

Prólogo	v
Resumen	vii
Índice General	ix
Introducción	1
Capítulo 1: Tierras de moldeo	3
1.1 Descripción de las tierras de moldeo	3
1.2 Clasificación de las tierras de moldeo	4
1.2.1 Según su origen	4
1.2.2 Según su porcentaje de humedad	5
1.2.3 Según su aplicación en el moldeo.....	6
1.2.4 Según su utilización.....	6
1.2.5 Otras Tierras.....	6
1.3 Aglutinantes en las tierras de moldeo	7
1.3.1 Clasificación de los Aglutinantes	8
1.4 Pinturas y pastas antiadherentes	11
1.4.1 Materiales auxiliares para las tierras de moldeo	12
1.4.2 Composición de Pinturas	14
1.5 Impurezas y sus límites de tolerancia	15
1.6 Ensayos para la determinación de las características de las tierras de moldeo	16
1.6.1 Determinación del porcentaje de humedad.....	16
1.6.2 Determinación de los porcentajes de arcilla y sílice.....	16
1.6.3 Determinación de la forma de los granos de sílice.....	17
1.6.4 Determinación del tamaño de los granos	17
1.7 Ensayos para la determinación de las propiedades de las tierras de moldeo	18

1.7.1	Ensayo de deformabilidad	18
1.7.2	Ensayos de fluencia en las tierras de moldeo	19
1.7.3	Ensayos de permeabilidad de las tierras de moldeo.....	19
1.7.4	Ensayos de refractariedad en las tierras de moldeo	20
1.7.5	Ensayos de cohesión en las tierras de moldeo	20
1.7.6	Ensayo de Fatiga	21
Capítulo 2: Preparación de las tierras de moldeo		23
2.1	Equipos para la depuración de la tierra usada.....	24
2.1.1	Desterronador de cilindros.....	24
2.1.2	Separador magnético	25
2.1.3	Tamices.....	25
2.1.4	Ventilador	26
2.1.5	Dosificador	26
2.2	Procedimiento de mezclado	27
2.2.1	Mezcladora	27
2.2.2	Desintegrador.....	28
2.3	Características de las tierras para moldes	29
2.3.1	Tierras de moldeo para moldes para piezas de fundición y acero	29
2.3.2	Tierras de moldeo para moldes para piezas de aleaciones no ferrosas	33
2.4	Tierras de moldeo para machos	33
Capítulo 3: Manufactura del molde.....		37
3.1	Compactación	37
3.2	Modelos	43
3.2.1	Modelos desechables.....	43
3.2.2	Modelos removibles	44
3.3	Corazón.....	45
3.4	Moldes	47
3.4.1	Moldes de arena verde.....	48
3.4.2	Moldes de arena seca.....	48
3.4.3	Moldes de capa seca.....	48
3.5	Moldeado	49
3.5.1	Moldeado a mano.....	49
3.5.2	Moldeado a máquina	49
3.6	Colada.....	54
3.6.1	Sistema de alimentación del molde.....	55

3.7	Empuje Metalostático	57
Capítulo 4: Las tierras de moldeo en la Provincia de Sullana.....		59
4.1	Aplicaciones de las tierras de moldeo en Sullana.	59
4.2	Para moldeo propiamente dicho	61
4.3	Aglutinantes y materiales auxiliares de las tierras de moldeo en Sullana.	63
Capítulo 5: Caracterización de las tierras de moldeo de El Porvenir de la provincia de Sullana. Ensayos y resultados.....		65
5.1	Ensayos para determinar las características de las arenas de moldeo	66
5.1.1	Ensayo de humedad	66
5.1.2	Ensayo para determinar el porcentaje de arcilla.....	67
5.1.3	Ensayo para determinar la forma de los granos de sílice.....	72
5.1.4	Ensayo para determinar el índice de finura.....	75
5.2	Ensayos para determinar las propiedades de las arenas de moldeo.....	77
5.2.1	Ensayo de permeabilidad	77
5.2.2	Ensayo de refractariedad.....	78
5.2.3	Ensayo de esfuerzo de compresión y de deformabilidad.....	81
5.2.4	Ensayo de esfuerzo de corte	85
Capítulo 6: Resultados.....		91
Conclusiones.....		93
Bibliografía.....		95
Anexo A: Equipos principales utilizados		97
Anexo B: Equipo auxiliar y herramientas		105
Anexo C: Sistema de probetas con mediadas estandarizadas		107
Anexo D: Sistema de permeabilidad		121
Anexo E: Accesorio para sistema de corte		135
Anexo F: Método de ensayo para el análisis granulométrico		143

Introducción

La práctica del arte de la fundición, tiene sus inicios en culturas pasadas, el cual ha ido evolucionando junto con el hombre década tras década. Es así, como cualquiera otra ciencia, que llegó a la provincia de Sullana. Es por los años 60 y 70 que la provincia de Sullana tubo una de las más grandes empresas fundidoras en la parte norte del país, se trata de la empresa Fundición Ferrando la cual por los años 80 dejó de funcionar. Aún quedan fundidores, discípulos de esta empresa los cuales siguen ejerciendo la profesión a una escala menor. Pero no es suficiente. Varias empresas han empezado a aparecer en los últimos diez años en la provincia de Sullana y sus requerimientos en la parte ingenieril crece. Es por eso que una de las grandes urgencias es evitar el estancamiento de la práctica del arte de la fundición.

El primer capítulo empieza con una breve descripción de las tierras de moldeo, seguida de su clasificación, dando a conocer en esta parte otros tipos de tierra que se utilizan en el moldeo. Luego se define a los aglutinantes, mencionándose algunos de ellos, y de la misma manera a las pinturas y pastas adherentes. Finalmente se describen los diferentes ensayos para determinar las características y propiedades de las tierras de moldeo, según la Sociedad de Fundidores Americana (AFS).

El segundo capítulo introduce los equipos empleados en la preparación de las tierras de moldeo, describiéndolos según su utilización. Además se menciona la composición de algunas tierras de moldeo y también las características y propiedades que ofrecen según el tipo de aleación.

El tercer capítulo, en la parte inicial, introduce el concepto de compactación seguido de dos importantes: moldes y núcleos, y de los diferentes procesos y métodos que se utilizan para su manufactura. En la parte final se menciona los conceptos de colada, haciendo aquí un estudio del sistema de alimentación de los moldes, y presión metalostática.

En el cuarto capítulo se presentan las tierras de moldeo tomando como contexto la provincia de Sullana. Aquí se menciona algunas de sus aplicaciones como es la fabricación de ladrillo y el moldeo desde el punto de vista de la fundición. Como parte final se detalla los aglutinantes utilizados y otros materiales auxiliares.

En el quinto capítulo se realiza la caracterización de la tierra de moldeo de El Porvenir en la provincia de Sullana. Se determinan las características mediante la utilización de procedimientos y métodos del laboratorio de materiales de la construcción y tomando también como guía las normas de la Sociedad de Fundidores Americana (AFS). De igual

manera se determinan las propiedades, con la ayuda además de equipos, diseñados y fabricados a partir de las normas mencionadas.

Es importante recalcar que la provincia de Sullana tiene recursos que pueden hacer del arte de la fundición una gran fuente de trabajo. Y así hacer nuevamente de la provincia cede de empresas fundidoras de gran envergadura.

Capítulo 1

Tierras de moldeo

1.1 Descripción de las tierras de moldeo

Para empezar a hablar de las tierras de moldeo definiremos previamente lo que es el moldeo en general. Moldear es producir una preforma (cuerpo rígido) a partir de un material sin forma. Los materiales metálicos se moldean por colada para lo cual se necesita un molde (espacio hueco) que corresponda a la configuración de la pieza deseada. Se vierte metal líquido en el molde el cual, después de solidificar adopta la configuración prevista (preforma).

Los moldes pueden ser permanentes (coquillas) o no permanentes. Los moldes permanentes son metálicos por ejemplo de acero o de fundición gris y pueden utilizarse para un gran número de coladas. Se emplean sobre todo para la fabricación en serie.

Los moldes no permanentes están hechos de materiales moldeables, por ejemplo las tierras de moldeo. Se utilizan para una sola colada y se destruyen al extraer la pieza solidificada.

La tierra de moldeo es una mezcla de características y propiedades necesarias para obtener una pieza de fundición solidificada de alta calidad. Esta mezcla usualmente contiene arena silícea (sílice o cuarzo) en un alto porcentaje y aglutinantes como arcilla (comúnmente bentonita) y un cierto porcentaje de humedad. También pueden contener otros elementos como: feldespato, mica, óxido de hierro, hidróxido de hierro, carbonatos y otros minerales arcillosos.

Las tierras de moldeo más utilizadas proceden de la descomposición de rocas sedimentadas, creadas como una sucesiva separación de sustancias minerales, o también por la meteorización de los sedimentos de diversas soluciones naturales. Sus tamaños de grano generalmente varían entre 0.1 a 2mm [5].

El principal componente de estas tierras de moldeo es el cuarzo (SiO_2), con una mayor proporción, entre 70 y 90%, con una temperatura de fusión de 1713°C y una densidad que varía entre 2.5 a 2.8 g/cm^3 . Otro componente es la arcilla, un silicato de alúmina hidratado ($2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), con una proporción de 2 a 10%, rodeando a los granos de cuarzo, actuando como aglutinante [5]. El porcentaje de humedad de las tierras de moldeo es menor al 10%. El agua se encuentra, por un lado, formando parte de la propia constitución de la arcilla y, por otro, como agua libre que pueda tener o que podemos provocar.

Las tierras de moldeo deben cumplir ciertos requisitos [9]:

- Ser plásticas.
- Tener una cohesión y resistencia óptimas para reproducir el modelo y conservar la forma después de la extracción del mismo.
- Resistir temperaturas elevadas.
- Permitir la evacuación rápida del aire contenido en el molde y de los gases que se producen en la colada.
- Disgregarse fácilmente para permitir extracción y pulimentado de las piezas.

1.2 Clasificación de las tierras de moldeo

Las tierras de moldeo se clasifican:

1.2.1 Según su origen

Pueden ser: tierras de moldeo natural o tierras de moldeo sintético.

1.2.1.1 Tierras de moldeo natural

Las tierras de moldeo naturales son aquellas obtenidas por la descomposición espontánea sobrevenida en un período de tiempo más o menos largo, de rocas de origen cuarzoso o silicoso, y cuyos granos de diversas dimensiones forman un conjunto con un aglutinante arcilloso [9]. Estas tierras se clasifican según diversos criterios.

Según su contenido de arcilla

La arcilla, principal componente del aglutinante o ligante arcilloso determina la siguiente clasificación:

Tabla 1.1: Clasificación y composición de las tierras de moldeo [9].

Tierras	Contenido de arcilla
Tierra arcillosa grasa	18 - 30%
Tierra arcillosa semigrasa	8 - 18%
Tierra arcillosa magra	4 - 8%
Tierra silíceo o cuarzoza	< 4%

Según la forma del grano

Las tierras de moldeo se pueden clasificar como:

- Tierra de moldeo de grano esferoidal o redondo.
- Tierra de moldeo de grano angulado.
- Tierra de moldeo de grano semi-redondo.
- Tierra de moldeo de grano compuesto.

Figura 1.1: Formas de grano: grano esferoidal (izquierda); angulado (centro); compuesto (derecha) [5].



Según las dimensiones del grano

Según el índice de finura la arena la podemos clasificar como se indica en la tabla 1.2:

Tabla 1.2: Clasificación de la arena según el índice de finura [9].

Determinación	Índice de finura	Dimensiones de los granos (mm)
Arena muy gruesa	<18	2 - 1
Arena gruesa	18 - 35	1 - 0,5
Arena media	35 - 60	0,5 - 0,25
Arena fina	60 - 150	0,25 - 0,10
Arena finísima	>150	0,10

1.2.1.2 Tierras de moldeo sintéticas

Se obtienen mezclando arena silícea, aglutinantes y agua para impartir determinadas características que permitan su empleo. Esencialmente vienen constituidas por arena silícea (82-95%), arcillas (2-8%) y/u otros aglutinantes (1-10%) con adición de agua para conferir a la tierra suficiente cohesión [9].

Existen diversos tipos de arcillas para la preparación de tierras de moldeo sintéticas. Las tierras de moldeo sintéticas son mejores que las naturales porque son más uniformes, sin polvo impalpable, de mayor permeabilidad y con un grado de humedad adecuado [5].

1.2.2 Según su porcentaje de humedad

Pueden ser: verdes (o magras) o secas (o grasas) [5].

1.2.2.1 Verdes o magras

Se emplean para obtener piezas pequeñas sin secado previo. El contenido en arcilla es bajo (del orden del 5 al 8%) y contienen del 4 al 8% de agua, de aquí su baja plasticidad.

1.2.2.2 Secas o grasas

Se emplean para piezas grandes. La tierra de moldeo seca se obtiene a base de un secado controlado, entre 250 y 300°C, lo que genera que se contraiga la arcilla quedando huecos que aumentan la porosidad de la tierra de moldeo, mejorando la permeabilidad.

1.2.3 Según su aplicación en el moldeo

Pueden ser tierras de revestimiento (o contacto) o tierras de relleno [5].

1.2.3.1 Tierras de revestimiento o contacto

Son aplicadas sobre la cara del molde, por tal razón deben ser de buena calidad y de grano fino. El espesor de capa de tierra de contacto oscila entre 15 a 100mm dependiendo de las dimensiones de la pared de la pieza.

1.2.3.2 Tierras de relleno

Se utilizan para completar el llenado del molde luego de haber utilizado las tierras de revestimiento. Es muy importante que estas tierras deban tener una permeabilidad no menor a las tierras de revestimiento.

1.2.4 Según su utilización

Se clasifican en tierras para molde y tierras para macho.

1.2.4.1 Tierras para molde

Son las conformadas por sílice y arcilla con algún aglutinante especial. El principal constituyente de una tierra de moldeo es la arena silícea, con temperatura de fusión alrededor de 1700°C que puede tener una sensible disminución debido a impurezas más fusibles, feldespato, mica y flujos alcalinos [9].

Por lo general, la arena silícea está constituida por granos monocristalinos, cuya forma puede variar como se ha visto anteriormente.

1.2.4.2 Tierras para macho

Cuando una pieza de fundición debe tener una cavidad o hueco, tal y como un agujero para un tornillo, debe introducirse al molde alguna forma de corazón o macho. Los corazones tienen alto contenido de sílice de granos esferoidales de tamaño regular, resistencia a la contracción del metal en la etapa de enfriamiento, discreta rigidez para no flexionar por acción de la presión metalostática del metal líquido y bajo contenido de arcilla, en torno al 2% para aumentar la permeabilidad. Además se le adicionan aglutinantes para aumentar su cohesión [9].

1.2.5 Otras Tierras

Además de las tierras mencionadas tenemos las tierras incrustadas, al cemento, de Zirconio $ZrSiO_4$, olivinita, cromita, magnetita y Chamota $3Al_2O_3 \cdot SiO_2$. Las cuales se detallan a continuación [5].

1.2.5.1 Tierras incrustadas

Se encuentra en la superficie del molde que ha sido deteriorado por la acción directa del metal con el que han estado en contacto en el proceso de la colada.

1.2.5.2 Tierras al cemento

Se emplean para moldear piezas grandes (con 10 a 12% de cemento y de 7 a 8% de agua). Por ejemplo, las hélices de los barcos.

1.2.5.3 Tierra de Zirconio ($ZrSiO_4$)

Es un silicato de zirconio, con densidad elevada, elevada conductividad térmica y no se adhiere a la superficie de las piezas fundidas. Tiene una temperatura de fusión mayor a $2400^{\circ}C$. Cuesta más que las tierras cuarzosas por lo que se emplea en las tierras de revestimiento y en las tierras para machos. En comparación con las tierras cuarzosas, la tierra de Zirconio ($ZrSiO_4$) tiene mayor velocidad de enfriamiento, debido a su elevada conductividad. Esta característica permite regular el proceso de solidificación y el enfriamiento de la pieza fundida.

1.2.5.4 Olivinita

Es un silicato de magnesio Mg_2SiO_4 con un poder refractario entre 1750 y $1830^{\circ}C$. Es muy útil en la producción de piezas fundidas de acero mangánico porque disminuye la rugosidad de la superficie.

1.2.5.5 Cromita

La cromita ($FeCr_2O_4$) es un mineral del grupo IV (óxidos). Se emplea cromita molida en las tierras de revestimiento para los moldes de grandes piezas fundidas de acero. Su temperatura de fusión está entre 1450 y $1850^{\circ}C$, la que disminuye al incrementar el contenido de óxidos de hierro. Es importante que no contenga impurezas para que no reduzcan su poder refractario.

1.2.5.6 Magnetita

Está compuesta por carbonato de calcio, hierro, cuarzo, etc. No reacciona con los óxidos mangánicos. Después de tostada tiene una temperatura de fusión de $2800^{\circ}C$. Se emplea para la preparación de las tierras de revestimiento para elaborar piezas de acero.

1.2.5.7 Chamota ($3Al_2O_3 \cdot SiO_2$)

Es una arcilla refractaria previamente tostada (antes de la sinterización¹). Tiene un alto poder refractario entre 1670 y $1750^{\circ}C$ y se emplea para elaborar moldes con tierra en seco para la fabricación de grandes piezas de acero.

1.3 Aglutinantes en las tierras de moldeo

Los aglutinantes son sustancias empleadas para preparar tierra de moldeo sintética o para corregir la tierra de moldeo natural dándole características apropiadas para el molde. Un aglutinante debe conferir al molde ([5] y [9]):

- Permeabilidad óptima.

¹ Es el nombre general para el proceso de densificación de un material policristalino.

- Presentar mínima variación de volumen.
- Asegurar la suficiente resistencia en estado húmedo y seco.
- Dar plasticidad, a la tierra, para que esta llene todas las cavidades del molde.
- Favorecer el rápido secado del macho y el molde.
- No absorber humedad durante el montaje del molde y almacenamiento de los machos en el depósito.
- Favorecer la fácil extracción del macho de la pieza recién fundida.
- No ser nociva.
- Asegurar que la tierra no se pegue al modelo ni a la caja de machos.
- Mantener casi invariable el poder refractario en la tierra de moldeo para evitar así la formación de costras de fundición.

1.3.1 Clasificación de los Aglutinantes

Se pueden clasificar:

1.3.1.1 Según la naturaleza del material

Según la naturaleza del material los aglutinantes pueden ser: aglutinantes orgánicos y aglutinantes inorgánicos [5].

1.3.1.1.1 Aglutinantes orgánicos

Pueden ser acuosos y no acuosos. Los aglutinantes orgánicos no deben mezclarse entre sí, caso contrario disminuirá la resistencia de la tierra tanto en estado húmedo como en estado seco² en casi todos los casos, especialmente si se usa como aglutinante arcilla de moldear.

a) Aglutinantes orgánicos de endurecimiento químico

Estos aglutinantes dan a la tierra de moldeo buena fluidez en estado húmedo y alta resistencia en estado seco. Con tierras de moldeo que contienen este tipo de aglutinante se preparan los machos de diseño complejo, por ejemplo: machos de paredes finas.

Los aglutinantes de este tipo se dividen en dos grupos: los aceites y las resinas sintéticas.

Los aceites pueden ser vegetales, de petróleo y de esquisto (roca de color negro azulado que se divide con facilidad en láminas). Entre los aceites vegetales tenemos: el aceite de linaza y el aceite cocido (aceite vegetal con adición de un catalizador que acelera el proceso de secado). Los aglutinantes a base de aceites de petróleo pertenecen el petrolato, disuelto en bencina o éter (esencia de petróleo) en relación 1:1. El defecto de este aglutinante es su elevada adherencia y baja resistencia superficial en los machos.

² Se denomina estado húmedo o en verde a la tierra de moldeo con un determinado porcentaje de agua; y se denomina tierra seca o en estado seco a la tierra después de utilizar algún método de secado rápido o endurecimiento de la tierra.

Al grupo de los aglutinantes de endurecimiento químico pertenecen los aglutinantes combinados, como la solución de aceite vegetal y colofonia en bencina, que se preparan mezclando varios aglutinantes, lo que reduce el gasto de aglutinantes de aceites escasos.

Los aglutinantes orgánicos no acuosos, como el aceite cocido, se introducen en las tierras para machos en una proporción de 1.5 - 2% de volumen. La temperatura de secado de las tierras de moldeo tratadas con estos aglutinantes es de 200-220°C.

Al utilizar los aglutinantes mencionados (acuosos y no acuosos) es necesario el secado de los machos, una operación de larga duración que requiere de un gran gasto de energía; por esta razón, son más usadas en la industria las resinas sintéticas, que permiten excluir la operación de secado de los machos.

Las resinas sintéticas pueden ser termo-endurecibles o termoplásticas.

Las resinas termoplásticas al calentarse se funden y al enfriarse se vuelven a endurecer. Las resinas termo-endurecibles al calentarse se ablandan al principio, luego se endurecen en consecuencia de los procesos químicos irreversibles. Estas se utilizan para la elaboración de moldes de cáscara y machos. La ventaja de las resinas termo-endurecibles es su gran velocidad de endurecimiento con la formación de una película resistente y elástica.

Otro tipo de aglutinante es la baquelita pulverizada (resina de formaldehído-fenólico), mezclada con un 7-8% de urotropina (Hexametilentetramina $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$) en calidad de catalizador. Este aglutinante, cuando su contenido en la tierra es de 4-6% permite obtener una buena resistencia en seco. Para la elaboración de machos se usan las resinas furánicas (resinas de formaldehído-fenólico con adición de alcohol furfurílico). Estas resinas se utilizan para la elaboración de machos en equipos en caliente.

Las resinas carbonadas son productos de la condensación de la urea con formaldehído disueltas en agua, se utilizan para la elaboración de aglutinantes de secado rápido y de auto secado. Con estos aglutinantes las tierras adquieren una resistencia débil en verde. Después del secado, los machos a base de resinas carbamidas (compuestos orgánicos conocido como urea), no son higroscópicos y se expulsan con facilidad. Se emplean para la elaboración acelerada de machos en equipo caliente y tierras de endurecimiento en frío.

Las resinas carbamidas endurecen por reacción química, fenol-formaldehído y urea-formaldehído, se endurecen por calentamiento entre 150 y 170°C más rápido que los aceites secantes.

b) Aglutinantes orgánicos secantes

Estos aglutinantes son solubles en el agua y se mezclan bien con la arcilla, que le da a la tierra de moldeo la resistencia en verde necesaria; y, al macho, después del secado.

La dextrina es un producto que se obtiene al tratar el almidón con ácido débil (ácido clorhídrico en baja concentración, 1N -concentración Normal-; ácido acético o ácido bórico) con un leve calentamiento, se utiliza en combinación con otros aglutinantes para la elaboración de cola para machos. También se obtiene hirviendo harina de trigo con agua acidulada. Tiene un poder aglutinante reducido pero con el aceite de linaza resulta un aglutinante muy aceptado, dando resistencia en verde.

La melaza es el residuo líquido en la producción de azúcar de remolacha. Los machos obtenidos de tierras a base de melazas poseen una buena compresibilidad. La melaza se utiliza también para pulverizar las superficies de los machos con el objeto de comunicarles resistencia superficial.

La harina de madera también se utiliza para controlar los defectos por la expansión de la arena. Por ser un producto colateral en la elaboración de la madera, la harina de madera también contiene sulfuros, utilizados para contrarrestar la putrefacción y la infección por plagas y hongos.

1.3.1.1.2 Aglutinantes inorgánicos

Los más empleados son:

a) Arcilla

Se llaman arcillas de moldear a las rocas compuestas de partículas de dispersión fina de silicatos de aluminio en agua. Estas poseen capacidad aglutinante y estabilidad termoquímica lo que permite utilizarlas para preparar tierras de moldeo resistentes y que no se adhieren a la pieza fundida.

La arcilla está compuesta principalmente por silicato de alúmina hidratado y forma parte de las tierras de moldeo en una proporción que va del 2 al 35%. Se encuentra rodeando los granos de sílice y constituye el material aglutinante que une a estos y le da cohesión al conjunto. Con un porcentaje de agua adecuado la arcilla es plástica, pero al secarse se vuelve muy dura y rígida. Su temperatura de reblandecimiento oscila entre 1250 y 1400°C. Esta temperatura es baja a comparación a la del cuarzo, entonces el grado de refractariedad dependerá del tipo de arcilla que se use.

La arcilla caolinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) es un silicato acuoso de alúmina, parte principal de las arcillas caoliníticas, con una temperatura de fusión entre 1750 y 1787°C.

La arcilla frecuentemente empleada como aglutinante tiene una estructura microscópica a escamas, de dimensiones del orden de 10^{-5} a 10^{-3} m. Mezclada con agua, estas partículas se hidratan y adquieren una carga eléctrica por efecto coloidal. Esta carga es atraída por la de signo contrario que se manifiestan sobre la superficie de las partículas de cuarzo. Tales aleaciones son fuertemente influenciadas por la absorción de iones sobre la superficie de los gránulos [9].

Las arcillas caoliníticas, se presentan en forma de escamas. Si se calcinan pierden su agua de constitución y con ello su estructura al mismo tiempo que su capacidad de absorber agua y hacerse plásticas. Tiene un elevado poder refractario pues resisten hasta 1500°C. Su poder aglutinante es moderado [9].

La arcilla Bentonita o Montmorillonítica tiene una composición química inestable, ya que en su red cristalina parte del Al^{+3} puede ser sustituidas por impurezas de Mg^{+2} y Si^{+4} contenidas en ella. La red cristalina de la bentonita tiene la capacidad de ensancharse en dirección de uno de sus ejes. Gracias a ello, la bentonita es capaz de absorber agua en mayor grado que la caolinita, es decir, se hincha con mayor facilidad. Esto mejora su propiedad aglutinante. La temperatura de fusión de la bentonita está entre 1250 y 1300°C su componente principal que asegura el poder refractario es la arcilla alúmina (Al_2O_3). Las impurezas como la cal y diversos óxidos favorecen la reducción del poder refractario.

Las arcillas bentonitas proceden de la descomposición de cenizas volcánicas. Se conocen dos tipos fundamentales. Bentonita sódica y bentonita cálcica. Tienen un poder de 2 a 7 veces superior al de la caolinita y se emplea en una proporción del 2 al 5% en masa

respecto a la arena con un 3 a 4% de agua. La bentonita tiene un gran poder aglutinante usándose de manera casi exclusiva para la preparación de tierras sintéticas [9].

La arcilla se elige de tal forma que asegure la solidez requerida de la tierra de moldeo, su durabilidad y las condiciones de formación de mínima cantidad de costra de fundición [9].

b) Vidrio Líquido

Es una solución acuosa de silicato sódico o potásico de composición variable ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$). Cuando a las tierras para moldeo y para machos se les añade vidrio líquido adquieren alta resistencia (de 2.45-2.94 MPa) con un proceso de secado térmico (220-260°C), o con un secado químico (con soplado con gas carbónico CO_2); éste último permite acelerar el proceso de producción [5].

El silicato sódico se mezcla con la arena silícea en una proporción que va del 3 al 4%. Se usa especialmente para machos. El principal inconveniente de este aglutinante es disminuir la refractariedad de la arena [9].

c) Cemento

Es empleado para confeccionar moldes y machos para evitar el inconveniente de escasa permeabilidad, el suficiente caimiento del macho durante la solidificación, la dificultad del desmoldeo y la lentitud del fraguado [9].

1.3.1.2 Según el carácter de endurecimiento

Los aglutinantes de endurecimiento irreversible, al solidificarse, sufren complicadas transformaciones químicas a base de la polimerización³ o poli-condensación de la sustancia. Los aglutinantes de endurecimiento reversible, en cambio, al solidificarse o al actuar los solventes, como por ejemplo dextrina, betunes, breas, colofonia, etc., restituyen sus propiedades después de enfriarse [5].

Por la resistencia específica a la rotura en estado seco los aglutinantes de endurecimiento se dividen en tres grupos:

- Los aglutinantes de endurecimiento irreversible proporcionan mayor resistencia a los machos secos, 490 kPa (más de 5 kgf/cm²) por 1% de aglutinante.
- Los aglutinantes de endurecimiento intermedio proporcionan una resistencia media de 294-490 kPa (3-5 kgf/cm²) por 1% de aglutinante.
- Los aglutinantes de endurecimiento reversible proporcionan una menor resistencia de 294 kPa (hasta 3 kgf/cm²) por 1% de aglutinante.

1.4 Pinturas y pastas antiadherentes

Las pinturas y pastas antiadherentes protegen la superficie de las piezas contra las costras de fundición (unión sólida de la tierra de moldeo con el metal de la superficie de la preforma), aumentan la resistencia superficial, disminuyen el desmoronamiento de los moldes y machos, y aseguran la obtención de piezas limpias. Para disminuir la costra de fundición se utilizan pinturas que contengan sustancias aglutinantes y materiales

³ Es un proceso químico por el que los reactivos, monómeros (compuestos de bajo peso molecular) se agrupan químicamente entre sí.

refractarios. Las pinturas aplicadas a la superficie del molde o macho crean una capa resistente de material refractario que impide la penetración del metal y sus óxidos en los poros entre los granos de la tierra, lo que evita la formación de costra en las piezas. Estas pinturas deben reunir las siguientes condiciones [5]:

- Tener elevada temperatura de fusión y no ablandarse al hacer contacto con la colada.
- Conservar constante su composición durante su preparación, almacenamiento y utilización.
- Mantenerse firme en el molde después del secado.
- No fundirse y no contener impurezas nocivas ni componentes escasos.

Estas pinturas se eligen dependiendo del metal líquido y la masa requerida de las piezas y el método del moldeo. Para grandes masas de fundición, en calidad de materiales antiadherentes en las pinturas se introduce el grafito negro con adición de bentonita y aglutinantes. Para piezas de fundición pequeñas y medianas se añade carbón mineral, coque molido y cuarzo en polvo. Para piezas de acero, en calidad de componente refractario se usa, generalmente, el cuarzo en polvo, o zircón.

Para crear un medio reductor en el molde al momento de la colada se recomienda añadir pintura hasta un 5% de polvo de carbón mineral, el 95% restante lo compone el grafito, antracita (carbón mineral de hasta un 95% de pureza) molida y cuarzo en polvo.

1.4.1 Materiales auxiliares para las tierras de moldeo

A este grupo pertenecen los aditivos introducidos en las tierras de moldeo para moldes y machos para mejorar sus propiedades (permeabilidad, poder refractario, compresibilidad, desmoldeo, etc.), como también las sustancias que entran en la composición de pinturas, colas y desmoldeantes para la elaboración y acabado de moldes y machos. Entre estos tenemos [5]:

1.4.1.1 Aditivos Antiadherentes

Se introducen en la tierra de moldeo para disminuir la costra de fundición, en las piezas fundidas. La costra de fundición dificulta la limpieza de las preforma, y es el motivo del rápido desgaste de las herramientas cortantes en el proceso de mecanizado. Estos aditivos pueden ser [5]:

a) Polvo de carbón mineral

Se añade a las tierras de revestimiento. Se ha comprobado que mejores resultados se obtienen con un pequeño contenido de cenizas y azufre. La cantidad de polvo de carbón mineral depende del espesor de la pared de la pieza fundida. Cuanto mayor es el espesor de las paredes de ésta se necesitará más polvo. Por ejemplo a las tierras de revestimiento para piezas de paredes delgadas (5-15 mm) se introduce un 2-6 % de polvo de carbón mineral y a las tierras de revestimiento para piezas de paredes gruesas un 12%.

b) Mazut

Es un residuo líquido de la destilación del petróleo, se adiciona a la tierra de revestimiento para evitar la costra de fundición en piezas de fundición gris y bronce, al colarse en tierra húmeda. En las tierras de moldeo donde es usado el mazut aumenta la longevidad y la

permeabilidad debido al pequeño contenido de ceniza. Se debe usar un mazut que contenga no más del 2% de ceniza, 2 % de humedad y no más de un 0.5% de azufre.

c) Polvo de carbón vegetal

Se utiliza como medio antiadherente para el revestimiento de las superficies de los moldes húmedos. Se consideran mejores los carbones de albedul y aliso (plantas de bosques). Se aplica a las paredes de los moldes por medio del espolvoramiento.

d) Grafito plateado

Se espolvorea en las superficies de los moldes húmedos para disminuir la adherencia con la tierra de moldeo. El grafito posee un gran poder refractario; En lugar del grafito se puede usar el esquisto de Estonia en polvo.

e) Cuarzo en polvo

Se añade en calidad de material refractario para recuperar pinturas antiadherentes para moldes y machos de piezas de acero, en ocasiones se emplea en la composición de las tierras de revestimiento.

f) Talco

Silicato de magnesio acuoso, se utiliza en la preparación de pinturas antiadherentes. La parte aglutinante de la pintura consta de bentonita o aditivos orgánicos solubles en agua que aseguran una resistencia relativamente alta.

g) Zirconio desferrizado

Se emplea en la elaboración de pinturas para moldes y machos de piezas de acero por su elevada refractariedad.

1.4.1.2 Aditivos de Protección

Se introducen en las tierras de moldeo al fundir aleaciones de magnesio. Son capaces de oxidarse rápidamente y quemarse en el proceso de vaciado. Los más usados son: el ácido bórico, flor de azufre y aditivo fluórico [5].

1.4.1.3 Aditivos que cambian el poder termo-acumulativo de los moldes y machos

Se introducen para crear una solidificación orientada de la pieza. El poder termo-acumulativo de los moldes y machos se caracteriza por el coeficiente de acumulación térmica de la tierra β dada en la ecuación (1.1) [5]:

$$\beta = \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho} \left[\frac{j}{\text{m}^2 \text{kc}^{0.5}} \right] \quad (1.1)$$

Siendo λ la conductividad térmica de la tierra; c , la capacidad calorífica y ρ la densidad.

El coeficiente de acumulación térmica de la tierra de moldeo depende de un gran número de factores: de la composición mineralógica y granular de la tierra, de su densidad, de la humedad, del contenido de arcilla y de la temperatura. El poder termo-acumulativo de la tierra de moldeo se reduce empleando aditivos que se queman, que aumentan la porosidad, reducen la conductividad térmica y disminuyen la densidad de la tierra, disminuyendo el coeficiente β . Estos aditivos son el aserrín de madera, amianto (o asbesto) y el yeso. Las

tierras con un pequeño poder termo-acumulativo se utilizan para forrar las paredes de las mazaretas y los respiraderos de alimentación.

1.4.1.4 Aditivos que impiden la expansión de la sílice

La sílice se expande debido al cambio brusco de volumen que experimenta cuando el cuarzo α se transforma en β , para evitar que la superficie erupcione y de lugar a defectos superficiales en las piezas (crestas, colas de ratón) se emplea a este fin óxido férrico, harina de sílice, aserrín, etc [9].

