

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas**

Optimización del proceso de fundición de aluminio para reducir los defectos en piezas artesanales mediante la sustitución de la arena de moldeo e implementación de desgasificante en la colada.

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Químico**

Presentado por:

Daniela Lisseth Hidalgo Enríquez

Diana Angelica Velastegui Nieve

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme llegar a este momento que es muy importante para mi formación profesional, a mi madre Rosa Enriquez que me ha escuchado y ha estado conmigo en los malos y buenos momentos, a mi padre Jairo Hidalgo que a pesar de nuestra distancia física nunca me ha dejado sola y ha sido sin duda mi ejemplo profesional. A mis abuelos que nunca dejaron de cuidarme y creer en mis capacidades, a mis hermanos Anahí y Ariel que fueron el motivo por el cual me esforzaba cada día, para que vean en mi un ejemplo a seguir. A mis amigos Hayliz, Dayana, Fernando, Ademir, Paul, Pablo, Mayuber, Jairo, “ladys de química” por ser incondicionales en cada momento lejos de mi familia y que hecho de esta experiencia la mejor.

Daniela Lisseth Hidalgo Enriquez

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios principalmente porque me protegió en todo momento y me dio la sabiduría para cumplir una meta más en mi vida. A mi madre Seledina Nieve Arroyo a mis abuelos Felisa Arroyo e Ítalo Nieve que fueron mi inspiración principal, sin ellos nada de esto fuera posible, por siempre sentirse orgullosos de mí y darme su apoyo incondicional en todo momento. A mi hermana Felisa Velastegui que me acompañó en todo este proceso siendo mi compañía idónea, tíos y primos que han estado conmigo en cada etapa de mi vida, gracias por acompañarme en cada fecha especial. A mis amigos Shakira, Cesar, Josué, María, Mauricio y a las “Ladys de química” que hicieron de mi paso por la universidad una experiencia maravillosa, compartiendo tantos momentos de conocimiento, alegrías, tristezas y por ser incondicionales, a la familia Valencia Iturralde por abrirme las puertas de su casa tan amablemente cuando realice mis pasantías y apoyarme siempre, a todas aquellas personas que no he mencionado pero que estuvieron apoyándome durante estos cinco años para que mi sueño se haga realidad.

Gracias a todos

Diana Angelica Velastegui Nieve

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestro más sincero agradecimiento a nuestra tutora de tesis ingeniera Francesca Escala por toda la colaboración brindada, antes, durante y después de la presentación de este proyecto.

Al abogado Xavier Dalmau por abrirnos las puertas de su empresa para poder realizar este proyecto, gracias por el apoyo que el mismo tuvo y la importancia que este represento para la empresa.

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Daniela Lisseth Hidalgo Enríquez; Diana Angelica Velastegui Nieve* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOLE realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Daniela Hidalgo

Autor 1

Autor 2

## EVALUADORES



**Francesca Escala Benites**

PROFESOR TUTOR



T [ ç ] K P ^ Á  
! ^ ç ã ã [ Á • ç Á  
â [ & { ^ } ç  
Ø ^ & @ # G C F E I E G  
J Ä C K H E I K E E

**Joan Vera Villalobos**

PROFESOR COTUTOR

NADIA MAGALY  
FLORES  
MANRIQUE

Firmado digitalmente por  
NADIA MAGALY FLORES  
MANRIQUE  
Fecha: 2021.09.22 15:28:54  
-05'00'

**Nadia Flores Manrique**

PROFESOR DE LA MATERIA

## RESUMEN

La fundición de aluminio artesanal es el proceso más utilizado debido a su baja inversión. Este proyecto tiene como objetivo optimizar dicho proceso, sustituyendo la arena de moldeo y desgasificando la colada de aluminio. Así se garantizan las propiedades de cohesión necesarias para la reducción de defectos superficiales de las piezas finales.

Para la elaboración de este proyecto fueron necesarias 4 fases, en la primera se recabó información del proceso, en la segunda fase se realizaron ensayos fisicoquímicos de humedad, gravimetría, determinación de arcilla para diferentes composiciones de arena verde, en la tercera fase se dio la experimentación in situ basada en UNE-EN 12890, utilizando el diseño con posprueba únicamente y grupo de control. Para obtener respuestas cuantitativas y de correlación se usó el modelo de regresión logística binaria. En la cuarta fase, se realizó un análisis termogravimétrico, para brindar una propuesta de recirculación. Finalmente se implementó un desgasificante químico a la colada con la finalidad de reducir el hidrógeno.

Como resultado se obtuvo un 79.1667% de datos correctos y un  $p < 0.5$  lo que es suficiente para ajustar un modelo, obteniendo las siguientes proporciones óptimas, para piezas C3, 12.72% de bentonita, 84.84% de arena sílice y 2.44% de agua; mientras que para piezas C2, la proporción fue 9.6% de bentonita, 87.96% de arena sílice y 2.44% de agua. En el TG se evidenció una pérdida de masa de aproximadamente el 0.020% por lo que se propuso la sustitución de esta con bentonita nueva, considerando un tiempo de recirculación de dos años de trabajo.

**Palabras Clave:** Bentonita, Desgasificante, Fundición, Arena de moldeo

## **ABSTRACT**

*Artisan casting is the most used process for aluminum casting due to its low investment. This project aims to optimize the aluminum casting process by substituting molding sand and degassing the aluminum casting, guaranteeing the necessary cohesion properties to reduce surface defects in the final parts.*

*For the elaboration of this project, 4 phases were necessary, the first one was used to collect information on the process, for the second phase, physicochemical tests of humidity, gravimetry, and clay determination were carried out for different compositions of green sand, in the third phase there was In situ experimentation using the Spanish standard UNE-EN 12890 and as an experimental design the so-called “design with only post-test and control group” to obtain quantitative and correlation responses, the binary logistic regression model was used. In the fourth phase, a thermogravimetric analysis was carried out, to provide a recirculation proposal, finally a chemical degasser was implemented in the laundry to reduce hydrogen.*

*As a result, 79.1667% correct data and a  $p < 0.5$  were obtained, which is enough to fit a model, obtaining the following optimal proportions, for C3 pieces 12.72% bentonite, 84.84% silica sand and 2.44% water while that for C2 pieces the proportion was 9.6% bentonite, 87.96% silica sand and 2.44%. In the TG, a mass loss of approximately 0.020% was evidenced, which is why it was proposed to replace this with new bentonite, considering a recirculation time of two years of work.*

**Key Words:** *Bentonite, Degasser, Foundry, Molding Sand*

# ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	6
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
CAPÍTULO 1.....	10
1. INTRODUCCIÓN .....	10
1.1 Descripción del problema.....	10
1.1.1 Restricciones.....	10
1.1.2 Hipótesis.....	11
1.2 Justificación del problema.....	11
1.3 Objetivos.....	12
1.3.1 Objetivo General.....	12
1.3.2 Objetivos Específicos .....	12
1.4 Marco Teórico .....	13
1.4.1 Antecedentes en Ecuador.....	13
1.4.2 Normativas vigentes para la fundición en Ecuador.....	13
1.4.3 Moldes de Arena y sus Características .....	14
1.4.4 Materiales básicos .....	15
1.4.5 Características de la arena verde .....	17
1.4.6 Características de la colada de aluminio .....	19
1.4.7 Solidificación.....	19

1.4.8	Defectos en piezas de aluminio fundidas artesanalmente .....	19
1.4.9	Tratamiento de desgasificación.....	20
CAPÍTULO 2.....		22
2.	METODOLOGÍA.....	22
2.1	Enfoque .....	22
2.2	Primera fase.....	22
2.2.1	Proceso de fundición .....	22
2.2.2	Levantamiento de Información .....	25
2.2.3	Población y muestra .....	26
2.3	Segunda fase.....	26
2.3.1	Caracterización de la materia prima por XRD .....	26
2.3.2	Análisis Físicoquímico de arenas de moldeo experimentales .....	27
2.4	Tercera fase .....	30
2.4.1	Diseño Experimental.....	30
2.4.2	Composiciones de la arena verde.....	31
2.4.3	Modelo de regresión logística binaria .....	34
2.4.4	Modelo logístico binario en Excel.....	34
2.5	Cuarta fase.....	35
2.5.1	Análisis termogravimétrico .....	35
2.5.2	Implementación de descalcificante a la colada .....	36
CAPÍTULO 3.....		38
3.	resultados y análisis.....	38
3.1	Resultados de la caracterización de la materia prima.....	38
3.1.1	Caracterización de tierra arcillosa .....	38
3.1.2	Caracterización de arena sílice .....	39
3.1.3	Caracterización del aglutinante bentonita sódica .....	40
3.2	Análisis de la caracterización de la materia prima .....	40
3.3	Resultados y Análisis físicoquímicos de las arenas de moldeo .....	41

3.3.1	Resultado y análisis de la determinación de Humedad.....	41
3.3.2	Resultado y análisis de la determinación de Arcilla .....	42
3.3.3	Resultado y análisis de la determinación de granulometría .....	42
3.4	Resultados del diseño experimental .....	44
3.4.1	Resultados cualitativos .....	44
3.5	Análisis del diseño experimental.....	47
3.6	Resultado termogravimétrico .....	47
3.7	Análisis termogravimétrico .....	48
3.8	Resultados y análisis del uso de desgasificante .....	50
3.8.1	Resultados y análisis por componente.....	50
CAPÍTULO 4.....		51
4.	Conclusiones Y Recomendaciones .....	51
4.1	Conclusiones.....	51
4.2	Recomendaciones .....	53
Bibliografía.....		55
Anexos .....		57

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
UNE	Asociación Española de Normalización
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
LEMAT	Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales
DRX	Difractómetro de rayos X
TG	Termogravimetría
EPP	Equipos de protección personal

## SIMBOLOGÍA

g	Gramo
mm	Milímetro
ml	Mililitro
L	Litro
Lb	Libra
Al	Aluminio
NaCl	Cloruro de sodio
NaClO	Hipoclorito sódico
H	Hidrogeno
SiO <sub>2</sub>	Oxido de sílice
Min	Minutos
O <sup>2-</sup>	Ion de Oxígeno
OH <sup>-</sup>	Ion hidroxilo
Al <sup>3</sup>	Ion aluminio
Mg <sup>2+</sup>	Ion Magnesio
Fe <sup>2+</sup>	Ion Hierro
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Carbonato de sodio
H <sub>2</sub> O	Agua
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxido de aluminio
NaOH	Hidróxido de sodio

## ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1.1 Disposición de las bicapas cristalinas AB en la estructura de la caolinita. Bisbal et al.,2015 .....	16
Ilustración 1.2 Estructura cristalina de la montmorillonita hidratada. Bisbal et al.,2015.	17
Ilustración 2.1 Factores importantes en el proceso de fundición .....	26
Ilustración 2.2 Muestra a ensayar.....	27
Ilustración 2.3 Determinación de arcilla .....	29
Ilustración 2.4 Equipos para la determinación de granulometría .....	30
Ilustración 2.5 Moldes de arena.....	32
Ilustración 2.6 Modelado de logística binaria por real estadísticas .....	35
Ilustración 2.7 Muestra a ensayar para análisis termogravimétrico .....	36
Ilustración 3.1 Análisis cuantitativo de la muestra .....	39
Ilustración 3.2 Análisis metalográfico.....	45
Ilustración 3.3 Análisis termogravimétrico y análisis Técnico Diferencial .....	48
Ilustración 3.4 Descomposición de bentonita por fundición diaria .....	49
Ilustración 3.5 Resultado del uso de desgasificante en la colada.....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Normativa INEN para piezas de aluminio [ (INEN, 2017) ] .....	13
Tabla 1.2 Clasificación de la arena según su tamaño [ (Betancourt, 2012)].....	17
Tabla 2.1 Resultado observacional de investigación de campo .....	22
Tabla 2.2 Ensayos y proporciones experimentadas .....	32
Tabla 2.3 Variable de respuestas para modelo de regresión logística .....	33
Tabla 3.1 Resultados de la Difractometría de rayos X.....	38
Tabla 3.2 Análisis químico de arena sílice (Export, 2020) .....	39
Tabla 3.3 Análisis físico de arena sílice. (Export, 2020) .....	39
Tabla 3.4 Análisis químico de bentonita (Export, 2020).....	40
Tabla 3.5 Análisis físico de bentonita (Export, 2020).....	40
Tabla 3.6 Determinación de humedad.....	41
Tabla 3.7 Determinación de arcilla .....	42
Tabla 3.8 Datos de la determinación de granulometría .....	43
Tabla 3.9 Resultados de datos en regresión logística binaria .....	45
Tabla 3.10 Análisis estadísticos del modelo .....	46
Tabla 3.11 Variables independientes modeladas .....	47
Tabla 3.12 Recirculación de bentonita para piezas grandes C3.....	49
Tabla 3.13 Recirculación de bentonita para piezas pequeñas C2.....	49

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Descripción del problema

En el Ecuador, las empresas de pequeña y mediana industria realizan la fundición de aluminio reciclado para la elaboración de piezas artesanales. Estas se las elaboran utilizando arena de moldeo debido a la versatilidad al moldear piezas detalladas y su propiedad refractaria resultando un proceso más económico que el industrial, ideal para las empresas que trabajan con producciones mínimas y personalizadas, permitiendo realizar cualquier tipo de modelos con poco capital (Galván, 2009).

Los resultados del proyecto permitirán mejorar la calidad de los productos artesanales de la fábrica de muebles en estudio, para su posterior comercialización y exportación. La empresa ha venido presentando desde hace varios años, inconvenientes con la estética de las piezas en su proceso de fundición tales como: porosidad, incrustaciones, desgasificación, sopladuras, juntas frías, rechupes, costras, gránulos fríos. Por esta razón, este trabajo busca optimizar el proceso sin elevar el coste de producción actual y sin modificar por completo el proceso.

Los defectos antes mencionados son los que se presentan con más frecuencia en las fundiciones de aluminio artesanal, convirtiéndose en un problema que disminuye la calidad solicitada por el cliente cuando sus defectos son muy notables. Una de las variables principales a tratar es la humedad no uniforme en el molde, lo que provoca que al estar en contacto con la colada produzca una evaporación de gases y que al enfriarse genere poros en la fundición, esto quiere decir que se debe corregir la mezcla de arena de moldeo, sustituirla por una que contenga humedad uniforme y que el proceso sea controlado.

El presente estudio se fundamenta en encontrar una solución viable y sostenible para la empresa, mejorando el proceso de fundición y así lograr la reducción de los defectos que presentan las piezas, aplicando las cantidades necesarias de materia prima según el proceso y fuentes de información secundaria.

#### 1.1.1 Restricciones

La empresa de estudio requiere mejorar la calidad de sus productos para su posterior comercialización, debido a que hace varios años ha venido presentado en su proceso de

fundición artesanal inconvenientes con la estética de las piezas de aluminio, esto se ha convertido en un reto para la empresa que tiene como objetivo fabricar muebles y accesorios utilizados para la decoración de interiores de forma personalizada, con acabados 100% originales y exclusivos de la más alta calidad.

Uno de los aspectos importantes a considerar según los operadores, que tienen más de 15 años de experiencia trabajando en esta área, sería la reutilización indefinida de la tierra caliza, la misma que se utiliza en la actualidad y que deben humedecerla constantemente para que conserve las propiedades necesarias y condiciones óptimas al momento de realizar los moldes que dan la forma al producto final. En el proceso de fundición se generan escorias en la colada por el desconocimiento de aditivos en el material reciclado o chatarra, que muchas veces son aleaciones desconocidas que poseen temperaturas de fundición diferentes entre sí, por lo que se basan en características que esta presenta, por ejemplo: color final (rojo naranja), espesor, apariencia visual en el proceso de endurecimiento de las piezas.

Basado en la normativa técnica ecuatoriana INEN 2250 (2017), las imperfecciones superficiales que se deben reducir en el producto final son: manchas, rayas pronunciadas, porosidad excesiva, diferencia de tonos, etc. Además, como restricción principal esta la sostenibilidad que involucra economía, ambiente y sociedad de la empresa, ya que explícitamente se solicita que el costo para resolver este problema sea el más económico posible, este pedido se justifica debido a que durante años la empresa ha gastado recursos en materiales e implantación física y personal tratando de buscar una solución al problema.

### **1.1.2 Hipótesis**

La humedad, composición y propiedades morfológicas en la arena de moldeo, influyen de manera directa en las propiedades físicas y mecánicas de las piezas terminadas.

## **1.2 Justificación del problema**

A través de los años se han implementado varias técnicas de fundición artesanal para reducir imperfecciones como: el uso de Argón para retirar la escoria antes de verter la colada en la arena de moldeo, el uso de cloro para la purificación de la colada en el horno, implementación de crisol en el horno para evitar la presencia de escoria en el baño caliente, el uso de matrices de hierro fundido que reemplazaría la arena de moldeo. Según lo comentado por el gerente general de la empresa, ninguna de estas alternativas ha tenido un buen resultado ya sea por la persistencia del problema, y otras que no

resultaron económicamente viables como por ejemplo la implementación de matrices que fue una solución óptima para mejorar las características estéticas de las piezas, pero significa un gasto excesivo porque la empresa de estudio trabaja con diseños exclusivos que muy pocas veces se pueden repetir, motivo por el cual las matrices quedarían obsoletas.

Por años se ha pensado que al mejorar la calidad se deberían aumentar los costos de producción o a su vez disminuir dicha producción, pero en la actualidad la calidad es un factor sumamente importante que puede compensar su inversión, reduciendo tiempos de producción, manos de obra y reduciendo los materiales desperdiciados. (Gutierrez, 1989) Para implementar un proceso de gestión de calidad es necesario debido a que esta es la impresión de un compromiso para satisfacer la necesidad del cliente siempre cuantificable y medible, que se evidencia en la conformidad que tiene el producto, según Gutiérrez (1989), el cliente espera que el producto artesanal cumpla con los siguientes parámetros: función para la cual fue creado, larga duración del producto, garantía, precio razonable. Para empresas como la del presente estudio, la calidad es una carta de presentación debido a que ellos diseñan y fabrican muebles, accesorios personalizados con conceptos únicos. Su experiencia ha marcado tendencia en la decoración de interiores por más de 45 años. Por lo mencionado, la empresa tiene el interés de adaptar un control de calidad en el área de fundición en el actual proceso ya que es totalmente primitivo y carece de tecnologías.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Optimizar el proceso de fundición de aluminio mediante la sustitución de la arena de moldeo por arena verde.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Correlacionar el proceso de fundición desarrollado en la empresa de estudio con los procesos y estudios detallados en la literatura, encontrando la composición óptima de arena verde.
- Comparar los resultados cualitativos de experimentación con los resultados de caracterización y ensayos físico-químicos de la materia prima.
- Analizar la degradación de la bentonita por medio de un análisis termogravimétrico, para proporcionar opciones de recirculación de la arena de moldeo.

- Elaborar una propuesta de desgasificante químico para la colada de aluminio que ayude a eliminar los gases presentes en la colada.

## 1.4 Marco Teórico

### 1.4.1 Antecedentes en Ecuador

Cuando se menciona la palabra reciclaje pensamos directamente en el plástico, pero no es el único elemento que se puede volver a utilizar creando una economía circular, la chatarra de aluminio (producida por la industria metalúrgica) ha ganado territorio en el Ecuador desde 1865 con la construcción del Ferrocarril, donde los primeros centros de fundición se ubicaron en Duran y Quito. En el periodo de 2010-2018 según el Comercio Exterior en el Ecuador cerca de \$18.489.138,17 se importaron en piezas de Aluminio (Reinoso & Marisol, 2020). Indicando claramente la existencia de la necesidad no satisfecha por la producción nacional de piezas de aluminio, si bien es cierto en Ecuador tenemos los recursos necesarios como la chatarra que es aprovechada por pocas empresas. Según Salcines, (2016) existen alrededor de 57 empresas dedicadas a la fundición en el Ecuador, que evidencian una competencia con productores extranjeros y no solo debido al precio sino a las tecnologías utilizadas en otros países.

### 1.4.2 Normativas vigentes para la fundición en Ecuador

Las normativas INEN es un conjunto de procedimientos que se implementaron desde el año 1970, adoptando un sistema de gestión de calidad, con el objetivo de satisfacer los requisitos del consumidor, estas son aplicables a todos los gobiernos locales e independientes de cualquier tipo que proporcione un producto o servicio. Así mismo contiene las directrices para el respectivo diagnostico para que los gobiernos locales evalúen el alcance de los procesos. A continuación, se detalla en la tabla 1.1 la normativa INEN aplicable al proyecto.

**Tabla 1.1 Normativa INEN para piezas de aluminio [ (INEN, 2017) ]**

NORMATIVA VIGENTE	DESCRIPCION
INEN 2250	Requisitos para piezas de aluminio, perfiles, barras, varillas, etc.
INEN 9185	Ropa de protección y evaluación de resistencia a las salpiduras de materiales fundidos.
INEN 2034	Calzado de protección frente a riesgos térmicos y salpicaduras de metal fundido, requisitos y métodos de ensayo.

INEN 663

Chatarra para fundición.

### 1.4.3 Moldes de Arena y sus Características

La fundición en arena es uno de los procesos de mayor importancia en industria de fundición, debido a la presencia de ( $\text{SiO}_2$ ) que aporta con propiedades refractarias, por lo que se pueden moldear aleaciones de aluminio e incluso fundiciones de acero, níquel y titanio. La versatilidad de este tipo de fundición se extiende desde piezas pequeñas hasta piezas grandes, yendo desde la producción de una unidad hasta la producción en masa (Hamrock, 2014).

La fundición en molde de arena consiste en verter la colada (aluminio fundido) en un molde previamente comprimido por arena con la forma deseada, moldeado a través de piezas de madera o arcilla, para luego retirar el molde partido en dos mitades y sacar la figura que le dio forma, el molde debe contener la mazarota que es la cavidad por donde ingresará la colada. En caso de que la figura a replicar contenga agujeros o huecos al interior de la pieza, se debe colocar núcleos en el molde. Según Hamrock, (2014) la arena de moldeo debe ser mezclada con agua y arcilla para adoptar una buena consistencia. Como arcilla se puede utilizar resinas orgánicas o aglutinantes inorgánicos.

#### Tipos de moldes

Existen tres tipos de moldes para la fundición en arena que son: Moldes desechables, moldes permanentes y moldes compuestos.

Los moldes desechables son aquellos que solo se pueden utilizar una sola vez y para un solo modelo de pieza por ejemplo moldes de arena, yeso y cerámica, útiles para empresas que trabajan con poca producción. Mientras que los moldes permanentes son más conocidos como matrices, son moldes metálicos generalmente de hierro fundido debido con alta resistencia a la temperatura, los moldes compuestos son las combinaciones entre distintos materiales. (Estevez Urra, 2016)

Los moldes con arena seca contienen aglutinantes orgánicos que son mezclados y preparados en un horno que va desde los  $200^{\circ}\text{C}$  a  $320^{\circ}\text{C}$ , estos moldes brindan la resistencia necesaria, dando unos mejores acabados a la pieza final, sirve para la producción a pequeña y mediana escala. La elaboración de esta mezcla genera gastos de producción debido al tiempo de secado adicional y a la mano de obra (Hamrock, 2014).

### **Calidad en el molde de arena**

Para determinar la calidad del molde se deben tomar en cuenta algunas características fundamentales para asegurar que éste, pueda conservar la forma adecuada y obtener un resultado con la calidad deseada:

1. Resistencia, capacidad para resistir altas temperaturas provenientes de la colada fundida de aluminio, en este caso de estudio.
2. Permeabilidad, se conoce como la capacidad que posea la mezcla de arena, para permitir el paso del aire y los gases que se desprenden después de verter el contenido de la fundición en el molde de arena.
3. Colapsabilidad, hace referencia a la facilidad que tiene la arena para desprenderse después de que se enfría la colada, además permite que en la fundición el metal se contraiga sin agrietarse.
4. Reciclo, se refiere a la propiedad de reutilización de la arena, para volverla a utilizar como molde para otras piezas.

