

DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS  
PROPIEDADES DE LA ARENA DE MOLDEO, EMPRESA DE FUNDICIÓN IDEA,  
GIRÓN (SANTANDER)

YANID DÍAZ SÁNCHEZ

MARIO ANDRÉS LÓPEZ PULIDO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS

FACULTAD DE INGENIERÍA FISICOMECAÑICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2012

DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS  
PROPIEDADES DE LA ARENA DE MOLDEO, EMPRESA DE FUNDICIÓN IDEA,  
GIRÓN (SANTANDER)

YANID DÍAZ SÁNCHEZ

MARIO ANDRÉS LÓPEZ PULIDO

Trabajo de grado, presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERA METALÚRGICA E INGENIERO MECÁNICO

Directores

ARNALDO ALONSO BAQUERO

Ingeniero Metalúrgico

RICARDO JAIMES ROLÓN

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS

FACULTAD DE INGENIERÍA FISICOMECAÑICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2012

## AGRADECIMIENTOS

*A Carolina, Deyci, Karime, Janeth, Zulay, Oscar, Edwin, Jairo, Gustavo, Diego, Silvia, Luis, Angela, Diana, Sandra, la tía Amparo, quienes más que mis amigos fueron mis hermanos, se convirtieron en mi familia y compartieron conmigo la suya a lo largo de mi carrera, siempre han estado conmigo en las buenas y en las malas y, para quienes no tengo más que palabras de agradecimiento y un enorme cariño, respeto y admiración. Todos, con cualidades únicas y una calidad humana que sé, no encontraré jamás en otras personas.*

*Las personas llegan a nuestras vidas en el momento que deben llegar, y Elder llegó cuando necesitaba un apoyo académico importante, con el tiempo ese apoyo se extendió hasta convertirse en el respaldo y complicidad que brinda un amigo sincero, leal y desinteresado. A ese amigo que siempre ha estado dispuesto entenderme, acompañarme, respetarme y aconsejarme, que me reprendió como un papá cuando lo consideró necesario y me llenó de alegría en mis tristezas.*

*Al profesor Arnaldo Alonso Baquero, mi profesor, director de proyecto, siempre dispuesto a colaborar, ha sido como un papá con sus consejos, atenciones y apoyo.*

*A mis compañeros de carrera, profesores, técnicos, que siempre estuvieron prestos a respaldar mi desempeño académico.*

*A mi compañero de trabajo de grado por su disposición, fe, compañía y amistad durante el desarrollo de las actividades que nos encaminaban a alcanzar esta meta.*

*Yanid Díaz Sánchez*

## *AGRADECIMIENTOS*

*A la Universidad Industrial de Santander y la escuela de Ingeniería Mecánica. A los profesores Alfredo y Abel Parada, Omar Gélves, quienes a parte de su buena enseñanza académica me inculcaron valores éticos y profesionales.*

*A los profesores Ricardo Jaimés y Arnaldo Alonso por aportarnos sus conocimientos y sabernos guiar durante el desarrollo de este trabajo de grado*

*A mi familia, especialmente a mi tía María L. y Alba, que sin su ayuda no hubiera hecho realidad este sueño.*

*A mis compañeros de carrera y amigos Freddy, Pablo, Roger, Yolima M, que siempre me llenaron de sabiduría y buenos consejos.*

*Muy especial a mi compañera Yanid, porque gracias a su paciencia y dedicación logramos sacar adelante este trabajo.*

*Mario Andrés López Pulido*

## DEDICATORIA

*Hay un ser superior que siempre me ha acompañado, guiado, protegido, levantado y hasta cargado en sus brazos cuando no he podido caminar... DIOS... A Él todos mis agradecimientos. A Él entrego mi vida, mi familia, mis amigos, esta nueva meta que he alcanzado y esta nueva vida que emprendo.*

*A la mujer que más amo. A la que sacrificó gran parte de su vida por la de los seres que más ama. A la que con sus consejos, regaños, oraciones, mimos, palabras de aliento, compañía, paciencia, dedicación, esmero y entrega total, hizo posible que mi sueño se cumpliera. A RAZUEL, mi madre, que soñó conmigo y soñó por mí cuando yo dejé de hacerlo...*

*A mi amiga y hermana ARGEMIRA quien siempre tuvo las palabras precisas en el instante indicado para levantarme cuando lo necesité. A ella que siempre ha confiado en mí y ha sido mi modelo a seguir, fue mi inspiración cuando terminé el colegio y por quien ingresé a la universidad.*

*A mi hermano Gilberto, por su apoyo, confianza, cariño, respaldo y por esa hermosa sobrina que me dio, Yáhira, que hoy es mi orgullo y una de las razones por las que los deseos de salir adelante están ahí.*

*A mis sobrinos Paula Andrea y Juan Daniel que con su ternura, ingenuidad, inocencia y alegría me llenaron de sonrisas, momentos mágicos, abrazos, besos y felicidad en los instantes que los necesitaba, y se convirtieron en el motivo para no desfallecer, para seguir siempre adelante.*

*Yanid Díaz Sánchez*

## DEDICATORIA

*A Dios, gran padre que cada día me fortalece para seguir el camino que él me encomendó.*

*A mi querida y hermosa madre, gracias gordita por los sacrificios hechos para verme como ingeniero.*

*A mi muy adorada y recordada abuelita, Natividad, que con su cariño y amor formó de buenos valores a este hombre.*

*A mis hermanas Eliana y Adriana que incondicionalmente están conmigo y me apoyan.*

*Muy especial a mi adorada Sobrina Sarita, que es un milagro hecho vida y la felicidad más grande que hemos recibido en la familia.*

*Mario Andrés López Pulido.*

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	22
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	24
2. JUSTIFICACIÓN	26
3. OBJETIVOS	27
3.1 OBJETIVO GENERAL	27
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
4. MARCO TEÓRICO	29
4.1 AGUA RÍGIDA	29
4.2 HUMEDAD EN LAS MEZCLAS DE ARENA DE MOLDEO	31
5. DEFECTOS DE FUNDICIÓN POR MEZCLAS DE ARENA	33
5.1 SOPLADURAS	33
5.2 POROS	34
5.3 CAIDAS DE ARENA	34
5.4 DARTAS	34
5.5 PENETRACIÓN	34
5.6 VENAS Y RELIEVES	35
5.7 CAVIDADES NEGRAS	35
5.8 ESCAPE DE METAL O ESCURRIDURA	35
5.9 COLA DE RATA	36

5.10 HINCHAMIENDO	36
6. METODOLOGÍA	37
6.1 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA	38
6.2 RECONOCIMIENTO DE LA EMPRESA	38
6.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS	38
6.4 DESARROLLO EXPERIMENTAL	39
6.4.1 Muestreo de arenas	39
6.4.2 Porcentaje de humedad	39
6.4.3 Arcilla AFS	40
6.4.4 Índice de finura	40
6.4.5 Análisis granulométrico	41
6.4.6 Arcilla activa	43
6.4.7 Pérdida por ignición (LOI)	44
6.4.8 Forma de grano	45
6.4.9 Compactabilidad	46
6.4.10 Resistencia en verde	48
6.4.11 Permeabilidad	50
7. ANÁLISIS DE DEFECTOS EN LAS PIEZAS COLADAS	53
8. DISEÑO DE LA MEZCLA DE ARENA DE MOLDEO PROPUESTA	55
8.1 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA MEZCLA	55
8.1.1 Compactabilidad	56
8.1.2 Resistencia en verde	57
8.1.3 Permeabilidad	58

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS	60
9.1 ANÁLISIS DE DEFECTOS EN LAS PIEZAS COLADAS	64
10. DISEÑO DE LOS EQUIPOS	65
10.1 APISONADOR	66
10.2 PROBADOR DE HUMEDAD POR LUZ INFRARROJA	73
10.3 PERMEÁMETRO	77
10.4 MÁQUINA DE ESFUERZOS	80
11. CONCLUSIONES	86
12. RECOMENDACIONES	87
13. BIBLIOGRAFÍA	88
ANEXOS	91

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Dispositivo para determinar la humedad con una lámpara de luz infrarroja	32
Figura 2. Diagrama metodología empleada para el desarrollo del presente trabajo de grado	37
Figura 3. Gráfica del análisis granulométrico de la mezcla de arena sin usar (%)	42
Figura 4. Gráfica de distribución granulométrica de la mezcla de arena usada (%)	42
Figura 5. Ensayo azul de metileno para determinar arcilla activa en arena nueva	43
Figura 6. Ensayo azul de metileno para determinar arcilla activa en arena usada	44
Figura 7. Granos de arena nueva retenidos por tamiz a) No 50 b) No 70 c) No 100 observados en microscopio a 50X	45
Figura 8. Granos de mezcla de arena usada retenidos por tamiz a) No 50 b) No 70 c) No 100 observados en microscopio a 50X	45
Figura 9. Gráfica de %Humedad vs %Compactabilidad para la mezcla de arena sin usar	47
Figura 10. Gráfica de %Humedad vs %Compactabilidad para la mezcla de arena usada	48
Figura 11. Gráfica de %Humedad vs %Resistencia en verde para la Mezcla de arena sin usar	49
Figura 12. Gráfica de %Humedad vs %Resistencia en verde para la Mezcla de arena usada	50
Figura 13. Gráfica de %Humedad vs %Permeabilidad para la	

Mezcla de arena sin usar	51
Figura 14. Gráfica de %Humedad vs %Permeabilidad para la Mezcla de arena usada	52
Figura 15. Codo para tubería en fundición gris. 20" de diámetro	53
Figura 16. Te para tubería en fundición gris. 20" de diámetro	54
Figura 17. Te para tubería en fundición gris. 20" de diámetro	54
Figura 18. Gráfica de %Humedad vs %Compactabilidad para el diseño de mezcla propuesta	56
Figura 19. Gráfica de %Humedad vs %Resistencia en verde para el diseño de mezcla propuesta	57
Figura 20. Gráfica de %Humedad vs %Permeabilidad para el diseño de mezcla propuesta	58
Figura 21. Diagrama de componentes del banco de pruebas.	65
Figura 22. Partes del apisonador	66
Figura 23. Brazo del apisonador	67
Figura 24. Eje guía del peso	69
Figura 25. Movimiento vertical del peso del apisonador	70
Figura 26. Perfil de excéntrico	71
Figura 27. Recipientes tubulares para apisonar las probetas	72
Figura 28. Diseño del Apisonador	73
Figura 29. Partes del probador de humedad	74
Figura 30. Diseño del probador de humedad de luz infrarroja	75
Figura 31. Conectores del controlador de temperatura	76
Figura 32. Panel frontal del controlador de temperatura	76

Figura 33. Diseño del permeámetro	77
Figura 34.Boquilla del permeámetro	78
Figura 35. Placa y rosca de bronce	79
Figura 36.Corte de válvula neumática de tres vías	79
Figura 37.Partes del permeámetro	80
Figura 38. Tipo de rosca para tornillo de potencia	81
Figura 39. Roscado entre zapata y tornillo	82
Figura 40. Zapatas porta probetas	83
Figura 41. Estudio por columna del tornillo	83
Figura 42.Partes de la máquina de esfuerzos	84
Figura 43.Diseño máquina de esfuerzos	85

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades de moldeo de las mezclas de arena analizadas inmediatamente después de ser entregadas por la empresa	39
Tabla 2. Porcentaje de humedad para cada una las mezclas analizadas	40
Tabla 3. Porcentaje de arcilla para cada una de las mezclas analizadas	40
Tabla 4. Índice de finura calculado para cada una de las mezclas analizadas	41
Tabla 5. Datos obtenidos para el índice de finura de la mezcla de arena sin usar	41
Tabla 6. Datos obtenidos para el índice de finura de la mezcla de arena usada	41
Tabla 7. Arcilla activa para las mezclas de arena analizadas	43
Tabla 8. Cálculo de pérdida por ignición para las mezclas de arena analizadas	44
Tabla 9. Resumen de resultados obtenidos durante la Caracterización para cada una de las mezclas analizadas	46
Tabla 10. Datos obtenidos en el ensayo de compactabilidad para la mezcla de arena sin usar	46
Tabla 11. Datos obtenidos en el ensayo de compactabilidad para la mezcla de arena usada	47
Tabla 12. Datos obtenidos en el ensayo de resistencia en verde para la mezcla de arena sin usar	48
Tabla 13. Datos obtenidos en el ensayo de resistencia en verde para la mezcla de arena usada	49

Tabla 14. Datos obtenidos en el ensayo de permeabilidad para la mezcla de arena sin usar	50
Tabla 15. Datos obtenidos en el ensayo de permeabilidad para la mezcla de arena usada	51
Tabla 16. Resumen de propiedades de moldeo determinados para cada mezcla de arena analizada	52
Tabla 17. Resultados obtenidos para la caracterización del diseño de mezcla de arena propuesta	55
Tabla 18. Datos obtenidos durante el ensayo de compactabilidad Para el diseño de mezcla de arena propuesta	58
Tabla 19. Datos obtenidos en el ensayo de resistencia en verde para el diseño de mezcla propuesta	57
Tabla 20. Datos obtenidos en el ensayo de permeabilidad para el diseño de mezcla de arena propuesta	58
Tabla 21. Resumen de propiedades de moldeo de la mezcla de arena Propuesta	59
Tabla 22. Resultados de la caracterización de las tres mezclas de arena analizadas	60
Tabla 23. Resultados obtenidos de la determinación de las propiedades De moldeo de cada una de las tres muestras analizadas	61

## ANEXOS

	Pág.
<b>ANEXO A:</b> MANUAL DE MANEJO DE LOS EQUIPOS DEL BANCO DE PRUEBAS PARA ARENAS DE MOLDEO AFS	92
<b>ANEXO B:</b> TABLA DE PROPIEDADES TÍPICAS DE MATERIALES SELECCIONADOS EN INGENIERIA	103
<b>ANEXO C:</b> PROPIEDADES DE ALGUNOS ACEROS	105
<b>ANEXO D:</b> COMO DETERMINAR EL FACTOR DE SEGURIDAD PERMISIBLE	105
<b>ANEXO E:</b> DIMENSIONES PRINCIPALES DE LAS ROSCAS DE TORNILLO UNIFIED NATIONAL STANDART	106
<b>ANEXO F:</b> TAMAÑO Y DIMENSIONES DE ROSCAS	107
<b>ANEXO G:</b> RUGOSIDAD PARA DIFERENTES CLASES DE ACABADOS	108
<b>ANEXO H:</b> ACERO 1045. APLICACIONES	109
<b>ANEXO I:</b> VÁLVULA NEUMÁTICA DE TRES VIAS PARA PERMEAMETRO	110
<b>ANEXO J:</b> MANOMETROS PARA MEDIR PRESION Y FUERZA	111
<b>ANEXO K:</b> ELEMENTOS ELÉCTRICOS PARA EL PROBADOR DE HUMEDAD	112
<b>PLANOS DE LOS EQUIPOS</b>	115

## RESUMEN

**TÍTULO: DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES DE ARENA DE MOLDEO, EMPRESA DE FUNDICIÓN IDEA, GIRÓN (SANTANDER)\***

**AUTORES: DÍAZ SÁNCHEZ, Yanid. LÓPEZ PULIDO, Mario Andrés\*\***

**PALABRAS CLAVES:** Compactabilidad, resistencia en verde, humedad, permeabilidad, agua regia, banco de pruebas.

## DESCRIPCIÓN

El presente trabajo de grado muestra el diseño de un banco de pruebas de arena de moldeo realizado para la empresa IDEA, junto con la caracterización y determinación de propiedades de moldeo de dos mezclas de arena utilizadas por esta empresa para hacer sus moldes. A partir de la caracterización y determinación de propiedades de moldeo, se hizo el diseño de una mezcla de arena propuesta para mejorar las propiedades de moldeo que conlleven a la disminución de los defectos en las piezas coladas.

Defectos como darts, colas de rata, porosidades, grietas, son producto de baja compactabilidad, poca permeabilidad, mala resistencia en verde y/o exceso de humedad. Estas propiedades de moldeo, capaces de producir dichos defectos, pueden ser controladas mediante dispositivos mecánicos construidos bajo norma AFS.

Los planos generados para los dispositivos mecánicos durante el diseño del banco de pruebas, representan gráficamente la practicidad, basada en la normativa regida por la American Foundry Society, y generan economía para la empresa puesto que dichos diseños se realizaron teniendo en cuenta la relación costo-producción de las mismas.

El enfoque de este trabajo está dado en la minimización de costos para la empresa en la adquisición de los equipos y en mejorar la calidad de las piezas coladas.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas y Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Escuela de Ingeniería Mecánica. Directores: ALONSO BAQUERO, Arnaldo. JAIMES ROLÓN, Ricardo.

## ABSTRACT

**TÍTULO: DESING OF A LABORATORY TEST BENCH TO DETERMINE THE SANDS MOLDING PROPERTIES, IDEA CASTING COMPANY, GIRÓN (SANTANDER)\***

**AUTHORS: DÍAZ SÁNCHEZ, Yanid. LÓPEZ PULIDO, Mario Andrés\*\***

**KEYWORDS:** Compactibility, green strength, moisture, permeability, regia water, laboratory test bench.

## DESCRIPTION

This degree work, shows the design of a laboratory test bench to molding sands, developed to IDEA company. This work also presents the characterization and determination of molding properties of two sands mixtures used by the company for make their molds. From the characterization and determination of molding properties, was proposed a design mixture sand, to improve the molding properties that lead to the reduction of defects in casting.

Defects as scabbing, rat tail, porosities, cracks, are results of low compatibility, low permeability, poor green strength, and/or excess moisture. These molding properties, capable of produce such defects, can be controlled by mechanical devices built under standards AFS.

The drawings of mechanical devices generated during design of lab test bench, represent graphically the practicity, based on the rules governed by the American Foundry Society. Its construction would required lower costs for the company since these designs were made taking into account cost-production ratio.

The aim of this paper is to provide a minimization of costs for acquiring new equipment to company and improve the castings quality.

---

\* Degree work

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas y Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Escuela de Ingeniería Mecánica. Directores: ALONSO BAQUERO, Arnaldo. JAIMES ROLÓN, Ricardo.

## INTRODUCCIÓN

Desde la misma aparición del hombre, éste ha recurrido a su creatividad e inteligencia para transformar los elementos que ha encontrado a su paso con el fin de alcanzar un estilo de vida más sencillo y placentero, pero sin duda alguna el material que más trabajo le ha costado modificar ha sido el metal.

La fundición data de los años 4000 A.C. donde se usaban moldes de piedra y metal para el colado del cobre. Ha sido de tal importancia, que en 1836 el danés C. J. Thomsem propuso que la historia se pudiera clasificar en edades según el material empleado en esa época, la edad de piedra, la edad del bronce o la edad del hierro. Con éste método, los artefactos prehistóricos se ordenaron cronológicamente. Hoy en día dicha clasificación, con modificaciones que no dejan de ser importantes, sigue vigente.

Los gastos más importantes en fundiciones de acero, hierro y bronce son las pérdidas por piezas defectuosas y los costos excesivos de acabado. Una forma de controlar fácilmente estas cuantías es utilizar una arena más eficiente, aglomerantes y aditivos bien seleccionados. Las propiedades y la homogeneidad de la arena de moldeo influyen de manera considerable en la calidad de los moldes, de los machos y por supuesto, del acabado superficial de las piezas de fundición. Por lo tanto, es imprescindible la inspección y el control de las propiedades de la arena de moldeo asegurándose de que se cumplan los límites de tolerancia.

Gran parte de los defectos de fundición son provenientes de la calidad de la mezcla de arena empleada en los moldes de colada. Para prevenir que estos defectos hagan parte de la pieza colada es necesario llevar un control pertinente

de la mezcla de arena de moldeo mediante ensayos de compactabilidad, permeabilidad, resistencia en verde y porcentaje de humedad.

Ante esto, la empresa IDEA INDUSTRIAL DE ACCESORIOS, LTDA. En asociación con la Universidad Industrial de Santander, por medio del Comité Universidad Empresa Estado de Santander (CUEES) solicitó diseñar un banco de pruebas de arenas de moldeo como paso previo al establecimiento de un laboratorio de arenas para mejorar las propiedades de moldeo f de las piezas coladas obtenida. Esto con la finalidad de proyectarse como la empresa de fundición líder en la región y promover un proceso de certificación a nivel nacional.

## 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el mercado altamente competitivo actual, la calidad y el precio son decisivos para el éxito de un producto. No es tan importante la complejidad del proceso de fabricación, lo que realmente importa es si el producto es bueno o malo, y cómo se compara con otros productos de la competencia en lo que a precio y a calidad se refiere.

El control de la preparación y conservación de la arena dentro de límites predeterminados de humedad, compactibilidad, resistencia en verde, permeabilidad y otras propiedades, desempeña un papel importante en la preparación de buenos moldes, la reducción del trabajo de rebaba y la posibilidad de alcanzar el máximo rendimiento en buenas piezas coladas.

Ante la necesidad actual en la mejora de la calidad de los productos que fabrica y la implementación de nuevas tecnologías en el proceso de fundición, la empresa IDEA INDUSTRIAL DE ACCESORIOS, LTDA, ha solicitado por medio del Comité Universidad Empresa De Estado De Santander, CUEES, adscrito a la vicerrectoría de investigación y extensión de la UIS, y dentro de la rueda de negocios PROMOVER, la colaboración para desarrollar un proyecto sobre la estructuración y expansión en las arenas de fundición y moldeo. En este proyecto intervienen estudiantes de ingeniería de la Universidad Industrial de Santander, y permite el diseño de un banco de pruebas para determinar las propiedades de arena de moldeo obteniendo de esto la optimización de los recursos utilizados en los procesos de fabricación y a su vez que los estudiantes adelanten su trabajo de grado para optar al título de ingenieros.

IDEA INDUSTRIAL DE ACCESORIOS, LTDA, es una empresa dedicada a la comercialización de partes y elementos para el control y transporte de fluidos, así

como de otras aplicaciones industriales. Para el desarrollo de su misión fabrica y distribuye piezas procesadas industrialmente por medio de la fundición, conformación y maquinado de materiales metálicos y no metálicos. Su sede comercial se encuentra ubicada en la calle 45#16-35 en la ciudad de Bucaramanga, y la planta de fundición opera en el municipio de Girón, Km 1 vía al aeropuerto.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El control continuo de la arena no sólo ayudará la disminución de las fluctuaciones en la consistencia de la arena de moldeo, sino que también ayudará a optimizar las recetas de la arena y a hacerlas permanentemente reproducibles. Por tanto, los ensayos con la arena de moldeo no son meramente una opción, sino una absoluta necesidad.

Aparte de los requisitos de calidad, hay una necesidad imperativa para una producción a costo eficiente y un uso más económico de recursos y materiales. Los ensayos con la arena de moldeo han llegado a ser una necesidad porque facilitan la selección más indicada y por tanto más económica de los componentes de la arena de moldeo. Los ensayos con la arena de moldeo posibilitarán, entre otras cosas, que las fundiciones puedan determinar la cantidad exacta de aglutinante y otros aditivos de la arena necesarios para producir el mejor molde que cumpla los estándares específicos para las piezas de fundición. Los ensayos con la arena de moldeo pueden ser responsables del desarrollo de mezclas de arena que se adapten mejor a una operación de fundición particular y que contribuyan a la prevención de rechazos de mezclas determinadas. La correcta elección de una mezcla de arena no sólo contribuirá a que las fundiciones consigan una configuración del molde y calidad acertada dimensional y de superficie, sino también una reducción en los costos de granallado y de acabado.

Ante esto, se plantea el concepto de diseñar un banco de pruebas para el laboratorio de arenas de la empresa IDEA INDUSTRIAL DE ACCESORIOS, LTDA, de permeabilidad, compactación, resistencia en verde y humedad para la empresa IDEA, en donde, con equipos de diseño de origen nacional se puedan realizar estos ensayos.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

La misión de la Universidad Industrial de Santander es mejorar la calidad de vida de las personas, dar solución a sus diferentes necesidades y fomentar el desarrollo de la región mediante convenios universidad- empresa (CUEES), que permitan el crecimiento económico en el sector industrial, especialmente en el sector de la fundición, introduciendo nuevas alternativas para el mejoramiento de la calidad de sus productos.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Graficar las curvas de las propiedades de fundición de las mezclas de arena sin usar. (Resistencia en verde, compactación, permeabilidad, humedad).
- Graficar las curvas de las propiedades de fundición de las mezclas de arena usadas. (Resistencia en verde, compactación, permeabilidad, humedad).
- Analizar las curvas obtenidas y relacionar los defectos de fundición encontrados en las piezas con las variaciones de las propiedades en la arena usada.
- Diseñar un banco de pruebas para medir las propiedades de la arena de moldeo de acuerdo con las especificaciones normalizadas por AFS (American Foundrymens Society) que permitan mejorar la calidad de la mezcla de arena, utilizada en la fabricación de moldes para la empresa de

fundición IDEA, según ensayos y prototipos normalizados por la AFS. Este banco permitirá la realización de los siguientes ensayos: humedad, compactación, permeabilidad y resistencia en verde.

- Con la ayuda de la herramienta CAD-CAE (Solidworks) se realizará el moldeamiento estático de los prototipos con el fin de realizar y analizar el respectivo diseño de detalle del banco de pruebas de arena.
- Implementar un manual de procedimiento de laboratorio de acuerdo a la norma AFS para el manejo correcto y eficiente de los equipos del banco, con el fin de que los resultados se den con la mayor precisión posible.
- Plantear una mezcla de arena de moldeo que cumpla con los parámetros de humedad, resistencia en verde, permeabilidad y compactabilidad necesarios, para disminuir los defectos de fundición en las piezas coladas.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 AGUA RÍGIDA

A partir de la década de los años 70, los ensayos para determinar compactabilidad, resistencia en verde y humedad en las mezclas de moldeo, han ido ganando un espacio cada vez mayor. El punto de partida puede situarse, con cierta precisión, en los trabajos desarrollados por Clifford E. Wenninger acerca de la molida continua, los que dieron como resultado lo que su autor denominó aglutinación mediante la teoría del agua rígida (Wenninger, 1972)<sup>1</sup>.