1.4.1.5 Aditivos que crean una atmósfera reductora en el interior del molde

Para evitar oxidación del metal fundido se adiciona polvo de carbón vegetal, alquitrán, brea, serrín, etc [9].

1.4.1.6 Aditivos para obtener superficies lisas

Se emplean sustancias muy refractarias que se depositan en una capa delgada sobre la superficie de los moldes y machos. Puede ser de naturaleza carbonosa (plombagina), minerales refractarios (talco coalín, harina sílice, mica, alúmina, circonio, toria, etc.) Se aplican en forma de polvo o también en suspensión líquida (agua o alcohol) con pincel, por pulverización o por inmersión [9].

1.4.2 Composición de Pinturas

Durante el proceso de pintado se debe mezclar regularmente la pintura para evitar el precipitado de algunas sustancias. Para mejorar la adhesión de la pintura al molde se usan pinturas con una composición de una parte de harina de madera, tres de agua y una de cola pectina (en partes de masa).

En las tablas 1.3 y 1.4 se describen la composición de diez tipos de pintura. La pintura 4 se utiliza para la fundición en aluminio, la pintura 5 en bronce. Las pinturas 7, 8 Y 9 se emplean para machos de piezas de acero con un espesor de las paredes de 20-40 mm.

Tabla 1.3: Composición de las Pinturas en moldes y machos para fundición (% en masa)
[5]

Pintura	Cuarzo en Polvo	Cola de Pectina	Bentonita	Grafito	Coque	Talco molido	Agua	Densidad
1	-	3.0	3.4	53.4	-	-	40.0	1.30 - 1.35
2	34.0	3.4	3.7	17.0	17.0	-	24.7	1.30 - 1.35
3	34.0	3.4	3.7	9.0	17.0	-	23.7	1.35 - 1.45
4	-	-	4.0	-	-	61.0	35.0	1.40 - 1.45
5	-	-	3.0	30.0	-	31.0	33.0	1.40 - 1.45

Tabla 1.4: Composición de las Pinturas para moldeo de acero (% en masa) [5]

Pintura	Cuarzo en Polvo	Bentonita	Jabón Naftenico	Agua	Aglutinantes	Densidad
6	72.0	1.7	1.3	18.0	Cola de Pectina 7.1	1.40 - 1.55
7	72.0	3.0	0.5	14.0	Harina de madera	
8	78.0	3.0	0.5	15.0	Dextrina 3.5	
9	76.0	3.0	0.5	8.5	Melaza 12	
10	76.0	3.0	0.5	8.5	Harina de madera	

Si con la pintura no se obtiene la suficiente limpieza de la pieza y exactitud en sus dimensiones, se utiliza "La Pasta" compuesta de cuatro partes de grafito plateado y una parte de aceite vegetal (en partes de volumen). A veces el aceite es sustituido por harina de madera, y al grafito se le añade talco. Después de aplicada la pasta a los machos se secan a 220-240°C durante 15 a 20 min. Se recomiendan pastas sin aceite de la siguiente composición (% en masa): diez partes de talco, tres de chamota, cinco de grafito plateado y tres de arcilla. El polvo obtenido se disuelve en 0.5-0.6 litros de agua por 1kg de tierra seca. Si la pasta es aplicada al macho caliente no es necesario el secado adicional.

Los modelos y cajas de machos se cubren con desmoldeantes o polvos para evitar la adherencia de la tierra de moldeo. Los desmoldeantes crean capas impermeables que evitan la adherencia de la tierra. Los más usados son: El licopodio que es un polvo de color amarillo claro, liviano, movable, de granulación fina, pero su inconveniente es su alto costo y escasez.; Los polvos sintéticos (sustitutos de licopodio) que se obtienen tratando polvos finos de trípoli, dolomita y otros materiales análogos. Los granos de polvo se recubren con una capa fina de parafina, grasa y cera. También se puede evitar la adherencia de la tierra de moldeo al modelo untándolo con kerosene y grafito plateado o con una tierra compuesta de 10% de ácido oleico y 90% de kerosene.

1.5 Impurezas y sus límites de tolerancia

Las tierras de moldeo también pueden tener impurezas que serán toleradas si están en determinados límites para no perjudicar las propiedades de la tierra. Entre las impurezas citaremos [5]:

El Óxido de fierro disminuye la refractariedad. Es tolerado en un máximo del 3%, (entre 0,25 y 1% mejora la resistencia en caliente).

El Oxido de aluminio con sílice forma silicatos fusibles y disminuye la refractariedad. Como máximo 2%.

El Carbonato de calcio al ser sometido a la acción del calor se descompone en CO₂ y CaO. El primero causa sopladuras y el CaO se combina con la sílice formando un silicato que funde fácilmente y se introduce en el caldo. Su presencia se aprecia con la efervescencia que produce el desprendimiento del CO₂ al tratar la arena con ácido clorhídrico diluido.

El Carbonato de magnesio produce los mismos inconvenientes del carbonato de calcio. Máximo tolerado 1%.

Las Sales de potasio disminuyen la cohesión en caliente y provocan el derrumbe del molde.

La Mica presenta los mismos inconvenientes del óxido de calcio.

1.6 Ensayos para la determinación de las características de las tierras de moldeo

Para la determinación de las características de las tierras de moldeo se realizan cuatro ensayos para obtener el porcentaje de humedad, el porcentaje de sílice y arcilla, la forma de los granos y el tamaño de los granos [5].

1.6.1 Determinación del porcentaje de humedad

El porcentaje de humedad se determina por la pérdida de peso de una muestra húmeda después de haberla calentado a una temperatura de 110°C. Las herramientas e instrumentos usados en la determinación del porcentaje de humedad son:

- Horno: La finalidad de este horno es secar la muestra de tierra a analizar, Debido a que sólo se analiza una pequeña muestra, este horno no necesita ser de gran capacidad, bastará un horno pequeño con un alcance de temperatura de 150°C, pues en estos análisis la temperatura de trabajo es de 110°C.
- Balanza: Servirá para pesar las muestras de tierra a analizar antes y después del proceso de secado de la tierra.
- Platos: Estos platos se usarán para colocar las muestras de tierra en el horno y en la balanza. Como se van a usar siempre será conveniente tener en cuenta el peso del plato cuando se esté pesando la muestra, pues de lo contrario se tendrían medidas de peso incorrectas.
- Cucharas: Servirán para trasladar las muestras de tierra desde el lugar de su preparación hasta los platos, para su secado.

Es importante que la temperatura en el horno se mantenga lo más constante posible. Se recomienda una variación de temperatura de un $\pm 5\%$. El tiempo de secado dependerá del tipo de la muestra (básicamente de su peso y humedad), y normalmente no suele pasarse de los 15 minutos (para una muestra de 150 gr).

A escala industrial para la determinar el porcentaje de humedad de las tierras de moldeo se emplean más los higrómetros, que dan directamente el porcentaje de humedad, aparatos más modernos basados en la medida del poder dieléctrico de la tierra con un error inferior al 0.3%.

1.6.2 Determinación de los porcentajes de arcilla y sílice

La proporción de ambos constituyentes se determina con una muestra de tierra desecada que se pesa previamente. Se coloca la muestra en un levitador o agitador y se le agrega hidróxido de sodio (NaOH) diluido en agua destilada. Se agita la tierra y se dejan sedimentar los granos de tierra. Este líquido se saca con un sifón y se repite la operación hasta que el residuo obtenido quede limpio. La muestra es secada en una placa caliente y la diferencia de pesos (el inicial y el final) dará el contenido de arcilla y, por consiguiente el de sílice. Los equipos usados en la determinación de los porcentajes de arcilla y sílice son:

- Levitador: El equipo consiste de un tubo de vidrio (donde se verterá la tierra a analizar juntamente con la soda cáustica que servirá de enjuague), unas paletas (que servirán para agitar la soda con la tierra) accionadas mediante un motor eléctrico y un sifón (por donde se elimina la soda de enjuague).
- Platos: Se usarán para colocar la tierra a secar.

- Horno: Se usará para secar las muestras de tierra.
- Balanza: Servirá para pesar las muestras de tierra a analizar.

1.6.3 Determinación de la forma de los granos de sílice

Los granos de sílice limpios obtenidos en el ensayo anterior pueden observarse cómodamente con un microscopio de pocos aumentos. Los granos de superficie rugosa producen una mejor adherencia con la arcilla que los granos lisos y redondeados. En cambio los granos redondeados favorecen la plasticidad y permeabilidad.

1.6.4 Determinación del tamaño de los granos

El tamaño de los granos y su uniformidad tiene mucha influencia en las propiedades de las tierras de moldeo. La identificación del tamaño de los granos de sílice con el sistema A.F.S. (American Foundry Society) se realiza haciendo pasar la tierra lavada con soda cáustica y seca, sin contenido de arcilloide⁴, por los once tamices de malla decreciente, desde el número 6 hasta el número 270. El peso que retiene cada tamiz, expresado en tanto por ciento del total del peso de la muestra da una idea de las proporciones de los tamaños de los granos y, por lo tanto, del grado de uniformidad.

Tabla 1.5: Clasificación de los granos de tierra según el sistema A.F.S.

Tamiz N°	Abertura de la malla (mm.)	Factor K	Tamiz N°	Abertura de la malla (mm.)	Factor K
6	3.360	3	70	0.210	50
12	1.680	5	100	0.149	70
20	0.840	10	140	0.105	100
30	0.590	20	200	0.074	140
40	0.420	30	270	0.053	200
50	0.297	40	Polvos	-	300

Se puede elaborar un diagrama de porcentajes vs número de tamiz y analizar la uniformidad de la tierra de moldeo. Si es una línea horizontal, la tierra es muy irregular; en cambio, si es una línea vertical la tierra es muy uniforme.

Para designar correctamente las tierras de moldeo se usa el concepto de índice de finura que se calcula multiplicando el peso del residuo de cada tamiz por un factor K (ver tabla 1.5), cuyo valor depende del tamiz. Se suman todos estos productos y se divide entre el peso total de la muestra ensayada. Este cociente es el índice de finura que, aproximadamente, indica el número de tamiz, o sea, el número de mallas por pulgada lineal por el cual pasaría la tierra de moldeo si fuese uniforme. Estos índices se clasifican en 10 clases.

Se recomienda la agitación de las mallas por métodos mecánicos. Esto se logra con un motor eléctrico y una excéntrica (manivela) para la vibración; además estos equipos poseen una perilla que permite regular la intensidad de vibración y el tiempo de agitación. Los resultados obtenidos con este último método, además de ser más exactos permiten ahorrar tiempo, pues mientras se está tamizando la tierra se puede ir preparando otros equipos para las siguientes pruebas.

⁴ Arcilla más polvos con tamaño de grano menor de 0.06mm.

Tabla 1.6: Clasificación de los índices de Grosor o finura.

Clasificación de Grado	Número de Finura del Grano	Clasificación de Grado	Número de Finura del Grano
1	200 a 300	6	40 a 50
2	140 a 200	7	30 a 40
3	100 a 140	8	20 a 30
4	70 a 100	9	15 a 20
5	50 a 70	10	10 a 15

Las herramientas e instrumentos usados en la determinación del tamaño de granos son:

- Tamizador: Este instrumento sirve para obtener el índice de finura. Consiste en un conjunto de mallas apiladas verticalmente, de diferentes medidas que, mediante vibración, clasifica la tierra por el tamaño del grano.
- Balanza: Se usará para pesar la muestra antes y después del ensayo. El pesado después del ensayo será del residuo de tierra que quede en cada una de las mallas. En este caso es necesario el uso de una balanza de buena precisión y además de un alto rango de capacidad, pues en la determinación del índice de finura la cantidad de tierra a analizar es grande.

1.7 Ensayos para la determinación de las propiedades de las tierras de moldeo

Para estos ensayos se utilizarán probetas estándar de dimensiones: 50 ± 0.8 mm de altura y 50 mm de diámetro. La cantidad de tierra que se use en cada probeta variará según los aditivos que ésta use. El peso necesario para elaborar una probeta que cumpla con las normas dependerá de los aditivos que se esté usando. En el caso de usar aceite de linaza el peso de una probeta cambia considerablemente, pues el aceite impedirá que se compacte demasiado la tierra de moldeo necesitando menor cantidad que la del ejemplo anterior. Por lo tanto es necesario el uso de una balanza de una precisión de gramos para la elaboración de las probetas. Estos ensayos son [5]:

1.7.1 Ensayo de deformabilidad

La deformabilidad de las tierras de moldeo mide la disminución expresada en tanto por ciento de la longitud de una probeta de tierra sometida a un ensayo de compresión hasta su ruptura. El ensayo se realiza con una prensa hidráulica operada a mano. Para la determinación de la deformabilidad de las tierras de moldeo se necesitan los siguientes equipos y materiales:

- Probetas estándares: Son las elaboradas por el martinete estandarizado según la norma AFS..
- Máquina Universal de Compresión: Este equipo determinará el máximo esfuerzo de compresión que podrá soportar la probeta. Este tipo de ensayo puede aplicársele a probetas endurecidas con algún método (por ejemplo un baño de CO₂ o secadas en algún horno) o con probetas en verde. Estos ensayos son realizados hasta que la probeta se rompa.

Existen diferentes modelos propuestos que pueden realizar este ensayo. Estos modelos dependen fundamentalmente del tipo de probeta sobre la cual se va a realizar el ensayo. Si la probeta esta endurecida por algún método, la resistencia a la compresión será muy grande, por lo tanto el equipo deberá poseer la escala adecuada para determinar esta resistencia. En cambio si el ensayo se va a realizar a probetas con tierras de moldeo en verde, la resistencia a la compresión es mucho menor y el equipo a usar no deberá tener una escala muy elevada.

Una vez comprimida y rota la probeta se procederá a medir su nueva longitud y determinar así el factor de deformabilidad (partiendo que la longitud inicial de la probeta es de $50 \pm 0,8$ mm.)

1.7.2 Ensayos de fluencia en las tierras de moldeo

La fluencia se determina apisonando el extremo de una probeta estándar ya especificada, sobre la que se deja caer tres veces un pistón de 6.66kg desde una altura de 50 mm. Después, se mide la dureza superficial de la tierra en cada extremo de la probeta con un durómetro y se toma como cifra de fluencia la relación entre la dureza del extremo superior y la dureza del extremo inferior expresándola en tanto por ciento.

La dureza superficial se puede apreciar *grosso modo* por la resistencia que ofrece la tierra de moldeo al apretarla con el dedo índice o el pulgar. Pero la medida más exacta se realiza con un durómetro, provisto de media bola de acero en su base que se aprieta contra la tierra de la probeta, registrándose en un cuadrante su penetración que será función de la dureza superficial de la tierra. La escala de valores más usual varía de 0 a 100, siendo la dureza 30 en los moldes muy blandos y 80 en los moldes muy duros.

1.7.3 Ensayos de permeabilidad de las tierras de moldeo

La permeabilidad es la facilidad que ofrecen las tierras de moldeo para dejarse atravesar por el aire (que procede del empuje del metal que lo desplaza al llenar el hueco del molde) y los gases (que proceden de la propia masa del metal y la arena). La permeabilidad se determina con un permeámetro.

- Permeámetro: Determina la cantidad de aire que puede atravesar una probeta en función de algunos parámetros como: tiempo que demora en pasar el aire, cantidad de aire, sección que atraviesa el aire, presión de aire, orificio por donde pasa el aire.

Si suponemos:

- H (cm) = La altura de la probeta cilíndrica.
- S (cm²) = La sección de la base de la probeta cilíndrica.
- V (cm³) = El volumen del aire que ha de pasar por la probeta.
- P (cca) = La presión del aire.
- t (min) = El tiempo que tarda en pasar el volumen de aire a la probeta

$$N_p = \frac{V.H}{S.P.t} \quad (1.2)$$

La permeabilidad es función de varios parámetros: Granulometría, cuanto más finos son los granos tendremos menor permeabilidad; forma de los granos, granos redondeados dan mejor permeabilidad que los granos angulosos; contenido de arcilla, a mayor contenido de arcilla más acoplados y soldados quedarán unos granos con otros y por tanto la

permeabilidad será menor; Intensidad del apisonado, la permeabilidad disminuirá con la intensidad del apisonado.

1.7.4 Ensayos de refractariedad en las tierras de moldeo

La prueba de refractariedad se efectúa colocando la probeta estándar en contacto con una lámina de platino, a través de la cual se hace pasar una corriente eléctrica variable. La lámina se calienta y cuando alcanza una temperatura determinada la tierra se sinteriza adhiriéndose a la lámina. Esta temperatura, llamada "Temperatura de Vitricación", se puede leer en un pirómetro óptico y es tomada como medida de refractariedad.

1.7.5 Ensayos de cohesión en las tierras de moldeo

La cohesión en las tierras de moldeo y, sobre todo, las empleadas para la fabricación de machos, se mide por medio de los ensayos de compresión, corte, flexión y tracción, utilizando la misma prensa hidráulica manual empleada para medir la deformabilidad.

1.7.5.1 Ensayo de esfuerzos de tracción

Para este ensayo se usarán probetas estándar en forma de 8. Sobre esta probeta estándar (o probeta ocho) se ejerce una fuerza constante de tracción (normalmente ejercida por un motor eléctrico) en un intervalo de tiempo predeterminado hasta que se produzca la rotura. La muestra fallará en la menor sección, determinando así el máximo esfuerzo de tracción.

Hay dos maneras de realizar este ensayo: Con la tierra de moldeo sobre la probeta ocho en verde o en seco. En ambos casos se llena el molde de la probeta ocho al ras con tierra de molde húmeda (probeta en verde). Para el ensayo con la probeta en verde se ejercerá la fuerza constante sobre la probeta hasta la rotura obteniendo el valor de esfuerzo máximo de tracción en verde. En cambio cuando se ensaya la probeta ocho en seco, primero debe secarse la probeta y una vez seca y fría ejercer la fuerza de tracción hasta la rotura.

Para la realización correcta del ensayo debe disponerse de un secador de probetas o, en el mejor de los casos, este secador debe estar incorporado en el equipo. Para el secado de una probeta ocho, debe elevarse la temperatura hasta un valor determinado (nunca mayor de 150°C) y dejar que seque. (Normalmente 10min hasta que cambie el color de la tierra). Una vez seca la tierra se apaga el calentador y se deja secar por un tiempo de 15 a 20min después del cual se procede a ensayar la probeta hasta la rotura. Debe tenerse cuidado en el calentado de la probeta pues suele quemarse con lo cual la tierra ya no serviría.

1.7.5.2 Ensayo de esfuerzos de compresión

La prueba fundamental es la de la resistencia a compresión, es decir, la tensión máxima de compresión que la probeta puede soportar sin romperse, al efecto de las actitudes del molde, de conservar la forma recibida por medio de una apropiada compactación (o apisonado).

El tener un equipo con una capacidad de medida alta es útil cuando se analizan probetas estándares endurecidas por algún método (por ejemplo las tierras para machos), pero normalmente se analizan probetas estándares con tierras en verde por lo que se recomienda el uso de una máquina de compresión universal con rango de medida no muy alto.

En la determinación de los esfuerzos de compresión se usará el siguiente equipo:

- Probador de compresión: Este equipo es el que se encargará de realizar el ensayo de compresión sobre la probeta estándar. Este ensayo consiste en comprimir la probeta hasta que falle.

1.7.5.3 Ensayo de Esfuerzos de Corte

Para la determinación de los esfuerzos de corte se necesitan el siguiente equipo:

- Probador de Corte: Este equipo de escala de corte baja permitirá el ensayo para probetas estándar.

1.7.6 Ensayo de Fatiga

Para la determinación de la fatiga o resistencia a la vibración en las tierras de moldeo se usa el siguiente equipo:

- Probador de Fatiga: Este ensayo consiste en someter una probeta a una vibración constante. Se apoya a la probeta sobre una punta en la parte superior y en la parte inferior sobre una base plana. Cuando el equipo es encendido la base plana comienza a vibrar ejerciéndose presión sobre la probeta. Esta presión se convierte en una fuerza puntual ejercida en la punta que toca la base superior de la probeta. El ensayo termina cuando la probeta se rompe. Se cuenta el número de golpes que soporta la probeta (este valor se lee directamente en un marcador) y con un cronómetro se determina el tiempo que estuvo la probeta sometida a vibración.

Capítulo 2

Preparación de las tierras de moldeo

Según su porcentaje de humedad las tierras de moldeo se clasifican en tierras de moldeo verdes o tierras de moldeo secas. Cuando se conforma un molde con las tierras de moldeo verde el metal fundido se vierte directamente sin un secado previo del molde; esto confiere mejores características.

La tierra de moldeo se considera seca cuando después de fabricar el molde se le hace un secado controlado a una temperatura aproximada de 250°C; esto tiene varias ventajas:

- Mejora la cohesión de la tierra con lo cual soporta mejor la acción mecánica del metal fundido,
- Incrementa la permeabilidad,
- Reduce el volumen de los gases que se producen durante la colada.

No todas las piezas pueden ser elaboradas con tierras de moldeo en verde [5].

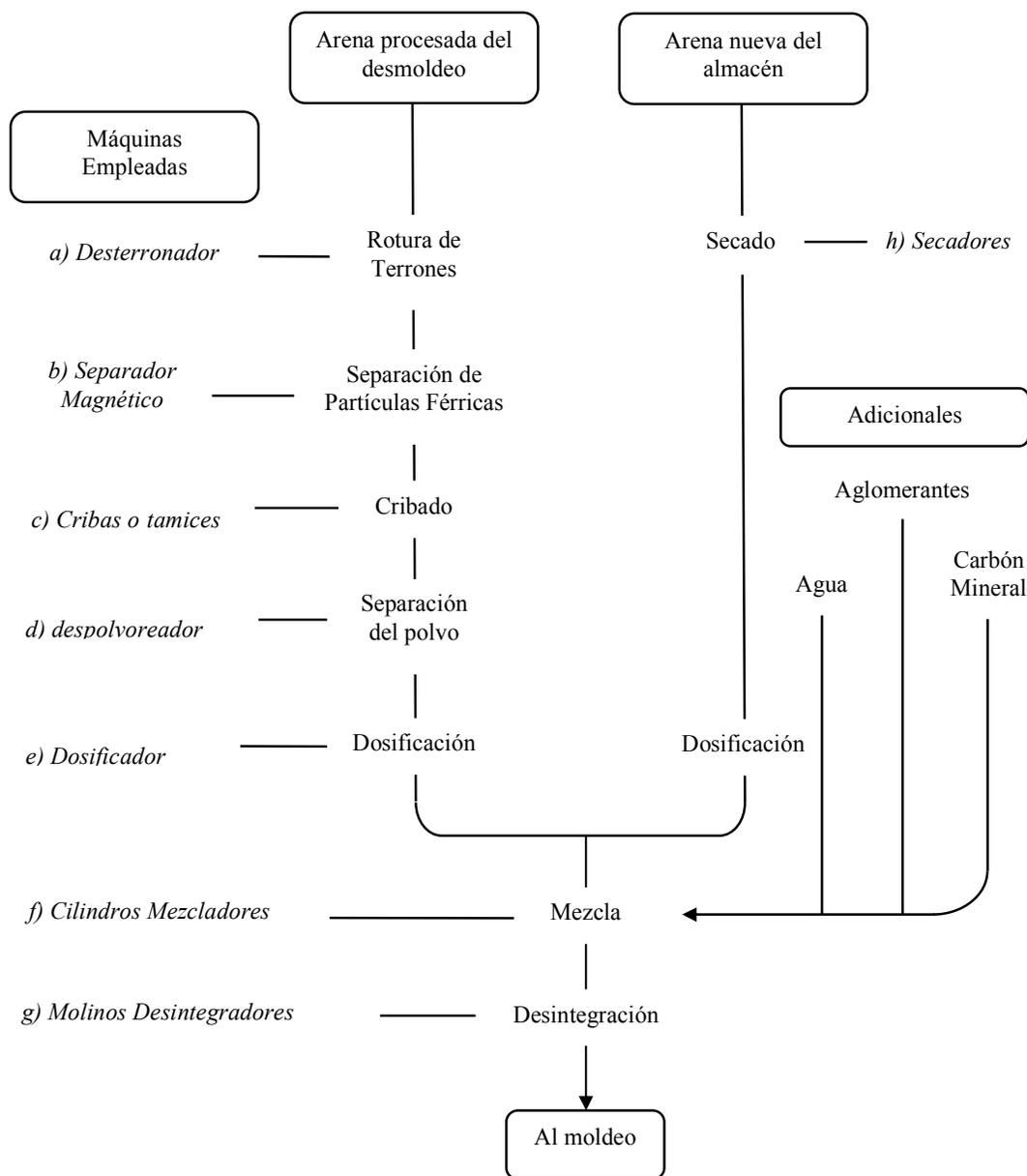
Debido al efecto de la alta temperatura del metal fundido en la tierra se producen dos efectos negativos:

- El agua de combinación del aglutinante arcilloso se evapora y la arcilla pierde una parte de su poder aglutinante.
- Algunos granos de sílice se rompen.

Estos dos efectos dan como consecuencia una menor cohesión y cambios en la granulometría de la tierra afectando su permeabilidad.

En la preparación de las tierras de moldeo suele usarse tierra nueva y tierra usada, más los ingredientes adecuados. La finalidad de esta preparación es obtener una masa homogénea sin terrones, cuerpos extraños o polvos, compuesta de granos de sílice separados unos de otros recubiertos con una capa de aglutinante [5].

El diagrama de preparación se especifica en la figura 2.1 [5].

Figura 2.1: Diagrama de preparación de tierras

2.1 Equipos para la depuración de la tierra usada

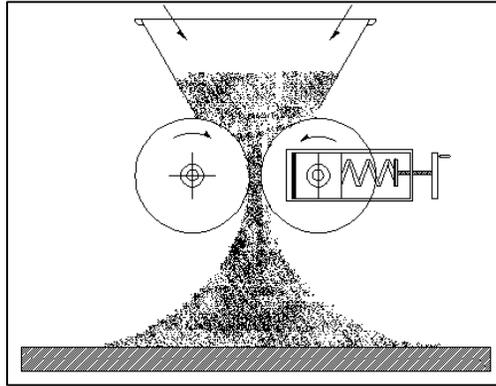
A continuación se mencionan los equipos para el tratamiento de la tierra usada según el orden de su empleo [5].

2.1.1 Desterronador de cilindros

La tierra procedente del desmoldeo es una masa de terrones compactos. Las partes que estuvieron en contacto con el metal fundido, perdieron sus características debido a las altas temperaturas. Para reducir estos terrones se hace uso de un desterronador compuesto de

dos cilindros de fundición endurecidos, paralelos pero que no llegan a estar en contacto, lisos o rugosos, comprimidos elásticamente entre sí de modo que puedan separarse al paso de cuerpos metálicos (figura 2.2). La tierra desmenuzada se amontona debajo de la máquina.

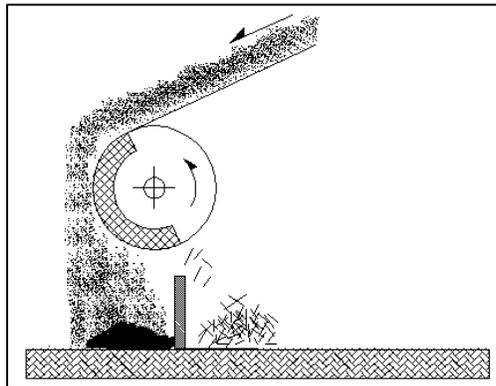
Figura 2.2: Desterronador de cilindros



2.1.2 Separador magnético

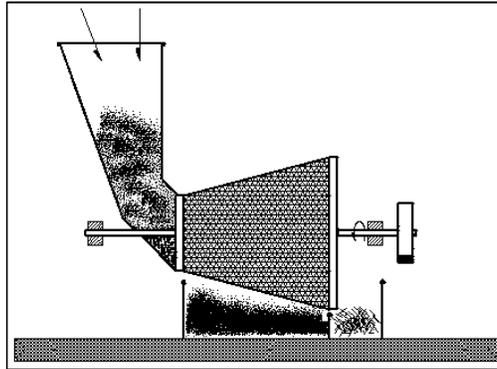
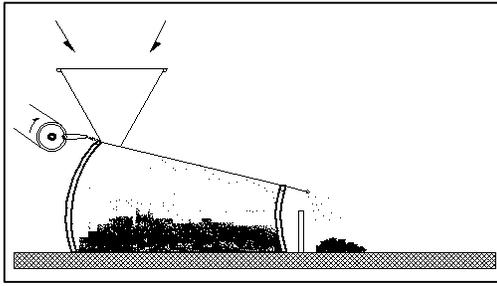
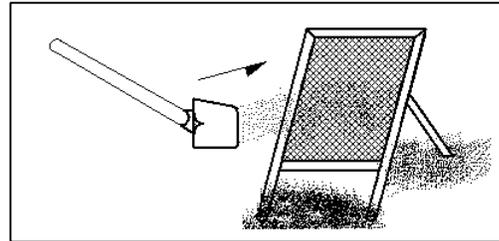
La tierra usada contiene impurezas como rebabas, escamas y trozos de metal (como clavos que se emplean para reforzar el molde en las zonas más débiles). Estos fragmentos se separan usando el separador magnético (figura 2.3).

Figura 2.3: Separador magnético de partículas de hierro



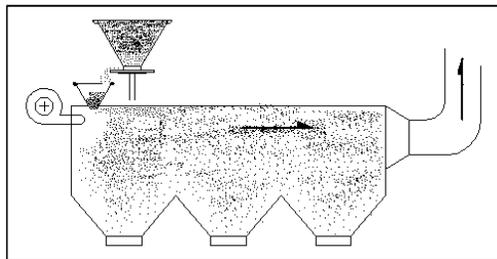
2.1.3 Tamices

Cuando los materiales que contienen una tierra usada son no ferrosos se usa un tamiz o una criba. Existen diferentes tipos de tamices que dependen de la producción de piezas para un determinado tamaño. Para piezas grandes se usan los tamices giratorios (figura 2.4) y para las pequeñas se emplean los tamices de sacudidas (figura 2.5) y cuando la producción de tierra es muy poca se emplean las mallas inclinadas (figura 2.6).

Figura 2.4: Tamiz giratorio**Figura 2.5:** Tamiz de Sacudidas**Figura 2.6:** Tamiz ordinario de pie

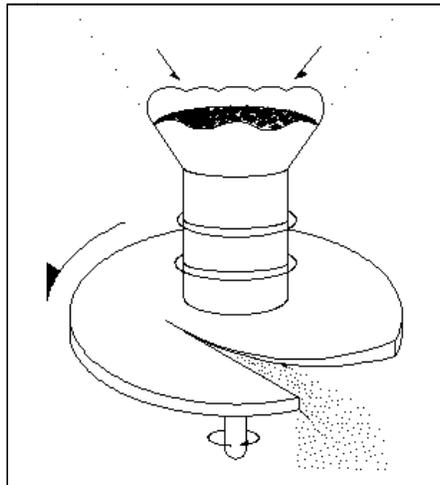
2.1.4 Ventilador

Para retirar el polvo se usa un ventilador tal como se muestra en la figura 2.7.

Figura 2.7: Ventilador y desempolvador

2.1.5 Dosificador

A este punto la tierra usada procedente de otro desmoldeo se encuentra lista para mezclarse con la nueva. Se pueden mezclar en forma manual, o automática con un dosificador (figura 2.8). En la dosificación manual se usa la pala o carretilla.

Figura 2.8: Dosificador automático

2.2 Procedimiento de mezclado

En la preparación de las tierras de moldeo suele usarse métodos manuales que generalmente no proporcionan una correcta mezcla. El empleo de lampas o cucharas, para mezclar los distintos componentes de la tierra de moldeo, no proporcionan una distribución uniforme de sus componentes. La incorrecta forma de mezclar no contribuirá a obtener una pieza fundida de buena calidad. Las propiedades de la mezcla dependerán del grado de uniformidad [5].

2.2.1 Mezcladora

Para el mezclado se usa también métodos mecanizados. Esto se hace con una mezcladora cuya finalidad es que todos los granos de sílice queden igualmente recubiertos por el aglutinante. En la figura 2.9 se muestra una mezcladora de bandeja giratoria y en la figura 2.10, una mezcladora de bandeja fija. Obtener una permeabilidad mayor y usar menos aglutinantes dependerá de la eficiencia de la mezcladora [5].

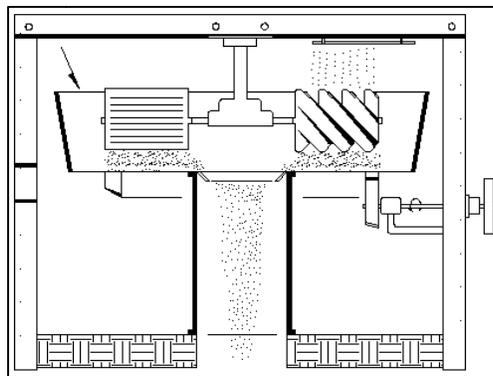
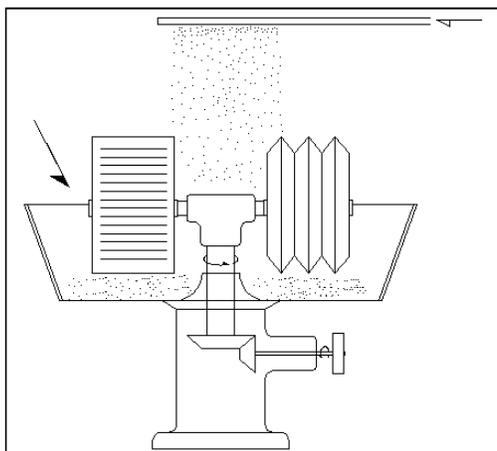
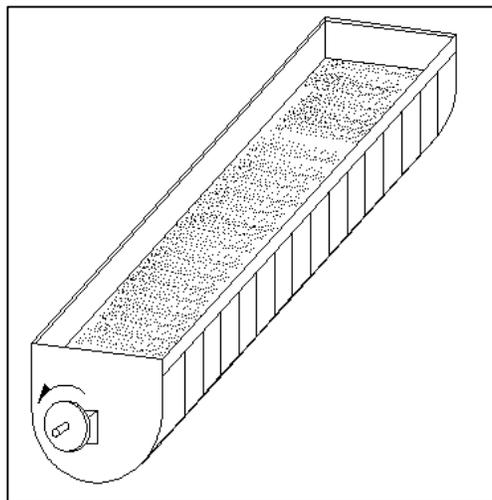
Figura 2.9: Mezcladora de bandeja giratoria

Figura 2.10: Mezcladora de bandeja fija

En la mezcladora, conjuntamente con la tierra usada, se carga siempre tierra nueva y la cantidad precisa de agua. Si está destinada a moldear en verde se añade también carbón mineral. Cuando se prepara la tierra para machos se añaden los aglutinantes con o sin agua y sin el carbón mineral. En la figura 2.11 se muestra una mezcladora para aglutinantes.