#### **1.4.4 Materiales básicos**

##### **Arena de moldeo**

En el estudio realizado por Sartucha & Suarez (2005), se compararon algunas de las arenas más utilizadas para la fundición, dando como resultado para la arena sílice expansiones estructurales bruscas, lo que podría originar roturas en los moldes, sin embargo, es posible evitar esta condición usando un colchón que cubra los granos con materiales aptos para el moldeo como lo son las arcillas de moldeo. Para escoger una arena correcta es necesario considerar arenas que posean alta conductividad térmica, esta propiedad podrá aumentar el tiempo de secado y disminuir el tiempo de solidificación de la pieza fundida, que a su vez contribuyen en la reducción de los defectos causados por la contracción del material metálico como lo son los rechupes.

La arena más común utilizada en las fundiciones es la conocida arena verde que es la mezcla de arena sílice, aglutinante y agua. En el estudio comparativo del proceso de solidificación, enfriamiento y morfología con diferentes arenas de Bisbal et al.,2015; se detallan como resultados 25 min de solidificación y enfriamiento para la arena sílice y una morfología de 0.9 de esfericidad, estos datos serán utilizados en esta investigación para desarrollar el proceso experimental.

## Aglutinantes

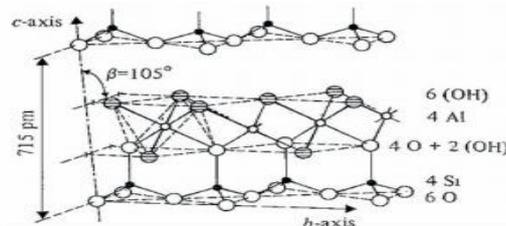
Los aglutinantes arcillosos como las arcillas refractarias, arcillas montmorilloníticas funcionan como aglutinantes, ya que, por medio de reacciones químicas tienen la capacidad de unir la mezcla, otorgando propiedades de moldeo, cohesión, dureza y resistencia en los moldes fabricados.

Los aglutinantes orgánicos como los aceites vegetales también se usan para el proceso de fundición, pero estos tienden a degradarse de manera sencilla debido a las altas temperaturas a las que se somete el molde al verter la colada.

### Estructura química de las diferentes arcillas

Las redes cristalinas se forman por el apilamiento de láminas dispuestas entre sí, constituido por agrupaciones tridimensionales de los átomos de silicio, aluminio, oxígeno, hidrógeno, dando origen a dos tipos de capa que a su vez se unen entre ellas dejando un espacio paralelo que son ocupados por otra sustancia química como moléculas de agua e iones metálicos. El primer tipo de capa es denominado tipo A, constituida por iones de  $O^{2-}$  que se disponen tetraédricamente alrededor de los cationes; las capas de tipo B son constituidas por ligandos  $O^{2-}$  y  $OH^-$  unidos en una coordinación octaédrica. Los cationes presentes en este tipo de mezclas son los siguientes  $Al^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ , para la formación de estas dos capas aparece una carga negativa disponible para la unión entre ellas, la caolinita y la montmorillonita.

La caolinita, es la unión entre la capa AB, la unión se produce mediante enlaces de hidrógeno que son lo suficientemente fuertes para impedir que las láminas de caolinita se dilaten e impidan la entrada de moléculas de agua, por esta razón apenas se hinchan a la presencia de un medio acuoso por lo que su aplicación como aglutinante queda descartada.

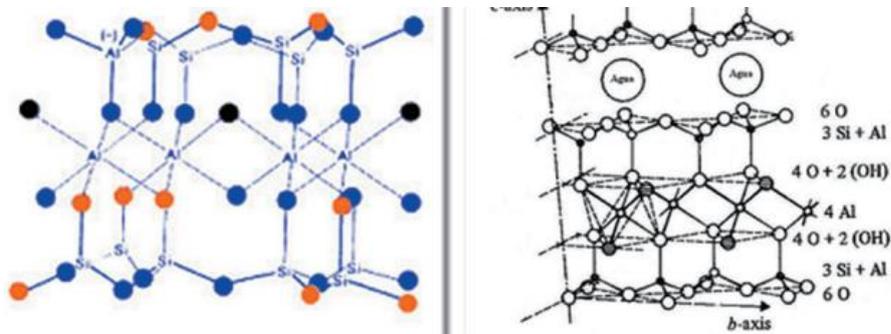


**Ilustración 1.1 Disposición de las bicapas cristalinas AB en la estructura de la caolinita.**

**Bisbal et al.,2015**

La montmorillonita, destaca entre las arcillas por su capacidad de cohesión, la fórmula química generalmente es  $[(Na,Mg)_{0.3}(Al,Mg)_2(OH)_2Si_4O_{10}]$  aunque la pureza depende

del depósito arcilloso de donde esta se obtiene. La estructura cristalina para la montmorillonita es de tres capas tipo ABA con fuerzas de atracción tipo Vander Waals, reconocidos por ser más débiles que los enlaces de hidrogeno dando lugar a apilamientos infinitos, lo que da la capacidad que tienen las arcillas para absorber agua, convirtiéndose en arcilla útiles para la fabricación de moldes de fundición. En la industria de fundición se considera esta la mejor alternativa como aglutinante con concentraciones al menos del 75% (llamadas bentonita), para el proceso de fundición se recomienda según la literatura la bentonita sódica activada con  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  para mejorar las propiedades de compactación y resistir el vertido de la colada.



**Ilustración 1.2 Estructura cristalina de la montmorillonita hidratada. Bisbal et al.,2015**

### Desmoldantes

EL grafito, carbonilla, talco o polvo de sílice se usan generalmente para evitar la adherencia entre la arena de moldeo y el modelo o la pieza, este es un elemento esencial para mejorar el acabado final de la pieza.

#### 1.4.5 Características de la arena verde

##### Granulometría

Para tener una calidad alta en la producción de arena verde se necesita tomar en cuenta la granulometría, mientras más fino sea el grano, mejor será el acabado de las piezas, para esto se puede realizar un análisis físico de granulometría para el cual se correlacionará la información con la tabla 1.2 detallada a continuación.

**Tabla 1.2 Clasificación de la arena según su tamaño [ (Betancourt, 2012)]**

Tipo de Arena	Tamaño (mm)
Muy gruesa	1-2
Gruesa	0.5-1
Media	0.25-0.5
Fina	0.1-0.25
Muy Fina	Menor 0.1

### **Resistencia a la compresión**

Al momento del vertido se hace inminente la necesidad de la resistencia a la presión del metal líquido o a la presión para crear el molde, esta propiedad depende directamente de la humedad de la arena de moldeo, pero ésta no debe sobrepasar el 7% según Betancourt, 2012 si ésta aumenta demasiado la resistencia mecánica se va perdiendo poco a poco, la resistencia puede ser afectada por la granulometría de la arena, la composición química y estructura de la arena.

### **Compactación**

Para la compactación se pueden utilizar dos métodos dependiendo del nivel de producción: para producciones altas se utilizan machos de apisonamiento, pudiendo estos ser específicos para cada modelo, mientras que para baja producción como fue el caso de este estudio se utilizaron punzones con distintas superficies de contacto, con área pequeña para transmitir energía local y punzones con área grande para un apisonamiento de menor energía. El apisonamiento fue progresivo mayor en las proximidades del modelo, dando lugar a las capas de densidad variable. Estévez Urra, 2016

### **Humedad**

El exceso de humedad afecta a todas las propiedades físicas presentes en la arena de moldeo como cohesión, permeabilidad y resistencia a la compresión, disminuyendo la capacidad de extracción de calor en los moldes, atrapando los gases contenidos en la colada. Rivas, Pineda, Argüello, & Mejía., 2015

### **Refractariedad**

Es la capacidad de un material para resistir altas temperaturas sin fundirse, en el proceso de fundición resulta necesario ya que la colada de aluminio fundida sale con una temperatura alrededor de 700°C.

### **Permeabilidad**

La permeabilidad es una de las características más importantes porque influye directamente en el aspecto físico de las piezas, esta propiedad permite evacuar los gases a través de la arena sin dañar el molde, la forma del grano es fundamental para facilitar esta propiedad, así mismo depende de la composición química de la arena. (Betancourt, 2012).

#### **1.4.6 Características de la colada de aluminio**

El aluminio líquido presenta una tendencia a absorber el hidrógeno del medio presente, para este trabajo de investigación se plantea la hipótesis de la excesiva humedad presente en la arena de moldeo actual, motivo por el cual cuando la colada entra al molde a altas temperaturas, el hidrógeno es atraído y puesto en contacto con la superficie caliente produciendo óxido de aluminio e hidrógeno. Rivas, Pineda, Argüello, & Mejía., 2015

Los gases provenientes del proceso de enfriamiento son absorbidos por la permeabilidad de la arena de moldeo, para ayudar a esta evacuación se pueden hacer pequeños orificios en las zonas del molde ayudando a que la misma no sea impedida. La mayoría de los procesos de fundición se llevan a cabo por la gravedad, es decir, la velocidad de vaciado de la colada al molde debe ser justa para evitar turbulencias, la turbulencia genera óxidos metálicos lo que dificulta el proceso de solidificación, disminuyendo la calidad de la pieza final.

#### **1.4.7 Solidificación**

Es el tiempo total que toma la solidificación del metal fundido en el interior del molde, este tiempo depende del tamaño y la forma de la fundición, así como el molde utilizado, cuando la velocidad de enfriamiento es alta se forman estructuras detríticas gruesas que a su vez incrementan la resistencia y ductilidad disminuyendo así el agrietamiento y la microporosidad. Los metales se contraen debido a sus características térmicas, lo que puede ocasionar agrietamientos o rechupes internos (Hamrock, 2014).

- Contracción líquida en el proceso de enfriamiento se da por la diferencia de densidades entre las fases líquidas y sólidas del material, se lo puede compensar añadiendo colada extra en el molde para compensar la reducción de volumen.
- Contracción en el cambio de fase de líquido a sólido, este es el resultado de la técnica de vertido, provocando problemas de porosidad.
- Contracción del material hasta la temperatura ambiente, generan problemas de dimensión y este tipo de defecto depende más bien del coeficiente de expansión que tiene el material en particular, un buen molde de arena puede impedir que la pieza se contraiga libremente.

#### **1.4.8 Defectos en piezas de aluminio fundidas artesanalmente**

El proceso de fundición artesanal es propenso a defectos internos y externos en el producto final, más aún si este proceso depende de varios factores como el tipo de

material que se funde, sistema de vertido de colada, tiempo de endurecimiento, ventilación insuficiente en el molde de arena y estos a su vez dependen muchas veces de los operarios de la planta.

- Presencia de burbujas, aparecen en forma de poros redondos u ovalados, las posibles causas son: aleaciones no estables, presencia de gases, impurezas mezcladas en la arena de moldeo, mal diseño para el vertido de la colada.
- Contracción, este defecto se presenta generalmente en partes gruesas de las piezas y es ocasionado por la presencia de gas en la colada, el exceso de humedad en el molde, temperatura de vertido, posición incorrecta de la pieza. Resulta suficiente observar la pieza para identificar este defecto o bien se puede utilizar un equipo de rayos X de bajo aumento.
- Sopladuras, se identifican por ser cavidades de gas en forma circular, las posibles causas son: el exceso de gases en la colada, alto contenido de humedad en la arena de moldeo, características poco favorables en la arena de moldeo.
- Incrustaciones de arena o costras, son incrustaciones que se ocasionan por el arrastre de arena ocasionado por el vertido de la colada, este defecto es producto del desprendimiento de arena en la superficie del molde quedando incrustadas en la pieza después del endurecimiento de la colada. Las posibles causas son el exceso de humedad en la arena de moldeo, instrumentación inadecuada para el proceso de moldeo.

#### **1.4.9 Tratamiento de desgasificación**

El aluminio y sus aleaciones disuelve y absorbe una gran cantidad de gas especialmente hidrógeno, cuando es fundido a altas temperaturas, cuando este se solidifica solo una porción de hidrógeno queda retenido en la estructura, mientras que el excedente queda atrapado en el metal sólido produciendo porosidad gaseosa. El principal objetivo de la desgasificación es disminuir el nivel de hidrógeno presente en la colada, así como reducir las inclusiones que funcionan como catalizadores para la producción de porosidad. Angélica & Cantero, 2014

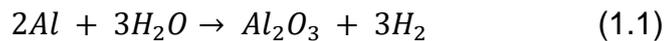
#### **Tratamiento mecánico (movimiento de la colada)**

Es necesario mover de manera continua la colada de aluminio de manera manual o con ayuda de un rotatorio continuo, para acelerar el transporte de hidrógeno y evitar que se originen burbujas que luego se convertirán en poros, con este mismo método se remueven óxidos e inclusiones no metálicas que flotan en la superficie de la colada que

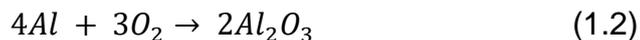
con ayuda de una herramienta para la escoria puede ser retirada sin mayor dificultad quedando aun algunos residuos que se eliminarán con un tratamiento químico con tres compuestos principalmente. Pyrotek,1956

### **Tratamiento químico**

El principio fundamental de los desgasificadores es reducir el nivel de hidrogeno presente en la colada y las impurezas sólidas o incrustaciones no metálicas, permitiendo disminuir las porosidades.



El aluminio reacciona con vapor de agua produciendo la ecuación 1.1. El hidrógeno molecular se disocia dentro de la colada. Paralelamente también ocurre una reacción de oxidación en la colada, al interactuar con oxígeno atmosférico, representada en la ecuación 1.2.



También existe la presencia de material solido como incrustaciones metálicas que si no son retiradas debidamente pueden quedarse dentro de las piezas finales. Por lo que es estrictamente necesario retirar la escoria lo mejor que se pueda y desgasificar la colada para evitar las burbujas de hidrógeno este método consiste en colocar porciones de químicos como el cloruro de sodio, cloro y bórax en el aluminio fundido, estos se encargarán de eliminar el hidrógeno presente en la colada. El hidrógeno disuelto se desprende y es captado por el metal en el proceso de fusión y expulsado en el proceso de solidificación de esta manera forman porosidades no deseadas, un porcentaje de este se desprende y se va a la atmósfera por los agujeros de oxigenación que constan en los moldes. La porosidad que ocasionan estas inserciones sólidas no metálicas reduce la resistencia de las piezas y afecta negativamente al producto final. CarboSystem,2016

# CAPÍTULO 2

## 2. METOLOGÍA

En este capítulo se detallan los procedimientos metodológicos aplicados al proceso de fundición de aluminio que se desarrolla en la empresa de estudio, que son aplicados a la materia prima y al proceso actual.

### 2.1 Enfoque

La empresa de estudio necesita una alternativa para producir piezas fundidas de aluminio con una estética mejor a la actual, para lograr esto, se propone el cambio de la arena de moldeo utilizada por arena verde, complementándola con la desgasificación de la colada.

El proyecto se llevó a cabo en cuatro fases importantes, la primera fase consistió en investigar posibles soluciones para el problema, en la segunda fase se realizó la caracterización y ensayos físico-químicos a la materia prima, para la tercera fase se usó el diseño experimental para encontrar la proporción óptima de la mezcla de moldeo, en la última fase se realizó un ensayo termogravimétrico para proporcionar la recirculación de arena verde, también se trabajó en la desgasificación de la colada de forma química y mecánica.

### 2.2 Primera fase

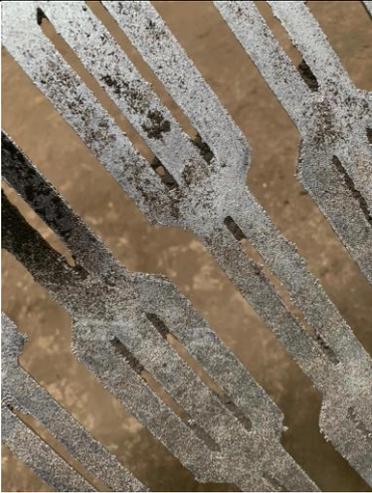
#### 2.2.1 Proceso de fundición

A continuación, en la tabla 2.1 se detallan los resultados observacionales de investigación de campo del proceso de fundición que se emplea actualmente.

**Tabla 2.1 Resultado observacional de investigación de campo**

Operación	Descripción	Evidencia
<b>Recolección de chatarra de aluminio</b>	Los proveedores entregan la chatarra de aluminio a la empresa.	

<p><b>Clasificación de la chatarra de aluminio</b></p>	<p>Una vez entregado el material se clasifica según el grosor.</p>	
<p><b>Peso de la chatarra de aluminio</b></p>	<p>Se pesa una cantidad de 60 kg máximo para la fundición.</p>	
<p><b>Encendido del horno</b></p>	<p>Este horno artesanal consta de 2x3 m de área, diseñado con trozos de ladrillo y mezcla de cemento, urnas, agujero para que ingrese el soplador de llamas y otro para ingreso el combustible (aceite quemado o diésel). Se enciende el horno y se deja calentar por aproximadamente 30 minutos, para luego agregar la chatarra.</p>	
<p><b>Fundición del material</b></p>	<p>Se controla que el material este completamente fundido, después de aproximadamente una hora, cuando la llama baja la intensidad y el color cambia a un naranja brillante.</p>	

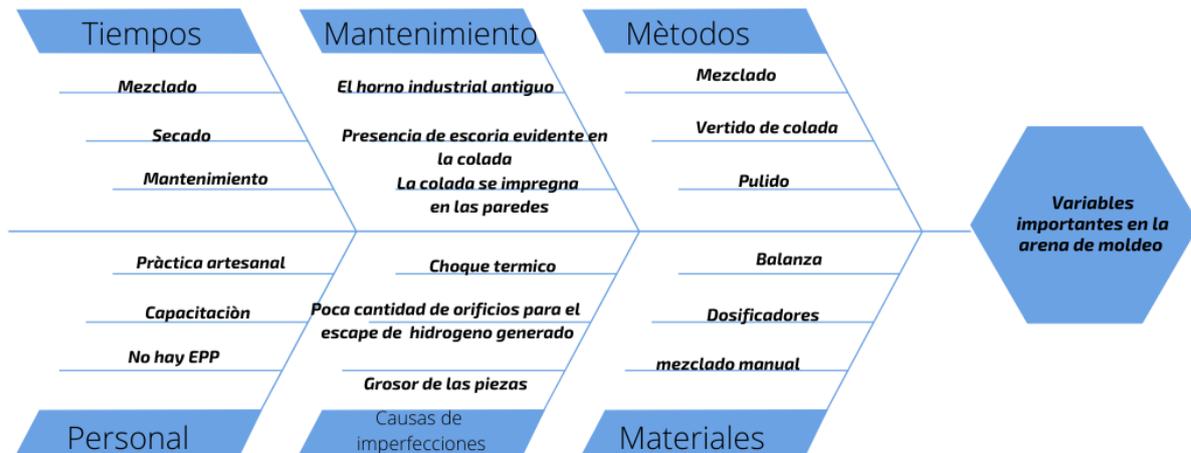
<p><b>Llenado de la colada en la chuchara de acero</b></p>	<p>Se coloca la colada en una cuchara de acero y se retira la escoria presente en esta con una espátula.</p>	
<p><b>Vaciado por gravedad</b></p>	<p>Se lleva la chuchara con la colada y se coloca en los agujeros del molde con velocidad uniforme.</p>	
<p><b>Solidificación de las piezas</b></p>	<p>Se deja por un lapso de 30 minutos el material dentro del molde.</p>	
<p><b>Extracción y enfriamiento del producto final</b></p>	<p>Se retiran las tapas del molde y del material, se deja enfriar y se le quita el exceso de arena presente.</p>	

<p><b>Limpieza del horno</b></p>	<p>Se retira el sobrante de la colada y se retira la escoria pegada en las redes interiores del horno.</p>	
<p><b>Limpieza del producto final.</b></p>	<p>Se retira con una segueta los picos que se formaron, por donde ingresa la colada y se pule.</p>	

La base fundamental para encontrar una solución al problema principal fue mediante la referencia de libros, páginas web y normas como lo son: UNE-EN 1097-5 (Normativa española para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos), UNE-EN 12890 (Fundición- producción de moldes de arena), NTE INEN 696:2011 (Análisis granulométrico en los áridos), NTE INEN 698:2010 (determinación del contenido de arcilla), donde se da una orientación adecuada para la sustitución de arena de moldeo, sin embargo; no se habla de una composición específica, para lo cual es necesario realizar la experimentación *in situ*. Los datos utilizados para las pruebas en la elaboración de piezas fundidas de aluminio fueron consultados mediante referencias bibliográficas, se realizaron varias pruebas cambiando las proporciones de la materia prima hasta llegar a la mezcla óptima. (Betancourt, 2012)

### **2.2.2 Levantamiento de Información**

Se utilizó la observación directa participativa y análisis de documentos, para interactuar con el personal de fundición e identificar las técnicas, productos y procedimientos en el proceso de fabricación de piezas, en base a esta información se elaboró el diagrama de causa y efecto tal como se evidencia en la figura 2.3, con el que se identificaron las variables importantes en el proceso.



**Ilustración 2.1 Factores importantes en el proceso de fundición**

### 2.2.3 Población y muestra

#### Población

Fundiciones de aluminio mediante moldes de arena.

#### Tipo de muestra

Para este análisis se muestreo la arena sílice, bentonita, cloruro de sodio, bórax, agua para diferente composición, la materia prima utilizada actualmente en la empresa, piezas finales de aluminio para analizar el resultado del impacto de estas variables.

### 2.3 Segunda fase

Para verificar la calidad de los materiales se solicitó a los proveedores las fichas técnicas de los productos adquiridos bentonita y arena sílice, también se realizaron análisis de difracción de rayos X para caracterizar la tierra usada anteriormente, adicional se realizaron análisis fisicoquímicos de laboratorio para determinar la granulometría, humedad y porcentaje de arcilla.

#### 2.3.1 Caracterización de la materia prima por XRD

La muestra fue la tierra arcillosa que la empresa de estudio utiliza actualmente como arena de moldeo, la cual, según la investigación correspondiente, se la consigue en la provincia del Guayas, específicamente en el cantón Playas. Para el proceso de moldeo es necesita agregar una gran cantidad de agua, solo así se consiguen las propiedades necesarias para moldear bien las piezas.

En la figura 2.2 se observa la muestra analizada, se usaron aproximadamente 10g extendidos por el portamuestras que se debe mantener en forma horizontal y rotar para favorecer la orientación de los cristales de azar ( $2\theta$ ), luego de insertar la muestra en el

equipo Difractómetro Panalytical de rayos X, seleccionamos el programa de medición y obtenemos los resultados en la pantalla táctil que pueden ser guardados e impresos posteriormente para su análisis.



**Ilustración 2.2 Muestra a ensayar**

### **2.3.2 Análisis Físicoquímico de arenas de moldeo experimentales**

#### **Determinación de Humedad de las arenas de moldeo**

El análisis físicoquímico para la determinación de humedad de la arena de moldeo se realizó para determinar la cantidad de agua presente en cada ensayo, ya que se busca disminuir la humedad en la arena de moldeo para evitar defectos en las piezas fundidas.

