



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

Propuesta de material didáctico para el área de fundición

MATERIAL DIDÁCTICO

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Alan Michell Ramírez Peña

ASESOR DE MATERIAL DIDÁCTICO

M.C. Raúl Gilberto Valdez Navarro



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018

AGRADECIMIENTO

Esta es la manera más sublime en que puedo devolver tantas dichas que se han manifestado en el desarrollo humano y profesional de mí ser, debidas de forma importante a la nobleza de cada persona que ha estado a mi lado siempre con su apoyo incondicional, y también, al notable ímpetu de la **Universidad Nacional Autónoma de México** para forjar profesionistas con un alto valor humano, de gran esencia cultural y convicción en el ejercicio de su labor profesional. De esta manera manifiesto que cada uno de todos los logros que he alcanzado es por rodearme con las personas correctas y a su vez en el sitio correcto.

Primero agradezco a mi familia, por estar siempre para mí, por el gran valor de su ser y el de las enseñanzas, las cuales han sido una herramienta de vida tanto para disfrutar el júbilo por tenerlos como para enfrentar con valor la adversidad. Gracias especiales a mis dos madres, seres con el corazón más noble que conozco, **Carmen Peña Facio** y **Helena Peña Facio**, por ser la encarnación de mi concepción del amor, siempre dispuestas a dar lo mejor de sí para los seres afortunados que somos amados por vos. Siempre gracias.

Ahora gracias también a mis amigos y colaboradores de trabajo (también grandes amigos) quienes mediante su esfuerzo, apoyo y conocimiento, se logró resolver con éxito cada problema o dificultad durante el desarrollo de éste proyecto. Agradecimientos especiales a mí asesor el **M.C. Raúl Valdez Navarro** y al **DR. Adrián Espinosa Bautista**, por la confianza prestada en los laboratorios y el apoyo absoluto para la realización del proyecto; a mis sinodales el **M.I. Armando Sánchez Guzmán** el **M.I. Jesús Trenado Soto** el **ING. Jorge Luis Romero Hernández** por su tiempo, observaciones y su conocimiento para lograr terminar satisfactoriamente este trabajo; también a la **Facultad de Ingeniería Química Metalúrgica** junto con el **M.I Gerardo Ruiz Tamayo** por sus grandes conocimientos compartidos, el apoyo y fraternidad; finalmente al señor **Emilio Cruz Guevara** técnico mecánico de precisión en los laboratorios de ingeniería mecánica, por compartir su gran conocimiento y apoyo incondicional para el desarrollo del proyecto, sobre todo en la manufactura para la fabricación de los elementos que fueron necesarios para los procesos propuestos.

Finalmente, agradecimiento eterno a la **Facultad de Ingeniería** de la **Universidad Nacional Autónoma de México** "*mi alma máter*", por darle forma a mis sueños, por darme el conocimiento y las herramientas, para transformar en realidad el fluido estado de imaginación a través de la razón, filosofía aprendida con la cual me siento satisfecho y preparado para salir por más y así darlo todo hasta la muerte, siempre con el sentir en el corazón y el ideal en la mente que "*por mi raza hablará el espíritu*".

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	I
OBJETIVOS	II
CAPÍTULO 1. Antecedentes	1
1.1. La fundición y su importancia	1
1.2. Estado de arte de la fundición en México.....	1
1.3. La fundición en la Facultad de Ingeniería	2
1.4. Seguridad en el área de fundición.....	3
1.4.1. Sobre la seguridad en el área de trabajo.....	3
1.4.2. Medidas y reglas de seguridad en el área de fundición.....	3
1.5. Métodos del proceso de fundición en arena propuestos para prácticas en el área de fundición	7
1.5.1. Fundición en arena verde mediante modelo bipartido en placa (Match plate casting)	7
1.5.2. Fundición en molde de cáscara (Shell mold casting).....	8
CAPÍTULO 2. Diseño y manufactura de partes necesarias para el desarrollo de prácticas propuestas del proceso de fundición en arena verde con modelo bipartido en placa	9
2.1. Diseño del material propuesto	10
2.1.1. Parámetros de diseño en función de los requerimientos del área de fundición de la Facultad de Ingeniería.	10
2.1.2. Parámetros de diseño en función de las necesidades del área de fundición de la Facultad de Ingeniería	11
2.1.3. Diseño de aditamentos necesarios para el método	12
2.1.3.1. Caja de moldeo	12
2.1.3.2. Placa modelo.....	28
2.1.3.3. Máquina de percusión y prensado (Jolt-squeeze machine).....	35
2.2. Fabricación del material propuesto.....	41
2.2.2. Fabricación de las piezas diseñadas para el ensamble de la caja de moldeo.....	43
2.2.3. Fabricación de las piezas diseñadas para el ensamble de la placa modelo.	50
2.3. Manual del funcionamiento y accesorios del material propuesto.	53
CAPITULO 3. Diseño y manufactura de partes necesarias para el desarrollo de la práctica propuesta del proceso de fundición en cáscara (Shell mold casting)	55

3.1.	Elementos necesarios para realizar el proceso.....	55
3.2.	Diseño del material propuesto para el método de moldeo en cáscara.....	56
3.2.1.	Parámetros de diseño en función de los requerimientos del área de fundición de la Facultad de Ingeniería.	56
3.2.2.	Parámetros de diseño en función de las necesidades del área de fundición de la Facultad de Ingeniería.	57
3.2.3.	Diseño de aditamentos necesarios para el método.....	57
3.2.3.1.	Placa modelo o modelo.....	57
3.2.3.2.	Sistema mecánico de operación de moldeo en conjunto.....	59
3.2.3.3.	Caja para colada.....	62
3.3.	Fabricación del material propuesto.....	62
3.3.1.	Fabricación de las piezas diseñadas para el ensamble de la placa modelo.	62
3.3.2.	Fabricación de las piezas diseñadas para el ensamble del sistema Mecánico de operación de moldeo en conjunto.....	64
3.4.	Manual del funcionamiento y accesorios del material propuesto.....	66
 CAPITULO 4. Pruebas de funcionamiento, observaciones y análisis de resultados de los métodos propuestos.....		68
4.1.	Pruebas en el método de fundición en arena verde con moldeo de modelo bipartido en placa.....	68
4.1.1.	Preparación del sistema de arena verde.....	68
4.1.2.	Fabricación del molde.....	72
4.2.	Pruebas en el método de fundición en cáscara.....	75
4.2.1.	Fabricación del molde.....	75
4.3.	Operación en la colada.....	78
 CAPITULO 5. Prácticas propuestas.....		79
5.1.	Fundición en arena verde con moldeo de modelo bipartido en placa.....	79
5.2.	Fundición en arena con molde de cáscara (Shell mold casting).....	101
 PROPUESTA DE TRABAJO A FUTURO.....		118
CONCLUSIONES.....		118
COMENTARIOS.....		121
BIBLIOGRAFÍA.....		122
APÉNDICE.....		124

INTRODUCCIÓN

La investigación en torno a la fundición es de suma importancia, permite lograr más aplicaciones y adaptaciones, de esta manera los alcances se reflejan en un desarrollo tecnológico que consecuentemente impulsarán la industria de la fundición y que permitiría adentrar en globalización la producción fundida del país, y así mismo ser más independientes para satisfacer las necesidades propias.

En la actualidad, es importante que se generen conocimientos básicos y sólidos, obtener una formación concreta y afrontar los problemas de manera objetiva, mismos que en la industria, al hacer una investigación científica o algún desarrollo tecnológico, serán clave para poder avanzar con certeza, y a su vez, serán la mejor herramienta para desempeñarse como ingenieros y resolver de manera satisfactoria los problemas que se enfrenten.

Tomando lo anterior como un estandarte de lucha, es que este trabajo tiene como principal pretensión y objetivo tratar de mejorar y ampliar los procesos de aprendizaje en el área a fin, proporcionando las herramientas necesarias para llevar a cabo las prácticas de fundición de manera alternativa y sobre todo normalizada.

Para poder satisfacer dichas ambiciones académicas, en éste trabajo se pone a disposición información precisa para el entendimiento teórico y técnico de algunos de los recursos del proceso enseñanza-aprendizaje, necesarios para adquirir los conceptos y habilidades básicos sobre el proceso de fundición, con el fin, que el alumno obtenga una estrecha cercanía con la labor técnica que se realiza en la industria, así mismo a futuro ampliar su criterio y aptitudes como profesionista, mostrándose líder competente con conocimiento y experiencia.

Con la elaboración de este material didáctico se pretende realizar dos prácticas, sumando dos métodos alternativos y de diferente aplicación a los que actualmente se usan en el área de fundición, de esta forma será posible poder identificar y diferenciar las ventajas y desventajas que ofrece cada uno de los métodos empleados, para ofrecer más herramientas que amplíen el criterio del profesionista.

El desarrollo del trabajo incluye las etapas de diseño, fabricación, uso y funcionamiento del método en la práctica del primer conjunto del material propuesto, para lo cual, se tiene una caja de moldeo plegable a la cual se acopla una placa con modelo bipartido permanente, con este material y utilizando la máquina de percusión y prensado se realiza el proceso de fundición en arena en verde.

Por otra parte se incluyen las etapas de diseño, fabricación, uso y funcionamiento en el proceso de fundición en arena con molde en cáscara (Shell mold casting), utilizando para ello un sistema de operación de moldeo, así como su respectivo modelo hecho en placa de aluminio. Todo el material está diseñado para realizar el proceso en el área de fundición de la Facultad.

Por último se presenta la estructura de las dos prácticas propuestas, diseñadas para ser utilizadas por la comunidad universitaria de la Facultad de Ingeniería como una alternativa al proceso de enseñanza-aprendizaje al proceso de fundición.

OBJETIVOS

- Obtener un material de consulta, que permita al alumnado de la Facultad de Ingeniería, conocer los conceptos y aspectos básicos teórico-prácticos relacionados con el proceso de fundición.
- Ampliar la enseñanza en el proceso teórico-práctico de la fundición en la Facultad de Ingeniería al formalizar aspectos teóricos y técnicos en las prácticas propuestas, con la finalidad de minimizar la presencia de defectos en las piezas generadas, optimizar los tiempos de las operaciones y evitar dificultades en las etapas de moldeo y vertido.
- Dotar de material didáctico a la Facultad de Ingeniería proponiendo una práctica de fundición en arena verde con el apoyo de una compactadora de percusión, cajas de moldeo y modelos bipartidos en placa permanentes; con el fin de hacer más eficientes los tiempos en la etapa de moldeo que permitan al alumnado una mejor comprensión del proceso afín, comparar y diferenciar los procesos utilizados habitualmente en las prácticas actuales y, mediante el criterio adquirido puedan identificar ventajas y desventajas en los parámetros del proceso.
- Proponer una práctica para el proceso de fundición en arena por medio de moldeo en cáscara (Shell molding), con el apoyo de un modelo permanente en placa, un mecanismo de sistema de operación de moldeo y los aditamentos prácticos y necesarios para la etapa de la colada.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1.1. LA FUNDICIÓN Y SU IMPORTANCIA

La fundición es un proceso de manufactura o fabricación de piezas, metálicas principalmente, mediante el vaciado de un material líquido dentro de una cavidad con la forma final de la pieza, dicha cavidad se denomina molde”.[1]

“La pieza obtenida mediante este proceso tendrá prácticamente su forma final, es decir, mediante este proceso se obtienen piezas casi listas” [1], o en algunos casos especializados, las piezas resultan totalmente finalizadas sin requerir procesos posteriores de maquinado, lo cual se da tanto en los más avanzados de los procesos que se apoyan en la tecnología de punta, como en aquellos en donde las piezas no requieren de mucha precisión.

Esta práctica de fabricación ofrece versatilidad en todos los ramos del diseño de las piezas obtenidas; por una parte en las dimensiones, pues hay pocas limitaciones con respecto al tamaño de las piezas generadas por fundición, esta característica depende, claro está, del equipo que se posea para el proceso; también es posible mediante este proceso obtener piezas muy intrincadas y con detalles finos, que son complicadas de obtener en otros métodos de manufactura; otro aspecto importante es que con los avances teórico-científicos y de desarrollo tecnológico en esta materia y en la metalurgia, es que se ha conseguido también obtener piezas fundidas de prácticamente cualquier material metálico o aleaciones entre estos. A su vez, esto ofrece otra virtud en el diseño de las piezas, obteniendo así propiedades mecánicas deseadas en el material de las piezas, ya que estas puede controlarse directamente durante el proceso, mediante la solidificación y tratamiento del material líquido, obteniéndose así una microestructura con las propiedades adecuadas sin necesidad de tratamientos térmicos posteriores. [1][2]

El proceso de fundición es muy flexible, por esto se presenta en una gran variedad de entornos desde plantas caseras con producciones pequeñas, hasta grandes industrias o consorcios con altas producciones y tecnología de punta.[1]

Aun así, es importante entender este proceso a nivel teórico para seguir llenando los espacios vacíos o deficiencias que todavía se tienen, especialmente en nuestro desarrollo tecnológico como nación, para de esta manera cumplir con nuestra responsabilidad como universitarios para con nuestra patria.

1.2. ESTADO DE ARTE DE LA FUNDICIÓN EN MÉXICO

En México se encuentran fundiciones del sector metalmecánico cuyas divisiones son de fundición con moldeo en arena, fundición a la cera perdida, inyección de aluminio, entre muchas otras especialidades de fundido de metales.

Según datos de la Sociedad Mexicana de Fundidores, en el 2012 existían poco más de 800 empresas dedicadas a la fundición. En este sector, los productos que más se trabajan son el cobre, el hierro y el acero (aleación). En ese mismo año, de acuerdo a datos de Red de

Empresarios Visa, México ocupaba la posición número seis de los diez países con mayor número de fundidoras operando, además se colocaba en el undécimo peldaño en materia de fabricación de metales.

Un artículo publicado en línea el 17 de septiembre del 2014 por un portal llamado EL ECONOMISTA, reporta los aspectos importantes del panorama de la industria fundidora en México con datos estadísticos que evidencian la importancia de una proyección a futuro prometedora que la industria fundidora representa para México. La industria de la fundición en México proyecta un crecimiento de 20% anual al 2020, impulsada por el auge en los sectores automotriz y energético en los próximos años.[3]

Al igual que en el sector automotriz el proceso de la fundición tiene una importancia relevante en el “sector aeroespacial” y tiene alto potencial de crecimiento, y aunque México aún no cuenta con industria de aviones de manufactura 100% nacional, actualmente se producen piezas como motores y fuselajes.

Este sector está prosperando sorprendentemente y tiene presencia en 18 estados de la república, de los cuales Baja California, Chihuahua, Querétaro, Nuevo León y Sonora, son los más importantes.

El año pasado, el valor de las exportaciones tuvieron un valor de 5,460 millones de dólares y se estima que para el 2020 las exportaciones asciendan a 100,000 millones de dólares.

Es importante apostar al desarrollo de la fundición en México, en cualquiera de sus divisiones, y es indispensable contar con las herramientas necesarias para llevar a cabo una estrategia a largo plazo, si bien es sabido que la fundición es de los principales eslabones de la cadena de abasto de la industria metalmeccánica, se necesita iniciar bien y terminarlo también en México, para así lograr una cadena de suministro integral y sólida.[4]

El principal objetivo para la industria de la fundición de metales es sin duda la actualización en tecnología y ampliar sus conocimientos sobre el “¿cómo hacer? De sus procesos”, para ser más competitivos y más agresivos como sector, mejorando día a día la calidad de la fundición en México.[4]

1.3. LA FUNDICIÓN EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Actualmente en la Facultad de Ingeniería, en las carreras de ingeniería industrial, mecatrónica, sistemas biomédicos, y mecánica, se imparten clases teóricas y prácticas a grupos de estudiantes sobre los procesos de manufactura, el proceso de fundición es uno de estos. En el área de fundición de la Facultad se imparten prácticas del desarrollo del proceso en materias como ingeniería de manufactura, procesos de manufactura 1 en las cuales se ven algunos métodos que se usan para el proceso de fundición en arena (Sand Casting) y se cuenta con dos métodos de moldeo para este proceso. El primero es moldeo con arena verde en banco y el segundo es molde de arena en seco con modelo desechable, por lo regular de poliestireno expandido. Mediante estas prácticas de una manera técnica se realiza el proceso demostrativo de lo que es la fundición

en la Facultad de Ingeniería, aunque se tiene este proceso implícito en procesos como la soldadura de arco eléctrico, por gas oxi-combustible entre otros más.

1.4. SEGURIDAD EN EL ÁREA DE FUNDICIÓN

La seguridad es un aspecto tan importante como obligatorio, tanto para los procesos de fundición como para cualquier proceso de manufactura. La seguridad de las personas que laboran u operan en este ámbito es una responsabilidad que involucra cuestiones legales, al grado que se norman lineamientos de seguridad en que se debe de operar cada área de manufactura. Es obligatorio cumplir con estas reglas por la seguridad física de las personas.

1.4.1. SOBRE LA SEGURIDAD EN EL ÁREA DE TRABAJO

En el área de fundición es de suma importancia atender con responsabilidad y seriedad la realización del proceso de la práctica en cuestión. Durante las etapas del proceso, es importante que al trabajar con máquinas y aditamentos para la práctica se tenga una actitud responsable y seria sobre las actividades desempeñadas; las máquinas y aditamentos son muy seguros, pero con frecuencia, en la mayoría de los accidentes, las personas son la parte más insegura de un trabajo y puede resultar muy peligroso y grave el descuido o falta de atención en el trabajo que se esté realizando. Por esta razón, es importante que dentro del área de fundición y cualquier otra área de trabajo se preste la atención en su totalidad al trabajo, que se eviten juegos o bromas y, se sigan y cumplan al pie de letra las normas de seguridad que se tienen para el lugar de trabajo.