Figura 2.11: Mezcladora tierra para machos

Después del proceso de mezclado la tierra queda regenerada, es decir, cada grano está recubierto de arcilla húmeda o de aglutinante.

2.2.2 Desintegrador

El siguiente paso es la separación de los granos para lo cual se hace pasar la masa por un desintegrador o aireador (Véase figura 2.12).

Figura 2.12: Aireador⁵

Después de este proceso la tierra queda fresca, homogénea, ligera, harinosa, blanda al tacto y de color negro uniforme.

Cuando la tierra es verde se suprime la rotura de terrones y la eliminación del polvo. Si la tierra es silíceas se empela tierra nueva seleccionada, se seca y se mezcla con aglutinante en una mezcladora especial.

2.3 Características de las tierras para moldes

Según su aplicación la composición de las tierras de moldeo para moldes y para machos es diversa y depende del tipo de aleación, masa, espesor de la pared y configuración de la pieza. Ver tabla 2.1.

2.3.1 Tierras de moldeo para moldes para piezas de fundición y acero

Las piezas de acero y fundición se elaboran en moldes con tierra en verde o seca. Generalmente los moldes secos se usan para piezas medianas y grandes, producciones unitarias, y de pequeños lotes. La elección de la tierra de moldeo para las piezas de fundición y acero dependen de la masa de la pieza, el espesor de su pared y la tecnología de elaboración del molde [5].

Para colar fundición gris cuando el molde se ha preparado con tierra en verde se recomienda que estas contengan arcillas de elevado poder aglutinante como las montmorilloníticas (Bentonita); y para el moldeo con tierra seca se usan las arcillas con propiedades aglutinantes medias.

El aumento de la permeabilidad, la resistencia y las propiedades antiadherentes de la tierra se logra introduciendo, en las tierras, carbón granulado, mazut (o fuel, es parte del residuo que queda en la destilación del petróleo) y aglutinantes como la almidonita.

En las tablas 2.2 y 2.3 se indican algunas de las composiciones de las tierras de moldeo para diversas piezas para fundición, vaciadas en moldes con tierra en verde y en seco, que se utilizan en el moldeo a máquina para producción en serie.

⁵ Fuente: <http://www.region20.com.ar/aereador-desintegrador-portatil-48759.htm#>

Tabla 2.1: Características y propiedades de las tierras de moldeo en función de su empleo. [5] y [9]

TIPO DE ALEACIÓN	Humedad (%)	Permeabilidad	Resistencia a la Compresión (N/cm ²)	Arcilla y polvo (%)	Índice de Finura
Aluminio	6.5 – 8.5	7.0 – 13	4.56 – 5.27	12 – 18	225 – 160
Latón – Bronce	6.0 – 8.0	13 – 20	4.92 – 5.62	12 – 14	150 – 140
Cobre – Níquel	6.0 – 7.5	37 – 50	4.56 – 5.62	12 – 14	130 – 120
Fundición Gris (Lastre ⁶)	6.5 – 8.5	10 – 15	4.21 – 5.27	10 – 12	200 – 180
Fundición Gris (Piezas Complejas)	6.0 – 7.5	18 – 25	4.35 – 5.27	12 – 14	120 – 87
Piezas medianas de F. gris (tierra natural)	5,5 – 7.0	40 – 60	5.27 – 5.62	11 – 14	86 – 70
Piezas medianas de F. gris (tierra sintética)	4.0 – 6.0	50 – 80	5.27 – 5.97	4 – 10	75 – 55
Piezas pesadas de F. gris (en verde y en seco)	4.0 – 6.5	80 – 120	3.15 – 5.27	8 – 13	61 – 50
Piezas ligeras de F. maleable.	6.0 – 8.0	20 – 30	4.56 – 5.27	8 – 13	120 – 92
Piezas pesadas de F. maleable	5.5 – 7.5	40 – 60	4.56 – 5.27	8 – 13	85 – 70
Piezas ligeras de acero (tierra en verde)	2.0 – 4.0	125 – 200	4.56 – 5.27	4 – 10	56 – 45

Tabla 2.2: Características y composición de las tierras de moldeo para piezas de hierro fundido [5]

FIN DE LA TIERRA	CARACTERÍSTICAS DE LA PIEZA		COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA (% EN MASA)			
			Características y propiedades de la tierra			
	Masa (kg.)	Espesor de pared (mm.)	Arcilla (%)	Permeabilidad	Resistencia a la compresión en estado húmedo (kPa)	Humedad (%)
Para fundir en moldes con tierra en verde	<20	10 – 25	8 – 10	25 – 50	29.4 – 49.0	4.0 – 5.5
	20 – 200	25 – 40	7 – 10	40 – 70	29.4 – 49.0	4.0 – 5.5
	200 – 1000	40 – 50	9 – 12	60 – 100	30.2 – 58.8	4.5 – 6.0
	1000 – 5000	>50	11 – 13	100 – 200	49.0 – 78.5	5.0 – 7.0
	>5000		12 – 14	100 – 130	58.8 – 78.5	5.0 – 7.0
En moldes con tierra en seco	Hasta 100	-	12 – 14	60 – 80	49.0 – 78.5	6.0 – 7.0
	Más de 100	-	12 – 16	80 – 100	49.0 – 78.5	6.0 – 8.0
	Hasta 2000	Hasta 30	12 – 14	70	49.0 – 64.0	7.0 – 8.0
	2000 - 15000	50	14 – 16	70	64.0 – 78.0	7.0 – 8.0
Para piezas perfiladas grandes en moldes secos	10000 – 30000	Hasta 60	-	-	A la rotura en estado seco: 147 – 246	12 – 16

⁶ Fundición gris de baja calidad, de densidad irregular.

Tabla 2.3: Características y composición de las tierras de moldeo para las piezas de hierro fundido [5]

FIN DE LA TIERRA	COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA (% EN MASA)						
	De revestimiento		Única				
	Tierra usada	Material Nuevo	Agua	Aserrín de Madera	Tierra Usada	Materiales Nuevos	Carbón Mineral
Para fundir en moldes con tierra en verde	78 – 59	20 – 38	2 – 3	-	96.5 – 94.5	3 – 5	0.5
	75 – 45	22 – 51	3 – 4	-	94.3 – 92.3	5 – 7	0.7
	70 – 40	26 – 55	4 – 5	-	91.0 – 86.8	8 – 12	1.0 – 1.2
	60 – 40	34 – 52	6 – 8	-	-	-	-
	60 – 40	34 – 52	6 – 8	-	-	-	-
En moldes con tierra en seco	70 – 40	27 – 57	-	3	-	-	-
	60 – 35	37 – 62	-	3	-	-	-
	60 – 50	28 – 40	-	10 – 12	-	-	-
	50 – 40	38 – 50	-	10 – 12	-	-	-
Para piezas perfiladas grandes en moldes secos	20	Tierras 27 Arcillas 20	-	13	-	-	-

En el molde automático, el rendimiento, la seguridad del trabajo y la calidad de las piezas que se obtengan, dependerá de las propiedades tecnológicas de la tierra de moldeo y de su estabilidad. Las características se muestran en las tablas 2.4 y 2.5.

Las tierras de moldeo para piezas de acero contienen no menos de 95% de SiO₂ y arcilla refractaria. Esto se debe a que la temperatura de vaciado del acero es mayor que la de hierro fundido y, como consecuencia, el molde debe poseer mayor poder refractario. Las características de estas tierras se muestran en la tabla 2.6.

Tabla 2.4: Composición de las tierras para moldeo automático de moldes para piezas de hierro fundido [5]

FIN DE LA TIERRA	COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA (% EN MASA)				
	Suspensión de bentonita-carbón ⁷	Bentonita	Carbón Granulado	Almidonita	Tierra Usada
Piezas de hasta 50kg de masa	1.2 – 3.0	-	-	0.015 – 0.05	91.0 – 96.3
Piezas de 50kg de masa	1.2 – 3.0	-	-	0.015 – 0.03	95.0 – 98.8
Piezas de más 50kg de masa	-	0.4 – 1.0	0.07 – 1.2	-	92.8 – 96.5

⁷ Composición (% en masa): Bentonita 18-25%; Carbón granulado 11.6-12.5%; lo restante agua.

Tabla 2.5: Propiedades y características de las tierras para moldeo automático de moldes para piezas de hierro fundido [5]

FIN DE LA TIERRA	PROPIEDADES			CARACTERÍSTICAS	
	Permeabilidad	Resistencia a la Compresión (kPa)		Fluidez ⁸	Humedad (%)
		Húmedo	Seco		
Piezas de hasta 50kg de masa	140 – 180	157 – 186	343 – 588	66 – 72	2.9 - 3.3
Piezas de 50kg de masa	130 – 170	157 – 186	343 – 588	70 – 76	3.1 - 3.5
Piezas de más 50kg de masa	100 – 125	167 – 206	343 – 588	67 – 74	3.2 - 3.8

Tabla 2.6: Características y composición de las tierras de moldeo para piezas de acero [5]

MEZCLAS	Espesor de la Pared (mm.)	Arcilla (%)	Permeabilidad	Resistencia a la compresión en estado húmedo (kPa)	Humedad (%)	COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA (% EN MASA)			
						Mezcla Usada	Mezcla Cuarzosa	Arcilla	Harina de madera
Única para moldes con arena en verde para molduras de hasta 100Kg de masa	25	8 – 10	80 – 100	29.4 – 49.0	3.4 – 4.4	92 - 90	6.5 – 8.0	-	1.5 - 2
De revestimiento para moldes con arena en verde para molduras de masa de hasta 100Kg		8 – 10	80 – 100	29.4 – 49.0	3.5 – 4.5	80 – 40	16.5 – 53	3 - 6.5	Hasta 5.0
100 – 500		10-12	100-120	39.2 – 58.8	4.0 – 5.0	75 – 40	20.5 - 51.5	4 – 8	
500 – 1000		11-13	100-130	99.0 – 68.6	4.5 – 5.5	60 – 40	35.5 – 51.0	6 – 8.5	
1000 – 5000	50	12-14	70-100	40.0 – 68.8	5.0 – 7.0	80 – 40	15.5 – 40.5	4 – 9	
5000 – 10000	50	12-15	>81	78.5 - 117.6 ⁽⁹⁾	6.0 – 7.0	Arena y Arcilla 100%			
10000 – 30000	80	12-15	>51	53.9 – 64.0	6.0 – 7.0	Cuarzo en polvo 20% Arena y Arcilla 80%			
Para molduras propensas a grietas	80	12-14	70 – 100	34.3 – 58.8	5.0 – 7.0	80 – 40	12.5 – 45.5	4 – 9	2.4 – 4.5

⁸ Es la respuesta de la arena al proceso de formación del molde y la facilidad con la cual toma la forma deseada.

⁹ Durante la rotura en estado seco.

Los moldes para grandes piezas de aceros inoxidables y termo-resistentes se elaboran empleando para el revestimiento tierras de cromo-magnesita con vidrio líquido en calidad de aglutinante (hasta 7.5% en masa).

Las tierras de moldeo para la elaboración acelerada de moldes son usadas para piezas medias y grandes en condiciones de producción unitaria y en serie, con una etapa de secado para elevar su calidad.

Las tierras para el secado superficial se preparan con aglutinantes de origen orgánico, como gases calientes rociados en el molde como CO₂ o de origen inorgánico como vidrio líquido (ver tabla 2.7). El molde para fundición, elaborado con estas tierras, tiene una capa de revestimiento resistente de determinado espesor.

Tabla 2.7: Composición y propiedades de las tierras de revestimiento de endurecimiento rápido [5]

Fin de la tierra	COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA (% EN MASA)			Humedad (%)	Permeabilidad	Resistencia (kPa)	
	Tierra Usada	Arcilla	Aglutinante			A la compresión en estado húmedo	Rotura en estado seco
Para piezas de fundición	50 – 48	1.5 – 2.0	Harina de madera 2.5 – 3.0	4 – 5	100	24.5 – 34.3	374
	48 – 45	4.0 – 5.0					
Para piezas de fundición y acero	35 - 40	Cuarzo en polvo	Vidrio líquido	3 – 5	100	19.6 – 34.3	392 – 1470

Las tierras plásticas de endurecimiento natural contienen vidrio líquido en calidad de aglutinante. Se elabora una tierra básica que consta de 92% de sílice, 5% de arcilla, 3% de carbón molido, 5.5% de vidrio líquido; 3.5% de humedad de la tierra. La resistencia a la compresión en estado húmedo es de 14.7KPa. Y se le introduce 2-5% de escoria de ferrocromo que sirve como endurecedor.

2.3.2 Tierras de moldeo para moldes para piezas de aleaciones no ferrosas

La temperatura de colada de las aleaciones de cobre no es superior a 1150°C y la de aluminio y magnesio se encuentra entre 750 y 800°C. Es por eso que el poder refractario de las tierras de moldeo no es inconveniente para este tipo de aleaciones, siendo menor que las que se emplean para piezas de fundición gris y acero (Ver tabla 2.8).

2.4 Tierras de moldeo para machos

La resistencia del macho en estado seco y la dureza superficial deben ser mayores que las del molde. Deben poseer un gran poder refractario, compresibilidad y un bajo valor higroscópico.

Tabla 2.8: Composición y propiedades de las tierras de moldeo para piezas de aleaciones no ferrosas [5]

ALEACIONES	COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA (% EN MASA)		PROPIEDADES		
	Tierra Usada	Aditivo	Resistencia a la compresión en estado húmedo (kPa)	Humedad (%)	Permeabilidad
De cobre; Bronce; Latón.	80.5 – 94.0	Mazut: 0.5 – 1.5 Carbón Molido: 4	49 – 58.8	4 – 5	70 – 55
De aluminio	85	-	39.2 – 78.4	4 – 5	80 – 90
De magnesio	80 – 90	-	39.2 – 78.4	4 – 5	40 – 50

Las tierras para machos que requieren de mayor resistencia son tratadas técnicamente y suelen contener: aceite, arcilla y/o resina. Las tierras con aceite o con arcilla, son baratas, pueden ser utilizadas en la fabricación de machos a mano o a máquina, en máquinas de moldeado de machos, máquinas para moldes de impacto y de compresión. Sin embargo los machos de estas tierras requieren secado térmico para su endurecimiento, lo que hace más largo el proceso tecnológico y reduce el rendimiento, lo que trae la necesidad de instalar secadoras.

Las tierras para machos con resina se preparan con resinas sintéticas, harina de madera y baquelita en polvo, como aglutinantes. Estos aglutinantes tienen la aptitud de endurecerse a una temperatura de 230 - 250°C durante un corto tiempo de 30 a 50seg hasta 2 a 3min dependiendo de la composición y dimensión del macho. En este proceso de endurecimiento se pueden usar catalizadores como ácidos orgánicos e inorgánicos, óxido de hierro y grafito plateado, que mejoran la conductividad térmica y la capacidad calorífica. Los aditivos restantes reducen la adherencia y mejoran la fluidez. Estas tierras se usan para la elaboración de machos de piezas pequeñas de paredes delgadas (masa 150 - 200Kg) de hierro fundido, acero y aleaciones no ferrosas.

Las tierras que no requieren tratamiento térmico, como las tierras en verde u otras que no requieran calentamiento superficial, son las de mayor perspectiva, puesto que su utilización permite excluir el calentamiento de la caja o soporte y simplifica considerablemente el proceso tecnológico y operativo; los machos de estas tierras pueden ser elaborados en cajas de madera, de material plástico y metálicas.

Para la reparación y para tapar las costuras que resultan al pegar los machos, se utilizan las masillas. Se pueden reparar los machos que tienen grietas, quebraduras y otros fallos en sitios sin importancia. Los machos con grietas pasantes y roturas de medidas considerables no se reparan. La masilla que más se usa es la que contiene 65% de tierra, 25% de grafito plateado y 10% de arcilla tamizada en el tamiz N° 80 según el sistema A.F.S. Después de mezclar los componentes, por 1kg de polvo se añade 0.3 litros de agua; para añadir la masilla se adiciona 0.5% en masa de jabón en polvo. Para piezas de acero la masilla de machos se prepara del 40% de arcilla refractaria, 30% de cuarzo en polvo, y 30% de tierra de cuarzo; el polvo obtenido se mezcla con 2% de harina de madera y se agrega un 13% de agua.

Para pegar las diferentes piezas del macho se usa la cola. Generalmente para las colas se usan los aglutinantes solubles en agua, la arcilla y la bentonita. Se suele hacer de los siguientes componentes:

- 50% de harina de madera, 30% de arcilla de modelar y 20% de agua; la resistencia a la rotura no debe ser menor de 685 kPa.
- 40% de dextrina y 60 % de arcilla; estos componentes se mezclan con agua en una cantidad de 65 partes por 100 partes (en masa) del polvo obtenido.

Capítulo 3

Manufactura del Molde

Luego de ver algunas mezclas que nos proporcionen una tierra de moldeo adecuada según el tipo de aleación de metal, su utilización ya sea para molde o macho, etc. Como también de estudiar el procedimiento básico de mezclado de una tierra de moldeo, a continuación se estudiará en este capítulo la manufactura del molde y macho, comenzando por la definición de compactación, machos, moldes y máquinas y procesos de moldeo.

3.1 Compactación

En la preparación de los moldes de tierra, en el moldeo a máquina, la compactación será aplicada por morteros neumáticos. Esto incluye la acción de vibración, presión y vaciado a presión de los granos de arena. Estas acciones no pueden producir efectos idénticos en todos los puntos de la masa de tierra de un molde, por tanto, es oportuno conocer el comportamiento del material de moldeo durante la fase de compactación [13].

Suponiendo que la cantidad de aglutinante no es mayor que el volumen de poros en las condiciones de máxima compactación, se puede admitir que todo el aglutinante se distribuirá totalmente en los espacios intersticiales entre grano y grano de arena de cuarzo.

En las operaciones de moldeo, la tierra experimenta una disminución progresiva en el volumen aparente, que tiende a un valor mínimo, correspondiente a la condición teórica de compactación y densidad máxima posible.

Esta variación, de acuerdo con la experiencia, se puede representar con la ecuación (3.1):

$$(\gamma_{max} - \gamma)p^k = (\gamma_{max} - \gamma_1)p_1^k \quad (3.1)$$

Donde γ_{max} es el valor asintótico de la densidad para los valores crecientes de la presión p. Además γ y γ_1 son los valores correspondientes a los valores p y p_1 .

Para las tierras comunes $\gamma_{max} = 1.8 \text{ gr/cm}^3$ y $k = 0.215$.

Para expresar el grado de compactación de la tierra, en lugar de las variaciones en la densidad, se puede hacer referencia a volúmenes aparentes, más directamente cuantificables en ensayos prácticos.

Si V_0 es el volumen aparente de la tierra suelta y V_1 es el volumen alcanzado a una presión p_1 . El grado de la compactación será expresado por:

$$v_1 = \frac{V_0 - V_1}{V_0} \quad (3.2)$$

Si v_2 es el límite del grado de compactación al aumentar la presión y v es el valor obtenido para un valor de p en un instante, la trayectoria de la compactación se puede expresar como:

$$\frac{v_2 - v}{v_2 - v_1} = \left(\frac{p_1}{p}\right)^k \quad (3.3)$$

Otra forma de la ley de la dependencia, expresada inicialmente en función de la densidad y la presión de la compactación.

Si los ensayos de compactación se llevan a cabo mediante la compresión de la tierra en moldes cilíndricos, se puede hacer referencia, más que el volumen aparente, a la altura h_2 , h_1 y h definidas de manera similar. Por ejemplo:

$$h_1 = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \quad (3.4)$$

Si H_0 es la altura por la masa de la tierra suelta en el cilindro y H_1 es el valor alcanzado a la presión p_1 .

Indicando, análogamente con h_2 el valor que tiende h_1 para valores crecientes de p y h . El valor genérico, se puede tomar:

$$\frac{h_2 - h}{h_2 - h_1} = \left(\frac{p_1}{p}\right)^k \quad (3.5)$$

Consideraciones similares pueden ser llevadas a cabo para la compactación mediante pistones neumáticos o en el caso de la probeta, por los movimientos de un martillo adecuado. En este caso el efecto de la compactación se puede expresar por el número de golpes aplicados o si se continúa a un ritmo constante, la duración del tratamiento.

El comportamiento de compactación de una tierra de fundición depende de su composición.

La relación escrita se puede representar gráficamente en el diagrama logarítmico rectilíneo. En la figura 3.1 se ilustra el comportamiento típico de una curva de la compactación con golpes de martillo; En la figura 3.2, la relación entre la disminución del volumen y el peso específico aparente; En la figura 3.3, sin embargo, se muestra la disminución de la densidad aparente en función del tiempo de mezcla en un mezclador. Esta disminución va de la mano con el aumento de la acción de encolamiento de los granos de cuarzo producida por el recubrimiento con una película de aglutinante.

Figura 3.1: Comportamiento de la tierra de molde en la compactación por golpes de martillo [13]

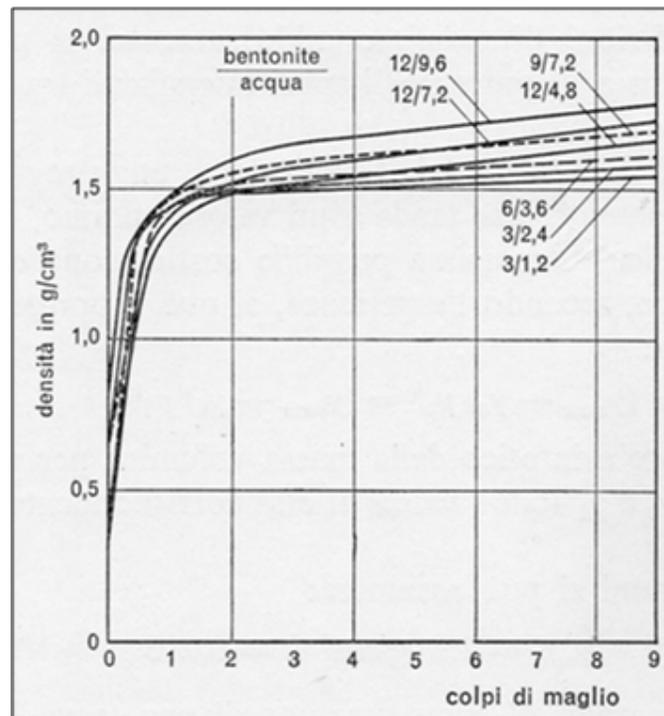
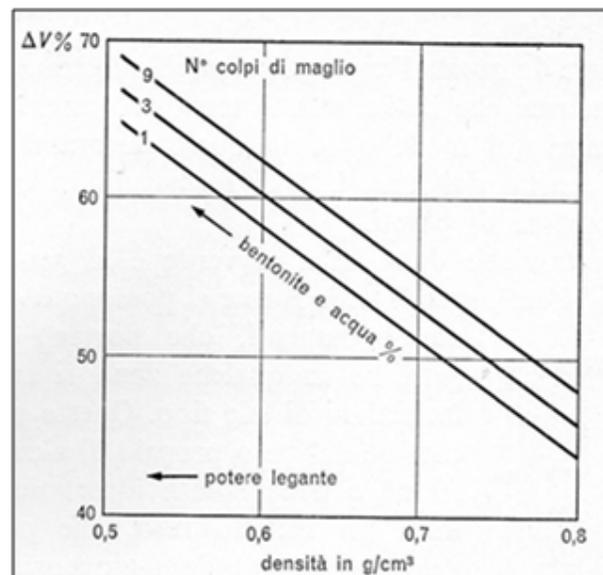
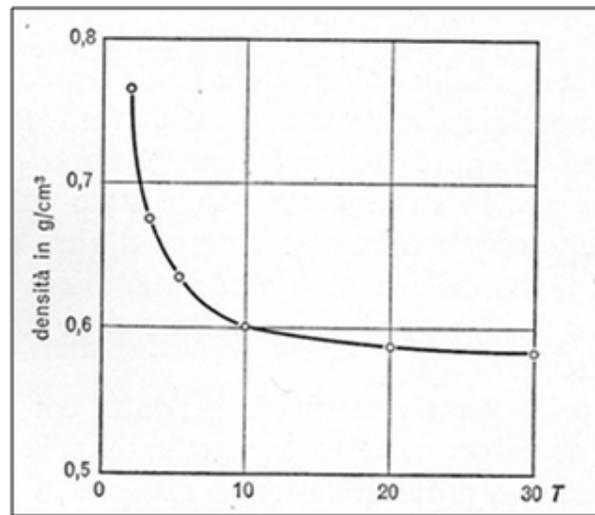


Figura 3.2: Relación entre la disminución del volumen en porcentaje ($\Delta V\%$) y la densidad aparente. El poder aglutinante y el contenido de bentonita y de agua aumentado en la dirección indicada [13]



Dentro de ciertos límites el tiempo de mezclado y la cantidad de aglutinante puede compensarse entre sí.

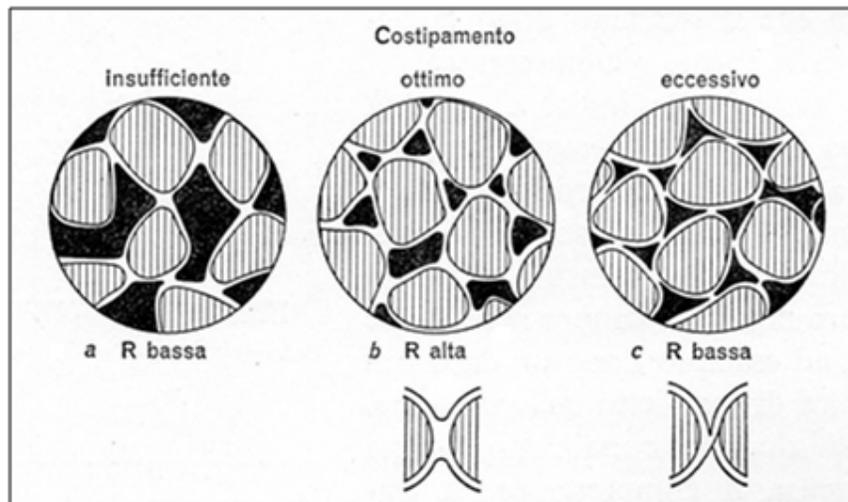
Figura 3.3: Disminución del peso específico aparente en función del tiempo de mezclado [13]



Las características de resistencia de una tierra de moldeo dependen del grado de compactación, en función al valor óptimo que alcance para después decrecer de nuevo.

La causa de este comportamiento se ilustra esquemáticamente en la figura 3.4.

Figura 3.4: Ilustración de la relación entre la resistencia a la tracción R de una tierra y su compactación [13]



En (a) se indica como la capa de aglutinante que cubre cada grano de la arena cuarzosa forma sólo zonas de soldadura de limitada extensión, en comparación con el volumen de los poros, representada en color negro. En las condiciones óptimas para la compactación (b) estos puentes son mucho más numerosos y relativamente grandes, pero si observamos (c) muchos de ellos se rompen obteniendo más movimientos recíprocos de los granos y la cohesión media entre estos se reduce de nuevo.

La investigación comparativa realizada sobre los ensayos del molde real y su compactación a máquina han indicado que la resistencia del molde no puede deducirse con certeza de las pruebas de laboratorio [13].

Los resultados de las muestras y los moldes, de hecho, a menudo no concuerdan, porque en los dos casos son claramente leyes diferentes de dependencia por varios factores.

La resistencia que confieren las máquinas de moldeo a los moldes y machos depende sensiblemente de la acción de impacto y la presión que actúa sobre la tierra al mismo tiempo.

La tierra de fundición puede sufrir daño mecánico en las siguientes operaciones: extracción del modelo, movimiento de los soportes, recomposición del molde y en la colada. De producirse daños, aumenta el costo del molde, el tiempo necesario para reparación y la limpieza de los residuos debido a defectos de la pieza fundida.

Estos daños del molde son generalmente causados por esfuerzos de tracción que pueden ser eliminados con el uso de un aglutinante lo suficientemente fuerte en la arena.

La resistencia a la tracción no puede determinarse a partir de la compresión o al corte; La compresión aumenta notoriamente con la compactación, mientras que la primera tiene un comportamiento diferente, es decir, alcanza un máximo y luego disminuye.

La resistencia a la tracción de una masa de tierra compactada depende de la dirección de la compactación y resulta muy baja en los planos ortogonales a ésta.

Se puede explicar lo anterior con la hipótesis de que los puentes aglutinantes se rompen por el movimiento de los granos recíprocos, que se producen con la desaparición de la deformación elástica de la tierra cuando se detiene la acción de la presión aplicada para la compactación.

Los esfuerzos cortantes y el desprendimiento de los puentes aglutinantes entre grano y grano aumentan la superficie, al igual que la compresión con el grado de compactación, ya que se miden en planos paralelos a la dirección de la presión y al corte. Esto ocurre porque los puentes aglutinantes fueron dañados por la desaparición de su deformación elástica.

Los esfuerzos de tracción en la dirección de compactación son en la práctica muy frecuentes, por tanto si la resistencia a la tracción es baja puede ocurrir con frecuencia la aparición de defectos.

Los moldes de tierra se rompen preferentemente en la dirección normal o ligeramente inclinada a la dirección de la compresión.

Dado que se compacta generalmente en soportes horizontales los esfuerzos actúan peligrosamente en dirección vertical, por ejemplo, en la extracción de los modelos, por el peso propio de las partes del molde suspendido, por choques o golpes en el transporte de los soportes, en la recomposición del molde y en la colada.

La acción de la compactación es significativamente diferente para cada tipo de máquina de moldeo y por lo tanto la resistencia del molde no se puede evaluar con precisión de aquellas muestras preparadas por separado.

Una característica importante de una tierra es la densidad de amasamiento del cuarzo que se expresa en la ecuación (3.6):

$$A = \frac{Qd}{100} \text{ g/cm}^3 \quad (3.6)$$

En donde d es la densidad y Q es el porcentaje de cuarzo en la mezcla.

El contenido de aglutinante actúa sobre la densidad de amasamiento como agente agitador. El aumento del aglutinante, con el mismo contenido de agua, conduce a una disminución del deslizamiento mutuo de los granos de cuarzo provocando que el trabajo de compactación deba incrementarse de forma significativa para lograr una densidad dada, junto con un cambio del aumento del volumen aparente. En la práctica suelen ser fijos en los trabajos de compactación, la disminución de volumen aparente y el volumen inicial. El aumento del contenido de aglutinante provoca, por tanto, una disminución de la densidad de compactación del molde. Esta disminución es mayor para valores pequeños de trabajo de compactación.

Los defectos causados por la dilatación de la arena son causados principalmente por la expansión del cuarzo, primero gradualmente y luego fuertemente concentrada en la transformación $\beta \rightarrow \alpha$.

El peligro de grietas y fisuras en la superficie interna del molde se vincula a la densidad de compactación de los granos de cuarzo. Para reducirlo, se debe disminuir esta densidad bajando el valor de compactación por un contenido dado de aglutinante o aumentando este último por un valor dado del primero.

Las propiedades de una fundición son significativamente influenciadas por el grado de humedad, el cual debe tener un valor preciso para el desarrollo de una calidad óptima. Este valor es diferente para cada tierra y por tanto no se puede definir su valor máximo en sentido absoluto.

La práctica de los fundidores, de apretar un puñado de tierra en la mano y luego evaluar la cohesión desmoronándola entre los dedos, es obviamente muy subjetiva, pero permite reconocer dos propiedades fundamentales, la compatibilidad y la cohesión.

Ante todo, para cualquier tierra de moldeo, puede ser diferente la calidad de la arcilla.

Igual contenido de humedad se manifiesta con igual capacidad de incremento en el trabajo de compactación, también definido mediante la disminución porcentual de la altura después de la compactación en un recipiente cilíndrico a presión constante de 100 N/cm².

En estas pruebas, la compresibilidad de una tierra es determinada sustancialmente por su contenido de humedad, mientras que la presión aplicada da una importancia subordinada.

Cuanto más seca es la tierra, más difícil resulta compactarla.

La compactación indica directamente si una tierra tiene un grado de humedad adecuado para una máquina de moldeo dado.

La prueba de compactación proporciona, por tanto, una simple posibilidad de definir y reproducir el grado de humedad indicado. Este parámetro no se debe confundir con el contenido de agua de la tierra, determinado por la diferencia del peso después del secado, porque a igualdad de esto último a arcillas diferentes pueden presentar propiedades muy diferentes.

3.2 Modelos

Pueden ser de dos tipos:

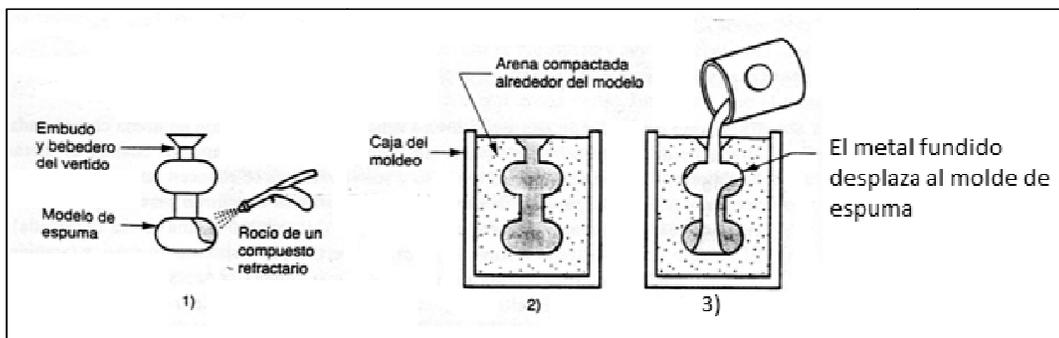
3.2.1 Modelos desechables

En la fabricación de moldes con modelos desechables, el procedimiento común inicia con el modelo colocado en el tablero y la base de la caja se moldea en la forma convencional. Se agregan unos agujeros para ventilación y la base se voltea completamente para el moldeo de la tapa. Casi siempre la arena en verde es el material común más usado, aunque pueden usarse arenas especiales para otros propósitos, como arena de revestimiento que se utiliza de intermedio alrededor del modelo [1].

En el uso de modelos desechables la línea de partición en la arena no se aplica, la tapa de la caja y la base no pueden ser separadas hasta que la fundición es removida y la tapa es llenada con arena y apisonada. Ya sea con modelos desechables o removibles, la colada solidificada en el sistema de alimentación es cortada. Y como usualmente sucede también se realiza la confección de agujeros para ventilación y la colocación de peso para oprimir la tapa. Un ejemplo de modelo desechable es el modelo de poliestireno que incluye el sistema de alimentación.

La colada es vaciada rápidamente en la pieza moldeada; el poliestireno se vaporiza; y el metal llena el resto de la cavidad. Después de enfriada la fundición, se elimina el molde y se limpia.