De acuerdo con la norma NTE INEN 0862, se establece el siguiente procedimiento:

- a) Tomar muestras de las composiciones de arena de moldeo que se realizaron y guardarlas en un recipiente para que mantenga hasta que se realice el análisis.
- b) Pesar 100 gramos de la muestra en la balanza analítica con ayuda de un vidrio reloj limpio y seco.
- c) Calentar la estufa a una temperatura de 100 o 110°C y luego colocar la muestra.
- d) Pasado los 30 minutos sacar la muestra con una pinza y esperar que alcance la temperatura ambiente. Pesarla y reportar dicho valor.
- e) Continuar con este procedimiento cada 30 minutos, y continuar con este procedimiento hasta que se observe que el peso se mantenga constante.
- f) Finalmente determinar el porcentaje de humedad.

De manera general este procedimiento contempla el análisis de humedad en una masa conocida de arena durante un tiempo determinado a una temperatura fija, hasta encontrar que la masa no varía su valor (peso constante); para esto se utilizó la ecuación 2.1.

$$\%humedad = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100 \quad (2.1)$$

### Determinación del contenido de arcilla

Este análisis se realizó para conocer la cantidad de arcilla presente en cada tipo de muestra de arenas de moldeo, con el propósito de saber su proporción debido a que estas presentan como agregados de silicato de aluminio hidratados que afectan a la arena de moldeo. Con base a la norma NTE INEN 698:2010. (Vega, 2017)

1. Disponer de una cantidad representativa de arena de moldeo.
2. Secar la muestra a una temperatura de 115 °C.
3. Colocar 50 gramos de la muestra seca y a temperatura ambiente y Colocar en un vaso de precipitación de 500 ml.
4. Agregar en un vaso de precipitación 380 ml de agua destilada y 20 ml de NaOH al 0,1%.
5. Mezclar paso 4 y 5 y agitar durante 5 minutos, dejar sedimentar por 10 y luego filtrar.
6. Realizar este proceso hasta que el agua obtenida sea clara.
7. Colocar los granos en un crisol y secarlos a 110 °C, hasta que esté totalmente secos los granos.
8. Dejar que la arena este a temperatura ambiente y secar.
9. Determinar el contenido de arcilla de esta arena mediante la siguiente ecuación.

$$\%A \frac{PM(arcilla) - PM(sin arcilla)}{PM(arcilla)} * 100 \quad (2.2)$$



**Ilustración 2.3 Determinación de arcilla**

### **Determinación granulométrica**

La determinación granulométrica consiste en analizar el tamaño de los granos, debido a que estos afectan a las propiedades físicas que desarrollan las mezclas de arena verde en la fundición como la resistencia, plasticidad y permeabilidad. Con base a la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 696:2011, se realizó el procedimiento detallado a continuación:

1. Pesar 100 gramos de arena de moldeo.
2. Colocar la muestra en el cedazo superior, asegurándose que ya estén todos los cedazos organizados y colocarle la tapa, ajustar bien estos cedazos a equipo para encender la máquina de tamizado e iniciar con la vibración que fue de quince minutos.
3. Determinar el índice de finura del grano.
4. Pesar la arena retenida en la bandeja base y pesar cada cedazo con el sobrante que tenga, para posteriormente sacar el porcentaje retenido en cada malla con la siguiente expresión:  $\% \text{ cantidad de arena en cada malla} = (M_s/M_t) \times 100$ ; donde  $M_s$  peso retenido de la arena en la bandeja base;  $M_t$  es el peso total retenido.



**Ilustración 2.4 Equipos para la determinación de granulometría**

## 2.4 Tercera fase

Se analizaron diferentes aspectos entre ellos están: limpieza del horno para evitar escoria, grosor de las piezas a fundir, tipos de arena de moldeo, calidad en la materia prima, todos estos aspectos fueron fundamentales para la calidad final de las piezas.

### 2.4.1 Diseño Experimental

Para este diseño se manipularon variables independientes conocidas como causales, para observar y analizar las consecuencias que estos cambios intervienen en la variable dependiente.

- Variable dependiente: Piezas de aluminio fundidas de manera artesanal que presentan imperfecciones en su estética.
- Variables independientes: Cantidad de bentonita presente en la arena de moldeo, tamaño de las piezas, agente desmoldante.

Se tomó como grupo experimental a las piezas de aluminio elaboradas con nuestra propuesta de arena de moldeo y como grupo de control a las piezas que se moldeaban con tierra arcillosa (C1). Así mismo se definieron tres grados de variación en la composición de la arena de moldeo basándose en la cantidad de aglutinante y en el grosor de las piezas entre 6 mm y 30 mm rango de dimensiones que la empresa maneja. Para el control de las variables y la validez interna se propuso tener dos grupos de comparación, además fue necesario mantener la equivalencia de los grupos variando solamente las variables independientes. Usando como diseño de investigación “diseño con posprueba únicamente y grupo de control”, que según (Sampieri, 2014) “incluye dos grupos, donde uno recibe el tratamiento experimental y el otro no, es decir la manipulación alcanza dos niveles”, cuidando que ninguna manipulación afecte a un solo

grupo, las condiciones ambientales y que se mantengan constantes ciertos factores. El resultado de este diseño experimental dio como respuesta una variable cualitativa dicotómica, es decir hay dos alternativas de respuesta: “piezas de aluminio fundidas de manera artesanal que presentan disminución de imperfecciones en su estética” y “piezas de aluminio fundidas de manera artesanal que no presentan disminución de imperfecciones en su estética”. Para el análisis de las variables cualitativas se utilizó un modelo de regresión logística para determinar si las variables independientes pueden predecir el comportamiento del modelo.

#### **2.4.2 Composiciones de la arena verde**

En base al método antes mencionado se realizaron 12 pruebas con duplicado, variando la cantidad de bentonita, agente desmoldante y tamaño de las piezas. A continuación, basándose en la norma UNE 12890;2001 que describe el procedimiento y los parámetros que deben cumplir los moldes para la fundición de aluminio. En la tabla 2.2 se muestran las cantidades de materia prima usadas en cada ensayo y su nomenclatura posterior para este trabajo.

1. Pesar cantidades exactas de los componentes arena sílice, bentonita, agua, con una balanza electrónica de precisión.
2. Agregar los componentes en el mismo orden que se pesó, mezclar con ayuda de una pala, hasta obtener una mezcla homogénea.
3. Escoger el marco de madera según el tamaño de la pieza y humedecer las paredes internas.
4. El ensamblaje de los moldes se realizó mediante dos piezas a los lados de los moldes de madera con su respectivo contorno, que debe ser exacta para conseguir una buena unión entre ambas partes del molde.
5. Colocar una tabla llana bajo el marco de madera, seguido del modelo de la pieza y luego rellenar con arena de moldeo y modelar la pieza con las manos
6. Rosear el agente desmoldante (talco o carbonilla) por toda la parte frontal del molde para evitar que se peguen ambas caras.
7. Rellenar la otra parte del marco de arena formando la cara posterior de la pieza a moldear.
8. Para la compactación se usó el método manual con punzonamiento con dos superficies diferentes uno con área de contacto redonda y pequeña y otro con área de contacto cuadrado grande.

9. Desmontar la parte superior del molde para realizar los agujeros que varían dependiendo el tamaño y grosor de la pieza, que permitirán la salida de oxígeno.
10. Humedecer los filos de la pieza modelo para retirarla con mucho cuidado evitando que el molde se dañe.
11. Realizar los orificios para que ingrese la colada.
12. Se ensambla la parte superior nuevamente a la espera de la fundición del material, repetir este procedimiento para las demás piezas.



**Ilustración 2.5 Moldes de arena**

**Tabla 2.2 Ensayos y proporciones experimentadas**

Prueba	Nomenclatura	% de Bentonita	Bentonita (lb)	Arena Sílice (lb)	Agua (ml)	Carbonilla (g)	Talco (lb)	Tamaño de pieza
1	C3	12.82	8.23	54.39	712.87	-----	0.5	Pequeña
2	C4	32.78	20.72	40.94	701.94	-----	0.5	Pequeña
3	C2	8.86	3.77	37.71	472.21	-----	0.5	Pequeña
4	C3	19.62	14.00	55.61	792.45	0.5	-----	Pequeña
5	C4	19.25	10.55	42.91	608.59	0.5	-----	Pequeña
6	C2	10.34	4.57	38.51	490.42	0.5	-----	Pequeña
<b>Ensayo con piezas gruesas</b>								
7	C4	32.73	50.51	100.04	1713.88	-----	1	Gruesas
8	C2	8.82	11.45	114.58	1424.74	-----	1	Gruesas
9	C3	12.72	17.18	114.58	1499.97	-----	1	Gruesas
10	C4	32.72	53.03	105.05	1799.60	1	-----	Gruesas
11	C2	8.86	11.46	114.58	1434.85	1	-----	Gruesas
12	C3	12.73	17.18	114.58	1499.97	1	-----	Gruesas

### Ensayo metalográfico

Para el análisis cualitativo de las piezas finales se usó un estereoscopio de marca LEICA S6E con zoom 6,3:1, perteneciente a los laboratorios de Facultad de Ingeniería marítima y ciencias del mar. Se realizó el ensayo a las composiciones que mejor modelaron las piezas finales, así como también a las piezas moldeadas con la arena original. A continuación, se detallan los pasos a seguir para este ensayo por lapso de 6 minutos y 3 repeticiones en cada una de estas, para verificar el resultado final.

1. Corte de la muestra o analizar muestra pequeña
2. Lijado y pulido de la muestra
3. Montaje
4. Definición del lente (40)
5. Examen con estereoscopio
6. Análisis de los resultados

Para este análisis experimental se utilizó el modelo de regresión logística, debido a que las variables de salida son cualitativas, este modelo nos servirá para transformar la variable de respuesta cualitativa en una probabilidad que es cuantitativa, las variables de respuesta se evidencian en la tabla 2.3. La cualitativa binaria se representan como:

1= Piezas de aluminio fundidas de manera artesanal que presentan disminución de imperfecciones en su estética.

0= piezas de aluminio fundidas de manera artesanal que no presentan disminución de imperfecciones en su estética.

**Tabla 2.3 Variable de respuestas para modelo de regresión logística**

Número de ensayo	Variable de respuesta para primer ensayo	Variable de respuesta para segundo ensayo
1	1	1
2	0	0
3	1	1
4	1	1
5	0	0
6	1	1
7	0	0
8	0	0
9	1	0
10	0	0

### 2.4.3 Modelo de regresión logística binaria

Este modelo establece una relación entre la probabilidad de que ocurra un suceso de interés presentados por.  $X = X_1, X_2, X_3, \dots, X_K$

$$P\left[Y = \frac{1}{X_1, X_2, X_3, \dots, X_K}\right] = \frac{1}{1 + e^{(-\beta_0 - \beta_1 x_1 - \beta_2 x_2 - \dots - \beta_k x_k)}} \quad (2.3)$$

Para ajustar el modelo matemático se deben encontrar los valores de  $(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k)$ , se denomina ratio de riesgo al objetivo del análisis en este caso es: “piezas de aluminio fundidas de manera artesanal que no presentan disminución imperfecciones en su estética”. Usando los logaritmos neperianos en la ecuación 2.3, se obtiene la ecuación 2.5 lineal para el modelo  $\beta_0 + \beta_1 X_1$ , cuyo resultado siempre esta entre 0 y 1 dado que la función sigmoide es la ecuación 2.4. Fernandez, 2011

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2.4)$$

$$P(Y = k | X = x) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1)}} = \frac{e^{(\beta_0 + \beta_1 X_1)}}{1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 X_1)}} \quad (2.5)$$

La expresión 2.6 puede traducirse como la probabilidad de que la variable cualitativa Y adquiera un valor k (en el nivel de referencia se usa 1), utilizando como predictor X que toma el valor de x. Para ajustar esta expresión se usa la regresión lineal utilizando un logaritmo.

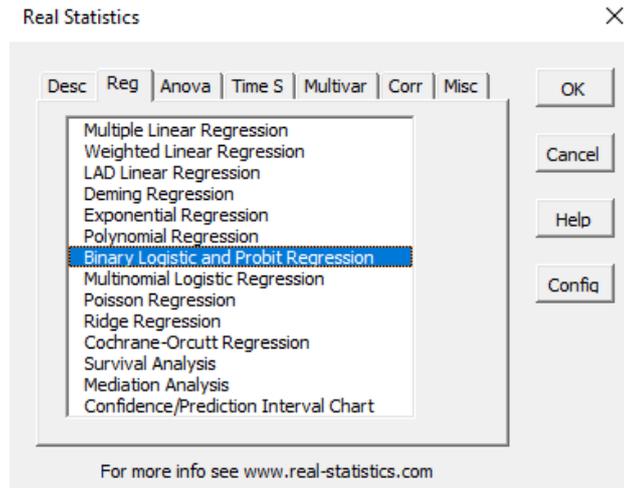
$$\text{logit}[P(Y = 1)] = \text{Ln}\left[\frac{P[Y=1/X_1, X_2, \dots, X_K]}{1 - P[Y=1/X_1, X_2, \dots, X_K]}\right] = \beta_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k \quad (2.6)$$

### 2.4.4 Modelo logístico binario en Excel

Con la ecuación 2.5 se modeló en Excel con complemento “real estadistic”, el valor de la variable dependiente Y en función de las tres variables independientes  $X_1, X_2, X_3$ , para así obtener como respuesta algunos parámetros que nos ayudaron a evaluar el modelo como:

1. Likelihood ratio: indica si la variable independiente  $X_1, X_2, \dots, X_k$  puede predecir el modelo.
2. Global likelihood ratio: indica si el modelo con todas las variables independientes es predecible.
3. % Correcto: indicativo de los datos correctos que Excel evaluó.

Con la correcta interpretación de estos parámetros fácilmente se puede encontrar la composición perfecta para la mezcla de moldeo según el tamaño de las piezas y el agente desmoldante.



**Ilustración 2.6 Modelado de logística binaria por real estadísticas**

## **2.5 Cuarta fase**

### **2.5.1 Análisis termogravimétrico**

Este es un método térmico que generalmente se usa para el control de calidad e investigación de materiales donde se miden las propiedades físicas y químicas que varían cuando la temperatura aumenta. Los materiales que usualmente se evalúan, van desde polímeros, arcillas, minerales, yesos, metales y aleaciones. La metodología presentada se basó en la normativa ASTM D6370 – 99.

El equipo utilizado fue un Analizador térmico SDT Q600, con velocidad de ensayo de 10<sup>0</sup>C/min, en una atmosfera inerte para lo que se usó un flujo de N<sub>2</sub> (50mL/ min) y el barrido se analizó hasta 1400 <sup>0</sup>C. En el TG se analizó por medio de tangentes para determinar las temperaturas de inicio y final. Se uso líneas horizontales para la determinación del porcentaje de masa perdida.



**Ilustración 2.7 Muestra a ensayar para análisis termogravimétrico**

### **2.5.2 Implementación de descalificante a la colada**

El desgasificante tiene como objetivo reducir el nivel de hidrogeno presente en la colada y las impurezas sólidas o incrustaciones no metálicas, permitiendo disminuir las porosidades.

#### **Pruebas del desgasificador**

La siguiente dosificación, fue calculada en base a los kilogramos de aluminio que se utiliza para la colada: 60kg de aluminio reciclado producen 7 litros de aluminio fundido después de retirar la escoria.

En la tabla 2.4 se muestran los ensayos realizados y el procedimiento a seguir.

**Tabla 2.4 Ensayos de Desgasificador**

<b>Pruebas</b>	<b>Cloruro de Sodio (g)</b>	<b>Hipoclorito sódico (g)</b>	<b>Bórax(g)</b>
1	680,389	0	0
2	30,5373	27,6995	50,7825
3	61,0746	55,399	100,565

1. Pesar cantidades exactas de Hipoclorito sódico al 2.5%, cloruro de sodio, bórax con ayuda de una balanza él y colocar en papel de aluminio.
2. Cuando el aluminio ya este fundido con una pala de hierro se retira la mayor cantidad de escoria posible.
3. Luego se realizan movimientos circulares para mejorar el desprendimiento de escoria de las paredes.
4. Cuando la colada este lo más limpia posible colocar las sustancias pesadas previamente en el siguiente orden: cloruro de sodio, hipoclorito, bórax.
5. Realizar movimientos circulares por 10 minutos adicionales.

6. Esperar 10 segundos para que salga todo el gas de la colada y servir en las cucharas de hierro y nuevamente con una hoja de hierro retirar la escoria en la superficie.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Resultados de la caracterización de la materia prima

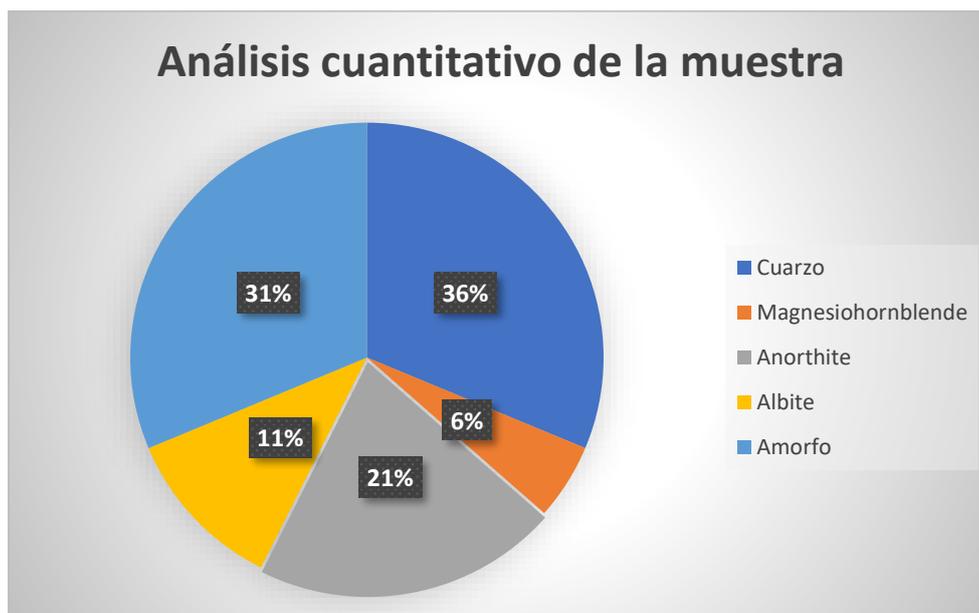
En esta sección se encontrarán los resultados obtenidos de la caracterización de la materia prima, tanto para la tierra arcillosa como para la arena verde.

#### 3.1.1 Caracterización de tierra arcillosa

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis de difracción de rayos X de la tierra arcillosa; en la figura 3.1 el análisis gráfico cuantitativo de los compuestos presentes en la muestra y en la tabla 3.1 se detallan los nombres del compuesto, fórmula química y su porcentaje.

**Tabla 3.1 Resultados de la Difracción de rayos X**

<b>Código de referencia del patrón</b>	<b>Nombre del compuesto</b>	<b>Fórmula química</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
00-033-1161	Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	21
00-021-0149	Magnesiohornblende	Ca <sub>2</sub> (Mg, Fe) <sub>5</sub> (Si, Al) <sub>8</sub>	6
00-041-1486	Anorthite	Ca Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	24
00-009-0466	Albite	Na Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	13
-----	Amorfo	-----	36



**Ilustración 3.1 Análisis cuantitativo de la muestra**

### 3.1.2 Caracterización de arena sílice

La arena sílice utilizada para este proyecto fueron compradas a un proveedor local, para de esta manera obtener de análisis químico detallado en la tabla 3.2 y el análisis físico en la tabla 3.3.

**Tabla 3.2 Análisis químico de arena sílice (Export, 2020)**

Compuesto	Porcentaje %	Compuesto	Porcentaje %
SiO <sub>2</sub>	99.330	K <sub>2</sub> O	0.030
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.150	TiO <sub>2</sub>	0.066
MgO	0.022	Zr <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.000
CaO	0.100	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.001
BaO	0.130	p.p.l	0.074
Na <sub>2</sub> O	0.000		

**Tabla 3.3 Análisis físico de arena sílice. (Export, 2020)**

Parámetro	Valor
Gravedad Especifica	2.65 g/cm <sup>3</sup>
Cono Paramétrico	32
Punto de Fusión	1706 0C
Ph	6.6-7.2
Densidad Aparente	1.5-1.6 g/cm <sup>3</sup>

### 3.1.3 Caracterización del aglutinante bentonita sódica

En la tabla 3.4 se muestra el análisis químico y en la tabla 3.5 el análisis físico, esta información fue obtenida del proveedor directamente mediante la ficha técnica respectiva.

Formula química:  $Si_4(Al(2-x)Rx)O_{10}(OH)_2CE_x \cdot nH_2O$ .

**Tabla 3.4 Análisis químico de bentonita (Export, 2020)**

Compuesto	Porcentaje %	Compuesto	Porcentaje %
SiO <sub>2</sub>	62.8	K <sub>2</sub> O	0.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.2	MnO	0.000
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.5	Perdidas de Calcinación	0.000
MgO	1.6	Otros	8.7
CaO	1.4		
Na <sub>2</sub> O	2.8		

**Tabla 3.5 Análisis físico de bentonita (Export, 2020)**

Parámetro	Valor
Gravedad Especifica	2.45-2.55 g/cm <sup>3</sup>
Cono Paramétrico	32
Punto de Fusión	1450 0C
Ph	8-10
Densidad Aparente	0.88 g/cm <sup>3</sup>
Humedad	10.0 %
Peso Especifico	2.2
Contenido montmorillonita	74%
Granulometría malla 200	9

### 3.2 Análisis de la caracterización de la materia prima

En la ilustración 3.1 se evidencia la composición cuantitativa de la tierra arcillosa demostrando un 21% de cuarzo que no es más que oxido de silicio por lo que la tierra posee las cualidades refractarias y elásticas para modelar la pieza sin embargo esta cantidad no es suficiente para mantener las propiedades, por lo que los operadores mezclan esta tierra con un exceso agua, usando aproximadamente 10 litros por cada 50 kg de arena de moldeo, deben mantenerla siempre húmeda para que no pierda sus propiedades de cohesión y así ésta se pueda compactar al formar la caja de moldeo, el exceso de humedad provoca que al vaciar la colada de aluminio fundido a estas cajas

ocasiona un choque térmico, generando exceso de hidrógeno que a su vez ocasiona porosidades en las piezas finales. Además, se debe considerar que la tierra arcillosa analizada ya tenía seis meses de uso por lo que sus propiedades pudieron haberse modificado.

En la tabla 3.2 se evidencia un 99.3% óxido de sílice que junto con la bentonita que fue el aglutinante utilizado, estos componentes ayudaron a mejorar la capacidad de cohesión sin agregar demasiada agua, haciendo más efectivo el proceso de moldeo, adicional la bentonita posee 2.8% de óxido de sodio natural que según (Sartucha & Suarez, 2005) posee una pérdida de masa en quemado menor en un 2% que es una característica importante para la recirculación de la arena de moldeo.

### 3.3 Resultados y Análisis fisicoquímicos de las arenas de moldeo

#### 3.3.1 Resultado y análisis de la determinación de Humedad

En la tabla 3.6 se detalla la cantidad de agua presente para cada composición experimentada.

**Tabla 3.6 Determinación de humedad**

Identificación	Peso del crisol	Peso de la muestra (g)	Muestra después 60 min	Muestra después de 90 min	Peso de la muestra final	Humedad (%)
C4	63,9217	10,814	74,7605	74,7357	10,0397	7,71%
C3	78,4588	10,0055	88,1974	88,1822	9,7234	2,67%
C2	65,9248	10,5700	76,1255	76,1131	10,1883	3,61%
C1	87,183	10,0397	106,5435	106,5144	13,1004	30,49%

Con base a la hipótesis fundamental (Rivas, Pineda, Argüello, & Mejía., 2015) que menciona que el exceso de humedad en los moldes de arena genera grandes cantidades de hidrógeno al momento del llenado con la colada a altas temperaturas, comprobando con los resultados presentados en la tabla 2.9 que la humedad C1 resultó ser la composición con mayor cantidad de agua, lo que provoca la persistencia del problema actual. Se determinó que C2 y C3 se encuentran dentro de un rango de humedad aceptable 7% con la diferencia que C2 se utilizó para piezas finas y C3 para piezas

gruesas. La mezcla C4 excede el rango de 7.71% de humedad por lo que no se considera apta para el moldeo.