De acuerdo con el Comité de Seguridad y Salud de la Sociedad Americana de Fundidores (AFS por su siglas en inglés) (10-Q) Septiembre, 2005, para proponer el diseño y la realización de reglas de seguridad en el área de fundición de la Facultad de Ingeniería se toma en cuenta la “guía para selección y uso de equipo de protección de personal y ropa especial para operaciones de fundición” que remplaza al AFS Recommended Clothing and Personal Protective Equipment (EPI) para operaciones de fusión y vertido de metales.[5]

1.4.2. MEDIDAS Y REGLAS DE SEGURIDAD EN EL ÁREA DE FUNDICIÓN

Por la seguridad e integridad física, tanto propia como la de todo el equipo y grupo de trabajo, es importante remarcar y hacer cumplir las medidas y reglas de seguridad que se toman en el área de fundición. Al trabajar en el área de fundición es usual entre las etapas de preparación que se usen herramientas y aditamentos que, sí no se le da el uso adecuado, si no existe un orden y posición destinada para cada cosa, pueden ocasionar accidentes. Otro aspecto para resaltar es que para fundir el metal y conservarlo en estado líquido es necesario aumentar su temperatura a niveles demasiado peligrosos para el hombre, por eso requiere de mucha atención y cuidado en las operaciones de fusión y vertido, por tanto, la zona de la colada debe de estar restringida con excepción de las personas que llevaran a cabo la actividad, así como también tener cuidado y evitar que existan objetos inflamables dentro de esta zona a fin de evitar incendios, también se debe tener cuidado al cargar objetos pesados y realizarlo de la forma correcta para evitar lastimarse. Los puntos de seguridad y reglas propuestos que el practicante debe conocer y seguir sin omisión debidas a las condiciones mencionadas son:

- Consideraciones importantes para la evaluación de riesgos:
 - Metal fundido en el horno, la cuchara y / o el molde.
 - Temperatura del metal o superficie caliente.
 - El nivel del metal y área del cuerpo que podría ser impactado por un chapoteo, chispas, llamas o superficies calientes.
 - Proximidad al metal fundido y superficies calientes (por ejemplo, trabajar dentro de la zona de peligro alrededor de los hornos).
 - Material manipulado (por ejemplo, aditivos, bloques de enfriamiento).
 - La cantidad de metal afectará la cantidad de calor radiante y la cantidad de metal fundido o vertido, que podría afectar el cuerpo.
- Para operar con seguridad ante los riesgos es obligatorio portar el equipo de seguridad o también conocido como equipo de protección personal (EPP).

Antes de empezar las operaciones del proceso se debe de revisar que el EPP (El cual se muestra en las figuras 1 a 6) que se entrega en el almacén esté en buen estado, es decir, el equipo de protección no debe tener daños o un desgaste que no permita cumplir con su función y ponga en riesgo al personal que lo utiliza. Los elementos del equipo son los siguientes:

- Careta de protección facial



Figura 1. Careta o protector facial.[I]

- Gafas de protección

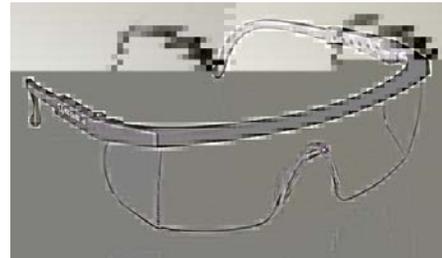


Figura 2. Gafas de protección.[II]

- Peto

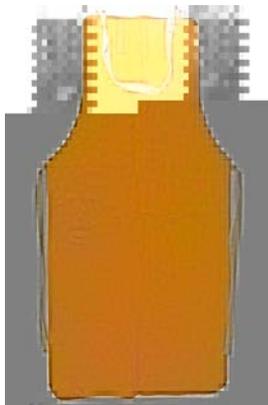


Figura 3. Peto (delantal) de carnaza.[III]

- Guantes



Figura 4. Guantes de carnaza.[IV]

○ Calzado de seguridad



Figura 5. Calzado de seguridad industrial. [V]

○ Polainas

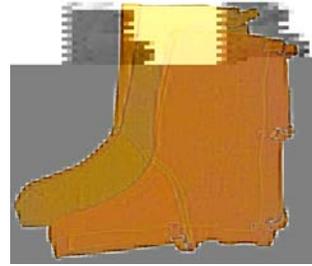


Figura 6. Polainas de carnaza. [VI]

- Sumo cuidado al momento de utilizar la máquina mezcladora o también llamada molino de arena (Figura 7) pues esta consta de elementos giratorios que ejercen un alto par que podrían disparar proyectiles o partículas que se resistan al machaqueo. También es importante que se evite el acercamiento estrecho a ella cuando esté en funcionamiento ya que algunas piezas pueden aplastar o atrapar partes del cuerpo o de la ropa.



Figura 7. Molino de arena

- Extremo cuidado y seriedad al momento del calentar el metal para su fusión dentro del crisol en el horno de gas (Figura 8). Las temperaturas que se utilizan a la hora de fundirlo son muy peligrosas para cualquier tipo de material biológico y puede causar quemaduras graves si no se tiene el debido manejo, equipo de seguridad y cuidado al trabajo en el horno.



Figura 8. Horno de gas de la Facultad de Ingeniería

- Extremo cuidado al manipular el metal fundido pues este se encuentra a elevadas temperaturas, en caso de el aluminio es mínimo de unos 660°C y debe evitar derramarse al momento de hacer la colada o en su manipulación en el área de vaciado al molde pues puede ser riesgoso un chapoteo, salpicaduras o que fluya metal en altas temperaturas en donde no se ha destinado para esta actividad.



Figura 9. Colada de acero en el área de fundición del anexo la Facultad de Química en CU

- En la etapa de moldeo se debe tener especial cuidado para evitar lastimarse pues en esta operación aunque aparentemente no se ve riesgo es de importancia saber que existen algunas situaciones de riesgo que pueden lastimar al operador si este no tiene el debido cuidado y seriedad al momento de fabricar los moldes.
 - Las cajas de moldeo con arena deben de manipularse con mucho cuidado y se deben adoptar posturas adecuadas al momento de cargar los moldes (Figura 10), pues el peso de estas es considerable y en mal uso puede provocar lesiones por desplazamiento de cargas .Se recomienda que se carguen estos moldes entre dos personas. La siguiente imagen muestra a postura adecuada para cargar objetos pesados.

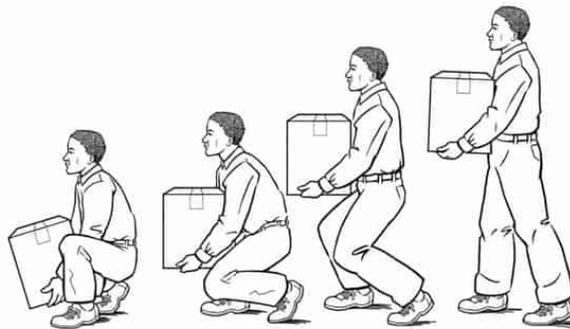


Figura 10. Levantamiento de objetos pesados. [VII]

- Al momento de generar el molde de arena verde a través de la compactadora de percusión debe prestarse atención al momento de compactar con la máquina neumática para evitar machucarse con la placa compactadora (squeeze head). La persona encargada del manejo de la máquina es responsable de verificar que la esta puede operar de forma segura.
- Al emplear el método Shell Molding es de suma importancia tener cuidado en el proceso de calentamiento de placa pues esta se eleva a temperaturas alrededor de 300°C y debe utilizarse el equipo de seguridad para llevar a cabo el procedimiento requerido.
- Se recomienda no usar joyas, piercings expuestos o cualquier tipo de adorno corporal o personal en todos los departamentos de fundición.
- Como información complementaria a la parte de seguridad, cabe mencionar que aunque no necesaria por el momento para el área de fundición de la Facultad, pero que es importante considerar, es la posibilidad de una protección respiratoria, sobre todo en la industria cuando la versatilidad de los materiales fundidos es amplia y puede haber presencia de gases de metales tóxicos como lo es plomo, cadmio, arsénico, berilio, como parte de la aleación o como contaminante de la chatarra que se está derritiendo.

1.5. MÉTODOS DEL PROCESO DE FUNDICIÓN EN ARENA PROPUESTOS PARA PRÁCTICAS EN EL ÁREA DE FUNDICIÓN

El proceso de fundición tiene dos vertientes importantes, a tratar en este caso la fundición de piezas de forma particular. De entre los múltiples métodos para llevar a cabo el proceso de fundición, existe el de fundición en arena, el cual a su vez se clasifica por el método de moldeo empleado:

MOLDEO EN ARENA:

- Moldeo en arena verde
- Moldeo de arena seca
- Moldeo de núcleos de arena
- Moldeo en cáscara
- Diversos procesos de moldeo de arena:
 - Moldeo de piso y de pozo
 - Arena unida con cemento
 - Moldeo por soplado de arena
 - Moldeo loam
 - Proceso con CO₂

Los métodos de moldeo empleados son el de arena verde y el de moldeo en cáscara. El proceso de moldeo por arena verde se realizará mediante moldeo de modelo bipartido en placa permanente (match-plate pattern molding).

1.5.1. FUNDICIÓN EN ARENA VERDE MEDIANTE MODELO BIPARTIDO EN PLACA (MATCH PLATE CASTING)

Este proceso de moldeo tiene beneficios para el trabajo como para la industria, pues se pueden obtener tipos de formas casi ilimitadas, se logra menor tiempo para el moldeo, mayor exactitud en las dimensiones de la pieza y se aumenta el volumen de la producción. La virtud de este método radica en el proceso de elaboración de los moldes, y para realizarlo se cuenta con un modelo bipartido cuyas mitades se encuentran adheridas o maquinadas en una placa de acoplamiento; la placa cuenta con guías a la caja de moldeo para lograr hacer coincidir las mitades que imprimirán las cavidades en la arena. A parte de la placa se cuenta también con dos semi-cajas que se acoplan cada una con la placa en cada cara y así poder formar el molde de arena. La arena es vaciada y compactada en cada semi-caja y posterior a esta etapa de trabajo la placa es retirada para hacer la colada en el molde. En la mayoría de los procesos el trabajo de moldeo es apoyado por una máquina de percusión y prensado, esta es la parte del proceso que reduce considerablemente el tiempo y el trabajo de moldeo, pero a veces no se cuenta con este equipo y la operación se realiza de forma manual en bancos de moldeo, con apisonadores mecánicos aunque también los hay neumáticos.[6]



Figura 11. Caja de moldeo con placa de modelo bipartido del área de fundición del anexo la Facultad de Química en CU

1.5.2. FUNDICIÓN EN MOLDE DE CÁSCARA (SHELL MOLD CASTING)

En este método el proceso de fundición se lleva a cabo mediante un molde cerámico especial hecho con una mezcla de arena y una resina termo-endurecible. Esta resina es usualmente fenol-formaldehído encargado de fijar la forma del molde. Mediante calor la mezcla más cercana al modelo forma una cubierta delgada debido a la polimerización de la resina plástica, que se une a las partículas de arena. La cáscara delgada se utiliza entonces como un molde, respaldado por arena suelta para darle fuerza. Se obtienen así excelentes acabados y buena precisión dimensional. El moldeo de cáscara es un proceso industrial a gran escala porque la maquinaria de producción requerida es costosa y la arena no es reutilizable.[7]

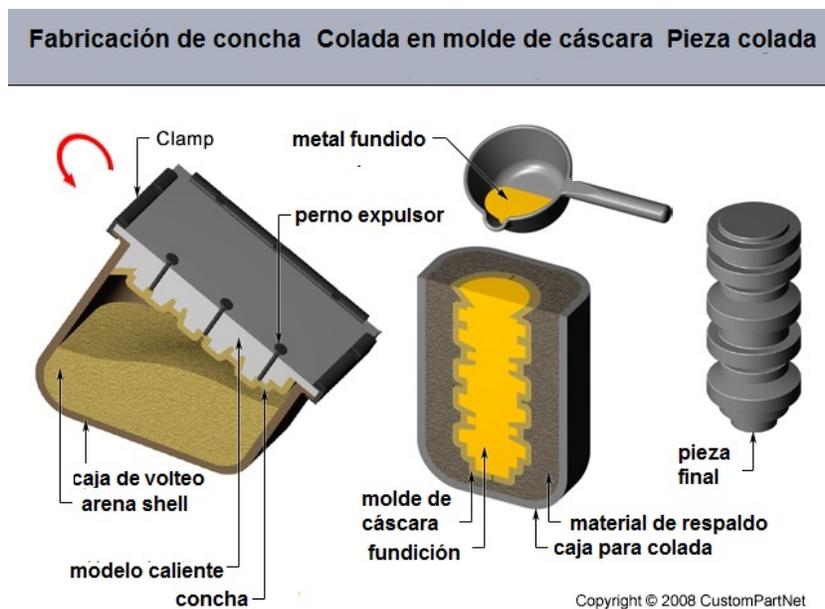


Figura 12. Fundición en molde de cascara. [VIII]

CAPÍTULO 2. DISEÑO Y MANUFACTURA DE PARTES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS PROPUESTAS DEL PROCESO DE FUNDICIÓN EN ARENA VERDE CON MODELO BIPARTIDO EN PLACA

El proceso involucra la fundición en arena verde por medio de un molde hecho mediante un modelo bipartido en una placa que se acopla entre dos semi-cajas formando el sistema de moldeo para su elaboración. El método es comúnmente usado en la industria a nivel internacional debido a las ventajas que ofrece este proceso, pues a pesar de que se limita en el tamaño por solo fabricar piezas pequeñas, en contraste permite obtener gran diversidad de piezas con acabados superficiales que en los procesos más desarrollados requieren un proceso de maquinado posterior casi nulo, esto es porque la exactitud de las dimensiones en la mayoría de las veces es tolerable. Es también importante porque reduce tiempo de moldeo, esta operación es la que normalmente ocupa más tiempo, pero con este método y la ayuda de la compactadora se reduce el tiempo de producción, las operaciones para la obtención de piezas terminadas se industrializa y automatizan aumentando la producción y con ello las ganancias. En el ámbito académico se podrán realizar más moldes en menos tiempo y piezas con geometrías diversas, incrementando la diversidad de piezas coladas a obtener, acercándose más a la industria fundidora.

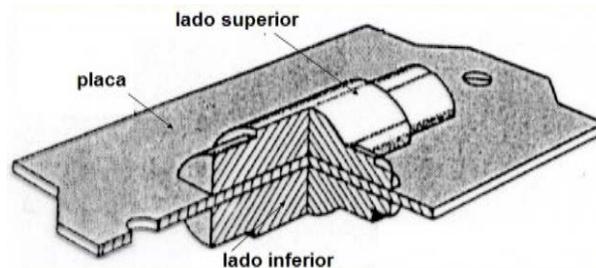


Figura 13. Placa de modelo bipartido. [IX]

El moldeo de este método para la implementación como una práctica alternativa en el área de fundición, se realiza con el apoyo de los aditamentos necesarios para esta operación, mismos que son diseñados y fabricados tomando como principal parámetro de diseño que, en el área de fundición se cuenta con una máquina de percusión y prensado, misma que se pondrá en funcionamiento para realizar el procedimiento de moldeo del método seleccionado.

Más adelante se desglosa el trabajo realizado para esta primera propuesta de práctica, presentando el diseño y la selección de los aditamentos así como su fabricación, además de lo que ya se tiene y que se pondrá en funcionamiento, tomando como principales parámetros para su elaboración y desarrollo las necesidades y condiciones de los requerimientos del área de fundición de la Facultad, buscando adaptarlos a estos para satisfacer y lograr que funcionen y se opere de la mejor manera posible para lograr que el aprendizaje sea significativo.

Como parte del trabajo de manufactura, se expone la ruta de maquinado para la fabricación de los componentes necesarios haciendo énfasis en el uso adecuado de las maquinasherramientas con los que cuentan los laboratorios de ingeniería mecánica para el desarrollo de proyectos. Esta ruta de trabajo estuvo apoyada mediante diseño asistido por computadora (CAD), para la obtención de modelos tridimensionales y de los planos de las piezas y así facilitar el

maquinado y fabricación de cada componente. Esta relación técnica diseño-manufactura es importante para la formación profesional pues ello permite ver el alcance que como ingenieros se tiene en el área de manufactura y así obtener un panorama más abierto y certero en los criterios de diseño y sus alcances.

Después de obtenidos los elementos necesarios mediante su fabricación, ensamblaje y puesta en marcha, fue importante hacer pruebas de funcionamiento que acreditan el éxito en la aplicación de trabajo para lo cual se han destinado y en consecuencia se realizó la propuesta de una de las prácticas con la intención de que se incorpore como material didáctico de apoyo a la enseñanza en los laboratorios de ingeniería mecánica para el área de la manufactura.

2.1. DISEÑO DEL MATERIAL PROPUESTO

Se hizo un análisis de los principales requerimientos y necesidades en el área de fundición de la Facultad, para seleccionar los elementos necesarios del método propuesto para la primera práctica. Después de identificados y en función de estos, se eligieron los parámetros generales que rigen el diseño, los implementos necesarios y faltantes para su realización, así como también el alcance que se tiene para lograrlo.

2.1.1. PARÁMETROS DE DISEÑO EN FUNCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DEL ÁREA DE FUNDICIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Como requerimientos se tiene la puesta en uso de la máquina de percusión y prensado (jolt and squeeze machine) con la que se cuenta en el área. Este es el principal parámetro para la selección del método propuesto y para el diseño del mismo. Esta máquina es comúnmente usada en los procesos de fundición industriales que requieren de la producción con costos razonables y a gran escala, tiempos cortos de operación, amplia flexibilidad en las formas geométricas de las piezas y que requieren de un trabajo mínimo de maquinado posterior. El empleo de este equipo en la industria hace atractivo su uso en una de las prácticas propuestas.



Figura 14. Moldeo en arena verde con maquina compactadora y percusión. [X]

Obtener una selección más amplia y con menores restricciones en las formas geométricas y superficies de las piezas generadas, es en el desarrollo ingenieril otro requerimiento que nos da otro parámetro de diseño. Mediante el moldeo de placa con modelo bipartido es posible aplicar de forma libre la implementación del uso de corazones para piezas que son huecas, así como la obtención de formas sin caras planas y que por el contrario su superficie puede ser tan irregular como completamente escabrosa, según sea el requerimiento del diseño geométrico de la pieza en cuestión. Romper con esta limitante nos da una herramienta en el desarrollo del aprendizaje, y aún más importante, en la aplicación del método, pues en aras de investigación y desarrollo científico-tecnológico, se pueden obtener piezas difíciles o que pueden ser imposibles mediante algún otro método de fabricación.