Figura 3.5: Proceso de fundición con poliestireno expandido [1]



En la figura 3.5 observamos: 1) El modelo de poliestireno se recubre con un compuesto refractario; 2) El modelo de espuma se coloca en la caja del molde, y alrededor de él se compacta arena, y 3) Se vierte metal fundido en la porción del modelo que constituye el embudo y el bebedero del vertido. Conforme el metal ingresa al molde, la espuma de poliestireno se vaporiza al contacto con el líquido, lo que permite que se llene la cavidad del molde.

El metal es vaciado lo suficientemente rápido para prevenir la combustión del poliestireno, con el resultado de residuos carbonosos. En cambio, los gases, debido a la vaporización del material, son llevados al exterior a través de la arena permeable y los agujeros de ventilación. Un recubrimiento refractario se aplica comúnmente al modelo para asegurar un mejor acabado superficial para la fundición, también le agrega resistencia al modelo como se vio anteriormente. Es obligatorio a veces que los pesos para oprimir los moldes

sean parejos en todos los lados para combatir la alta presión relativa en el interior del molde [12].

Las ventajas de este proceso incluyen los siguientes aspectos:

- Para una pieza no moldeada en máquina, el proceso requiere menos tiempo.
- No requieren tolerancias especiales para ayudar a extraer el modelo de la arena y se requiere menor cantidad de metal.
- El acabado es uniforme y razonablemente liso.
- No se requiere de modelos complejos de madera con partes sueltas.
- No se requiere caja de corazón y corazones.
- El modelo se simplifica grandemente.

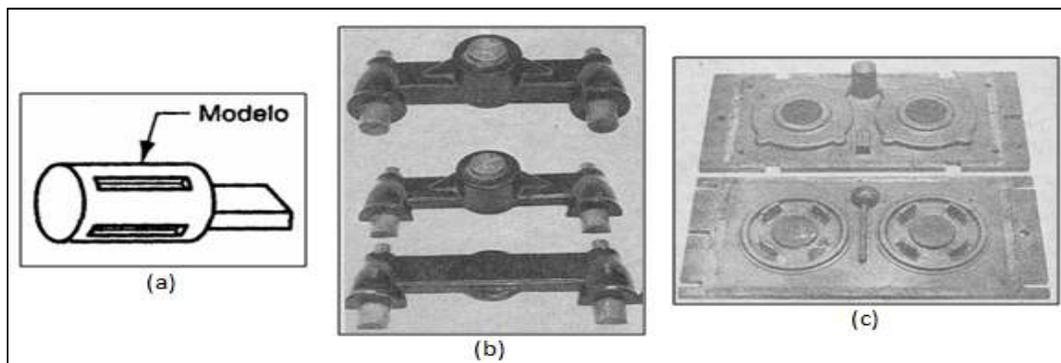
Las desventajas de este proceso incluyen los siguientes aspectos:

- El modelo es destruido en el proceso.
- Los modelos son más delicados de manejar.
- El proceso no puede ser usado con equipos de moldeo mecánico.
- No puede ser revisado oportunamente el modelo de la cavidad.

3.2.2 Modelos removibles

La fundición en arena requiere un patrón o modelo del tamaño de la pieza, ligeramente agrandado, tomando en consideración la contracción y las tolerancias para el maquinado de la pieza final.

Figura 3.6: Tipos de modelos removibles utilizados en la fundición de arena: a) modelo sólido, b) modelo dividido, c) modelo con placa de acoplamiento [15]



Los materiales que se usan para hacer estos modelos removibles incluyen la madera, los plásticos y los metales. La madera es un material común para modelos, por su facilidad de trabajarla y darle forma. Sus desventajas son la tendencia a la torsión y al desgaste debido a la abrasión de la arena que se compacta a su alrededor, lo cual limita el número de veces que puede usarse. Los modelos de metal son más costosos pero duran más. Los plásticos representan un término medio entre la madera y los metales. La selección del material

apropiado para patrones o modelos depende en gran parte de la cantidad total de piezas a producir.

3.2.2.1 Modelo sólido

Es el más simple, está hecho de una pieza, tiene la misma forma de la fundición y los ajustes en tamaño por contracción y maquinado. Su manufactura es fácil, pero la complicación surge cuando se utiliza para hacer el molde de arena. Determinar la localización del plano de separación entre las dos mitades del molde e incorporar el sistema de vaciado y el bebedero de colada para un modelo sólido, puede ser un problema que se dejará al juicio y habilidad del operario del taller de fundición. Por tanto, los modelos sólidos se usan solamente en producciones de muy baja cantidad.

3.2.2.2 Modelo dividido

Constan de dos piezas que separan la pieza a lo largo de un plano, éste coincide con el plano de separación del molde. Los modelos divididos son apropiados para partes de forma compleja y cantidades moderadas de producción. El plano de separación del molde queda predeterminado por las dos mitades del molde, más que por el juicio del operador.

3.2.2.3 Modelo con placa de acoplamiento

También llamado modelo de doble placa (superior e inferior). Se emplean para altos volúmenes de producción. En un modelo con placa de acoplamiento, las dos piezas del modelo dividido se adhieren a los lados opuestos de una placa de madera o metal. Los agujeros de la placa permiten una alineación precisa entre la parte superior y el fondo (“cope” y “drag”) del molde. Los modelos con doble placa de acoplamiento son similares a los patrones con una placa, excepto que las mitades del patrón dividido se pegan a placas separadas, de manera que las secciones de la parte superior e inferior del molde se puedan fabricar independientemente, en lugar de usar la misma herramienta para ambas.

3.3 Corazón

También llamado núcleo, macho, alma o ánima. Los modelos definen la forma externa de la fundición. Si posee superficies internas, se necesita un corazón para definir las. Un corazón es un modelo de tamaño natural de las superficies interiores de la pieza. Además puede quedar formado por el molde mismo o puede ser hecho en otra parte e introducido en el molde después de extraer el modelo. Se pueden formar superficies tanto internas como externas en una pieza de fundición mediante los corazones.

El corazón se inserta en la cavidad del molde antes del vaciado, para que al fluir el metal fundido, solidifique entre la cavidad del molde y el corazón, formando así las superficies externas e internas de la fundición. El corazón se hace generalmente de arena compactada. El tamaño real del corazón debe incluir las tolerancias para contracción y maquinado lo mismo que el patrón. Los corazones se clasifican como corazones de arena verde y corazones de arena seca. [12]

Los corazones de arena verde son aquellos formados por el mismo modelo y se hacen en la misma arena del molde. Los corazones de arena seca son los que se forman separadamente para insertarse después que se ha retirado el modelo y antes de cerrar el molde.

En general deben usarse los corazones de arena verde, siempre que sea posible para mantener el costo de los modelos y de las piezas de fundición en un mínimo. Naturalmente los corazones separados aumentan el costo de producción.

Un corazón debe ser:

- Permeable: capacidad de la arena para permitir que escapen los vapores.
- Refractario: capacidad de soportar altas temperaturas.
- Fácil al colapso: habilidad para disminuir el tamaño conforme se enfría el colado y se contrae.
- Resistente en seco: para que no se erosione y sea arrastrado o cambie de tamaño cuando esté rodeado del metal fundido.
- Friable: facilidad para desmoronarse y eliminarse con facilidad del colado.
- Debe tener una tendencia mínima a generar gas.

Figura 3.7: Manufactura del Corazón [15]

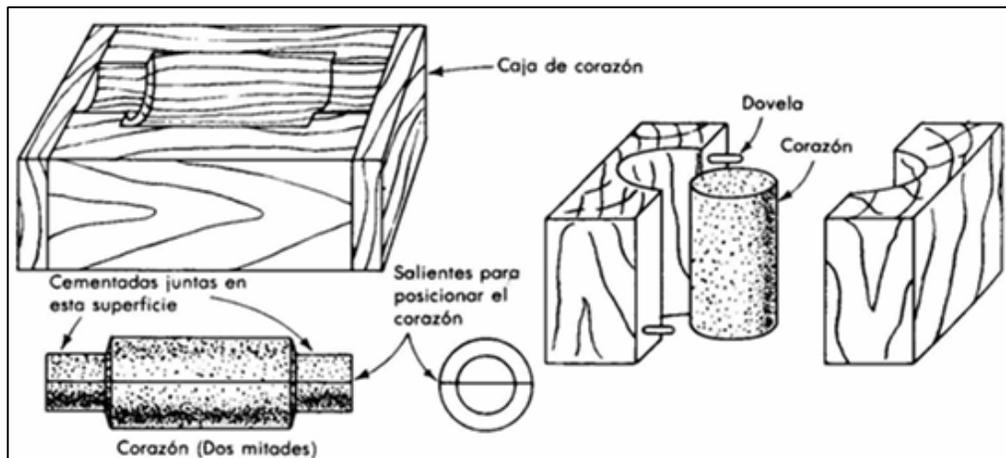
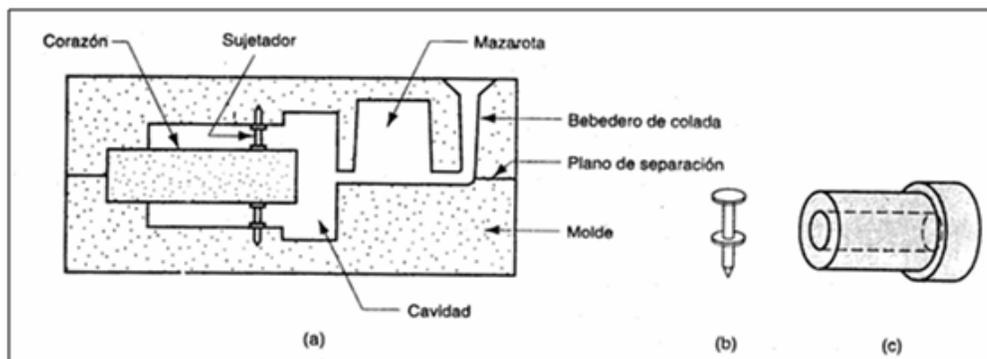


Figura 3.8: a) Corazón mantenido en su lugar dentro de la cavidad del molde por los sujetadores, b) Diseño posible del sujetador, c) Fundición con cavidad interna [1]



El corazón, dependiendo de la forma, puede o no requerir soportes que lo mantengan en posición en la cavidad del molde durante el vaciado. Estos soportes, llamados sujetadores, se hacen de un metal cuya temperatura de fusión sea mayor que la de la pieza a fundir. Por ejemplo, para fundiciones de hierro fundido se usan sujetadores de acero. Los sujetadores quedan atrapados en la fundición durante el vaciado y la solidificación. En la figura 3.8 se muestra un posible arreglo del corazón usando sujetadores. La porción de los sujetadores que sobresalen de la fundición se recortan después.

3.4 Moldes

El molde es una cavidad que tiene la forma geométrica de la pieza que se va fundir. La arena de fundición es sílice (SiO_2) o sílice mezclada con otros minerales. Esta arena debe tener buenas propiedades refractarias, expresadas como la capacidad de resistir altas temperaturas sin fundirse o degradarse. Otras características importantes son: el tamaño del grano, la distribución de tamaños del grano en la mezcla y la forma de los granos. Los granos pequeños proporcionan mejor acabado superficial en la fundición, pero los granos grandes son más permeables, para que los gases escapen durante el vaciado. Los moldes hechos de granos irregulares tienden a ser más fuertes que los moldes de granos redondos debido al entrelazado de los granos, pero esto tiende a restringir la permeabilidad.

En el método tradicional para formar la cavidad del molde se compacta la arena alrededor del modelo en la parte superior e inferior de un recipiente llamado caja de moldeo. El proceso de empaque se realiza por varios métodos. El más simple es el apisonado a mano realizado manualmente por un operario. Además, se han desarrollado varias máquinas para mecanizar el procedimiento de empaquetado, las cuales operan por medio de los siguientes mecanismos: 1) compactación de la arena alrededor del patrón o modelo mediante presión neumática; 2) acción de sacudimiento, dejando caer repetidamente la arena contenida en la caja junto al modelo, a fin de compactarla en su lugar; y 3) lanzamiento, haciendo que los granos de arena se impacten contra el patrón a alta velocidad. Se estudiará más adelante estos tipos de procedimiento [15].

Una alternativa a las cajas tradicionales para moldes de arena es el moldeo sin caja, que consiste en el uso de una caja maestra en un sistema mecanizado de producción de moldes. Cada molde de arena se produce usando la misma caja maestra. Se estima que la producción por este método automatizado puede ascender hasta seiscientos moldes por hora.

El molde debe poseer las siguientes características [15]:

- Debe ser lo suficientemente fuerte para sostener el peso del metal.
- Debe resistir la acción de la erosión del metal que fluye con rapidez durante la colada.
- Debe generar una cantidad mínima de gas cuando se llena con el metal fundido. Los gases contaminan el metal y pueden alterar el molde.
- Debe construirse de modo que cualquier gas que se forme pueda pasar más bien a través del cuerpo del mismo molde y no penetrar el metal.
- Debe ser suficientemente refractario para soportar la alta temperatura del metal y poderse desprender con limpieza del colado después del enfriamiento.

- El corazón debe ceder lo suficiente para permitir la contracción del colado después de la solidificación.

Los moldes de arena se clasifican frecuentemente en:

3.4.1 Moldes de arena verde

Se hacen de una mezcla de arena, arcilla y agua, el término "verde" se refiere al hecho de que el molde contiene humedad al momento del vaciado, que no ha sido horneado, que no ha sido curado. Los moldes de arena verde tienen suficiente resistencia en la mayoría de sus aplicaciones, así como buena retractibilidad (contracción), permeabilidad y reutilización, también son los menos costosos. Por consiguiente, son los más ampliamente usados, aunque también tienen sus desventajas. La humedad en la arena puede causar defectos en algunas fundiciones, dependiendo del metal y de la forma geométrica de la pieza [15].

3.4.2 Moldes de arena seca

Se fabrica con aglomerantes orgánicos en lugar de arcilla. El molde se cuece en una estufa grande a temperaturas que fluctúan entre 200 °C y 320 °C. El cocido en estufa refuerza el molde y endurece la superficie de la cavidad. El molde de arena seca proporciona un mejor control dimensional en la fundición que los moldes de arena verde. Sin embargo, el molde de arena seca es más costoso y la velocidad de producción es reducida debido al tiempo de secado. Sus aplicaciones se limitan generalmente a fundiciones de tamaño medio y grande y con velocidades de producción bajas [15].

3.4.3 Moldes de capa seca

La superficie de la cavidad de un molde de arena verde se seca a una profundidad entre 10 mm y 25 mm, usando sopletes, lámparas de calentamiento o cubrir su superficie con un rociador de tal manera que se endurezca la arena cuando el calor es aplicado. Los rociadores usados para este propósito contienen aceite de linaza, agua de melaza, almidón gelatinizado y soluciones líquidas similares. Se pueden añadir materiales adhesivos especiales a la mezcla de arena o utilizando revestimientos mencionados anteriormente para reforzar la superficie de la cavidad [15].

Existe también el molde en arena líquida, para facilitar la utilización de cualquier soporte se añaden a la arena de moldeo sustancias comunes espumantes (surfactantes o agentes tensio-activos) que hacen la mezcla muy fluida. Los métodos estudiados y aplicados son muchos, pero se puede citar una composición típica: arena cuarzosa lavada y secada, cemento de alúmina, espuma (mezcla de grupos aniónicos¹⁰ y no aniónicos) con adición de la solución de LiCl y agua. Tiempo de llenado entre 2 y 3 hrs, tiempo de secado (fraguado): 30 minutos.

La clasificación precedente de moldes se refiere al uso de aglutinantes convencionales, ya sea agua, arcilla u otros que requieren del calentamiento para curar. Se han desarrollado también moldes aglutinados, químicamente diferentes de cualquiera de los aglutinantes tradicionales. Algunos de estos aglutinantes, utilizados en sistemas que no requieren cocimiento, incluyen las resinas furánicas (que consisten en alcohol furfural, urea y formaldehído), las fenólicas y los aceites alquídicos.

¹⁰ Un anión o aniónico es un ion con carga eléctrica negativa, es decir, que ha ganado electrones. Los aniones se describen con un estado de oxidación negativo.

La popularidad de los moldes que no requieren cocimiento está creciendo debido a su buen control dimensional en aplicaciones de alta producción.

3.5 Moldeado

La operación para obtener el molde es transitoria ya que, siendo de tierra, sirve para una sola pieza. La diferencia del moldeado a mano y del moldeado a máquina depende de si las operaciones se realizan de forma manual o mecánica mediante el uso de máquinas adecuadas [14].

3.5.1 Moldeado a mano

Toda la operación se realiza manualmente y los instrumentos utilizados son: palas, tamices, morteros, modelos de embudos, pines, barra de lazo simple, martillo, vibrador, paletas, espátulas, pulidor, cepillos, puntas, clavos, pinceles, sujetadores para ánimas, modelos, etc. Este sistema se emplea en casos particulares como para un moldeado simple de grandes dimensiones.

3.5.2 Moldeado a máquina

Permite la reducción del tiempo de elaboración y del costo, el aumento de la productividad y el mejoramiento del producto. La máquina para el moldeo sustituye totalmente o parcialmente la operación manual. Según la operación realizada se subdivide en máquinas para moldeo, desmoldeo, moldeo-desmoldeo y reconstrucción del molde.

3.5.2.1 Máquina para moldes

Tienen la tarea de presionar la tierra en torno al modelo contenido en el soporte. Se diferencian en relación al sistema de funcionamiento principalmente en máquinas de compresión, de impacto (o vibración), de impacto y compresión (o vibro-compresión) y de lanzamiento centrifugo con aire comprimido. Estas máquinas ofrecen velocidades más altas de producción y mejor calidad de los colados además de mano de obra ligera y costos más bajos.

3.5.2.1.1 Máquina de compresión

La tierra se distribuye en torno al modelo tras la compresión ejercida por un plato móvil que actúa sobre el soporte fijo (figura 3.9, donde: 1) plato móvil, 2) dispensador, 3) pines de sujeción, y 4) placa modelo fija) o de un soporte móvil que actúa bajo un plato fijo (figura 3.10, donde: 1) plato fijo, 2) dispensador, 3) pines de sujeción, y 4) placa modelo móvil). Los dos métodos difieren para la distribución diferente de la tierra: El primer resultado es una mayor compresión bajo un plato móvil que se utilizará para los patrones planos, bajos, sin paredes inclinadas y sin nervaduras, mientras el segundo, más razonable, resulta una mayor compresión en torno al modelo ocasionando que la tierra continúe permanezca más suelta facilitando el desfogue de los gases.

Figura 3.9: Moldeo mecánico a compresión sobre el plato móvil

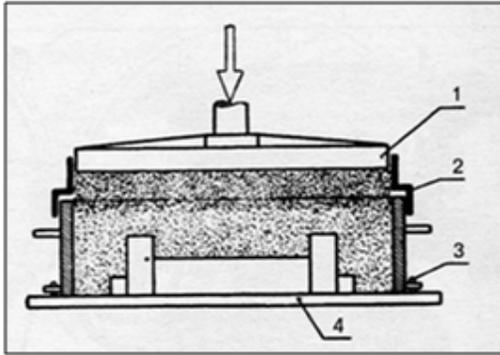
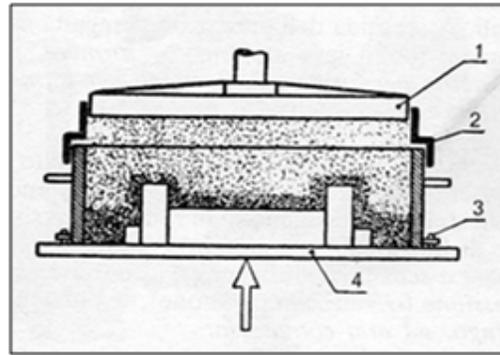


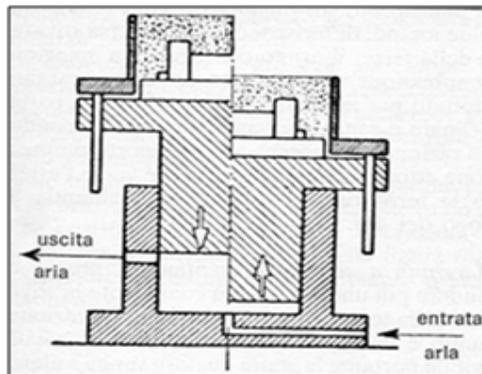
Figura 3.10: Moldeo mecánico a compresión sobre la placa modelo móvil



3.5.2.1.2 Máquina de impacto

Tienen la ventaja de hacer más uniforme y más consistente la distribución de la tierra en torno del modelo. El funcionamiento se basa en el impacto que recibe la mesa móvil de apoyo del soporte la cual se levanta y se deja caer libremente; de tal modo la sustancia granular encajada se somete a un ajuste natural. El principio está ilustrado en la figura 3.11, el aire se introduce en un cilindro, que eleva el pistón de apoyo al soporte, se abre la lumbrera de salida y el pistón cae sobre la base del cilindro.

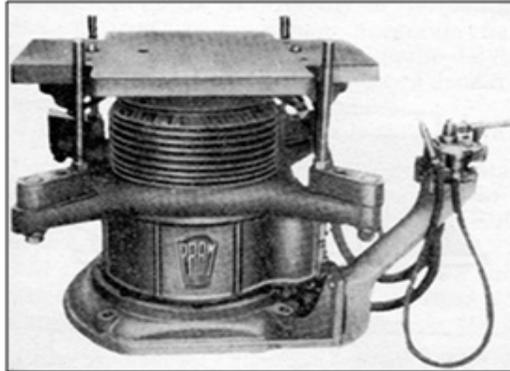
Figura 3.11: Esquema de funcionamiento de máquina por distribución a impacto simple



En el caso de máquinas de grandes dimensiones el sistema amortiguado es sencillo dispuesto por un cojinete de aire residual o resortes.

Frecuentemente la máquina está equipada con un dispositivo de desmoldeo normalmente hidroneumático que levanta el soporte por cuatro varillas (guías). La separación del modelo de la tierra se ve facilitada por las vibraciones producidas por los dispositivos adecuados: un ejemplo se muestra en la figura 3.12.

Figura 3.12: Ejemplo de moldeador a gran impacto



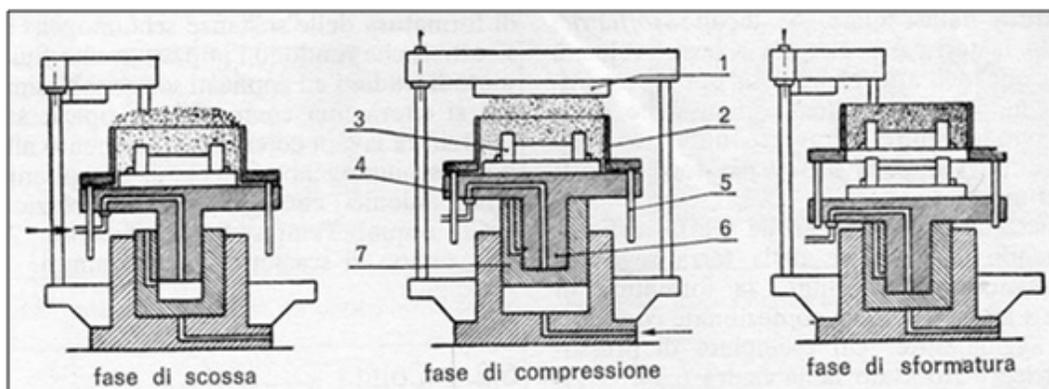
3.5.2.1.3 Máquina a impacto y compresión (vibro-compresión)

Para disminuir el tiempo de moldeo y para obtener un mayor grado de distribución se combinan los efectos del impacto y de la compresión. Las máquinas de vibro-compresión se distinguen en dos tipos:

a) A fase distinta

Cuando el impacto precede la compresión. El principio de funcionamiento está ilustrado en la figura 3.13. El pistón central conduce la mesa y la conexión neumática de tal modo que su funcionamiento sea el simple impacto. Este pistón se mueve en un cilindro que a su vez se convierte en receptor de aire desde la base, por lo que el dispositivo entero se levanta. El funcionamiento comprende tres fases distintas y sucesivas: El impacto, la compresión y el moldeo.

Figura 3.13: Máquina a impacto y compresión: 1) plato de compresión, 2) soporte, 3) placa modelo, 4) mesa, 5) guía para el desmoldeo, 6) pistón de impacto, 7) pistón de compresión

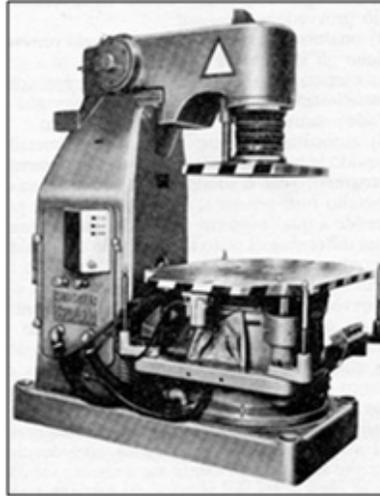


b) A fase Simultánea

Cuando el impacto se produce simultáneamente con la compresión. Las máquinas de este tipo están normalmente predispuestas para facilitar la operación de transferencia del

soporte y del molde. En la figura 3.14 se da a conocer un tipo de máquina de moldeado funcionando para vibro-compresión combinada.

Figura 3.14: Máquina moldeadora a gran impacto y compresión con comando manual y semiautomático, con guías de desmoldeo a control hidráulico

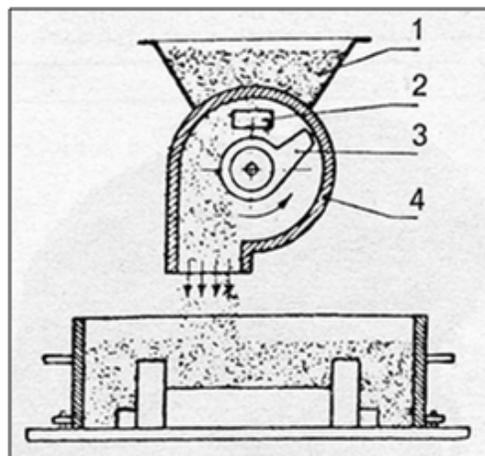


3.5.2.1.4 Máquinas de Lanzamiento centrífugo

Otro sistema de funcionamiento para la compactación de la tierra en torno al modelo es mediante el lanzamiento violento de la misma tierra de molde. Las ventajas conseguidas son las siguientes: Independencia de la dimensión del soporte, llenado y compactación simultánea y compresión uniforme.

El principio de funcionamiento se ilustra en la figura 3.15. La cabeza de lanzamiento (4) es alimentada por la tolva (1) de la cual se introduce la tierra por la apertura (2) y transmitida por la paleta (3) en el soporte.

Figura 3.15: Moldeado a lance centrífugo



3.5.2.2 Procesos de moldeo

En la fundición comercialmente ordinaria o de bajo nivel pueden ser clasificados como [12] y [14]:

a) En banco

Este tipo de moldeo es para trabajos pequeños, y se hace en un banco de una altura conveniente para el operador. En este proceso de moldeo se producen grandes cantidades, también se utilizan placas correlativas que son modelos especiales metálicos de una sola pieza al igual que las cajas de tableros de soporte que permiten sacar con facilidad el modelo del molde de arena, el cual se puede volver a utilizar.

b) En piso

Cuando las piezas de fundición aumentan de tamaño, resulta difícil su manejo, por consiguiente, el trabajo a veces es hecho en el piso. Este tipo de moldeo usa prácticamente todas las piezas medianas y de gran tamaño. Suelen ser muy costosos, tienen el mismo procedimiento que el moldeo en banco salvo las características ya mencionadas.

c) Al descubierto

Cuando la huella destinada a recibir el metal se forma en el pavimento de tierra de la fundidora, similar al moldeo en el piso, pero la cara superior de la pieza está en contacto con el aire.

d) En soportes

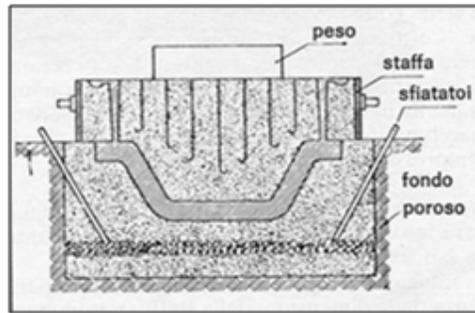
Cuando la huella se forma en la tierra contenida en depósitos especiales unidos por abrazaderas. El soporte unificado (Figura 3.16) puede ser entero, dividido, simple, formado y construido de diferentes materiales.

Figura 3.16: Ejemplo de ensamblaje de soportes



e) En fosa

Las piezas de fundición extremadamente grandes son moldeadas en una fosa en vez de moldear en cajas. La fosa actúa como la base de la caja, y se usa una capa separadora encima de él y/o un soporte completa la parte superior (Figura 3.17). Los lados de la fosa son una línea de ladrillos y en el fondo hay una capa gruesa de carbón con tubos de ventilación conectados a nivel del piso. Los moldes de fosa pueden resistir las presiones que se desarrollan por el calor de los gases, esta práctica ahorra mucho en moldes costosos.

Figura 3.17: Ejemplo de Moldeo en Fosa**f) En el molde**

Cuando el soporte es utilizado en la operación del moldeo como parte parcial o total del modelo dejando la forma libre para recibir el metal líquido;

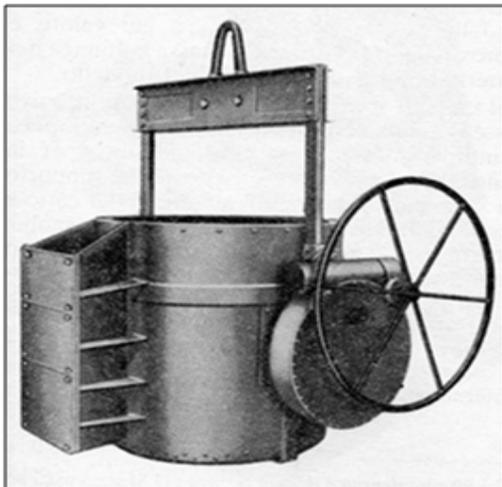
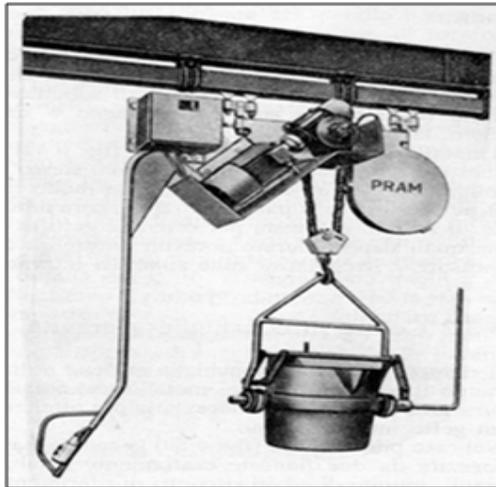
g) En toda ánima

Cuando la huella viene creada con núcleos o con ánimas dispuestas en un soporte o en una fosa.

3.6 Colada

Es la operación que consiste en el traslado del metal líquido sobrecalentado a la cavidad del molde, para obtener como resultado una pieza sana (sin defectos).

El metal líquido generalmente es transportado desde el horno a los soportes con calderas o cucharones de colada que pueden ser simples (figura 3.18, cucharón con capacidad de 500 a 22000 kg) o accionados hidráulicamente (figura 3.19, cucharón con capacidad de 600 kg. Con velocidades de elevación de 6 m/min).

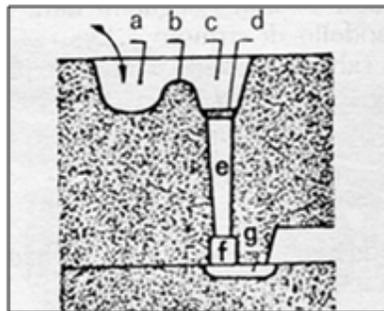
Figura 3.18: Cucharón para colada en sifón con comando de volante**Figura 3.19:** Cucharón con elevador motorizado que requieren grandes elevaciones verticales

En talleres y fundiciones de producción pequeña, los moldes se alinean en el piso conforme se van haciendo y el metal es tomado en pequeñas cucharas de vaciado o colada. Cuando se requiere el vaciado de más metal líquido o de un metal más pesado, se necesitan cucharas de mayor capacidad para ser usadas por dos hombres. En fundiciones grandes, está comprometida la producción en masa de piezas fundidas, el manejo de moldes y el vaciado de metal los cuales se resuelven colocando los moldes sobre transportadores y haciéndolos pasar lentamente por una estación de vaciado. La estación de vaciado puede ser localizada permanentemente cerca del horno o el metal puede ser traído a ciertos puntos por equipo de manejo aéreo.

3.6.1 Sistema de alimentación del molde

El conjunto de los dispositivos o conductos que llevan el metal vaciado a la cavidad de molde es llamado sistema de alimentación, generalmente está constituido por: a) una vasija de vaciado o bacín de colada, b) un *baldaquín* o *altar*, c) una cabina, d) un filtro (opcional), e) un canal de bajada o canal vertical conocido comúnmente como bebedero, f) un canal de colada o colector y g) un canal de ataque, los cuales se aprecian en la figura 3.20.

Figura 3.20: Elementos constitutivos de la colada



En piezas grandes de fundición puede usarse un corredor el cual toma el metal desde la base del bebedero y lo distribuye en varios canales de ataque localizados alrededor de la cavidad. El propósito de este sistema es, en primer lugar colocar el metal dentro de la cavidad. Ya sea cualquiera el diseño del sistema de alimentación, es importante e involucra cierto número de factores.

Es necesario preparar los dispositivos de colada cuyos propósitos son:

- El metal debe entrar a la cavidad con el mínimo de turbulencia, y cerca del fondo de la cavidad en los casos de fundiciones pequeñas.
- Disponer salida a los gases proporcionando conductos de ventilación.
- La erosión de los conductos o superficie de la cavidad deben ser evitadas con una regulación apropiada del flujo del metal o por el uso de arena seca de corazones.
- El metal debe entrar en la cavidad de tal manera que proporcione una solidificación direccional. La solidificación debe progresar desde la superficie del molde a la parte del metal más caliente compensando así la contracción.
- Se debe prever que no entre la escoria u otras partículas extrañas a la cavidad del molde. La vasija de vaciado, debe estar próxima a la parte superior al agujero del

bebedero, facilitando el vaciado y eliminado la escoria. El metal debe ser vaciado de tal manera que la vasija de vaciado y el agujero del bebedero estén llenos todo el tiempo.