### 3.3.2 Resultado y análisis de la determinación de Arcilla

La arcilla presenta diversas coloraciones y esto depende de las impurezas que contenga la arena de moldeo, rojo anaranjado en el caso de la tierra arcillosa y blanco en la arena verde ya que esta es pura, este es un componente principal de las arenas del moldeo, en la tabla 3.7 se encuentran detallados los resultados de la determinación de arcilla para cada muestra de arena de moldeo; la composición que contiene menor cantidad de arcilla es la C3, debido a que la arena con la que se trabajó para la nueva implementación es nueva y por ende poseen la capacidad de cohesión y plasticidad; la arcilla someterse por periodos de tiempos prolongados a temperaturas altas constantemente se quema parcialmente en cada ciclo, es por ello que la tierra que utiliza actualmente por la empresa de estudio es la que contiene menos cantidad de arcilla, esta tiene 6 meses de reutilización.

La composición C4 presento mayor cantidad arcilla debido a que se le coloco un alto contenido de agua y bentonita, lo cual provocó que se formaran grandes cantidades de arcilla que al secarse se convirtieron en rocas duras y de color amarillo, debido a que perdió su permeabilidad.

**Tabla 3.7 Determinación de arcilla**

Identificación	Peso del crisol	Peso de la muestra (g)	Muestra más crisol	Peso de la muestra final (g)
C4	85,5079	50,4	139,9984	54,4905
C3	65,9232	50,0	107,8061	41,8829
C2	64,9208	50,6	111,4524	43,734
C1	78,4602	50,74	115,1665	36,7063

### 3.3.3 Resultados y análisis de la determinación de granulometría

La determinación de granulometría se realizó para conocer el tamaño del grano de las arenas de moldeo, obteniéndose un índice de finura entre 0,1 y 0,25 mm, con base en la normativa AFS que es la encargada del tamaño y la forma del grano, se considera a la composición C2 y C3 como arena fina, la arena arcillosa como grano mediano, ya que se encuentra en un rango de 0,25 y 0,5 mm, mientras que la arena C4 como grano muy

gruesa, ya que se encuentra en un rango de 1 y 2 mm la arena, para la composición final se escogió C3, debido a que la finura es medianamente menor, lo que hace apta para el moldeo, ya que al ser más fina contiene mayor cantidad de granos y por ende se compacta con mayor facilidad, con ayuda del aglutinante se compacta y proporciona buena permeabilidad.

**Tabla 3.8 Datos de la determinación de granulometría**

Numero de malla	Micrómetro de apertura	Peso inicial de la malla (g)	Peso final de la malla más arena (g)	Peso final de arena (g)
<b>Tierra arcillosa-C1</b>				
30	600	382,4	383,1	0,7
40	425	373,8	374,2	0,4
45	355	360,0	360,8	0,8
70	212	406,7	419,5	13,5
100	150	370,5	360,3	10,2
Base	0	459,5	532,9	73,4
<b>Arena Verde -C3</b>				
30	600	382,4	382,1	0,3
40	425	373,8	373,3	0,5
45	355	360,0	359,3	0,7
70	212	406,7	395,4	11,3
100	150	370,5	363,3	7,2
Base	0	459,5	379,5	80,0
<b>Arena Verde -C2</b>				
30	600	382,4	381,9	0,5
40	425	373,8	373,0	0,8
45	355	360,0	359,0	1,0
70	212	406,7	394,0	12,7
100	150	370,5	355,5	15,0
Base	0	459,5	389,5	70,0
<b>Arena Verde -C4</b>				
30	600	382,4	326,7	55,7
40	425	373,8	355,4	18,4
45	355	360,0	349,1	10,9
70	212	406,7	398,9	7,8
100	150	370,5	364,8	5,7
Base	0	459,5	458,3	1,2

### 3.4 Resultados del diseño experimental

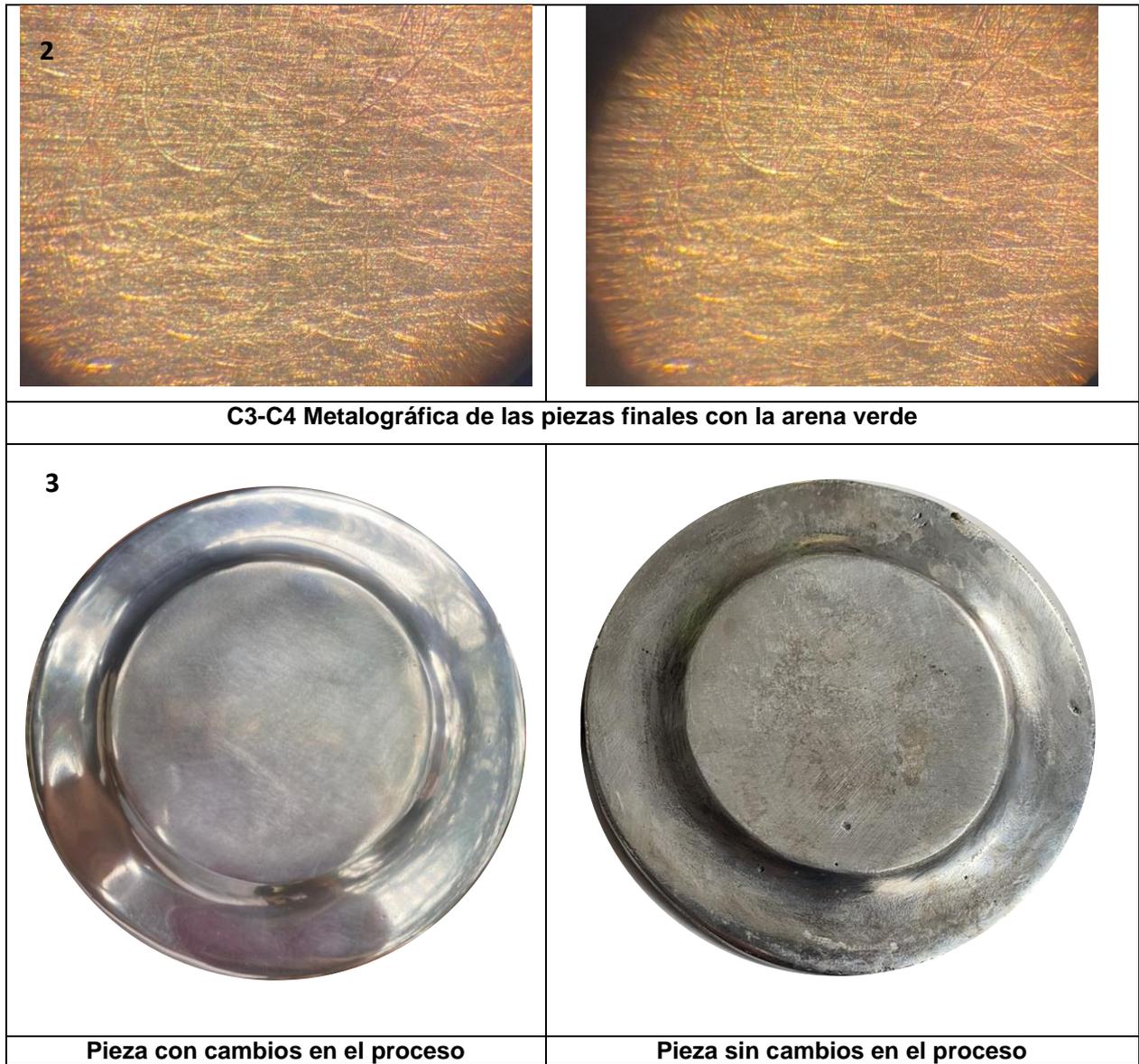
#### 3.4.1 Resultados cualitativos

Al realizar el proceso experimental se verificó que no queden grumos de arena, ya que son los que contienen una gran cantidad de humedad, la arena después de la fundición toma un color blanquinoso mientras se enfría por completo, y esto se debe a que se está sometiendo a temperaturas elevadas y se está evaporando el agua presente en la misma, después de dos horas se revisó la arena y se observó que (C4) es la que contiene mayor cantidad de bentonita, provocando grandes de grumos que presentaban una consistencia gruesa parecida a una piedra, difícil de destruir, mientras que la arena con composición C2 y C3 tenían una consistencia suave, con grumos que se disolvían con facilidad

#### Análisis Metalográfico

El primer grupo de imágenes corresponden a las piezas realizadas con el proceso actual que utiliza la empresa, donde se puede evidenciar la existencia de porosidades e incrustaciones profundas, el segundo grupo corresponde a la composición C3 y C4 en este proyecto, donde se evidenció que la presencia de poros ha disminuido notablemente y se vuelven imperceptible ante el lente fotográfico, en el tercer grupo se encuentran las piezas analizadas.





**Ilustración 3.2 Análisis metalográfico**

**Tabla 3.9 Resultados de datos en regresión logística binaria**

<b>% Bentonita</b>	<b>Tamaño de la pieza</b>	<b>Tipo de desmoldante</b>	<b>Success</b>	<b>Failure</b>	<b>Total</b>	<b>Suc-Pred</b>	<b>Fail-Pred</b>	<b>% Correct</b>
15	0	0	1	0	1	0.93840282	0.06159718	100
50	0	0	0	1	1	0.03787954	0.96212046	100
10	0	0	1	0	1	0.97274136	0.02725864	100
15	0	1	1	0	1	0.97399491	0.02600509	100
50	0	1	0	1	1	0.08825114	0.91174886	100
10	0	1	1	0	1	0.98873024	0.01126976	100
50	1	0	0	1	1	0.00061497	0.99938503	100

10	1	0	0	1	1	0.3580464	0.6419536	100
15	1	0	1	0	1	0.19231492	0.80768508	0
50	1	1	0	1	1	0.00151054	0.99848946	100
10	1	1	0	1	1	0.57827524	0.42172476	0
15	1	1	1	0	1	0.36923794	0.63076206	0
15	0	0	1	0	1	0.93840282	0.06159718	100
50	0	0	0	1	1	0.03787954	0.96212046	100
10	0	0	1	0	1	0.97274136	0.02725864	100
15	0	1	1	0	1	0.97399491	0.02600509	100
50	0	1	0	1	1	0.08825114	0.91174886	100
10	0	1	1	0	1	0.98873024	0.01126976	100
50	1	0	0	1	1	0.00061497	0.99938503	100
10	1	0	0	1	1	0.3580464	0.6419536	100
15	1	0	0	1	1	0.19231492	0.80768508	100
50	1	1	0	1	1	0.00151054	0.99848946	100
10	1	1	0	1	1	0.57827524	0.42172476	0
15	1	1	1	0	1	0.36923794	0.63076206	0
			11	13	24	11	13	79.166667

Con las llamadas variables de respuestas binarias y con las variables independientes se construyó el modelo de regresión logística binaria para predecir e interpretar cuantitativamente el modelo en la tabla 3.9 evidenciando un 79.1667% de datos correctos.

Así mismo en la tabla 3.10 se evidencia la respuesta del modelo a una prueba anova que pertenece al modelo logístico binario, para un  $\rho > 0.5$  con una hipótesis nula  $H_0$ : "El modelo no se ajusta a los datos". Por lo tanto, se rechaza  $H_0$  ya que existe la evidencia estadística de que el modelo de regresión logística se ajusta al conjunto de datos.

El pseudo-Rcuadrado es el porcentaje de varianza que explican las variables independientes de la variable dependiente, para este modelo  $R^2 > 0.4$  por lo que se considera que existe una explicación buena de la variable dependiente. (Martínez, 2020)

**Tabla 3.10 Análisis estadísticos del modelo**

<b>Chi-Sq</b>	19.1198572
<b>df</b>	3
<b>p-value</b>	0.00025823

<b>Alpha</b>	0.05
<b>Sig</b>	yes
R-Sq (L)	0.57756582

En la tabla 3.11 se obtiene un p-valor para cada variable independiente que indican la correlación entre cada una de ellas con el modelado, es decir si las variables fueron buenas para predecir el modelo, para un  $\rho > 0.5$  con una hipótesis nula  $H_0$ : “La variable independiente no se ajusta a los datos”, por lo tanto, para el porcentaje de bentonita y el tamaño de las piezas, se presenta evidencia estadística para predecir la apariencia de las piezas fundidas artesanalmente con un p-valor de 0.026 y 0.059 rechazando  $H_0$ , mientras que el tipo de desmoldante con un p-valor de 0.51 cumple la  $H_0$  por lo que no se rechaza dicha hipótesis.

**Tabla 3.11 Variables independientes modeladas**

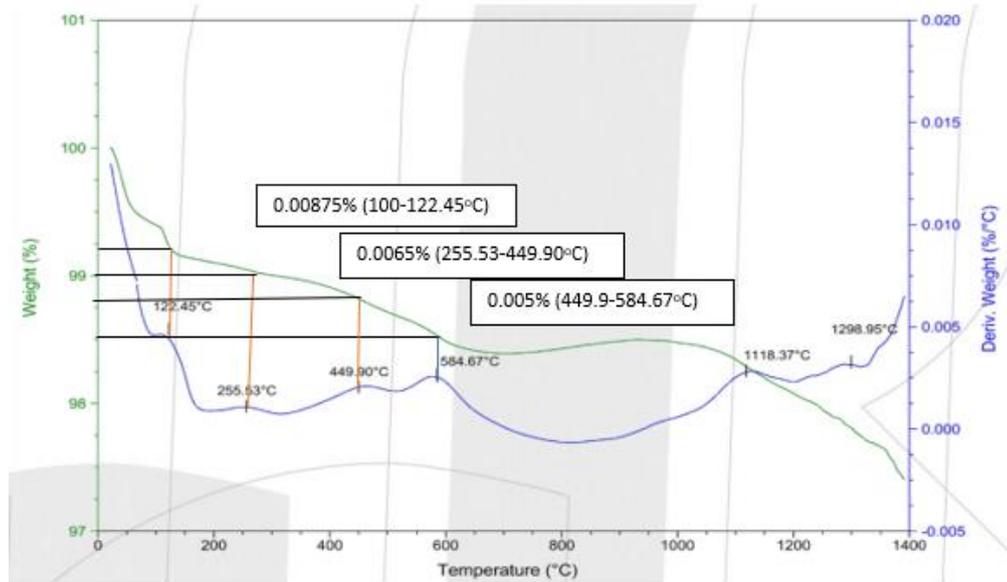
	<b>coeff b</b>	<b>s.e.</b>	<b>Wald</b>	<b>p-value</b>
<b>Intercept</b>	5.27711678	2.781100942	3.600475881	0.057763034
% Bentonita	- 0.17023691	0.076633292	4.93483314	0.026320604
Tamaño de la pieza	- 4.15860117	2.207796831	3.547940531	0.059619405
Tipo de desmoldante	0.89955054	1.379127864	0.425443677	0.514233178

### 3.5 Análisis del diseño experimental

Tanto en los ensayos experimentales como en modelo de regresión logística binaria, se obtuvo que la composición óptima para moldear piezas pequeñas es 87.96% de arena sílice, 9.6% de bentonita y 2.44% de agua, mientras que para piezas gruesas se utilizó 84.84% de arena sílice, 12.72% de bentonita y 2.44% de agua, el porcentaje de bentonita aumentó porque la arena no tenía la propiedad de cohesión suficiente para el moldeo motivo por el cual la caja de moldeo se desplomaba al desmontarla.

### 3.6 Resultado termogravimétrico

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el análisis termogravimétrico de la mezcla de arena sílice con bentonita.



**Ilustración 3.3 Análisis termogravimétrico y análisis Técnico Diferencial**

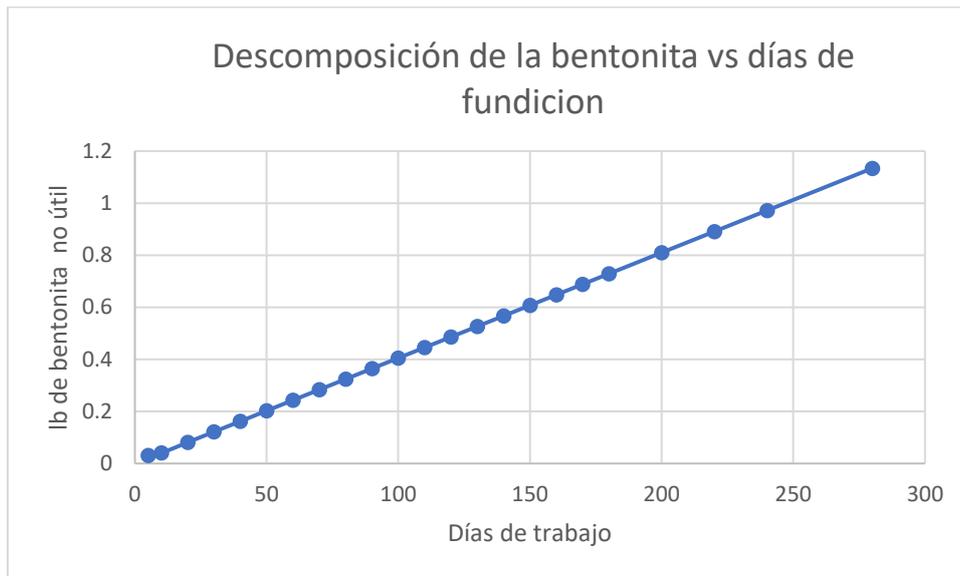
### 3.7 Análisis termogravimétrico

Asumiendo que la arena sílice no experimenta importantes variaciones debido a la temperatura, los resultados del estudio termogravimétrico se enfocan en el aglutinante debido a que es el componente más propenso a sufrir modificaciones en su estructura química al someterse a altas temperaturas. Este último proceso es independiente de la cantidad de humedad que tenga la mezcla de moldeo, sino más bien depende de la calidad de bentonita usada, ya que mientras mayor sea la calidad menor va a ser la pérdida de esta por quemados.

En la ilustración 3.3 del TG se evidencia una pérdida de masa del 0.00875% entre 100 °C y 122.45 °C que es atribuida a la pérdida de agua, conocida como humedad es decir la muestra es deshidratada, otra es la de 0.0065% a los entre 255.53 °C hasta 449.90 °C, donde se obtiene una mezcla que contiene bentonita sódica anhidra, mientras que la última pérdida que nos interesa registrar sucede desde 449.90 °C hasta los 584.67 °C donde se pierden 0.005%, esta pérdida comprende una deshidroxilación es decir se pierden los iones  $\text{OH}^-$ . En la ilustración 3.3 se evidencia que después de los 1100 °C existe bentonita quemada.

Según la observación durante la etapa de experimentación los operadores del área funden generalmente una sola vez al día, obteniendo alrededor de 7 litros de colada de aluminio después de retirar toda la escoria, en la empresa se trabajan 5 días a la semana, estos datos se usaron como base de cálculo para piezas C3 y C2, tomando en cuenta como pérdida de masa constante en cada fundición un 0.02025% del total de la mezcla

de arena de moldeo, En la ilustración 3.4 se muestra la descomposición de bentonita por día de fundición llegando al año laboral con un déficit de 1.458 lb de bentonita. En la tabla 3.12 y 3.13 se muestra la recirculación posible para dos años de trabajo tanto para C2 como para C3 donde los operarios pueden reponer el aglutinante perdido, devolviendo las propiedades necesarias a la arena de moldeo.



**Ilustración 3.4 Descomposición de bentonita por fundición diaria**

**Tabla 3.12 Recirculación de bentonita para piezas grandes C3**

<b>1 año de trabajo</b>	
<b>días de trabajo</b>	<b>240</b>
Lb de bentonita a reponer	1.458
<b>2 años de trabajo</b>	
<b>días de trabajo</b>	<b>480</b>
Lb de bentonita a reponer	2.916

**Tabla 3.13 Recirculación de bentonita para piezas pequeñas C2**

<b>1 año de trabajo</b>	
<b>días de trabajo</b>	<b>240</b>
<b>Lb de bentonita a reponer</b>	<b>0.972</b>
<b>2 años de trabajo</b>	
<b>días de trabajo</b>	<b>480</b>
Lb de bentonita a reponer	1.94

### 3.8 Resultados y análisis del uso de desgasificante

#### 3.8.1 Resultados y análisis por componente

Se utilizó el movimiento mecánico antes y después de añadir el desgasificante, al agregar los componentes del desgasificante se observó una reacción instantánea, produciendo burbujas de gases en forma de vapor por un lapso de 5 minutos.

##### **Hipoclorito**

Al agregar el hipoclorito a la colada este se combina con el hidrogeno, aire y aluminio provocando burbujas al interior del aluminio que al ser menos densas que las partículas de aluminio se eliminan con ayuda del movimiento mecánico, ocasionando que las porosidades producidas por el vapor de agua en la colada disminuyan.

##### **Cloruro de Sodio**

El cloruro de sodio o sal común es una técnica artesanal, en esta composición el que hace el efecto de desgasificación es el cloro, debido a que este se une con el hidrógeno y producen burbujas de ácido clorhídrico que es menos denso que el aluminio y se eliminan en forma de gas, por ende, ocurre la misma reacción que con el hipoclorito.

##### **Bórax**

La presencia de bórax en la colada de aluminio se utilizó para mejorar la apariencia haciendo lucir las piezas más brillantes como se observa en la ilustración 3.5 y mejorando el tiempo de endurecimiento.



**Ilustración 3.5 Resultado del uso de desgasificante en la colada.**

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Se construyó un estudio robusto, contrastando la información de la literatura sobre la fundición de aluminio con las características y necesidades reales de la empresa de estudio.
- El análisis de difracción de rayos XRD para C1 que la empresa utiliza actualmente para moldear las piezas contiene SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, BaO, TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, Zr<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, con un porcentaje mayoritario de sílice del 21%, mientras, que la propuesta de arena verde cuenta con un 99.33% de sílice, este compuesto concede la refractariedad para que la arena de moldeo resista altas temperaturas al vaciar la colada.
- Con modelo de revisión logística binaria se determinó que el modelo se ajusta a los datos en un 76.3%, confirmando que las composiciones óptimas son C3 y C2, lo que coincide con el análisis cualitativo realizado a través de un Steroscopio, donde se pudo observar la disminución notable de los poros e incrustaciones en el producto final. Además, con un  $\rho > 0.5$  se descartó la variable independiente de tipo de desmoldante debido a que existe evidencia estadística para rechazar su participación en el modelado.
- Para la elaboración de piezas grandes, C3 resultó ser la composición idónea, mientras que para piezas pequeñas se puede utilizar C2. Esto se debe a que cuando se trabaja con piezas grandes el molde de madera requiere mayor cantidad de arena de moldeo, por ende, mayor cantidad de aglutinante que ayudar a compactar, evitando derrames al momento de encajar las piezas.
- Del análisis granulométrico que se realizó a las arenas de moldeo se encontró que la arena C3 es la que tiene un índice de finura (AFS) de 80 que significa que es una arena fina, seguido se tiene la arena C2 tiene un índice de fineza AFS de 70. La tierra C1 tiene un índice de fineza AFS de 73.4; la arena C4, 1.2 y esto se debe a que esta composición tenía un exceso de agua que se convirtió en lodo, provocando que al secarse se formaran grumos duros y fuera difícil de desvanecer. Las 4 arenas fueron pasadas por 5 tamices y luego

analizadas por tipo de distribución granulométrica, de las cuales C2 y C3 se presentaron más uniformes. La composición C3 cumple con las características requeridas, debido que presenta las condiciones óptimas para mejorar las propiedades mecánicas de la arena de moldeo. Sin embargo, esta arena contiene un alto contenido de finos, por lo que se debe tener cuidado al colocar el agua, ya que las partículas finas tienden a aglomerarse durante el proceso de mezclado afectando la permeabilidad.