La teoría del agua rígida de forma resumida, puede expresarse así: se sabe que el hecho de que la molécula de agua sea un dipolo, le permite su autoalineación ordenada a temperatura de congelación (los polos negativos de una molécula se unen a los positivos de otras y así sucesivamente). Esto también es posible a temperatura ambiente, debido a que en su estado líquido el ordenamiento del dipolo se refuerza con la presencia de fuerzas electroquímicas similares a las que se originan en la interface líquido-sólido. Esto quiere decir que una película de agua sobre la superficie de un sólido (grano de arena), puede concebirse como una serie de capas de moléculas dipolares superpuestas. Es evidente que a medida que la distancia desde la superficie aumenta, la orientación, el grado de alineación y la rigidez de las capas disminuyen, ya que las fuerzas superficiales son menos efectivas. A cierta distancia, ya las capas poseen un grado de desorden molecular tal que se comportan como un líquido a temperatura ambiente. En cambio, las primeras capas (4 como máximo) fuertemente adheridas a la superficie y con un elevado grado de ordenamiento, se comportan como un sistema rígido. Por esa razón, se le ha denominado agua rígida (Salcines, Díaz, y

---

<sup>1</sup> WENNINGER, C. E.: "Una aproximación fundamental al control de las arenas de fundición", Colada, enero 1972.

Hernández, 1973)<sup>2</sup>. Ahora bien, de los dos componentes sólidos de la mezcla convencional en verde, la arcilla posee un grado de dispersión mucho mayor que la arena, lo cual implica una mayor concentración de cargas en la superficie de la laminilla de arcilla. Por lo tanto, en la unión húmeda entre láminas de arcilla y granos de arena, las primeras serán las que determinarán la cantidad y posición del agua rígida. Por ello, muchos investigadores consideran correcto emplear el término de entidades agua-arcilla al referirse al elemento aglutinante en las mezclas de moldeo tradicional en verde. Partiendo de los conceptos anteriores, Wenninger dedujo y demostró que las entidades agua-arcilla deberían comportarse como un conjunto integral en respuesta a las cargas externas. Siguiendo el mismo razonamiento, debía esperarse que las variaciones en el contenido de humedad produjeran variaciones correspondientes en la resistencia mecánica de la mezcla en verde y en su densidad. Para ello, propuso la molida continua de la mezcla a partir de valores altos de humedad. Lo anterior, como es de suponer, debía suceder cuando el contenido de humedad del sistema fuera tal que la aglutinación respondiera a la teoría del agua rígida, o sea, entidades agua-arcilla actuando como un sólido flexible, alrededor de los granos de arena.

La verificación de lo anterior fue el principal aporte de Wenninger y puso en evidencia que la capacidad aglutinante de cada laminilla de arcilla (resistencia en verde de la mezcla) estaba relacionada con el cociente agua/ arcilla de su estructura. Quedó evidenciado, además, que la adsorción (o desadsorción) del agua se produce mediante su incorporación (o eliminación), por capas, dentro de la entidad agua-arcilla. Finalmente, se estableció que la primera capa se adhiere para una relación agua/ arcilla de 0,15; la segunda a una relación 0,30; la tercera a 0,45, y la cuarta a 0,60. Como es de suponer, el acomodo de cada capa de agua (en forma de agua rígida) implica el hinchamiento (hidratación) de las placas de arcilla. El punto de mínima densidad se corresponderá con un contenido máximo

---

<sup>2</sup> SALCINES, C. M., R. DÍAZ, y M. HERNÁNDEZ: "Obtención de parámetros óptimos en mezclas de moldeo", Informe de investigación, Facultad de Tecnología, UCLV, 1973.

de agua rígida. Las variaciones de densidad en la probeta (alteración del número de capas de agua rígida) implicarán variaciones en las propiedades de la mezcla (resistencia a compresión en verde, permeabilidad, compactabilidad, humedad).

## **4.2 HUMEDAD DE LAS MEZCLAS DE ARENA DE MOLDEO**

La humedad de una arena corresponde a la cantidad de agua que se vaporiza totalmente a la temperatura de 100 a 110°C. En una arena arcillosa existe un determinado porcentaje de humedad para obtener una óptima cohesión, y debe trabajarse con límites de humedad determinados para evitar defectos en las piezas fundidas especialmente en los gases de colada.

Para determinar la humedad de la arena existen varios ensayos normalizados por la *AFS* dentro de los cuales se destaca el método de circulación por lámpara infrarroja por su economía, eficiencia y menor tiempo en el cálculo de humedad.

Este método utiliza una lámpara infrarroja como fuente de calor para evaporar la humedad de la muestra de arena. Una muestra representativa de la arena y otro material se coloca sobre el platillo de la escala para balancear el sistema de pesada, según indica la aguja con el cuadrante ajustado a cero, pesando así, automáticamente, 50 g exactamente. El calor suministrado por la lámpara infrarroja evapora la humedad. Entonces se hace girar la aguja hasta que se logra de nuevo el balance del sistema; el porcentaje de humedad se lee directamente sobre el cuadrante en el punto índice.

Las partes principales de este aparato son una lámpara de calor, una balanza de torsión, platillo para la balanza y un cuadrante calibrado. Estas partes se arman como unidad dentro de una armadura en tal forma que el bulbo térmico pueda

colgar sobre el platillo que está montado sobre la balanza de torsión. Según se evapora la humedad, el cuadrante calibrado indica la pérdida de balance como contenido de humedad. Figura 1.

**Figura 1.** Dispositivo para determinar la humedad con una lámpara infrarroja



**Fuente:** Autores

## 5. DEFECTOS DE FUNDICIÓN POR MEZCLA DE ARENA

En los procesos de fundición se pueden presentar varios defectos; los cuales dependen de factores como: materiales, diseño o proceso. Mientras que algunos defectos afectan sólo la apariencia de las partes fundidas, otros pueden tener efectos adversos en la integridad estructural de las partes fabricadas.

Debido a que se han utilizado diferentes nombres para describir el mismo defecto, el *International Committee of Foundry Technical Associations* ha desarrollado nomenclaturas normalizadas, consistentes en siete Categorías Básicas de defectos en las fundiciones.

Algunos defectos se relacionan con el uso de moldes de arena y, por tanto, ocurren solamente en la fundición en arena. Aunque en menor grado, los otros procesos de molde desechable son también susceptibles a estos problemas.

### 5.1 SOPLADURAS

Este defecto es una cavidad de gas en forma alargada causada por un escape de gases del molde durante el vaciado. Ocurre en la superficie de la parte superior de la fundición o cerca ella. La baja permeabilidad, pobre ventilación y el alto contenido de humedad en la arena del molde son las causas generales. También pueden ser causadas por penetración de escorias en el molde a consecuencia de algún descuido al descoriar, o de los procedimientos de colada o baja permeabilidad de la arena.

## **5.2 POROS**

Es un defecto similar al de las sopladuras que involucra la formación de numerosas cavidades pequeñas de gas en la superficie de la fundición o ligeramente por debajo de ella.

## **5.3 CAIDAS DE ARENA**

Este defecto provoca una irregularidad en la superficie de la fundición, que resulta de la erosión del molde de arena durante el vaciado. El contorno de la erosión se imprime en la superficie de la fundición final. Es causada por un refuerzo insuficiente del molde, en la zona afectada, con clavos o ganchos. Moldes remendados. Vibración, manipulación brusca o negligente.

## **5.4 DARTAS**

Son áreas rugosas en la superficie de la fundición debido a la incrustación de arena y metal. Son causadas por desprendimientos de la superficie del molde que se descascaran durante la solidificación y quedan adheridas a la superficie de la fundición. Este tipo de defecto se debe en la mayoría de los casos a que se apisona demasiado cerca del modelo; a que el apisonado es flojo; moldes demasiado duros o desigualmente apisonados. Puede atribuirse también a las diferencias de dilatación de la arena, motivadas por los efectos de algún sitio caliente local o a las coincidencias en un ángulo de los esfuerzos de dilatación.

## **5.5 PENETRACIÓN**

Cuando la fluidez del metal líquido es muy alta, éste puede penetrar en el molde o en el corazón de arena. Después de la solidificación, la superficie de la fundición

presenta una mezcla de granos de arena y metal. Para evitar su presencia se debe hacer uso de una arena más fina o fuertemente aglomerada y apisonada como es debido.

## **5.6 VENAS Y RELIEVES**

Protuberancias ásperas e irregulares en forma de grietas sobre la superficie de la pieza fundida, que se arrancan sólo mediante el buril o por esmerilado. Este defecto proviene comúnmente de la reproducción en la superficie de la pieza de las grietas de secado del molde. Ocurre en el moldeo en verde, si la arena empleada experimenta una contracción demasiado elevada al calentarse, escaso polvo de carbón, demasiado contenido de humedad, entre otras.

## **5.7 CAVIDADES NEGRAS**

Cavidades superficiales de forma irregular, conteniendo materias carbonosas, que suele quedar al descubierto cuando se mecaniza la pieza. Una de sus causas es la humedad excesiva en el molde.

## **5.8 ESCAPE DEL METAL O ESCURRIDURA**

Piezas fundidas incompletas debido a que el metal líquido se sale del molde durante o inmediatamente después de colar. Es causada porque la caja de moldeo no ha sido suficientemente recargada o no quedó bien cerrada. El lecho de arena bajo la caja de moldeo resulta insuficiente. Las espigas y chavetas son defectuosas y no permiten el encaje correcto de las semicajas superior e inferior. El tamaño de la caja resulta pequeño para la pieza fundida. La arena de moldeo

es demasiado débil o no ha sido convenientemente apisonada. Ajuste defectuoso del macho en las portadas, entre otras.

## **5.9 COLA DE RATA**

Proyecciones irregulares y toscas en la superficie de las piezas fundidas, siempre flojamente adheridas y conteniendo arena incrustadas, que puede desprender con facilidad, dejando depresiones lisas en la pieza, en forma de líneas irregulares. El tipo cola de rata constituye una forma inferior de costra. Este tipo de defecto suele prevenir de un apisonado demasiado cerca del modelo; de un apisonado demasiado flojo, o de moldes apisonados demasiado dura o desigualmente. También puede obedecer a diferencias de dilatación de la arena, y al empleo de arena deficiente, mal preparada o caliente.

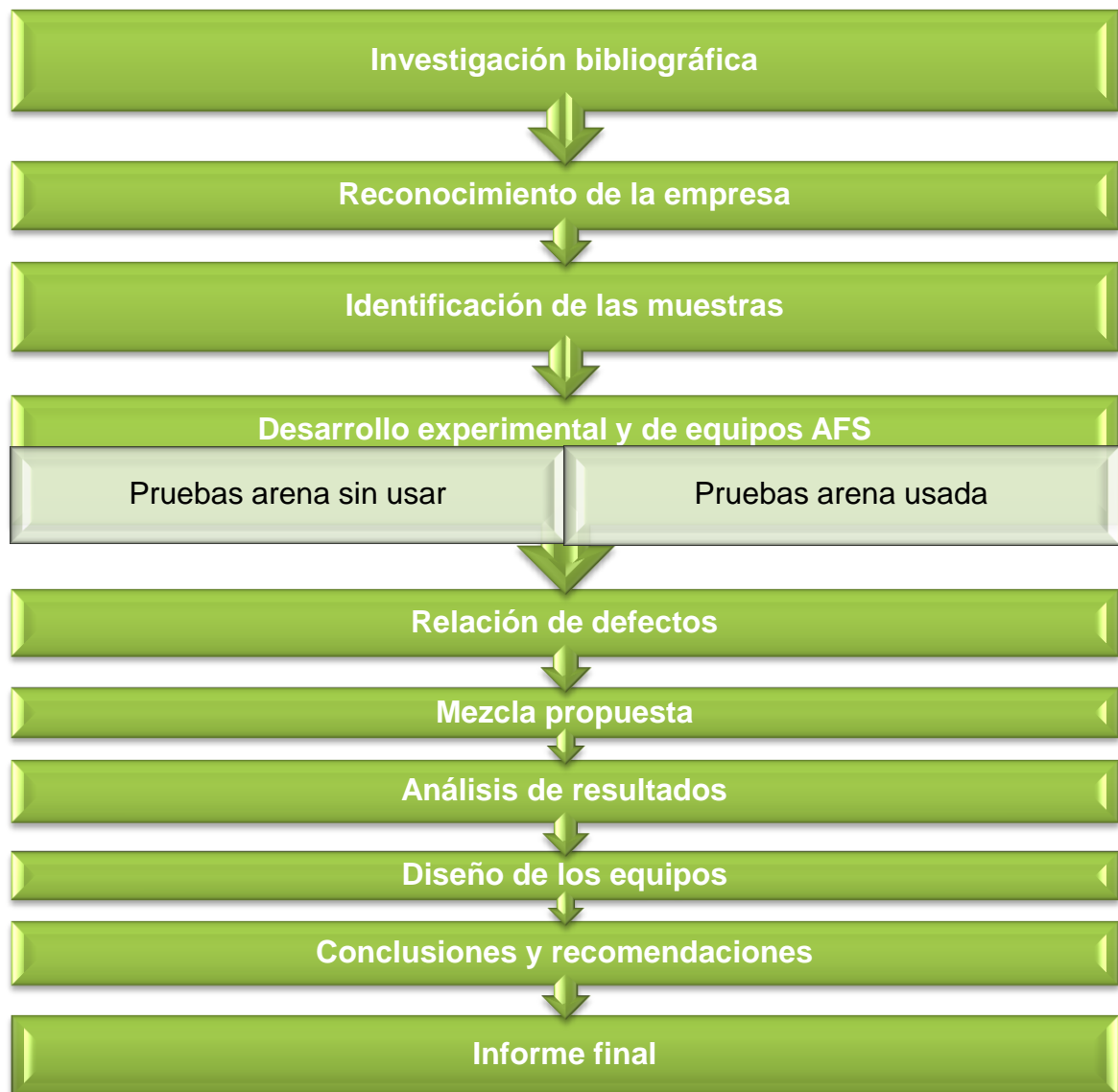
## **5.10 HINCHAMIENTO**

Desplazamiento de la arena en el molde, originado por la presión del metal en fusión. Es causado por la falta de uniformidad en el molde durante el apisonamiento. La arena resulta débil para esta clase de trabajo.

## 6. METODOLOGÍA

En la figura 2. Se encuentra resumida la metodología empleada para desarrollar el presente proyecto.

**Figura 2.** Diagrama metodología empleada para el desarrollo del presente trabajo de grado



## **6.1 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA**

Esta actividad fue desarrollada durante toda la investigación y consistió en la consulta de documentación bibliográfica como libros especializados, textos científicos, páginas de internet que permitieron obtener información para el desarrollo de cada una de las pruebas realizadas en este proyecto.

## **6.2 RECONOCIMIENTO DE LA EMPRESA**

En esta fase se realizó un reconocimiento del lugar trabajo donde se identificaron los diferentes procesos que se realizan en la empresa para obtener las mezclas de arena de moldeo. Y se recolectó la información necesaria para llevar a cabo las pruebas en las mezclas de arena de moldeo objeto de investigación en este proyecto.

## **6.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS**

La empresa IDEA nos suministró dos mezclas de arena compuestas por 84,27% de arena, 9,44% de bentonita y 6,29% de carbón, una de las mezclas de arena sin usar y la otra mezcla ya se había empleado en coladas anteriores. A cada una de las mezclas se les realizó caracterización y ensayos de permeabilidad, resistencia en verde y compactabilidad, los cuales se hicieron bajo norma AFS [1]

La tabla 1. muestra las propiedades de moldeo presentes en las mezclas de arena analizadas inmediatamente entregadas por la empresa.

**Tabla 1.** Propiedades de moldeo de las mezclas de arena analizadas inmediatamente después de ser entregadas por la empresa.

Mezcla de arena	% Humedad	% Compactabilidad	\$ Resistencia en verde N/Cm <sup>2</sup>	% Permeabilidad
Sin usar	5,6	45	9,29	81,3
Usada	6,8	50	13,6	100

## 6.4 DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el desarrollo de esta investigación se realizaron pruebas de resistencia en verde, humedad, compactabilidad y permeabilidad según norma AFS, a las mezclas suministradas por la empresa para determinar sus propiedades de moldeo. Antes de realizar dichas pruebas, se hicieron ensayos de caracterización de las mezclas tales como porcentaje de humedad, arcilla AFS, índice de finura, análisis granulométrico, pérdida por ignición y forma de grano, todos ellos bajo norma AFS.

### 6.4.1 Muestreo de arenas

Para realizar la caracterización se hizo muestreo de la arena según lo indica la norma AFS [1]:

### 6.4.2 Porcentaje de humedad

En la tabla 2. Se muestra el porcentaje de humedad obtenido para cada una de las mezclas analizadas que fue calculado mediante la siguiente ecuación

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{pérdida en peso}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

**Tabla 2.** Porcentaje de humedad para las mezclas analizadas

Mezcla de arena	Peso inicial (g)	Peso final (g)	% Humedad
Sin usar	50,01	47,26	5,60
Usada	50,02	46,64	6,8

#### 6.4.3 Arcilla AFS

En la tabla 3. se muestra el porcentaje de arcilla AFS hallado para cada una de las mezclas de arena.

**Tabla 3.** Porcentaje de arcilla para cada una de las mezclas de arena analizadas

Mezcla de arena	Peso inicial (g)	Peso secado (g)	Peso final (g)	% Arcilla AFS
Sin usar	50,06	50,04	49,86	0,36
Usada	50,02	46,58	40,02	14,08

#### 6.4.4 Índice de finura

El índice de finura se determinó mediante la ecuación:

$$AFS_{GFN} = \frac{\text{productos}}{\% \text{ retenido acumulado}}$$

Y los resultados obtenidos se describen en la tabla 4.

**Tabla 4.** Índice de finura calculado para cada una de las mezclas analizadas

Mezcla de arena	% Retenido acumulado	Sumatoria de productos	AFS_GFN
Sin usar	99,75	7468,5	74,87
Usada	99,68	6843,55	68,66

Los datos hallados para calcular el índice de finura de cada una de las mezclas se muestran en la tabla 5. para la mezcla de arena sin usar y en la tabla 6. para la mezcla de arena usada.

**Tabla 5.** Datos obtenidos para el índice de finura de la mezcla arena sin usar

Tamiz	Retenido por tamiz (%)	Producto
6	0	0
12	0,14	0,7
20	0,24	2,4
30	0,9	18
40	5,27	158,1
50	17,15	686
70	27,84	1392
100	23,29	1630,3
140	12,34	1234
200	7,0	980
270	3,07	614
Charola	2,52	753
Suma	99,75	7468,5

**Tabla 6.** Datos obtenidos para el índice de finura de la mezcla de arena usada

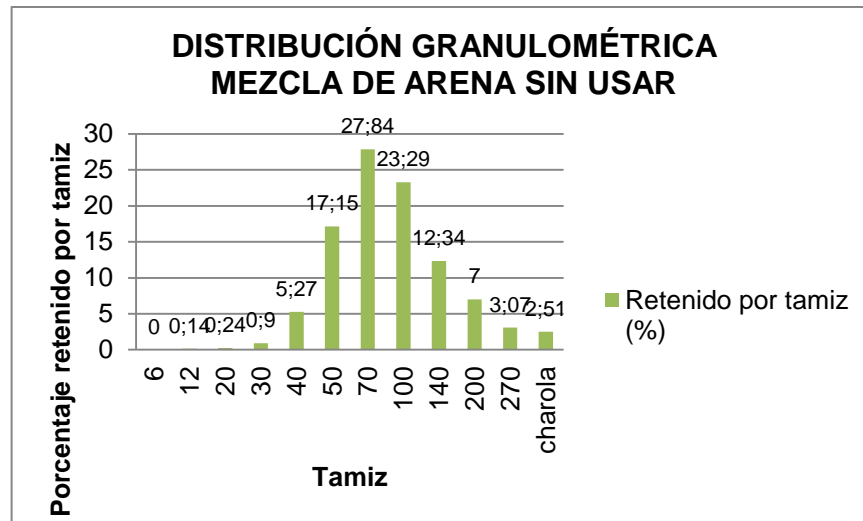
Tamiz	Retenido por tamiz (%)	Producto
6	0,5	1,5
12	0,35	1,75
20	2,37	23,7
30	3,37	67,4
40	10,29	308,7
50	22,11	884,4
70	24,44	1222
100	17,29	1210,3
140	8,17	817
200	4,47	625,8
270	2,15	430
Charola	4,17	1251
Suma	99,68	6843,55

#### 6.4.5 Análisis granulométrico

El análisis granulométrico se determinó a partir de los datos obtenidos para el cálculo de índice de finura registrados en la tabla 5. para la mezcla de arena sin

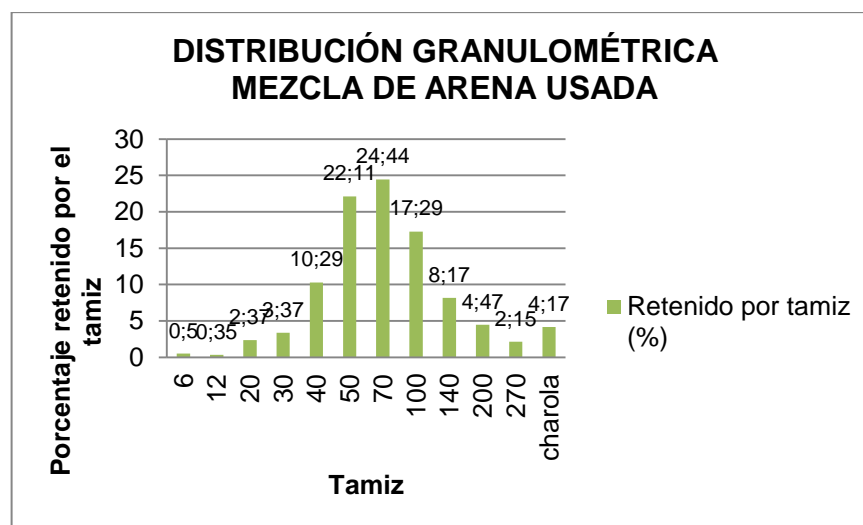
usar y en la tabla 6. para la mezcla de arena usada. Y se grafica en la figura 3. para la mezcla de arena sin usar y en la figura 4 para la mezcla de arena usada.

**Figura 3.** Gráfica del análisis granulométrico de la mezcla de arena sin usar (%)



**Fuente:** Autores

**Figura 4.** Gráfica de distribución granulométrica de la mezcla de arena usada (%)



**Fuente:** Autores

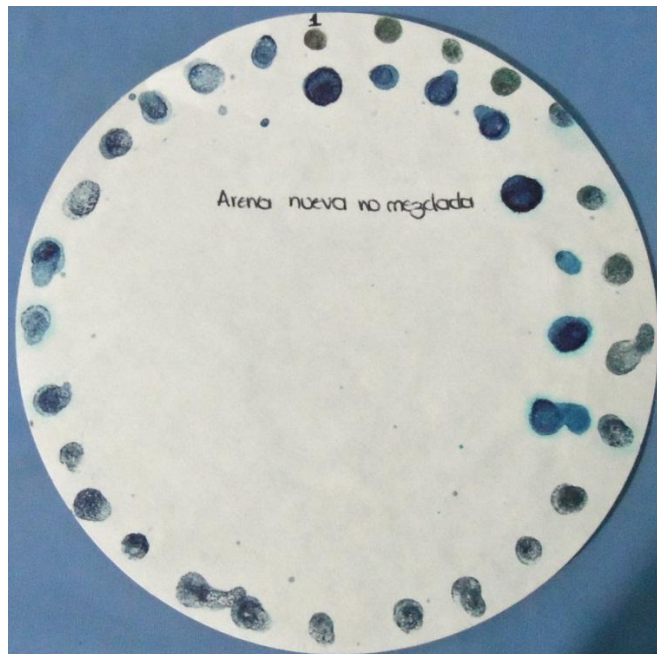
### 6.4.6 Arcilla activa

En la tabla 7. Se muestran los resultados obtenidos para el cálculo de arcilla activa en las mezclas de arena analizadas. En la figura 5 se muestran los datos del ensayo en la mezcla de arena nueva y para la mezcla de arena usada se muestran en la figura 6.

**Tabla 7.** Arcilla activa para las mezclas de arena de arena analizadas

Mezcla de arena	Peso de la muestra (g)	Volumen de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (mL)	Volumen de azul de metileno (mL)	% Arcilla activa
Sin usar	5	2	32	10,5
Usada	5	2	21	7,5

**Figura 5.** Ensayo azul de metileno para determinar arcilla activa en arena nueva



**Fuente:** Autores

**Figura 6.** Ensayo azul de metileno para determinar arcilla activa en mezcla de arena usada



**Fuente:** Autores

#### 6.4.7 Pérdida por ignición (LOI)

La pérdida por ignición de cada una de las mezclas se muestra en la tabla 8 y se calculó mediante la ecuación:

$$\% LOI = \frac{\text{pérdida en peso}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

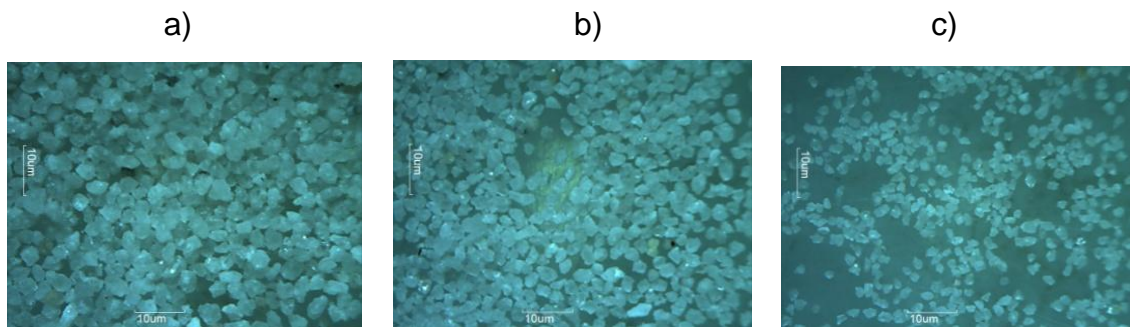
**Tabla 8.** Cálculo de pérdida por ignición para las mezclas de arena analizadas

Mezcla de arena	Peso muestra (g)	Peso después de LOI (g)	% LOI
Sin usar	5,32	4,91	7,71
Usada	5	4,25	15

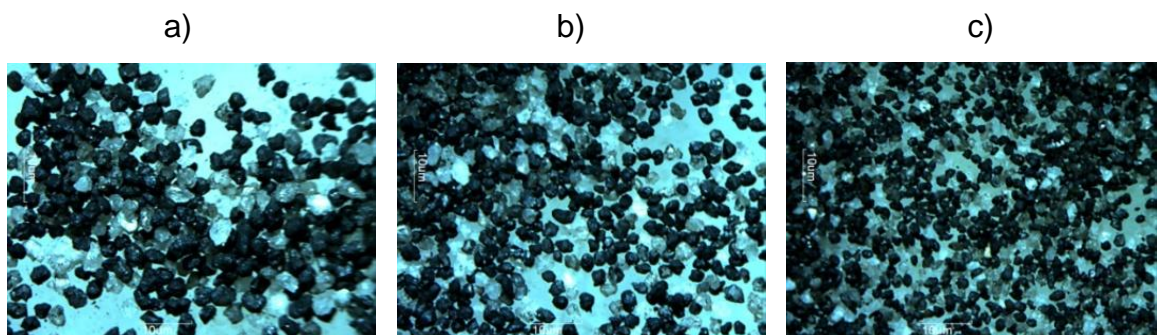
### 6.4.8 Forma de grano

Se miraron en el microscopio los granos retenidos por los tamices número 50, 70 y 100 para determinar la forma de grano de las mezclas de arena.