- Los rebosaderos que se obtienen, proporcionan en los moldes la alimentación del metal líquido en la cavidad principal de la pieza para compensar las contracciones. Estos rebosaderos pueden ser tan grandes en sección, así como el resto del volumen del metal líquido, tan grande como sea posible, y pueden localizarse cerca de las secciones grandes que pueden estar sujetas a una gran contracción. Si estas se colocan en la parte superior de la sección, la gravedad puede ayudar a la alimentación del metal en la propia pieza fundida.
- Los rebosaderos ciegos son como rebosaderos con cúpula, se localizan en la mitad de la tapa de la caja, los cuales no tienen la altura completa de la tapa. Estos están por lo normal colocados directamente sobre el canal, donde el metal alimenta dentro de la cavidad del molde para complementar el metal caliente cuando el vaciado está completándose.
- Ejercer sobre el metal líquido la presión metalostática adecuada para facilitar el llenado y la reducción del metal en el molde.
- Alimentar la pieza suministrando metal líquido por partes, debido a la circulación progresiva que la solidificación de la masa del metal fundido presenta, de las zonas externas más frías a las zonas internas más calientes, manifestando una diferencia de retiro entre el volumen del líquido respecto al volumen del sólido con el peligro de formación de cavidades vacías (de succión): Esto proporcionará a los accesorios ser caracterizados con una altura (distribución del líquido o presión), sección y disposición adecuada. Si el canal de alimentación es horizontal el dispositivo siguiente se domina alimentador o mazarota, cuando es una extensión vertical de la parte de la pieza que debe ser alimentada.
- Facilitar el enfriamiento isotérmico de la pieza.
- Garantizar el llenado del molde en un tiempo más corto y de una manera más fluida.

La cuenca o bacín de colada puede obtener diversas formas; desde una simple taza (figura 3.21) hasta un sifón (figura 3.22) que asegura la separación de los residuos.

Figura 3.21: Bacín de colada en forma de taza

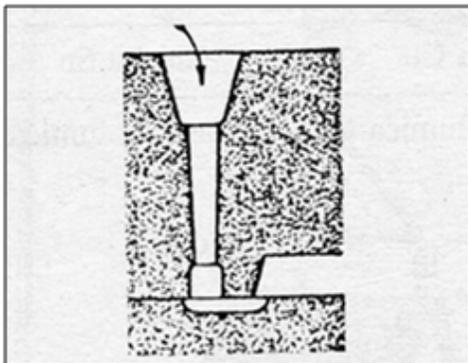
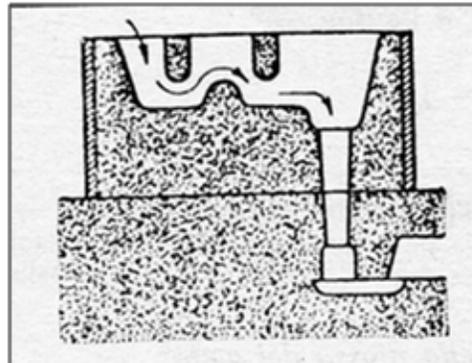


Figura 3.22: Bacín de colada en forma de sifón



Los dispositivos de colada se dan en las diferentes formas de colada según como sean aplicadas a la pieza. Se citan algunos casos:

Figura 3.23: Colada directa

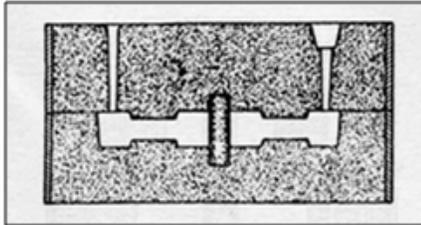


Figura 3.24: Colada en lluvia

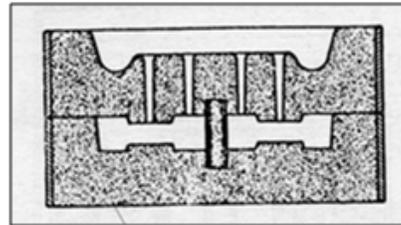


Figura 3.25: Colada en peine

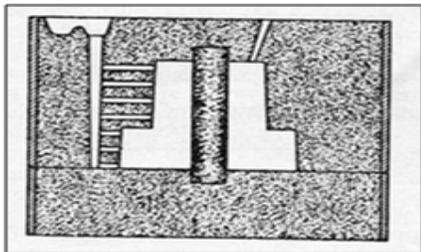
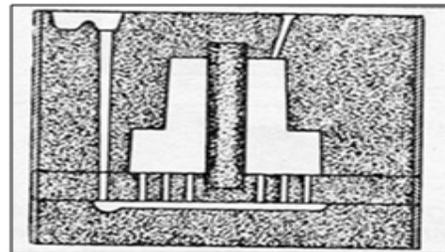


Figura 3.26: Colada en fuente



La masa de metal M necesaria para una pieza es dada por la suma de los tres sumandos:

$$M = Q + C + S \quad (3.7)$$

Donde Q es la masa de la pieza, C es la masa de los dispositivos de colada (canal, bebedero, mazarota, etc.) y S es un coeficiente de tolerancia (5 – 10%) para contenidos de las pérdidas.

3.7 Empuje Metalostático

Es el resultado del empuje ejercido por el metal líquido inmóvil contra la pared de la cavidad y en contra de las almas inmersas. En la evaluación de ese resultado también se debe tener en cuenta el propio peso.

El cálculo comprende determinar el simple empuje Metalostático perpendicularmente directo a las paredes y al centro de gravedad de estas, mediante la ecuación (3.8):

$$F = Sh\rho g_1 \quad (3.8)$$

Siendo F el empuje metalostático en newton, S el área de la pared en dm^2 , h la distancia entre el centro de gravedad de la pared y el nivel libre del líquido en el bebedero en dm , ρ la densidad del metal líquido en Kg/dm^3 y g_1 la aceleración de la gravedad local en m/s^2 .

El empuje metalostático de mayor interés es aquel que se dirige hacia arriba, cuyo conocimiento es indispensable para dar cierre a la estabilidad necesaria del molde. En moldes de menores dimensiones se equilibra el empuje metalostático superponiendo los soportes de las masas por lo general estimadas, mientras en los moldes de mayores

dimensiones el empuje alcanza valores notables y deben ser calculados con precisión para determinar la masa de carga y los eventuales dispositivos de seguridad.

Capítulo 4

Las tierras de moldeo en la Provincia de Sullana.

Como se ha visto en los capítulos anteriores, los conceptos que describen las tierras de moldeo son amplios y más aún las investigaciones que se han realizado. En este capítulo nos centraremos a dar a conocer la aplicación de estos conceptos en la provincia de Sullana.

La provincia de Sullana es una de las 8 provincias que integran el departamento de Piura, conformada por 8 distritos, además tiene cerca a 300 000 habitantes. Una de las características más notables es su clima tropical, con una temperatura promedio de 28°C todo el año, una temperatura mínima en noches de invierno de 16°C y una temperatura máxima de 40°C en el verano. El clima tropical de Sullana hace posible que la agricultura sobresalga en la siembra de arroz, limón, cocotero, mango y plátano.¹¹

La práctica del arte de la fundición inició en Sullana en el año 1959 por Carlos Berrando y Enrique Illeberguer, dos extranjeros provenientes de Europa. Aunque su empresa cerró en 1982, existen empresas fundidoras en la actualidad como las Factorías *Castillo*, *Bregante* y *Rimapa*. Ninguna empresa mencionada cuenta con una línea de producción en masa, funcionando a menor escala el arte de la fundición. Las tierras utilizadas, en la provincia de Sullana, como tierras de moldeo para la fundición no están caracterizadas, sus propiedades y características no han sido estudiadas ni analizadas. Por tal razón, no existe un documento normado que indique las características y propiedades que ofrecen las tierras que están siendo utilizadas como tierras de moldeo para la fundición.

4.1 Aplicaciones de las tierras de moldeo en Sullana.

Las principales aplicaciones que se le otorga a las tierras de moldeo en Sullana son tres: La confección de ladrillo casero, la confección de cocinas de barro y la confección de moldes y machos. La confección de ladrillo no es algo nuevo, la práctica de este oficio se realiza en el asentamiento humano El Porvenir y en el distrito Ignacio Merino, en la Panamericana Norte.

¹¹Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Sullana

Figura 4.1: Fabricación de Ladrillo

Para la confección de cocinas de barro se utiliza arcilla extraída de lugar llamado La Nariz del Diablo¹² (Latitud Sur 4°52'34.56"; Longitud Oeste 80°41'48.53"), en la localidad de Marcavelica.

Figura 4.2: Ubicación de La Nariz del Diablo. Cortesía de Google Earth

¹² La Nariz del Diablo, ubicada a un kilómetro y medio en la parte de Norte de la provincia de Sullana, en Marcavelica.

Figura 4.3: Yacimientos de Arcilla – La Nariz del Diablo



4.2 Para moldeo propiamente dicho

Existen dos lugares de donde se extrae la arena que es utilizada como tierra de moldeo, la primera es en El Porvenir (Longitud Sur 4°53'39.27"; Latitud Oeste 80°40'5.12"), situado al este de Sullana en Bellavista; y la segunda es de canteras de río de la misma provincia.

Figura 4.4: Ubicación de arenas de moldeo en Sullana. Cortesía de Google Earth



En la figura 4.5 se muestra un molde en soportes cilíndricos, la mezcla utilizada es arena lavada de la cantera El Porvenir más linaza, con una pintura de recubrimiento hecha de carbón mineral.

Figura 4.5: Moldes de arena para una pesa de gimnasio, fabricados en la provincia de Sullana



Figura 4.6: Cucharones de colada, fabricados en la provincia de Sullana



En la figura 4.6 se aprecia cucharones de colada caseros de diferentes tamaños. El diseño del cucharón de colada es simple y el recubrimiento interior no es difícil de conseguir. Gracias a la refractariedad de la arcilla y a su fácil adquisición, la fabricación de los cucharones de colada se realiza en los talleres de la provincia de Sullana.

4.3 Aglutinantes y materiales auxiliares de las tierras de moldeo en Sullana.

Debido a la práctica de la fundición a un nivel mínimo algunos productos utilizados son extraídos cerca o de la misma localidad de Sullana sometidos luego a un proceso posterior para su utilización. Por ejemplo, como aglutinantes tenemos: bentonita sódica, melaza y silicato de sodio, como pintura de recubrimiento: plumbagina, para tratamiento del caldo: escoriador (para aleaciones de bronce se utiliza vidrio molido y para aleaciones de aluminio, sal de cocina), desgacificante (sal de cocina) y afinador de grano.

Capítulo 5

Caracterización de las tierras de moldeo de El Porvenir de la provincia de Sullana. Ensayos y resultados

La caracterización de una tierra de moldeo natural, en este caso, es muy importante debido no sólo al hecho de la producción en serie de moldes y machos para una empresa fundidora de gran envergadura, sino también por la información esencial que se puede rescatar en el análisis.

Las características más resaltantes de una tierra de moldeo, tales como porcentaje de humedad, porcentaje de arcilla y sílice, forma de grano, índice de finura y distribución de tamaño de grano, así como sus propiedades como refractariedad, permeabilidad y cohesión proporcionan información muy importante.

Este capítulo se divide en dos partes: En la primera, se analizarán las características de la tierra de moldeo de la cantera en estudio; en la segunda, se analizarán las propiedades teniendo en cuenta la calidad de mezclado y el grado de compactación que se le otorgue a la probeta.

Para la primera parte, el análisis de las características de las tierras de moldeo, se realizará un tamizado de la arena por dos razones importantes; la primera, para retirar rocas, raíces y otros objetos de considerable tamaño; la segunda, para separar la acumulación de tierra que podría alterar los ensayos.

Para la segunda parte, como se ha visto en capítulos anteriores cada propiedad de la tierra de moldeo en el molde o macho depende de tres grandes factores: las características de las tierras de moldeo, la calidad del mezclado y el grado de compactación; para el análisis de estas propiedades inicialmente se diseñará un sistema de moldeo de probetas estandarizadas.

Los instrumentos y equipos utilizados han sido proporcionados por la misma universidad; Algunos de ellos fueron adaptados para los ensayos, otros se diseñaron, sin olvidar la aplicación esencial, que nos ayude a alcanzar los objetivos.

La aplicación de cada ensayo para determinar las características y propiedades de la tierra de moldeo se realizará guiándose de los ensayos estandarizados por la Sociedad Americana de Fundidores (AFS).

5.1 Ensayos para determinar las características de las arenas de moldeo

Según se citó, la muestra tendrá un proceso inicial el cual es el cernido a través de una malla comercial conocida como “celosía”, desde el punto de vista ingenieril no es más que un tamiz. Las características de la malla se especifican en el anexo B.

A partir de la muestra tamizada realizaremos los ensayos correspondientes para determinar las características y las propiedades de la tierra de moldeo de la cantera El Provenir.

Figura 5.1: Tierra de moldeo cernida de El Provenir



5.1.1 Ensayo de humedad

De la arena tamizada extraemos 4 muestras repartidas en 4 depósitos de loza previamente pesados. Según la norma estándar AFS se debe dejar la muestra en el horno al menos 15min, en nuestro caso no era suficiente para la obtención de un secado eficaz, por tanto el intervalo de tiempo fue mayor.

Según el apartado 1.6.1. Determinamos el porcentaje de humedad con la ecuación (5.1):

$$\%H = \frac{W - W_{seca}}{W} * 100 \quad (5.1)$$

W_{seca} : Peso de la muestra seca

W : Peso de la muestra

$\%H$: Porcentaje de humedad

Para este ensayo se utilizó la balanza OHAUS y el horno PRECISION, equipos descritos en el anexo A al igual que los instrumentos y herramientas mencionados en el anexo B.

En la tabla 5.1 se describen los datos obtenidos y medidos antes y después del secado en horno.

Tabla 5.1: Ensayo de humedad

Número de muestra	I	II	III	IV
Peso del depósito	128.4	168	200.50	170.50
Peso del depósito + muestra	278.8	318.7	350.90	320.50
Peso de la muestra	150.40	150.70	150.40	150.00
Peso del depósito + muestra seca	266.1	308	338.00	308.40
Peso de la muestra seca	137.70	140.00	137.50	137.90
Temperatura de horno (°C)	110.00	110.00	110.00	110.00
Porcentaje de humedad	8.44	7.10	8.58	8.07

Como se puede apreciar los valores de porcentaje de humedad se encuentran en el intervalo 7.10 – 8.58.

5.1.2 Ensayo para determinar el porcentaje de arcilla

Para la determinar el porcentaje de arcilla y sílice se optó por un método alternativo que además de tener el mismo fin del levitador e hidróxido de sodio es el más accesible.

El procedimiento es el siguiente:

- Se vierte la muestra tamizada sin humedad en un depósito de doble o más de su capacidad (ver figura 5.2).

Figura 5.2: Muestra tamizada sin humedad

- Se agrega agua necesaria a la muestra procurando no rebosar la mezcla, sobre todo en la agitación (ver figura 5.3).

Figura 5.3: Muestra mezclada con agua



- El agua turbia se decanta en el tamiz 200 (apertura de 0.074mm) procurando no verter granos sedimentados en el depósito (ver figura 5.4).

Figura 5.4: Expulsión del agua turbia



- Luego se repite el proceso con agua nueva tomando en cuenta el paso b) y luego el paso c) realizando estos pasos hasta que el agua quede limpia, lo más claro posible.

Figura 5.5: Muestra con sin presencia de arcilloide



Como se puede observar en la figura 5.6, existe materia orgánica considerable que se debe tener en cuenta.

Figura 5.6: Materia orgánica



- Para calcular el porcentaje de la materia orgánica procedemos a verter la muestra sílice más materia orgánica en el depósito de loza inicial para luego secar por 24hrs.

Figura 5.7: Preparación de la muestra sin arcilloide para el horno



Figura 5.8: muestra sílice más materia orgánica seca



- Después de pesada la muestra sílice más materia orgánica realizamos el paso a) y b) luego cuando sedimente la muestra decantar lentamente el agua juntamente con la materia orgánica, separándolos de la muestra (ver figura 5.9).

Figura 5.9: Lavado óptimo



- Finalmente se procede a secar la muestra por 24hrs más para su pesaje final (ver figura 5.10)

Figura 5.10: Arena lavada y secada

Recordemos que el porcentaje de arcilloide está referido a la muestra seca de sílice, arcilloide y materia orgánica.

Con las siguientes expresiones se cálculo el porcentaje de arcilloide y materia orgánica.

$$\%Arc = \frac{W_{inicial} - W_{lavada(sil+mat.org)}}{W_{inicial}} * 100 \quad (5.2)$$

$$\%Mat\ org = \frac{W_{lavada(sil+mat.org)} - W_{lavada(sil)}}{W_{inicial}} * 100 \quad (5.3)$$

- $W_{inicial}$: Peso de la muestra inicial (muestra cernida sin humedad).
- $W_{lavada\ (sil+mat.org)}$: Peso de la muestra lavada y seca después de 24hrs sin arcilloide.
- $W_{lavada\ (sil)}$: Peso de la muestra lavada y seca después de 24hrs sin arcilloide y sin materia orgánica.
- $\%Arc$: Porcentaje de arcilla.
- $\%Mat\ org$: Porcentaje de materia orgánica.

En la tabla 5.2 se muestran los datos obtenidos y pesados de los tres ensayos realizados.

Tabla 5.2: Determinación del porcentaje de arcilla y materia orgánica

Número de prueba	I	II	III
Peso de la muestra seca después de 24hrs (gr)	450	450	450
Peso de la muestra lavada y seca después de 24hrs más, sin arcilloide (gr)	360.1	358.7	367.6
Peso de la muestra seca después de 24hrs más, sin arcilloide y sin materia orgánica (gr)	355.5	355.1	362.3
Temperatura del horno (°C)	110	110	110
Arcilla (%)	19.98	20.29	18.31
Materia orgánica (%)	1.02	0.80	1.18
Sílice (%)	79.00	78.91	80.51

Para este ensayo se utilizó la balanza OHAUS y el horno PRECISION, equipos descritos en el anexo A, al igual que los instrumentos y herramientas mencionados en el anexo B.

5.1.3 Ensayo para determinar la forma de los granos de sílice.

Para observar la forma de los granos tomaremos una muestra de sílice del resultado de la muestra anterior y con la ayuda del microscopio NIKON, descrito en el anexo A, realizaremos el ensayo.

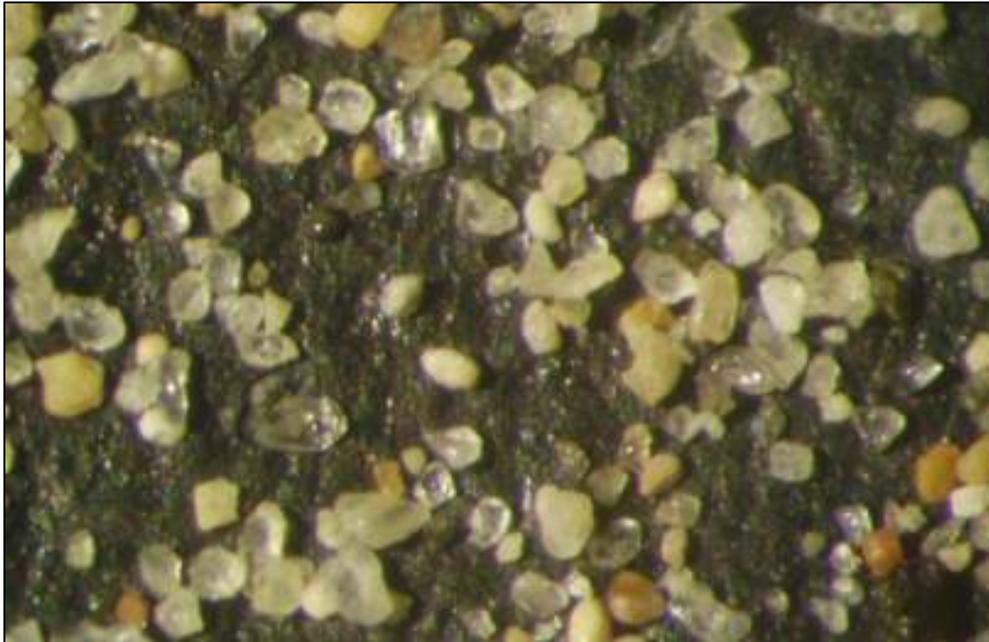
Este ensayo nos proporciona mucha información no sólo la forma de los granos, sino también los diferentes cuarzos que existen en la muestra.

Figura 5.11: Visualización de los granos de cuarzo a 35X



En primer lugar la mayor parte de los granos presentan una estructura amorfa, cristales cúbicos hexagonales, monocristalinos, triclinicos, etc. (Ver figura 5.12)

Figura 5.12: Visualización de granos a 35X sobre una superficie oscura



En menor proporción encontramos cristales de forma redondeada como es el caso de los granos siloide (llamado así por su forma redondeada) o sílex de color naranja oscuro en la figura 5.13 y de cuarzo traslucido en la figura 5.14.

Figura 5.13: Visualización de granos sílex a 35X



Figura 5.14: Visualización de granos translucidos a 35X



La sílice presenta varios colores. Cabe mencionar también que gran parte, casi el 90%, de los granos de la muestra son cuarzo hialino (cuarzo sin impurezas), un cuarzo translucido de elevada refractariedad. Por otra parte en menor grado tenemos cuarzo lechoso (figura 5.15), sílice oxidada (figura 5.16), cuarzo de vidrio volcánico y siloide como ya se mencionó antes.

Figura 5.15: Visualización de granos lechosos



Figura 5.16: Visualización de granos de vidrio volcánico

Según lo anterior podemos afirmar que la fuente de la arena es vulcano clástica, cenizas volcánicas caídas en medio acuático sedimentadas.

5.1.4 Ensayo para determinar el índice de finura

Al igual que el ensayo anterior se tomará una muestra de sílice del resultado del segundo ensayo. El análisis granulométrico por tamizado fue llevado a cabo en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de Construcción de la universidad, utilizando la norma técnica NTP 339 – 128 – 1999, obteniéndose los resultados descritos en la tabla 5.3.

Tabla 5.3: Análisis granulométrico según la norma técnica NTP 339 – 128 - 1999

Abertura de malla	N° de tamiz	Contenido (gr)
2.330	8	0
2.000	10	0.2
0.840	20	4.2
0.590	30	4.6
0.425	40	7.2
0.297	50	13.7
0.250	60	18.9
0.149	100	115.9
0.106	140	97.3
0.074	200	40.1
	Fondo	9.8
	TOTAL	311.9
	Peso inicial	312.9
	Pérdida	1.0

Como se puede observar la tabla anterior, las mallas utilizadas no son las mismas descritas en la tabla 1.6. A continuación mediante extrapolación modificamos la tabla 5.3 para dar valores a los tamices faltantes.

Tabla 5.4: Análisis granulométrico. Tabla corregida

Abertura	N° de tamiz	contenido (gr)	Retenido Parcial (%)	Factor K
3.360	6	0.0	0.00	3
1.680	12	0.7	0.23	5
0.840	20	3.7	1.18	10
0.590	30	4.6	1.47	20
0.420	40	7.2	2.31	30
0.297	50	13.7	4.39	40
0.210	70	60.5	19.40	50
0.149	100	74.3	23.82	70
0.105	140	97.3	31.20	100
0.074	200	40.1	12.86	140
0.053	270	1.4	0.43	200
	Polvos	8.5	2.71	300
	TOTAL	311.9	100	

Para hallar el índice de finura utilizamos la expresión descrita en el apartado 1.6.4 mediante la ecuación (5.4):

$$I.F = \frac{\sum RP_i * K_i}{\sum RP_i} = 87.43 \quad (5.4)$$

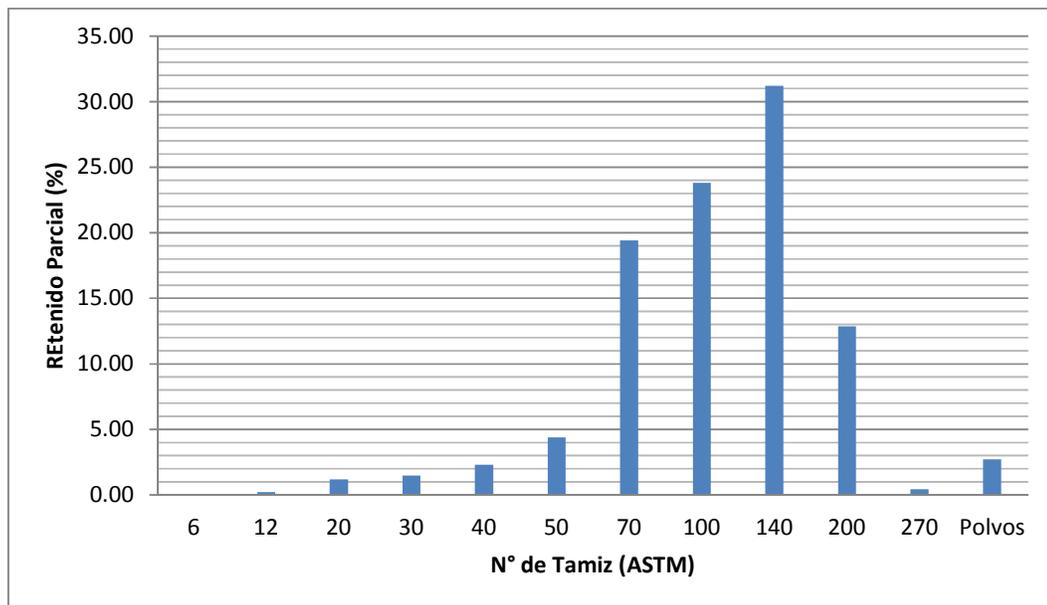
Donde:

RP_i = Retenido parcial en porcentaje en cada tamiz.

K_i = Factor K en cada tamiz.

$I.F.$ = Índice de finura.

En la figura 5.17 observamos la distribución del tamaño de grano.

Figura 5.17: Distribución de tamaños de grano

Para este ensayo se utilizó la balanza OHAUS y el horno PRECISION, equipos descritos en el anexo A al igual que los instrumentos y herramientas mencionados en el anexo B.

5.2 Ensayos para determinar las propiedades de las arenas de moldeo

Para la realización de los siguientes ensayos, que determinarán las propiedades de las tierras de moldeo, se utilizó un sistema de moldeo de probetas estandarizadas descrito en el anexo C.

5.2.1 Ensayo de permeabilidad

La aplicación de este ensayo, según la norma AFS, se realiza mediante un Permeámetro. Debido a la falta de este equipo se desarrolló un sistema que cumpla el mismo objetivo, explicado en el anexo D.

En la tabla 5.5 se detallan los datos medidos.

Tabla 5.5: Ensayo de Permeabilidad. Valores de presión y tiempo.

Número de Prueba	I	II	III	IV
Presión (cca)	15.9	18.0	22.9	25.6
	9.9	12.1	15.6	16.0
	7.3	9.9	10.4	13.2
Valores de tiempo (seg)	5.0	4.6	3.6	2.7
	5.0	4.7	3.7	2.6
	5.8	4.3	3.5	2.6
	5.7	4.6	3.5	2.7
	5.1	4.5	3.7	2.5
	5.3	4.6	3.5	2.7
	5.6	4.6	3.4	2.6
	5.7	4.7	3.4	2.6
	5.3	5.0	3.6	2.6
	5.4	5.0	3.6	2.4
	5.3	4.7	3.5	2.6
	5.5	4.9	3.6	2.5
	5.7	4.6	3.5	2.5
	5.4	5.1	3.4	2.7
	5.5	4.8	3.4	2.5
5.4	4.5	3.6	2.7	

En la tabla 5.6, se detallan los valores promedios de los valores medidos y los valores de permeabilidad obtenidos.

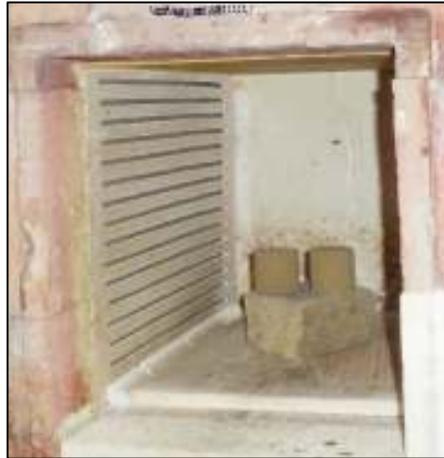
Tabla 5.6: Ensayo de Permeabilidad. Tabla resumen.

Número de prueba	I	II	III	IV
Presión promedio (cca)	11.0	13.3	16.3	18.3
T prom (min)	0.09	0.08	0.06	0.04
Valores de permeabilidad	115.21	109.92	119.67	145.38

5.2.2 Ensayo de refractariedad

Para llevar adelante este ensayo es necesario elevar la temperatura lo suficiente para cristalizar la probeta. Se utilizó un horno industrial de marca MT y el microscopio descritos en el anexo A.

Figura 5.18: Ensayo de refractariedad



Para tener una idea del grado de vitrificación que pueden tener cada probeta se procedió a proyectar una luz blanca y observar con el microscopio para ver cuál de los dos ensayos arrojaba un dato más cercano a la temperatura que buscamos.

El primer ensayo de refractariedad se realizó a 900°C en dos probetas estandarizadas. En ambos casos se observó la misma superficie con las siguientes características a un aumento de 35X (ver figura 5.19)

Figura 5.19: Estructura de la probeta después de ser sometida a 900°C a un aumento de 35X



El segundo ensayo se realizó a 1050°C también en dos probetas con dimensiones estandarizadas.

Figura 5.20: Compactación normal

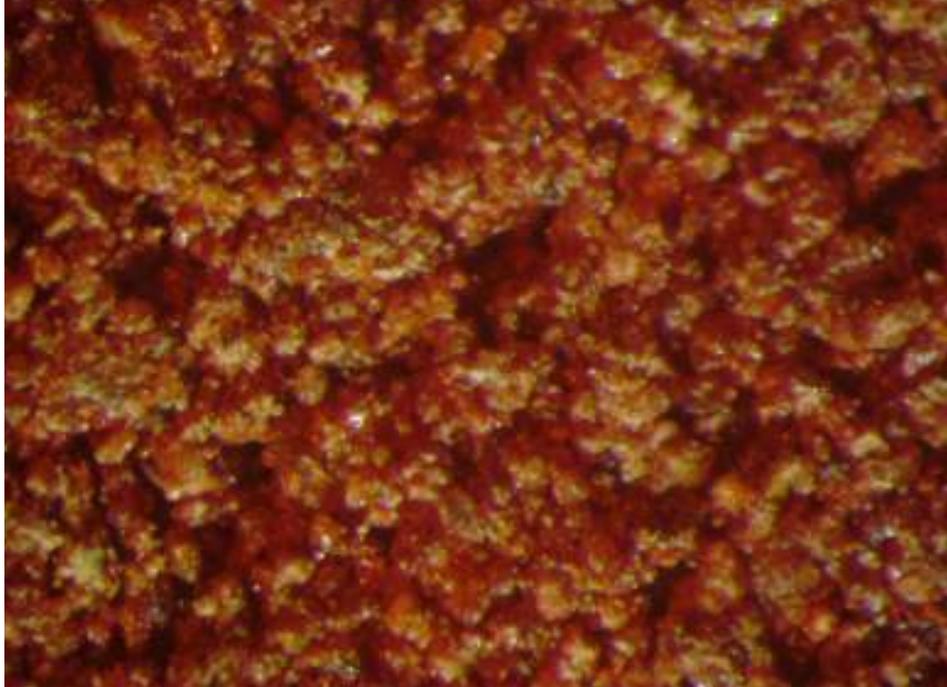
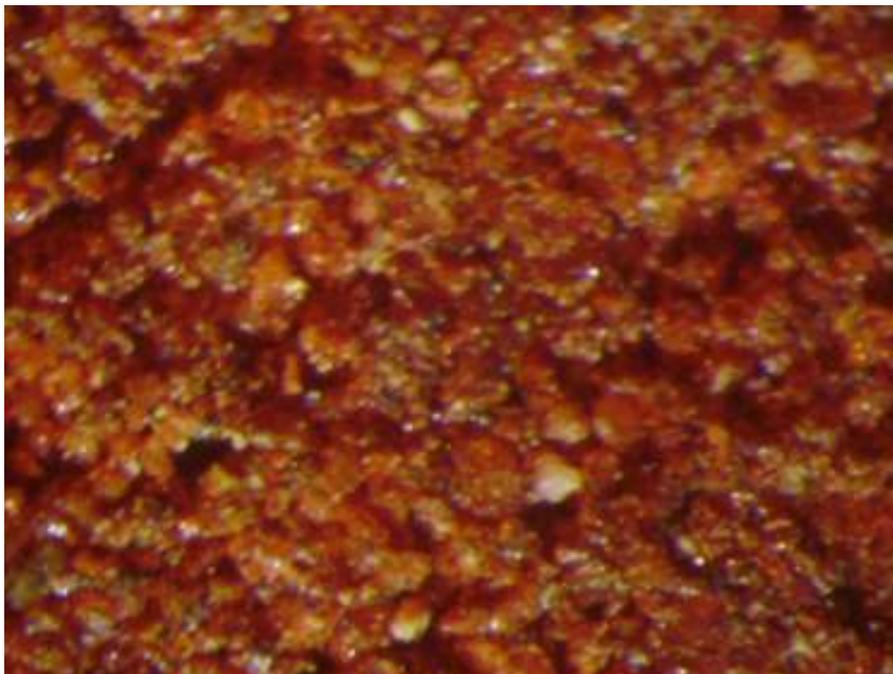


Figura 5.21: Compactación excesiva



5.2.3 Ensayo de esfuerzo de compresión y de deformabilidad

El instrumento para este ensayo es la máquina de compresión no confinada SOILTEST U-160-9-1 acoplada con dos diales marca ELE, descritos en el anexo A.

En la tabla 5.7 se aprecian los datos obtenidos de cada ensayo realizado.