- Se concluye que la porosidad en las piezas finales aumenta conforme el contenido de agua y de bentonita en la arena de moldeo. C1 presentó un 30.55% de humedad en comparación con los valores obtenidos en las composiciones de arena verde C2, C3, C4 encontrándose en un rango entre 2.67%-7.71%; en la preparación de arena de moldeo se controló la cantidad de agua hasta alcanzar la consistencia y propiedades óptimas para el moldeo.
- El contenido de arcilla que se determinó en las arenas de moldeo posterior al proceso de fundición dio como resultado en C4 un contenido de arcilla de 43.734 g, observándose físicamente grumos duros de destruir lo que limitó la capacidad de moldeo nuevamente, mientras que C2 y C3 presentaron las propiedades de cohesión óptimas antes y después del proceso de fundición lo que indica que estas composiciones pueden ser reutilizadas sin mayor problema.
- La bentonita usada para la mezcla de moldeo no resultó ser de muy buena calidad ya que la etapa de deshidroxilación depende solamente de la calidad de la bentonita y en nuestro análisis termogravimétrico se observó que el 0.02025% es de bentonita quemada y esto ocurrió a los 584.67°C lo que quiere decir que una bentonita con mejor calidad podría resistir a mayor temperatura. Sin embargo, es muy poca la pérdida de masa que ocurre en cada proceso de fundición, lo que lo hace óptimo para la recirculación por un tiempo de aproximado de 2 años de trabajo. Si se deseara seguir usando la misma arena se debe reponer la cantidad perdida propuesta en la tabla 3.12 o 3.13 dependiendo el tamaño de las piezas, esta acción devolverá a la arena de moldeo las propiedades necesarias.
- Las piezas presentaron brillo, disminución de poros e inclusiones sólidas no metálicas, la dosificación que terminó siendo más relevante fue la combinación

de los tres compuestos manteniendo una proporción de 55.39 g hipoclorito sódico, 61.07 g de cloruro de sodio y 100.56g de bórax, para 50 kg de aluminio; aunque en caso de que no se pueda obtener hipoclorito y bórax se puede usar 950 g de cloruro de sodio (sal común), que desgasificará la colada, mas no dará el brillo natural a las piezas metálicas.

- Al implementar la composición propuesta, se redujo el costo de materia prima en un 22.24%.

## 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda tener un control estricto de la humedad en la arena de moldeo para evitar los poros ocasionados por los gases presentes en la colada.
- Realizar los ensayos fisicoquímicos trimestralmente y adicionar ensayos mecánicos de las propiedades en la arena verde como: resistencia mecánica y permeabilidad para llevar un control de calidad dentro de la empresa de estudio, rigiéndose por las normativas vigentes mencionadas en el capítulo 2 de esta investigación.
- Se recomienda utilizar una hormigonera, facilitando el mezclado de arena sílice, bentonita y agua para lograr una mezcla homogénea, así como la reducción del tiempo de producción.
- El desgasificante debe ser agregado una vez que el aluminio esté completamente fundido en el orden detallado en la tabla 2.8, sin olvidar la desgasificación mecánica que agilizará la operación.
- Para que el modelo de logística binaria sea más robusto se recomienda analizar más de tres variables independientes para identificar cuáles de estas tienen una participación en el modelado.
- Proveer de EPP al personal de fundición para disminuir los riesgos accidentales que perjudiquen a su salud, eminentes en este proceso según la normativa INEN 9185 e INEN 2034; además realizar capacitaciones continuas sobre la preparación de arena verde y su composición, uso correcto del desgasificante, seguridad industrial y prevención de riesgos laborales.

- Se recomienda una investigación en el área de pulido para cuantificar el tiempo y la mano de obra que se ahorra con la composición propuesta, debido a que este varía dependiendo el tamaño, grosor, modelo de las piezas.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1097-5, U.-E. (2009). *Ensayo para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos*. Madrid España: AENOR.
- 12890, U.-E. (2001). *Modelos, herramientas y caja de machos para la producción de moldes y machos de arena*. MADRID ESPAÑA: AENOR.
- 696:2011, N. I. (2011). *ÀRIDOS. ANALISIS GRANULOMÈTRICO EN LOS ÀRIDOS FINOS Y GRUESOS*. QUITO: INEN-NORMA TÈCNICA ECUATORIANA VOLUNTARIA. Obtenido de INEN- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÒN .
- 698:2010, N. I. (2010). *INEN- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÒN INEN DETERMINACION DEL CONTENIDO DE TERRINES DE ARCILLAS Y PARTICULAS DESMENUZABLES*. QUITO: INEN.
- 698:2010, N. I. (2011). *DTERMINACION DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD*. QUITO: INEN.
- Angélica, F., & Cantero, A. (2014). Efecto de la adición de cobre en la microestructura y en la dureza de aluminio . *CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES AVANZADOS, S.C*, 98.
- Bernard J. Hamrock, B. J. (2014). PROCESOS DE FUNDICION DE METALES. En B. J. Bernard J. Hamrock, *PROCESOS DE FUNDICION DE METALES* (págs. 215-243). IVANACAL FILES.
- Betancourt, S. D. (2012). *PROPUESTA DE UNA MEZCLA ALTERNATIVA PARA LA ARENA* . Quito.
- Bisbal, R., F. G., Yorio, C. D., & Pérez, M. (2015). Evaluación de las características y propiedades de fundición de Arena . *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 1.
- CarboSystem. (27 de Abril de 2016). *CarboSystem-Desgasificadores*. Obtenido de CarboSystem-Desgasificadores: <https://carbosystem.com/desgasificador/>
- Estevez Urra, A. (2016). Estudio de la influencia de diferentes diseños de los sistemas de alimentación y compensación en la fundición en arena. En A. Estevez Urra, *ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE DIFERENTES DISEÑOS DE LOS SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN Y COMPENSACIÓN EN LA FUNDICIÓN EN ARENA* (pág. Cap 2 pag 5). Sevilla España: e-REDING.
- Fernández, S. d. (2011). Regresión Logística. En S. d. Fernández, *Regresión Logística* (págs. 4-7). Madrid: Universidad autonoma de Madrid.
- Gutierrez, M. (1989). Conceptos Administrativos Del Control de Calidad. *Conceptos Administrativos Del Control de Calidad*. México, México: ITSM.
- Hamrock, B. J. (2014). TEORIA DE FUNDICION . En B. J. Hamrock, *TEORIA DE FUNDICION DE METALES* (págs. 215-243).
- INEN, N. (Marzo de 2017). ALUMINIO. PERFILES, BARRAS, VARILLAS Y TUBOS EXTRUIDOS. . *ALUMINIO. PERFILES, BARRAS, VARILLAS Y TUBOS EXTRUIDOS*. . Quito, Ecuador, Ecuador.

- LEMAT. (2021). *Informe de ensayos*. Guayaquil: ESPOL.
- Maldonado, P. (07 de Octubre de 2013). *TECNOLOGIA DE LOS MATERIALES*. Obtenido de TECNOLOGIA DE LOS MATERIALES: [tecnologiadelosmaterialesupel](http://tecnologiadelosmaterialesupel)
- Martínez, S. (4 de ABRIL de 2020). *Regresión Logística: Respuesta Binaria*. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/459899854/Regresi-n-logistica>
- Normalización, I. S. (12 de MAYO de 2017). ALUMINIO. PERFILES, BARRAS, VARILLAS Y TUBOS EXTRUIDOS REQUISITOS. QUITO, PICHINCHA, ECUADOR.
- Núñez, L. T. (12 de JULIO de 2016). REGLAMENTO AMBIENTAL DE ACTIVIDADES MINERAS. *MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE*. QUITO, PICHINCHA, ECUADOR.
- Peña, J. S., & Méndez, T. S. (2011). *Fundamentos de Fotogrametría*. Universidad de la rioja.
- Pyrotek. (1956). *Pyrotek-tratamiento de metales, fundición de piezas de aluminio*. Obtenido de Pyrotek-tratamiento de metales, fundición de piezas de aluminio: [https://www.pyrotek.com/nuestras-soluciones/aluminio/fundici%C3%B3n-de-semi-acabados/tratamiento-de-metales-fundicion-de-pieza-semi-terminada/desgasificacion-del-aluminio/index?Locale=es\\_MX#:~:text=En%20el%20proceso%20de%20desgasificaci%C3%B3n,porosidad%20](https://www.pyrotek.com/nuestras-soluciones/aluminio/fundici%C3%B3n-de-semi-acabados/tratamiento-de-metales-fundicion-de-pieza-semi-terminada/desgasificacion-del-aluminio/index?Locale=es_MX#:~:text=En%20el%20proceso%20de%20desgasificaci%C3%B3n,porosidad%20)
- Rivas, C. E., Pineda, M. A., Argüello, J. E., & Mejía., G. A. (2015). *Pruebas de densidad en vacío en muestras de aluminio obtenido a partir de latas para bebidas carbonatadas*. El Salvador: Este trabajo fue financiado por el Fondo de Investigación de Educación.
- Salcines, C. &. (2016). Importancia de los Ensayos de Compactabilidad, Resistencia en Verde y Humedad en Mezclas de Moldeo. *Revista de Ciencias de la Tierra: Minería y Geología (ISMM,Cuba)*. En C. &. Salcines, *Importancia de los Ensayos de Compactabilidad, Resistencia en Verde y Humedad en Mezclas de Moldeo. Revista de Ciencias de la Tierra: Minería y Geología (ISMM,Cuba)* (págs. Vol 17 (3-4); pp. 1-5.). Quito.
- Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: Mc Graw Hi Edication.
- Sartucha, J., & Suarez, R. (2005). Materiales inorganicos aplicados en la fabricacion de piezas de fundicion . *Anales de la Real Sociedad Española de Quimica*, 20-27.
- Torres, M. d., Gutierrez, J., & Hernandez, E. (2017). *EL MEDIO AMBIENTE vs LA INDUSTRIA DE LA FUNDICIÓN*.
- Vega, Y. (15 de Noviembre de 2017). *Slideshare*. Obtenido de Slideshare: <https://es.slideshare.net/yezeta/determinacion-de-arcilla>

# Anexos

	
<p>Molde de arena verde usando talco industrial como desmoldante.</p>	<p>Molde de arena verde usando carbonilla como desmoldante.</p>
	
<p>Movimiento mecánico de la colada después de añadir el desgasificante</p>	<p>Limpieza de la colada</p>



# INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 862:2011**  
**Primera revisión**

---

---

## **ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD.**

**Primera Edición**

STANDARD TEST METHOD FOR TOTAL EVAPORABLE MOISTURE CONTENT OF AGGREGATE BY DRYING.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales y cerámicos, áridos, ensayo, contenido total de humedad.  
CO 02.03-318  
CDU: 691.322 :620-171.3  
CIU: 2901  
ICS: 91.100.15

<b>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</b>	<b>ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD</b>	<b>NTE INEN 862:2011 Primera revisión 2011-05</b>
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p><b>1.1</b> Esta norma establece el método de ensayo para determinar el porcentaje de humedad evaporable por secado en una muestra de áridos, tanto el correspondiente a la humedad superficial, como la humedad contenida en los poros del árido.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></p> <p><b>2.1</b> Algunos áridos pueden contener agua combinada químicamente con los minerales del árido. Esta agua no es evaporable y no se incluye en el porcentaje determinado por este método de ensayo.</p> <p><b>2.2</b> Este método de ensayo es lo suficientemente preciso para los propósitos habituales, tales como el ajuste de cantidades de ingredientes para una amasada de hormigón. En general el método mide de la manera más confiable la humedad que existe en la muestra de ensayo y no determina las variaciones que puedan presentarse en el depósito. En los casos en que el árido se altera por calor, o cuando se requiera una medición más refinada, el ensayo debe llevarse a cabo utilizando un horno ventilado de temperatura controlada.</p> <p><b>2.3</b> Las partículas grandes de árido grueso, especialmente aquellas mayores de 50 mm, pueden requerir un mayor tiempo para que la humedad migre desde el interior de la partícula hasta la superficie. El usuario de esta norma debe determinar a su juicio si los métodos de secado rápido proporcionan la suficiente precisión para el uso previsto, cuando se secan las partículas de gran tamaño.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. DEFINICIONES</b></p> <p><b>3.1</b> Para los efectos de esta norma se adopta las definiciones contempladas en la NTE INEN 694.</p> <p style="text-align: center;"><b>4. DISPOSICIONES GENERALES</b></p> <p><b>4.1</b> Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso. Para recomendaciones específicas de precauciones, revisar los numerales 5.2.3.1, 5.4.2.1 y 5.4.3.1.</p> <p style="text-align: center;"><b>5. MÉTODO DE ENSAYO</b></p> <p><b>5.1 Resumen.</b> Una muestra de masa normalizada en estado natural es secada en horno hasta eliminar la humedad tanto superficial como aquella ubicada entre los poros del árido. La cantidad de agua evaporada expresada en porcentaje respecto de la masa seca es la humedad de árido.</p> <p><b>5.2 Equipos</b></p> <p><b>5.2.1 Balanza.</b> Una balanza precisa, legible y con sensibilidad de 0,1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso. Dentro de un intervalo igual al 10% de la capacidad de la balanza que se utiliza para determinar la masa, la indicación de carga debe tener una precisión de 0,1% de la diferencia entre las masas.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p> <hr/> <p>DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales y cerámicos, áridos, ensayo, contenido total de humedad.</p>		

**5.2.2 Fuente de calor.** Un horno ventilado capaz de mantener la temperatura, alrededor de la muestra, a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (ver el numeral 2.2). Cuando no es necesario un control estricto de la temperatura, se pueden utilizar otras fuentes adecuadas de calor como: planchas calientes, eléctricas o a gas; lámparas eléctricas de calor o un horno de microondas ventilado.

**5.2.3 Recipiente para la muestra.** Un recipiente de material que no le afecte el calor, de volumen suficiente para contener la muestra sin peligro de derrame y con una forma tal que la profundidad de la muestra no exceda en un quinto la dimensión lateral menor (ver nota 1).

**5.2.3.1 Precaución.** Cuando se utiliza un horno de microondas, el recipiente no debe ser metálico.

**5.2.4 Agitador.** Una cuchara o espátula de metal de tamaño conveniente.

### 5.3 Muestreo

**5.3.1** Realizar el muestreo de acuerdo con la NTE INEN 695, excepto por el tamaño de la muestra.

**5.3.2** Proporcionar una muestra de árido representativa del contenido de humedad del suministro que está siendo ensayado y que tenga una masa no menor a la cantidad que aparece en la tabla 1. Proteger la muestra de árido frente a la pérdida de humedad, antes de determinar su masa.

**TABLA 1. Tamaño de la muestra de árido**

Tamaño máximo nominal del árido (mm) <sup>A</sup>	Masa de la muestra de áridos de densidad normal, mínimo (kg) <sup>B</sup>
4,75	0,5
9,5	1,5
12,5	2
19,0	3
25,0	4
37,5	6
50	8
63	10
75	13
90	16
100	25
150	50

<sup>A</sup> Basado en tamices que cumplen la NTE INEN 154.  
<sup>B</sup> Para áridos de baja densidad, determinar la masa mínima de la muestra multiplicando el valor señalado por la masa unitaria seca (peso volumétrico) del árido, en kg/m<sup>3</sup> (determinado utilizando el procedimiento señalado en la NTE INEN 858) y dividiendo para 1 600

### 5.4 Procedimiento

**5.4.1** Determinar la masa de la muestra con una aproximación de 0,1%.

**5.4.2** Secar la muestra completamente en el recipiente por medio de la fuente de calor seleccionada, cuidando no perder partículas. Un calentamiento muy rápido puede causar que algunas partículas exploten, resultando en una pérdida de las mismas. Usar un horno de temperatura controlada, cuando el calor excesivo pueda alterar las propiedades del árido o cuando se requiera una medición más precisa. Si se utiliza una fuente de calor diferente al horno de temperatura controlada, agitar la muestra durante el secado para acelerar la operación y evitar el sobrecalentamiento localizado. Cuando se utiliza un horno de microondas, la agitación de la muestra es opcional.

NOTA 1. Excepto para el análisis de muestras grandes, una sartén normal es adecuada para utilizarla con una plancha caliente, o el uso de cualquier bandeja de metal poco profunda con fondo plano es adecuada para lámparas de calor u horno. Tener en cuenta la precaución en el numeral 5.2.3.1

(Continúa)

**5.4.2.1 Precaución.** Cuando se utiliza un horno de microondas, ocasionalmente pueden estar presentes algunos minerales en los áridos, que pudieran causar que el material al calentarse explote. Si esto ocurre, puede dañar el horno de microondas.

**5.4.3** Cuando se usa una plancha caliente, el secado puede ser acelerado con el siguiente procedimiento: añadir suficiente alcohol anhidro desnaturalizado, para cubrir la muestra húmeda. Agitar y luego permitir que el material en suspensión se asiente. Decantar la mayor cantidad de alcohol posible, sin perder ninguna partícula de la muestra. Encender el resto de alcohol y dejar que se queme durante el secado sobre la plancha caliente.

**5.4.3.1 Advertencia.** Se debe tener cuidado en controlar la operación de encendido para evitar lesiones o daños causados al quemar el alcohol.

**5.4.4** La muestra está completamente seca cuando un mayor tiempo de calor ocasiona, o puede ocasionar, una pérdida adicional de la masa menor al 0,1%.

**5.4.5** Determinar la masa de la muestra seca, con una aproximación de 0,1%, luego de que se haya enfriado lo suficiente como para no dañar la balanza.

## 5.5 Cálculos

**5.5.1** Calcular el contenido total de humedad evaporable de la siguiente manera:

$$P = 100 (W - D)/D \quad (1)$$

Donde:

- P = contenido total de humedad evaporable de la muestra, porcentaje,  
W = masa de la muestra original, g, y  
D = masa de la muestra seca, g.

**5.5.2** El contenido de humedad superficial es igual a la diferencia entre el contenido total de humedad evaporable y la absorción, con todos los valores basados en la masa de la muestra seca. La absorción puede ser determinada de conformidad con la NTE INEN 856 o la NTE INEN 857.

**5.6 Informe de resultados.** Se debe elaborar un informe de resultados que contenga al menos lo siguiente:

- a) Fecha de muestreo y ensayo,
- b) Nombre del laboratorio y del laboratorista que realizó el ensayo,
- c) Equipo utilizado (tipo de fuente de calor),
- d) Identificación de la muestra del árido,
- e) Masa de la muestra original,
- f) Masa de la muestra seca,
- g) Contenido total de humedad (ver nota 2),
- h) Otros detalles necesarios para la completa identificación de la muestra.

## 5.7 Precisión y desviación

**5.7.1 Precisión:**

**5.7.1.1** Se ha encontrado que la desviación estándar para el contenido de humedad de los áridos, para un solo operador y dentro de un mismo laboratorio, es 0,28%. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados por el mismo operador en el mismo laboratorio, en el mismo tipo de muestra de árido, no debe diferir en más de 0,79% el uno del otro (ver nota 3).

**5.7.1.2** Se ha encontrado que la desviación estándar para el contenido de humedad de los áridos, entre laboratorios, es 0,28%. Por lo tanto, los resultados de ensayos correctamente realizados por dos laboratorios en la misma muestra de árido, no debe diferir en más de 0,79% el uno del otro (ver nota 3).

NOTA 2. Se debe reportar la cantidad total de agua que se evaporó en el ensayo.

NOTA 3. Estos números representan, respectivamente, los límites el 1s y d2s como se describen en la norma ASTM C 670.

**5.7.1.3** Los datos de ensayo utilizados para determinar los índices de precisión indicados en los párrafos anteriores, se han obtenido de muestras secas a una masa constante en un horno de secado, manteniéndolo a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Cuando se utilizan otros procedimientos de secado, la precisión de los resultados puede ser significativamente diferente de los indicados anteriormente.

**5.7.2 Desviación.** Cuando los resultados experimentales se comparan con valores conocidos a partir de especímenes compuestos cuidadosamente mezclados, se ha determinado lo siguiente:

- a) Se ha encontrado que la desviación de los ensayos de humedad en una muestra de árido, tienen una media de  $+0,06\%$ . Se ha encontrado que la desviación de los valores de ensayos individuales para la misma muestra de árido que está entre  $-0,07\%$  y  $+0,20\%$  tiene un 95% de confianza.
- b) Se ha encontrado que la desviación de los ensayos de humedad en una segunda muestra de árido, tienen una media  $< +0,01\%$ . Se ha encontrado que la desviación de los valores de ensayos individuales para la misma muestra de árido que está entre  $-0,14\%$  y  $+0,14\%$  tiene un 95% de confianza.
- c) Se ha encontrado que la desviación de ensayos de humedad global en ambas muestras de árido, tienen una media de  $+0,03\%$ . Se ha encontrado que la desviación de los valores de ensayos individuales para la misma muestra de árido que está entre  $-0,12\%$  y  $+0,18\%$  tiene un 95% de confianza.

**5.7.2.2** Los datos de ensayo utilizados para determinar las declaraciones de desviación anteriores, se han obtenido de muestras secas hasta masa constante en un horno de secado, manteniéndolo a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Cuando se utilizan otros procedimientos de secado, la desviación de los resultados pueden ser significativamente diferentes de los indicados anteriormente (ver nota 4).

---

NOTA 4. Estas declaraciones de precisión y desviación fueron derivadas de los datos de humedad del árido proporcionados por 17 laboratorios participantes en el SHRP Soil Moisture Proficiency Sample Program que se describen en detalle en el National Research Council Report SHRP-P-619. Las muestras analizadas relacionadas a estas declaraciones fueron mezclas bien graduadas de áridos finos y gruesos con un contenido de humedad variando desde seco al aire hasta saturado superficialmente seco.

(Continúa)

## APÉNDICE Z

### Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 154	<i>Tamices de ensayo. Dimensiones nominales de las aberturas.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 694	<i>Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 695	<i>Áridos para hormigón. Muestreo.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 856	<i>Árido. Determinación de la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido fino.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 857	<i>Árido. Determinación de la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido grueso.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 858	<i>Áridos para hormigón. Determinación de la masa unitaria y del porcentaje de huecos.</i>
Norma ASTM C 670	<i>Práctica para la preparación de informes de precisión y desviación para métodos de ensayo para materiales de construcción.</i>

### Z.2 BASE DE ESTUDIO

ASTM C 566 – 04. *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying.* American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2004.

## INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

<b>Documento:</b> NTE INEN 862 Primera revisión	<b>TÍTULO: ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD</b>	<b>Código:</b> <b>CO 02.03-318</b>
---	---	---------------------------------------

<b>ORIGINAL:</b> Fecha de iniciación del estudio:	<b>REVISIÓN:</b> Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo 1982-12-09 Oficialización con el Carácter de <b>OBLIGATORIA</b> por Acuerdo Ministerial No. 110 del 1983-03-30 publicado en el Registro Oficial No. 471 del 1983-04-14  Fecha de iniciación del estudio: 2009-10-15
--	---

Fechas de consulta pública: de \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_

Subcomité Técnico: **Hormigones, áridos y morteros**

Fecha de iniciación: 2009-10-19

Fecha de aprobación: 2009-10-22

Integrantes del Subcomité Técnico:

**NOMBRES:**

**INSTITUCIÓN REPRESENTADA:**

Ing. Guillermo Realpe (Presidente)

FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL  
ECUADOR

Ing. José Arce  
Ing. Jaime Salvador

HORMIGONES HÉRCULES S. A.  
INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y  
DEL CONCRETO. INECYC.