**Figura 7.** Granos de arena nueva retenidos por tamiz a) No 50 b) No 70 c) No 100 observados en microscopio a 50X



**Figura 8.** Granos de mezcla de arena usada retenidos por tamiz a) No 50 b) No 70 c) No 100 observados en microscopio a 50X



En la tabla 9 se encuentra un resumen de los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas para caracterizar cada una de las arenas analizadas.

**Tabla 9.** Resumen de los resultados obtenidos durante la caracterización de las mezclas de arena analizadas.

Mezcla de arena	% Humedad	% Arcilla AFS	AFS_GFN	% Arcilla activa	% LOI
Sin usar	5,6	0,36	74,87	10,5	7,71
Usada	6,8	14,08	68,66	7,5	15

Las pruebas para determinar las propiedades de moldeo de las mezclas entregadas por la empresa se describen a continuación.

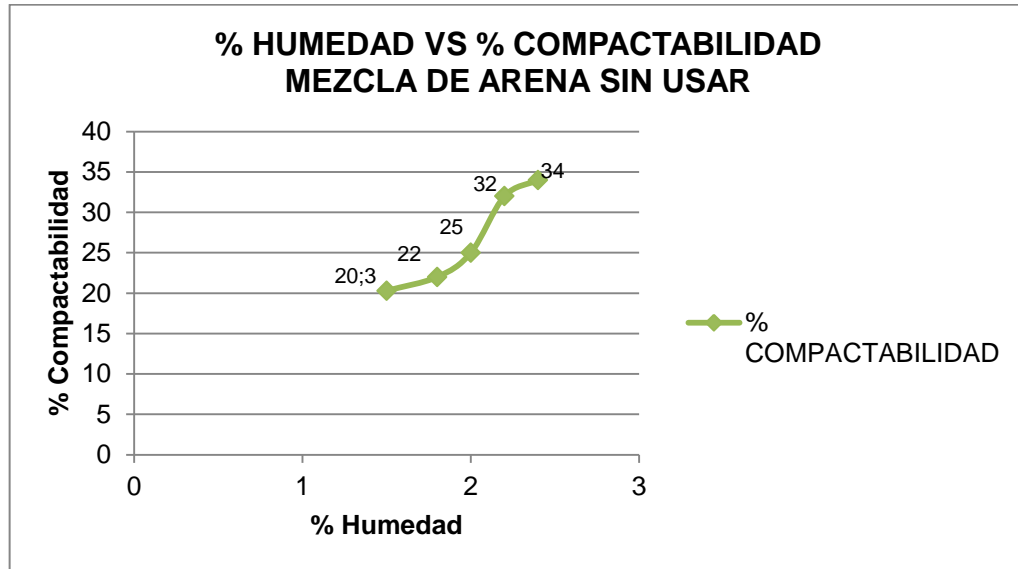
#### 6.4.9 Compactabilidad

Los datos obtenidos durante la prueba de compactabilidad, tabla 10. se encuentran graficados en la figura 9. para la mezcla de arena sin usar; y en la tabla 11 y la figura 10. para la mezcla de arena usada.

**Tabla 10.** Datos obtenidos en el ensayo de compactabilidad para la mezcla de arena sin usar.

% Humedad	% Compactabilidad
1,5	20,3
1,8	22
2	25
2,2	32
2,4	34

**Figura 9.** Gráfica de % Humedad vs % Compactabilidad para la mezcla de arena sin usar

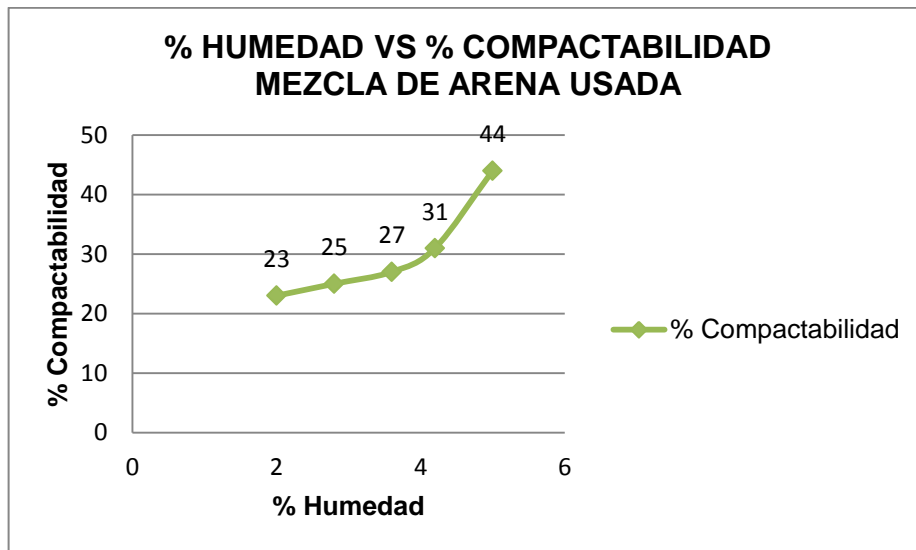


**Fuente:** Autores

**Tabla 11.** Datos obtenidos en el ensayo de compactabilidad para la mezcla de arena usada

% Humedad	% Compactabilidad
2	23
2,8	25
3,6	27
4,2	31
5	44

**Figura 10.** Gráfica de % Humedad vs % Compactabilidad mezcla de arena usada



**Fuente:** Autores

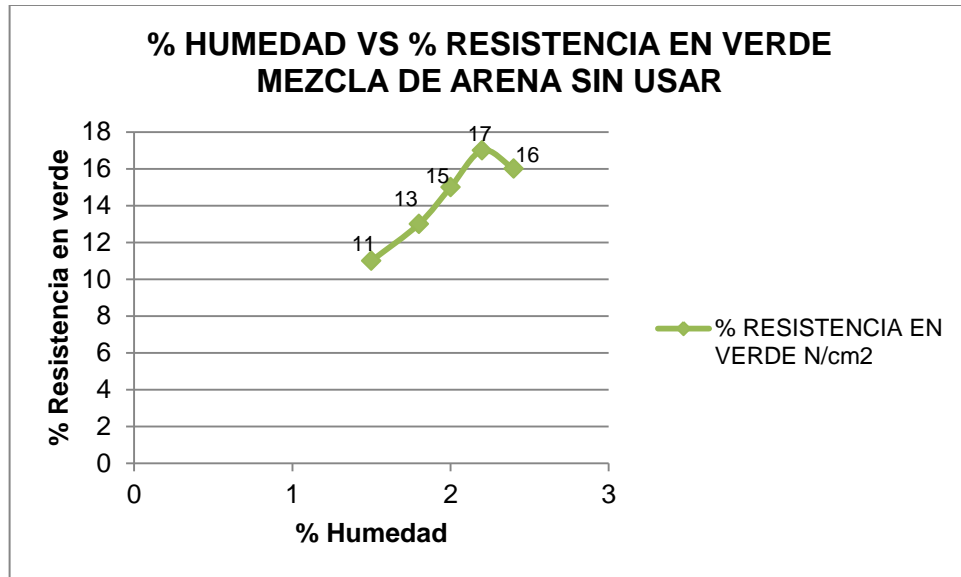
#### 6.4.10 Resistencia en verde

Los resultados son registrados en la tabla 12 y graficados en la figura 11. Para la mezcla de arena sin usar, y en la tabla 13 y la figura 12 para la mezcla de arena usada.

**Tabla 12.** Datos obtenidos en el ensayo de resistencia en verde para la mezcla de arena sin usar.

% Humedad	% Resistencia en verde N/cm <sup>2</sup>
1,5	11
1,8	13
2	15
2,2	17
2,4	16

**Figura 11.** % Humedad vs %Resistencia en verde para la mezcla de arena sin usar

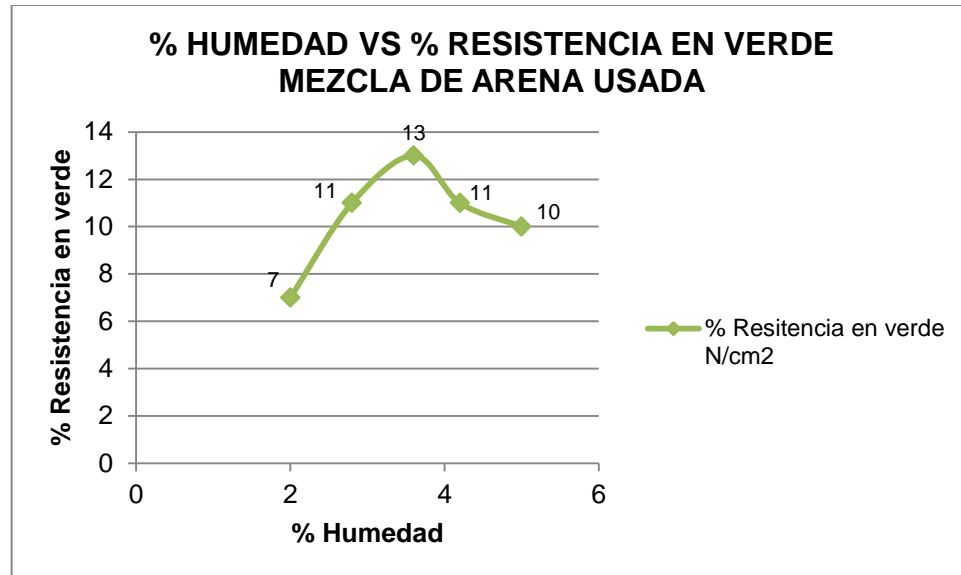


**Fuente:** Autores

**Tabla 13.** Datos obtenidos en el ensayo de resistencia en verde a la mezcla arena usada.

% Humedad	% Resistencia en verde N/cm2
2	7
2,8	11
3,6	13
4,2	11
5	10

**Figura 12.** Gráfica de % Humedad vs % Resistencia en verde de la mezcla de arena usada.



**Fuente:** Autores

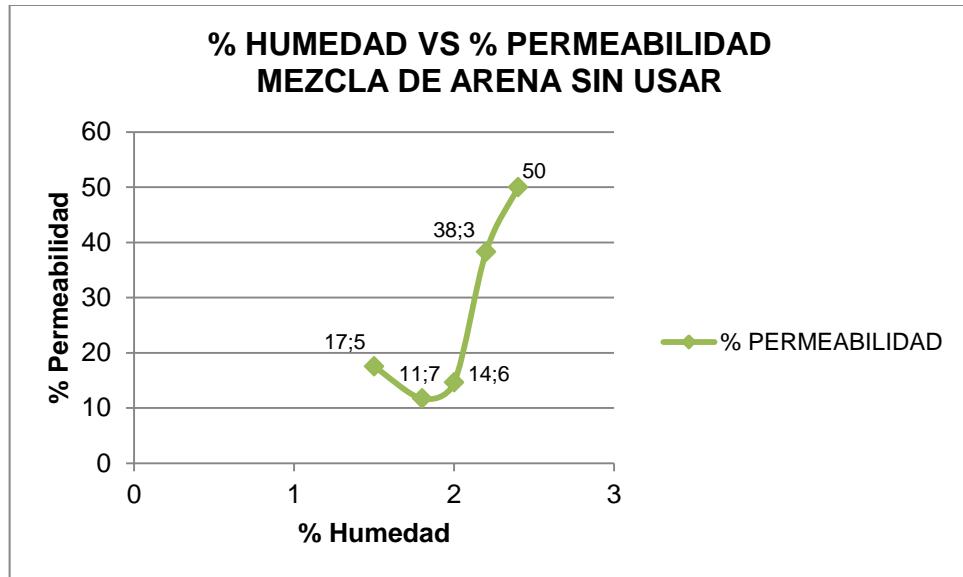
#### 6.4.11 Permeabilidad

Los resultados obtenidos durante el ensayo de permeabilidad se presentan en la tabla 14 y se grafican en la figura 13. para la mezcla de arena sin usar, y en la tabla 15 y figura 14. Para la mezcla de arena usada.

**Tabla 14.** Datos obtenidos en el ensayo de permeabilidad para la mezcla de arena sin usar.

% Humedad	% Permeabilidad
1,5	17,5
1,8	11,7
2	14,6
2,2	38,3
2,4	50

**Figura 13.** Gráfica % humedad vs %Permeabilidad para la mezcla de arena sin usar



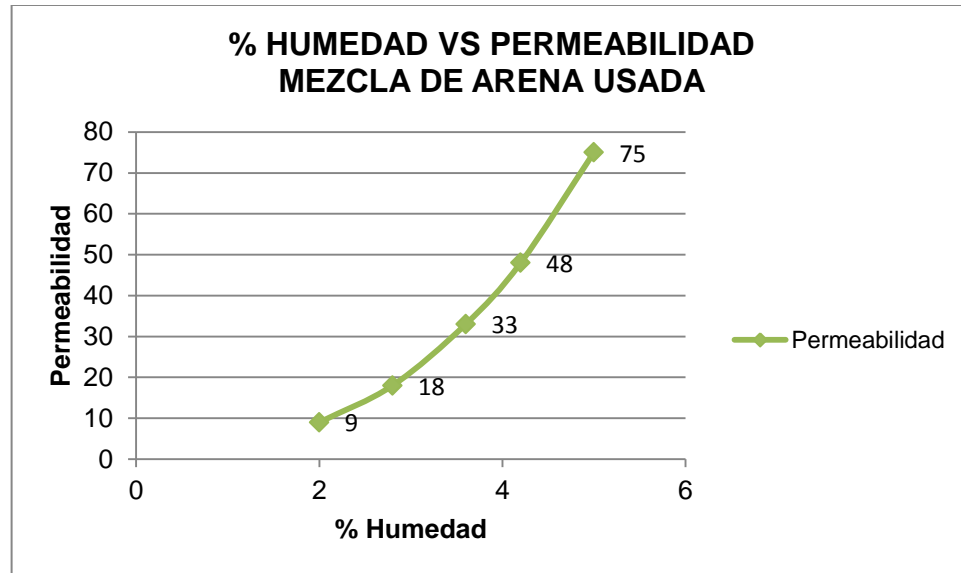
7

**Fuente:** Autores

**Tabla 15.** Datos obtenidos en el ensayo de permeabilidad para la mezcla de arena usada

% Humedad	% Permeabilidad
2	9
2,8	18
3,6	33
4,2	48
5	75

**Figura 14.** Gráfica de % Humedad vs % permeabilidad para la mezcla de arena usada



**Fuente:** Autores

En la tabla 16 se muestra un resumen de los resultados obtenidos para los diferentes ensayos realizados para cada una de las mezclas de arena analizadas.

**Tabla 16.** Resumen de propiedades de moldeo determinadas para cada mezcla de arena.

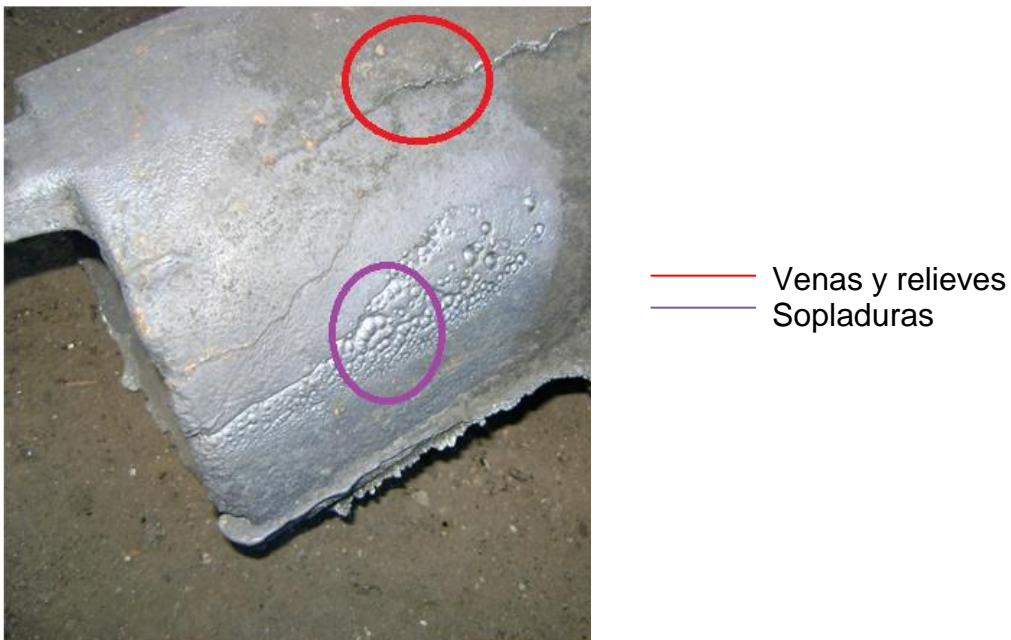
Mezcla de arena	% Humedad	% Compactabilidad	% Resistencia en verde N/cm <sup>2</sup>	% Permeabilidad
Sin usar	2,2	32	17	38,3
	2,4	34	16	50
Usada	3,6	27	13	33
	5	44	10	75

## 7. ANÁLISIS DE DEFECTOS EN LAS PIEZAS COLADAS

El análisis de defectos presentes en las piezas coladas se hizo a partir de fotografías de las piezas coladas tomadas por los autores y otras suministradas por la empresa, y sólo se tuvieron en cuenta los defectos producidos por la mezcla de arena de moldeo.

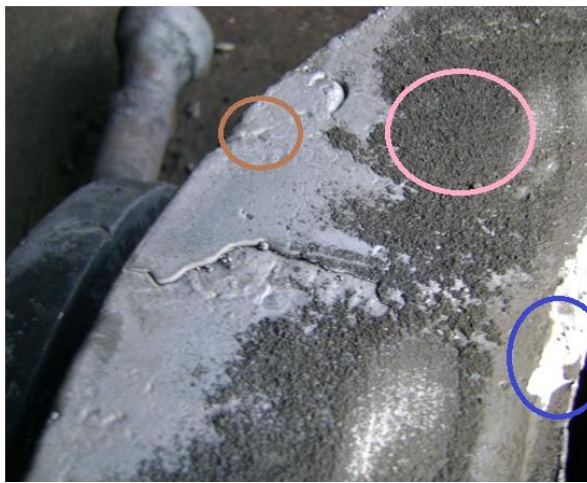
Para efectos de análisis, se resaltan los defectos por medio de colores que se relacionan con el defecto al lado derecho de la figura.

**Figura 15.** Codo para tubería en fundición gris.de diámetro 20”



**Fuente:** Empresa Industrial de accesorios, IDEA LTDA

**Figura 16.** Te para tubería en fundición gris. 20" de diámetro



- Inclusiones de arena
- Colas de rata
- Darts

**Fuente:** Empresa Industrial de accesorios, IDEA LTDA

**Figura 17.** Te para codo de tubería en fundición gris de 20" de diámetro



- Porosidades

**Fuente:** Autores

Se obtuvieron más de 20 fotografías de las piezas coladas que mostraban defectos, y en todas ellas se encontraron los mismos defectos causados por la mezcla de arena para moldeo mencionado anteriormente en cada gráfica.

## 8. DISEÑO DE LA MEZCLA DE ARENA DE MOLDEO PROPUESTA

El diseño de la mezcla de arena de moldeo se hizo a partir de los valores recomendados de bentonita, carbón por la AFS para arenas finas, 6,5% Bentonita y 5% de carbón. El porcentaje de agua fue la variable a modificar. Los resultados de su caracterización se muestran en la tabla 17.

**Tabla 17.** Resultados obtenidos durante la caracterización de la mezcla propuesta

Mezcla de arena	% Humedad	% Arcilla AFS	AFS_GFN	% Arcilla activa	% LOI
Propuesta	1	0,36	74,87	10,5	7,71

### 8.1 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA MEZCLA

1. Se realizó el muestreo a la arena.
2. Se pesaron las cantidades necesarias de arena, bentonita y carbón
3. Se mezclaron la arena, la bentonita y el carbón en la mezcladora durante 5 minutos, y se tomó la humedad inicial de la muestra que fue del 1%
4. Se agregó 1% de humedad a la mezcla para dar inicio a la toma de propiedades de la mezcla. Se repitió este paso variando el porcentaje de humedad agregado a la mezcla entre valores de 0,5%, 0,75% Y 1% hasta obtener los datos necesarios para graficar las curvas de cada propiedad de la mezcla.

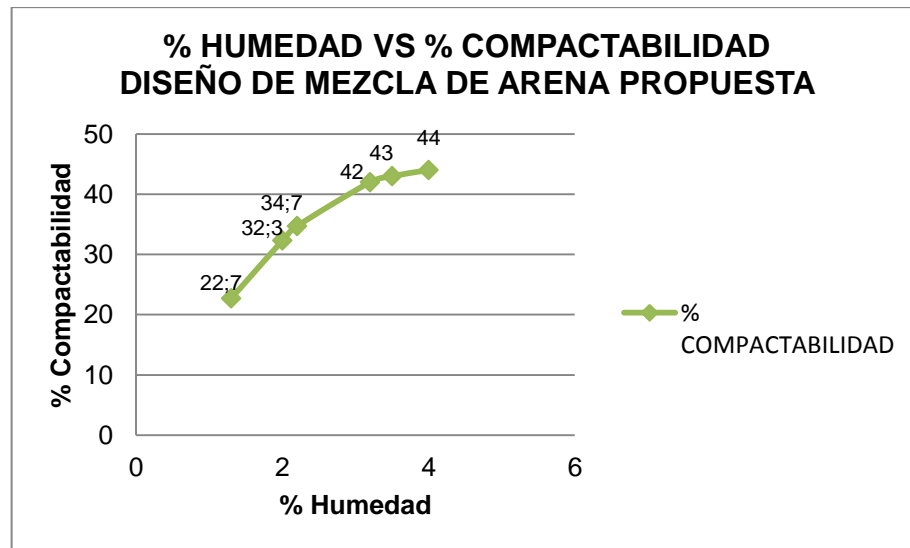
### 8.1.1 Compactabilidad

El ensayo de compactabilidad para el diseño de mezcla de arena propuesta se realizó según lo indica la norma AFS. En la tabla 18 se muestran los resultados obtenidos y se grafican en la figura 18.

**Tabla 18.** Datos obtenidos durante el ensayo de compactabilidad, diseño de mezcla de arena propuesta.

% Humedad	% Compactabilidad
1,3	22,7
2	32,3
2,2	34,7
3,2	42
3,5	43
4	44

**Figura 18.** Gráfica % Humedad vs % Compactabilidad diseño de mezcla de arena propuesta.



**Fuente:** Autores

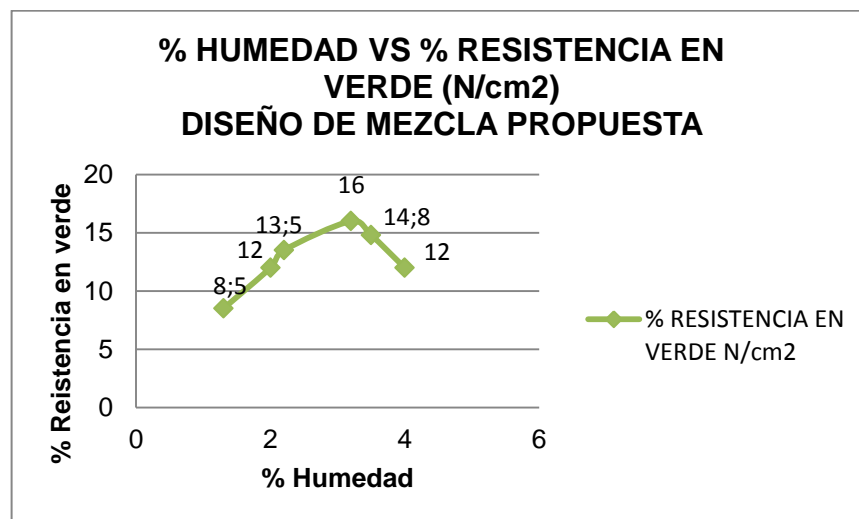
### 8.1.2 Resistencia en verde

Los datos obtenidos durante este ensayo son descritos en la tabla 19 y graficados en la figura 19.

**Tabla 19.** Datos obtenidos durante el ensayo de resistencia en verde para el diseño de mezcla propuesta.

% Humedad	% Resistencia en verde N/cm <sup>2</sup>
1,3	8,5
2	12
2,2	13,5
3,2	16
3,5	14,8
4	12

**Figura 19.** Gráfica % Humedad vs % Resistencia en verde para el diseño de mezcla de arena propuesta.



**Fuente:** Autores

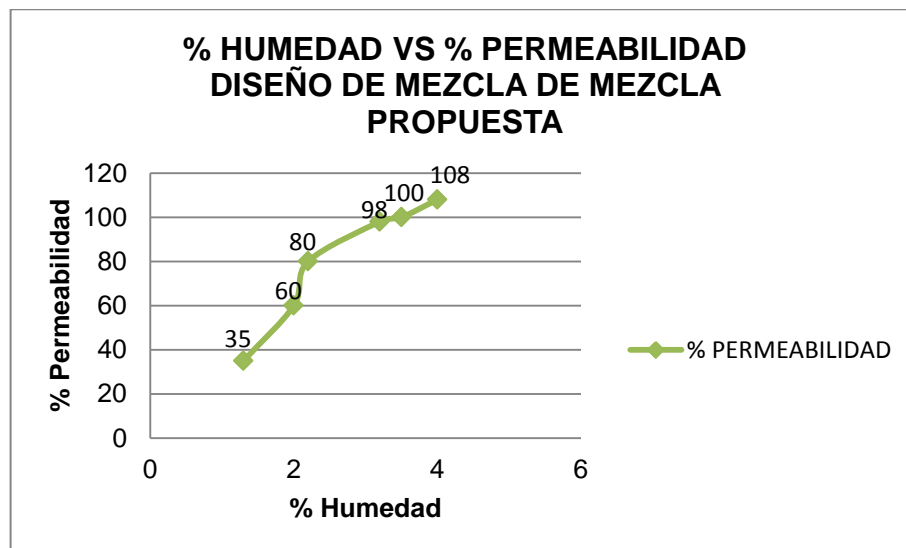
### 8.1.3 Permeabilidad

Los datos obtenidos durante este ensayo se presentan en la tabla 20 y se grafican en la figura 20.