Tabla 5.7: Deformación y Esfuerzo de compresión

Dial inferior	Dial Superior								
	Carga (x 0.44kg)								
Deformación (x 0.001")	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
10	3.0	4.0	1.0	2.0	4.5	1.0	4.0	2.5	4.0
20	5.0	8.0	3.0	6.0	10.0	3.0	5.0	5.0	8.0
30	5.0	9.0	4.0	8.0	11.0	3.5	6.0	8.0	10.0
40	5.0	9.0	5.0	8.0	11.0	4.0	7.0	8.5	10.0
50	5.0	8.0	5.0	7.0	10.0	4.0	6.0	8.0	9.0
60	4.5	7.0	5.0	7.0	9.0	4.0	6.0	7.0	8.0
70	4.0	6.0	5.0	6.0	8.0	4.0	5.5	6.0	7.5
80	4.0	5.5	4.8	5.5	7.0	3.5	5.0	5.5	7.0
90	3.5	5.0	4.6	5.0	6.0	3.5	4.5	5.0	6.0
100	3.0	5.0	4.0	4.5	6.0	3.0	4.0	4.5	5.0
110	3.0	4.5	4.0	4.0	5.0	3.0	4.0	4.5	5.0
120	2.5	4.0	4.0	4.0	5.0	3.0	4.0	4.0	5.0
130	2.0	4.0	3.5	4.0	4.5	3.0	3.5	4.0	4.0
140	2.0	3.5	3.5	3.5	4.0	3.0	3.5	4.0	4.0
150	1.0	3.0	3.0	3.0	4.0	2.5	3.0	3.5	4.0

Tabla 5.8: Resumen. Deformación y Esfuerzo de compresión

Número de prueba		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Número de partición máxima alcanzado. Dial superior		5.0	9.0	5.0	8.0	11.0	4.0	7.0	8.5	10.0
Deformación alcanzada en el máximo valor de carga	Dial inferior (x 0.001")	50	40	70	40	40	70	40	40	40
	(mm)	1.27	1.02	1.78	1.02	1.02	1.78	1.02	1.02	1.02
Carga máxima alcanzada	(kg)	2.20	3.96	2.20	3.52	4.84	1.76	3.08	3.74	4.40
	(N)	21.58	38.85	21.58	34.53	47.48	17.27	30.21	36.69	43.16
Área de compresión	(cm ²)	20.27	20.27	20.27	20.27	20.27	20.27	20.27	20.27	20.27
Esfuerzo de compresión	(kg/cm ²)	0.11	0.20	0.11	0.17	0.24	0.09	0.15	0.18	0.22
	(N/cm ²)	1.06	1.92	1.06	1.70	2.34	0.85	1.49	1.81	2.13

A continuación se detallan las gráficas Deformación vs Carga para cada ensayo.

Figura 5.22: Diagrama deformación vs carga. Ensayo I

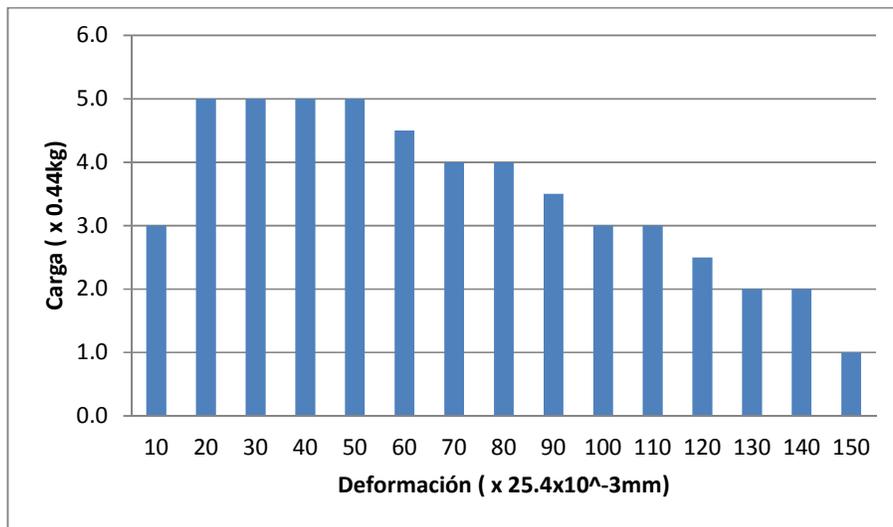


Figura 5.23: Diagrama deformación vs carga. Ensayo II

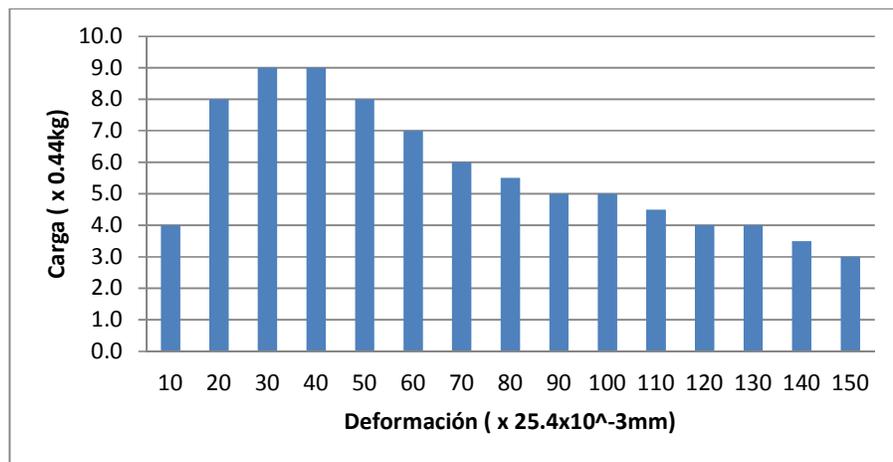


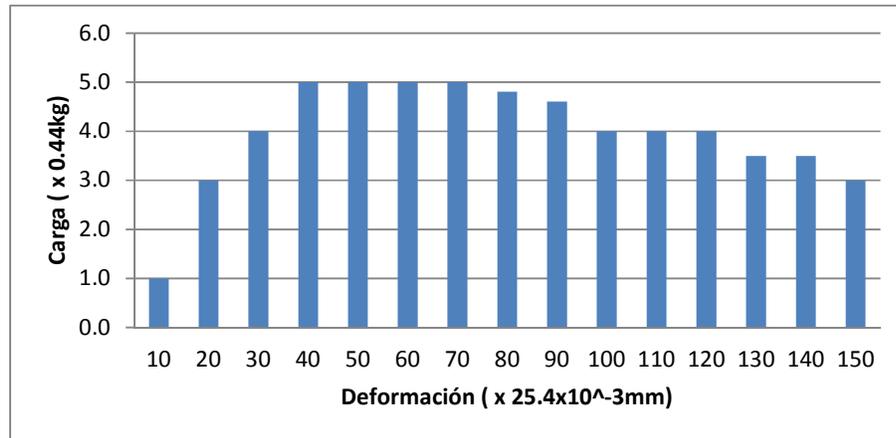
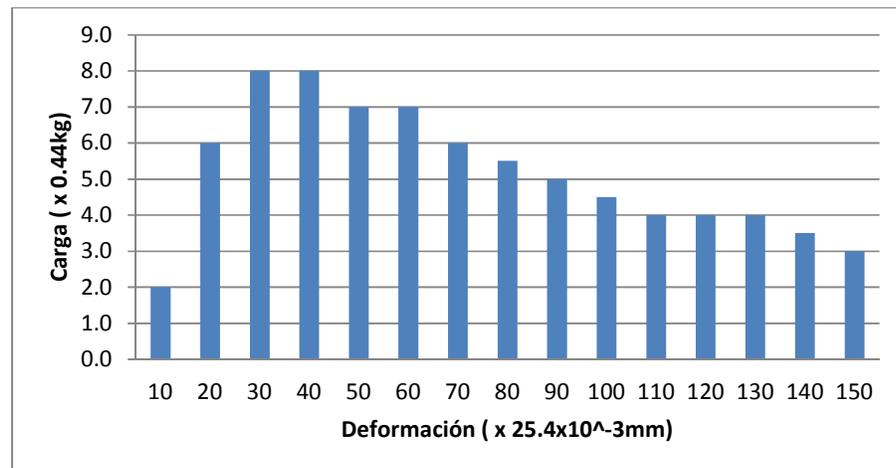
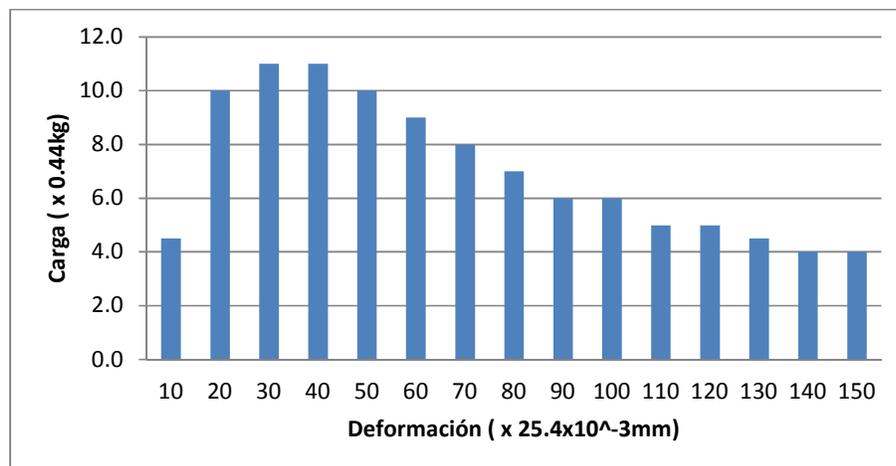
Figura 5.24: Diagrama deformación vs carga. Ensayo III**Figura 5.25:** Diagrama deformación vs carga. Ensayo IV**Figura 5.26:** Diagrama deformación vs carga. Ensayo V

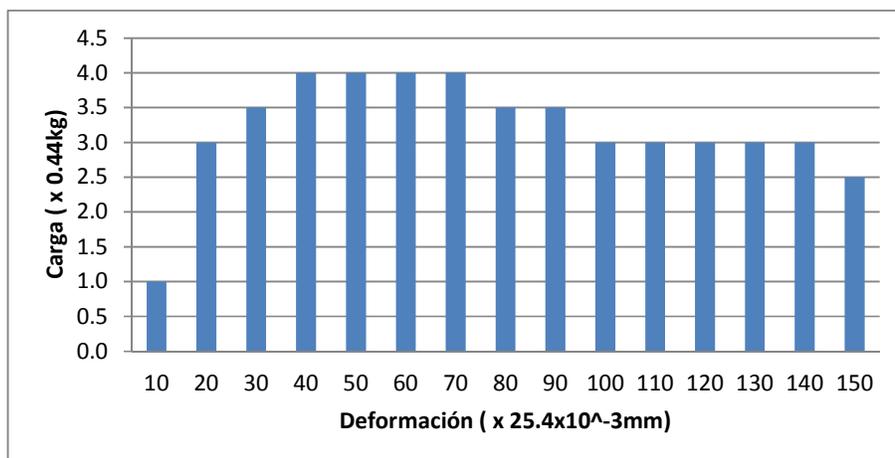
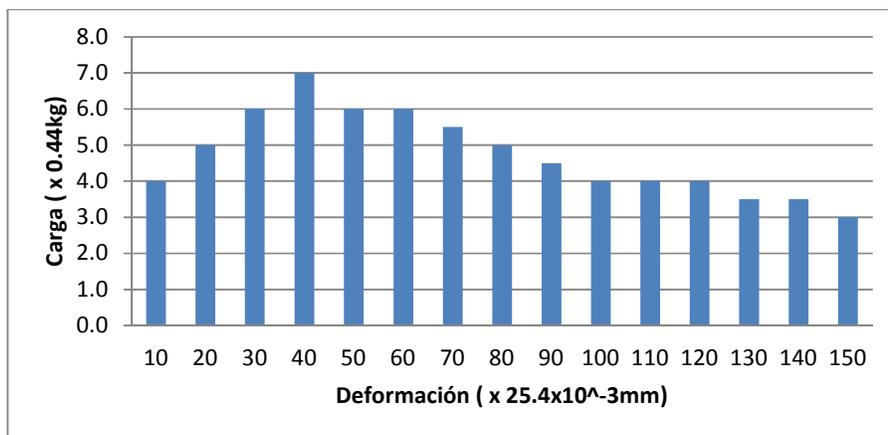
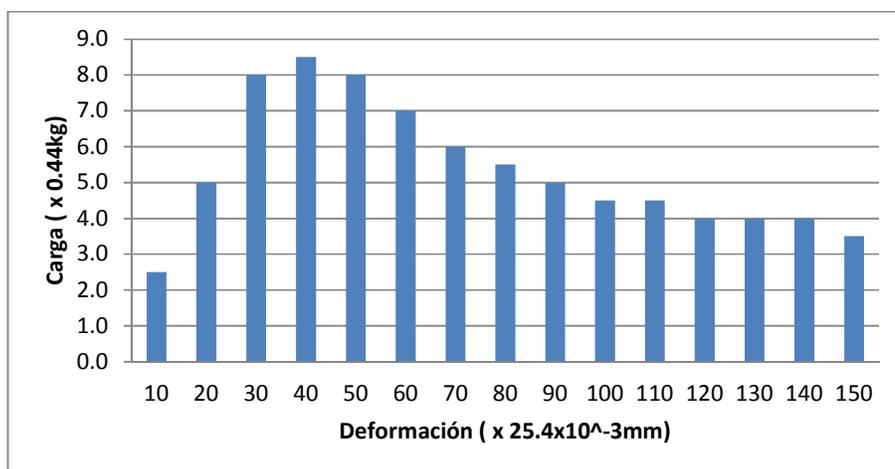
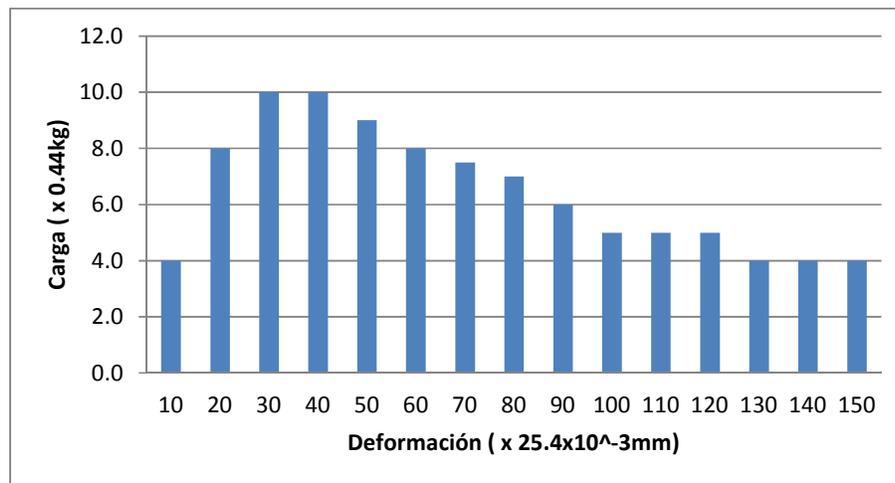
Figura 5.27: Diagrama deformación vs carga. Ensayo VI**Figura 5.28:** Diagrama deformación vs carga. Ensayo VII**Figura 5.29:** Diagrama deformación vs carga. Ensayo VIII

Figura 5.30: Diagrama deformación vs carga. Ensayo IX

5.2.4 Ensayo de esfuerzo de corte

Se utilizó la misma máquina de compresión no confinada conjuntamente con los dos diales y un accesorio de corte descrito en el anexo E. En la figura se aprecia el equipo modificado.

Figura 5.31: Sistema de corte

En la tabla 5.9 se aprecian los datos de cada ensayo realizado.

Tabla 5.9: Deformación y Esfuerzo de Corte

Dial inferior	Dial superior							
Deformación	Carga (x 0.44kg)							
(x 0.001pulg)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5
10	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0
15	2.5	3.0	2.0	1.0	1.5	2.5	2.0	2.0
20	2.0	3.0	1.5	1.0	1.5	2.0	2.0	2.0
25	1.5	1.5	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0	2.5
30	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5
35	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.0	1.0	2.5
40	1.0	1.0	1.0	1.5	1.0	1.0	1.0	3.0
45	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0
50	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
55	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
65	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
70	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
75	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Tabla 5.10: Resumen. Deformación y Esfuerzo de Corte

Número de prueba		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Número de partición máxima alcanzado. Dial superior		2.5	3.0	2.0	1.5	1.5	2.5	2.0	3.0
Deformación alcanzada en el máximo valor de carga	Dial inferior (x 0.001")	15	20	15	40	35	15	25	40
	(mm)	0.381	0.508	0.381	1.016	0.889	0.381	0.635	1.016
Carga máxima alcanzada	(kg)	1.100	1.320	0.880	0.660	0.660	1.100	0.880	1.320
	(N)	10.791	12.949	8.633	6.475	6.475	10.791	8.633	12.949
Área de compresión	(cm ²)	25.806	25.806	25.806	25.806	25.806	25.806	25.806	25.806
Esfuerzo de compresión	(kg/cm ²)	0.043	0.051	0.034	0.026	0.026	0.043	0.034	0.051
	(N/cm ²)	0.418	0.502	0.335	0.251	0.251	0.418	0.335	0.502

A continuación se detallan las gráficas Deformación vs Carga para cada ensayo.

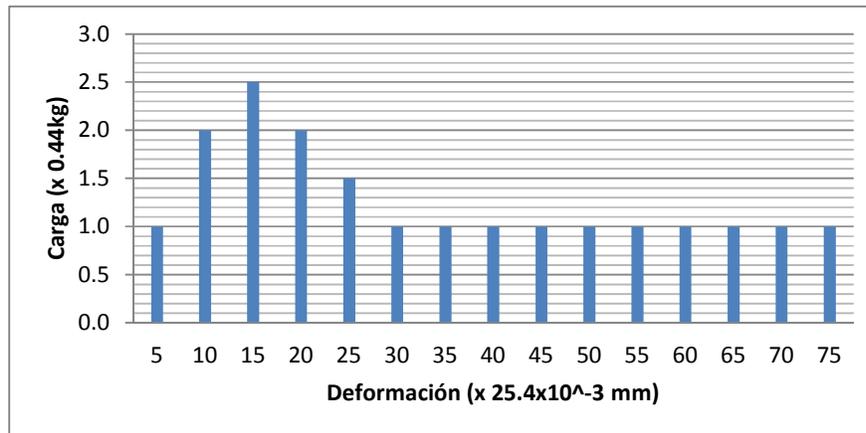
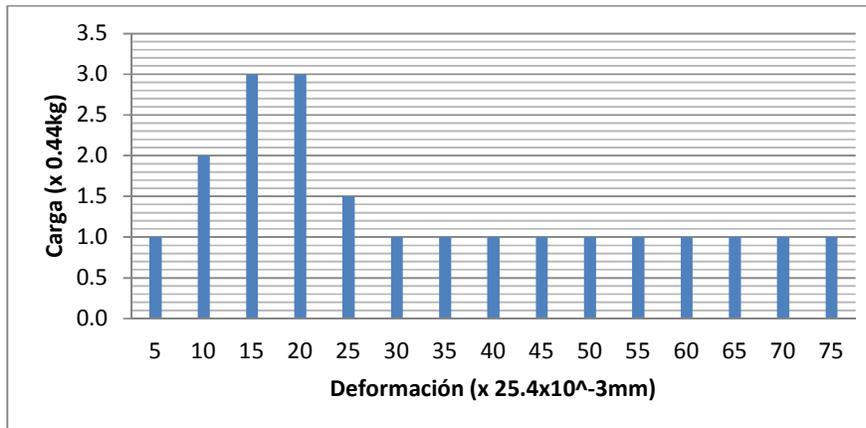
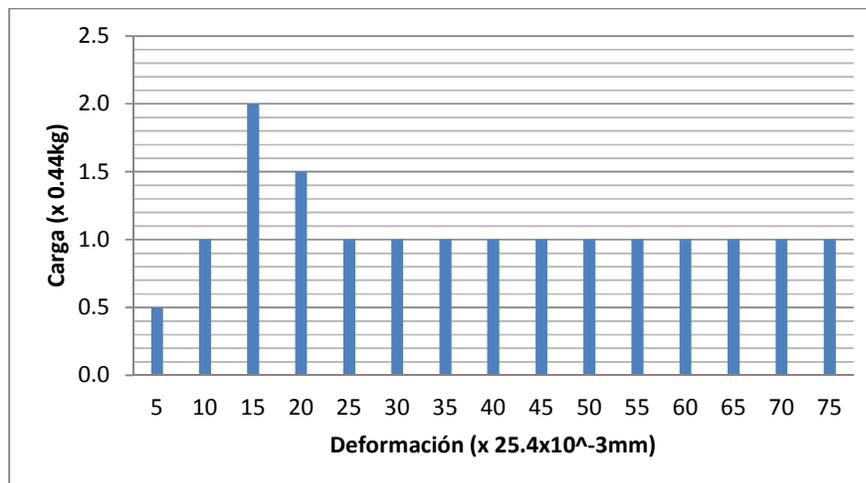
Figura 5.32: Diagrama deformación vs carga. Ensayo I**Figura 5.33:** Diagrama deformación vs carga. Ensayo II**Figura 5.34:** Diagrama deformación vs carga. Ensayo III

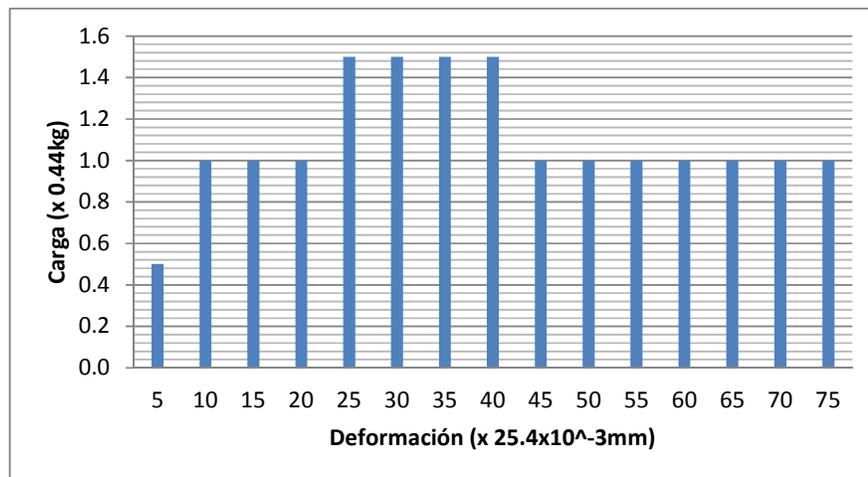
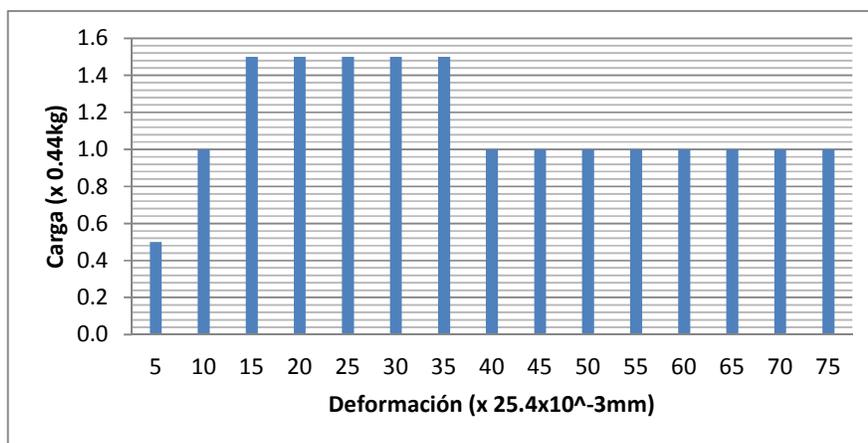
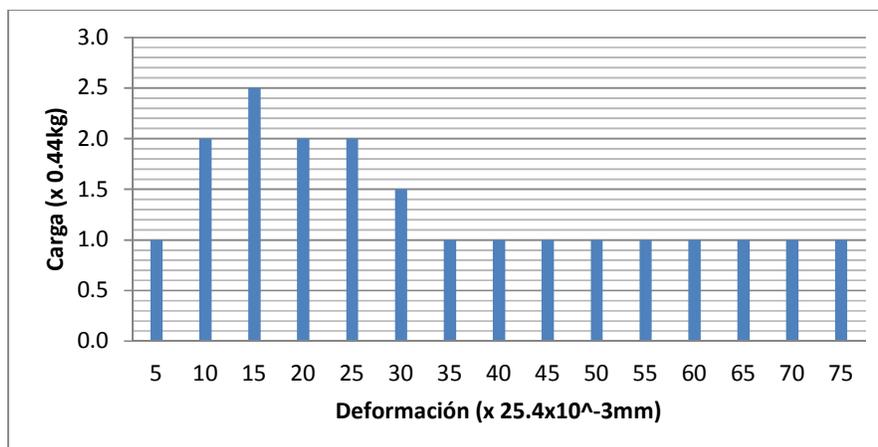
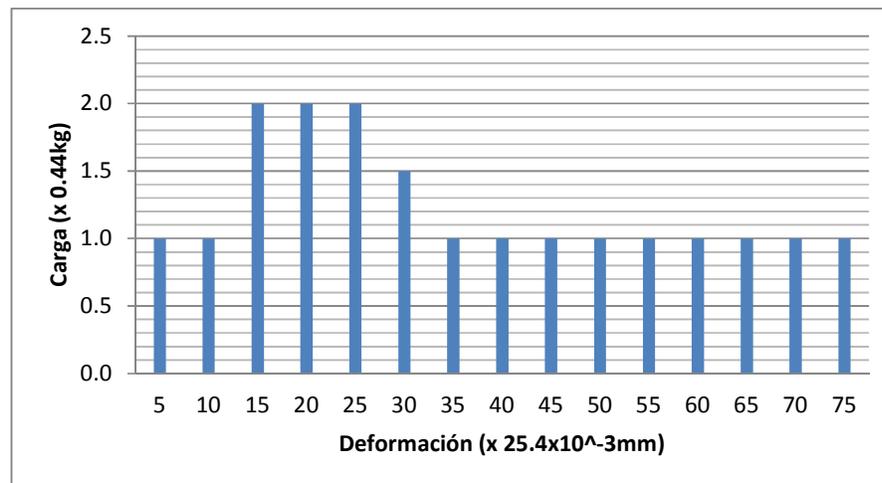
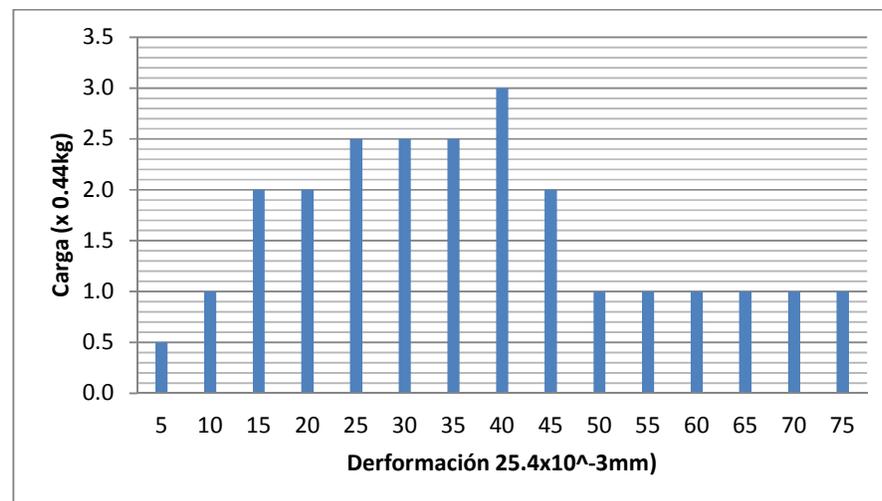
Figura 5.35: Diagrama deformación vs carga. Ensayo IV**Figura 5.36:** Diagrama deformación vs carga. Ensayo V**Figura 5.37:** Diagrama deformación vs carga. Ensayo VI

Figura 5.38: Diagrama deformación vs carga. Ensayo VII**Figura 5.39:** Diagrama deformación vs carga. Ensayo VIII

Capítulo 6

Resultados

En esta sección se dará a conocer de manera resumida los resultados medidos o calculados de cada ensayo.

A continuación en la tabla 6.1, se citarán los resultados de las características.

Tabla 6.1: Características de la tierra de moldeo de El Porvenir de la provincia de Sullana

Característica	Observación	Resultado	
Porcentaje de Humedad	Referida a la masa de la muestra de tierra de moldeo.	7.10 – 8.58%	
Composición	Referida a la masa de la muestra seca de la tierra de moldeo.	Arcilloide	18.31 – 20.29%
		Sílice	78.91 – 80.51%
		Materia orgánica	0.80 – 1.18%
Forma de los granos de sílice	No se requirió de algún reactivo para observar la forma de los granos.	Forma angulosa y compuesta	
Índice de finura	No se utilizaron todos los tamices propuestos por la norma AFS. Se extrapoló.	87.43 Grado 4 Arena fina	

Como se puede observar la tabla 6.1 no expresa los datos de manera apropiada. A continuación se expresan los datos de corregidos en la siguiente tabla.

Tabla 6.2: Características de la tierra de moldeo de El Porvenir de la provincia de Sullana.
Tabla corregida

Humedad (%)	Arcilloide (%)	Materia orgánica (%)	Índice de finura	Forma de los grano de la sílice
7.10 – 8.58	17.01 – 18.55	0.74 – 1.08	87.43	Anguloso y compuesto

En la tabla 6.2 se cita la composición en porcentaje de la tierra de moldeo con respecto a su masa total.

Para la mención de las propiedades, se debe tener en cuenta dos puntos importantes: 1) No se utilizó ningún método o equipo para el mezclado de la muestra, y 2) la compactación de la tierra de moldeo es ejercida por un peso de 2.5kg dejado caer a una altura de 32.5cm.

A continuación en la siguiente tabla se expresan las propiedades calculadas de la tierra de moldeo de El Porvenir de la provincia de Sullana.

Tabla 6.3: Propiedades de la tierra de moldeo de El Porvenir de la provincia de Sullana.

Permeabilidad	Resistencia a la compresión	Resistencia al corte	Deformación	Temperatura de vitrificación
109.92 – 145.38	0.85 – 2.34 N/cm ² (8.5 – 23.4 kPa)	0.251 – 0.502 N/cm ² (2.51 – 5.02 kPa)	2%	No menor que 1050°C

Cabe mencionar nuevamente que para determinar el valor de la permeabilidad no se usó el permeámetro y para determinar los valores de la resistencia a la compresión y al corte no se utilizó la máquina de compresión universal.

Conclusiones

Al realizar una comparación de las propiedades y características obtenidas de los ensayos realizados, con la tabla 2.1, se encuentra una gran diferencia. La caracterización realizada de la tierra de moldeo de El Porvenir, de la provincia de Sullana, no se compara con ningún intervalo de las características y propiedades que proporciona la tabla 2.1, en cada aleación.

Los primeros valores a comparar son las características: contenido de agua, contenido de arcilloide e índice de finura. Aunque el valor de humedad de la tierra analizada puede alterarse con un método simple de secado, y además, tomando en cuenta que los valores de índice de finura y arcilloide son independientes al contenido de agua, no existen intervalos en la tabla 2.1 que coincidan con un determinado tipo de aleación.

Una alternativa para dar un buen uso a esta tierra de moldeo es la separación de sus compuestos. Además con este proceso se separaría la materia orgánica que en el proceso de colada puede originar CO₂, agente principal para la aparición de defectos en la pieza final. Otro punto a tener en cuenta son los varios tipos y formas de los granos de la sílice que se presentan, una razón más para separar los granos de sílice de los otros compuestos.

La segunda alternativa es modificar la composición de la tierra de moldeo agregándole aditivos, obteniendo como resultado una tierra sintética.

En cuanto a las propiedades, los valores de resistencia al corte son inferiores a los valores de la tabla 2.1. Queda claro que los equipos y/o accesorios utilizados para determinar las propiedades no son los correspondientes según la Sociedad Americana de Fundidores (AFS), sin embargo cumple el objetivo esencial del ensayo correspondiente. Por tanto es recomendable como tema de estudio e investigación el diseño y la fabricación de estos equipos.

Bibliografía

1. **Groover, Mikell P.** *Fundamentos de manufactura moderna*. Tercera Edición. México, D.F. : Mc Graw Hill, 2007.
2. **Shigley, Joseph E. y Mischke, Charles R.** *Diseño en Ingeniería Mecánica*. Sexta Edición. Mexico, D.F. : Mc Graw Hill, 2002.
3. **Capello, Edoardo.** *Tecnología de la Fundición*. Barcelona : Ediciones Gustavo Gill, 1974.
4. Mecánica. [En línea] [Citado el: 25 de Mayo de 2010.] <http://www.mecanica.com.es/Moldeo%20en%20arena.htm>.
5. **Carrillo Reyes, César Miguel.** *Diseño y organización de un laboratorio de análisis de arenas de moldeo*. Piura : UDEP, 2005.
6. **Taylor, Howard.** *Fundición para ingenieros*. México D.F. : Ediciones Limusa, 1984.
7. **Titov, N. D.** *Tecnología del proceso de fundición*. Londres : Ediciones Lanham, 1968.
8. **Hoyt, D. F.** *Identifying and eliminating the variables that affect the performance of nobake and coldbox binder systems*. s.l. : AFS Transactions, 2007. Paper No. 07-001.
9. **Yaksetig Castillo, Jorge.** *Apuntes de procesos de manufactura*. Piura : UDEP, 2008.
10. Moldeo de arena. [En línea] [Citado el: 9 de Febrero de 2011.] <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/9310/Capitulo3.pdf>.
11. Moldeo. *Conformación por moldeo I*. [En línea] [Citado el: 10 de Noviembre de 2010.] <http://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/14+Moldeo1.pdf>.
12. Oocities.org. *Fundición*. [En línea] [Citado el: 5 de Noviembre de 2010.] <http://www.oocities.org/usmindustrial/Fundicion.htm>.
13. **Mazzoleni, Francesco.** *Tecnologie dei Metalli*. s.l. : UTET Editore, 1978. págs. 82-96. Vol. I.
14. **Secciani, Alfredo.** *Produzione Metalmeccanica*. Décima Edición. s.l. : Cappelli Editore, 1983. p. 210-218.
15. Procesos de fundición de metales. [En línea] [Citado el: 20 de Febrero de 2011.] <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecno-II/PDF/cap-22.pdf>.

Anexo A

Equipos principales utilizados

1. Balanzas

1.1. Balanza OHAUS de 2610g

La balanza OHAUS, permitirá la medición de las muestras, sustancias necesarias para los ensayos y otros accesorios que necesitemos. Sus principales características son las siguientes:

- Triple riel a escala.
- Rieles muescados y escalonados.
- Perilla auto ajustable de 0 - 23g.
- Carga superior equilibrada.
- Plataforma de acero inoxidable.
- Incluye tres pesos equilibrados: Dos de 500 gramos y uno de 1000 gramos

Figura A.1: Balanza OHAUS de 2610g



1.2. Balanza electrónica SARTORIUS BL 3100

Se le dará el mismo uso al igual que a la balanza anterior. Sus características principales son una capacidad de 3100gr y su precisión.

Figura A.2: Balanza electrónica SARTORIUS BL3100



2. Hornos

2.1. Horno PRECISION 18EG

Principalmente se utilizará para los ensayos de humedad y ensayos posteriores que requieran temperaturas bajas. Sus principales características son:

- Horno de convección gravitacional.
- Temperatura controlada.
- Temperatura máxima de 225°C

Figura A.3: Horno PRECISION 18EG



2.2. Horno industrial MT FM3

Se utilizará más para el ensayo de permeabilidad debido a la alta temperatura que puede alcanzar. Sus principales características son:

- Datos de placa: 6kW, 220V, 27A, 50Hz
- Regulador de temperatura.
- Temperatura máxima de 1100°C.