Figura 15. Pieza fundida demasiado intrincada. [XI]

2.1.2. PARÁMETROS DE DISEÑO EN FUNCIÓN DE LAS NECESIDADES DEL ÁREA DE FUNDICIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

El reducido espacio en el área de fundición de la Facultad es una restricción que se considera en el diseño en materia de medidas de seguridad, el orden de las cosas y los espacios adecuados de trabajo son vitales. Evitar los riesgos es una medida de seguridad que esta normada para su debido uso y precaución. Es una gran responsabilidad moral y legal para la o las personas encargadas de la realización del proceso y del lugar en que se operan dichas actividades.

En las prácticas de fundición de la Facultad los alumnos forman parte del grupo practicante mediante brigadas de 3 o más personas, ocupan aproximadamente 1.5 horas para la elaboración del molde, esta actividad acota el tiempo necesario para el entendimiento y realización de la práctica, y podría utilizarse para la elaboración de más moldes y obtener piezas por persona. Sería conveniente si cada alumno conserva una pieza para analizar y evidenciar distintos tipos de defectos presentes y analizar como mitigar su presencia, o bien, para realizar pruebas a las arenas de permeabilidad, contenido de aglutinante, humedad, etc. Sería conveniente poder lograr que los alumnos realicen un análisis de todos los factores involucrados mediante el conocimiento

adquirido tanto en la teoría como en la experiencia vivida durante la realización de la práctica, para así contribuir a un aprendizaje significativo y que no sea solamente una cuestión de azar si se logran obtener piezas exitosas sin poder dar respuesta a los distintos ¿por qué?

En la Tabla 1 se muestran los parámetros de diseño para el método fundición de moldeo con modelo bipartido en placa.

Tabla 1. Parámetros de diseño al método de moldeo con modelo bipartido en placa

EN FUNCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS	EN FUNCIÓN DE LAS NECESIDADES
Reducción de tiempo de moldeo	Evitar riesgos de seguridad debido a los reducidos espacios
Uso de la máquina de percusión y prensado	Acotamiento de tiempos para las diferentes operaciones del proceso
Amplia selección en las formas geométricas de las piezas	Elaboración de más moldes en menos tiempo
Facilidad en la implementación del uso de corazones	Piezas coladas por persona para el análisis individual
Aplicación en la investigación y desarrollo científico-tecnológico	Control de parámetros del proceso

2.1.3. DISEÑO DE ADITAMENTOS NECESARIOS PARA EL MÉTODO

En función de los parámetros expuestos se diseñan los aditamentos necesarios para el método de fundición propuesto. Como se sabe, el método requiere de algunos componentes para poder llevar a cabo el proceso, estos son una caja de moldeo con sus accesorios de operación, el modelo bipartido en placa y la máquina de percusión y prensado.

2.1.3.1. CAJA DE MOLDEO

La caja para el moldeo está conformada por dos semi-cajas, mitad superior y mitad inferior (denominadas "Cope" y "Drag" respectivamente por la AFS), para el diseño que aquí se presenta ambas mitades tienen las mismas dimensiones y cuentan con guías de acoplamiento que alinean la cavidad impresa en la arena por el patrón del modelo. Su diseño se rige por los parámetros de diseño.

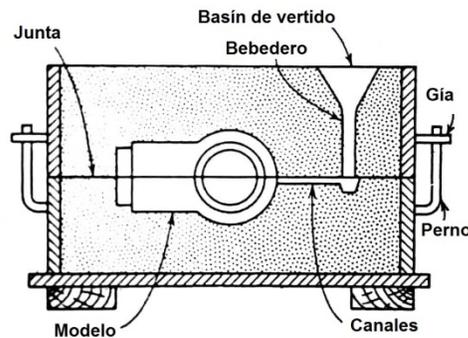


Figura 16 Caja de moldeo

2.1.3.1.1. DISEÑO GENERAL

Las dimensiones de las mitades de las cajas están limitadas por la máquina moldeadora, el área de la base de la caja de moldeo deberá ser menor o en extremo del tamaño de la plataforma de percusión (Jolt table). Las dimensiones de la plataforma disponible en el área de fundición son 500mm de largo por 400mm de ancho. La altura de las semi-cajas en conjunto esta también restringida por la máquina, pues esta tiene cierta longitud de separación entre la plataforma de percusión y la plataforma superior de compresión, (squeeze head). Esta abertura debe permitir entrar la caja de moldeo, y también poder maniobrar la caja pues esta se rota para cambiar la base de apoyo durante el proceso de moldeo.

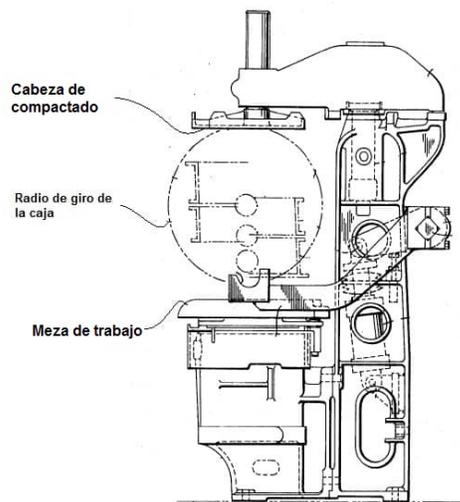


Figura 17. Squeeze head, jolt plate y radio de giro de la caja. [XII]

La máquina moldeadora tiene una abertura máxima entre la mesa de trabajo (jolt plate) y la cabeza compactadora (squeeze head) de 500mm. Tomando este dato como referencia, y en atención a las restricciones de la máquina, las dimensiones de la caja quedaron en 480mm de largo por 380mm de ancho por 212mm de altura considerando para esta última dimensión el espesor de la placa modelo (Figura 18).

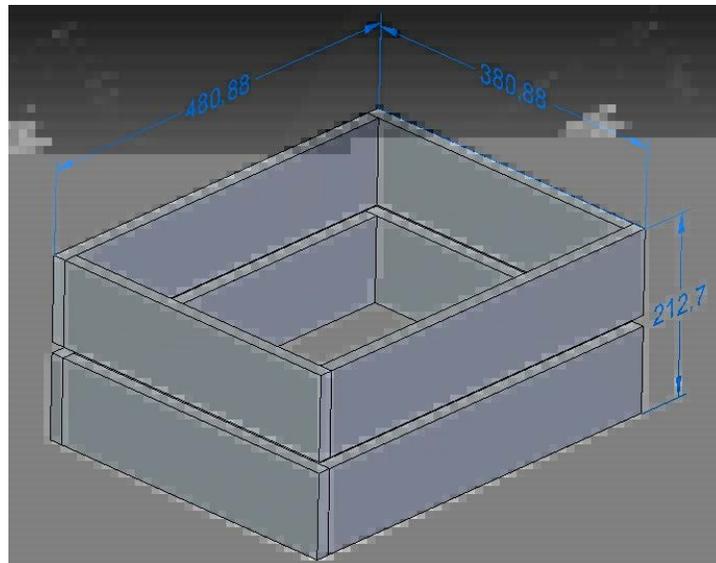


Figura 18. Modelo en 3D (CAD) de las dimensiones de la caja

En atención a la limitante de espacio, la caja es plegable, es decir, puede armarse y desarmarse como caja. Existen dos razones importantes que avalan esta propuesta de diseño, una es que la caja permitirá mediante esta aplicación generar los moldes, pero una vez que estos se han terminado no será necesario que forme parte de ellos en la operación de vertido y podrá retirarse para la elaboración de moldes en serie; la segunda razón es para ahorrar espacio, pues será mejor tener solo un par de estas cajas generando moldes que una por cada molde, además el área de fundición es un espacio reducido que necesita optimizar los espacios vitales por seguridad. Otro aspecto importante es que, para evitar los riesgos de que sufra daños por agentes externos, puede ser guardada de manera cómoda, utilizando el menor espacio posible para mantener el orden dentro del área de fundición y previniendo algún tipo de accidente, principio básico del protocolo de seguridad de cualquier área de trabajo.

Para que las cajas pudieran ser plegables se diseñó un sistema de movimiento angular con un grado de libertad, este se ensambla a tres de los lados que unen las paredes de la caja. Este sistema permite que las paredes de las semi-cajas puedan abrirse y perder la forma cuadrada de la caja alineándose sobre un plano cada pared con su adyacente en serie. La esquina restante es la esquina de ensamble móvil para formar la caja, y consta de un sistema que le permite unir las paredes.

Para facilitar el trabajo de fabricación, el sistema de movimiento de cada una de las tres esquinas está integrado por la unión coaxial entre seis bisagras en serie, así están repartidas entre ambas semi-cajas. Estas se clasificaron mediante una nomenclatura que indica la posición vertical en la esquina y la semi-caja a la que pertenece, que puede ser superior o inferior. De esta manera se identifica el tipo de bisagra que se necesita y, si se repiten a lo largo del sistema para contabilizar el número de piezas necesarias. El siguiente esquema muestra lo anterior en forma ilustrativa.

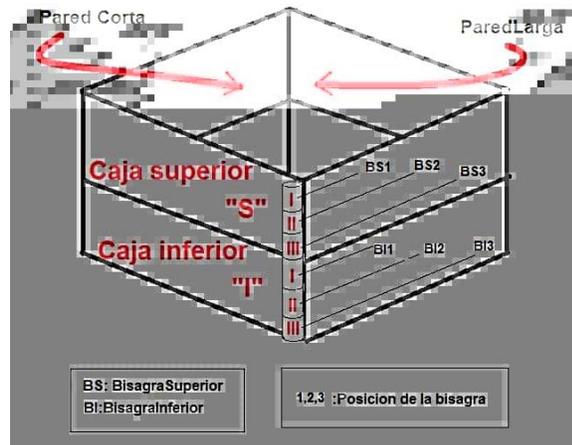


Figura 19. Diagrama de la nomenclatura de bisagras

Cada semi-caja cuenta con tres bisagras, la caja superior se acopla a través de un orificio que se inserta en un perno que tiene la caja inferior, este acople sirve a su vez como guía para su ensamble posterior en el proceso de moldeo. Las disposiciones de las bisagras están puestas para mantener unidas y móviles las paredes en todo momento y se configuraron como se muestra a continuación.

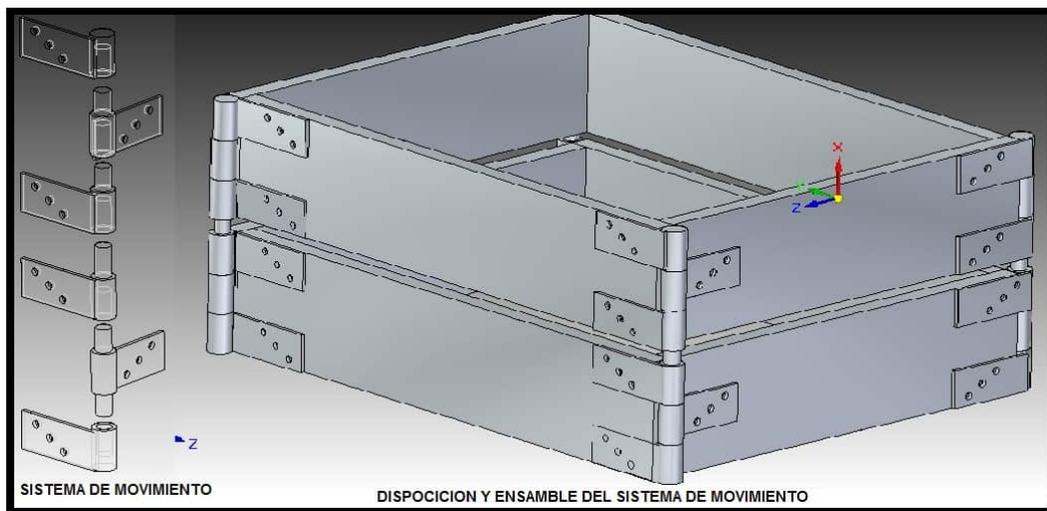


Figura 20. CAD de configuración del sistema de movimiento de la caja

De acuerdo con la imagen anterior y siguiendo la nomenclatura de bisagras se sabe que para integrar el sistema las bisagras **BS1** y **BI3** son de la misma forma y dimensiones, así que por cada sistema se van a requerir dos bisagras de este tipo que llamaremos bisagra de conjunto “ α ”, las bisagras **BS2** y **BS3** también son de la misma forma y dimensiones, a este conjunto lo nombraremos “ β ”. Las bisagras restantes son las bisagras **BI1** y **BI2**, estas tienen formas y dimensiones diferentes, y se denominarán por su nombre.

2.1.3.1.2. DIMENSIONES DE LAS BISAGRAS

En conjunto, el sistema de bisagras se calculó en función del alto de la caja, esta tiene una altura de 200mm sin considerar la placa, esta medida se dividió entre las 6 bisagras que

lo integran y el resultado forma parte de la dimensión del barril de cada bisagra 33.3mm de altura con un diámetro de 19.05mm ($\frac{3}{4}$ ""). Las bisagras están integradas con una pestaña de 31.75mm ($\frac{5}{4}$ "") de ancho, 76.2mm (3") de largo y 3.175mm ($\frac{1}{8}$ "") de espesor. Esta pestaña está adherida de una forma en particular a cada barril según la posición de colocación, esto le permite a la caja tener la forma cuadrada deseada.

Conjunto "α"

El conjunto alfa (Figura 21) es una bisagra que tiene posición en los extremos del sistema y que solo se conforma por tener un barreno concéntrico en una de sus caras con un diámetro de 12.7mm ($\frac{1}{2}$ ""), la profundidad del barreno es de 22.22mm ($\frac{7}{8}$ "").

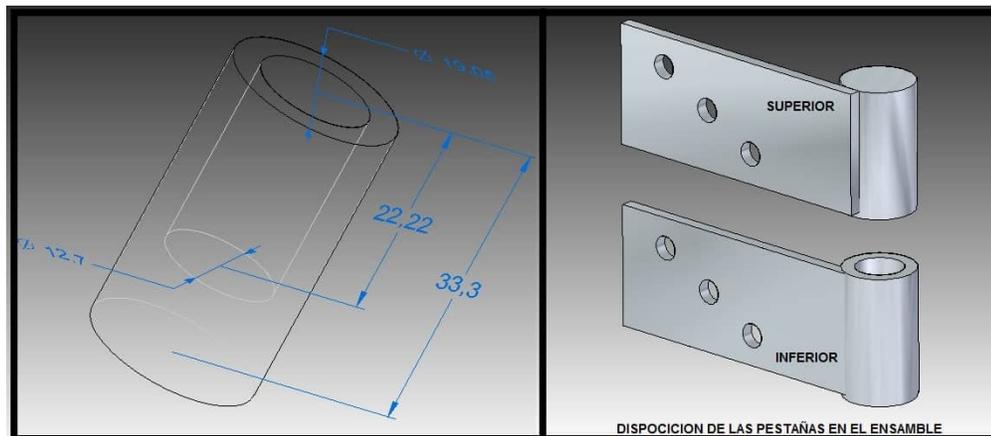


Figura 21. CAD del conjunto "α"

Conjunto "β"

El conjunto beta (Figura 22) es una bisagra que se repite dos veces en el sistema, su posición es en la caja superior y le corresponde el número 2 y 3. Esta bisagra tiene en una de sus caras un barreno concéntrico con un diámetro de 12.7mm ($\frac{1}{2}$ "") con una profundidad de 25.4mm (1"). En el otro extremo tiene un perno concéntrico con un diámetro de 12.7mm ($\frac{1}{2}$ "") y con una altura de 19.05mm ($\frac{3}{4}$ "").

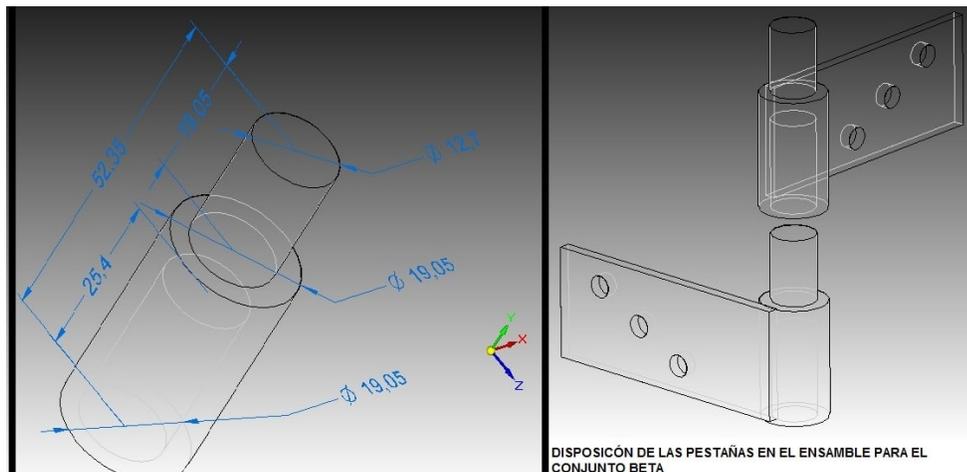


Figura 22. CAD del conjunto "β"

Bisagra BI1

Esta es una bisagra que nos permite ensamblar la caja de moldeo en conjunto, es decir unir ambas semi-cajas por medio de un perno en cada una de las esquinas. Esta bisagra tiene en una de sus caras un barreno con un diámetro de 12.7mm ($\frac{1}{2}$ "") con una profundidad de 22.22mm ($\frac{7}{8}$ ""). Por el otro extremo tiene un perno de acoplamiento con un diámetro de 12.7mm ($\frac{1}{2}$ "") con una altura de 25.4mm (1"") (Figura 23).