Ing. Raúl Ávila

ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE  
HORMIGÓN PREMEZCLADO DEL ECUADOR.  
APRHOPEC.

Ing. Hugo Egüez  
Ing. Raúl Cabrera  
Sr. Carlos Aulestia  
Ing. Xavier Arce

HOLCIM ECUADOR S. A. AGREGADOS  
HOLCIM ECUADOR S. A. HORMIGONES  
LAFARGE CEMENTOS S. A.  
CÁMARA DE LA CONSTRUCCIÓN DE  
GUAYAQUIL.

Ing. Marlon Valarezo

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE  
LOJA

Arq. Soledad Moreno  
Ing. Carlos González  
Ing. Víctor Buri  
Ing. Douglas Alejandro  
Ing. Verónica Miranda

INTACO ECUADOR S. A.  
INTACO ECUADOR S. A.  
HORMIGONES HÉRCULES S. A.  
MUNICIPIO DE GUAYAQUIL.

Ing. Diana Sánchez

COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE  
PICHINCHA / HORMIGONES EQUINOCCIAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA. PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

Ing. Stalin Serrano  
Ing. Xavier Herrera  
Ing. Mireya Martínez  
Ing. Rubén Vásquez  
Ing. Víctor Luzuriaga  
Ing. Patricio Torres  
Ing. Luis Balarezo  
Ing. Carlos Castillo (Prosecretario Técnico)

HORMIGONES EQUINOCCIAL.  
HORMIGONERA QUITO  
CAMINOSCA CIA. LTDA.  
CEMENTO CHIMBORAZO C. A.  
INDUSTRIAS GUAPÁN S. A.  
DICOPLAN CIA. LTDA.  
CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO  
INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y  
DEL CONCRETO. INECYC

Otros trámites: ♦<sup>4</sup> La NTE INEN 862:1983 sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA a VOLUNTARIA**, según Acuerdo Ministerial No. 235 de 1998-05-04 publicado en el Registro Oficial No. 321 del 1998-05-20.

Esta NTE INEN 862:2011 (Primera Revisión), reemplaza a la NTE INEN 862:1983

El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2010-12-17

Oficializada como: Voluntaria

Por Resolución No. 153-2010 de 2010-12-17

Registro Oficial No. Edición especial 151 de 2011-05-26

---

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre  
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815  
Dirección General: E-Mail: [direccion@inen.gob.ec](mailto:direccion@inen.gob.ec)  
Área Técnica de Normalización: E-Mail: [normalizacion@inen.gob.ec](mailto:normalizacion@inen.gob.ec)  
Área Técnica de Certificación: E-Mail: [certificacion@inen.gob.ec](mailto:certificacion@inen.gob.ec)  
Área Técnica de Verificación: E-Mail: [verificacion@inen.gob.ec](mailto:verificacion@inen.gob.ec)  
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail: [inenlaboratorios@inen.gob.ec](mailto:inenlaboratorios@inen.gob.ec)  
Regional Guayas: E-Mail: [inenguayas@inen.gob.ec](mailto:inenguayas@inen.gob.ec)  
Regional Azuay: E-Mail: [inencuenca@inen.gob.ec](mailto:inencuenca@inen.gob.ec)  
Regional Chimborazo: E-Mail: [inenriobamba@inen.gob.ec](mailto:inenriobamba@inen.gob.ec)  
URL: [www.inen.gob.ec](http://www.inen.gob.ec)**



# INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 696:2011**  
**Primera revisión**

---

---

## **ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO.**

**Primera Edición**

STANDARD TEST METHOD FOR SIEVE ANALYSIS OF FINE AND COARSE AGGREGATES.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales y cerámicos, áridos grueso y fino, ensayo, granulometría.  
CO 02.03-301  
CDU: 691.322 :620.173.2  
CIU: 2901  
ICS: 91.100.15

<b>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</b>	<b>ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO.</b>	<b>NTE INEN 696:2011 Primera revisión 2011-05</b>
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p><b>1.1</b> Esta norma establece el método de ensayo para determinar la distribución granulométrica de las partículas de áridos, fino y grueso, por tamizado.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></p> <p><b>2.1</b> Este método de ensayo se utiliza principalmente para determinar la graduación de materiales con el propósito de utilizarlos como áridos para hormigón o utilizarlos como áridos para otros propósitos. Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución granulométrica de las partículas con los requisitos de las especificaciones aplicables y proporcionar la información necesaria para el control de la producción de diversos productos de áridos y mezclas que contengan áridos. La información también puede ser útil en el desarrollo de relaciones para estimar la porosidad y el arreglo de las partículas.</p> <p><b>2.2</b> En esta norma se incluyen instrucciones para el análisis granulométrico de áridos que contienen mezclas de fracciones finas y gruesas.</p> <p><b>2.3</b> Mediante el uso de este método de ensayo, no se puede lograr una determinación precisa del material más fino que el tamiz de 75 µm (No. 200). Para el tamizado del material más fino que el tamiz de 75 µm mediante lavado, se debe emplear la NTE INEN 697.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. DEFINICIONES</b></p> <p><b>3.1</b> Para los efectos de esta norma se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 694.</p> <p style="text-align: center;"><b>4. DISPOSICIONES GENERALES</b></p> <p><b>4.1</b> Algunas especificaciones para áridos las cuales hacen referencia a este método de ensayo contienen requisitos para graduación de las fracciones gruesa y fina. En esta norma se incluyen las instrucciones para los análisis granulométricos de tales áridos.</p> <p><b>4.2</b> Para los métodos de muestreo y ensayo de los áridos de alta densidad, se debe referir a la norma ASTM C 637.</p> <p><b>4.3</b> Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.</p> <p style="text-align: center;"><b>5. MÉTODO DE ENSAYO</b></p> <p><b>5.1 Resumen.</b> Las partículas componentes de una muestra en condiciones secas y de masa conocida son separadas por tamaño a través de una serie de tamices de aberturas ordenadas en forma descendente. Las masas de las partículas mayores a las aberturas de la serie de tamices utilizados, expresado en porcentaje de la masa total, permite determinar la distribución del tamaño de partículas.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p> <hr/> <p>DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales y cerámicos, áridos grueso y fino, ensayo, granulometría.</p>		

## 5.2 Equipos

**5.2.1 Balanzas.** Las balanzas utilizadas en el ensayo del árido fino y grueso deben tener una legibilidad y exactitud como la que se indica a continuación:

**5.2.1.1** Para árido fino, debe ser legible hasta 0,1 g y tener una precisión de 0,1 g o del 0,1% de la carga de ensayo, el que sea mayor, en cualquier punto, dentro del rango de uso.

**5.2.1.2** Para árido grueso o mezclas de áridos fino y grueso, debe ser legible y tener una precisión de 0,5 g o 0,1% de la carga de ensayo, el que sea mayor, en cualquier punto dentro del rango de uso.

**5.2.2 Tamices.** La tela del tamiz debe ser montada sobre marcos cuya construcción evite pérdidas de material durante el tamizado. La tela y los marcos del tamiz normalizado deben cumplir con los requisitos de la NTE INEN 154. Los marcos de tamiz no normalizados deben cumplir con los requisitos de la NTE INEN 154 que sean aplicables (ver nota 1).

**5.2.3 Agitador de tamices mecánico.** Un dispositivo de tamizado mecánico, si se utiliza, debe crear un movimiento en los tamices que produzca que las partículas reboten y caigan, u otro tipo de movimiento que presente diferente orientación a la superficie de tamizado. La acción de tamizado debe ser tal que se cumpla el criterio para un tamizado adecuado, descrito en el numeral 5.4.4, en un período de tiempo razonable (ver nota 2).

**5.2.4 Horno.** Un horno de tamaño adecuado, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 °C ± 5 °C.

## 5.3 Muestreo

**5.3.1** Muestrear el árido de conformidad con NTE INEN 695. El tamaño de la muestra de campo debe ser la cantidad indicada en la NTE INEN 695 o cuatro veces la cantidad requerida en los numerales 5.3.4 y 5.3.5 (excepto como se ha modificado en el numeral 5.3.6), el que sea mayor.

**5.3.2** Mezclar completamente la muestra y reducirla a una cantidad adecuada para el ensayo, utilizando los procedimientos descritos en la norma ASTM C 702. La muestra para el ensayo debe ser, aproximadamente, la cantidad deseada en seco y se la debe obtener como resultado final de la reducción. No se permite una reducción a una cantidad exacta predeterminada (ver nota 3).

**5.3.3 Árido fino.** El tamaño de la muestra para el ensayo, luego de secarla, debe ser como mínimo 300 gramos.

**5.3.4 Árido grueso.** El tamaño de la muestra para el ensayo de árido grueso debe cumplir con lo señalado en la tabla 1.

NOTA 1. Para ensayos de árido grueso se recomienda utilizar tamices montados en marcos más grandes que el normalizado de 203,2 mm de diámetro, para reducir la posibilidad de sobrecargar los tamices. Ver el numeral 5.4.3.

NOTA 2. Se recomienda el uso de un agitador de tamices mecánico cuando el tamaño de la muestra es de 20 kg o más, aunque puede ser utilizado para muestras más pequeñas, incluyendo árido fino. Un tiempo excesivo (mayor a 10 minutos aproximadamente) puede resultar en la degradación de la muestra. El mismo agitador de tamices mecánico puede no resultar práctico para todos los tamaños de muestras, ya que se necesita un área de tamizado mayor para el tamizado efectivo de un árido grueso de mayor tamaño nominal y muy probable puede ocasionar la pérdida de una porción de la muestra si se lo utiliza con una muestra pequeña de árido grueso o árido fino.

NOTA 3. En caso de que el análisis granulométrico, incluyendo la determinación del material más fino que el tamiz de 75 µm, sea el único ensayo a realizarse, se puede reducir en el campo el tamaño de la muestra para evitar el envío de cantidades excesivas de material adicional al laboratorio.

(Continúa)

**TABLA 1. Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso**

Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas, en mm (pulgadas).	Tamaño de la muestra del ensayo Mínimo (kg)
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

**5.3.5 Mezclas de áridos grueso y fino.** El tamaño de la muestra para el ensayo de las mezclas de árido grueso y fino, debe ser el mismo que para el árido grueso indicado en el numeral 5.3.4.

**5.3.6 Muestreo del árido grueso de gran tamaño.** El tamaño de la muestra requerida para árido con un tamaño nominal máximo de 50 mm o mayor, debe ser tal que se evite la reducción de la muestra y se ensaye como una unidad, excepto si se utilizan grandes separadores mecánicos y agitadores de tamices. Como una opción, cuando dicho equipo no está disponible, en lugar de combinar y mezclar incrementos de la muestra y luego reducir la muestra de campo al tamaño de ensayo, realizar el tamizado en un número de porciones de muestra aproximadamente iguales tal que la masa total ensayada cumpla con los requisitos del numeral 5.3.4.

**5.3.7** En el caso de que se determine la cantidad de material más fino que el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) mediante el método de ensayo de la NTE INEN 697, proceder de la siguiente manera:

**5.3.7.1** Para áridos con un tamaño nominal máximo de 12,5 mm o menor, utilizar la misma muestra para los ensayos que se realizan con esta norma y con la NTE INEN 697. Primero ensayar la muestra de conformidad con la NTE INEN 697, luego realizar la operación de secado final y tamizar la muestra seca de acuerdo a lo estipulado en los numerales 5.4.2 al 5.4.7 de esta norma.

**5.3.7.2** Para áridos con un tamaño nominal máximo superior a 12,5 mm, utilizar una única muestra de ensayo, según lo descrito en el numeral 5.3.7.1 u opcionalmente utilizar muestras separadas para los ensayos según la NTE INEN 697 y esta norma.

**5.3.7.3** Cuando las especificaciones requieran la determinación de la cantidad total del material más fino que el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  por lavado y por tamizado en seco, proceder según lo descrito en el numeral 5.3.7.1.

## 5.4 Procedimiento

**5.4.1** Secar la muestra hasta masa constante a una temperatura de 110  $^{\circ}\text{C} \pm 5$   $^{\circ}\text{C}$  (ver nota 4).

**5.4.2** Seleccionar los tamices necesarios y adecuados que cubran los tamaños de las partículas del material a ensayarse, con el propósito de obtener la información requerida en las especificaciones. Utilizar tantos tamices adicionales como se desee o como sean necesarios para proporcionar información adicional, tal como el módulo de finura o para regular la cantidad de material sobre un tamiz. Ordenar los tamices en forma decreciente según el tamaño de su abertura, de arriba a abajo y colocar la muestra en el tamiz superior. Agitar los tamices manualmente o por medio de aparatos mecánicos durante un período suficiente, ya sea establecido por el ensayo o también controlado por medio de la masa de la muestra de ensayo, de tal forma que cumpla con el criterio de conformidad o de tamizado descritos en el numeral 5.4.4.

NOTA 4. Para propósitos de control, especialmente cuando se desean resultados rápidos, no es necesario secar el árido grueso para el ensayo del análisis granulométrico. Los resultados son poco afectados por el contenido de humedad a menos que: (1) el tamaño nominal máximo sea menor que 12,5 mm; (2) el árido grueso contenga apreciable cantidad de material más fino que el tamiz de 4,75 mm (No. 4); o (3) el árido grueso tenga una absorción muy alta (por ejemplo, un árido de densidad baja). Además, se pueden secar las muestras a altas temperaturas mediante el uso de planchas calientes, sin afectar los resultados, siempre que el vapor se escape sin generar presión suficiente para fracturar la partículas y las temperaturas no sean tan altas como para causar una descomposición química del árido.

**5.4.3** Limitar la cantidad de material sobre un determinado tamiz de manera que todas las partículas tengan oportunidad de llegar a las aberturas del tamiz algunas veces durante la operación de tamizado. Para tamices con aberturas más pequeñas que 4,75 mm (No. 4), la cantidad que se retiene sobre cualquier tamiz al finalizar la operación de tamizado no debe exceder 7 kg/m<sup>2</sup> en la superficie de tamizado (ver nota 5). Para tamices con aberturas de 4,75 mm (No. 4) y más grandes, la cantidad retenida en kg no debe exceder del producto de 2,5 X (la abertura del tamiz, en mm y X (el área efectiva de tamizado, en m<sup>2</sup>)). Esta cantidad se muestra en la tabla 2, para cinco diferentes dimensiones del marco de tamiz entre circulares, cuadrados y rectangulares, los que son de mayor uso. En ningún caso la cantidad retenida debe ser tan grande como para causar una deformación permanente de la tela de tamiz.

**TABLA 2. Máxima cantidad permitida de material retenido sobre un tamiz, en kg.**

Tamaño de abertura del tamiz (mm)	Tamiz de dimensiones nominales				
	Ø = 203,2 mm <sup>A</sup>	Ø = 254 mm <sup>A</sup>	Ø = 304,8 mm <sup>A</sup>	350 X 350 mm	372 X 580 mm
	Área de tamizado, (m <sup>2</sup> )				
	0,0285	0,0457	0,0670	0,1225	0,2158
125	B	B	B	B	67,4
100	B	B	B	30,6	53,9
90	B	B	15,1	27,6	48,5
75	B	8,6	12,6	23,0	40,5
63	B	7,2	10,6	19,3	34,0
50	3,6	5,7	8,4	15,3	27,0
37,5	2,7	4,3	6,3	11,5	20,2
25,0	1,8	2,9	4,2	7,7	13,5
19,0	1,4	2,2	3,2	5,8	10,5
12,5	0,89	1,4	2,1	3,8	6,7
9,5	0,67	1,1	1,6	2,9	5,1
4,75	0,33	0,54	0,80	1,5	2,6

<sup>A</sup> El área para los tamices de marcos redondos se basa en un diámetro efectivo de 12,7 mm, menor que el diámetro nominal del marco, porque la NTE INEN 154 permite que el sello entre la tela del tamiz y el marco se extienda a 6,35 mm sobre la tela del tamiz. Así el diámetro efectivo de tamizado para un tamiz con un marco de diámetro de 203,2 mm es de 190,5 mm. En tamices elaborados por algunos fabricantes el sello no se extiende en la tela del tamiz los 6,35 mm completos.

<sup>B</sup> Los tamices indicados tienen menos de cinco aberturas completas y no deben ser utilizados para el ensayo de tamizado, excepto por lo indicado en el numeral 5.4.6.

**5.4.3.1** Evitar una sobrecarga de material sobre un tamiz individual, mediante alguno de los siguientes métodos:

- Insertar un tamiz adicional con un tamaño intermedio de abertura entre el tamiz que puede estar sobrecargado y el tamiz inmediatamente superior al tamiz en el conjunto original de tamices.
- Dividir la muestra en dos o más porciones, tamizando cada porción individualmente. Combinar las masas de las varias porciones retenidas sobre un tamiz específico antes de calcular el porcentaje de la muestra en el tamiz.
- Utilizar tamices con un tamaño de marco más grande y que proporcione un área mayor de tamizado.

NOTA 5. Los 7 kg/m<sup>2</sup> equivalen a 200 g en un tamiz habitual de 203,2 mm de diámetro (con un diámetro de la superficie efectiva de tamizado de 190,5 mm).

(Continúa)

**5.4.4** Continuar tamizando por un período suficiente de forma tal que, después de la finalización, no más del 1% en masa del material retenido en cualquier tamiz individual pase el tamiz durante 1 min de tamizado manual continuo realizado de la siguiente manera: sostener el tamiz individual, provisto con una bandeja inferior y una tapa, en una posición ligeramente inclinada en una mano. Golpear un lado del tamiz fuertemente y con un movimiento hacia arriba contra la base de la otra mano, a razón de aproximadamente 150 veces por minuto, girar el tamiz, aproximadamente una sexta parte de una revolución, en intervalos de alrededor de 25 golpes. En la determinación de la efectividad del tamizado para tamaños mayores que el tamiz de 4,75 mm (No. 4), limitar el material sobre el tamiz a una sola capa de partículas. Si el tamaño de los tamices de ensayo montados hace que el movimiento descrito de tamizado no sea práctico, utilizar tamices con diámetro de 203 mm para verificar la efectividad del tamizado.

**5.4.5** Evitar la sobrecarga de los tamices individuales según el numeral 5.4.3.1 para el caso de mezclas de áridos grueso y fino.

**5.4.5.1** Opcionalmente, reducir la porción más fina que el tamiz de 4,75 mm (No. 4) utilizando un reductor mecánico de acuerdo con la norma ASTM C 702. Si se sigue este procedimiento, calcular la masa de cada fracción de tamaño de la muestra original de la siguiente manera:

$$A = \frac{W_1}{W_2} \times B \quad (1)$$

Donde:

- A = masa corregida en base a la muestra total,
- $W_1$  = masa de la fracción más fina que el tamiz de 4,75 mm (No. 4) en la masa total,
- $W_2$  = masa reducida del material más fino que el tamiz de 4,75 mm (No. 4) actualmente tamizado, y
- B = masa de la fracción en cada porción reducida tamizada.

**5.4.6** A menos que se utilice un agitador de tamices mecánico, tamizar a mano las partículas mayores de 75 mm mediante la determinación de la abertura más pequeña de tamiz por la cual puede pasar cada partícula. Iniciar el ensayo con el tamiz más pequeño a ser utilizado. Girar las partículas, si es necesario, a fin de determinar si van a pasar a través de una abertura particular, sin embargo, no se debe forzar a las partículas para pasar a través de una abertura.

**5.4.7** Determinar las masas de cada incremento de tamaño en una balanza que cumpla con los requisitos especificados en el numeral 5.2.1, con una precisión de 0,1% de la masa total de la muestra seca original. La masa total del material después del tamizado debe ser similar a la masa original de la muestra colocada sobre los tamices. Si las cantidades difieren en más del 0,3%, respecto a la masa de la muestra seca original, los resultados no deben ser utilizados con fines de aceptación.

**5.4.8** Si se ha ensayado previamente la muestra por el método de ensayo de la NTE INEN 697, agregar la masa más fina que el tamiz de 75  $\mu$ m (No. 200) determinado por ese método de ensayo, a la masa que pasa por el tamiz de 75  $\mu$ m (No. 200) en el tamizado en seco de la misma muestra por este método de ensayo.

## 5.5 Cálculos

**5.5.1** Calcular los porcentajes pasantes, los porcentajes retenidos totales o porcentajes en fracciones de varios tamaños con una aproximación de 0,1% sobre la base de la masa total de la muestra seca inicial. Si la misma muestra de ensayo fue ensayada previamente por el método de ensayo de la NTE INEN 697, incluir en el cálculo del análisis por tamizado, la masa del material más fino que el tamiz de 75  $\mu$ m (No. 200) determinada por lavado, utilizando la masa seca total de la muestra antes del lavado como base para el cálculo de todos los porcentajes.

**5.5.1.1** Cuando los incrementos de la muestra sean ensayados según lo dispuesto en el numeral 5.3.6, sumar las masas de la porción de los incrementos retenidas en cada tamiz y utilizar estas masas para calcular los porcentajes según el numeral 5.5.1.

(Continúa)

**5.5.2** Cuando se lo requiera, calcular el módulo de finura mediante la sumatoria de los porcentajes totales de material que es más grueso que cada uno de los siguientes tamices (porcentajes retenidos acumulados) y dividiendo la suma para 100: 150  $\mu\text{m}$  (No. 100), 300  $\mu\text{m}$  (No. 50), 600  $\mu\text{m}$  (No. 30), 1,18 mm (No. 16), 2,36 mm (No. 8), 4,75 mm (No. 4), 9,5 mm, 19,0 mm, 37,5 mm y mayores, incrementando en la relación de 2 a 1.

**5.6 Informe de resultados.** Dependiendo de la forma de las especificaciones para el uso del material sometido a ensayo, se debe elaborar un informe de resultados que contenga al menos lo siguiente:

- a) Fecha de muestreo y ensayo,
- b) Nombre del laboratorio y del laboratorista que efectuó el ensayo,
- c) Identificación de la muestra de árido,
- d) Porcentaje total del material pasante de cada tamiz, o
- e) Porcentaje total del material retenido sobre cada tamiz, o
- f) Porcentaje del material retenido entre tamices consecutivos,
- g) Informar los porcentajes con una aproximación al número entero más próximo, excepto si el porcentaje que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) es inferior al 10%, este debe ser informado con una precisión de 0,1%,
- h) El módulo de finura, cuando se lo requiera, con una precisión de 0,01,
- i) Otros detalles necesarios para la completa identificación de la muestra y cualquier desviación de alguno de los enunciados de esta muestra.

### **5.7 Precisión y desviación**

**5.7.1 Precisión.** La estimación de la precisión de este método de ensayo se muestran en la tabla 3. Las estimaciones se basan en los resultados del AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Sample Program, con ensayos realizados con el método de ensayo de las normas ASTM C 136 y AASHTO No. T 27. Los datos se basan en el análisis de los resultados de los ensayos de 65 a 233 laboratorios que ensayaron 18 pares de muestras de ensayos de árido grueso para comparación y resultados de ensayos de 74 a 222 laboratorios que ensayaron 17 pares de muestras de ensayos de árido fino para comparación (muestras No. 21 a 90). Los valores de la tabla se refieren a diferentes rangos de porcentaje total de áridos que pasa por un tamiz.