Figura A.4: Horno industrial MT FM3



3. Microscopios

3.1. Microscopio NIKON SMT-2T

Este microscopio tendrá los aumentos necesarios para observar la forma de los granos en las tierras de moldeo. El microscopio estereoscopio NIKON SMT-2T es apropiado para este tipo de análisis. La tabla A.1 señala los aumentos que proporciona.

Figura A.5: *Microscopio estereoscopio* NIKON SMZ-2T



Tabla A.1: Tabla de aumento

Objetivo	Objetivo auxiliar	Distancia de trabajo (mm)	Ocular							
			10X		15X		20X		33X	
			Número de campo 23		Número de campo 14		Número de campo 12		Número de campo 5	
			Aumento total	Campo Real (mm)	Aumento total	Campo Real (mm)	Aumento total	Campo Real (mm)	Aumento total	Campo Real (mm)
1-6.3X	-	100	10-63X	23-3.7	15-94.5X	14-2.2	20-126X	12-1.9	33-207.9X	5-0.8
	0-5X	181	5-31.5X	46-7.3	7.5-47.2X	28-4.4	10-63X	24-3.8	16.5-103X	10-1.6
	2X	32.7	20-126X	11.5-1.8	30-189X	7-1.1	40-252X	6-0.9	66-415.8X	2.5-0.4

4. Tamices estandarizados

Los tamices o mallas utilizados en el ensayo de índice de finura se observan en la figura A.6 y la siguiente tabla describe la abertura de cada tamiz.

Estos tamices son utilizados según la norma NTP 339 – 128 -1999, con la especificación ASTM E-11. La de marca de las mallas plateadas es *ELE International* y las mallas doradas tienen una marca de nombre *Endecotts LTD*.

Tabla A.2: Abertura de tamiz

Abertura de malla	Nº de tamiz
2.330	8
2.000	10
0.840	20
0.590	30
0.425	40
0.297	50
0.250	60
0.149	100
0.106	140
0.074	200
	Fondo

Figura A.6: Tamices según el sistema AFS



5. Máquina de compresión no confinada

La máquina de compresión no confinada SOILTEST U-160-9-1 permitirá la aplicación de los ensayos de corte y compresión. Constituido por un sistema de avance, el cual es proporcionado por un tornillo sin fin y una polea, la máquina de compresión es muy útil para los ensayo de compresión, el cual con un cambio de accesorio el ensayo de corte también se puede realizar.

Figura A.7: Máquina de compresión no confinada



6. Relojes comparadores

Estos equipos nos permitirán el cálculo de las cargas de corte y compresión como también la deformación que ocurre simultáneamente en cada ensayo. En la siguiente figura se aprecian los dos relojes comparadores a utilizar.

Figura A.8: Relojes comparadores acoplados



Para la medida de la carga y la deformación, los diales otorgaran datos a su calibración correspondiente. Para la carga se utilizará el dial superior con una graduación de $0.0001''$ y para la deformación, el dial inferior con una graduación de $0.001''$. Ahora el valor del dial que proporcionará la carga, con una medida de $0.0001''$, equivale a 0.44kg según las características del anillo de transmisión.

Anexo B

Equipo auxiliar y herramientas

1. Platos

Son generalmente de 14cm de diámetro fabricados de metal recubiertos de material cerámico. Son de bajo costo.

2. Cucharas

Estas cucharas servirán para el transporte de la tierra en cada ensayo a realizar. Están hechas de material anticorrosivo.

3. Baldes

Servirán para el depósito de la arena.

4. Recipiente de metal

Estos recipientes servirán para contener la tierra de moldeo.

5. Recipientes de plástico

Estos recipientes servirán para el fácil transporte y maniobrabilidad de las tierras de moldeo. Deben evitar la pérdida de humedad.

6. Embudo

Servirá para introducir la arena de moldeo al sistema de moldeo sin que exista pérdida material de la muestra.

7. Trapos

Se pueden usar guaiques o trapos industriales.

8. Pie de rey

Será útil para la medición de las probetas. El pie de rey deberá tener una precisión de 0.5mm y es recomendable el de 6in.

9. Cronómetro

Será útil en el ensayo de permeabilidad.

10. Celosía

Se utilizará para mantener suelta la arena antes del moldeo de las probetas. La celosía es una malla metálica, hecha de hilos de acero, semejante a un tamiz siendo su abertura igual a 2mm aproximadamente.

11. Recipientes de plástico

Utilizados para realizar las mezclas. El tamaño es de 45cm de diámetro y 15cm de altura.

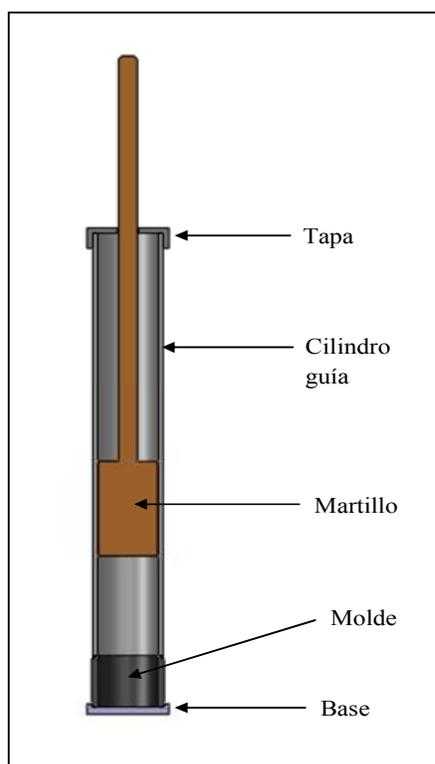
Anexo C

Sistema de moldeo de probetas con medidas estandarizadas

Según la norma AFS, la determinación de las propiedades de las tierras de moldeo requiere probetas con medidas estandarizadas, por tal razón el diseño y la construcción de un sistema de moldeo de probetas es necesaria.

Partimos de un martillo de compactación de arena, el cual se encuentra en el laboratorio de materiales de la construcción, para el diseño del sistema de moldeo. El martillo de compactación es una masa de acero con un peso de 2.5kg y el cual se describe en el plano N°1. En la figura C.1 se observa una vista de sección del diseño de un sistema de moldeo con sus accesorios.

Figura C.1: Sistema de moldeo de probetas



El método para la confección de las probetas, es el siguiente, inicialmente se acopla la base con el molde, luego el cilindro guía. A continuación introducimos la mezcla con la ayuda de un embudo para luego introducir el martillo procurando que no caiga y evitar que no compacte la mezcla. Sin dejar caer el martillo acoplamos la tapa, enroscándola con el cilindro guía, luego levantamos el martillo sujetando el cilindro sin desacoplar el conjunto, hasta que toque la parte interna de la tapa. Y finalmente dejamos caer el martillo compactando la mezcla de la arena.

La energía de compactación está conformada por la energía potencial que aportará la masa del martillo en suspensión y la presión que ejerza la masa al contacto con la arena en la parte más alta del molde. Para tener una referencia la presión ejercida es la masa del martillo entre el área de la probeta esto es 0.096875 kg/cm^2 , que es igual a 9.5kPa aproximadamente.

Ahora como no hay norma alguna que especifique la cantidad de masa, con las características determinadas de la arena de la cantera del Porvenir, entonces se realizarán pruebas para determinar la cantidad muestra necesaria para fabricar la probeta con dimensiones estandarizadas. A continuación se muestra la tabla C.1 con las medidas de pesos y longitudes de las probetas fabricadas.

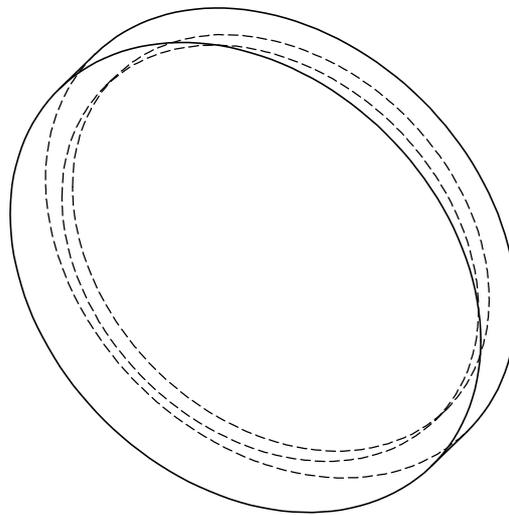
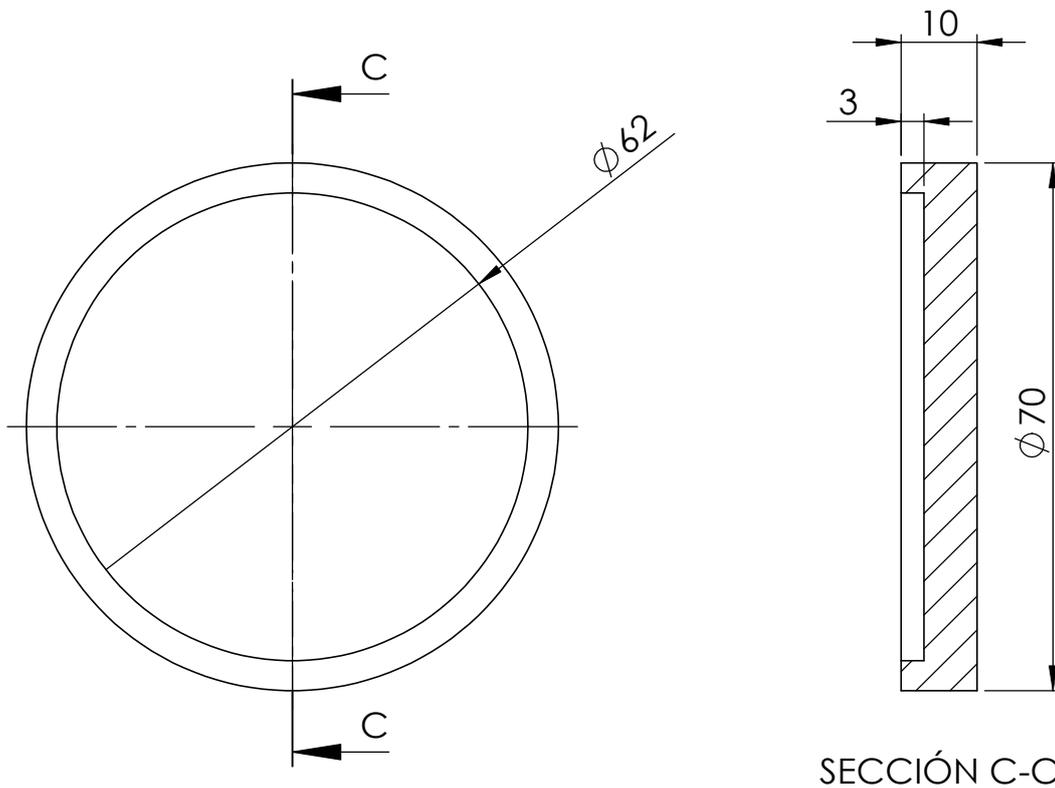
Tabla C.1: Fabricación de probetas con medidas estandarizadas

Número de prueba	I	II	III	IV	V
Peso de depósito	128.40	128.40	128.40	128.40	128.40
Peso de depósito + muestra	283.10	280.30	283.00	283.60	283.40
Peso de la muestra	154.70	151.90	154.60	155.20	155.00
Peso de la probeta (gr)	151.40	148.30	151.20	152.50	151.30
Diámetro de la probeta (mm)	50.80	50.80	50.80	50.80	50.80
Altura de la probeta (mm)	50.80	49.00	51.30	49.30	50.60

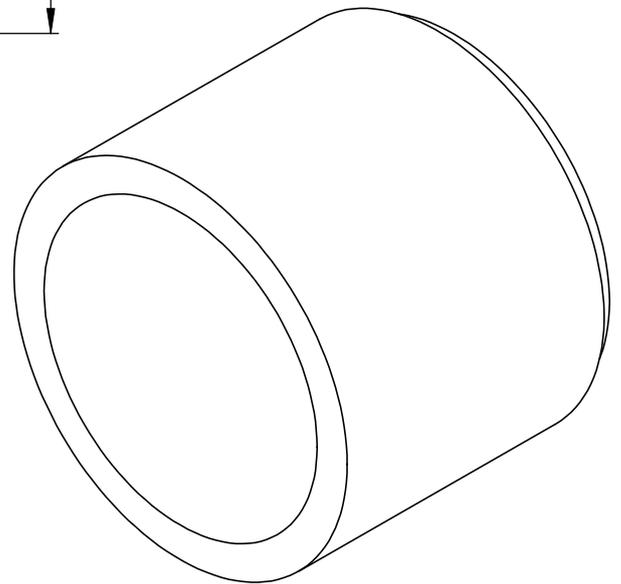
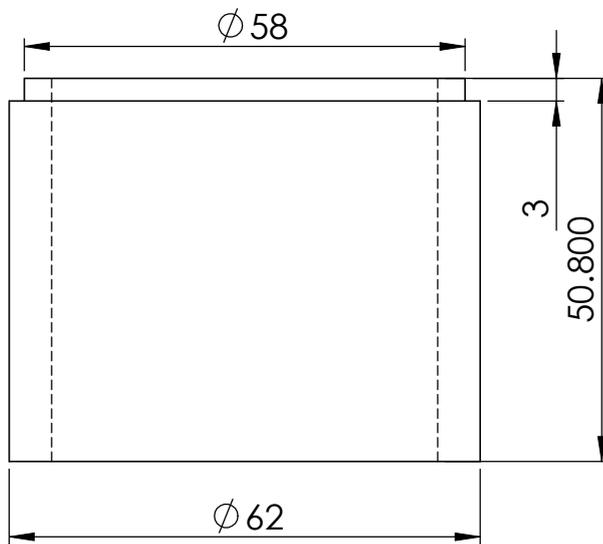
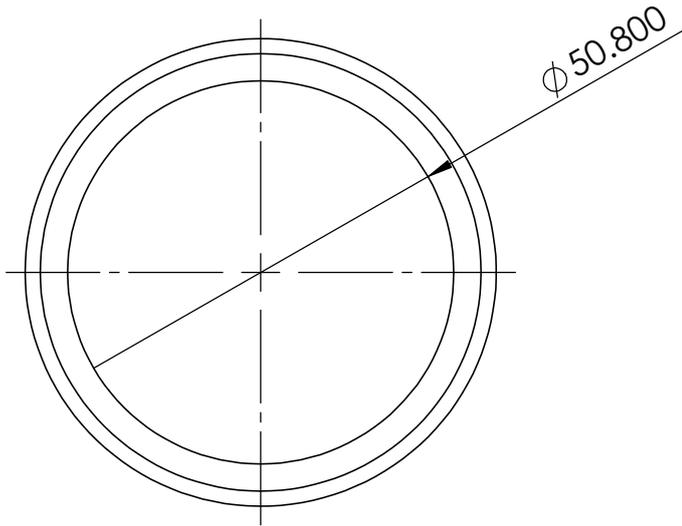
También en las figuras C.1, C.2 y C.3 se observan la cara frontal, superior (superficie de en contacto con el martillo) e inferior (superficie de arena en contacto con la base) respectivamente de la compactación de arena cernida

Figura C.1**Figura C.2****Figura C.3**

Según los datos medidos y las imágenes mostradas anteriormente podemos decir que una muestra cernida con las características de la arena de *El Porvenir*, tiene que tener un peso dentro del intervalo de 154 – 155gr para obtener una probeta con dimensiones estandarizadas el cual tiene una presión de compactación de 9.5kPa, esto se puede traducir como la caída de una masa de 2.5kg desde una altura de 32.5cm.



	fecha	nombre	UNIVERSIDAD de PIURA PROGRAMA ACADEMICO de INGENIERIA MECANICO ELECTRICA
revisado			
dibujado			
Caracterización de las tierras de moldeo de El Porvenir de la provincia de Sullana			Base
Julio César Ordinola Castillo			
			ESCALA 1:1
			PLANO N° C-1



	fecha	nombre
revisado		
dibujado		

UNIVERSIDAD de PIURA

PROGRAMA ACADEMICO de INGENIERIA MECANICO ELECTRICA

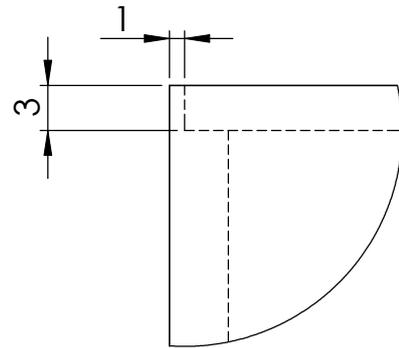
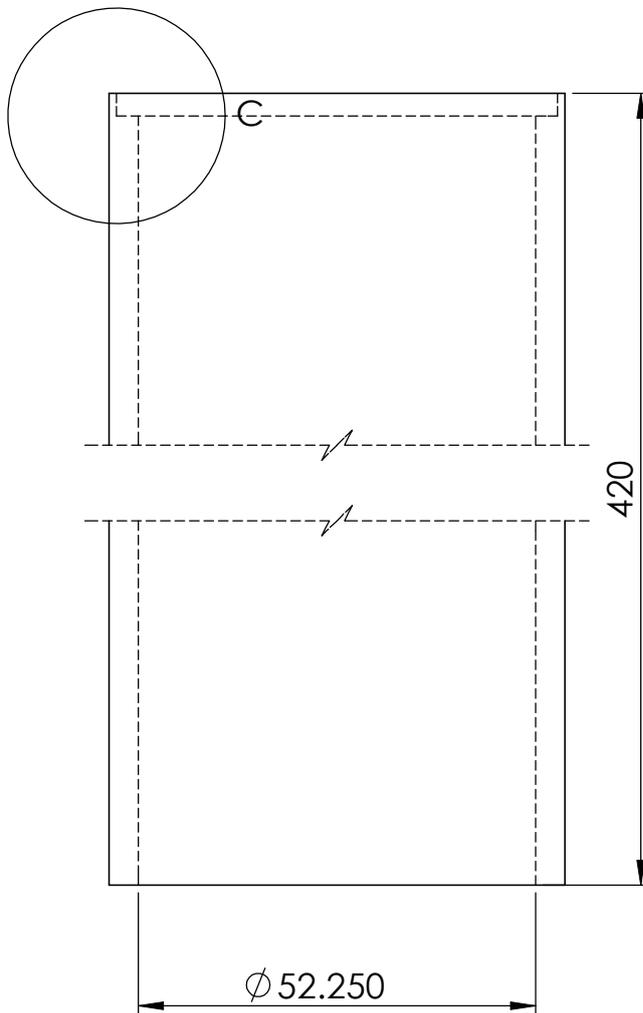
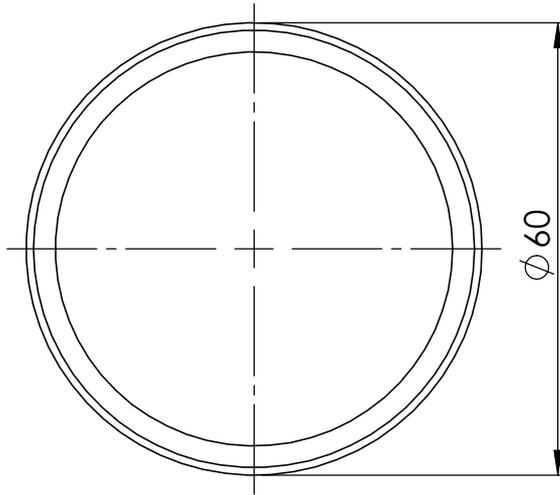
Caracterización de las tierras de moldeo
de El Porvenir de la provincia de Sullana

Julio César Ordinola Castillo

Molde

ESCALA
1:1

PLANO
N° C-2



DETALLE C
ESCALA 2 : 1

	fecha	nombre
revisado		
dibujado		

UNIVERSIDAD de PIURA

PROGRAMA ACADEMICO de INGENIERIA MECANICO ELECTRICA

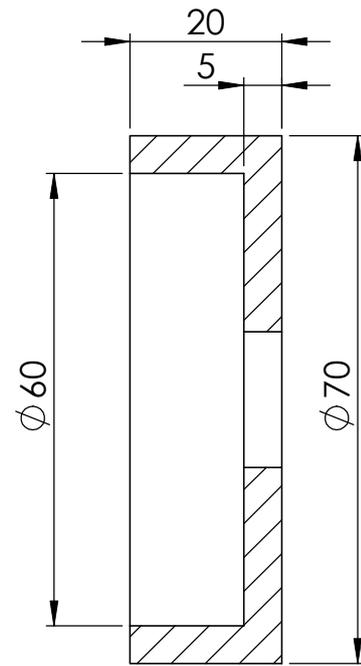
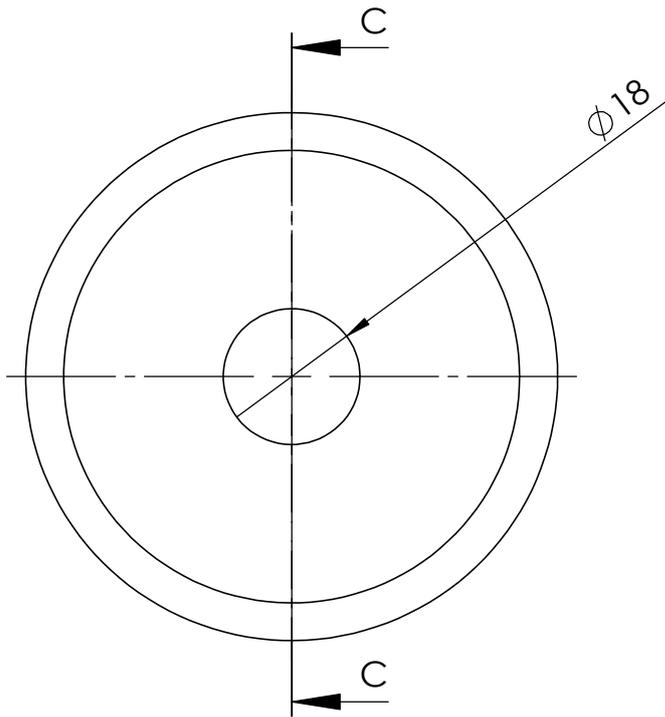
Caracterización de las tierras de moldeo
de El Porvenir de la provincia de Sullana

Julio César Ordinola Castillo

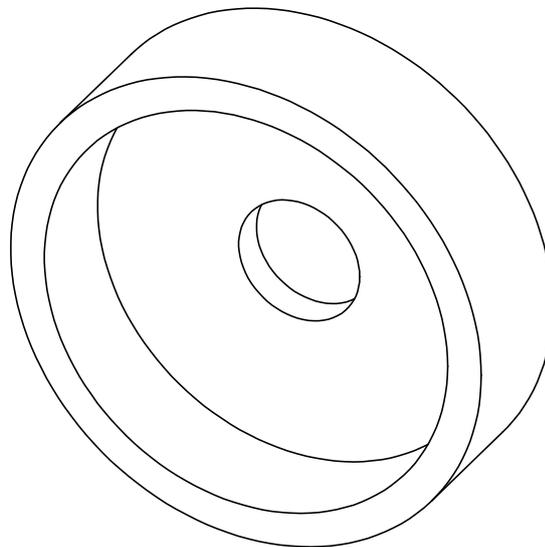
Cilindro guía

ESCALA
1:1

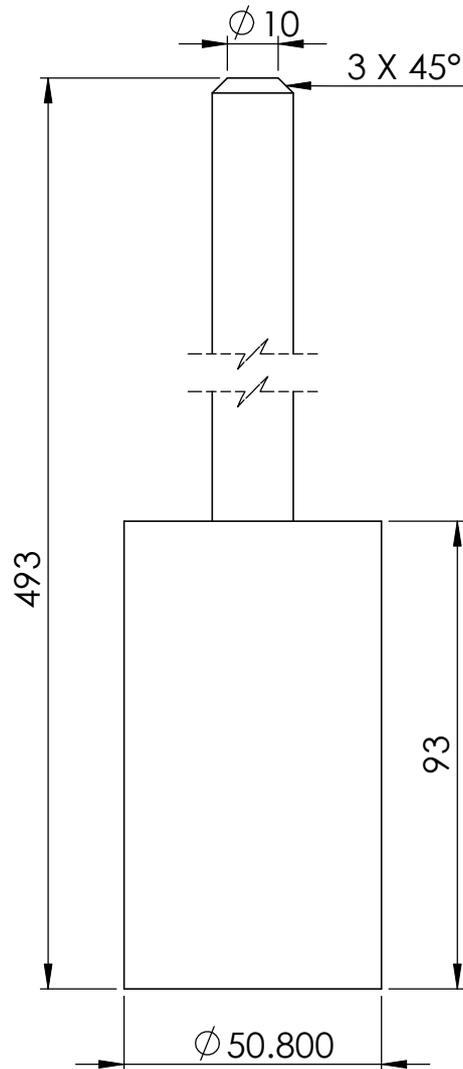
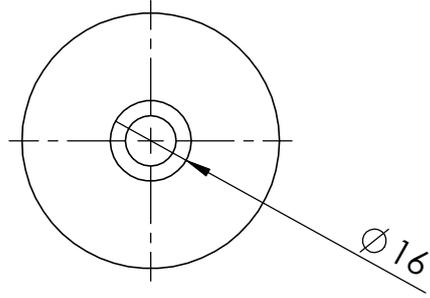
PLANO
N° C-3



SECCIÓN C-C



	fecha	nombre	UNIVERSIDAD de PIURA PROGRAMA ACADEMICO de INGENIERIA MECANICO ELECTRICA
revisado			
dibujado			
Caracterización de las tierras de moldeo de El Porvenir de la provincia de Sullana			ESCALA 1:1
Julio César Ordinola Castillo			PLANO N° C-4
			Tapa



	fecha	nombre	UNIVERSIDAD de PIURA PROGRAMA ACADEMICO de INGENIERIA MECANICA ELECTRICA
revisado			
dibujado			
Caracterización de las tierras de moldeo de El Porvenir de la provincia de Sullana			Martillo
Julio César Ordinola Castillo			
			ESCALA 2:3
			PLANO N° C-5

Anexo D

Sistema de permeabilidad

Para el diseño y construcción del sistema de permeabilidad se partió de la ecuación (1.2) descrita en el apartado 1.7.3 la cual se cita a continuación:

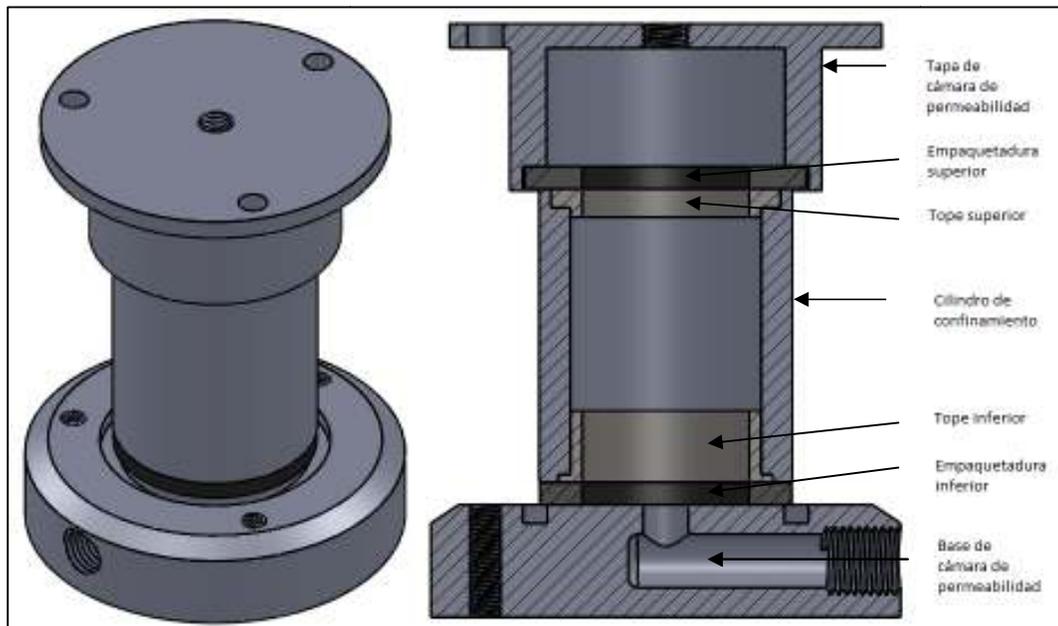
$$N_p = \frac{V \cdot H}{S \cdot P \cdot t}$$

- H (cm) = La altura de la probeta cilíndrica.
- S (cm²) = La sección de la base de la probeta cilíndrica.
- V (cm³) = El volumen del aire que ha de pasar por la probeta.
- P (cca) = La presión del aire.
- t (min) = El tiempo que tarda en pasar el volumen de aire a la probeta

En principio, la altura de la probeta y su sección serán las dimensiones estandarizadas que dicta AFS. Para obtener un volumen fijo de aire se utilizó un inflador de pelotas o de llantas, el cual proporciona un volumen ya fijo. Para la medición de presiones bajas se diseñó un barómetro casero de agua, del orden de 5 – 10kPa, basado en el experimento de Torricelli. Y para aislamiento de la probeta se utilizó un dispositivo de confinamiento para medir la permeabilidad al agua de los suelos, el cual se modificó. Llamaremos a este dispositivo modificado cámara de permeabilidad.

Figura D.1: Cámara de Permeabilidad**Figura D.2:** Inflador**Figura D.3:** Barómetro casero de agua

La cámara de permeabilidad contendrá la probeta. En la figura D.4 se muestra una vista en 3D y una vista de corte.

Figura D.4: Vista de sección de la cámara de permeabilidad

El sistema para determinar la permeabilidad ya acoplado se muestra en la figura D.5. La base de la cámara de permeabilidad está conectada a una válvula directamente en la parte inferior y la tapa de la cámara de permeabilidad, a una conexión “T”, que ésta a la vez está conectado al barómetro casero en un lado y al inflador en el otro, mediante una válvula.

Figura D.5: Cámara de permeabilidad acoplada

El funcionamiento consiste en entregar el propio volumen de aire del inflador a la cámara de permeabilidad midiendo el tiempo en que esto sucede. Para esto utilizamos pesos colocados estratégicamente en el mango del inflador con tal que este último baje sin

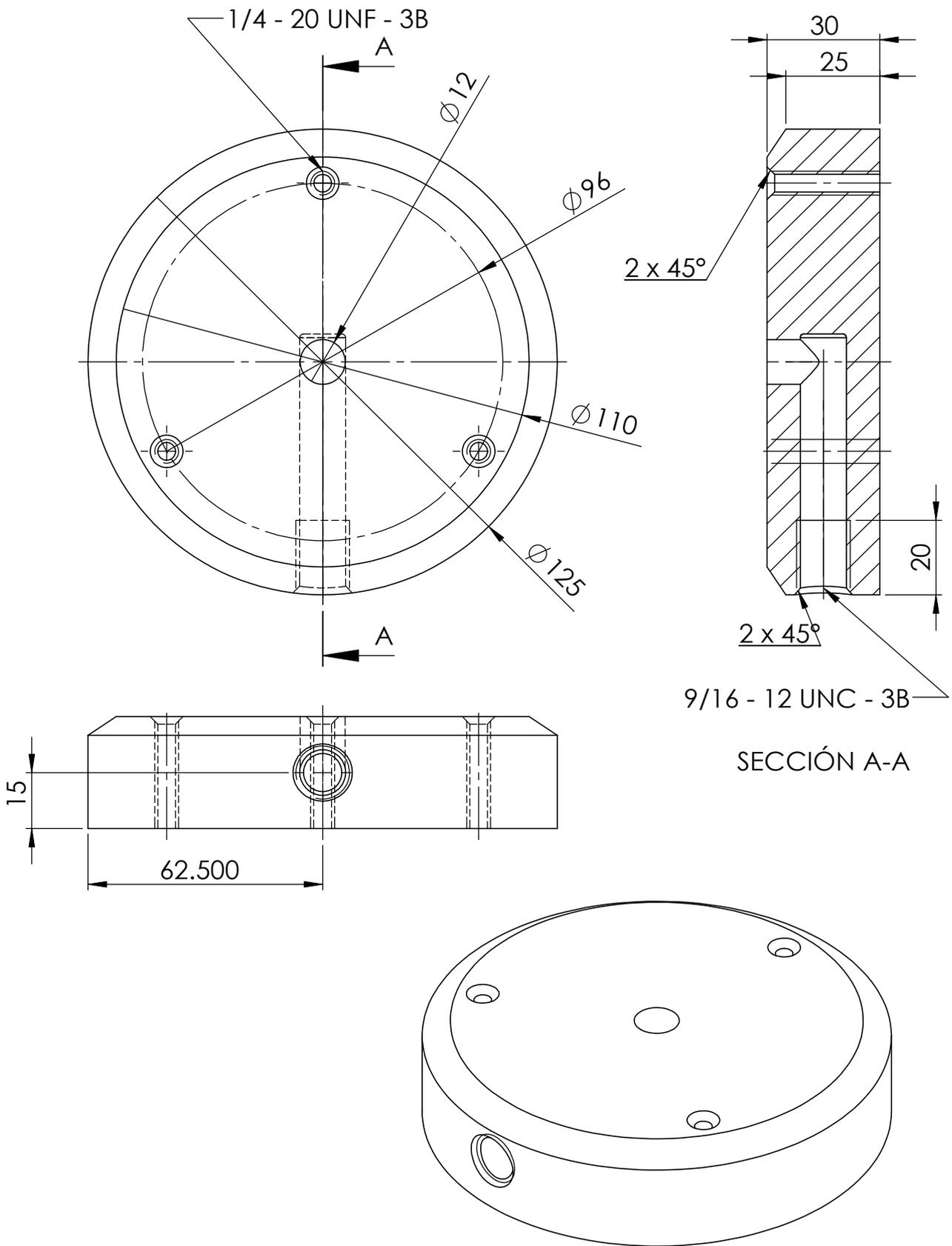
intervención humana posible. Mientras esto sucede observaremos el barómetro midiendo las variaciones de altura de la columna de agua que se producen.