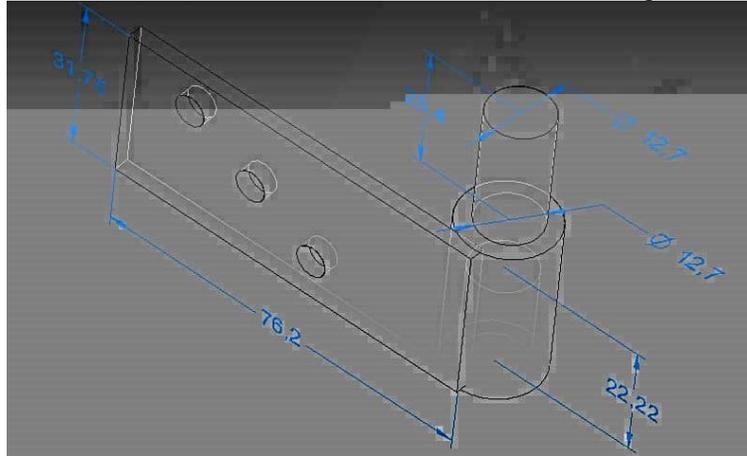


Figura 23. CAD de la bisagra BI1

Bisagra BI2

Esta bisagra (Figura 24) solo se encuentra una vez en el sistema, su posición es en la caja inferior con número 2. En el diseño de esta pieza se tiene por ambas caras un perno con un diámetro de 12.7mm ($\frac{1}{2}$ ""), y una altura de 19.05mm ($\frac{3}{4}$ "").

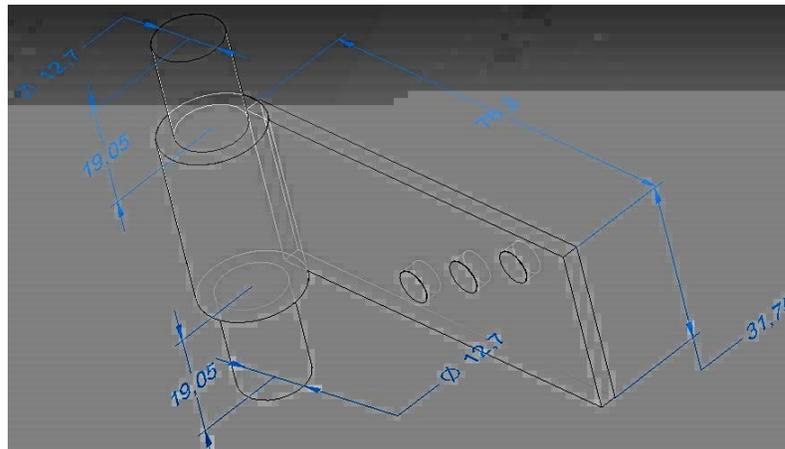


Figura 24. CAD de la bisagra BI2

2.1.3.1.3. SISTEMA DE UNIÓN EN LA ESQUINA DE DESENSAMBLE DE CAJA

Sirve para formar la caja, se conforma por cuatro bisagras a lo alto de toda la caja, dividiendo los 200mm de altura entre las cuatro bisagras obtenemos que cada barril tiene una altura de 50mm (2""). Cada bisagra tendrá una configuración especial para permitir el ensamble y el desensamble independiente de cada semi-caja, y a su vez el ensamble en conjunto de la caja para la hora de la operación de moldeo. En la semi-caja superior tendremos dos bisagras, de arriba hacia abajo la primera será la *bisagra de ensamble*

superior uno “**BES1**”, la segunda es la *bisagra de ensamble superior dos* “**BES2**”, en la semi-caja inferior tendremos en el mismo orden la *bisagra de ensamble inferior uno* “**BEI1**” y la *bisagra de ensamble inferior dos* “**BEI2**”. El diseño y función de cada una de estos componentes de ensamble se muestra a continuación.

Bisagra BES1

Está colocada en la parte superior de la caja. El diseño de esta bisagra (Figura 25) es la unión de una de las paredes de la semi-caja superior con su pareja, su cuerpo funcionará también como seguro al pasador que unirá ambas bisagras, por ello, está barrenada coaxialmente con un diámetro de 12.7mm ($\frac{1}{2}$ ”) a lo largo de las 50mm (2”) que tiene de altura, el diámetro del barril es el mismo que el que tienen las demás 19.05mm ($\frac{3}{4}$ ”). Para contener en su lugar al pasador, en la parte superior tiene una ranura que desciende con la altura, atraviesa la pared del cilindro y tiene forma de “L”, el ancho de la ranura será de 6.35mm ($\frac{1}{4}$ ”).

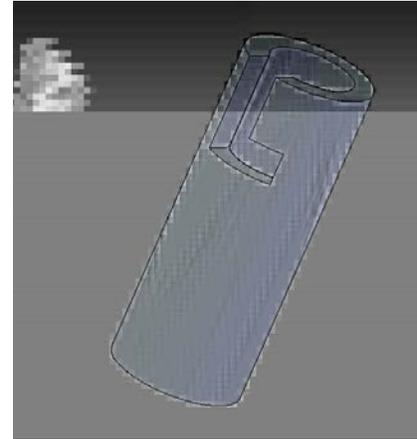


Figura 25. CAD de la bisagra BES1

Bisagra BES2

Está colocada debajo de la bisagra BES1 en forma coaxial. La función de esta bisagra es ensamblarse con la de arriba para unir ambas paredes y así formar la semi-caja superior. Coaxialmente a lo largo de su cuerpo contiene un barreno de 12.7mm ($\frac{1}{2}$ ”) para que entre el pasador. A la mitad de la altura tiene una ranura que atraviesa la pared del cilindro con el fin de que por ahí pase un perno que asegure el pasador a la bisagra (Figura 26).

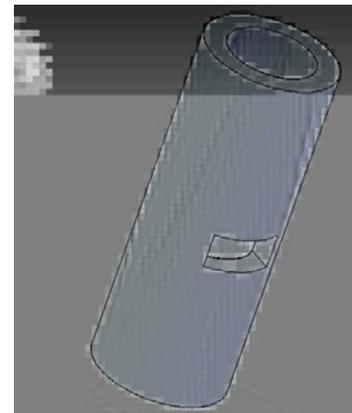


Figura 26. CAD de la bisagra BES2

Bisagra BEI1

Está colocada en una de las paredes que forman la semi-caja inferior y en la parte superior de ésta, de esta manera forma parte del ensamble de la semi-caja inferior pero a su vez también tiene la función de ensamblarse con la semi-caja superior. Para lograrlo está barrenada al igual que las demás a lo largo de su cuerpo cilíndrico para permitir que se desplace en su interior dos pernos de 12.7mm ($\frac{1}{2}$ ”) de diámetro, uno de ellos está siempre dentro (Pasador prisionero), y es el que permite el acoplamiento con la semi-caja superior, el segundo perno es el que permite el ensamble de la semi-caja. Para mantener dentro el perno de acoplamiento, la bisagra tiene cerca de la

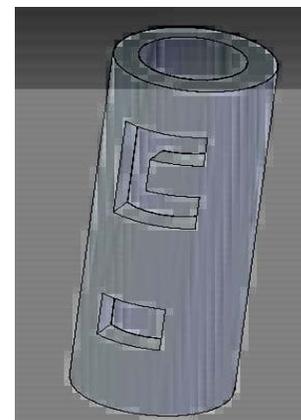


Figura 27. CAD de la bisagra BEI1

parte superior del cuerpo una ranura en forma de “C” que atraviesa la pared del cilindro para permitir el desplazamiento del pasador hacia arriba y hacia abajo atorándose en las patas laterales de la “C” para su fijación (Figura 29). Para el pasador de ensamble de semi-caja en la parte inferior consta de una ranura en donde entrara un perno que atora el pasador.

Bisagra BEI2

Está colocada debajo de la BEI1 y se ensambla a ésta para formar la semi-caja inferior. Tiene un barreno coaxial a lo largo de su cuerpo con un diámetro de 12.7mm ($\frac{1}{2}$ ”). Como el pasador entra por abajo, se hace una ranura que atraviesa la pared del cilindro a lo largo de abajo hacia arriba en forma de “L”, así podrá atorarse el pasador y mantener en unión la semi-caja inferior, el ancho de la ranura será de 6.35mm ($\frac{1}{4}$ ”) (Figura 28).

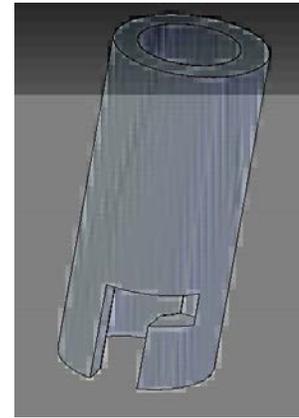


Figura 28. CAD de la bisagra BEI2

2.1.3.1.4. PAREDES DE LA CAJA

Las paredes de la caja son de forma rectangular y tienen una configuración de ensamble que debe de considerarse para permitir que se forme la caja con ángulos rectos en cada una de sus esquinas (Figura 29). Esta configuración es cubriendo un extremo de cada pared con la pared adyacente que se enfila para que en su extremo opuesto tenga esta misma colocación y así sucesivamente hasta cerrar la caja.

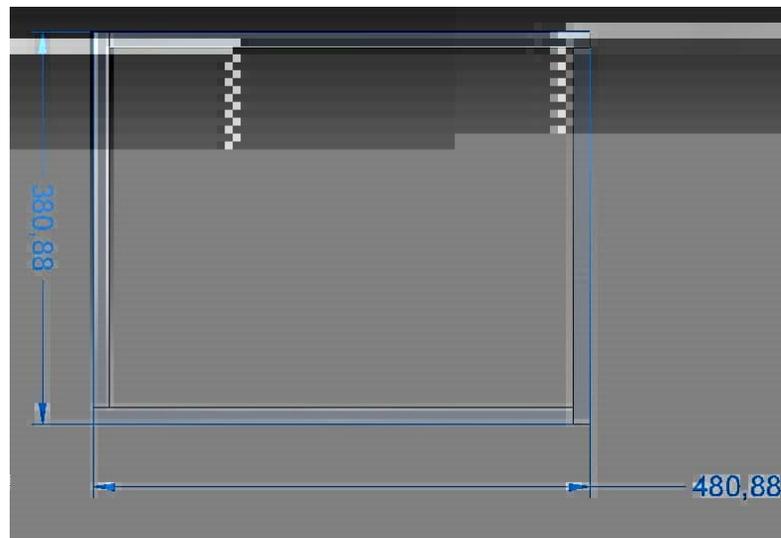


Figura 29. CAD de posición de ensamble de las paredes de la caja

Pared corta

Esta es la pared con la longitud menor (Figura 30), su dimensión está en función de las dimensiones de la mesa de trabajo de la compactadora. Las dimensiones a lo largo para esta pared son de 374mm por 100mm de ancho y un espesor de 6.35mm ($\frac{1}{4}$ ”).

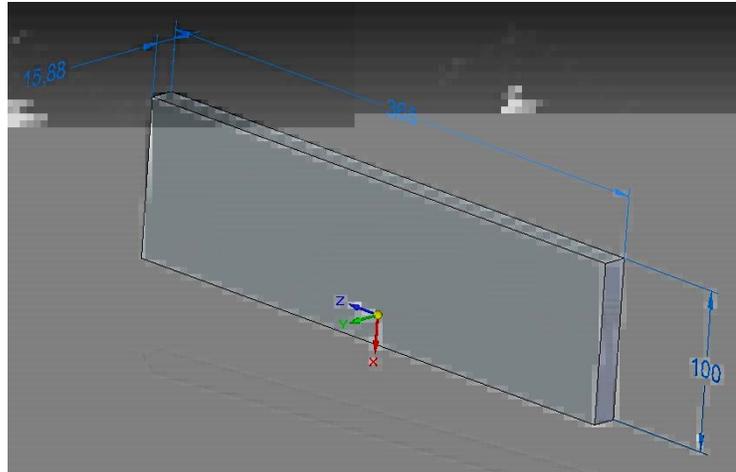


Figura 30. CAD de paredes cortas de la caja

Pared larga

Esta es la pared con la longitud mayor (Figura 31), su dimensión está en función de los mismos parámetros que la pared corta. Las dimensiones a lo largo para esta pared son de 474mm por 100mm de ancho y un espesor de 6.35mm (1/4”).

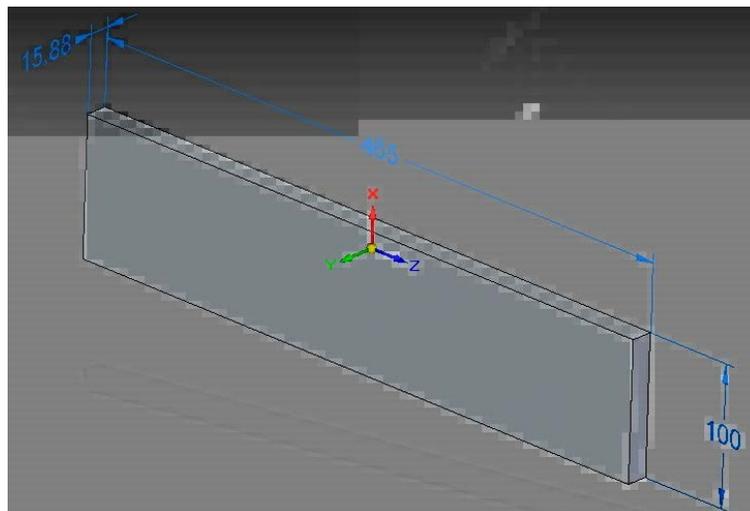


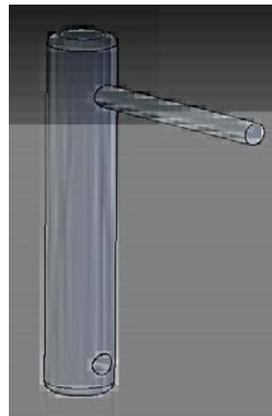
Figura 31. CAD de paredes largas de la caja

2.1.3.1.5. SISTEMA DE FIJACIÓN DE LAS SEMI-CAJAS

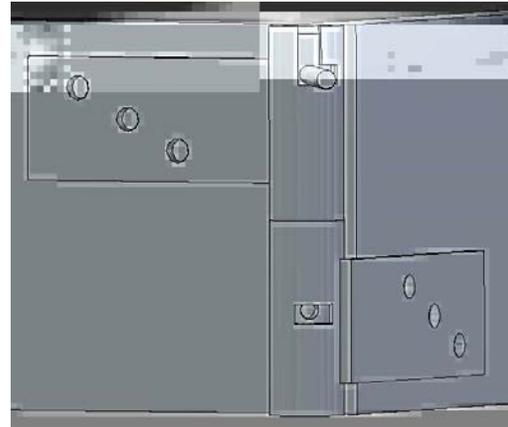
Pasador superior

El sistema de fijación de semi-caja superior se compone de dos bisagras casi idénticas, ambas tienen el mismo diámetro de barril que las del sistema de movimiento y una longitud de 55mm (2”), solo que para fijarla se requiere de un pasador que pasa entre ambas bisagras y se atornilla en una de ellas para lograr la unión, el pasador pasa a través de ambas bisagras (Figura 32), entra por la BES1 y pasa hasta la mitad de la BES2, en esta última se atornilla por medio de la ranura de la bisagra hasta el pasador mediante un

perno externo para así asegurar su posición. Las dimensiones del pasador están relacionadas a su función y limitadas por estas. El diámetro es de 12.7mm ($\frac{1}{2}$ ") y la altura es de 82.55mm, de esta manera el pasador entrará sin problema en las bisagras y solo llegará poco más de la mitad de la segunda bisagra.



Pasador S

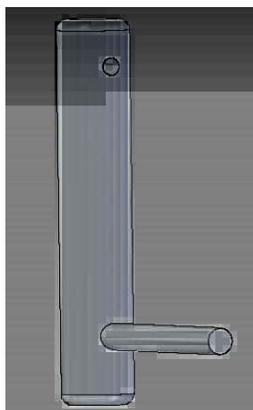


Ensamble del pasador S

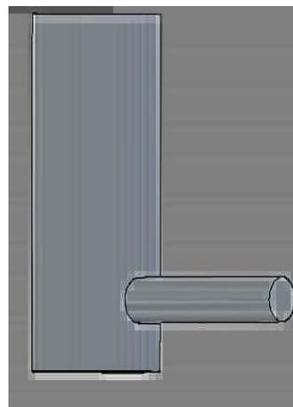
Figura 32. CAD del pasador S (superior) y su ensamble

Pasador inferior y pasador prisionero

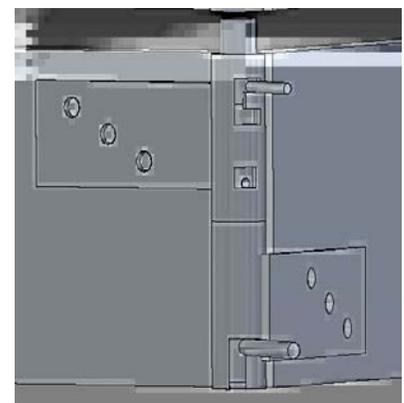
El ensamble de la semi-caja inferior está hecho casi de manera similar a la de la superior, el sistema se compone de dos bisagras que unen ambas paredes de la semi-caja mediante un pasador (Figura 33). El pasador corre de abajo hacia arriba atorándose mediante pernos a las bisagras, las dimensiones en diámetro son las mismas que el pasador superior y la longitud es de 69.05mm ($2\frac{3}{4}$ "). El pasador que permanece dentro de la bisagra (pasador prisionero) BEI1 y corre a la BES2 tiene el mismo diámetro y su longitud es de 25.4mm (1"). Esta longitud es suficiente para ensamblar con la semi-caja superior.



Pasador I



Pasador prisionero



Ensamble de pasadores

Figura 33. CAD del pasador I (inferior) y el pasador prisionero

El sistema de fijación de la caja le permite mantenerse en forma para la operación de moldeo, así como también permite que pueda desensamblarse cuando se prepara el molde para la operación de vertido. Este hecho es conveniente para tener una producción de moldes en serie. La siguiente ilustración muestra el CAD con ambas propiedades del diseño.