**5.7.1.1** Los valores de precisión para el árido fino indicados en la tabla 3 se basan en muestras de ensayo nominales de 500 g. La revisión de este método de ensayo en 1994, permitió que el tamaño de la muestra de ensayo del árido fino sea de 300 g como mínimo. El análisis de los resultados de los ensayos en muestras de ensayo de 300 g y 500 g de las muestras de árido para comparación 99 y 100 (las muestras 99 y 100 eran esencialmente idénticas) produjo los valores de precisión que se muestran en la tabla 4, que indica solo las menores diferencias debido al tamaño de la muestra de ensayo (ver nota 6).

**5.7.2 Desviación.** Puesto que no hay un material de referencia aceptado, que sea adecuado para determinar la desviación de este método de ensayo, no se ha hecho ninguna declaración de desviación.

NOTA 6. Los valores para el árido fino indicados en la tabla 3 serán revisados para reflejar el tamaño de la muestra de 300 g cuando un número suficiente de ensayos de competencia en áridos sean realizados utilizando ese tamaño de la muestra para proporcionar datos confiables.

(Continúa)

TABLA 3. Precisión

	Porcentaje total de material pasante	Desviación estándar (1s), % A	Rango aceptable de dos resultados (d2s), % A	
Árido grueso. <sup>B</sup> Precisión para un solo operador	< 100 ≥ 95	0,32	0,9	
	< 95 ≥ 85	0,81	2,3	
	< 85 ≥ 80	1,34	3,8	
	< 80 ≥ 60	2,25	6,4	
	< 60 ≥ 20	1,32	3,7	
	< 20 ≥ 15	0,96	2,7	
	< 15 ≥ 10	1,00	2,8	
	< 10 ≥ 5	0,75	2,1	
	< 5 ≥ 2	0,53	1,5	
	< 2 > 0	0,27	0,8	
	Precisión multilaboratorio	< 100 ≥ 95	0,35	1,0
		< 95 ≥ 85	1,37	3,9
		< 85 ≥ 80	1,92	5,4
		< 80 ≥ 60	2,82	8,0
		< 60 ≥ 20	1,97	5,6
		< 20 ≥ 15	1,60	4,5
		< 15 ≥ 10	1,48	4,2
< 10 ≥ 5		1,22	3,4	
< 5 ≥ 2		1,04	3,0	
< 2 > 0	0,45	1,3		
Árido fino: Precisión para un solo operador	< 100 ≥ 95	0,26	0,7	
	< 95 ≥ 60	0,55	1,6	
	< 60 ≥ 20	0,83	2,4	
	< 20 ≥ 15	0,54	1,5	
	< 15 ≥ 10	0,36	1,0	
	< 10 ≥ 2	0,37	1,1	
	< 2 > 0	0,14	0,4	
	Precisión multilaboratorio	< 100 ≥ 95	0,23	0,6
		< 95 ≥ 60	0,77	2,2
		< 60 ≥ 20	1,41	4,0
		< 20 ≥ 15	1,10	3,1
		< 15 ≥ 10	0,73	2,1
		< 10 ≥ 2	0,65	1,8
< 2 > 0		0,31	0,9	
<p><sup>A</sup> Estos números representan los límites (1s) y (d2s) respectivamente, descritos en la norma ASTM C 670.</p> <p><sup>B</sup> La precisión estimada basada en áridos con un tamaño máximo nominal de 19,0 mm .</p>				

(Continúa)

**TABLA 4. Datos de precisión para muestras de ensayo de 300 gramos y 500 gramos**

Muestra para comparación de árido fino				Dentro del laboratorio		Entre laboratorios	
Resultado del ensayo	Tamaño de la muestra (g)	Números de laborat.	Promedio	1s	d2s	1s	d2s
Norma ASTM C 136 / AASHTO No. T 27	500	285	99,992	0,027	0,066	0,037	0,104
	300	276	99,990	0,021	0,060	0,042	0,117
Total de material pasante por el tamiz No. 4 (%)	500	281	84,10	0,43	1,21	0,63	1,76
	300	274	84,32	0,39	1,09	0,69	1,92
Total de material pasante por el tamiz No. 8 (%)	500	286	70,11	0,53	1,49	0,75	2,10
	300	272	70,00	0,62	1,74	0,76	2,12
Total de material pasante por el tamiz No. 16 (%)	500	287	48,54	0,75	2,10	1,33	3,73
	300	276	48,44	0,87	2,44	1,36	3,79
Total de material pasante por el tamiz No. 30 (%)	500	286	13,52	0,42	1,17	0,98	2,73
	300	275	13,51	0,45	1,25	0,99	2,76
Total de material pasante por el tamiz No. 50 (%)	500	287	2,55	0,15	0,42	0,37	1,03
	300	270	2,52	0,18	0,52	0,32	0,89
Total de material pasante por el tamiz No. 100 (%)	500	278	1,32	0,11	0,32	0,31	0,85
	300	266	1,30	0,14	0,39	0,31	0,85

(Continúa)

## APÉNDICE Z

### Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 154	<i>Tamices de ensayo. Dimensiones nominales de las aberturas.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 694	<i>Hormigones y áridos para elaborar hormigón. Terminología</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 695	<i>Áridos para hormigón. Muestreo.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 697	<i>Áridos para hormigón. Determinación de los materiales más finos que 75 µm.</i>
Norma ASTM C 136	<i>Método de ensayo para el análisis por tamizado de áridos finos y gruesos</i>
Norma ASTM C 637	<i>Especificaciones para áridos para hormigón para protección de la radiación.</i>
Norma ASTM C 670	<i>Práctica Para la Preparación de Informes de Precisión y Desviación para Métodos de Ensayo para Materiales de Construcción</i>
Norma ASTM C 702	<i>Práctica para reducción de muestras de árido hasta el tamaño de ensayo.</i>
Norma AASHTO No. T 27	<i>Análisis por tamizado de áridos finos y gruesos</i>

### Z.2 BASE DE ESTUDIO

ASTM C 136 – 06. *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.* American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2006.

**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**

<b>Documento:</b> NTE INEN 696 Primera revisión	<b>TÍTULO:</b> ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO.	<b>Código:</b> CO 02.03-301
<b>ORIGINAL:</b> Fecha de iniciación del estudio:	<b>REVISIÓN:</b> Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo 1982-12-09 Oficialización con el Carácter de Obligatoria por Acuerdo Ministerial No. 484 del 1983-09-19 publicado en el Registro Oficial No. 597 del 1983-10-12  Fecha de iniciación del estudio: 2009-10-05	

Fechas de consulta pública: de \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_

Subcomité Técnico: **Hormigones, áridos y morteros**

Fecha de iniciación: 2009-10-08

Fecha de aprobación: 2009-10-22

Integrantes del Subcomité Técnico:

**NOMBRES:****INSTITUCIÓN REPRESENTADA:**

Ing. Guillermo Realpe (Presidente)

FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL  
ECUADOR

Ing. José Arce  
Ing. Jaime Salvador

HORMIGONES HÉRCULES S. A.  
INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y  
DEL CONCRETO. INECYC.

Ing. Raúl Ávila

ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE  
HORMIGÓN PREMEZCLADO DEL ECUADOR.  
APRHOPEC.

Ing. Hugo Egüez  
Ing. Raúl Cabrera  
Sr. Carlos Aulestia  
Ing. Xavier Arce

HOLCIM ECUADOR S. A. AGREGADOS  
HOLCIM ECUADOR S. A. HORMIGONES  
LAFARGE CEMENTOS S. A.  
CÁMARA DE LA CONSTRUCCIÓN DE  
GUAYAQUIL.

Ing. Marlon Valarezo

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE  
LOJA

Arq. Soledad Moreno  
Ing. Carlos González  
Ing. Víctor Buri  
Ing. Douglas Alejandro  
Ing. Verónica Miranda

INTACO ECUADOR S. A.  
INTACO ECUADOR S. A.  
HORMIGONES HÉRCULES S. A.  
MUNICIPIO DE GUAYAQUIL.

Ing. Diana Sánchez

COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE  
PICHINCHA / HORMIGONES EQUINOCCIAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA. PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

Ing. Stalin Serrano  
Ing. Xavier Herrera  
Ing. Mireya Martínez  
Ing. Rubén Vásquez  
Ing. Víctor Luzuriaga  
Ing. Patricio Torres  
Ing. Luis Balarezo

HORMIGONES EQUINOCCIAL.  
HORMIGONERA QUITO  
CAMINOSCA CIA. LTDA.  
CEMENTO CHIMBORAZO C. A.  
INDUSTRIAS GUAPÁN S. A.  
DICOPLAN CIA. LTDA.

Ing. Carlos Castillo (Prosecretario Técnico)

CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO  
INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y  
DEL CONCRETO. INECYC.

Otros trámites: ♦<sup>4</sup> La NTE INEN 696:1983 sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA a VOLUNTARIA**, según Acuerdo Ministerial No. 235 de 1998-05-04 publicado en el Registro Oficial No. 321 del 1998-05-20.

Esta NTE INEN 696:2011 (Primera Revisión), reemplaza a la NTE INEN 696:1983

El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2010-12-17

Oficializada como: Voluntaria

Por Resolución No. 150-2010 de 2010-12-17

Registro Oficial No. Edición especial 151 de 2011-05-26

---

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre  
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815  
Dirección General: E-Mail: [direccion@inen.gob.ec](mailto:direccion@inen.gob.ec)  
Área Técnica de Normalización: E-Mail: [normalizacion@inen.gob.ec](mailto:normalizacion@inen.gob.ec)  
Área Técnica de Certificación: E-Mail: [certificacion@inen.gob.ec](mailto:certificacion@inen.gob.ec)  
Área Técnica de Verificación: E-Mail: [verificacion@inen.gob.ec](mailto:verificacion@inen.gob.ec)  
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail: [inenlaboratorios@inen.gob.ec](mailto:inenlaboratorios@inen.gob.ec)  
Regional Guayas: E-Mail: [inenguayas@inen.gob.ec](mailto:inenguayas@inen.gob.ec)  
Regional Azuay: E-Mail: [inencuenca@inen.gob.ec](mailto:inencuenca@inen.gob.ec)  
Regional Chimborazo: E-Mail: [inenriobamba@inen.gob.ec](mailto:inenriobamba@inen.gob.ec)  
URL: [www.inen.gob.ec](http://www.inen.gob.ec)**



# INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 698:2010**  
**Primera revisión**

---

---

## **ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DESMENUZABLES.**

**Primera Edición**

STANDARD TEST METHOD FOR CLAY LUMPS AND FRIABLE PARTICLES IN AGGREGATES.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales, áridos para hormigón, contenido de arcilla, ensayo.

CO 02.03-303

CDU: 691.322 :620.168.3

CIIU: 3699

ICS: 91.100.15

<b>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</b>	<p style="text-align: center;"><b>ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DESMENUZABLES</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>NTE INEN 698:2010 Primera revisión 2010-06</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma establece el método de ensayo para determinar de forma aproximada el contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables en los áridos para hormigón.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></p> <p>2.1 Este método de ensayo se aplica para determinar la aceptabilidad de los áridos para hormigón con respecto a los requisitos de la NTE INEN 872.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. DISPOSICIONES GENERALES</b></p> <p>3.1 Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.</p> <p style="text-align: center;"><b>4. MÉTODO DE ENSAYO</b></p> <p>4.1 <b>Resumen.</b> Luego de preparar la muestra de ensayo según el procedimiento descrito en esta norma, saturar la muestra, tratar de romper las partículas con los dedos, tamizar en húmedo la muestra y determinar el porcentaje de terrones de arcilla y partículas desmenuzables.</p> <p>4.2 <b>Equipos</b></p> <p>4.2.1 <i>Balanza.</i> Debe tener una precisión de 0,1% de la masa de la muestra de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso. Las balanzas deben cumplir con la exactitud de las secciones aplicables de la norma ASTM C 1 005.</p> <p>4.2.1.1 <i>Recipientes.</i> De material no corrosible, de un tamaño y forma tal que permitan extender en la parte inferior la muestra en una capa delgada.</p> <p>4.2.1.2 <i>Tamices.</i> Deben cumplir con la NTE INEN 154.</p> <p>4.2.1.3 <i>Horno para secado.</i> Debe disponer de circulación libre del aire y ser capaz de mantener una temperatura de 110 °C ± 5 °C.</p> <p>4.3 <b>Preparación de la muestra de ensayo</b></p> <p>4.3.1 El árido a ser utilizado en este método de ensayo debe estar integrado por el material que queda después de la finalización del ensayo de determinación de los materiales más finos que 75 µm de conformidad con la NTE INEN 697. Para obtener las cantidades señaladas en los numerales 4.3.3 y 4.3.4, puede ser necesario combinar el material de más de un ensayo de la NTE INEN 697.</p> <p>4.3.2 Secar los áridos hasta obtener una masa prácticamente constante, a una temperatura de 110 °C ± 5 °C.</p> <p>4.3.3 Las muestras de árido fino deben estar compuestas de partículas más gruesas que las aberturas del tamiz de 1,18 mm (No. 16) y deben tener una masa mínima de 25 g.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p>		
<p>DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales, áridos para hormigón, contenido de arcilla, ensayo.</p>		

**4.3.4** Para el árido grueso se debe separar las muestras de ensayo en diferentes tamaños, utilizando los siguientes tamices: 4,75 mm (No. 4), 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$ " ), 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$ " ) y 37,5 mm ( $1\frac{1}{2}$ " ). La muestra de ensayo debe tener una masa no inferior a la indicada en la siguiente tabla:

Tamaño de las partículas que forman la muestra de ensayo	Masa de la muestra de ensayo, mínimo (g)
4,75 mm a 9,5 mm (No. 4 a $\frac{3}{8}$ " )	1 000
9,5 mm a 19,0 mm ( $\frac{3}{8}$ " a $\frac{3}{4}$ " )	2 000
19,0 mm a 37,5 mm ( $\frac{3}{4}$ " a $1\frac{1}{2}$ " )	3 000
Sobre 37,5 mm ( $1\frac{1}{2}$ " )	5 000

**4.3.5** En el caso de mezclas de áridos fino y grueso, separar el material por el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y preparar las muestras de áridos finos y gruesos, de conformidad con los numerales 4.3.3 y 4.3.4.

#### 4.4 Procedimiento

**4.4.1** Determinar la masa de la muestra de ensayo con la precisión especificada en el numeral 4.2.1 y extenderla formando una fina capa en el fondo del recipiente, cubrir con agua destilada y sumergirla durante un período de 24 h  $\pm$  4 h. Rodar y apretar las partículas de forma individual entre el pulgar y el dedo índice para intentar romper la partícula en tamaños más pequeños. No se debe utilizar las uñas para romper las partículas o presionar las partículas contra una superficie dura o entre ellas. Clasificar como terrones de arcilla o partículas desmenuzables cada partícula que se puede romper con los dedos en finos removibles por tamizado húmedo. Después de que todos los terrones de arcilla y partículas desmenuzables perceptibles se han roto, separar los detritos del resto de la muestra por tamizado húmedo sobre el tamiz indicado en la siguiente tabla:

Tamaño de las partículas que forman la muestra de ensayo	Tamaño del tamiz para remover los residuos de terrones de arcilla y partículas desmenuzables
Árido fino (retenido sobre el tamiz de 1,18 mm (No. 16))	850 $\mu$ m (No. 20)
4,75 mm a 9,5 mm (No. 4 a $\frac{3}{8}$ " )	2,36 mm (No. 8)
9,5 mm a 19,0 mm ( $\frac{3}{8}$ " a $\frac{3}{4}$ " )	4,75 mm (No. 4)
19,0 mm a 37,5 mm ( $\frac{3}{4}$ " a $1\frac{1}{2}$ " )	4,75 mm (No. 4)
Sobre 37,5 mm ( $1\frac{1}{2}$ " )	4,75 mm (No. 4)

**4.4.1.1** Realizar el tamizado húmedo pasando agua a través del tamiz que contiene la muestra, mientras se agita manualmente el mismo, hasta que todo el material de tamaño más pequeño haya sido eliminado.

**4.4.2** Retirar cuidadosamente las partículas retenidas en el tamiz, secar hasta una masa prácticamente constante a una temperatura de 110  $^{\circ}$ C  $\pm$  5  $^{\circ}$ C, dejar enfriar y determinar la masa con una aproximación de 0,1% de la masa de la muestra de ensayo, tal como se define en los numerales 4.3.3 y 4.3.4.

#### 4.5 Cálculos

**4.5.1** Calcular el porcentaje de terrones de arcilla y partículas desmenuzables en el árido fino y en el árido grueso, en tamaños individuales, de la siguiente manera:

$$P = [(M - R)/M] \times 100 \quad (1)$$

Donde:

- P = Porcentaje de terrones de arcilla y partículas desmenuzables
- M = Masa de la muestra de ensayo (para árido fino la masa de la porción más gruesa que el tamiz de 1,18 mm (No. 16), tal como se describe en el numeral 4.3.3), y
- R = Masa de las partículas retenidas en el tamiz estipulado, determinado de acuerdo al numeral 4.4.2.

(Continúa)

**4.5.2** Para el árido grueso, el porcentaje de terrones de arcilla y partículas desmenuzables es un promedio basado en el porcentaje de terrones de arcilla y partículas desmenuzables en cada fracción de tamaño de tamiz, ponderados de acuerdo con la graduación de la muestra original antes de la separación o, preferiblemente, el promedio de la graduación del suministro representado por la muestra. El árido debe contener menos del 5% de cualquiera de los tamaños especificados en el numeral 4.4.1, ese tamaño no debe ser ensayado, pero con el fin de calcular el promedio ponderado, se debe considerar que contienen el mismo porcentaje de terrones de arcilla y partículas desmenuzables que el siguiente tamaño mayor o menor, si está presente.

**4.6 Informe de resultados.** Se debe elaborar un informe de resultados que contenga al menos lo siguiente:

- a) Fecha de muestreo y ensayo,
- b) Nombre del laboratorio y del laboratorista que efectuó el ensayo,
- c) Identificación de la muestra de árido,
- d) Porcentaje de terrones de arcilla o partículas desmenuzables,
- e) Otros detalles necesarios para la completa identificación de la muestra.

#### **4.7 Precisión y desviación**

**4.7.1 Precisión.** La precisión de este método de ensayo es provisional y se basa en muestras de un árido fino que ha sido ensayado por diez laboratoristas diferentes en nueve laboratorios diferentes. Para esta muestra, el promedio de "porcentaje de terrones de arcilla o partículas desmenuzables " en el árido fue de 1,2% y la desviación estándar fue de 0,6%. Sobre la base de esta desviación estándar, el rango aceptable del resultado de dos ensayos en muestras del mismo árido enviado a diferentes laboratorios es de 1,7% (ver nota 1).

**4.7.2 Desviación.** Puesto que no hay un material aceptable de referencia para determinar la desviación para el procedimiento de este método de ensayo no se hace ninguna declaración.

NOTA 1. Los datos de apoyo han sido archivados en las oficinas de ASTM Internacional y pueden obtenerse solicitando el Informe de Investigación RR: C09-1016

(Continúa)

## APÉNDICE Z

### Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 154 *Tamices de ensayo. Dimensiones nominales de las aberturas.*
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 697 *Áridos para hormigón. Determinación de los materiales más finos que 75 µm.*
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 872 *Áridos para hormigón. Requisitos.*
- ASTM C 1 005 *Especificaciones para masas y aparatos para determinar masa y volumen usados en los ensayos físicos de cemento hidráulico.*

### Z.2 BASE DE ESTUDIO

- ASTM C 142 – 04. *Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates.* American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2004.

## INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

<b>Documento:</b> NTE INEN 698 Primera revisión	<b>TÍTULO: ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y CO PARTÍCULAS DESMENUZABLES</b>	<b>Código:</b> <b>02.03-303</b>
---	---	------------------------------------

<b>ORIGINAL:</b> Fecha de iniciación del estudio:	<b>REVISIÓN:</b> Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo 1982-12-09 Oficialización con el Carácter de <b>OBLIGATORIA</b> por Acuerdo Ministerial No. 507 del 1983-09-27 publicado en el Registro Oficial No. 598 del 1983-10-13  Fecha de iniciación del estudio: 2009-09-24
--	---

Fechas de consulta pública: de \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_

<b>Subcomité Técnico: HORMIGÓN, ÁRIDOS Y MORTEROS</b>	
Fecha de iniciación: 2009-09-28	Fecha de aprobación: 2009-10-01
Integrantes del Subcomité Técnico:	

### NOMBRES:

Ing. Guillermo Realpe (Presidente)

Ing. José Arce (Vicepresidente)

Ing. Jaime Salvador

Ing. Raúl Ávila

Ing. Hugo Egüez

Ing. Raúl Cabrera

Sr. Carlos Aulestia

Ing. Xavier Arce

Ing. Marlon Valarezo

Arq. Soledad Moreno

Ing. Carlos González

Ing. Víctor Buri

Ing. Douglas Alejandro

Ing. Verónica Miranda

Ing. Diana Sánchez

Ing. Stalin Serrano

Ing. Xavier Herrera

Ing. Mireya Martínez

Ing. Rubén Vásquez

Ing. Víctor Luzuriaga

Ing. Patricio Torres

Ing. Luis Balarezo

Ing. Carlos Castillo (Prosecretario Técnico)

### INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

HORMIGONES HÉRCULES S. A.

INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO. INECYC.

ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE HORMIGÓN PREMEZCLADO DEL ECUADOR. APRHOPEC.

HOLCIM ECUADOR S. A. AGREGADOS

HOLCIM ECUADOR S. A. HORMIGONES

LAFARGE CEMENTOS S. A.

CÁMARA CONSTRUCCIÓN GUAYAQUIL.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

INTACO ECUADOR S. A.

INTACO ECUADOR S. A.

HORMIGONES HÉRCULES S. A.

MUNICIPIO DE GUAYAQUIL.

COLEGIO INGENIEROS CIVILES PICHINCHA / HORMIGONES EQUINOCCIAL

FACULTAD DE INGENIERÍA. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

HORMIGONES EQUINOCCIAL.

HORMIGONERA QUITO

CAMINOSCA CIA. LTDA.

CEMENTO CHIMBORAZO C. A.

INDUSTRIAS GUAPÁN S. A.

DICOPLAN CIA. LTDA.

CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO

INECYC.

Otros trámites: ♦ La NTE INEN 698:1983 (Primera Revisión) sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA** a **VOLUNTARIA**, según Acuerdo Ministerial No. 235 de 1998-05-04 publicado en el Registro Oficial No. 321 del 1998-05-20.

Esta NTE INEN 698:2010 (Primera Revisión), reemplaza a la NTE INEN 698:1983

El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2010-03-26

Oficializada como: **Voluntaria**  
 Registro Oficial No. 212 de 2010-06-11

Por Resolución No. 034-2010 de 2010-03-26

---

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre  
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815  
Dirección General: E-Mail: [direccion@inen.gov.ec](mailto:direccion@inen.gov.ec)  
Área Técnica de Normalización: E-Mail: [normalizacion@inen.gov.ec](mailto:normalizacion@inen.gov.ec)  
Área Técnica de Certificación: E-Mail: [certificacion@inen.gov.ec](mailto:certificacion@inen.gov.ec)  
Área Técnica de Verificación: E-Mail: [verificacion@inen.gov.ec](mailto:verificacion@inen.gov.ec)  
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail: [inencati@inen.gov.ec](mailto:inencati@inen.gov.ec)  
Regional Guayas: E-Mail: [inenguayas@inen.gov.ec](mailto:inenguayas@inen.gov.ec)  
Regional Azuay: E-Mail: [inencuenca@inen.gov.ec](mailto:inencuenca@inen.gov.ec)  
Regional Chimborazo: E-Mail: [inenriobamba@inen.gov.ec](mailto:inenriobamba@inen.gov.ec)  
URL: [www.inen.gov.ec](http://www.inen.gov.ec)**



# INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 698:2010**  
**Primera revisión**

---

---

## **ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DESMENUZABLES.**

**Primera Edición**

STANDARD TEST METHOD FOR CLAY LUMPS AND FRIABLE PARTICLES IN AGGREGATES.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales, áridos para hormigón, contenido de arcilla, ensayo.