Retomando la fórmula antes mencionada, los datos fijos serán la sección de la probeta y su altura, y también el volumen efectivo que proporciona el inflador.

$$H = 5.08 \text{ cm}$$

$$S = \frac{\pi * (5.08)^2}{4} = 20.268 \text{ cm}^2$$

$$V = \frac{\pi * (3.6)^2}{4} * 45 = 458.044 \text{ cm}^3$$



	fecha	nombre
revisado		
dibujado		

UNIVERSIDAD de PIURA

PROGRAMA ACADEMICO de INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

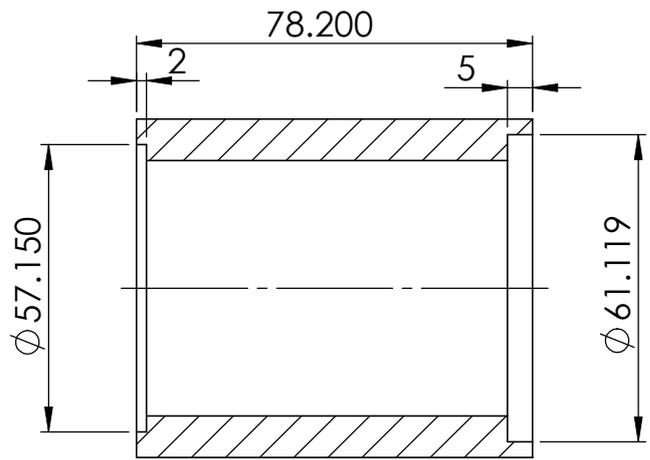
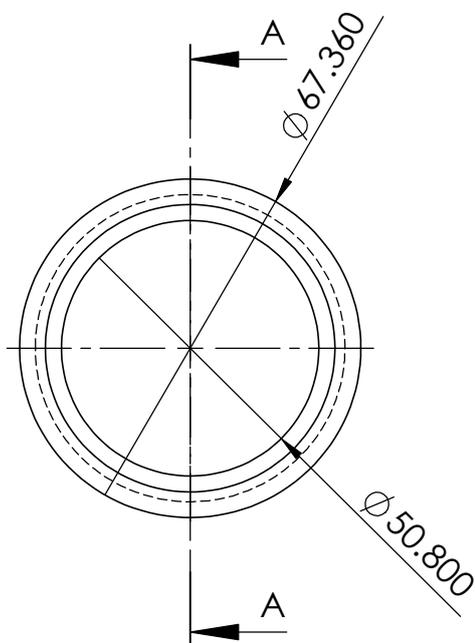
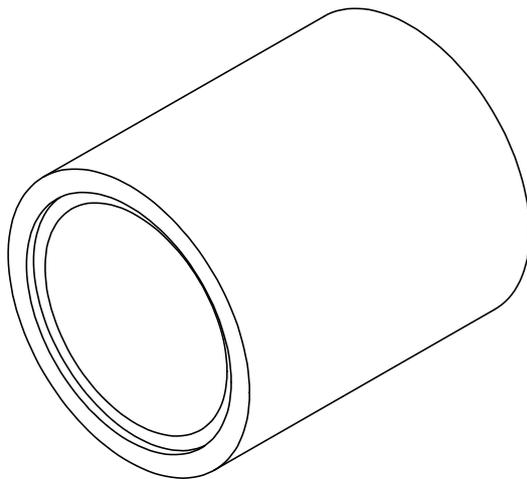
Caracterización de las tierras de moldeo de El Porvenir de la provincia de Sullana

Julio César Ordinola Castillo

Base de cámara de permeabilidad

ESCALA
2:3

PLANO
N° D-1



SECCIÓN A-A

	fecha	nombre
revisado		
dibujado		

UNIVERSIDAD de PIURA

PROGRAMA ACADEMICO de INGENIERIA MECANICO ELECTRICA

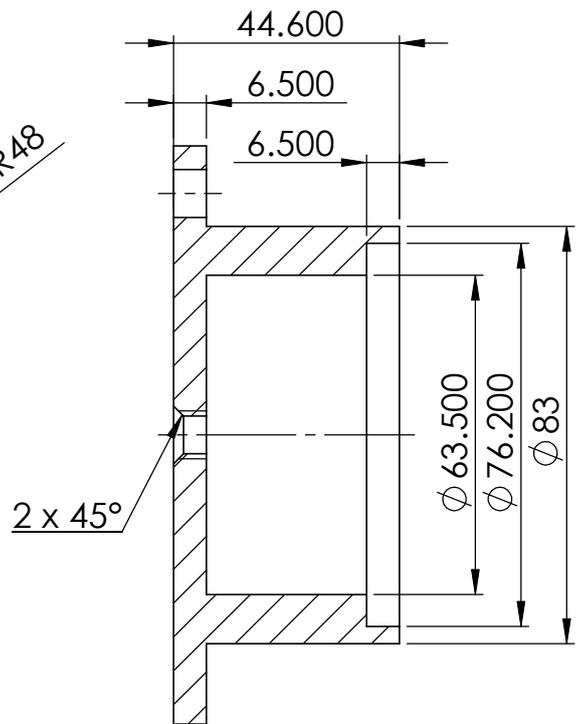
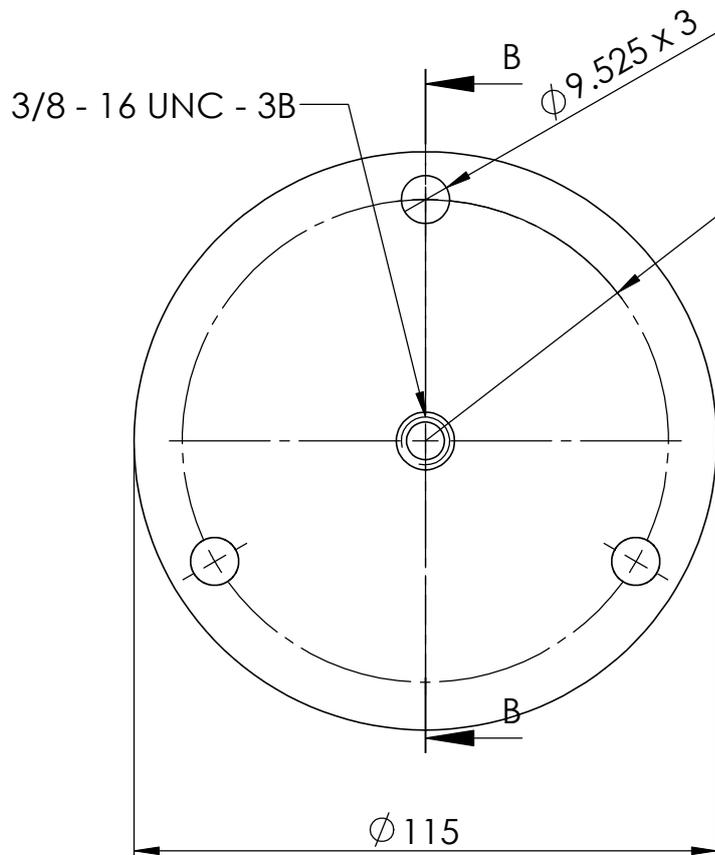
Caracterización de las tierras de moldeo de El Porvenir de la provincia de Sullana

Julio César Ordinola Castillo

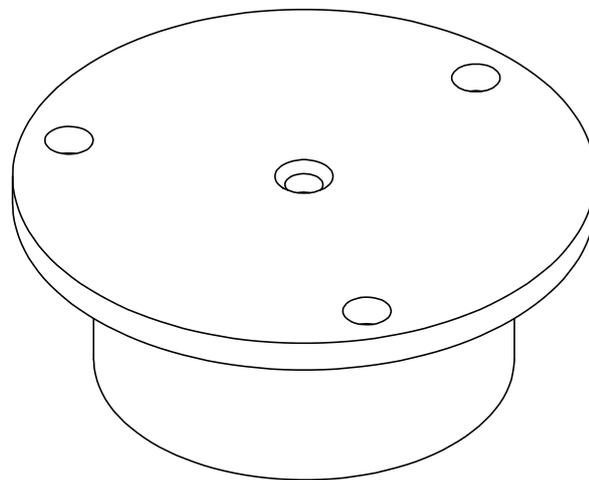
Cilindro de Confinamiento

ESCALA 2:3

PLANO N° D-2



SECCIÓN B-B



	fecha	nombre
revisado		
dibujado		

UNIVERSIDAD de PIURA

PROGRAMA ACADEMICO de INGENIERIA MECANICO ELECTRICA

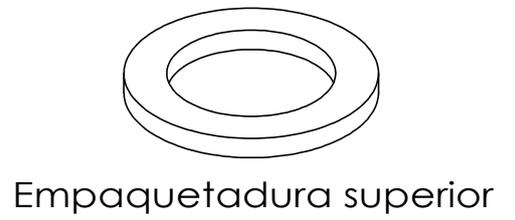
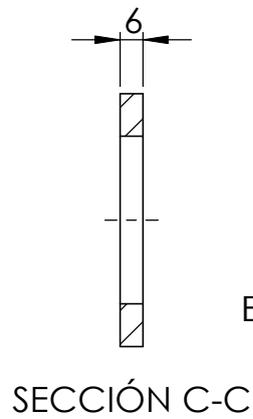
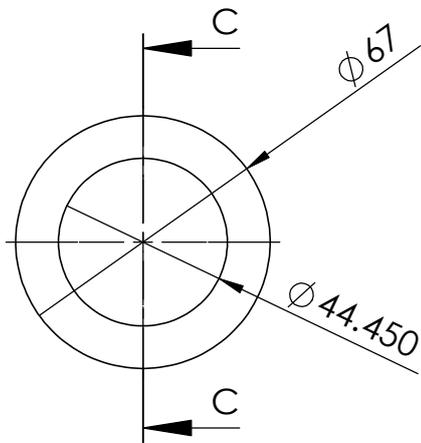
Caracterización de las tierras de moldeo de El Porvenir de la provincia de Sullana

Julio César Ordinola Castillo

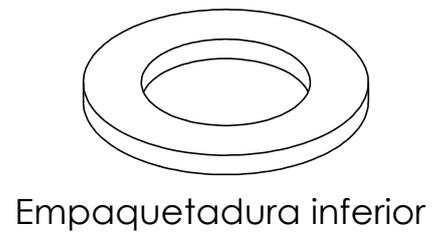
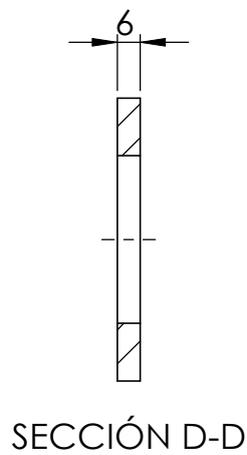
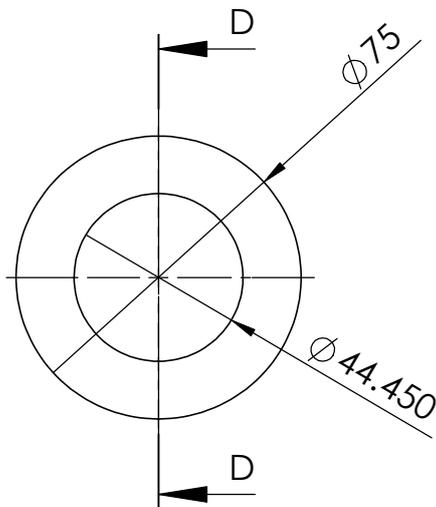
Tapa de cámara de permeabilidad

ESCALA
2:3

PLANO
N° D-3



Empaquetadura superior



Empaquetadura inferior

	fecha	nombre
revisado		
dibujado		

UNIVERSIDAD de PIURA

PROGRAMA ACADEMICO de INGENIERIA MECANICO ELECTRICA

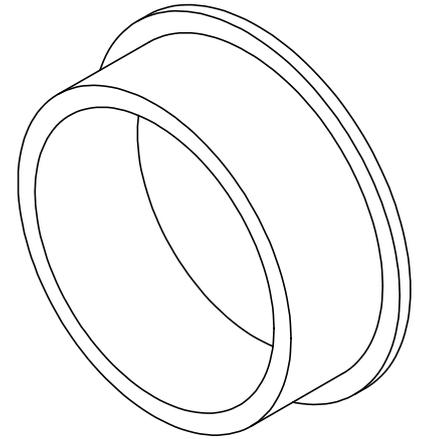
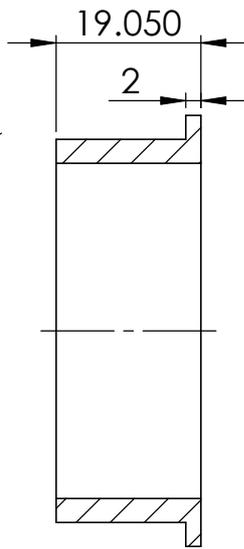
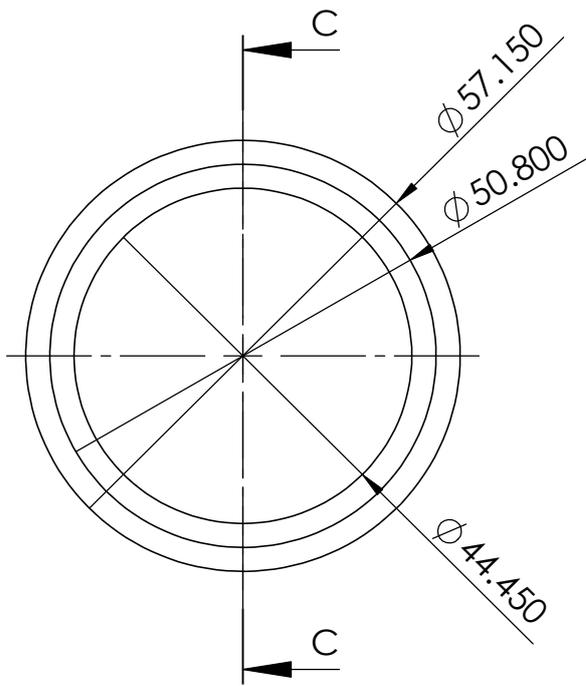
Caracterización de las tierras de moldeo de El Porvenir de la provincia de Sullana

Julio César Ordinola Castillo

Empaquetaduras

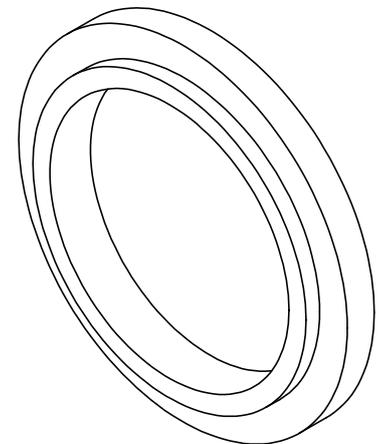
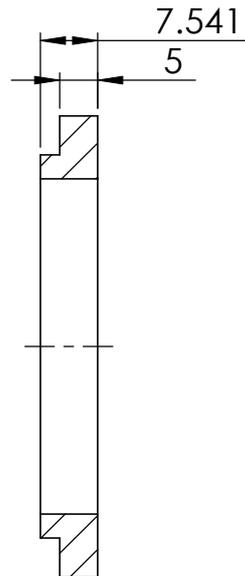
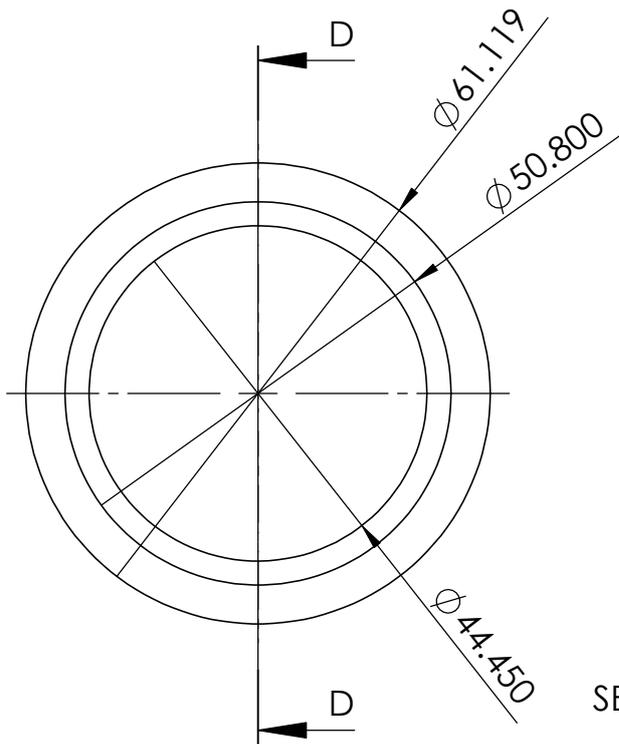
ESCALA
1:2

PLANO
N° D-4



Tope inferior

SECCIÓN C-C



Tope superior

SECCIÓN D-D

	fecha	nombre
revisado		
dibujado		

UNIVERSIDAD de PIURA

PROGRAMA ACADEMICO de INGENIERIA MECANICO ELECTRICA

Caracterización de las tierras de moldeo de El Porvenir de la provincia de Sullana

Julio César Ordinola Castillo

Topes

ESCALA
1:1

PLANO
N° D-5

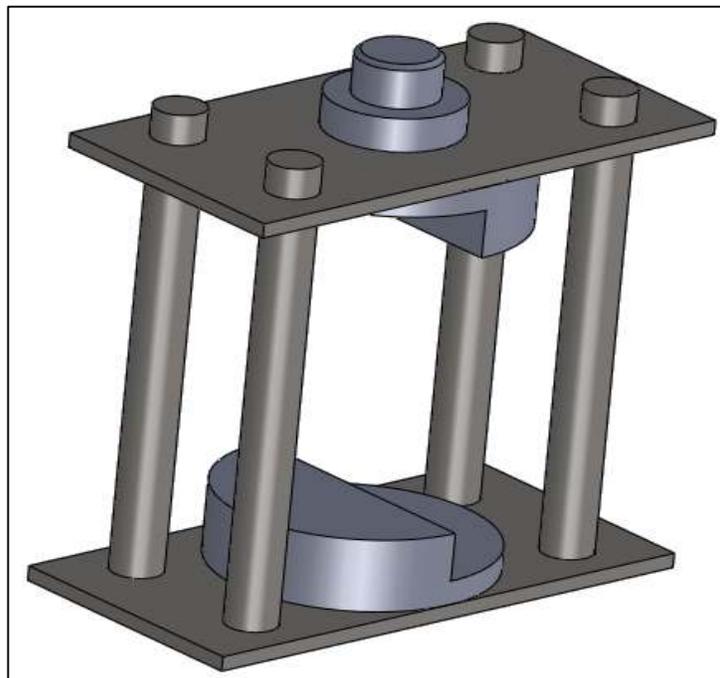
Anexo E

Accesorio para sistema de corte

El objetivo del sistema de corte es someter a la probeta con dimensiones estandarizadas a un esfuerzo de corte en dirección a su eje, paralelo a la dirección de compactación.

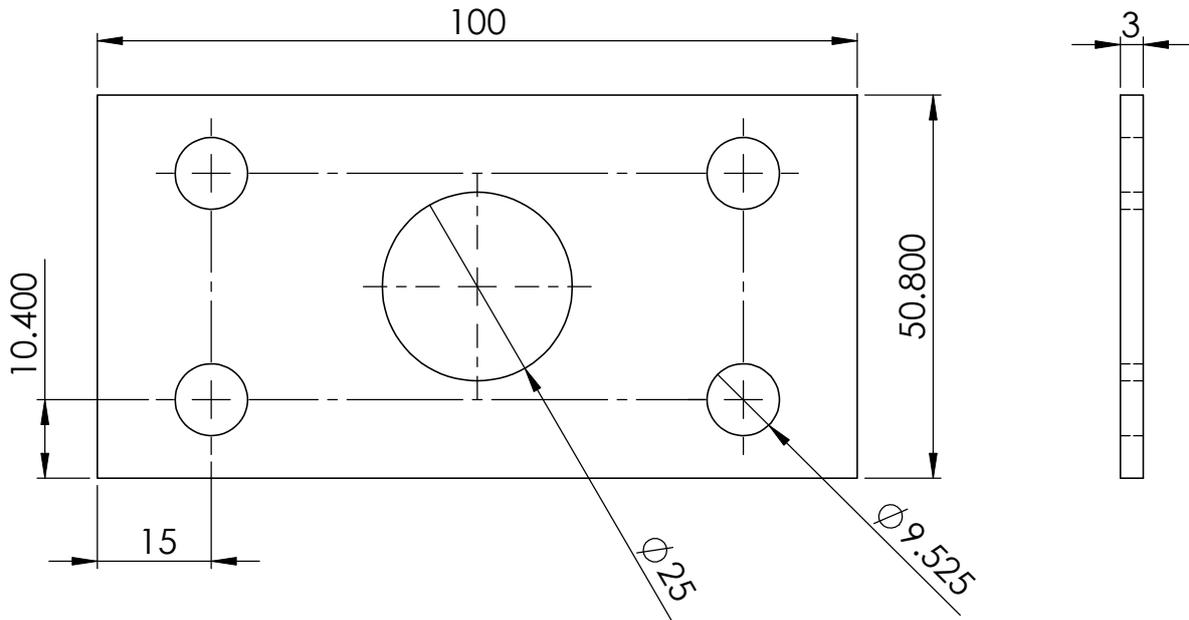
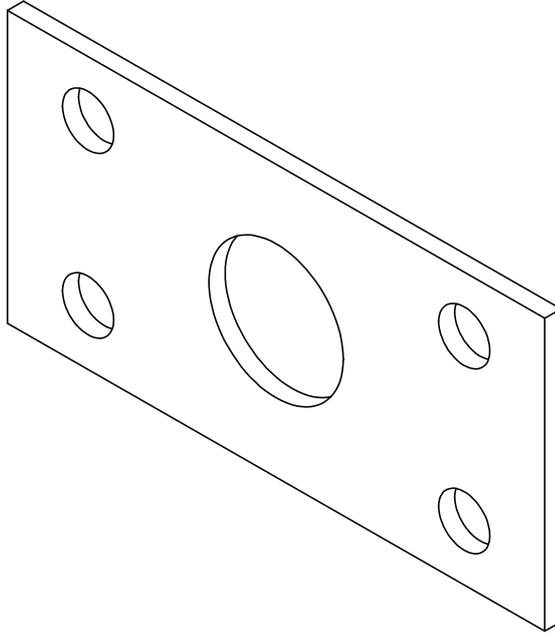
Básicamente se aplicará el mismo procedimiento que se aplicó en el ensayo de compresión para la medición de carga y deformación. A continuación se observa el sistema de corte en la figura E.1.

Figura E.1: Sistema de corte



El área sometida al esfuerzo de corte será expresada por:

$$A = 5.08^2 = 25.8064 \text{ cm}^2$$



	fecha	nombre
revisado		
dibujado		

UNIVERSIDAD de PIURA

PROGRAMA ACADEMICO de INGENIERIA MECANICO ELECTRICA

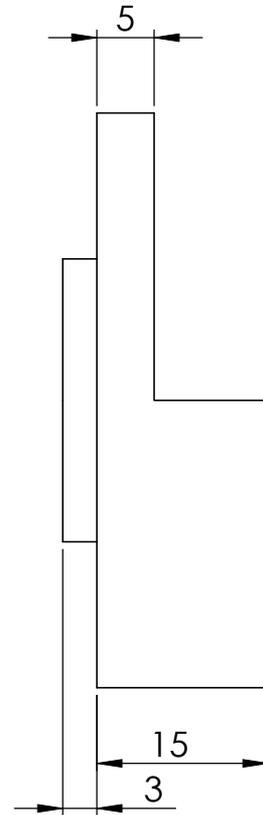
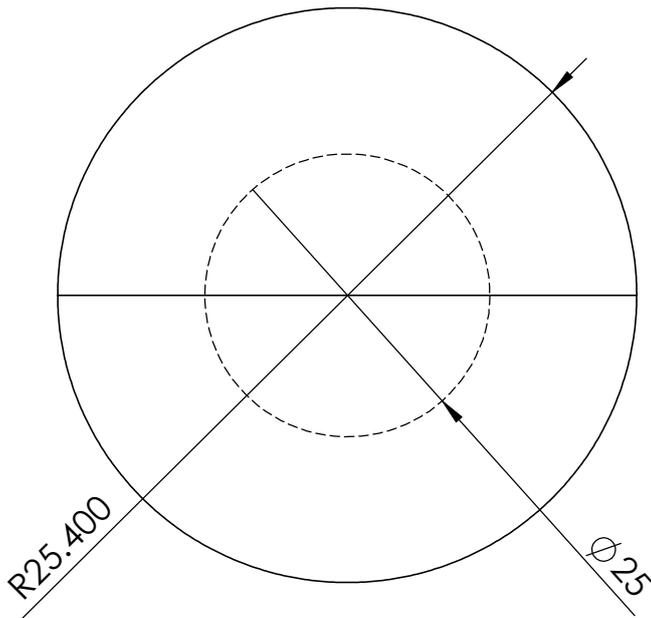
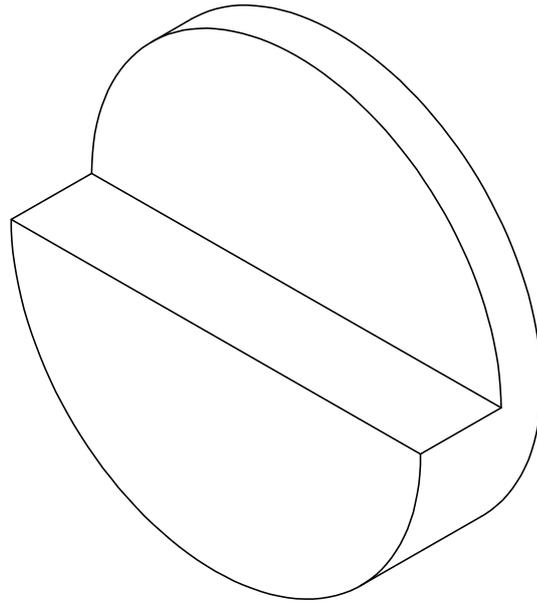
Caracterización de las tierras de moldeo
de El Porvenir de la provincia de Sullana

Julio César Ordinola Castillo

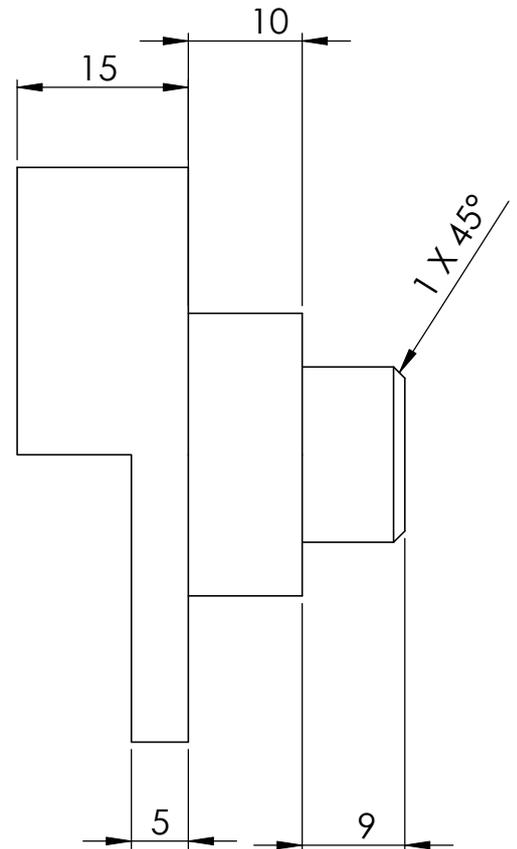
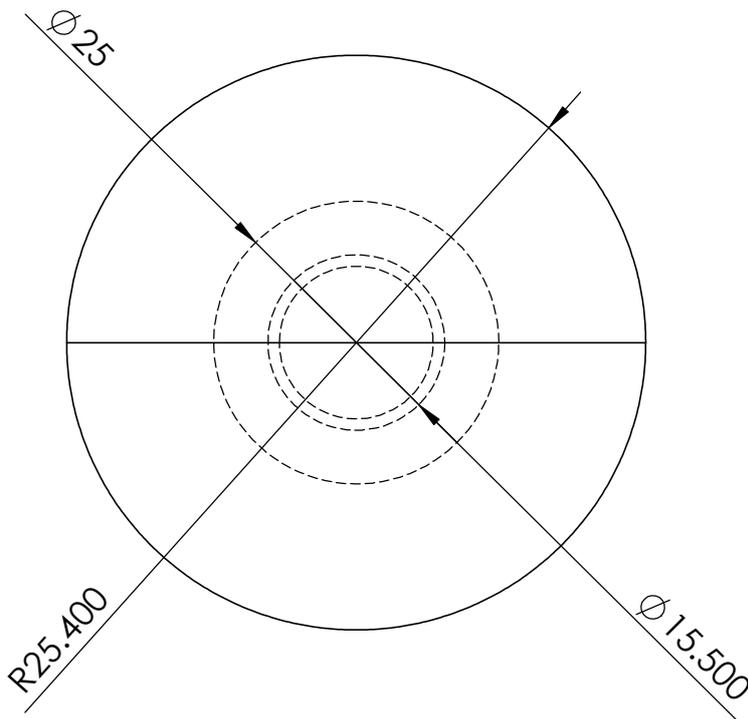
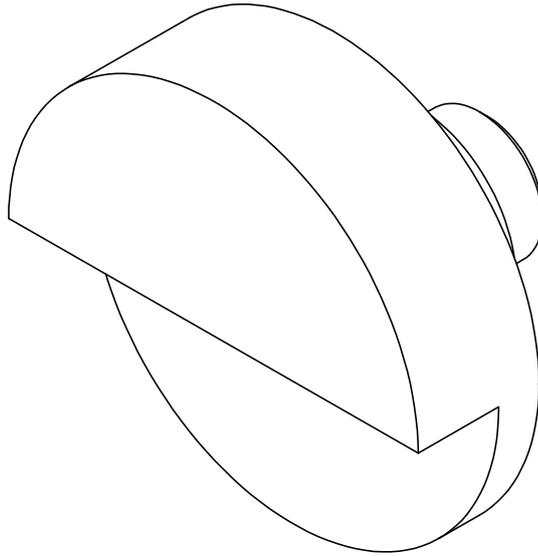
Soporte de
corte

ESCALA
1:1

PLANO
N° E-1



	fecha	nombre	UNIVERSIDAD de PIURA PROGRAMA ACADEMICO de INGENIERIA MECANICO ELECTRICA
revisado			
dibujado			
Caracterización de las tierras de moldeo de El Porvenir de la provincia de Sullana			ESCALA 3:2
Julio César Ordinola Castillo			Acople inferior
			PLANO N° E-2



	fecha	nombre
revisado		
dibujado		

UNIVERSIDAD de PIURA

PROGRAMA ACADEMICO de INGENIERIA MECANICO ELECTRICA

Caracterización de las tierras de moldeo de El Porvenir de la provincia de Sullana

Julio César Ordinola Castillo

Acople superior

ESCALA
3:2

PLANO
N° E-3

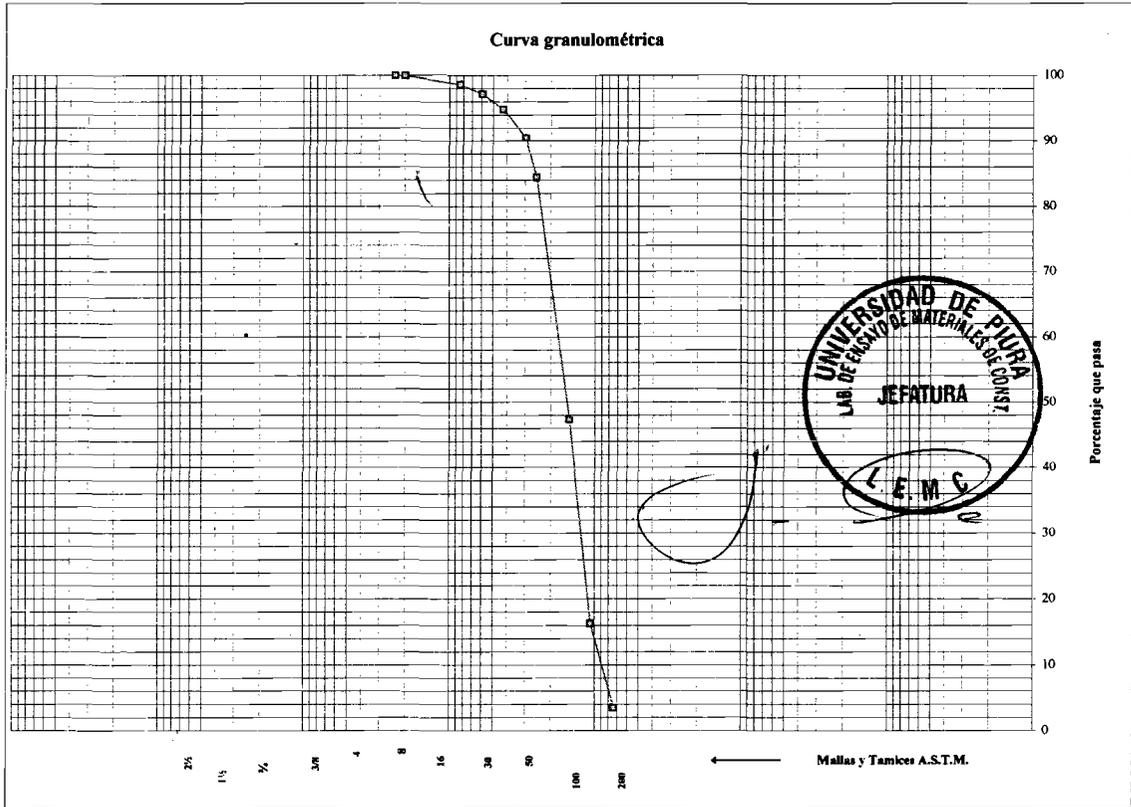


UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

METODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
Norma Técnica : NTP - 339 - 128 - 1999

OBRA : TESIS - CARACTERIZACION DE LAS TIERRAS DE MOLDEO DEL PORVENIR DE LA PROVINCIA DE SULLANA ORDEN DE SERVICIO N°: 13270
SOLICITANTE : JULIO CESAR ORDINOLA CASTILLO UBICACIÓN : SULLANA MUESTREO REALIZADO POR : El solicitante

Abertura (mm)	Tamiz ASTM	Contenido (g)	Retenido Parcial %	Retenido Total %	Pasa %
12,7	1/2				
9,525	3/8				
4,76	4				
2,33	8	0,00	0,00	0,00	100
2	10	0,20	0,06	0,06	100
0,84	20	4,20	1,34	1,41	99
1,19	30	4,60	1,47	2,88	97
0,425	40	7,20	2,30	5,18	95
0,297	50	13,70	4,38	9,56	90
0,25	60	18,90	6,04	15,60	84
0,149	100	115,90	37,04	52,64	47
0,106	140	97,30	31,10	83,73	16
0,074	200	40,10	12,82	96,55	3
	Fondo	9,80			
	Total	311,90			
	Peso Inic.	312,90			
	Pérdida	1,00			



INFORME N°: 111088
FECHA DE ANALISIS: 16-05-11
OPERADOR: Téc. Guadalupe Ruiz P.

DESCRIPCION DE MUESTRA : Arena pobremente graduada (SP).
Presenta 97 % de arena fina pobremente graduada $C_u=2,20$ $C_c=0,92$ y 3 % de finos limosos no plásticos.
Muestra de color marrón olivo claro. Procedente de la cantera El Porvenir - Sullana.