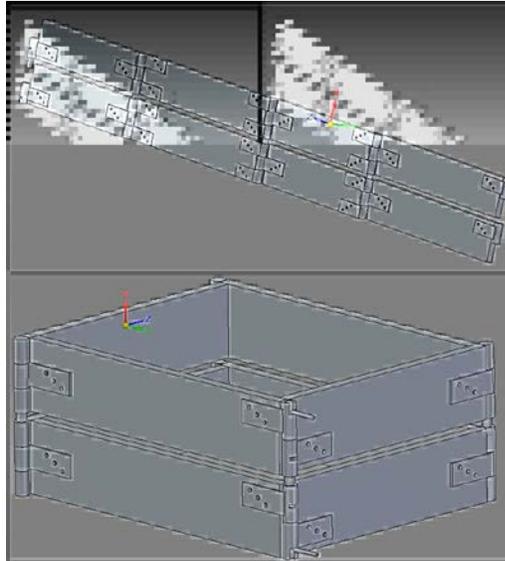


Figura 34. CAD del sistema plegable de la caja

2.1.3.1.6. SISTEMA DE SUJECIÓN

Para operar la caja de manera segura y cómoda se diseñó un sistema de sujeción para cargar la caja entre una o dos personas que es lo recomendable, y también un sistema de auto sujeción para evitar riesgos de desensamble por parte de ambas semi-cajas durante las operaciones de moldeo.

Manijas de sujeción

Están diseñadas para poder manipular y cargar la caja durante las operaciones que se realicen con ella (Figura 35), cada semi-caja cuenta con dos de estas manijas colocadas cada una en las paredes largas, el diseño, las dimensiones y su colocación se muestra a continuación.

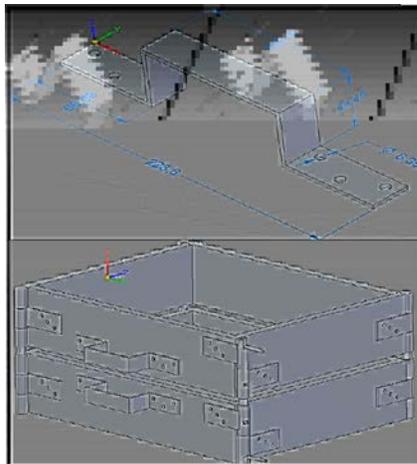


Figura 35. CAD de las manijas de sujeción de la caja

Seguros de alabas al moldeo

Este sistema (Figura 36) se integra por un gancho que está sujeto a una de las semi-cajas y en la otra semi-caja se encuentra colocado un perno que es el seguro donde el gancho se sujeta para mantener unida la caja en conjunto, de esta manera se puede realizar el proceso de moldeo con la caja sin riesgos que se puedan llegar a separar.

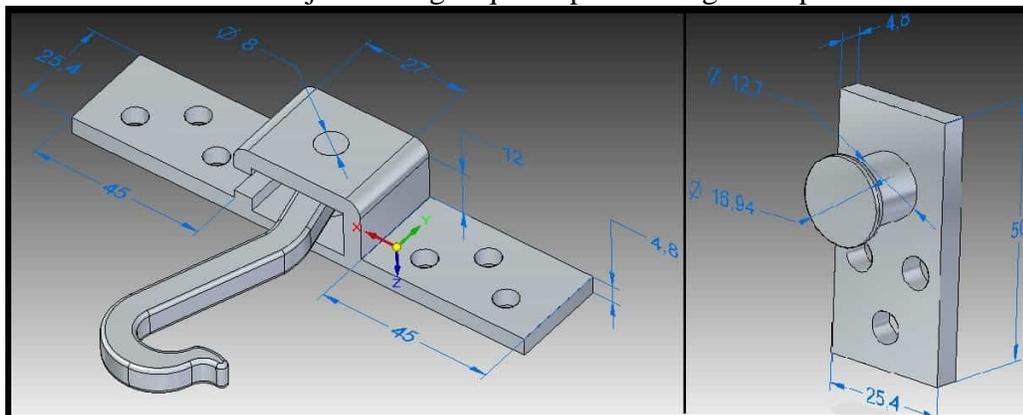


Figura 36. CAD del gancho de sujeción y perno de sujeción

La colocación de este sistema es en las paredes cortas de la caja como se muestra en la siguiente imagen.



Figura 37. CAD del sistema de auto sujeción

Esta última imagen muestra el diseño que tiene la caja, con todos los elementos que la integran para cumplir con su función en el proceso de moldeo.

2.1.3.1.7. TAPAS SUPERIOR E INFERIOR DE PRENSADO

Las tapas de prensado de la caja de moldeo son rectangulares, tienen las dimensiones internas de la base de la caja, esto se justifica porque su función es ayudar a la máquina a compactar arena dentro de la caja.

Tapa superior de prensado

La tapa superior de prensado obedece el diseño del sistema de alimentación, en específico del bebedero (Figura 38). El bebedero necesita salir de la parte o zona de compactación para que la cavidad quede expuesta, el diseño de la tapa debe de asegurar que esta

condición se cumpla. Para lograrlo la tapa es una placa rígida y resistente de forma rectangular, a lo largo de la cual se extienden en paralelo tres viguetas equidistantes que serán el soporte externo de la compactación y tienen una altura apropiada para que el bebedero salga por entre la tapa mediante un barreno antes de que choque con la cabeza o meza de compactación. La ubicación del barreno se determina mediante el diseño del sistema de alimentación respecto a la caja de moldeo.

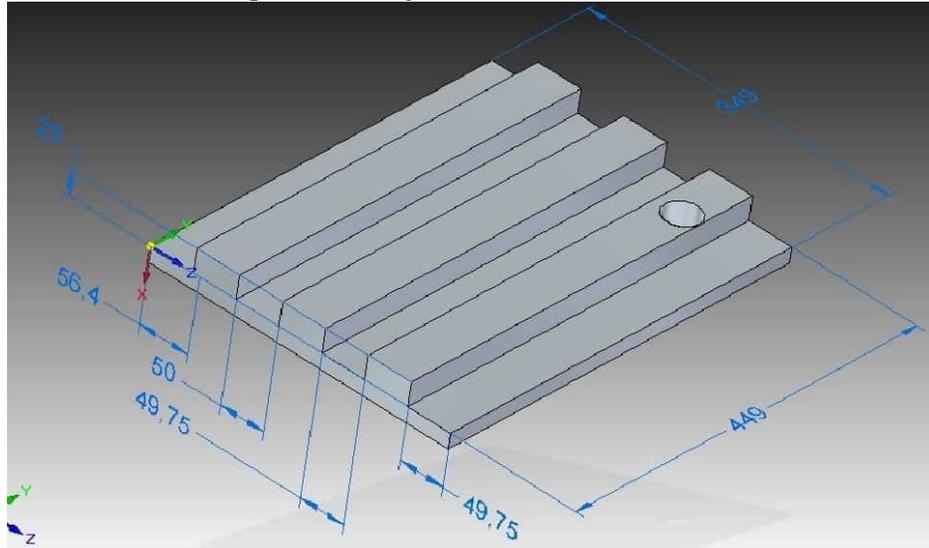


Figura 38. CAD de la tapa superior de prensado

Tapa inferior de prensado

La tapa inferior de prensado (Figura 39) es de la misma forma y dimensiones que la tapa superior, la parte del diseño que es diferente se debe al procedimiento en la etapa de moldeo, para el cual se requiere que esta cuente con un mecanismo de sujeción que asegure firmemente la tapa a la caja. Por otro lado, en el diseño ninguna parte del sistema de alimentación cruza las fronteras del molde, por ello no está barrenada y todo el medio que la compone es continuo.

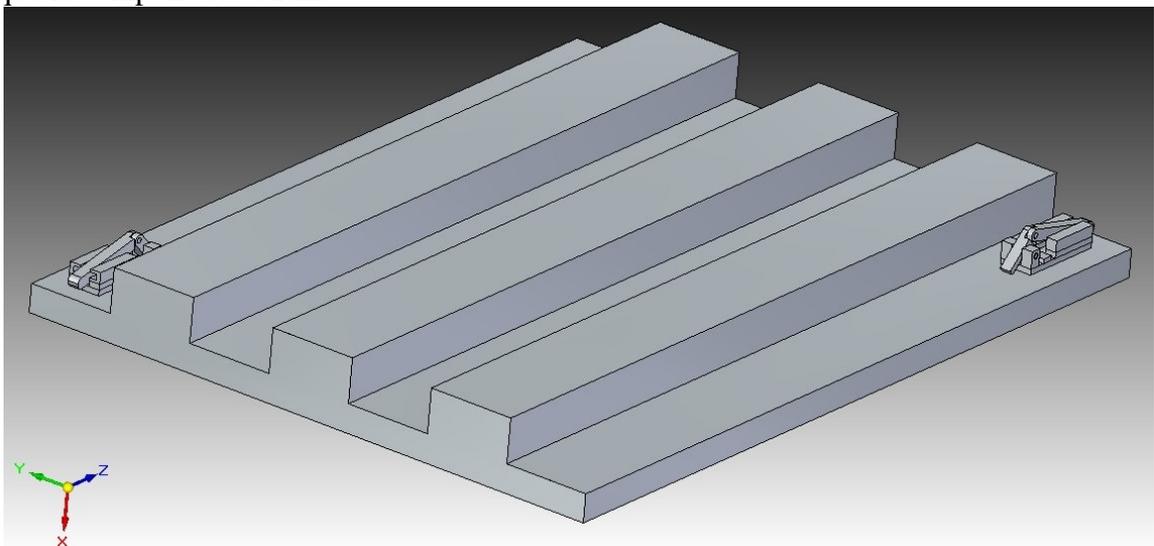


Figura 39. CAD Tapa de prensado inferior

Mecanismo en la tapa inferior de prensado

La tapa inferior de prensado tiene un mecanismo (Figura 47) mediante el cual se fija a las paredes internas de la semi-caja inferior, esto es necesario para la operación de moldeo. Su diseño es de pequeñas dimensiones para evitar que partes de su sistema entren en contacto con las partes de la compactadora durante esta operación, por ello la altura total del mecanismo no rebasa la altura de las viguetas de la tapa inferior de prensado. El diseño está hecho por un mecanismo de manivela biela y corredera, como esta ensamblado a la tapa inferior de prensado su función es mantener la tensión con la pared de la caja, de esta manera se mantiene en su lugar durante la operación de moldeo.

- **Manivela**

La manivela conecta con la biela y ambas suben y bajan la posición de sus extremos que se encuentran unidos (Figura 40). La forma del cuerpo es la de un prisma rectangular con una longitud de 27mm, la sección es cuadrada con lado de 6.35mm ($\frac{1}{4}$ "'). Para ensamblarse con la biela uno de los extremos tiene una reducción de sección reduciendo dos de sus lados a 3.175mm ($\frac{1}{8}$ "') a lo largo de 7.93mm ($\frac{5}{16}$ "') y el extremo tiene un redondeo con un diámetro de 6.35 ($\frac{1}{4}$ "'), también tiene un barreno de 3.175mm ($\frac{1}{8}$ "') concéntrico al redondeo. A 10mm del centro del barreno se encuentra el barreno del punto fijo de apoyo con un diámetro de 3.175mm ($\frac{1}{8}$ "'). En el otro extremo tiene una reducción de sección de 3.175mm ($\frac{1}{8}$ "') y es perpendicular a la de ensamble con la biela, así evita chocar con la base del mecanismo.

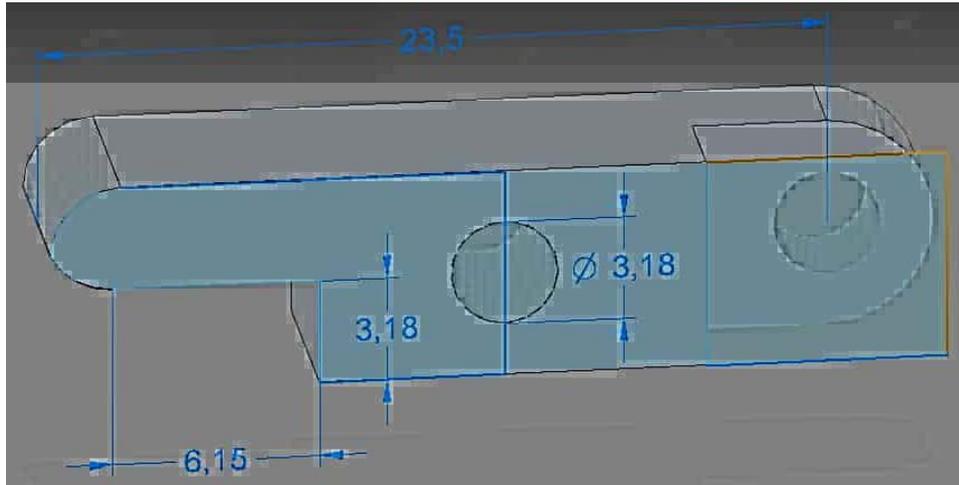


Figura 40. CAD de la manivela

- **Biela**

La biela se une por uno de sus extremos a la manivela y en su cuerpo lleva un perno guía que va a la corredera. La longitud de esta pieza es de 54mm y su sección es cuadrada con lado de 6.35mm ($\frac{1}{4}$ "'). El extremo que se une a la biela tiene una reducción de sección en dos de sus lados a 3.175mm ($\frac{1}{8}$ "'), el extremo tiene un redondeo con un diámetro de 6.35mm ($\frac{1}{4}$ "'), así mismo el barreno está concéntrico al redondeo con un diámetro de 3.175mm ($\frac{1}{8}$ "'). A 34mm del barreno se encuentra el barreno para el perno guía con un diámetro de 3.175mm ($\frac{1}{8}$ "'), El extremo restante está redondeado a un diámetro de 6.35mm ($\frac{1}{4}$ "').

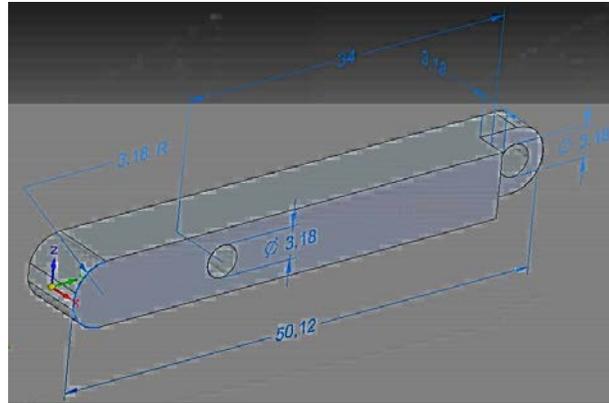


Figura 41. CAD de biela

- **Corredera**

La corredera es de sección cuadrada con lado de 6.35mm ($\frac{1}{4}$ "") la longitud es de 30mm, en una de sus caras tenemos un canal de 3.175mm ($\frac{1}{8}$ ""), 4mm de profundidad y que corre 25mm desde uno de los extremos hacia el otro.

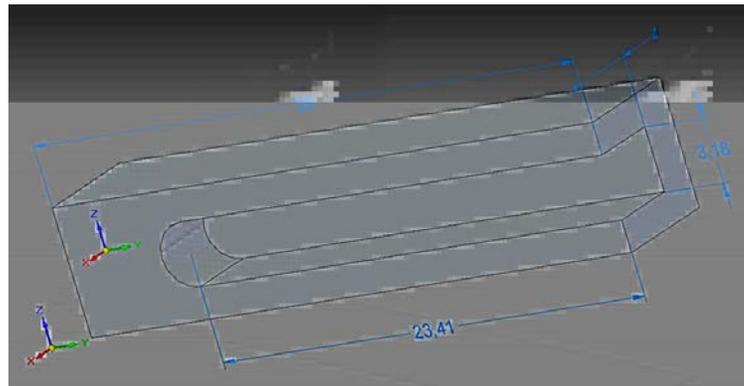


Figura 42. CAD de la corredera

- **Base de la corredera**

El diseño requiere que la corredera este a cierta altura de la base del mecanismo, para ello se agrega una base que tiene 30mm de longitud por 6.35mm ($\frac{1}{4}$ "") de ancho y 3.175mm ($\frac{1}{8}$ "") de alto. Esta pieza (Figura 43) es elegida para facilitar la obtención del material y la fabricación de la pieza.

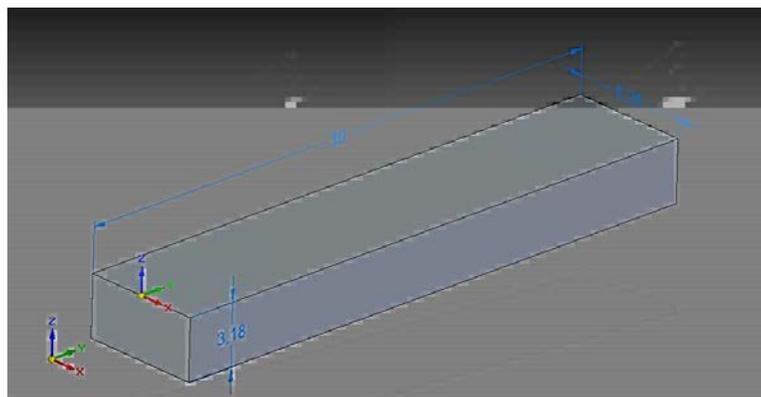


Figura 43. CAD de la base de la corredera

- **Estructura de soporte y ensamble a la tapa inferior**

El mecanismo tiene una estructura a la cual se encuentra unido y éste cuenta con dos aletas barrenadas que permiten a su vez fijarse a la tapa inferior de prensado. Está compuesto por varias piezas entre las que se encuentran los pernos de ensamble del mecanismo.

- **Base del mecanismo**

La base es una pequeña placa rectangular (Figura 44) de 50mm (2") de longitud por 19.05mm ($\frac{3}{4}$ ") de ancho y 6.35mm ($\frac{1}{8}$ ") de espesor. Sobre esta se fija la base de la corredera, el tope al mecanismo y el poste de la manivela.