**Tabla 20.** Datos obtenidos durante el ensayo de permeabilidad para el diseño de la mezcla de arena.

% Humedad	% Permeabilidad
1,3	35
2	60
2,2	80
3,2	98
3,5	100
4	108

**Figura 20.** Gráfica de los datos obtenidos durante el ensayo de permeabilidad diseño de mezcla de arena



**Fuente:** Autores

En la tabla 21. Se muestra el resumen de las propiedades de moldeo de la mezcla de arena propuesta.

**Tabla 21.** Resumen de las propiedades de moldeo de la mezcla de arena propuesta

Mezcla de arena	% Humedad	% Compactabilidad	% Resistencia en verde N/cm <sup>2</sup>	% Permeabilidad
Propuesta	3,2	42	17	98
	4	44	16	108

## 9 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una observación a ser tenida en cuenta antes de realizar los diferentes ensayos, es que los trabajadores encargados de la fundición en la empresa IDEA pasan la arena nueva por un tamiz dependiendo su uso. Para la mezcla de arena que más utilizan, pasan la arena nueva por un tamiz número 6 en la serie de tamices ASTM. Esta mezcla de arena es utilizada para la fabricación de piezas grandes. Para fabricar piezas pequeñas utilizan una arena más fina la cual pasan por un tamiz número 12 de la serie de tamices ASTM. Los ensayos se hicieron a partir de arena y mezclas de arena pasadas por tamiz número 6, partiendo del hecho que la mayor producción está basada en piezas grandes.

La empresa no presenta un control adecuado para la preparación de las mezclas de arena, sus pesos son imprecisos, los utensilios empleados para cargar las cantidades de arena, bentonita, carbón y mezclas de arena, no cuentan con el procedimiento adecuado de limpieza y la cantidad de agua agregada a las mezclas para aumentar la humedad de éstas no son medidas.

Se retomó la tabla 1 para realizar el análisis de resultados.

**Tabla 1.** Propiedades de moldeo de las mezclas de arena analizadas inmediatamente después de ser entregadas por la empresa

Mezcla de arena	% Humedad	% Compactibilidad	\$ Resistencia en verde N/Cm <sup>2</sup>	% Permeabilidad
Sin usar	5,6	45	9,29	81,3
Usada	6,8	50	13,6	100

En la tabla 22. Se pueden apreciar los resultados obtenidos de la caracterización de las tres mezclas de arena analizadas, y en la tabla 23 se tienen los valores hallados para las propiedades de moldeo de cada una de las mezclas de arena analizadas.

**Tabla 23.** Resultados de la caracterización de las tres mezclas de arena analizadas.

Mezcla de arena	% Humedad	% Arcilla AFS	AFS_GFN	% Arcilla activa	% LOI	Forma de grano
Sin usar	5,6	0,36	74,87	10,5	7,71	Redondo
Usada	6,8	14,08	68,66	7,5	15	Subangular
Propuesta	1	0,36	74,87	10,5	7,71	Redondo

**Tabla 24.** Resultados obtenidos de la determinación de las propiedades de moldeo de cada una de las mezclas de arena analizadas.

Mezcla de arena	% Humedad	% Compactabilidad	% Resistencia en verde N/cm2	% Permeabilidad
Sin usar	2,2	32	17	38,3
	2,4	34	16	50
Usada	3,6	27	13	33
	5	44	10	75
Propuesta	3,2	42	17	98
	4	44	16	108

De la tabla 1. Se observa que las mezclas de arena que utiliza la empresa para la creación de moldes presentan un alto contenido de humedad, lo que no les permite desarrollar propiedades de arena de moldeo adecuadas, y esto se ve

reflejado en las sopladuras, porosidades y grietas encontrados en las piezas fundidas.

Los resultados de la caracterización de las mezclas de arena analizadas, establecidos en la tabla 22., muestran un bajo % Arcilla AFS para la mezcla de arena sin usar y para la mezcla de arena propuesta, lo que les confiere baja cohesión en los granos de arena. En la mezcla de arena usada se presenta un incremento del % Arcilla AFS con respecto a las otras dos mezclas de arena analizadas, éste aumento puede producirse por la cantidad de carbón que está presente durante la mezcla original, y que al ser sometido al calor durante el proceso de colada se quema parte de él, disminuyendo su tamaño. Este porcentaje puede considerarse alto, lo que afecta la permeabilidad de la mezcla de arena que prepara la empresa a partir de la reutilización de la arena usada. Además de ello, cuando se reutiliza la arena usada en una mezcla de arena se le agrega más bentonita y más carbón en las mismas proporciones de una mezcla de arena sin usar, presentándose de ésta forma exceso de bentonita y por ende, pérdidas económicas para la empresa.

Analizando el índice de finura calculado para las tres mezclas, tabla 22., se infiere que todas ellas tienen una arena de grano fino lo que les confiere baja permeabilidad y alta cohesión entre los granos. Sin embargo, se pudo observar que el índice en la mezcla de arena usada disminuye en 6,21 con respecto a las otras dos mezclas de arena, lo que puede sugerir un cambio de tamaño o forma de los granos de arena. Aunque las tres muestras tienen un índice de finura muy cercano, no se puede asegurar propiedades similares entre ellas. La figura 4. Muestra la distribución granulométrica de la arena usada concentrada en las mallas 50 – 70, lo que lleva a justificar la disminución en el índice de finura y precisar que se trata de una arena de finura moderada. Las figuras no muestran el

cambio en la forma de grano de la mezcla de arena usada y que a su vez, se ve reflejado en el cálculo del índice de finura y en la distribución granulométrica de dicha mezcla de arena.

La diferencia de porcentaje de arcilla activa entre las mezclas de arena hechas con arena nueva y la mezcla de arena usada, representa la cantidad de arcilla que pierde su poder aglomerante, puesto que pierde su agua de constitución que es la que le confiere esta propiedad. Ésta pérdida de arcilla activa que se presentó en la mezcla de arena usada puede ser causada por la cantidad indeterminada de veces que ha sido sometida al calor del metal líquido proveniente de la colada, y que generó la evaporación del agua de constitución.

De la tabla 1. Se observó que la mezcla de arena sin usar presentó mejor porcentaje de compactabilidad a mayor porcentaje de humedad, pero la tabla 23. Muestra que a una humedad menor se obtuvo mejor resistencia en verde. Ésta mezcla de arena presentó muy alta resistencia en verde a 2,2% de humedad, con un porcentaje compactabilidad no muy alejado del 40% que es el adecuado para considerarse a una mezcla de arena con buena permeabilidad.

El porcentaje de compactabilidad mostrado en la tabla 1. Para la mezcla de arena usada dedujo que es una mezcla de arena con baja compactabilidad, en respuesta a esto, la tabla 23. muestra que para esta misma mezcla de arena el porcentaje de compactabilidad adecuado se presentó a una humedad del 5%, pero la resistencia en verde se ve disminuida de alta a moderada a ésta humedad.

La permeabilidad en las tablas 1 y 23. Para la mezcla de arena sin usar y la mezcla de arena usada, es considerada baja.

La mezcla de arena propuesta presentó las mejores propiedades de moldeo a bajo porcentaje de humedad. Ver tabla 23. A una humedad de 3,2% la compactabilidad fue del 42%, teniendo en cuenta que el rango de compactabilidad permisible para producir buenas piezas coladas está entre el 40% y el 45%, se definió esta mezcla como de buena compactabilidad. A éste mismo porcentaje de humedad la mezcla adquirió su mayor resistencia en verde siendo posible considerarla como de muy alta resistencia, y la permeabilidad puede considerarse como buena.

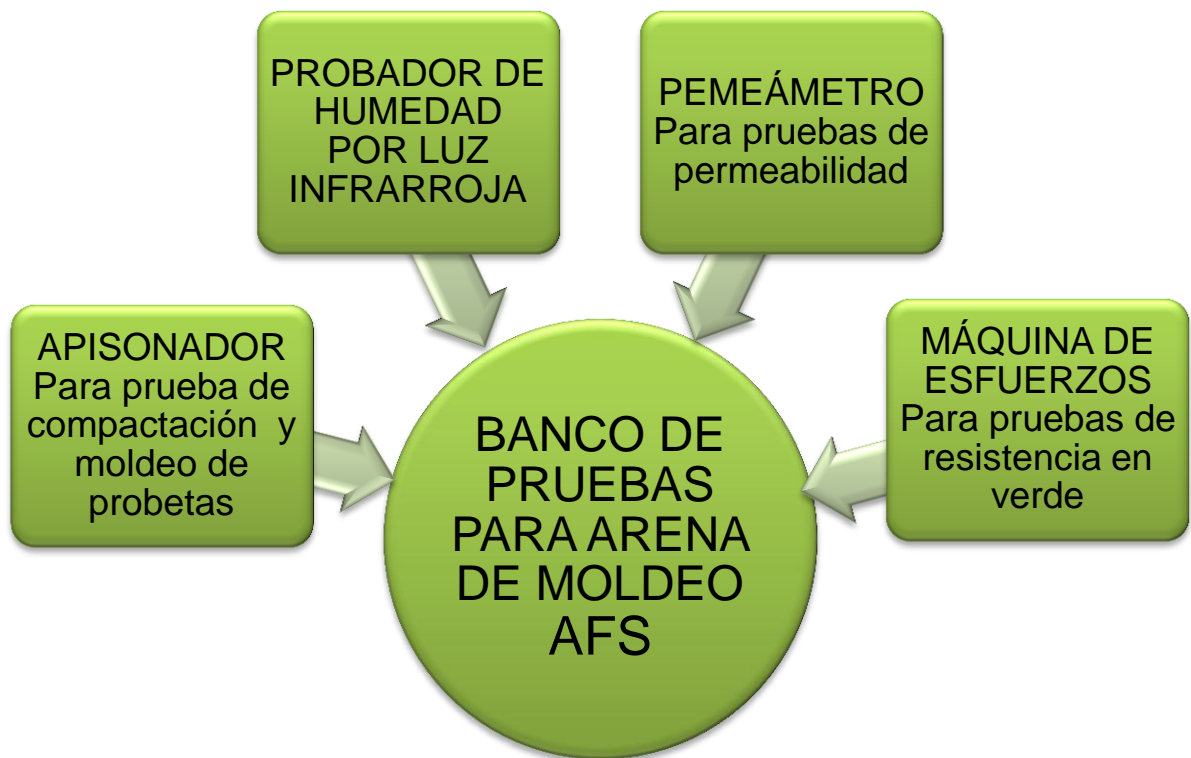
### **9.1 ANÁLISIS DE DEFECTOS EN LAS PIEZAS COLADAS**

Las caídas de arena son producto de un mal apisonado de la mezcla de arena durante el proceso de moldeo. Las sopladuras son causadas por la baja permeabilidad de la mezcla de arena. Las venas y relieves ocurren en el moldeo en verde, si la arena empleada experimenta una contracción demasiado elevada al calentarse, escaso polvo de carbón, demasiado contenido de humedad. Las darts son causadas por desprendimientos de la superficie del molde que se descascaran durante la solidificación y quedan adheridas a la superficie de la fundición. Este tipo de defecto se debe en la mayoría de los casos a que se apisona demasiado cerca del modelo; a que el apisonado es flojo; moldes demasiado duros o desigualmente apisonados. La cola de rata suele prevenir de un apisonado demasiado cerca del modelo; de un apisonado demasiado flojo, o de moldes apisonados demasiado dura o desigualmente. Los poros son producto de una humedad excesiva del molde.

## 10 DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS PARA ARENA DE MOLDEO AFS

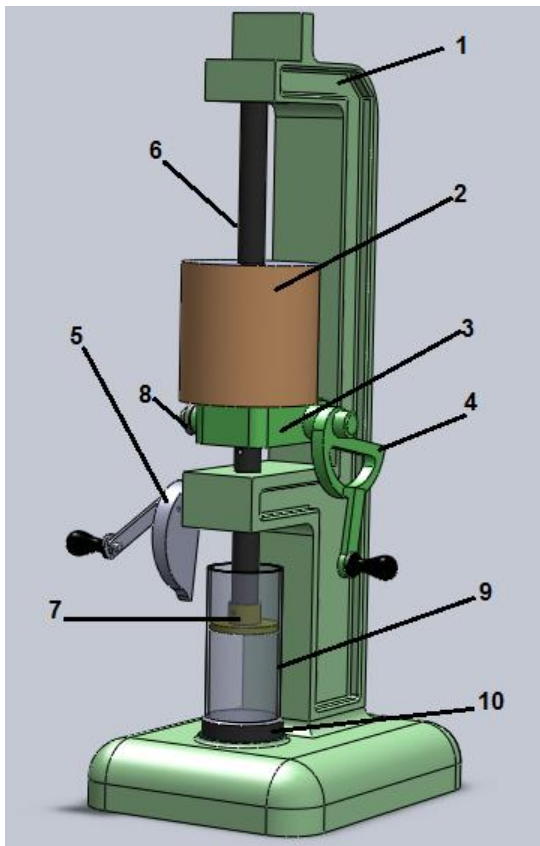
En el desarrollo de esta investigación se realizaron muchas pruebas que dictaminaron resultados muy desfavorables para la óptima realización de moldes para piezas de fundición. Por tal motivo, y procurando siempre el mejoramiento de la calidad de los productos de la fundición en la empresa, se hace imperativa la necesidad de diseñar prototipos para el desarrollo de las pruebas de laboratorio de arenas AFS, que faciliten el control y seguimiento de la arena usada en los moldes para piezas de fundición. Las principales pruebas a realizar son : compactación, permeabilidad, resistencia en verde y humedad.

**Figura 21.** Diagrama de componentes del banco de pruebas.



## 10.1 APISONADOR

El apisonador o Sand Rammer según la AFS (Asociación Americana de Fundidores) es usada para preparar espécimen o probetas de arena utilizadas en varias pruebas estandarizadas que incluyen compresión en arena en verde, compactación, resistencia a la fractura y permeabilidad. El apisonador provee de energía de compactación que reduce la variabilidad asociada con la compactación manual. La arena que va a ser ensayada es puesta dentro de un tubo probetero y es compactada por un peso.



FUENTE: Autores

**FIGURA 22.** Partes del apisonador

### Partes fijas

1. Brazo del Apisonador

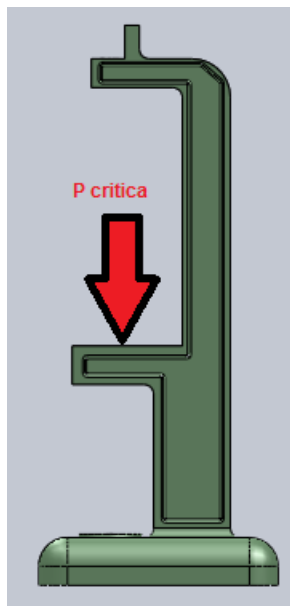
### Partes móviles

2. Peso Cilíndrico (6.350 Kg)
3. Dado guía
4. Manivela excéntrica que sube el peso
5. Manivela excéntrica que sostiene arriba el peso
6. Eje guía del peso
7. Pisón al final del eje
8. Rodamiento radial de bola, diámetro interno 1cm, diámetro externo 3cm
9. Tubo para probetas
10. Base para tubo probetero

El cuerpo del apisonador se fabrica en fundición gris en moldes, la cual tiene ventajas particulares cuando se tratan de formas de diferentes tamaños y secciones, configuraciones complicadas con rebajos, ángulos entrantes y contornos complejos, que serían muy difíciles de maquinarse, además que este material es el indicado técnicamente, por que recibe las vibraciones mecánicas producidas por el continuo golpe del peso, las cuales pueden afectar en el momento de realizar los ensayos o apisonando las probetas. Se construye un molde con las medidas especificadas en los planos, y luego se funde en hierro gris clase 20 a 40 según norma ASTM porque son de fácil de pulir y hacerle el acabado final.

Se realiza un estudio de criticidad del brazo como columna<sup>3</sup>

**Figura 23.** Brazo del apisonador



---

<sup>3</sup> Cálculos de columna según Elementos de maquinas Hamrock PAG. 369- 373

$$\frac{l}{r} = 8.49$$

$$I_T = b \cdot h^3 / 3 + b^3 \cdot h / 3 = 0.16 \text{ m}^2$$

El brazo es una columna cargada excéntricamente, según tabla de Anexo E,  
 $E = 109 \text{ GPa}$ ;  $S_y = 165 \text{ MPa}$

La base donde se aplica la fuerza es de  $80 \times 60 \text{ mm}$  y la longitud es de  $170 \text{ mm}$ .

$$A = b \times h = 0.48 \text{ m}$$

$$P_{critica} = AS_y \left[ 1 - \frac{S_y}{4\pi^2 \times E} \left( \frac{l}{r} \right)^2 \right]$$

$$P_{critica} = \frac{\frac{S_y \times A}{2}}{1 + \frac{ec}{r^2} \sec \frac{l}{2r} \frac{P}{EA}}$$

P crítica concéntrica =  $7388 \text{ kg}$

P crítica excéntrica =  $145.62 \text{ kg}^1$

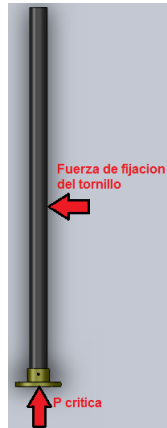
Lo que demuestra que el diseño es óptimo y que el brazo del apisonador resiste muy bien a las exigencias del ensayo de compactibilidad.

*Eje guía del peso:* Este eje según la norma AFS, es donde se fija en el extremo inferior una cabeza apisonadora llamada pisón, de acero endurecido de diámetro  $50.65 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$  para producir un ajuste deslizante con el diámetro interior del tubo de la probeta. También va fijado al dado del apisonador que recibe el peso en el momento de soltarlo sobre la probeta. Para el eje que guía efecto columna<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Cálculos de columna según Elementos de maquinas Hamrock PAG. 373

**Figura 24.** Eje guía del peso



Suponemos que el núcleo del eje es una columna de un extremo libre y el otro fijo

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = 283 \text{ mm}^2$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = 6397.11 \text{ mm}^4$$

$$r_g = \sqrt{\frac{I}{A}} = 4.75 \text{ mm}$$

Tenemos que para el acero 1045:  $E = 207 \text{ GPa}$

$S_y = 360 \text{ MPa}$

$$\frac{l}{r} \quad t = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} = 108$$

$$L_e = 2,1L = 861 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{r_g} = 181.26$$

$$P_{critica} = \frac{\pi^2 EI}{l_e^2} = 17.62 \text{ KN}$$

Para la hallar la fuerza de sujeción sumamos el peso del dado más el peso que soporta:

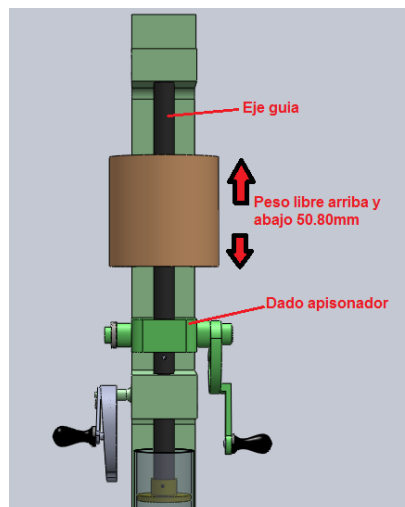
Peso del dado del apisonador: densidad fundición gris =  $7.4 \times 10^3$ ; Volumen del dado del apisonador =  $(0.08 \times 0.06 \times 0.03)$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \rightarrow \quad m = \rho \times V = 7.4 \times 10^3 \times 0.08 \times 0.06 \times 0.03 = 1.06 \text{ Kg}$$

Por lo tanto la fuerza que ejerce el tornillo de fijación sobre el eje es pequeña y no causa ninguna deformación, además el eje es endurecido que minimiza la fluencia y como este eje no está expuesto a grandes fuerzas externas, el material del cual se va a fabricar es muy bueno para las necesidades del diseño.

*El Peso:* Sobre el eje se monta un peso de 6.350 kg de tal manera que pueda deslizarse libremente por el eje hacia arriba y hacia abajo por una distancia de 50.8mm entre los soportes de apisonador

**Figura 25.** Movimiento vertical del peso del apisonador

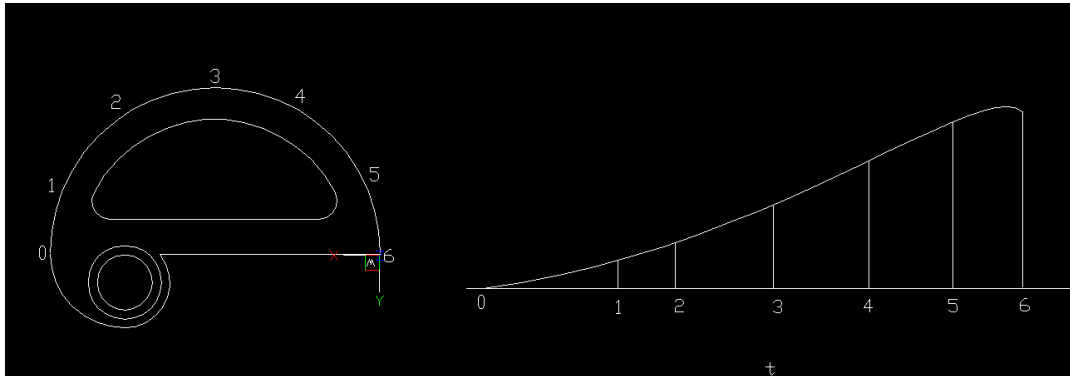


**Fuente:** Autores

*Para la leva excéntrica:* Para el excéntrico derecho del apisonador se hace el molde de tal forma que cumpla con la norma AFS. Lo importante es que suba el peso a la distancia requerida por el ensayo 50.80 mm, y lo deje caer libre a esa altura, para que el peso golpee con todo su peso a través del pisón a la arena.

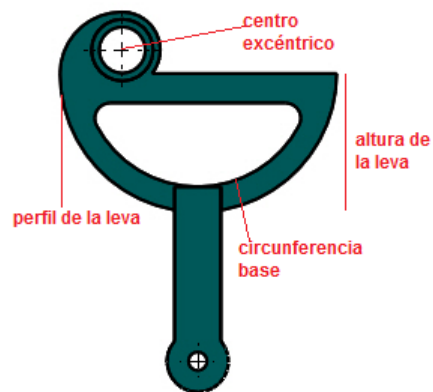
**Figura 26.** a) Perfil de la leva excéntrica. b) dibujo leva excéntrica .c) excéntrico para sostener el peso

a)



**Fuente:** Autores

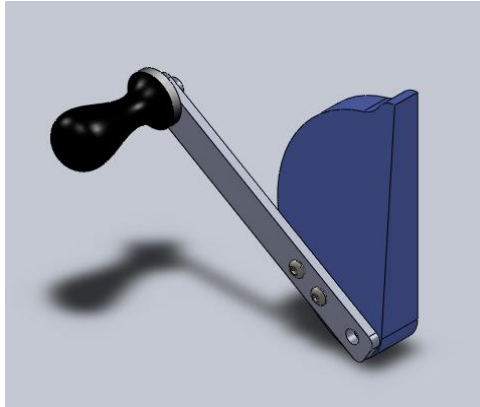
b)



**Fuente:** Autores

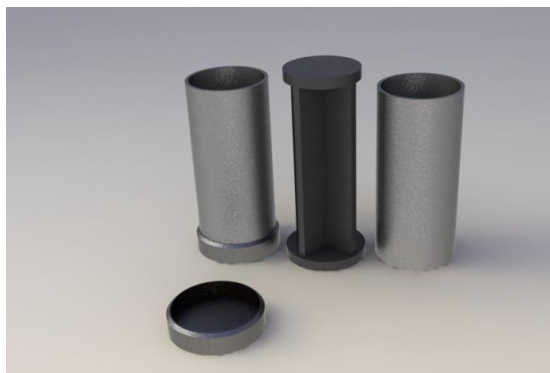
Para sostener el peso, se utiliza otro excéntrico que tiene la función de suspender el peso mientras se trabaja con las probetas y los tubos. Está sujeto al brazo del apisonador y hace contacto con el dado del apisonador por medio de un rodamiento radial de bolas.

c)



Para el desarrollo del ensayo se necesitan recipientes tubulares de acero endurecido de diámetro interior de 50.8mm y diámetro externo 55.37mm y altura de 120.45mm según norma **AFS**, la superficie interna del tubo debe ser uniforme circular y liza para que la probeta no se quiebre antes de hacer el ensayo. También se necesita una base para evitar que la arena se escurra.