CO 02.03-303

CDU: 691.322 :620.168.3

CIIU: 3699

ICS: 91.100.15

<b>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</b>	<p style="text-align: center;"><b>ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DESMENUZABLES</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>NTE INEN 698:2010 Primera revisión 2010-06</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma establece el método de ensayo para determinar de forma aproximada el contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables en los áridos para hormigón.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></p> <p>2.1 Este método de ensayo se aplica para determinar la aceptabilidad de los áridos para hormigón con respecto a los requisitos de la NTE INEN 872.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. DISPOSICIONES GENERALES</b></p> <p>3.1 Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.</p> <p style="text-align: center;"><b>4. MÉTODO DE ENSAYO</b></p> <p>4.1 <b>Resumen.</b> Luego de preparar la muestra de ensayo según el procedimiento descrito en esta norma, saturar la muestra, tratar de romper las partículas con los dedos, tamizar en húmedo la muestra y determinar el porcentaje de terrones de arcilla y partículas desmenuzables.</p> <p>4.2 <b>Equipos</b></p> <p>4.2.1 <i>Balanza.</i> Debe tener una precisión de 0,1% de la masa de la muestra de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso. Las balanzas deben cumplir con la exactitud de las secciones aplicables de la norma ASTM C 1 005.</p> <p>4.2.1.1 <i>Recipientes.</i> De material no corrosible, de un tamaño y forma tal que permitan extender en la parte inferior la muestra en una capa delgada.</p> <p>4.2.1.2 <i>Tamices.</i> Deben cumplir con la NTE INEN 154.</p> <p>4.2.1.3 <i>Horno para secado.</i> Debe disponer de circulación libre del aire y ser capaz de mantener una temperatura de 110 °C ± 5 °C.</p> <p>4.3 <b>Preparación de la muestra de ensayo</b></p> <p>4.3.1 El árido a ser utilizado en este método de ensayo debe estar integrado por el material que queda después de la finalización del ensayo de determinación de los materiales más finos que 75 µm de conformidad con la NTE INEN 697. Para obtener las cantidades señaladas en los numerales 4.3.3 y 4.3.4, puede ser necesario combinar el material de más de un ensayo de la NTE INEN 697.</p> <p>4.3.2 Secar los áridos hasta obtener una masa prácticamente constante, a una temperatura de 110 °C ± 5 °C.</p> <p>4.3.3 Las muestras de árido fino deben estar compuestas de partículas más gruesas que las aberturas del tamiz de 1,18 mm (No. 16) y deben tener una masa mínima de 25 g.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p>		
<p>DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales, áridos para hormigón, contenido de arcilla, ensayo.</p>		

**4.3.4** Para el árido grueso se debe separar las muestras de ensayo en diferentes tamaños, utilizando los siguientes tamices: 4,75 mm (No. 4), 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$ " ), 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$ " ) y 37,5 mm ( $1\frac{1}{2}$ " ). La muestra de ensayo debe tener una masa no inferior a la indicada en la siguiente tabla:

Tamaño de las partículas que forman la muestra de ensayo	Masa de la muestra de ensayo, mínimo (g)
4,75 mm a 9,5 mm (No. 4 a $\frac{3}{8}$ " )	1 000
9,5 mm a 19,0 mm ( $\frac{3}{8}$ " a $\frac{3}{4}$ " )	2 000
19,0 mm a 37,5 mm ( $\frac{3}{4}$ " a $1\frac{1}{2}$ " )	3 000
Sobre 37,5 mm ( $1\frac{1}{2}$ " )	5 000

**4.3.5** En el caso de mezclas de áridos fino y grueso, separar el material por el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y preparar las muestras de áridos finos y gruesos, de conformidad con los numerales 4.3.3 y 4.3.4.

#### 4.4 Procedimiento

**4.4.1** Determinar la masa de la muestra de ensayo con la precisión especificada en el numeral 4.2.1 y extenderla formando una fina capa en el fondo del recipiente, cubrir con agua destilada y sumergirla durante un período de 24 h  $\pm$  4 h. Rodar y apretar las partículas de forma individual entre el pulgar y el dedo índice para intentar romper la partícula en tamaños más pequeños. No se debe utilizar las uñas para romper las partículas o presionar las partículas contra una superficie dura o entre ellas. Clasificar como terrones de arcilla o partículas desmenuzables cada partícula que se puede romper con los dedos en finos removibles por tamizado húmedo. Después de que todos los terrones de arcilla y partículas desmenuzables perceptibles se han roto, separar los detritos del resto de la muestra por tamizado húmedo sobre el tamiz indicado en la siguiente tabla:

Tamaño de las partículas que forman la muestra de ensayo	Tamaño del tamiz para remover los residuos de terrones de arcilla y partículas desmenuzables
Árido fino (retenido sobre el tamiz de 1,18 mm (No. 16))	850 $\mu$ m (No. 20)
4,75 mm a 9,5 mm (No. 4 a $\frac{3}{8}$ " )	2,36 mm (No. 8)
9,5 mm a 19,0 mm ( $\frac{3}{8}$ " a $\frac{3}{4}$ " )	4,75 mm (No. 4)
19,0 mm a 37,5 mm ( $\frac{3}{4}$ " a $1\frac{1}{2}$ " )	4,75 mm (No. 4)
Sobre 37,5 mm ( $1\frac{1}{2}$ " )	4,75 mm (No. 4)

**4.4.1.1** Realizar el tamizado húmedo pasando agua a través del tamiz que contiene la muestra, mientras se agita manualmente el mismo, hasta que todo el material de tamaño más pequeño haya sido eliminado.

**4.4.2** Retirar cuidadosamente las partículas retenidas en el tamiz, secar hasta una masa prácticamente constante a una temperatura de 110  $^{\circ}$ C  $\pm$  5  $^{\circ}$ C, dejar enfriar y determinar la masa con una aproximación de 0,1% de la masa de la muestra de ensayo, tal como se define en los numerales 4.3.3 y 4.3.4.

#### 4.5 Cálculos

**4.5.1** Calcular el porcentaje de terrones de arcilla y partículas desmenuzables en el árido fino y en el árido grueso, en tamaños individuales, de la siguiente manera:

$$P = [(M - R)/M] \times 100 \quad (1)$$

Donde:

- P = Porcentaje de terrones de arcilla y partículas desmenuzables
- M = Masa de la muestra de ensayo (para árido fino la masa de la porción más gruesa que el tamiz de 1,18 mm (No. 16), tal como se describe en el numeral 4.3.3), y
- R = Masa de las partículas retenidas en el tamiz estipulado, determinado de acuerdo al numeral 4.4.2.

(Continúa)

**4.5.2** Para el árido grueso, el porcentaje de terrones de arcilla y partículas desmenuzables es un promedio basado en el porcentaje de terrones de arcilla y partículas desmenuzables en cada fracción de tamaño de tamiz, ponderados de acuerdo con la graduación de la muestra original antes de la separación o, preferiblemente, el promedio de la graduación del suministro representado por la muestra. El árido debe contener menos del 5% de cualquiera de los tamaños especificados en el numeral 4.4.1, ese tamaño no debe ser ensayado, pero con el fin de calcular el promedio ponderado, se debe considerar que contienen el mismo porcentaje de terrones de arcilla y partículas desmenuzables que el siguiente tamaño mayor o menor, si está presente.

**4.6 Informe de resultados.** Se debe elaborar un informe de resultados que contenga al menos lo siguiente:

- a) Fecha de muestreo y ensayo,
- b) Nombre del laboratorio y del laboratorista que efectuó el ensayo,
- c) Identificación de la muestra de árido,
- d) Porcentaje de terrones de arcilla o partículas desmenuzables,
- e) Otros detalles necesarios para la completa identificación de la muestra.

#### **4.7 Precisión y desviación**

**4.7.1 Precisión.** La precisión de este método de ensayo es provisional y se basa en muestras de un árido fino que ha sido ensayado por diez laboratoristas diferentes en nueve laboratorios diferentes. Para esta muestra, el promedio de "porcentaje de terrones de arcilla o partículas desmenuzables " en el árido fue de 1,2% y la desviación estándar fue de 0,6%. Sobre la base de esta desviación estándar, el rango aceptable del resultado de dos ensayos en muestras del mismo árido enviado a diferentes laboratorios es de 1,7% (ver nota 1).

**4.7.2 Desviación.** Puesto que no hay un material aceptable de referencia para determinar la desviación para el procedimiento de este método de ensayo no se hace ninguna declaración.

NOTA 1. Los datos de apoyo han sido archivados en las oficinas de ASTM Internacional y pueden obtenerse solicitando el Informe de Investigación RR: C09-1016

(Continúa)

## APÉNDICE Z

### Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 154 *Tamices de ensayo. Dimensiones nominales de las aberturas.*
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 697 *Áridos para hormigón. Determinación de los materiales más finos que 75  $\mu\text{m}$ .*
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 872 *Áridos para hormigón. Requisitos.*
- ASTM C 1 005 *Especificaciones para masas y aparatos para determinar masa y volumen usados en los ensayos físicos de cemento hidráulico.*

### Z.2 BASE DE ESTUDIO

- ASTM C 142 – 04. *Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates.* American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2004.

## INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

<b>Documento:</b> NTE INEN 698 Primera revisión	<b>TÍTULO: ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y CO PARTÍCULAS DESMENUZABLES</b>	<b>Código:</b> <b>02.03-303</b>
---	---	------------------------------------

<b>ORIGINAL:</b> Fecha de iniciación del estudio:	<b>REVISIÓN:</b> Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo 1982-12-09 Oficialización con el Carácter de <b>OBLIGATORIA</b> por Acuerdo Ministerial No. 507 del 1983-09-27 publicado en el Registro Oficial No. 598 del 1983-10-13  Fecha de iniciación del estudio: 2009-09-24
--	---

Fechas de consulta pública: de \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_

Subcomité Técnico: HORMIGÓN, ÁRIDOS Y MORTEROS

Fecha de iniciación: 2009-09-28

Fecha de aprobación: 2009-10-01

Integrantes del Subcomité Técnico:

**NOMBRES:**

**INSTITUCIÓN REPRESENTADA:**

Ing. Guillermo Realpe (Presidente)

FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL  
ECUADOR

Ing. José Arce (Vicepresidente)

HORMIGONES HÉRCULES S. A.  
INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y  
DEL CONCRETO. INECYC.

Ing. Jaime Salvador

ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE  
HORMIGÓN PREMEZCLADO DEL ECUADOR.  
APRHOPEC.

Ing. Raúl Ávila

HOLCIM ECUADOR S. A. AGREGADOS  
HOLCIM ECUADOR S. A. HORMIGONES  
LAFARGE CEMENTOS S. A.  
CÁMARA CONSTRUCCIÓN GUAYAQUIL.  
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE  
LOJA

Ing. Hugo Egüez

Ing. Raúl Cabrera

Sr. Carlos Aulestia

Ing. Xavier Arce

Ing. Marlon Valarezo

Arq. Soledad Moreno

INTACO ECUADOR S. A.

Ing. Carlos González

INTACO ECUADOR S. A.

Ing. Víctor Buri

HORMIGONES HÉRCULES S. A.

Ing. Douglas Alejandro

MUNICIPIO DE GUAYAQUIL.

Ing. Verónica Miranda

COLEGIO INGENIEROS CIVILES PICHINCHA /  
HORMIGONES EQUINOCCIAL

Ing. Diana Sánchez

FACULTAD DE INGENIERÍA. PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

Ing. Stalin Serrano

HORMIGONES EQUINOCCIAL.

Ing. Xavier Herrera

HORMIGONERA QUITO

Ing. Mireya Martínez

CAMINOSCA CIA. LTDA.

Ing. Rubén Vásquez

CEMENTO CHIMBORAZO C. A.

Ing. Víctor Luzuriaga

INDUSTRIAS GUAPÁN S. A.

Ing. Patricio Torres

DICOPLAN CIA. LTDA.

Ing. Luis Balarezo

CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO

Ing. Carlos Castillo (Prosecretario Técnico)

INECYC.

Otros trámites: ♦ La NTE INEN 698:1983 (Primera Revisión) sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA** a **VOLUNTARIA**, según Acuerdo Ministerial No. 235 de 1998-05-04 publicado en el Registro Oficial No. 321 del 1998-05-20.

Esta NTE INEN 698:2010 (Primera Revisión), reemplaza a la NTE INEN 698:1983

El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2010-03-26

Oficializada como: **Voluntaria**  
Registro Oficial No. 212 de 2010-06-11

Por Resolución No. 034-2010 de 2010-03-26

---

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre  
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815  
Dirección General: E-Mail: [direccion@inen.gov.ec](mailto:direccion@inen.gov.ec)  
Área Técnica de Normalización: E-Mail: [normalizacion@inen.gov.ec](mailto:normalizacion@inen.gov.ec)  
Área Técnica de Certificación: E-Mail: [certificacion@inen.gov.ec](mailto:certificacion@inen.gov.ec)  
Área Técnica de Verificación: E-Mail: [verificacion@inen.gov.ec](mailto:verificacion@inen.gov.ec)  
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail: [inencati@inen.gov.ec](mailto:inencati@inen.gov.ec)  
Regional Guayas: E-Mail: [inenguayas@inen.gov.ec](mailto:inenguayas@inen.gov.ec)  
Regional Azuay: E-Mail: [inencuenca@inen.gov.ec](mailto:inencuenca@inen.gov.ec)  
Regional Chimborazo: E-Mail: [inenriobamba@inen.gov.ec](mailto:inenriobamba@inen.gov.ec)  
URL: [www.inen.gov.ec](http://www.inen.gov.ec)**



Quito – Ecuador

**NORMA  
TÉCNICA  
ECUATORIANA**

**NTE INEN-ISO 20349**

Primera edición  
2014-01

**EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL. CALZADO DE PROTECCIÓN FRENTE A RIESGOS TÉRMICOS Y SALPICADURAS DE METAL FUNDIDO COMO LOS QUE SE ENCUENTRAN EN FUNDICIONES Y SOLDADURA. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO (ISO 20349:2010, IDT)**

PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT. FOOTWEAR PROTECTING AGAINST THERMAL RISKS AND MOLTEN METAL SPLASHES AS FOUND IN FOUNDRIES AND WELDING. REQUIREMENTS AND TEST METHOD (ISO 20349:2010, IDT)

---

Correspondencia:

Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una traducción idéntica de la Norma Internacional ISO 20349:2010.

---

DESCRIPTORES: Protección personal, calzado, protección, riesgos térmicos, salpicaduras, fundiciones, soldadura.  
ICS: 13.340.50

21 Páginas
---------------

## Prólogo nacional

Esta Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 20349 es una traducción idéntica de la Norma Internacional ISO 20349:2010, *“Personal protective equipment. Footwear protecting against thermal risks and molten metal splashes as found in foundries and welding. Requirements and test method”*, la fuente de la traducción es la norma adoptada por AENOR. El comité nacional responsable de esta Norma Técnica Ecuatoriana y de su adopción es el Comité Interno del INEN.

EXTRACTO

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>PRÓLOGO .....</b>	<b>6</b>
<b>1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>2 NORMAS PARA CONSULTA.....</b>	<b>7</b>
<b>3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES .....</b>	<b>7</b>
<b>4 REQUISITOS.....</b>	<b>8</b>
<b>5 REQUISITOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>11</b>
<b>5.1 Diseño del calzado .....</b>	<b>11</b>
<b>5.2 Comportamiento ergonómico y compatibilidad .....</b>	<b>11</b>
<b>5.3 Resistencia a los efectos del metal fundido.....</b>	<b>11</b>
<b>5.4 Ensayo de pequeñas salpicaduras de metal fundido .....</b>	<b>12</b>
<b>5.5 Resistencia del corte a la transmisión del calor por contacto .....</b>	<b>12</b>
<b>5.6 Comportamiento frente al fuego del material del corte .....</b>	<b>12</b>
<b>5.7 Aislamiento del calor de la suela completa.....</b>	<b>12</b>
<b>5.8 Encogimiento superficial del cuero.....</b>	<b>12</b>
<b>6 MARCADO.....</b>	<b>12</b>
<b>7 INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL FABRICANTE.....</b>	<b>13</b>
<b>ANEXO A (Normativo) MÉTODO DE ENSAYO PARA LA RESISTENCIA DEL CALZADO A LOS EFECTOS DE GRANDES CANTIDADES DE METAL FUNDIDO .....</b>	<b>15</b>
<b>ANEXO B (Normativo) EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO ERGONÓMICO Y COMPATIBILIDAD DEL CALZADO .....</b>	<b>18</b>
<b>ANEXO C (Normativo) MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DEL CORTE DEL CALZADO.....</b>	<b>20</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>21</b>

## PRÓLOGO

ISO (Organización Internacional de Normalización) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización (organismos miembros de ISO). El trabajo de preparación de las normas internacionales normalmente se realiza a través de los comités técnicos de ISO. Cada organismo miembro interesado en una materia para la cual se haya establecido un comité técnico, tiene el derecho de estar representado en dicho comité. Las organizaciones internacionales, públicas y privadas, en coordinación con ISO, también participan en el trabajo. ISO colabora estrechamente con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en todas las materias de normalización electrotécnica.

Las normas internacionales se redactan de acuerdo con las reglas establecidas en la Parte 2 de las Directivas ISO/IEC.

La tarea principal de los comités técnicos es preparar normas internacionales. Los proyectos de normas internacionales adoptados por los comités técnicos se envían a los organismos miembros para votación. La publicación como norma internacional requiere la aprobación por al menos el 75% de los organismos miembros que emiten voto.

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de este documento puedan estar sujetos a derechos de patente. ISO no asume la responsabilidad por la identificación de cualquiera o todos los derechos de patente.

La Norma ISO 20349 ha sido preparada por el Comité Europeo de Normalización (CEN) Comité Técnico ISO/TC 161, *Dispositivos de control y seguridad para quemadores de gas y/o combustibles líquidos y aplicaciones*, en colaboración con el Comité Técnico ISO/TC 94, *Seguridad personal. Ropas y equipos de protección*, Subcomité SC 3, *Protección de los pies*, conforme al acuerdo de cooperación técnica entre ISO y CEN (Acuerdo de Viena).

**ADVERTENCIA** – Esta norma internacional requiere el uso de sustancias y/o procedimientos que pueden ser peligrosos para la salud si no se toman las precauciones adecuadas. Se refiere sólo a la adecuación técnica y no absuelve de las obligaciones legales relacionadas con la salud y la seguridad en ninguna etapa.

## 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma internacional especifica los requisitos y métodos de ensayo del calzado que protege a los usuarios de los riesgos térmicos y de las salpicaduras de hierro y aluminio fundido como los que se encuentran en fundiciones, soldadura y procesos afines.

El calzado que cumple con esta norma internacional también ofrece otra protección como se define en la Norma ISO 20345.

NOTA Polainas, cubre botas y ropa destinadas a ofrecer protección a pies y piernas frente a metal fundido se abordan en las Normas ISO 11611 e ISO 11612.

## 2 NORMAS PARA CONSULTA

Las normas que a continuación se indican son indispensables para la aplicación de esta norma. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de la norma (incluyendo cualquier modificación de ésta).

ISO 7000:2004 *Símbolos gráficos para su uso en equipos. Índice y sinopsis.*

ISO 9185:2007 *Ropa de protección. Evaluación de la resistencia de los materiales a las salpicaduras de metal fundido.*

ISO 15025:2000 *Ropa de protección. Protección contra el calor y las llamas. Método de ensayo para la propagación limitada de la llama.*

ISO 17227:2002 *Cuero. Ensayos físicos y mecánicos. Determinación de la resistencia del cuero al calor seco.*

ISO 20344:2004/A1:2007 *Equipos de protección personal. Métodos de ensayo para calzado. Modificación 1.*

ISO 20345:2004/A1:2007 *Equipo de protección individual. Calzado de seguridad. Modificación 1.*

EN 348 *Ropas de protección. Método de ensayo: determinación del comportamiento de los materiales al impacto de pequeñas salpicaduras de metal fundido.*

EN 702 *Ropas de protección. Protección contra el calor y el fuego. Método de ensayo: determinación de la transmisión de calor por contacto a través de las ropas de protección o sus materiales.*

## 3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para los fines de este documento, se aplican los términos y definiciones siguientes:

### 3.1 gran salpicadura de metal fundido:

Grandes proyecciones de metal fundido como los que se encuentran en fundiciones.

### 3.2 pequeña salpicadura de metal fundido:

Pequeñas salpicaduras de metal fundido como las que se producen en operaciones de soldadura y procesos afines.

## INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

<b>Documento:</b> NTE INEN-ISO 20349	<b>TÍTULO: EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL. CALZADO DE PROTECCIÓN FRENTE A RIESGOS TÉRMICOS Y SALPICADURAS DE METAL FUNDIDO COMO LOS QUE SE ENCUENTRAN EN FUNDICIONES Y SOLDADURA, REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO (ISO 20349:2010, IDT)</b>	<b>Código: ICS</b> 13.340.50
--	---	---------------------------------

<b>ORIGINAL:</b> Fecha de iniciación del estudio: 2013-11-25	<b>REVISIÓN:</b> La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma Oficialización con el Carácter de por Resolución No. publicado en el Registro Oficial No.  Fecha de iniciación del estudio:
--	---

Fechas de consulta pública: 2013-11-27 al 2013-12-12

<b>Comité Interno del INEN:</b> Fecha de iniciación: 2013-12-13 Integrantes del Comité Interno:	Fecha de aprobación: 2013-12-13
---	---------------------------------

**NOMBRES:**

Eco. Agustín Ortiz (Presidente)  
 Ing. José Luis Pérez  
 Ing. Paola Castillo  
 Ing. Tatiana Briones  
  
 Ing. Laura González  
 Ing. Bolívar Cano  
 Ing. Gonzalo Arteaga (Secretaría Técnica)

**INSTITUCIÓN REPRESENTADA:**

DIRECCION EJECUTIVA  
 COORDINACIÓN GENERAL TÉCNICO  
 DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN  
 DIRECCIÓN DE VALIDACIÓN Y  
 CERTIFICACIÓN  
 DIRECCIÓN DE METROLOGÍA  
 DIRECCION DE REGLAMENTACIÓN  
 DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN

Otros trámites: Compromiso Presidencial N° 20549 del 08 de junio del 2013, para el fortalecimiento de normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización – INEN

La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma

Oficializada como: Voluntaria	Por Resolución No. 13530 de 2013-12-20
Registro Oficial Suplemento No. 155 de 2014-01-06	

EXTRACTO

---

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre  
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815  
Dirección Ejecutiva: E-Mail: [direccion@inen.gob.ec](mailto:direccion@inen.gob.ec)  
Dirección de Normalización: E-Mail: [normalizacion@inen.gob.ec](mailto:normalizacion@inen.gob.ec)  
Regional Guayas: E-Mail: [inenguayas@inen.gob.ec](mailto:inenguayas@inen.gob.ec)  
Regional Azuay: E-Mail: [inencuenca@inen.gob.ec](mailto:inencuenca@inen.gob.ec)  
Regional Chimborazo: E-Mail: [inenriobamba@inen.gob.ec](mailto:inenriobamba@inen.gob.ec)  
[URL:www.inen.gob.ec](http://www.inen.gob.ec)**