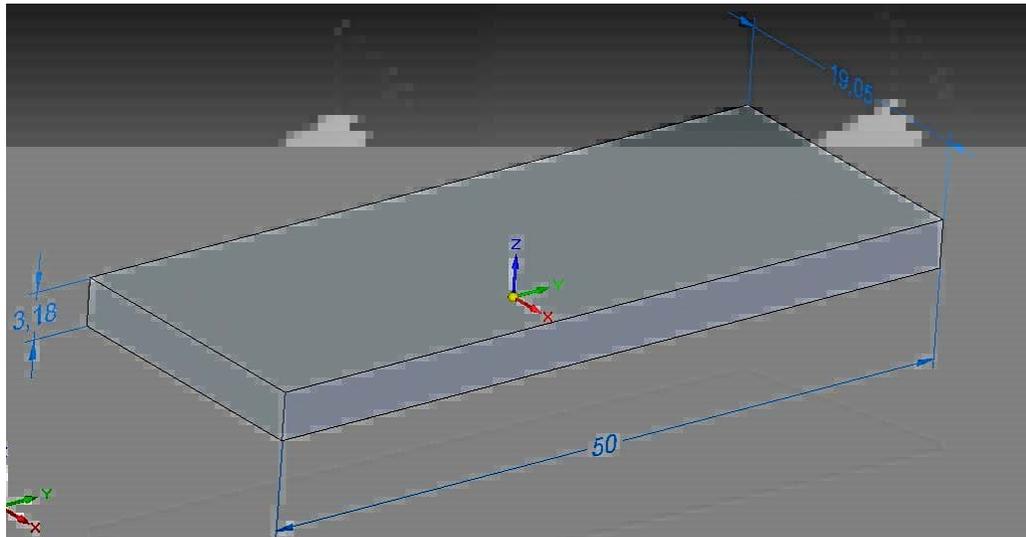


Figura 44. CAD de la base del mecanismo

- **Tope al mecanismo**

El tope al mecanismo es una pequeña pieza (Figura 45) que detiene el mecanismo cuando este desciende y pasa el punto de máxima tensión, así le permite un estado de mayor relajación haciendo que este quede prensado contra la pared de la caja. Las dimensiones son de 19.05mm ($\frac{3}{4}$ ") de longitud por 6.35mm ($\frac{1}{4}$ ") de ancho y 2.55mm de espesor.

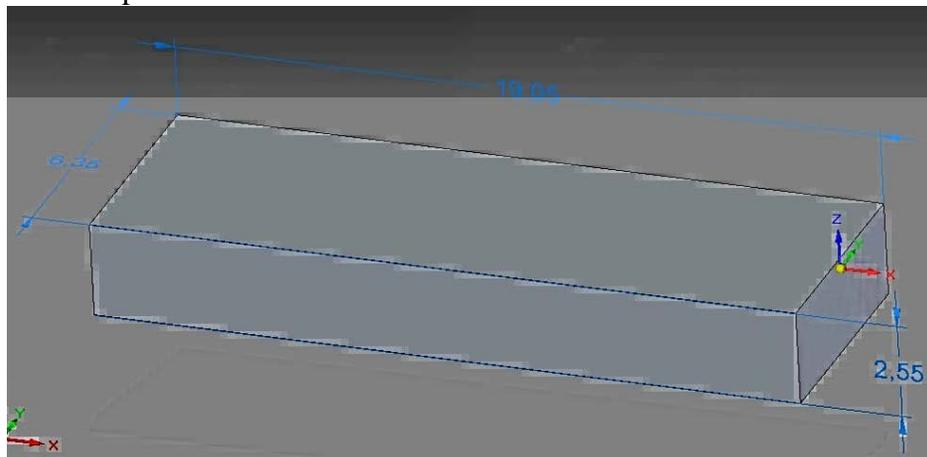


Figura 45. CAD del tope al mecanismo

- **Poste de la manivela**

Es de sección cuadrada con lado de 6.35mm ($1/4''$), su longitud es de 9.52mm ($3/8''$). En uno de sus extremos tiene un barreno de 3.175mm ($1/8''$) de diámetro que atraviesa su cuerpo para permitir el ensamble con la manivela.

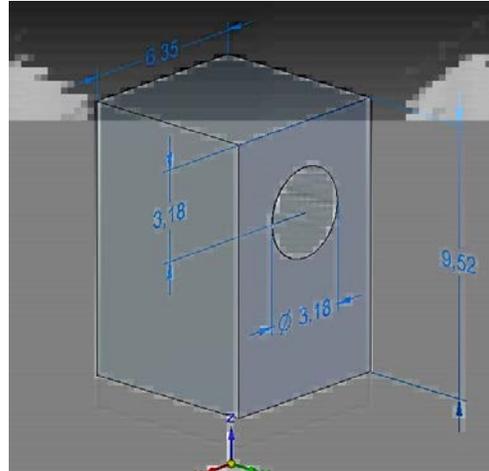


Figura 46. CAD del poste de la manivela

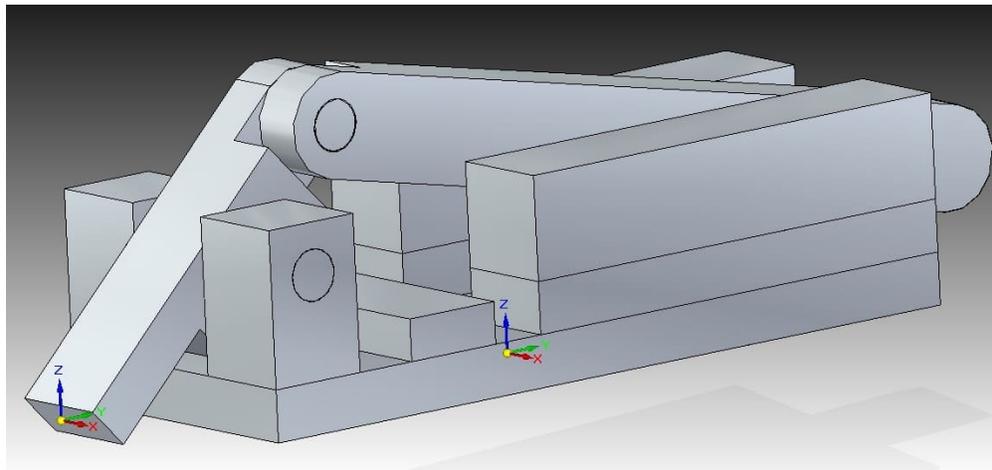


Figura 47. CAD del mecanismo de la tapa inferior de prensado

2.1.3.2. PLACA MODELO

La placa que lleva el modelo bipartido muy frecuentemente está hecha de una sola pieza, a menudo se hace de madera, si son de metal se obtienen mediante fundición en moldes de arena o de yeso llamadas placas modelos integrales, también se usan procesos de manufactura automatizados por control numérico debido a la alta precisión que requieren el patrón o modelo. “Las placas modelo generalmente se utilizan en máquinas de moldeo para obtener máxima velocidad de fabricación, aun cuando en ocasiones son susceptibles de ser utilizadas en bancos de moldeo con pisonetas manuales”. [8]

El diseño de la placa modelo está hecho por el ensamble de sus diferentes componentes, fabricando independientemente los mismos para su ensamble. Los componentes que se diseñaron para su obtención son: placa, modelo, sistema de alimentación integrado por los canales de alimentación y de ataque, pozo y bebedero.

2.1.3.2.1. PLACA

La placa (Figura 48) está diseñada tomando como parámetro las dimensiones de la caja y el diseño en general de la misma pues ésta se acopla a los pernos guías de ensamble y permite que el sistema de auto sujeción tenga libertad de funcionamiento. Recordando que la caja tiene de largo 480mm y de ancho 380mm se toman estas dimensiones para formar el cuerpo principal, como se sabe, las guías de acoplamiento rebasan estas dimensiones, se hacen extensiones en las esquinas de esta para poder acoplarla. Tomando estas consideraciones para el diseño la placa y sus principales dimensiones quedan como muestra la siguiente figura.

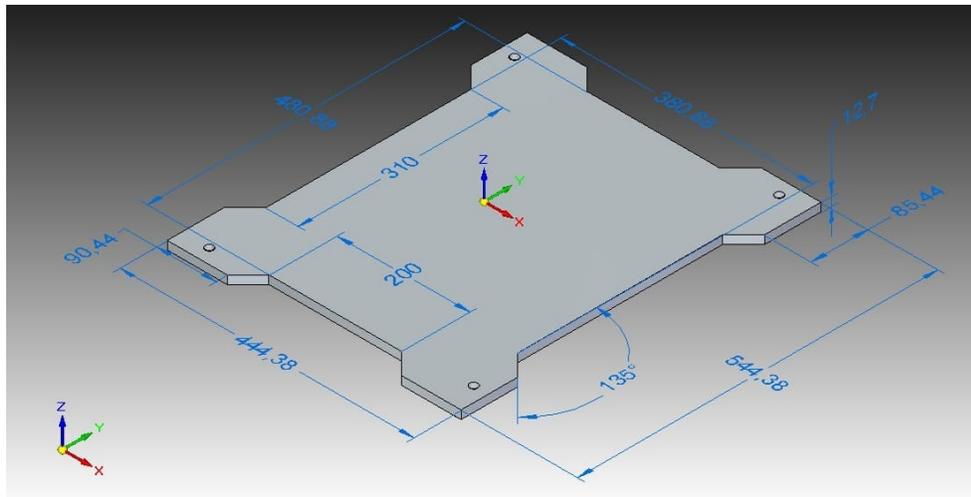
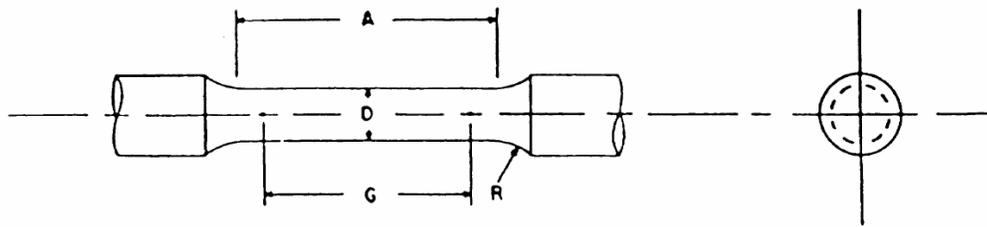


Figura 48. CAD de la Placa

2.1.3.2.2. MODELO

El modelo se propone con el propósito de que se pueda usar en trabajos de investigación o desarrollo en el futuro. El modelo a colar es una serie de seis probetas para ensayos de tracción para la caracterización de propiedades mecánicas como el límite de fluencia, elongación en el punto de fluencia, carga de rotura, elongación en rotura y reducción de área de acuerdo a lo establecido por la norma ASTM E8M-00.[9]

Se calculan las tolerancias correspondientes debidas a la contracción del aluminio, además se plantea el maquinado posterior en el torno para llegar a las dimensiones especificadas por la norma, esto como desarrollo de trabajo complementario para el aprendizaje en el laboratorio con lo cual se deja un excedente más para esta operación.



De acuerdo con Escacena Ventura J. (nd) las dimensiones de las probetas se tomaron en relación a lo establecido por la norma como:

A-Longitud de la sección reducida= 54mm

R-Radio del filete = 8mm

D-Diámetro= 9 ± 0.1 mm

G-Longitud del calibre= 45 ± 0.1 mm

Tomando estos parámetros como referencia se calculó la dimensión que tienen las probetas sumando la contracción y el excedente de material para el maquinado:

Sobredimensionamiento probeta:

Requerimientos:

- Contracción del aluminio en porcentaje = 1%
- Excedente de maquinado al diámetro = 5mm
- Excedente de maquinado a la longitud total = 40mm

Datos:

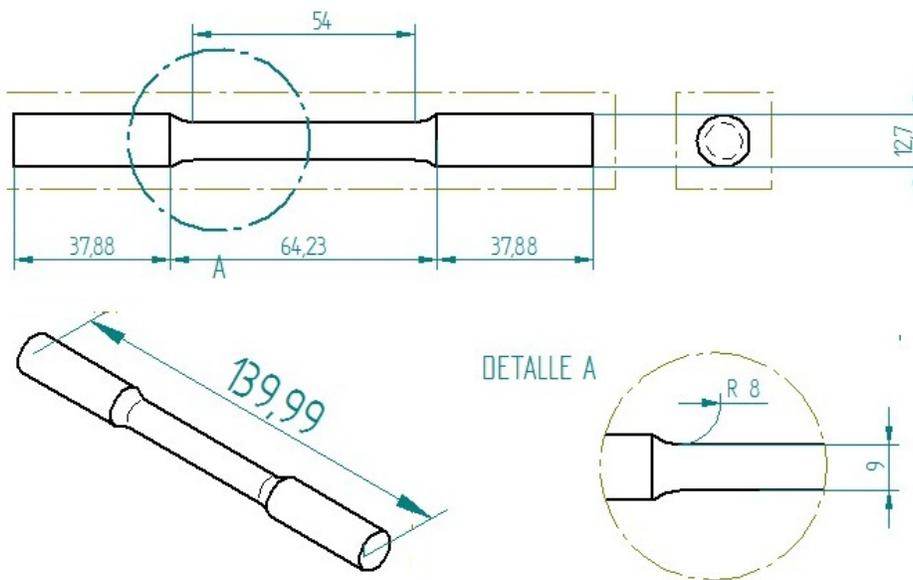


Figura 49. Dimensiones de probeta de aluminio para la prueba de caracterización de propiedades mecánicas. Act.mm

Cálculos:

- Longitud total: Se requiere considerar las tolerancias en la pieza para el posterior maquinado en torno pues las mordazas del chuck o mandril necesitan material excedente para la sujeción de la pieza. El cálculo suma a la longitud de la probeta original el excedente de material necesario para la operación de torneado.

$$(140\text{mm}) + (40\text{mm}) = \underline{180\text{mm}}$$

- Longitud de la sección reducida: Se considera la dimensión requerida de la probeta original y se le suma 1% por efecto de la contracción del aluminio.

$$(54\text{mm}) + (54 * 0.01) \text{ mm} = \underline{54.54\text{mm}}$$

- Diámetro exterior: el diámetro exterior o mayor también se calculan. Se toma el diámetro original y se le suma el porcentaje de contracción y también el excedente para el posterior maquinado en el torno para lo cual se usa un factor de tolerancia de maquinado del 40% de la medida.

$$(12.7\text{mm}) + (12.7 * 0.01) \text{ mm} + 0.4 * 12.7\text{mm} = \underline{17.827\text{mm}}$$

- Diámetro D: El diámetro de la sección más angosta se calcula igual que el diámetro exterior, sumando el porcentaje de contracción y aumentando también el excedente de maquinado.

$$(9\text{mm}) + (9 + 0.01) \text{ mm} + (5\text{mm}) = \underline{14.09\text{mm}}$$

- R- Radio del filete min: Esta dimensión se conserva como la original dado que esta debe de ser la misma después de tornear.

$$R = \underline{8\text{mm}}$$

Con las dimensiones debidamente calculadas para el diseño de la probeta se realiza en el CAD quedando de la siguiente manera.

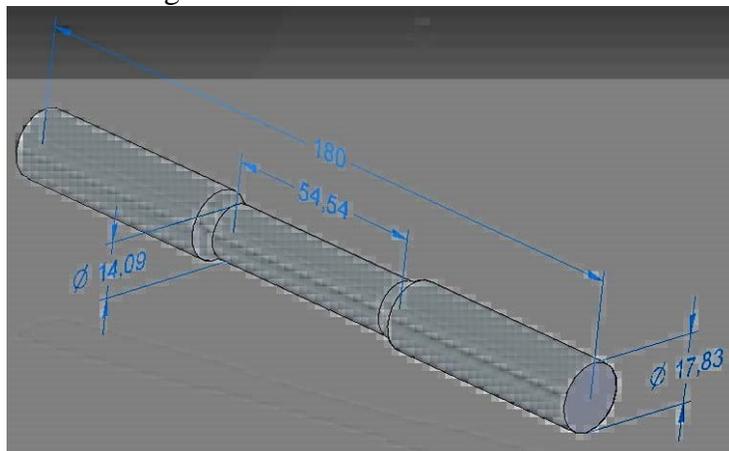


Figura 50. CAD Probeta Modelo

El modelo necesita estar cortado por la mitad para poder ensamblarse a la placa, por ello se parten las probetas en dos partes simétricas. Las probetas se pusieron en paralelo a lo largo de la tabla como se muestra a continuación.

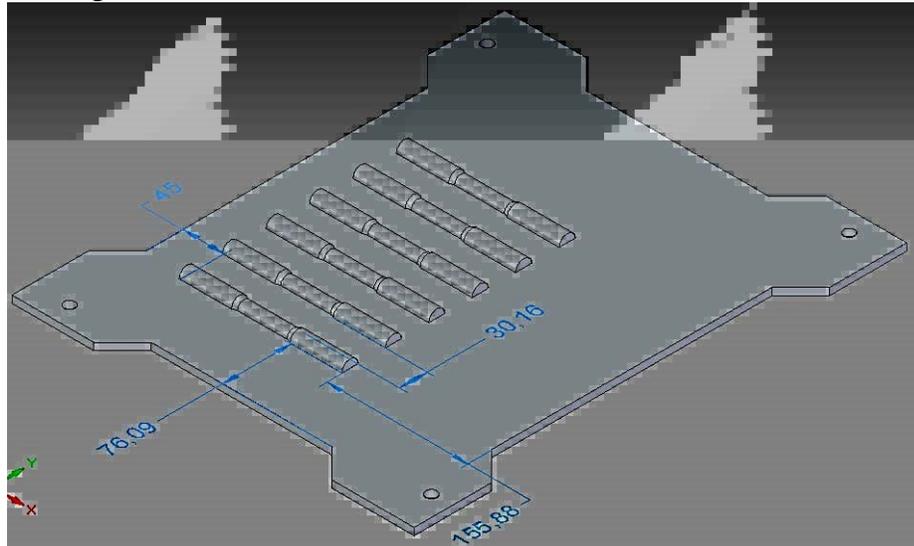


Figura 51. CAD del modelo en la placa.