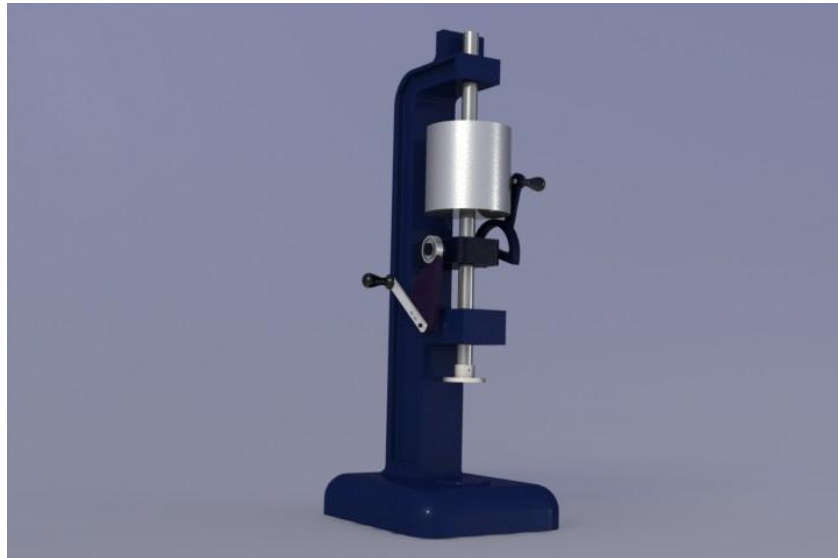
**Figura 27.** Recipientes tubulares para apisonar las probetas



**Fuente:** Autores

**Nota:** Todas las medidas de los elementos están de este equipo están relacionadas en los anexos de los planos y están sujetos a cambios

**Figura 28.** Diseño del apisonador



**Fuente:** Autores

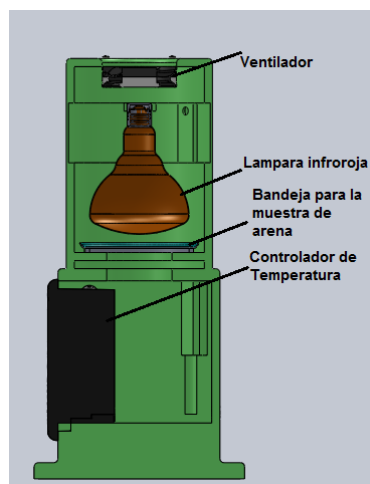
## **10.2 PROBADOR DE HUMEDAD POR LUZ INFRARROJA.**

El contenido de humedad de una mezcla de arena se determina secando una muestra húmeda a entre 104 °C y 110°C, el método que se maneja en este banco utiliza una lámpara infrarroja como fuente de calor para evaporar la humedad de la muestra de arena. Las partes principales de este equipo son una lámpara de calor, una balanza donde se pesan las muestras, un platillo o bandeja donde se coloca la muestra de arena, un ventilador, y un controlador de temperatura que regula la temperatura de la arena procurando mantenerla en los rangos establecidos. Estas partes se arman como unidad dentro de una armadura

en tal forma que la lámpara quede directamente montada sobre la bandeja de la muestra donde se evapora la humedad.

*Para el cuerpo o armadura:* Para no salirnos del camino de la fundición, se fabrica un molde para el cuerpo, cuyas dimensiones están especificadas en los planos, sabiendo que la fundición es el material más idóneo para los detalles y por que mantiene el calor y no necesita aislantes dentro del equipo.

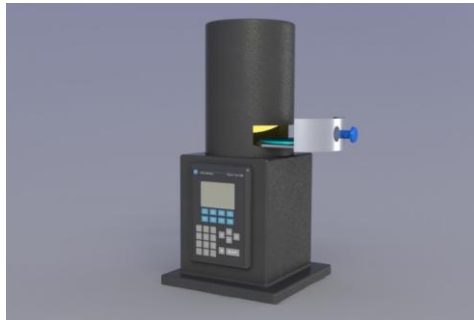
**Figura 29.** Partes del probador de humedad.



**Fuente:** Autores

Para la bandeja de muestras se hace de lámina de acero endurecido y es troquelada para darle su forma; el ventilador de la parte superior se fija con tornillos

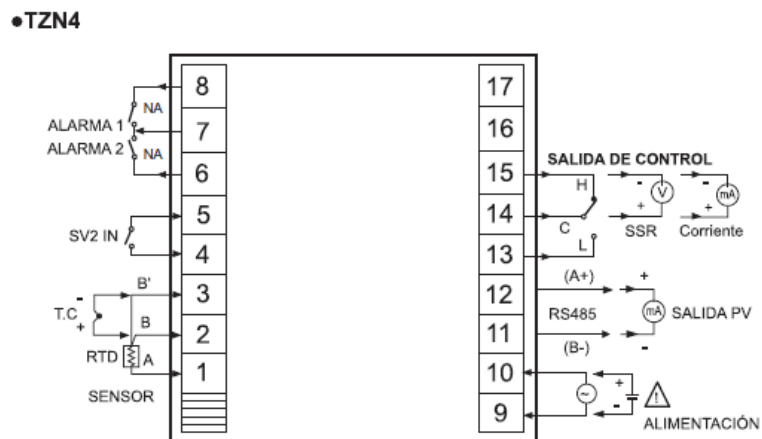
**Figura 30.** Diseño del dispositivo para determinar la humedad con una lámpara de luz infrarroja



**Fuente:** Autores

Las conexiones del controlador de temperatura TZN4 (Autonics) permiten manejar la activación del ventilador y de la lámpara según la variación de temperatura:

**Figura 31.** Conectores del controlador de temperatura



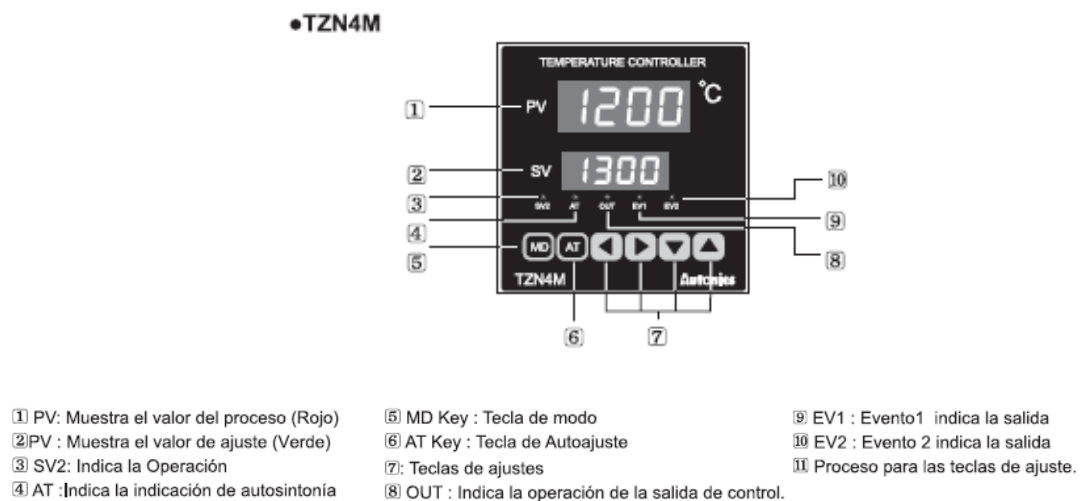
**Fuente:** [http://www.autonics.com/upload/data/TZN4M\(E-03-3110J\).pdf](http://www.autonics.com/upload/data/TZN4M(E-03-3110J).pdf)

### Algoritmo de programación:

- El equipo se conecta y prende la lámpara
- Cuando la lectura del termopar (J ó K), sobrepase los 110 °C se activa la primera alarma 1 y se apaga la lámpara y se da alimentación al ventilador.
- debajo de 98°C se activa la alarma Cuando la lectura del termopar nuevamente cambie, y disminuya por 2, se corta la alimentación al ventilador y se prende nuevamente la lámpara.
- Este proceso se repite hasta que se cumplan 15 minutos, este controlador va conectado a un timer que controla el tiempo y apaga nuevamente el equipo.

La programación y manejo del controlador de temperatura se maneja mediante un panel frontal que permite manejar los tiempos y los rangos de temperaturas.

**Figura 32.** Panel frontal del controlador de temperatura



**Fuente:** [http://www.autonics.com/upload/data/TZN4M\(E-03-3110J\).pdf](http://www.autonics.com/upload/data/TZN4M(E-03-3110J).pdf)

Las especificaciones de la lámpara y del ventilador se encuentran en el Anexo N

### 10.3 PERMEÁMETRO

La permeabilidad se define como la propiedad física de la masa moldeada de una arena que permita el paso de gas a través de la misma. Se determina por la cantidad de aire que puede pasar a través de la muestra cilíndrica de norma AFS (50.80mm x 50.80mm) bajo una presión también normalizada.

Para el ensayo de norma bajo cronómetro se emplea un equipo llamado permeámetro que ayuda a medir el tiempo en el cual el aire pasa a través de la probeta de arena.

**Figura 33.** Diseño del Permeámetro



**Fuente:** Autores

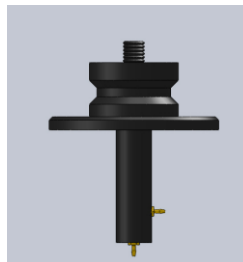
Este modelo consiste en suministrar aire por una conexión que viene desde un compresor a una presión de 10gr/cm<sup>2</sup>(0.1422 psi ó 0.9806 Kpa) y llega a una válvula neumática de tres vías que al ser accionada, lleva el aire a un manómetro que muestra la presión, cuando se acciona nuevamente, el aire se desplaza hacia una boquilla ubicada en la parte superior del modelo y donde se coloca la probeta que está dentro del tubo para probetas, y el aire sale por un orificio de 0,5 o 0,15 mm de diámetro según el tamaño de grano de la arena AFS .El tiempo en que el manómetro muestre la caída de presión a 0 será el tiempo en que el aire salga de la probeta, y se usa para hallar la permeabilidad al reemplazarlo en [1].

$$P = \frac{v \times h}{p \times a \times t} [1]$$

Para la fabricación del permeámetro se escogió la fundición gris por ser el mejor material para estos tipos de equipos.

La boquilla por donde sale el aire directo a la probeta es elaborada en acero (1045) endurecido para mejorar la calidad después de él mecanizado de la pieza.

**Figura 34.** Boquilla del permeámetro.

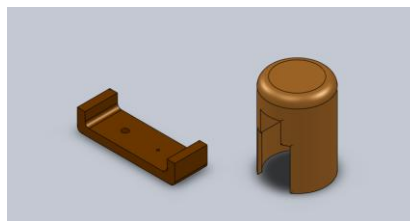


---

<sup>[1]</sup>AMERICAN Foundrymen's Society, Inc. Manual de arenas para fundición. Primera edición en Español. Des Plaines, Illinois, E.U.A. 1967. Pág. 30

En la parte superior de la boquilla por donde sale el aire a presión constante, se fija una placa por medio de una rosca, esta placa tienen dos agujeros uno de 0.5 mm de diámetro para arenas de grano grande y el otro de 0.15mm para arenas de grano pequeño. La placa y la rosca son hechas de cobre.

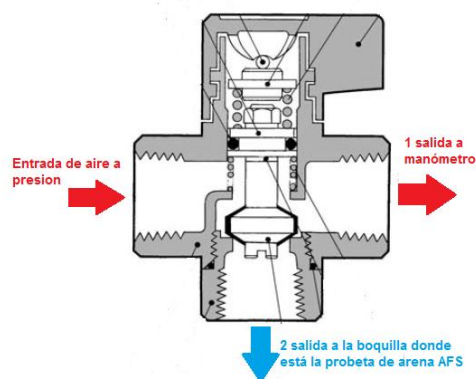
**Figura 35.** Placa y rosca de bronce



**Fuente:** Autores

Para el control del aire se emplea una válvula neumática de tres vías la cual se acopla a la boquilla y al manómetro.

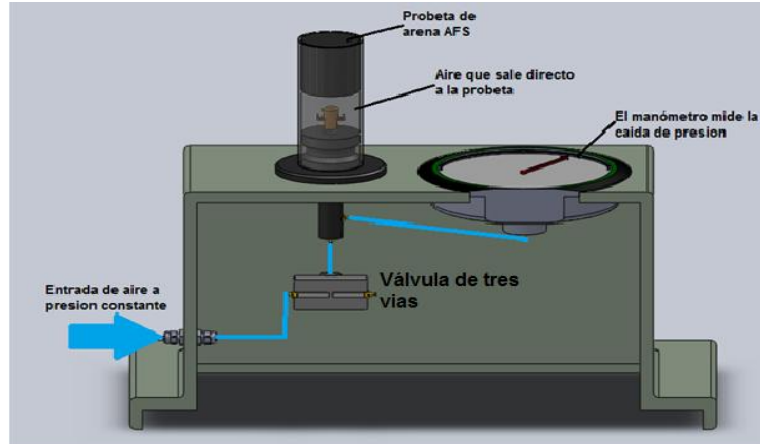
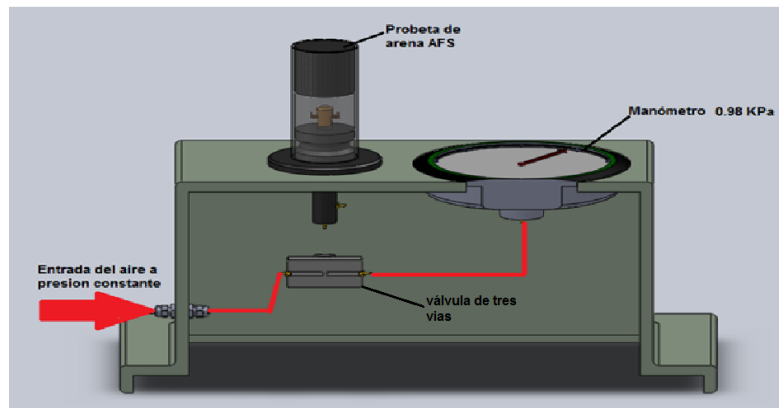
**Figura 36.** Corte válvula neumática de tres vías



**Fuente:** [http://stevenengineering.com/Tech\\_Support/PDFs/70DMVHS.pdf](http://stevenengineering.com/Tech_Support/PDFs/70DMVHS.pdf)

La boquilla, el manómetro, y la válvula llevan acoples los cuales van conectados a mangueras neumáticas.

**Figura 37.** Partes del permeámetro (corte).



Fuente: los Autores

## 10.4 MÁQUINA DE ESFUERZOS

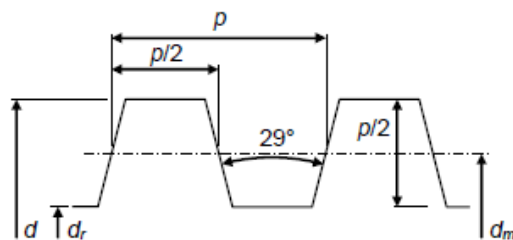
La máquina de esfuerzos mide la capacidad que tienen las mezclas de arena para soportar esfuerzos cortantes o transversales que puedan ocurrir mientras se

moldea o se vierte la colada. Consiste en capturar una probeta de arena entre dos zapatas que con la ayuda de un tornillo de potencia, que es operado manualmente hasta producir un esfuerzo de compresión tal que rompa la probeta. Este esfuerzo se mide mediante un dinamómetro en el lado izquierdo que es accionado por un resorte interno. Los esfuerzos varían según la calidad de la mezcla de la arena.

La máquina de esfuerzos cumple un papel importante dentro del banco pues relaciona la humedad de la muestra de arena AFS, con la resistencia de la misma. El cuerpo o estructura de la máquina esta hecho de fundición gris, para lo cual se fabrica un molde según las medidas del plano, se realiza su respectivo mecanizado y acabado.

En su parte dinámica y de potencia, tenemos la presencia de un tornillo de potencia, de acero endurecido 1045, con rosca cuadrada para su mayor eficiencia, debido a su ángulo entre flancos, la rosca Acme tiene la ventaja de tener mayor facilidad de manufactura y la posibilidad de usar una tuerca partida que pueda usarse para compensar el desgaste en los filetes.

**Figura 38.** Tipo de rosca para tornillo de potencia



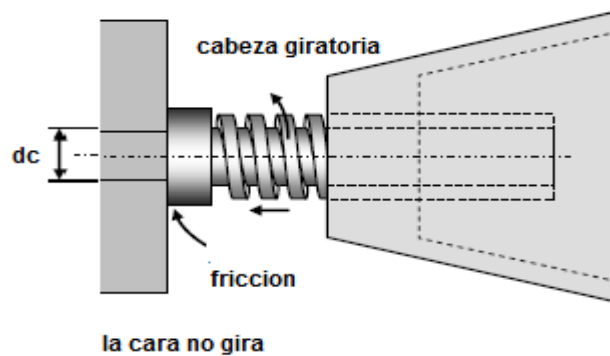
Rosca trapecoidal o Acme

**Fuente:** Autores

Longitud del tornillo 12 in  
p: paso de la rosca = 0.100 in  
d: diámetro mayor del tornillo = 0.50in  
 $d_m$ : diámetro medio = 0.450 in  
 $d_r$ : diámetro raíz = 0.400 in  
Hilos por pulgada 13  
Área de esfuerzos a tracción 0.142 in<sup>2</sup>

Este tornillo atraviesa el cuerpo de la máquina y en su parte final va enroscado a una zapata que hace las veces de sujetadora de probetas. En el otro extremo del cuerpo de la maquina se encuentra la otra zapata que a su vez empuja un pequeño resorte que al comprimirse mueve al dinamómetro que mide la fuerza que se está ejerciendo atreves de la probeta de arena AFS.

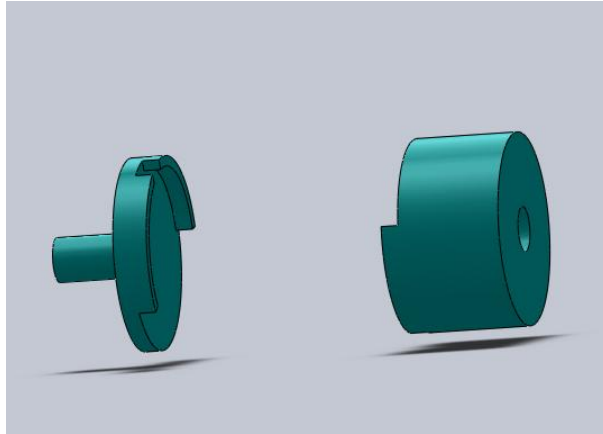
**Figura 39** .Roscado entre zapata y tornillo



**Fuentes:** Autores

Los bujes roscados van fijados por presión en el cuerpo de la máquina de esfuerzos.

**Figura 40.** Zapatas porta probetas



**Fuente:** Autores

Para el diseño del tornillo de potencia se hace el mismo estudio de columna que se utilizó para el eje del apisonador:  $L= 300 \text{ mm}$ ;  $d=13 \text{ mm}$ .

**Figura 41.** Estudio por columna del tornillo



**Fuente:** Autores

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = 132.73 \text{ mm}^2$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = 1402 \text{ mm}^4$$

$$r_g = \sqrt{\frac{I}{A}} = 10.56 \text{ mm}$$

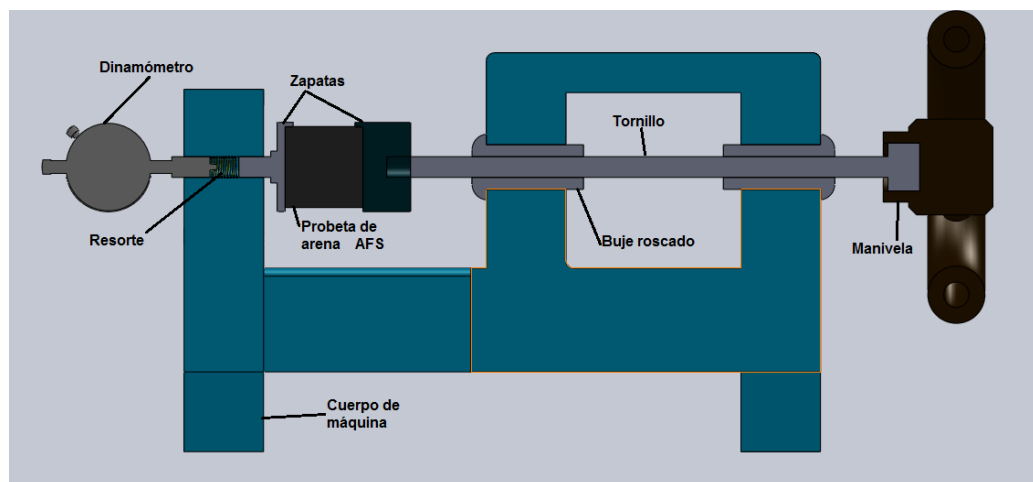
$$\frac{l}{r} = t = \frac{\sqrt{2\pi^2 E}}{S_y} = 108$$

$$L_e = 2,1L = 630 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{r_g} = 59.65 \quad ; \quad P_{critica} = \frac{\pi^2 EI}{l_e^2} = 7.216 \text{ KN}$$

Para la fuerza que se necesita para este ensayo .el tornillo está bien diseñado para el equipo.

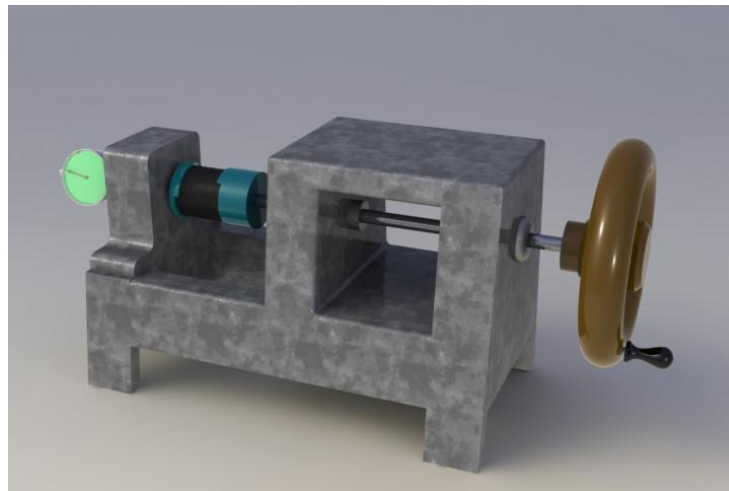
**Figura 42.** Partes de la máquina de esfuerzos



**Fuente:** Autores

Para guiar al tornillo se mecanizan unos bujes con rosca interna de acero 1045 incrustados en el cuerpo de la máquina, que permitan seguir fiel la trayectoria del tornillo .En su otro extremo tenemos una manivela giratoria que produce el torque de avance del tornillo , está hecha de fundición gris Anexo E. según las medidas de los planos.

**Figura 43.** Foto máquina de esfuerzos



**FUENTE:** Autores

## 11 CONCLUSIONES

El alto porcentaje de humedad presente en las mezclas de arena utilizadas por la empresa disminuye el buen comportamiento de las propiedades de moldeo de éstas y es el causante de los defectos presentes en las piezas coladas.

La relación bentonita – carbón empleada en la mezcla propuesta presentó un óptimo comportamiento logrando las mejores propiedades de moldeo entre las tres mezclas analizadas a bajo porcentaje de humedad.

El uso de la herramienta CAD “Solidworks” es una ayuda fundamental para el desarrollo de los diseños, ya que con ella se disminuyen los tiempos de dibujo de los planos, se mantienen la competitividad con el ejercicio de diseñar y permiten el objetivo de complementar y fundamentar el proyecto.

Durante la realización de este proyecto, se pudo comprobar la importancia de la fundición en el proceso de diseñar, como parte de la complementación al uso de la ingeniería en este tipo de empresas.

Por otra parte se logra comprobar que la utilización de nuevos recursos en tecnología es vital para el mejoramiento de la calidad de los productos de fundición y para el crecimiento económico de las empresas de fundición de Santander.

## 12 RECOMENDACIONES

- Los baldes, palas, carretillas y demás implementos utilizados para el peso y transporte de arena y mezcla de arena deben ser limpiados correctamente antes de ser empleados para evitar errores de cantidades de material.
- Realizar un lavado a la mezcla de arena usada para eliminar el exceso de finos presente en ella y de esta manera aumentar la permeabilidad de la misma.
- Disminuir la cantidad de bentonita que se le adiciona a la mezcla de arena usada para recircularla y así aumentar la permeabilidad de la mezcla
- Realizar la caracterización y graficar las curvas de propiedades de fundición para la mezcla de arena que utiliza la empresa en el moldeo de piezas pequeñas que le permita hacer el diseño de mezcla propio para este tipo de colada, de esta pueden disminuir defectos en las piezas fundidas y aumentar la calidad de los productos.
- Capacitar el personal de la empresa para que aprenda a manejar los equipos que se han diseñado y que la empresa construirá para disminuir el margen de error en las pruebas y obtener resultados más confiables.
- Es importante mantener las medidas indicadas en los planos para cada una de las piezas puesto que de ellas depende un ensamble adecuado.

### 13 BIBLIOGRAFÍA

1. AFS, Manual de arenas para fundición. Publicado por la American Foundrymen's Society, INC. Des Plaines, Illinois, E.U.A. Primera edición en español, 1976
2. AFS Processing and Controlling Clay Bonded Foundry Sands. Text: Course 386. AFS Illinois, USA 1970. Pp, IV4 al V'21.
3. AGUIRRE, F., I. MURO: "Arenas de fundición", en suplemento de la revista Fundición, Madrid, 1970. CEMBRERO G. J. Ciencia y Tecnología de los Materiales. Pearson Prentice Hill 2005
4. BEELEY, B., Foundry Technology. Ed. London Butterworths, 1972. Pp. 180 – 249.
5. CAMPBELL J., The new metallurgy of cast metals castings. Second edition. Ed. Elsevier. Oxford, 2003. Pp. 267 – 301
6. CEMBRERO G. J. Ciencia y Tecnología de los Materiales. Pearson Prentice Hill 2005
7. FERNÁNDEZ J. M. Atlas de defectos en las piezas fundidas, Ed. Editecnia Madrid. Segunda edición. Pp. 6 – 72
8. FLORES, J.: "Arenas de moldeo y su control", Moldeo y Fundición, año 1, No. 3, diciembre, 1978.