2.1.3.2.3. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN (BEBEDERO, POZO, CANALES DE ALIMENTACIÓN Y DE ATAQUE)

El diseño del sistema de alimentación es muy importante pues de este depende el futuro de la obtención de una buena pieza de fundición. Para lograrlo es necesario considerar para el diseño la presencia de algunos aspectos negativos en el proceso de colada, pues en su realización los metales líquidos aspiran gases, durante el flujo es probable que a su paso por el sistema de alimentación se erosione el material del molde, además de que ocurre el proceso de solidificación.

El sistema de alimentación debe tener un diseño que evite turbulencias durante la colada, pues estas al formarse traen consigo muchos inconvenientes como el atrapamiento de aire, la formación de óxidos de metales, la aspiración de gases en el modelo, inclusiones de sustancias en el modelo o la formación de escoria.

▪ Bebedero

El diseño de los bebederos es muy importante pues aquí empieza el trabajo de prevención para no obtener piezas defectuosas o de mala calidad, diversos autores recomiendan que para evitar que el metal atrape gases o aspire aire debido al incremento de la velocidad del metal que fluye hacia el pozo, el diseño debe de ser cónico en vez de recto (Figura 52), y en general, las secciones transversales deberán reducirse a fin de minimizar el efecto de vórtice. La sección transversal del sistema puede ser circular o rectangular.[2][8]

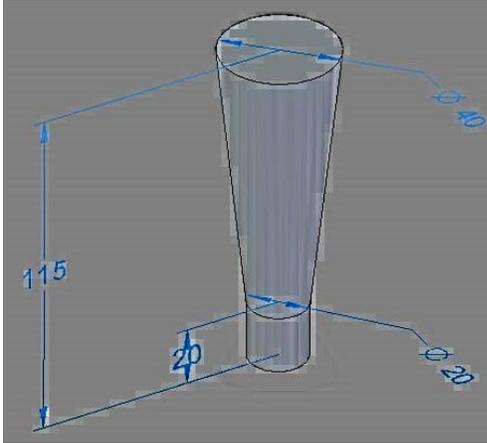


Figura 52. CAD de diseño del bebedero

▪ **Pozo**

El pozo (Figura 53) es la parte del sistema de alimentación que forma parte de la base del bebedero. A fin de reducir el riesgo de aspiración de aire así como la tendencia a la turbulencia, el diseño no debe contener aristas ni esquinas, de preferencia que sea circular con fondo plano. En atención a estas recomendaciones el diseño quedó en un cilindro de diámetro de 50mm con un barreno coaxial para permitir el ensamble del bebedero.

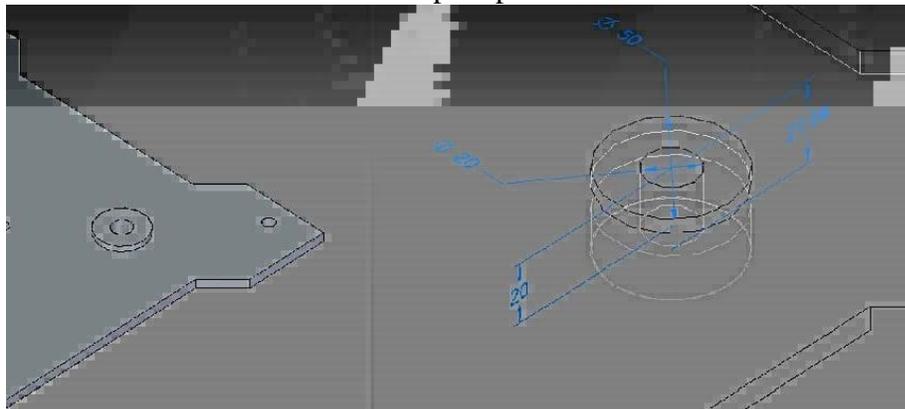


Figura 53. CAD de diseño del pozo

▪ **Canales de alimentación y de ataque**

Usualmente el diseño de los canales de alimentación debe distribuir de forma uniforme el metal líquido sobre la pieza para asegurar que la pieza salga completa, sobre todo es necesario considerar este factor para piezas con geometrías más abstractas. Por su parte, los canales de ataque son las cavidades que están en contacto con la cavidad de la pieza; por regla general son de sección rectangular, pueden estar por arriba o por debajo del plano de partición.

La cantidad de metal que fluye por el sistema de alimentación al modelo varía en función de la distancia entre dichos elementos. En el diseño de este sistema (Figura 54) la geometría del sistema de alimentación reduce su sección transversal por cada pieza que recorre con el objetivo de mantener un gradiente descendiente de presión al avance del flujo asegurando el llenado completo del molde, además de que también se genera un

aumento de velocidad de flujo debido a la ley de continuidad, reduciendo así el tiempo de llenado y previniendo la solidificación prematura en el proceso.

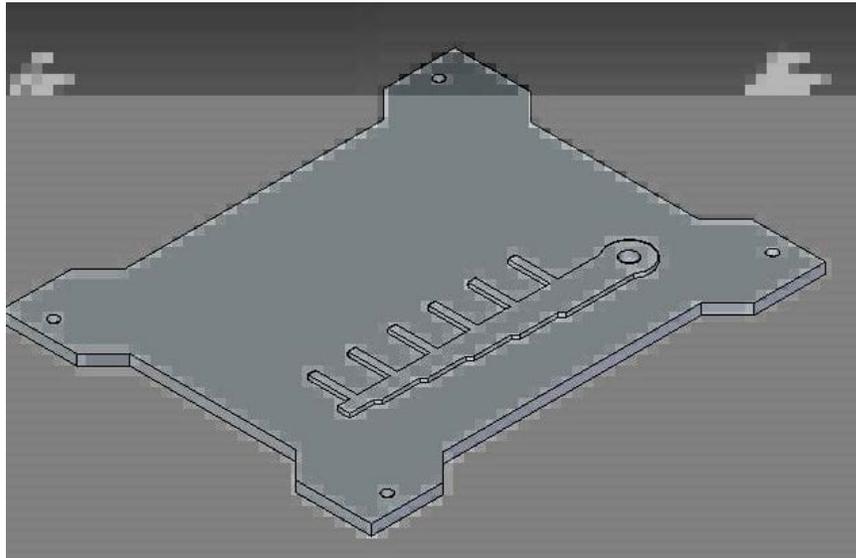


Figura 54. Canales de alimentación y de ataque

Al final el diseño de la placa modelo involucra un ensamble de varios componentes que se maquinan por separado para facilitar su obtención física. El ensamble de la placa queda como se muestra en el CAD de la siguiente imagen, en la cual se observa el diseño general de la placa modelo compuesta por el bebedero, los canales de alimentación y el modelo.

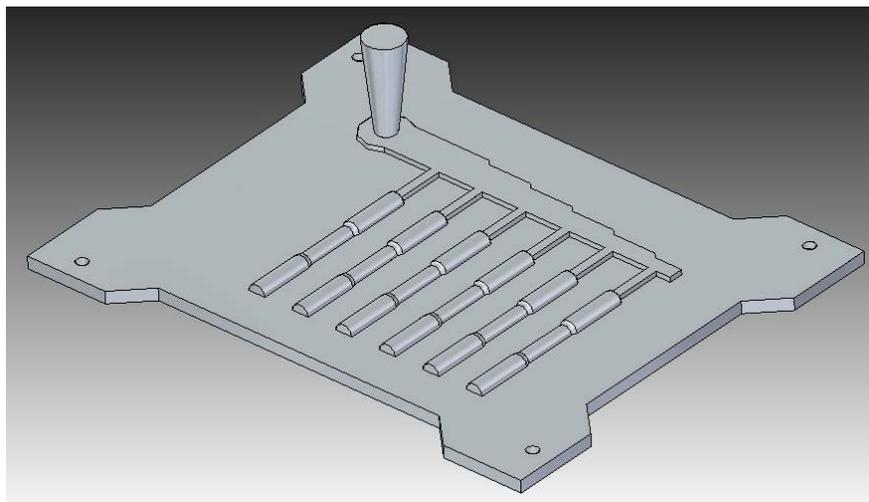


Figura 55. Placa Modelo bipartido

El diseño del sistema de moldeo requiere un trabajo extenso de fabricación de todos los componentes necesarios para su obtención física, la expectativa es la de la siguiente imagen CAD de ensamble del sistema de moldeo.

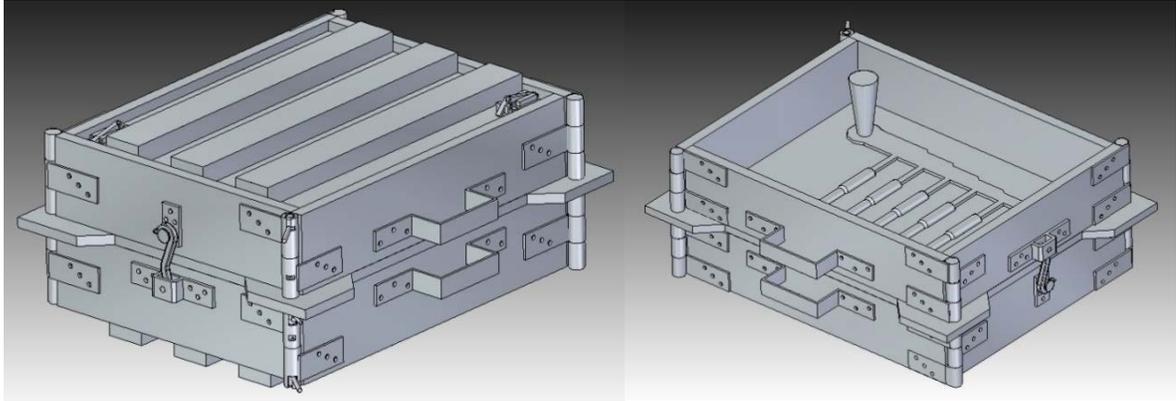


Figura 56. Ensamble general del sistema de moldeo

2.1.3.3. MÁQUINA DE PERCUSIÓN Y PRENSADO (JOLT-SQUEZZE MACHINE)

La máquina moldeadora que se encuentra en el área de fundición de la Facultad, es una máquina con dos operaciones importantes de trabajo por accionamiento neumático, el primero es el sacudido de la mesa que aloja en su superficie al molde en proceso de fabricación y el segundo es la compresión o exprimido del molde en la misma zona que el sacudido.

Para este propósito, una capacidad de percusión de 500lb es adecuada, desde que los moldes son generalmente pequeños lo suficiente para que un hombre pueda manipularlo. Con la placa modelo entre la caja superior e inferior, la caja inferior es moldeada primero, usando la acción de percusión. La tapa inferior de la caja dentro de esta, puede ser usada durante la percusión en contra de la arena para que esta se asiente en la caja. Después el ensamble es rotado boca abajo y la semi-caja superior es moldeada. El trabajo faltante para el moldeo es hecho mediante el prensado, con la cabeza de prensado que encaja dentro de la caja. Por lo tanto ambas partes de la caja son prensadas al mismo tiempo. El tamaño de molde que puede ser producido, depende del tamaño de la superficie de la mesa principal de la máquina, de la carga máxima de percusión, de la capacidad de prensado, la altura del modelo y la distancia de la plataforma de percusión a la cabeza de prensado.[10]

La operación de esta máquina es importante para el método, y se deben de calcular parámetros en relación con la caja, el molde y propios de la máquina como las fuerzas y presiones de trabajo.

2.1.3.3.1. TAMAÑO DE LA MESA DE TRABAJO (JOLT PLATE ZISE)

El tamaño de la mesa de trabajo limita el área de la base de las cajas de moldeo, por ello las dimensiones de las cajas deben de diseñarse para estas máquinas tomando como dimensión limite el área de mesa de trabajo.

Las dimensiones que tenemos en la mesa de trabajo de la máquina moldeadora (Figura 57) son 500mm de largo por 400mm de ancho, y como ya se mencionó las dimensiones de la caja están diseñadas en función de este parámetro.



Figura 57. Mesa de trabajo de la compactadora en el área de fundición

2.1.3.3.2. MÁXIMA CARGA DE PERCUSIÓN (JOLT LOAD)

La capacidad de la fuerza de percusión debe de ser mayor a el peso de todas las partes de los aditamentos y materiales que intervienen en la operación de formado de moldes, es decir mayor que el peso de la caja, la arena, los modelos y las tapas de prensado de las cajas.

En la operación de percusión, la mesa de trabajo junto con los componentes que forman el molde son elevados mediante un pistón neumático y se dejan caer contra la base de la máquina bajo la influencia de la gravedad.

El número de veces que se sacude va a tener un gran efecto sobre el grado de empaque de arena. Después de 20 sacudidas, más sacudidas causa una aproximación asintótica a la máxima dureza y densidad, por esto 20 o menos sacudidas es común para esta operación.

En este tipo de empacamiento de arena, la fuerza máxima de moldeo es aplicada sobre la superficie del modelo. Así se logra una mayor dureza en la superficie del modelo y de la partición.

La capacidad límite de una máquina de percusión es ese peso total que es capaz de levantar, el diseño consiste en el cálculo para la obtención del mismo y a sí, diferenciarlo

con el peso total de la carga a trabajar. Entonces así tenemos que la carga de diseño cumple con lo requerido:

$$W_D = W_j - W_C \dots \dots \dots \mathbf{Ec1}$$

Dónde:

- W_D** –Carga de diseño
- W_j** –Máxima carga de percusión
- W_c** –Carga a trabajar

Así es como se logra saber la carga máxima a la que la máquina podrá trabajar, parámetro de diseño que se considera en el peso máximo que podría tener los componentes del sistema de moldeo en conjunto con los materiales requeridos en el molde **W_C**.

La máxima carga de percusión **W_j** es la fuerza que tiene la máquina para levantar una carga y así dejarla caer, esta se define como el área del pistón de percusión multiplicada por la presión de la línea de alimentación:

$$W_j = \frac{\pi d_j^2}{4} * P \dots \dots \dots \mathbf{Ec. 2}$$

Dónde:

- W_j**-Total de peso que puede elevar el pistón
- d_j** -Diámetro del cilindro de percusión
- P** -Presión de la línea de aire

En el diseño del método es necesario tener este cálculo para tener la certeza de que el funcionamiento de la máquina en la acción de percusión será el adecuado, de la *ec. 2* se calcula.

Datos:

d_j: 8 in

P: 80 psi

Cálculo:

$$w_j = \frac{\pi 8^2 \text{in}^2}{4} * 80 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} = 4021.24 \text{lb}$$

"PESO MÁXIMO DE CARGA EN LA PERCUSIÓN"

En contraste con este valor se calcula la carga máxima a trabajar **W_C**, ésta carga es el conjunto de todos los componentes y materiales de moldeo necesarios para la

operación en la máquina, como lo son el peso de la caja junto con todos sus componentes e incluyendo el peso del sistema de arena verde.

Peso de la caja y complementos (W_B):

El peso total de la caja en conjunto y las tapas de moldeo es de 12kg.

Peso de la placa (W_P):

El peso total de la placa junto con el ensamble del modelo y canales es de 0.8kg.

Peso de la arena (W_S):

El peso requerido de arena compactada dentro de la caja de moldeo es de 35 kg.

Si se suma el peso de todos estos componentes y se convierte el resultado en libras se obtiene lo siguiente:

$$W_B + W_P + W_S = W_c \dots \dots \dots \mathbf{Ec 3}$$

$$12kg + 0.8kg + 35kg = 47.8 kg$$

$$W_c = 47.8kg * 2.2 \frac{lb}{kg} = 105.381lb$$

CARGA A TRABAJAR

La carga de diseño W_D en la **ec. 1** debe ser un resultado positivo, así se asegura que la carga máxima de percusión es mayor a la carga a trabajar, si el resultado es negativo entonces la carga de trabajo es mayor a la carga que la máquina puede elevar y no podrá operar.

$$W_D = 4021.24lb - 105.381lb = 3915.619lb$$

CARGA DE DISEÑO $W_D >0$

Como se puede observar en los resultados obtenidos, el peso de la carga a trabajar W_C está por debajo de la fuerza de carga máxima de percusión de la máquina W_J , esto da un resultado positivo para la carga de diseño W_D por tanto no existirá ningún problema para realizar esta operación.

2.1.3.3.3. CAPACIDAD DE PRENSADO O COMPRESIÓN (SQUEEZE CAPACITY)

La fuerza máxima de compresión es aquella fuerza que es usada para prensar la arena dentro del sistema de moldeo, de esta manera adquiere rigidez, dureza y consistencia. Para que ésta sea optima, deberá generar una presión entre 20 y 50 psi, a estas presiones se obtienen propiedades mecánicas del molde favorables como la dureza, adecuada permeabilidad, y un buen abultamiento de empaquetamiento en el grano de arena. El cálculo de la fuerza de moldeo **MF** es la relación que existe al multiplicar la presión de la línea de alimentación por el área transversal del pistón de compactación de la máquina, a

esta fuerza se debe restar la carga de trabajo W_C y así se obtiene la fuerza neta de moldeo.

$$MF = P * \frac{\pi d_c^2}{4} - W_C \dots \dots \dots Ec. 4$$

Dónde:

- MF** -Fuerza de moldeo “lb”
- P** -Presión de aire en el cilindro de compresión, frecuentemente se asume la presión de la línea de aire “psi”
- W_C** -Carga a trabajar
- d_c** -Diámetro de pistón de compresión “in”

Por tanto la fuerza de moldeo en el prensado está limitada por el diámetro del pistón y la presión en la línea de alimentación de aire disponible que usualmente es de 80 a 110 psi.

De la ecuación 4 se calcula la fuerza de prensado y se obtiene lo siguiente:

Datos:

- P:** 80 lb/in²
- d_c :** 1 in
- W_c :** 105.381 lb

Cálculo:

$$MF = 80 \frac{lb}{in^2} * \frac{\pi 11^2 in^2}{4} - 105.381 lb = 7497.27 lb$$

FUERZA DE MOLDEO AL TRABAJO

Esta fuerza es distribuida por toda el área de la caja. Esta fuerza es relativamente constante para una máquina particular y de la presión en la línea de aire, pero las dimensiones de la caja no lo son. Para determinar la presión de moldeo aplicada a la caja se usa la siguiente ecuación:

$$MP = \frac{MF}{A_f} \dots \dots Ec. 5$$

Dónde:

- MP**-Presión de moldeo “psi”
- MF**-Fuerza de moldeo en “lb”
- A_f** -Área de la caja bajo la fuerza de moldeo MF en “in²”

Una presión de moldeo de 20 a 50 psi es usada comúnmente. Presiones de 100 a 150 psi son usadas para producir densidades aproximadas a la máxima densidad posible.