9. H.F. Taylor, M. Fleming. Foundry Engineering, Ed. Continental. 1962
10. HOWARD, E. D., Tratado práctico de fundición. Ed. Aguilar, S.A. Ediciones. Madrid, España 1962.
11. KAZANAS, H. C., BAKER y G. E., GREGOR T. Procesos básicos de Manufactura. Ed. McGraw Hill, México, D.F. 1986.
12. METALS HANDBOOK, casting. 9, ed. A.S.M., V. 15
13. ROWLEY, M.T. International Atlas of Casting Defects, American Foundrymen's Society, Inc, Des Plaines, Illinois, USA, 1993. Pp 200 - 205
14. SALCINES, C. M.: Tecnología de fundición. T. 1, Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 1985.
15. SALCINES Merino, CLARO Misael; CRUZ, ALAÍN Valdés. *Minería y Geología Riview*. Importance of the compactness, green sand strength and humidity test on sand mould. 2000, vol. 17 issue 3/4, p1-5, 5p.
16. Bernard J. Hamrock .Elementos de Maquinas Mc GRAW HILL p 367-378,12p
17. STROBL Scott M. Fundamentos en la preparación y control de la Arena Verde. Simpson Technologies Corp. Aurora, Illinois, U.S. 2000
18. <http://www.mariosisti.com.ar/inicio/index.php/notas-tecnicas/45-determinacion-y-analisis-de-las-arcillas-y-los-aceros-de-trabajo.html>
19. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/760/2/CAPITULO%201.pdf>

20. [http://www.unalmed.edu.co/~fundicio/guias\\_practicas/practica\\_7.pdf](http://www.unalmed.edu.co/~fundicio/guias_practicas/practica_7.pdf)
21. [http://cef.uca.edu.sv/descargables/tesis\\_descargables/arenas\\_fudicion.pdf](http://cef.uca.edu.sv/descargables/tesis_descargables/arenas_fudicion.pdf)
22. <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4336/1/6856.pdf>
23. <http://acerosyfundicionesaleadas.blogspot.com/>
24. [http://www.mariosisti.com.ar/notas/analisis\\_arcilla.swf](http://www.mariosisti.com.ar/notas/analisis_arcilla.swf)
25. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/762/2/CAPITULO%201.pdf>
26. <http://perso.wanadoo.es/ciclolaboratorio/imagenes/tamizado.pdf>
27. [http://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n\\_granulom%C3%A9trica](http://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_granulom%C3%A9trica)
28. <http://www.bentonita-dellago.com.ar/producto.html#seccion1>
29. <http://www.monografias.com/trabajos83/tamices-laboratorio-quimico/tamices-laboratorio-quimico.shtml>

# **ANEXOS**

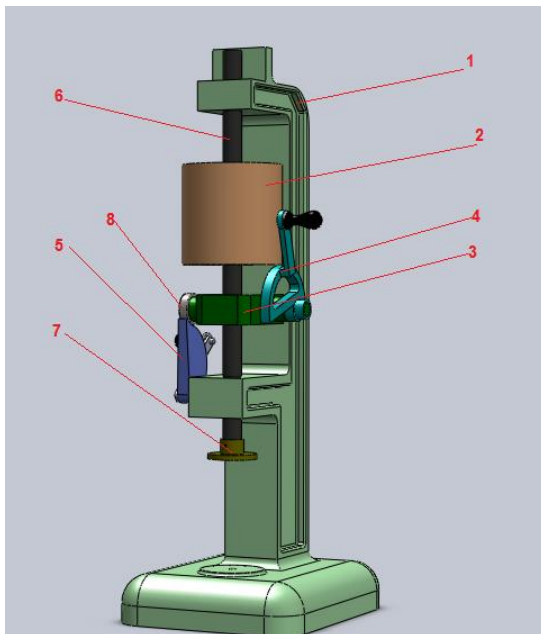
## ANEXO A

### MANUAL DE MANEJO DE LOS EQUIPOS DEL BANCO DE PRUEBAS PARA ARENAS DE MOLDEO AFS



- **PARA EL APISONADOR:**

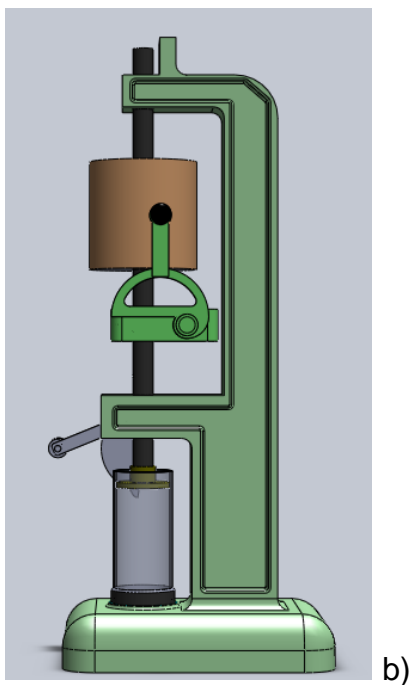
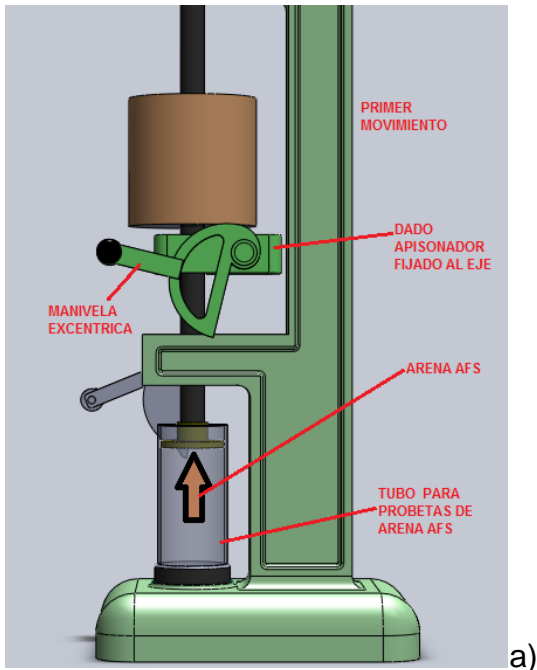
Este equipo no posee componentes eléctricos, neumáticos, o hidráulicos, por tal motivo su funcionamiento dinámico es sencillo. En el momento de hacer el ensayo simplemente se levanta suavemente el peso de 6.350kg, con la leva excéntrica hasta la altura completa de 50.80 mm y entonces dejarlo caer se repite dos veces mas según la norma AFS haciendo un total de tres veces. Para mantener el peso en la parte de arriba se utiliza la otra leva excéntrica de la parte izquierda.



**FIGURA 1**

**Partes del apisonador**

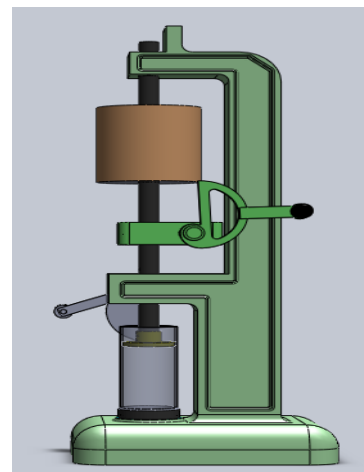
11. Cuerpo Apisonador
12. Peso Cilíndrico (6.350 Kg)
13. Dado guía
14. Manivela excéntrica que sube el peso
15. Manivela excéntrica que sostiene arriba el peso
16. Eje guía del peso
17. Pisón al final del eje
18. Rodamiento radial de bola, diámetro interno 1cm, diámetro externo 3cm.



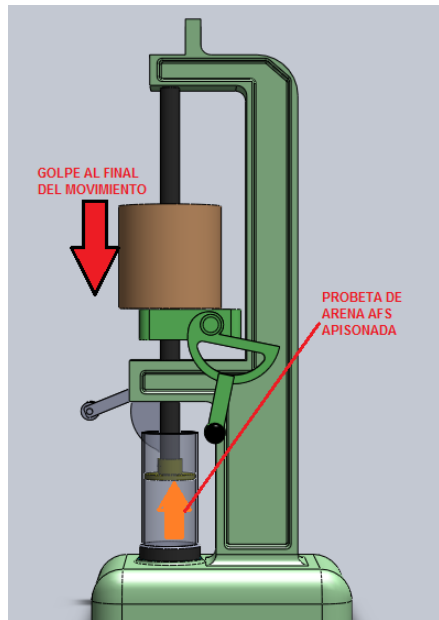
**Figura 2:** a, b, c, d movimiento del apisonador.

### Dinámica de funcionamiento

- Para el primer movimiento se sostiene el peso y el dado del apisonador elevados de tal forma que se coloca en la superficie superior, el tubo lleno hasta el borde con arena de moldeado AFS, se deja bajar suavemente hasta que el pisón se sostenga con la arena.
- Luego se gira el excéntrico de forma horaria para elevar el peso hasta la altura que fija la norma de 50.80 mm.
- A medida que gira el excéntrico el peso se eleva pegado a la superficie del excéntrico.
- El pisón se fija sobre la arena moldeándola para el golpe que la apisona formando la probeta.



c)



d)

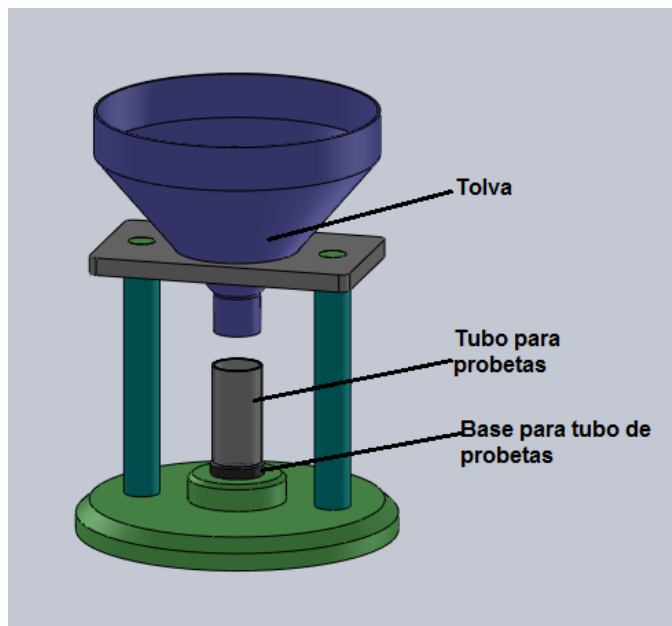
En el último movimiento, el excéntrico se despega del contacto del peso y este se suelta y cae libremente, la fuerza con que golpea a la arena por medio del pisón hace que esta se compacte hasta lograr un determinado tamaño, después de tres veces se verifica lo que se compacto con la medida inicial y ese es el porcentaje de compactación.

#### **Para el mantenimiento del apisonador:**

- Se debe tener cuidado con la lubricación entre el eje y el dado del apisonador, con buena grasa cada vez que se use o cada mes.
- Cada vez que se terminen las pruebas se debe lubricar con aceite mineral la parte interna de los tubos para probetas, para evitar que se rayen o se puedan corroer.
- Para que los ensayos sean los más precisos se debe fijar el apisonador sobre una base de concreto para evitar las variaciones de movimiento a causa de las vibraciones del movimiento del peso.

## PARA LA MAQUINA DE ESFUERZOS:

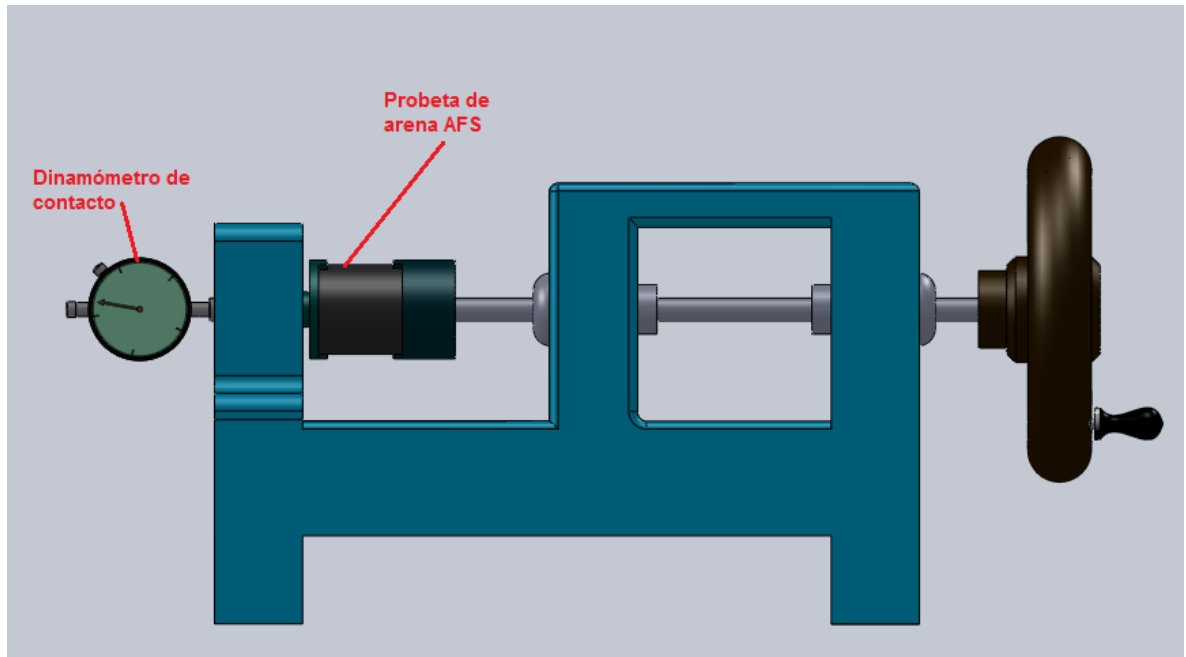
- Al colocar la probeta que se hace mediante un procedimiento de calibración en el apisonador se coloca entre las zapatas se procede a girar la manivela que desliza al tornillo de potencia hasta lograr comprimirla y producir su ruptura.
- Las probetas que previamente se apisonan en el pisón se pasan una tolva para conservar su humedad y condiciones, el contacto directo con las manos puede determinar cambios considerables en los resultados de las pruebas.



**Fuente:** Autores

- Por otro lado la zapata que conecta al dinamómetro por medio de un resorte y un pequeño tapón se hunde y se apoya en el dinamómetro de contacto que va midiendo el esfuerzo hasta llegar el límite de ruptura. Si el dinamómetro es digital el valor de ruptura quedara guardado .si no se tienen cuidado en ver el valor máximo

**FIGURA 3.** Maquina de esfuerzos con probeta



**Fuente:** Autores

Es un mecanismo sencillo pero así mismo los resultados son confiables, teniendo en cuenta que el dinamómetro es un medidor muy rápido se debe tener especial cuidado al momento de la lectura del mismo.

**Para su mantenimiento:**

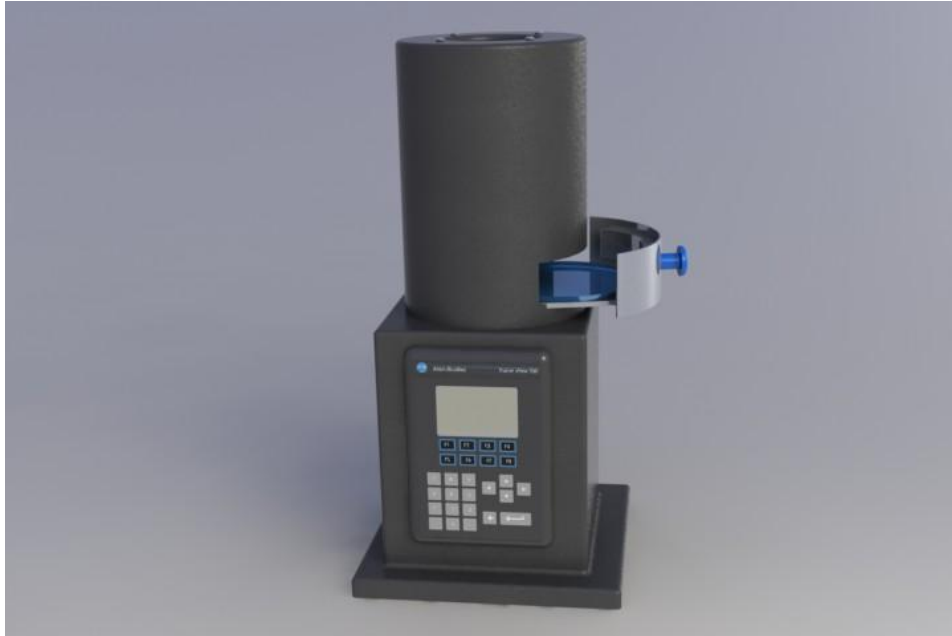
- Se debe valorar el grado de lubricación del tornillo y su recorrido, los bujes de rosca interna, el resorte interno y que el dinamómetro este bien calibrado.

## **PARA EL PROBADOR DE HUMEDAD:**

Para el manejo de este equipo se debe tener un especial cuidado con la programación del controlador de temperatura ya que este mismo regula el funcionamiento del ventilador y la lámpara de rayos infrarrojos.

- Al colocar la muestra de arena de 50 gr dentro del equipo, se acomoda sobre de la bandeja de muestreo y se cierra la compuerta que sostiene la bandeja; se prende el equipo y la lámpara en el transcurso de tiempo el controlador mide la temperatura de la arena, cuando esta se pase de los 100°C se activa una alarma 1 que manda una señal y apaga la lámpara y se prende el ventilador
- Así mismo cuando la temperatura de la arena disminuya a 95°C se prende la alarma 2 y la lámpara, se apaga el ventilador y sigue la muestra de arena expuesta al calor que irradia la lámpara, todo este proceso ocurre en un lapso de 15 minutos.
- Luego de los 15 minutos se apaga el equipo y se vuelve a pesar la muestra de arena AFS la diferencia de pesos entre la muestra al iniciar el ensayo y la que sale después, es el porcentaje de humedad de la arena.

**Figura 4.** Probador de humedad



**Fuente:** Autores

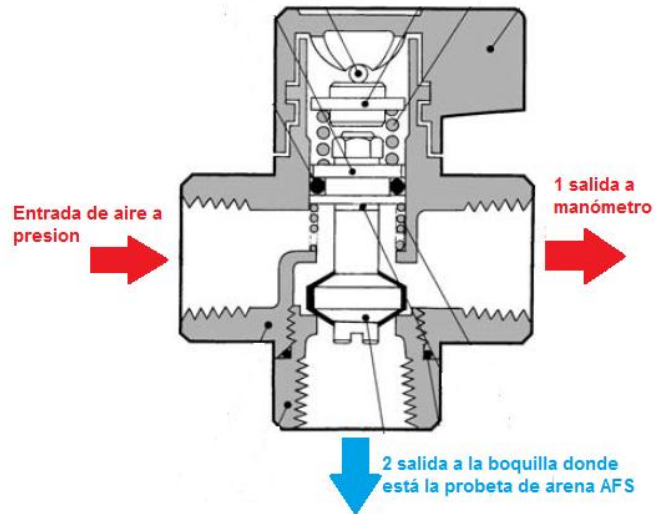
**Para su mantenimiento:**

- Hay que tener en cuenta que son elementos eléctricos los cuales tendrán un límite de servicio, por tanto se debe procurar manejarlos con cuidado en especial el controlador de temperatura pues este es el que maneja el control del equipo.

**PARA EL PERMEÁMETRO:**

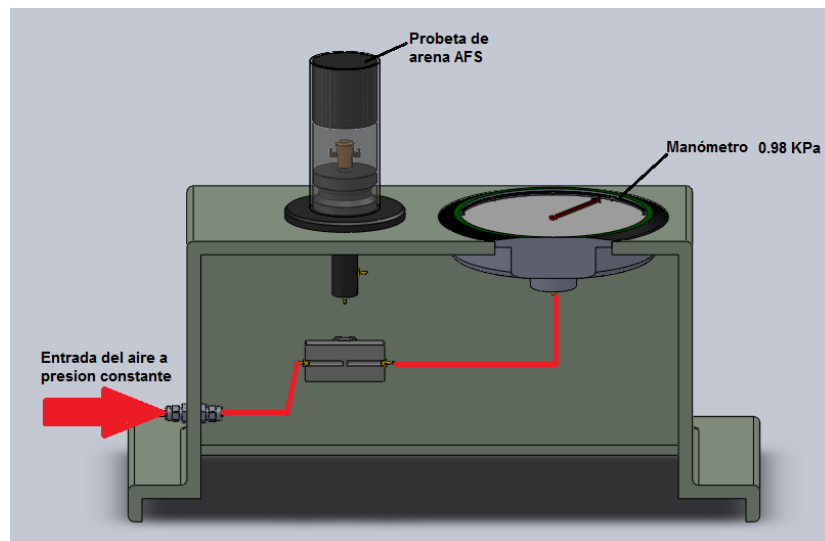
Este es un equipo que va alimentado por aire comprimido de un compresor pequeño, pues solo necesita una presión constante de  $10 \text{ gr/cm}^2$  (0.1422 psi ó 0.9806 kPa). Esta llega a un acople que la envía a la válvula neumática de tres vías.

**Figura 5.** Válvula neumática de tres vías.



**Fuente:** [http://stevenengineering.com/Tech\\_Support/PDFs/70DMVHS.pdf](http://stevenengineering.com/Tech_Support/PDFs/70DMVHS.pdf)

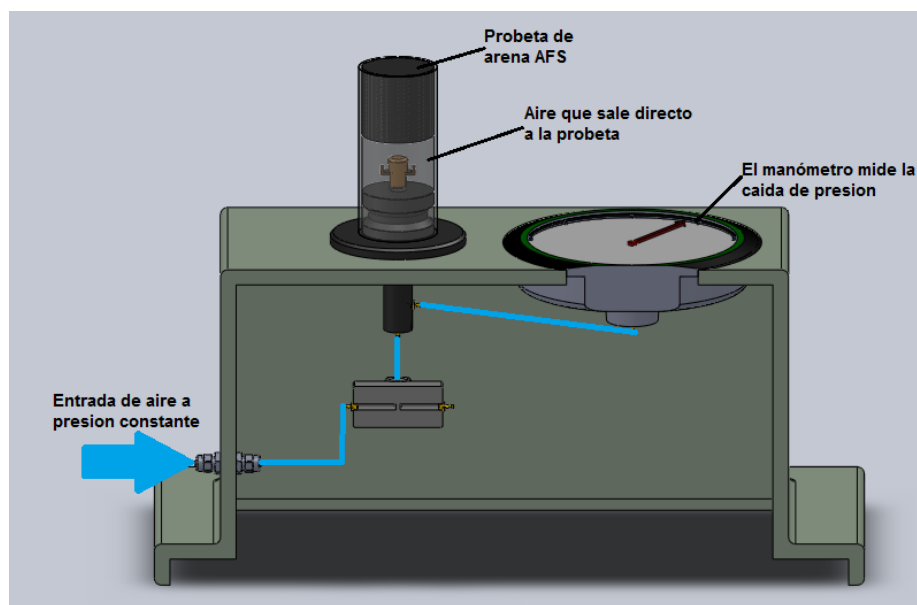
**Figura 6.** Primer control de la válvula.



**Fuente:** Autores

- En el primer mando de la válvula, dirige el aire al manómetro para verificar la presión que debe ser constante para el ensayo de permeabilidad.
- En su segundo mando cierra la presión del manómetro y la conduce a la boquilla del permeámetro en donde sale directamente a ser contacto con la probeta por medio de una placa que tiene un orificio de 0.5 mm para arena de grano grueso y 0.15 para arena de grano fino, esta boquilla está conectada con el manómetro, después de un tiempo el manómetro marca la caída de presión hasta llegar a cero es este tiempo el que se usa para hallar la permeabilidad

**Figura 7.** Segundo control de la válvula



**Fuente:** Autores

**Para su mantenimiento:**

- Es un equipo donde las piezas que lo conforman son sensibles a los escapes de aire, por tal motivo se deben tener cuidado en apretar bien las agarraderas de las mangueras que conectan los acoples.
- El manómetro debe estar limpio igual que los ductos internos de la boquilla y la válvula.; por tanto las partes internas deben estar protegidas con una malla en la parte inferior del permeámetro.

**Nota:** todas las conexiones están bien selladas con acoples y se usa manguera de presión especial para neumática

## ANEXO B

### TABLA DE PROPIEDADES TÍPICAS DE MATERIALES SELECCIONADOS EN INGENIERIA

Material	Peso específico Lb/in <sup>2</sup>	Resistencia ultima			fluencia		Modulo de elasticidad 10 <sup>5</sup> psi	Modulo de rigidez 10 <sup>5</sup> psi	Coeficiente de expansión 10 <sup>-6</sup> °F	Ductilidad porcentaje de elongación en 2 in.
		Tensión	Compresión	Cortante	Tensión	Cortante				
		ksi	ksi	ksi	ksi	ksi				
<b>Acero</b>										
Estructural (ASTM-A36)	0.284	58			36	21	29	11.2	6.5	21
Alta resistencia-baja aleación										
ASTM-A709 Grado 50	0.284	65			50		29	11.2	6.5	21
ASTM-A913 Grado 65	0.284	80			65		29	11.2	6.5	17
ASTM-A992 Grado 50 Templado	0.284	65			50		29	11.2	6.5	21
ASTM-A709 Grado 100	0.284	110			100		29	11.2	6.5	18
<b>Inoxidable AISI 302</b>										
Laminado en frio	0.286	125			75		28	10.8	9.6	12
Recocido	0.286	95			38	22	28	10.8	9.6	50
<b>Acero de refuerzo</b>										
Resistencia media	0.283	70			40		29	11	6.5	
Alta resistencia	0.283	90			60		29	11	6.5	
<b>Fundición:</b>										
Fundición gris 4.5% C, ASTM A-48	0.260	25	95	35			10	4.1	6.7	0.5
Hierro fundido 2% C, 1% Si, ASTM A-47	0.264	50	90	48	33		24	9.3	6.7	10

## ANEXO C

### PROPIEDADES DE ALGUNOS ACEROS

MARCA DEL ACERO	S <sub>u</sub> MPa	S <sub>y</sub> MPa	Tratamiento térmico (°C) y medio de enfriamiento	
			Temple	Revenido
1008	340...420	210	-	-
1010	360...450	220	-	-
1015	400...490	240	-	-
1020	440...540	260	-	-
1030	520...620	300	-	-
1035	560...660	320	-	-
1040	600...720	340	-	-
1040	680...800	420	830-850, Agua, aceite	530-620, Aire
1045	640...760	360	-	-
1045	700...850	440	830-850 Agua, aceite	530-620 Aire
5160 (DIN 60Cr4)	1170	1040	850, aceite	550, aceite
3415, Super-Impacto (DIN 14NiCr10)	1230	950	Temple de la capa cementada 898 - 926 °C, enfriar en aceite directamente después de cementar. Revenido a 200 °C.	
8620 (DIN 20CrNiMo2)	800...1050	600	820-850 Aceite	150-200, Aire
4140 (DIN 42CrMo4)	900...1100	780	850, aceite	600, aire, aceite
4340 (DIN 40CrMo4)	1000...1200	850	850, aceite	600, aire, agua
9840 (DIN 36CrNiMo4)	1200...1400	110...1200	840, aceite	400-450

## ANEXO D

### COMO DETERMINAR EL FACTOR DE SEGURIDAD PERMISIBLE [6]

$$[N] = n_1 \times n_2 \times n_3$$

Donde:

$n_1$  es un coeficiente que considera la exactitud del cálculo

- Si el cálculo origina esfuerzos de cálculo elevados difíciles de valorar en su exactitud :  $n_1 = 1$
- Si el cálculo arroja esfuerzos de cálculos bajos valorados de antemano  
 $n_1 = 1.2 \dots 1.3$

$n_2$  es un coeficiente que tiene en cuenta la homogeneidad de las propiedades del material

- Para piezas fabricadas de aceros al carbono y aleados a elevadas temperaturas de revenido  $n_2 = 1,2 \dots 1,3$
- Para aceros de baja ductilidad (baja temperatura de revenido) y fundiciones de elevada resistencia  $n_2 = 1,3 \dots 1,5$
- Para piezas fundidas en acero  $n_2 = 1,5 \dots 2,0$
- Para piezas de fundición de hierro  $n_2 = 2,0 \dots 2,5$
- Para piezas de metales no ferrosos (forjados y laminados)  $n_2 = 1,5 \dots 2,0$

$n_3$  tiene en cuenta el grado de responsabilidad de la pieza

- Si una rotura de una pieza no provoca la parada de la maquina  $n_3 = 1$
- Si la rotura de la pieza provoca la parada de la maquina  $n_3 = 1,1 \dots 1,2$
- Si la rotura de la pieza produce una avería  $n_3 = 1,2 \dots 1,3$

## ANEXO E

### DIMENSIONES PRINCIPALES DE LAS ROSCAS DE TORNILLO UNIFIED NATIONAL STANDART

Tamaño	Diámetro Mayor  (in.)	Roscas bastas - UNC			Roscas finas - UNF		
		Hilos por pulgada	Diámetro menor  (in)	Area de esfuerzo a tensión  (in <sup>2</sup> .)	Hilos por pulgada	Diámetro menor  (in)	Area de esfuerzo a tensión  (in <sup>2</sup> .)
0	0.0600	xxx	xxx	xxx	80	0.0438	0.0018
1	0.0730	64	0.0527	0.0026	72	0.0550	0.0028
2	0.0860	56	0.0628	0.037	64	0.0657	0.0039
3	0.0990	48	0.0719	0.049	56	0.0758	0.052
4	0.1120	40	0.0795	0.0060	48	0.0849	0.0066
5	0.1250	40	0.0925	0.0080	44	0.0955	0.0083
6	0.1380	32	0.0974	0.0091	40	0.1055	0.0101
8	0.1640	32	0.1234	0.0140	36	0.1279	0.0147
10	0.1900	24	0.1359	0.0175	32	0.1494	0.0200
12	0.2160	24	0.1619	0.0242	28	0.1696	0.0258
¼	0.2500	20	0.1850	0.0318	28	0.2036	0.0364
5/16	0.3125	18	0.2403	0.0524	24	0.2584	0.0581
3/8	0.3750	16	0.2938	0.0775	24	0.3209	0.0878
7/16	0.4375	14	0.3447	0.1063	20	0.3725	0.1187
½	0.5000	13	0.4001	0.1419	20	0.4350	0.1600
9/16	0.5625	12	0.4542	0.1819	18	0.4903	0.2030
5/8	0.6250	11	0.5069	0.2260	18	0.5528	0.2560
¾	0.7500	10	0.6201	0.3345	16	0.6688	0.3730
7/8	0.8750	9	0.7307	0.4617	14	0.7822	0.5095
1	1.0000	8	0.8376	0.6057	12	0.8917	0.6630
1 1/8	1.1250	7	0.9394	0.7633	12	1.0167	0.8557
1 1/4	1.2500	7	1.0644	0.9691	12	1.1417	1.0729
1 3/8	1.3750	6	1.1585	1.1549	12	1.2667	1.3147
1 1/2	1.5000	6	1.2835	1.4053	12	1.3917	1.5810
1 3/4	1.7500	5	1.4902	1.8995			
2	2.0000	4.5	1.7113	2.4982			
2 1/4	2.2500	4.5	1.9613	3.2477			
2 1/2	2.5000	4	2.1752	3.9988			
2 3/4	2.7500	4	2.4252	4.9340			
3	3.0000	4	2.6752	5.9674			
3 1/4	3.2500	4	2.9252	7.0989			
3 1/2	3.5000	4	3.1752	8.3286			
3 3/4	3.7500	4	3.4252	9.6565			
4	4.0000	4	3.6752	11.0826			

## ANEXO F

### TAMAÑO Y DIMENSIONES DE ROSCAS

Tamaño nominal	Diámetro						Taladro para macho (para 75% de rosca)			Roscas por pulgada		Paso (mm)		Roscas por pulgada (Aprox.)	
	Mayor			Menor			Broca	in.	mm	UNC	UNF	Gru	Fin	Grue	Fina
	in.	mm		in.	mm										
-	M1.4	0.055	1.397	-	-	-	-	-	-	-	0.3	0.2	85	127	
0	-	0.060	1.524	0.0438	1.092	3/64	0.0469	1.168	-	80	-	-	-	-	
-	M1.6	0.063	1.600	-	-	-	-	1.25	-	-	0.35	0.2	74	127	
1	-	0.073	1.854	0.0527	1.320	53	0.0595	1.1499	64	-	-	-	-	-	
1	-	0.073	1.854	0.0550	1.397	53	0.0595	1.499	-	72	-	-	-	-	
-	M.2	0.079	2.006	-	-	-	-	1.6	-	-	0.4	0.25	64	101	
2	-	0.086	2.184	0.0628	1.587	50	0.0700	1.778	56	-	-	-	-	-	
2	-	0.086	2.184	0.0657	1.651	50	0.0700	1.778	-	64	-	-	-	-	
-	M2.5	0.098	2.489	-	-	-	-	2.05	-	-	0.45	0.35	56	74	
3	-	0.099	2.515	0.0719	1.828	47	0.0785	1.981	48	-	-	-	-	-	
3	-	0.099	2.515	0.0758	1.905	46	0.0810	2.057	-	58	-	-	-	-	
4	-	0.112	2.845	0.0795	2.006	43	0.0890	2.261	40	-	-	-	-	-	
4	-	0.112	2.845	0.0849	2.134	42	0.0935	2.380	-	48	-	-	-	-	
-	M3	0.118	2.997	-	-	-	-	2.5	-	-	0.5	0.35	51	74	
5	-	0.125	3.175	0.0925	2.336	38	0.1015	2.565	40	-	-	-	-	-	
5	-	0.125	3.175	0.0955	2.413	37	0.1040	2.641	-	44	-	-	-	-	
6	-	0.138	3.505	0.0975	2.464	36	0.1065	2.692	32	-	-	-	-	-	
6	-	0.138	3.505	0.1055	2.667	33	0.1130	2.870	-	40	-	-	-	-	
-	M4	0.157	3.988	-	-	-	-	3.3	-	-	0.7	0.35	36	51	
8	-	0.164	4.166	0.1234	3.124	29	0.1360	3.454	32	-	-	-	-	-	
8	-	0.164	4.166	0.1279	3.225	29	0.1360	3.454	-	36	-	-	-	-	
10	-	0.190	4.826	0.1359	3.429	26	0.1470	3.733	24	-	-	-	-	-	
10	-	0.190	4.826	0.1494	3.785	21	0.1590	4.038	-	32	-	-	-	-	
-	M5	0.196	4.978	-	-	-	-	4.2	-	-	0.8	0.5	32	51	
12	-	0.216	5.486	0.1619	4.089	16	0.1770	4.496	24	-	-	-	-	-	
12	-	0.216	5.486	0.1696	4.293	15	0.1800	4.572	-	28	-	-	-	-	
-	M6	0.236	5.994	-	-	-	-	5.0	-	-	1.0	0.75	25	34	
¼	-	0.250	6.350	0.1850	4.699	7	0.2010	5.105	20	-	-	-	-	-	
¼	-	0.250	6.350	0.2036	5.156	3	0.2130	5.410	-	28	-	-	-	-	
5/16	-	0.312	7.938	0.2403	6.096	F	0.2570	6.527	18	-	-	-	-	-	
5/16	-	0.312	7.938	0.2584	6.553	I	0.2720	6.908	-	24	-	-	-	-	
-	M8	0.315	8.001	-	-	-	-	6.8	-	-	1.25	1.0	20	25	
3/8	-	0.375	9.525	0.2938	7.442	5/16	0.3125	7.937	16	-	-	-	-	-	
3/8	-	0.375	9.525	0.3209	8.153	Q	0.3320	8.432	-	24	-	-	-	-	
-	M10	0.393	9.982	-	-	-	-	8.5	-	-	1.5	1.25	17	20	
7/16	-	0.437	11.113	0.3447	8.738	U	0.3680	9.347	14	-	-	-	-	-	
7/16	-	0.437	11.113	0.3726	9.448	25/64	0.3906	9.921	-	20	-	-	-	-	
-	M12	0.471	11.963	-	-	-	-	10.30	-	-	1.75	1.25	14.5	20	
½	-	0.500	12.700	0.4001	10.162	27/64	0.4219	10.715	13	-	-	-	-	-	
½	-	0.500	12.700	0.435	11.049	29/64	0.4531	11.509	-	20	-	-	-	-	
-	M14	0.551	13.995	-	-	-	-	12.00	-	-	2	1.5	12.5	17	
9/16	-	0.562	14.288	0.4542	11.531	31/64	0.4844	12.3031	12	-	-	-	-	-	
9/16	-	0.562	14.288	0.4903	12.446	33/64	0.5156	13.096	-	18	-	-	-	-	
5/8	-	0.625	15.875	0.5069	12.852	17/32	0.5312	13.493	11	-	-	-	-	-	
5/8	-	0.625	15.875	0.5528	14.020	37/64	0.5781	14.684	-	18	-	-	-	-	
-	M16	0.630	16.002	-	-	-	-	14.00	-	-	2	1.5	12.5	17	
-	M18	0.709	18.008	-	-	-	-	15.50	-	-	2.5	1.5	10	17	
¾	-	0.750	19.050	0.6201	15.748	21/32	0.6562	16.668	10	-	-	-	-	-	
¾	-	0.750	19.050	0.6688	16.967	11/16	0.6875	17.462	-	16	-	-	-	-	
-	M20	0.787	19.990	-	-	-	-	17.50	-	-	2.5	1.5	10	17	
-	M22	0.866	21.996	-	-	-	-	19.50	-	-	2.5	1.5	10	17	
7/8	-	0.875	22.225	0.7307	18.542	49/64	0.7656	19.446	9	-	-	-	-	-	
7/8	-	0.875	22.225	0.7822	19.863	13/16	0.8125	20.637	-	14	-	-	-	-	
-	M24	0.945	24.003	-	-	-	-	21.00	-	-	3	2	8.5	12.5	
1	-	1.000	25.400	0.8376	21.2598	7/8	0.8750	22.225	8	-	-	-	-	-	
1	-	1.000	25.400	0.8917	22.632	59/64	0.9219	23.415	-	12	-	-	-	-	
-	M27	1.063	27.000	-	-	-	-	24.00	-	-	3	2	8.5	12.5	

## ANEXO G

### RUGOSIDAD PARA DIFERENTES CLASES DE ACABADOS

<b>Espejo</b>	<b>0.10</b>
<b>Pulido</b>	<b>0.20</b>
<b>Ground</b>	<b>0.40</b>
<b>Terso</b>	<b>0.80</b>
<b>Fino</b>	<b>1.60</b>
<b>Semifino</b>	<b>3.2</b>
<b>Medio</b>	<b>6.3</b>
<b>Semirrugoso</b>	<b>12.5</b>
<b>Rugoso</b>	<b>25</b>
<b>limpio</b>	<b>50</b>

## ANEXO H

### ACERO 1045

### APLICACIONES

Es ampliamente utilizado en la industria automotriz (Productos forjados y estampados). Se usa en partes de máquinas que requieran dureza y tenacidad como: Manivelas, chavetas, pernos, bulones, engranajes, acoplamientos, árboles, bielas, cigüeñales, ejes de maquinaria de resistencia media, piezas de armas, cañones de fusiles, espárragos, barras de conexión, tornillería grado 5, pernos de anclaje, semi-ejes.

También se utiliza para la fabricación de herramientas agrícolas, mecánicas y de mano forjadas, de todo tipo, como: hachas, azadones, rastrillos, picas, martillos, porras, palas barretones, llaves, etc.

#### Características mecánicas

Estado del material	Resis. a la Tracción Kg/mm <sup>2</sup> Min.	Límite Elástico Kg/mm <sup>2</sup> Min	Alarga miento %	Reducción de Área %	Dreza Brinell Aprox.
Laminado en caliente	60	35	18	40	240
Normalizado	58	34	14	40	230
Recocido	56	32	25	55	220
Calibrado	62	52	10	35	260
Templado y revenido a 450°	75/90	50	16	40	220/265

#### Características de mecanizado

Maquinabilidad (Tomando como base B1112 = 100%)

Laminado en caliente = 56%

Estirado en frío (calibrado) = 60%

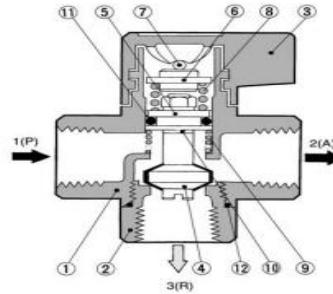
#### Temperaturas de tratamientos térmicos

Tratamiento	Temperatura	Enfriamiento
Forja	(850 - 1100)°C	Cenizas – arena seca
Normalizado	(850 - 880)°C	Aire
Recocido subcrítico	(670 - 710)°C	20°c/hora hasta 560°C Luego al aire
Temple	(840 - 860)°C	Agua – Aceite
Revenido	(530 - 620)°C	Aire

## ANEXO I

### VALVULA NEUMATICA DE TRES VIAS PARA PERMEAMETRO

#### Residual Pressure Relief 3 Port Hand Valve **VHS400/500**



#### Component Parts

No.	Description	Material	Note
1	Body	Aluminium die-casted	Chromated
2	Valve guide	Zinc die-casted	Chromated
3	Handle	Zinc alloy	Chromated
4	Valve	Brass	
5	Piston	Brass	
6	Spring holder	Structural steel	
7	Parallel pin	Steel	Zinc chromated
8	Spring	Steel	Zinc chromated
9	Valve spring	Stainless steel	
10	Seal	PVC	
11	O-ring	NBR	JIS B 2401 P12.5
12	O-ring	NBR	Special

\* The VHS series cannot be disassembled.  
Components parts are not available.



#### Model

Piping direction	Left 1(P)*	VHS400-02	VHS400-03	VHS400-04	VHS500-06
	Right 1(P)*	VHS401-02	VHS401-03	VHS401-04	VHS501-06
Port size		1/4	3/8	1/2	3/4
Effective area (mm <sup>2</sup> )	1(P)~2(A)	21	35	57	93
	2(A)~3(R)	35	54	76	105
Mass (kg)			0.25		0.34

\* The front face of the handle is the reference position.

#### Specifications

Fluid	Air
Operating pressure	0.1 to 1.0 MPa
Ambient temperature and operating fluid temperature	-5 to 60°C (No freezing)
Handle switching angle	90°
Required switching force	73.6 N (at 1.0 MPa)
Paint color (Standard) <sup>(Note)</sup>	Handle: Black, Body: Platinum silver

Note) Handle: Silver, Body: Red (Made to order \*-X1\*)

Fuente: [http://stevengineering.com/Tech\\_Support/PDFs/70DMVHS.pdf](http://stevengineering.com/Tech_Support/PDFs/70DMVHS.pdf)

## ANEXO J

### MANOMETROS PARA MEDIR PRESION Y FUERZA

#### Manómetros para fuerzas y presiones

**ENERPAC**   
POWERFUL SOLUTIONS. GLOBAL FORCE.

▼ En la foto: GP-230B, GF-835B, GP-10S



#### Referencia visual de la presión y la fuerza del sistema

PARA PRESIONES DESDE 0  
HASTA 100 Bar

MIDEN FUERZA DESDE 0 HASTA  
100 kN

- Manómetros de las series GF: con doble escala para medir la presión y la fuerza en bares y kN
- Manómetros de las series GF: todos los componentes de medición de la presión están sellados y protegidos con glicerina, para que tengan una larga vida útil
- Manómetros de las series GP: lectura en bares y psi
- Excelente legibilidad:  $\varnothing$  100 mm del frontal del manómetro
- Instalación rápida y fácil

**Fuente:** productos ENERPAC hpp\ www.enerpac .com

## ANEXO K

### ELEMENTOS ELÉCTRICOS PARA EL PROBADOR DE HUMEDAD



#### LAMPARA DE INFRAROJA DE CALOR PHILIPS

DIMENSIONES: 155 mm de altura, 129 mm de radio máx.

Son lámparas que se usan para dar calor en sitios específico llegan a irradiar temperaturas hasta 105 °C de 250watt

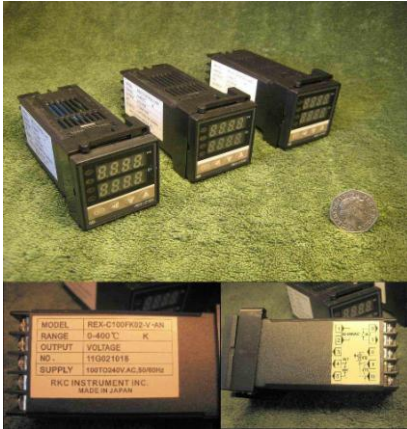
#### VENTILADOR PARA PROBADOR HUMEDAD

##### CARACTERISTICAS

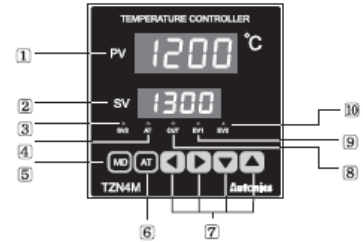
Dimensión	80x80x25 mm
Voltaje	12 VDC
Corriente (amperios)	0.09A
De entrada (W)	1,08 W
Velocidad (RPM)	2500 RPM +/- 10%
Flujo de Aire (CFM)	CFM 29,07 +/- 10%
La presión del aire (mmH2O)	2,8 mm H2O +/- 10%
Nivel de ruido del ventilador (dB-A)	26 dBA
Peso	72 g
Color Disponible	Negro
Conector	3 pines
3 a 4 pines adaptador	1 pieza
Tornillos	4 piezas



## PIROMETRO DEL PROBADOR DE HUMEDAD TZN4M Autonics



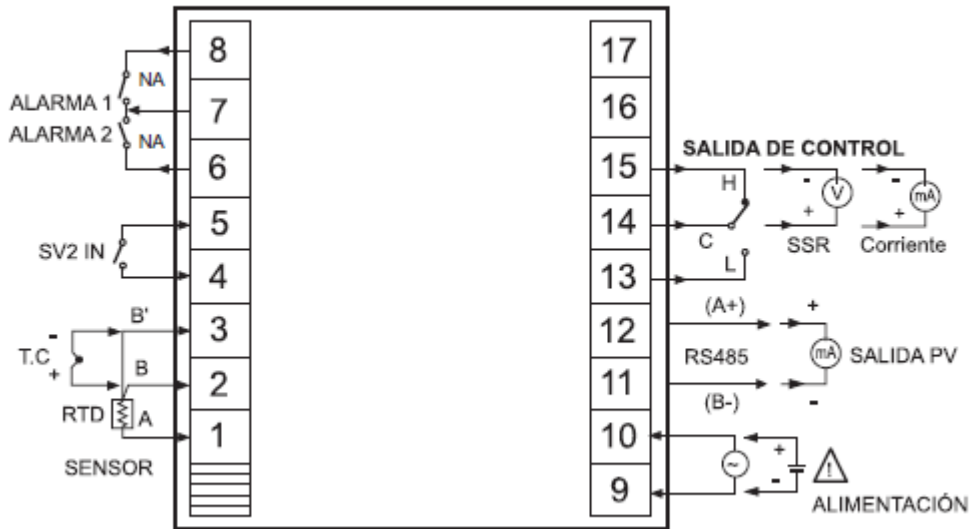
•TZM4M



- |   |  |                                      |
|---|--|--------------------------------------|
| ① PV : Muestra el valor del proceso (Rojo)  | ⑤ MD Key : Tecla de modo                             | ⑨ EV1 : Evento1 indica la salida     |
| ② PV : Muestra el valor de ajuste (Verde)   | ⑥ AT Key : Tecla de Autoajuste                       | ⑩ EV2 : Evento 2 indica la salida    |
| ③ SV2 : Indica la Operación                 | ⑦ : Teclas de ajustes                                | ⑪ Proceso para las teclas de ajuste. |
| ④ AT : Indica la indicación de autosintonía | ⑧ OUT : Indica la operación de la salida de control. |                                      |






### ☐ Conexiones

•TZM4



**Fuente:** [http://www.autonics.com/upload/data/TZN4M\(E-03-3110J\).pdf](http://www.autonics.com/upload/data/TZN4M(E-03-3110J).pdf)

## ▣ Especificaciones

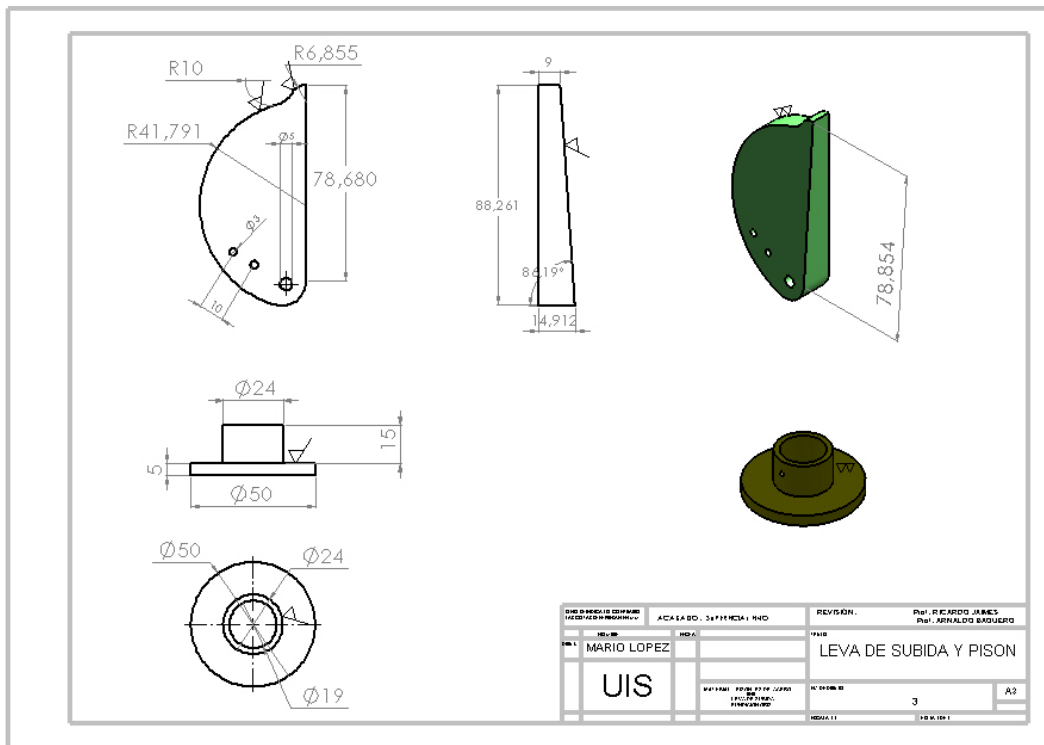
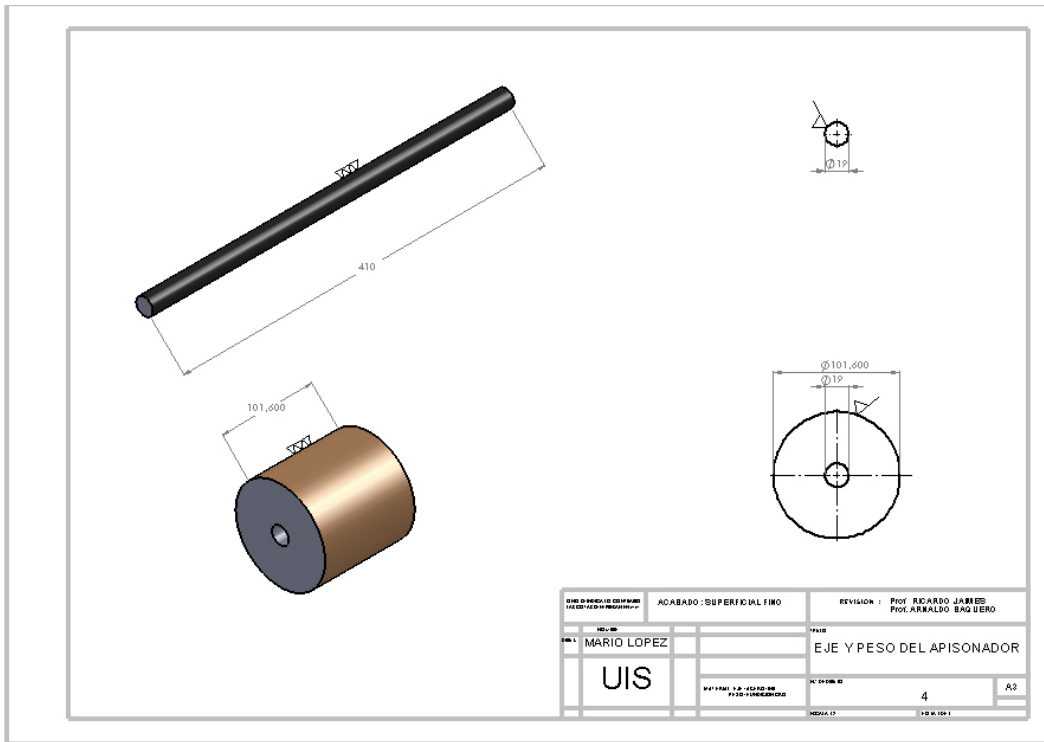
Modelo	TZN4S	TZN4M	TZN4H	TZN4W	TZN4L
Apariencia y Dimensiones	 [W48XH48XL90mm]	 [W72XH72XL85mm]	 [W48XH96XL100mm]	 [W96XH48XL100mm]	 [W96XH96XL100mm]
Alimentación	100-240VCA 50/60Hz, <b>24VCA/24-48VCC (♦1)</b> [Alimentación de 90~110%]				
Consumo de energía	5VA	6VA	5VA	6VA	
Caract. do Display	Display LED 7 Segmentos [Valor de proceso (PV) : Rojo, Valor de ajuste (SV): Verde]				
Dimensiones de los dígitos	PV:W7.8XH11mm SV:W5.8XH8mm	PV:W8XH13mm SV:W5XH9mm	PV:W7.8XH11mm SV:W5.8XH8mm	PV:W8XH10mm SV:W8XH10mm	PV:W9.8XH14.2mm SV:W8XH10mm
Entrada	Termopar	K(CA), J(IC), R(PR), E(CR), T(CC), S(PR), N(NN), W(TT) <Tolerancia max. de resistencia 100 Ω por cable>			
	RTD	Pt100Ω, JIS Pt100Ω, 3 cables modelo <Tolerancia max. de resistencia 5Ω por cable>			
	Analógico	1-5VCC, 0-10VCC, 4-20mA CC			
Salida	Relevador	250VCA 3A 1c			
	SSR	12VCC ±3V 30mA Max.			
	Corriente	4-20mA CC carga 600 Ω Max.			
	Transmisión	Transmisión PV : 4-20mA CC carga max. 600Ω			
	Auxiliar	1 Alarma: Relevador 250VCA 1A 1a	2 Alarmas: Relevador 250VCA 1A 1a		
	Comunicación	RS485 (Transmisión del Valor de Proceso, Ajuste del Valor del Set Point)			
Tipos de Control	Control ON/OFF, P, PI, PD, PIDF, PIDS				
Precisión del Display	F.S ± 0.3% ó 3 °C (el más alto)				
Tiempo de Visualización	0.5seg.				
Ajuste de tiempo LBA	1 ~ 999seg.				
Aj. tiempo de la rampa	Rampa Ascendente, Rampa Descendente de 1~99min.				

(♦1) Solo para los modelos TZN4M.

**NOTA:** la programación del controlador de temperatura que agrupa al ventilador y la lámpara se define a la hora de ensamblar.

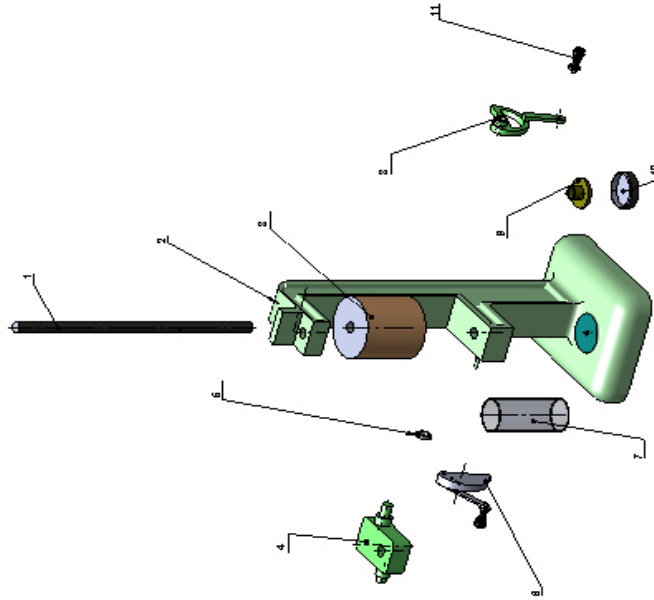
# PLANOS





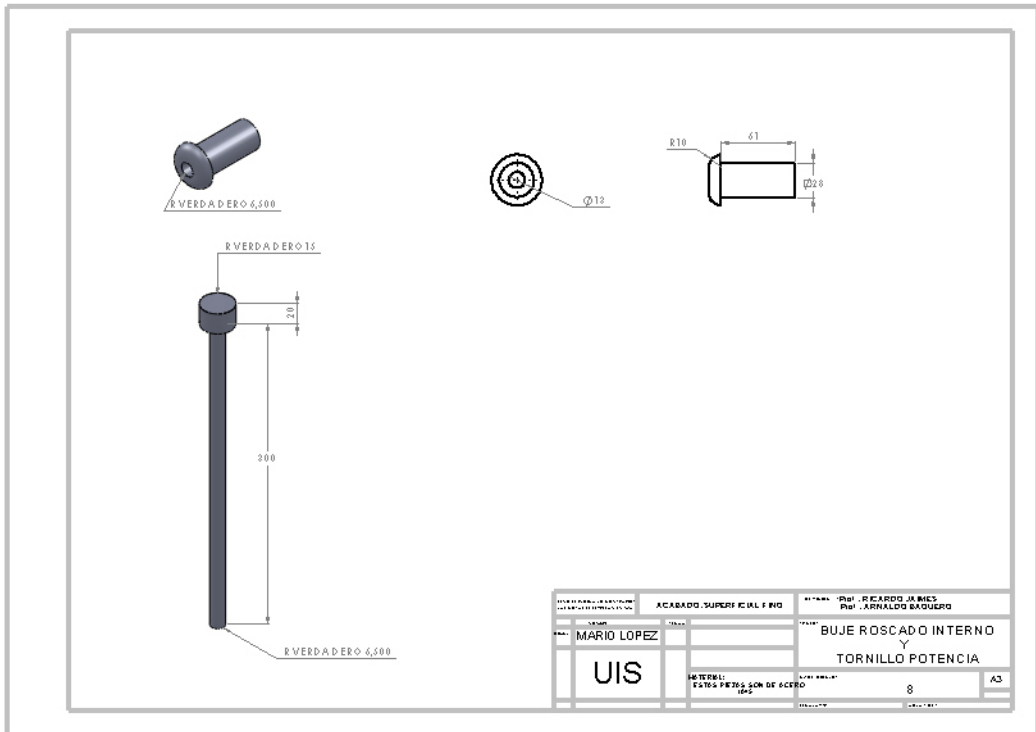
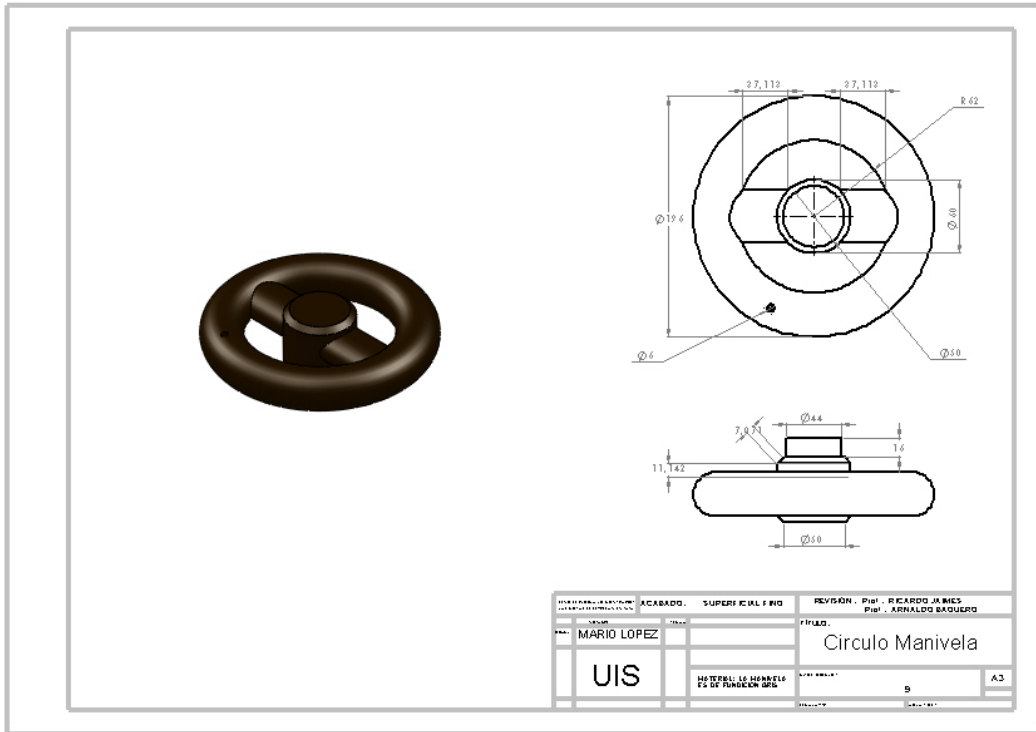
FUENTE: Autores

APISONADOR	
1	BIE GUÍA
2	TUBO PARA PROYECTIL
3	APISONADOR
4	PIEDRA APISONADOR
5	PIEDRA CON
6	PIEDRA
7	BASE TUBO PROYECTIL
8	PIEDRA DE MONTAJE
9	PIEDRA DE MONTAJE
10	PIEDRA DE MONTAJE
11	PIEDRA DE MONTAJE

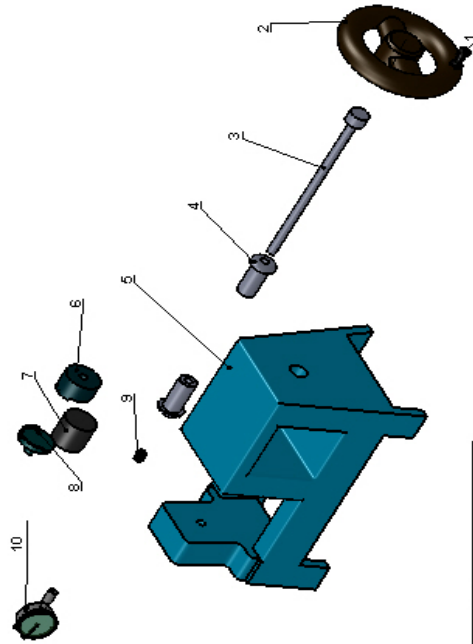


MARIO LOPEZ		REVISOR: PROF. RICARDO JAMES Prof. ARNALDO BAQUERO	
UIS		APISONADOR EXPLOSION	
FUNDICIONES		E1	
A3		A3	





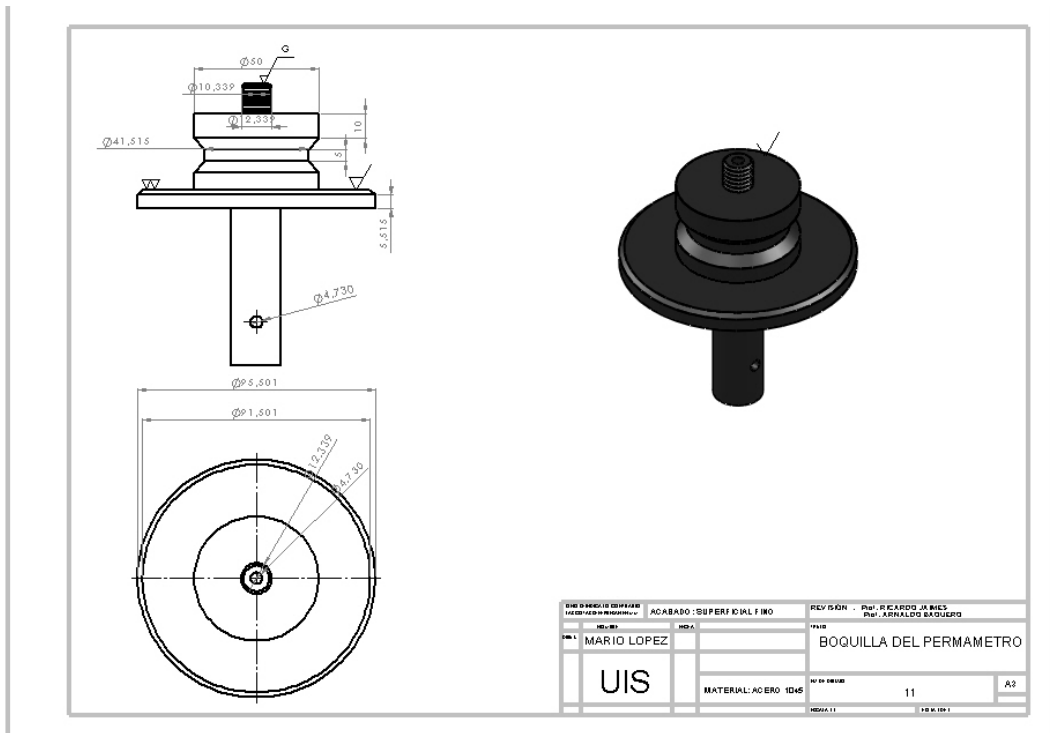
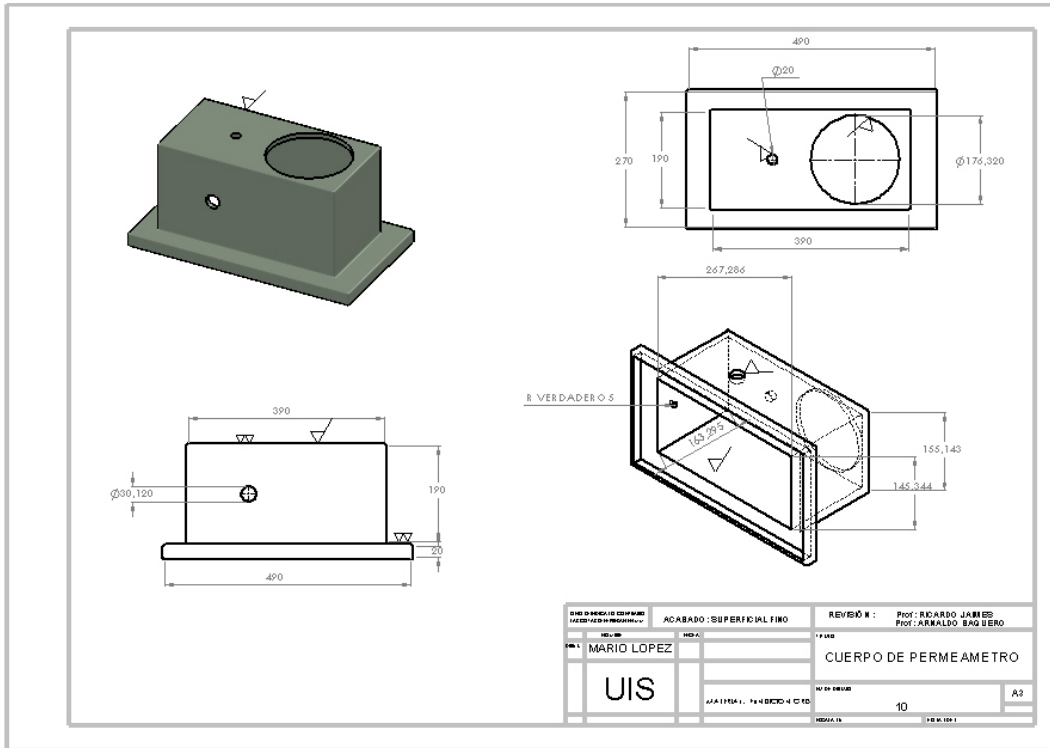
FUENTE: Autores



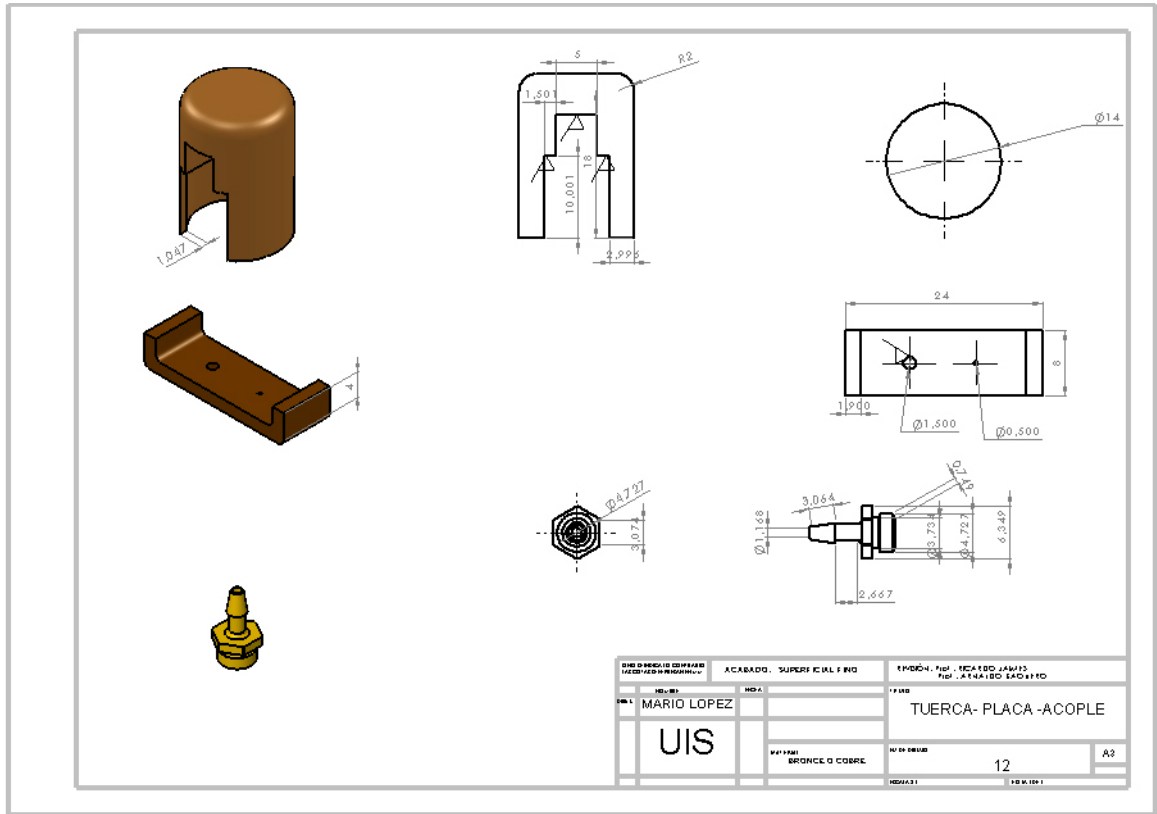
1	MANICO MANIVELA	7	PROBETA DE APERTURA 1
2	ARO MANIVELA	8	ZAPATA 2
3	FORNULO DE POTENCIA	9	RESORTE
4	BULAS ROSCADOS	10	MACHONERO
5	CUERPO MACHONERA		
6	ZAPATA 1		

NOMBRE: MARIO LOPEZ		REVISIÓN : Prof. RICARDO JAMES Prof. ARNALDO BAQUERO	
UNIVERSIDAD		MAQUINA DE ESFUERZOS EXPLOSIONADA	
FUNCIÓN DISEÑO		N.º DE DIBUJO E2	
A3		FECHA	

# PLANOS DE PIEZAS DEL PERMEÁMETRO

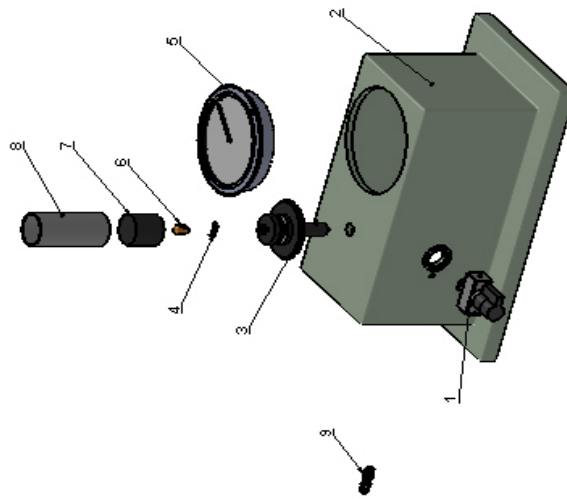


FUENTE: Autores



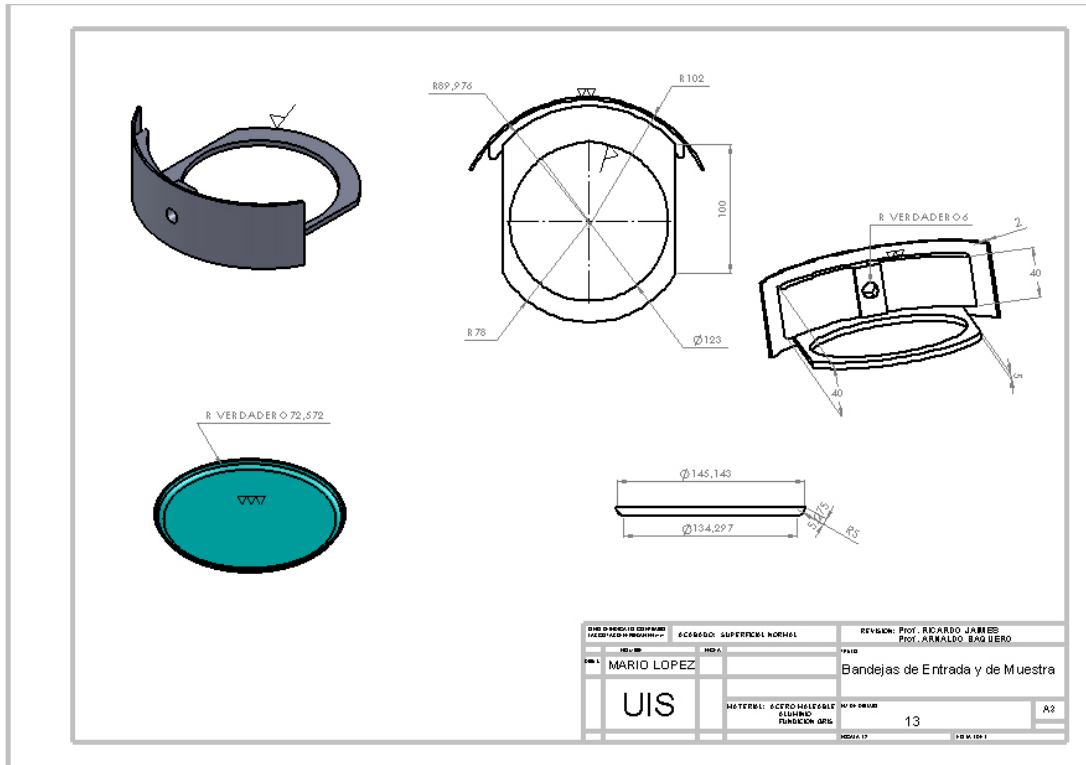
FUENTE: Autores

1	VALVULA DE VMS
2	CUERPO PERMEÁMETRO
3	BOBILLA
4	PLACA CULIERS
5	MANOMETRO
6	ROSCA PLCA
7	PROBECA APERTURA
8	TUBO PARA PROBECA
9	ACOPLE

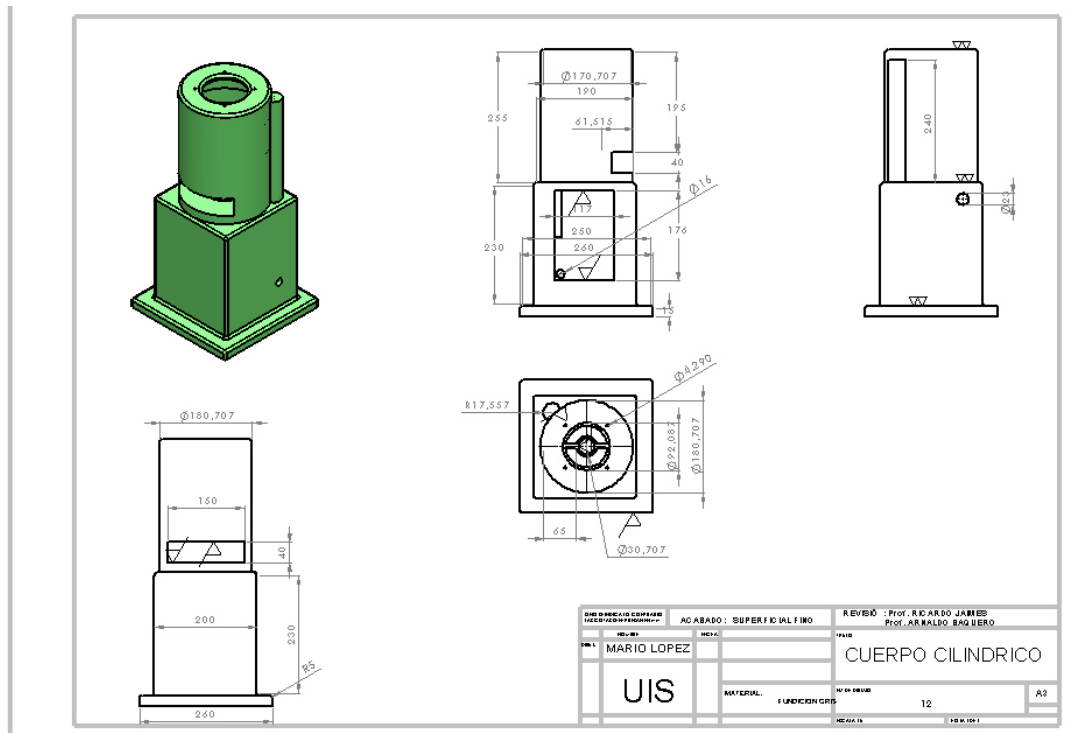


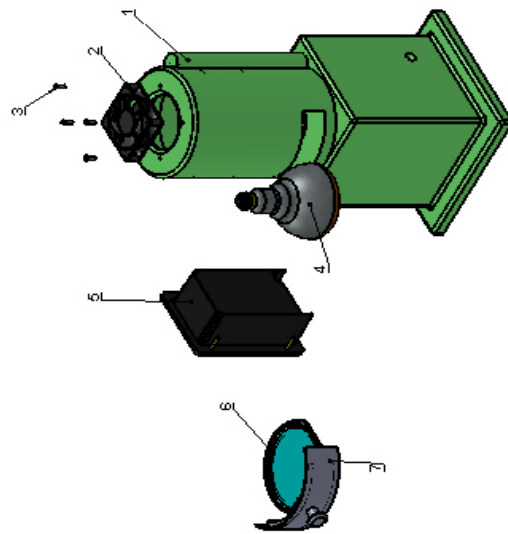
NOMBRE: MARIO LOPEZ		REVISIÓN: Prof. RICARDO JAIMES Prof. ARNALDO BAQUERO	
UIS		PERMEÁMETRO EXPLOSIONADO	
		MATERIAL: FUNDICIÓN GRIS	Nº DE DISEÑO: E3
		ESCALA: 1:1	

## PLANOS DEL PROBDOR DE HUMEDAD DE RAYOS INFRAROJOS



FUENTE: Autores





1	CUERPO DEL PROBADOR
2	VENTILADOR
3	FORNILLOS Y UNION
4	LAMPARA INFRARROJA
5	CONTROLADOR DE TEMPERATURA
6	BANDEJA DE MUESTRA
7	BANDEJA DEL CUERPO DEL PROBADOR

NOMBRE : MARIO LOPEZ		REVISION : POR RICARDO JAIMES POR FERNANDO BAQUERO	
UIS		E4	
		E4	
MATERIAL: FUNDICION GRIS		EXPLOSIONADO HUMEDAD	
A3		A3	