En raros casos se usan presiones arriba de 150 hasta 1500 psi, a pesar de que se obtiene muy poco beneficio después de los 150 psi.

La presión de moldeo ejercida por la compactadora es la fuerza neta de moldeo por unidad de área en la superficie del molde. Para obtener la presión de la ec. 3 se tiene:

Datos:

MF: 7497.27 lb

A_f: 243 in²

Cálculo:

$$MP = \frac{7497.27\text{lb}}{243\text{in}^2} = 30.85 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

Como se observa en el resultado la presión de moldeo es de 30.85 psi. En el diagrama de la Figura 58 que se muestra a continuación se observa que a esta presión de compactación (punto 1) el esfuerzo de la compresión de arena alcanza una dureza en el molde de 75% (punto 2), y el rango de dureza de molde delimita en el área sombreada una densidad de abultamiento de entre 80 a 90 lb/ft³ (punto 3 y 4 respectivamente) óptima para la permeabilidad del molde.

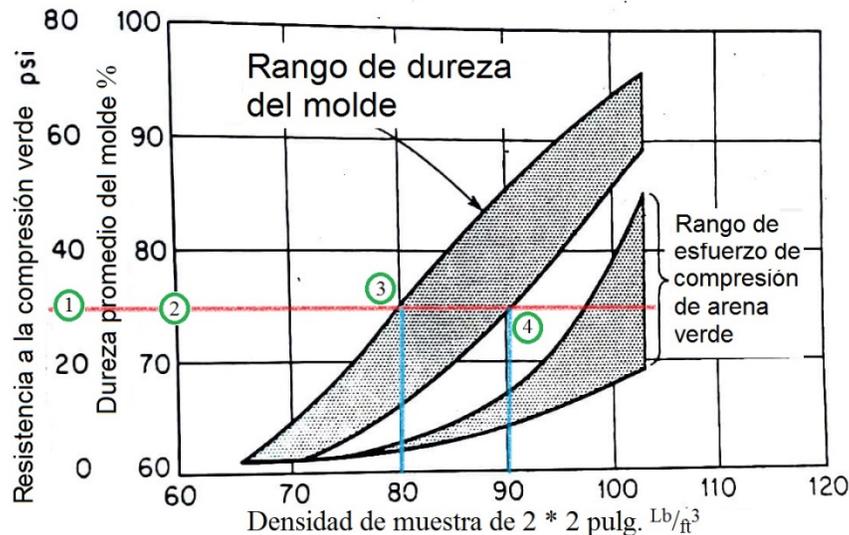


Figura 58. Diagrama de compactación.[XIII]

La densidad mínima de abultamiento puede ser tan baja como 50 lb/ft³, por el contrario la máxima puede ser tan alta como 115 lb/ft³ o más.

Incluso cuando ha sido compactada, la masa del molde de arena está compuesta aproximadamente de 60 a 65 % de sólidos y de espacios vacíos en equilibrio. Debido a esto, durante la compactación se puede obtener un mayor abultamiento en las partículas sólidas, que permite que se pueda incrementar aún más las densidades de la arena

conforme se apliquen presiones de compactación mayores. El límite de densidad por abultamiento es alcanzado cuando la compactación llega al punto donde los granos de arena están en completo contacto entre sí en toda la masa. Esto ocurre cuando se tienen densidades de compactación de 100 a 115 lb/ft^3 (como muestra el diagrama de la Figura 58) para arenas típicas de fundición. Una vez que se ha logrado la máxima densidad por abultamiento la aplicación de más fuerzas no causa más compactación. Por ello presiones de moldeo arriba de 100 a 150 psi son usadas para producir densidades aproximadas a la máxima. En raros casos presiones arriba de estos valores son usadas, pero son muy pocos los beneficios alcanzados para estos tipos de trabajo.[10]

2.2. FABRICACIÓN DEL MATERIAL PROPUESTO

En esta sección se muestra la fabricación de las piezas diseñadas de los aditamentos que requiere el método de moldeo propuesto. Se manufacturó y maquinó cada una de las piezas que en conjunto forman parte del diseño de elementos necesarios para el proceso de moldeo.

2.2.1. PARÁMETROS DE TRABAJO EN EL MAQUINADO

A continuación, en la fabricación de cada una de las bisagras necesarias para el sistema de moldeo, el tipo de manufactura que se emplea es maquinado mediante torno. Los parámetros necesarios para el proceso de maquinado como la velocidad de corte, el avance de la herramienta y la profundidad de corte, están en función de la condición de estado físico de la maquina empleada, el tipo de material usado, el tipo de maquinado y la herramienta de corte. El material empleado es de acero grado maquina cold rolled 1018, los diseños geométricos de las bisagras requieren un maquinado de desbaste por lo cual la herramienta de corte será de alta velocidad.

Los parámetros necesarios para el maquinado de las piezas serán constantes y se definen de la siguiente manera en acuerdo con la teoría expuesta por el autor F Krar & J E St , 1971 en su libro “*Entrenamiento en el taller mecánico*”:

Velocidades de corte. La velocidad de corte es constante para un cierto tipo de material, así que debe de calcularse para ello las revoluciones por minuto de ajuste al torno que se requieren para tener la velocidad de corte adecuada para cierto tipo de material. La siguiente expresión nos da las revoluciones de corte en función de la velocidad de corte necesario y el diámetro de la pieza de trabajo.

$$r.p.m. = \frac{VC * 4}{D} \dots \text{Ec. 6 en sistema inglés}$$

Donde:

r.p.m. -Revoluciones por minuto

VC -Velocidad de corte en pies por minuto

D -Diámetro de la pieza que se va a torner, en pulgadas

La Tabla 2 muestra las velocidades de corte en pies por minuto usando una herramienta de corte de alta velocidad.

Tabla 2. Velocidades de corte en p.p.m (pies por minuto) usando una herramienta de corte de alta velocidad

MATERIAL	TORNEADO Y PERFORADO		ROSCADO
	DESBASTADO	AFINADO	
Aceros para maquinaria	90	100	35
Aceros para herramientas	70	90	30
Hierro vaciado	60	80	25
Bronce	90	100	25
Aluminio	200	300	60

Nota Fuente: Stephen F. Krar, J. E. St. Amand (1971) *Entrenamiento en el taller mecánico*(p.89). Colombia: Centro Regional de Ayuda

La velocidad de corte de aceros para maquinaria que se requiere es la de desbaste, en la Tabla 2 se aprecia que el valor deseado es de 90. El diámetro de la barra a maquinar es de 19.05mm (¾”). Con estos datos en la expresión matemática de las revoluciones por minuto **ec. 6** se tiene:

$$r.p.m. = \frac{90 * 4}{\frac{3}{4}} = 480$$

Así, el proceso de maquinado en torno requerirá una velocidad de ajuste de 480 revoluciones por minuto. Es probable que la máquina no cuente con esta velocidad de operación en el juego de engranaje, entonces las revoluciones deben ser las más cercanas a este valor.

Avance. El avane es la distancia que avanza la herramienta a lo largo de la pieza por cada revolución del husillo. Usualmente el operador de la máquina tiene libre albedrío pues este puede llevarse a cabo de forma manual o con la aplicación del automático de la máquina. Generalmente la experiencia trabajando con el torno determina que avance es apropiado en función de la condición de la máquina, la herramienta de corte y la dureza del material. La Tabla 3 muestra avances recomendados cuando se usa una herramienta de corte de alta velocidad.

Tabla 3. Avances para varios materiales usando herramienta de corte de alta velocidad.

MATERIAL	CORTES DE DESBASTADO	CORTES DE AFINADO
Acero para maquinaria	0.010 a 0.020	0.003 a 0.010
Acero para herramientas	0.010 a 0.020	0.003 a 0.010
Hierro vaciado	0.015 a 0.025	0.005 a 0.012
Bronce	0.015 a 0.025	0.003 a 0.010
Aluminio	0.015 a 0.030	0.005 a 0.010

Nota Fuente: Stephen F. Krar, J. E. St. Amand (1971) *Entrenamiento en el taller mecánico*(p.90). Colombia: Centro Regional de Ayuda

Profundidad de corte. Este se define como el rebaje o corte que se quita con la herramienta de corte y depende de las condiciones de la máquina, el tipo de la herramienta de corte que se usa y de la rigidez de la pieza.

2.2.2. FABRICACIÓN DE LAS PIEZAS DISEÑADAS PARA EL ENSAMBLE DE LA CAJA DE MOLDEO.

Pared de caja corta

El material con el que se construyeron las paredes que forman parte de la caja son tablas de madera contrachapada, estas paredes tienen un espesor de 15.87mm (5/8”) por 100mm (4”) de ancho. La pared que forma el lado corto de la caja tiene una longitud de 365mm. El diseño requiere de cortar cuatro piezas con estas dimensiones. El corte se hace con apoyo de escuadras y marcadores para obtener ángulos rectos entre las aristas generadas a los cortes, mismos que se logran con ayuda de una cortadora portátil de disco sierra. Para obtener los cortes derechos se coloca una guía que apoya el paso de la cortadora.

Pared de caja larga

Las paredes largas de la caja tienen las mismas dimensiones de espesor y ancho que las paredes cortas pero su longitud es de 465mm. El diseño requiere 4 piezas para ambas semi-cajas. Su fabricación es del mismo modo en que se explica en la de las paredes cortas.

Conjunto α

El material es una barra de sección circular y tiene un diámetro de 19.05mm (3/4”). Se calcula el número de piezas necesarias y de acuerdo a esto se cortan con sierra de arco 6 trozos con una altura de 40mm, medida en exceso para su posterior maquinado. Los cilindros recibieron mediante maquinado en torno (torneado) un careado plano en sus bases reduciendo la altura a 33.3mm. No hizo falta rebajar el diámetro de los cilindros pues el material tiene la medida requerida en el plano. Finalmente se barrenó en el torno de forma concatenada-ascendente hasta alcanzar un diámetro de barrenado de 12.07mm (1/2”) con una profundidad de 28mm, esto es porque se consideró el claro de filo (o punta) de la broca pues es cónica y tiene de 2 a 5 mm de altura. Es importante considerar y tomar atención en que, si bien después de esta ruta de trabajo la pieza está terminada en forma y dimensión, todos los bordes de corte estarán afilados y en descuido pueden causar cortaduras, por ello es importante eliminar estos filos con ligeros chaflanes en los bordes hechos con el cortador del torno (buril) o con el empleo de una lima musa plana. La eliminación de los filos generados en el corte del metal es una medida que siempre se debe considerar para casi todas las operaciones en torno y cualquier otro proceso de mecanizado que requiere corte de metal; no se mencionará más en este escrito, pero en todos los trabajos de maquinado se realizaron estas acciones de seguridad.

Conjunto β

Del conjunto beta se requieren 6 piezas, por tanto se cortó esta cantidad de trozos de barra con una altura de 58mm, el excedente de material se utilizó para hacer un careado plano a ambas bases del cilindro. En una de los extremos de las barras se barrenó en el torno de forma concatenada-ascendente hasta tener un diámetro de barrenado de 12.7mm (1/2”) con una profundidad de 30 mm por considerar el claro de filo cónico de la broca. En el extremo opuesto, a lo largo de 19.05mm (3/4”) se redujo el diámetro de la barra hasta llegar a 12.7mm (1/2”) mediante el desbaste por arranque de viruta con buril en el torno.

Bisagra BI1

El ensamble de la caja solo requiere 3 de estas bisagras, por tanto se cortan en cilindros con una altura de 65mm, la longitud en exceso fue torneada para conseguir un careado plano en ambos extremos. Por uno de sus extremos a lo largo de 30 mm fue desbastado (torneado) material hasta conseguir un diámetro de 12.7mm (1/2"). Por el otro extremo solo se barrenó a un diámetro de 12.7mm (1/2") en la forma que se ha mencionado, y a una profundidad de 25.4 (1").

Bisagra BI2

Solo se requieren 3 de este tipo de bisagras, por tanto los trozos cilíndricos se cortan a una altura de 75mm. Ambas bases llevan careado plano hasta tener 70mm de altura. Por ambos extremos del cilindro a lo largo de una longitud de 20 mm, se desbasta material en el torno hasta llegar a un diámetro de 12.7mm (1/2").

Bisagra de ensamble BES1

Esta bisagra es única, su función es permitir un sistema de montaje que une en forma a la caja. La longitud es de 50mm pero para el maquinado se cortan trozos de 55mm para realizar un careado plano mediante el torno, para después barrenar coaxialmente a través de todo su cuerpo longitudinal. En uno de sus extremos se hace un corte longitudinal en forma de "L" con la pata hacia la derecha. Para lograrlo, de acuerdo con el plano (Ver apéndice plano 7) se ubican en la pieza las posiciones centrales de corte estableciendo como puntos principales los extremos y ángulo de la L, para posteriormente barrenar con una broca de 6.35mm (1/4"), el material que queda aún en la pieza se corta con una sierra de arco.

Bisagra de ensamble BES2

El trozo requerido para esta pieza tiene una altura de 55mm, los 5 mm de excedente se utilizan para hacer un careado plano en las bases cilíndricas. Con ayuda del torno se barrena a lo largo de toda la pieza hasta alcanzar un diámetro de 12.7mm (1/2"). La ranura que lleva a la mitad de la altura es maquinada con ayuda de un taladro de banco, con una broca de 6.35mm (1/4").

Pasador superior S

El perno para el ensamble de las semi-cajas superior que une a las bisagras **BES1** y **BES2**, es una barra cilíndrica de acero inoxidable con un diámetro de media pulgada y una altura de 85mm. Partiendo de uno de sus extremos a una distancia de 8.9mm se barrena aproximadamente con una profundidad de 10mm y con un diámetro de broca de 4.76mm (3/16"). Partiendo del mismo extremo pero a una longitud de 72.5mm se barrena con el mismo diámetro, pero esta vez se perfora por completo la pieza para hacer pasar una pequeña barra de 50mm aproximadamente y con el diámetro del barreno. Esta pequeña barra que atraviesa el perno se suelda a esta última para su unión.

Bisagra de Ensamble BEI1

El trozo requerido se corta a una altura al corte de 55 mm para el careado plano de las bases cilíndricas. También en torno a lo largo de todo su cuerpo se barrenó coaxialmente con un diámetro de broca de 12.7mm (1/2"). La ranura en forma de C es maquinada con las

dimensiones descritas en el plano (Ver apéndice plano 10) mediante la fresadora. Así mismo se ranura la parte que ensambla el pasador inferior.

Bisagra de Ensamble BEI2

Se corta un trozo con una longitud de 55mm, el excedente de material lleva un maquinado de careado plano a las bases cilíndricas. Todo el cuerpo del cilindro se barreno coaxialmente con un diámetro de 12.7mm ($\frac{1}{2}$ ""). En uno de sus extremos se hace un corte longitudinal en forma de "L" con la pata hacia la derecha de la misma manera en que se realizó en la bisagra de ensamble superior uno.

Pasador inferior I

El perno para el ensamble de las semi-cajas inferior que une a las bisagras **BEI1** y **BEI2**, es una barra cilíndrica de acero con un diámetro de media pulgada y una altura de 70mm. Partiendo de uno de sus extremos a una distancia de 7.1mm se barrena aproximadamente con una profundidad de 10mm y con un diámetro de broca de 4.76mm ($\frac{3}{16}$ ""). Partiendo del mismo extremo pero a una longitud de 67.5mm se barrenó con el mismo diámetro, pero esta vez se perforó por completo la pieza para hacer pasar una pequeña barra de 50mm aproximadamente y con el diámetro del barreno.

Pasador prisionero

De acuerdo con el plano, el pasador prisionero es una pequeña barra con el diámetro de media pulgada y longitud de 1", que se barrenó para contener los seguros de sujeción.

Pestaña de fijación para bisagra

El material es solera de acero de bajo carbono con un ancho de 3.75mm ($\frac{5}{4}$ "") y un espesor de 3.175mm ($\frac{1}{8}$ ""). Con sierra de arco se cortan 22 trozos para cada barril con una longitud de 78mm. El excedente en la longitud se desbasta en esmeril de banco para quitar filos y redondear en las esquinas. Con las coordenadas del plano (Ver apéndice plano 14) son ubicados los centros de los barrenos, para marcarlos con un punzón de marcar (o punto de golpe) y poder barrenar. Los barrenos se realizan en el taladro de banco con una broca de 6.35mm ($\frac{1}{4}$ ""). Es importante siempre portar lentes de seguridad pues el arranque de viruta las convierte en proyectiles, además se debe de sujetar firmemente cada pieza para evitar que este tenga momento angular, pues puede lastimar o salir disparada. Cada pestaña se suelda mediante soldadura eléctrica de arco con electrodo revestido al cuerpo o barril de la bisagra, según la función y posición que desempeñe la bisagra, En las siguientes imágenes se muestra la posición en que deben de soldarse las pestañas a los barriles. Cada bisagra tiene una de dos maneras en que se suelda a la pestaña para el ensamble y se especifica a continuación.

Pestaña en la bisagra BS1

La pestaña se suelda en el extremo que está libre de barrenos y es el que debe de soldarse para todas las bisagras. Para esta primera bisagra, colocando el barril bocabajo (con el barreno hacia abajo), y viendo al barril en esta posición, la pestaña va en la parte trasera y se suelda de manera que esta quede tangencial y adyacente a la superficie cilíndrica con el cuerpo de la pestaña hacia la derecha.

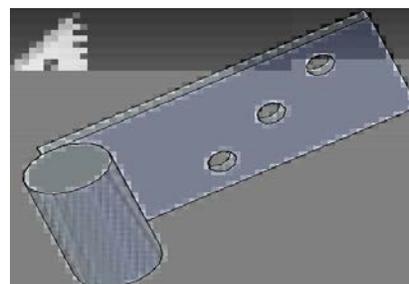


Figura 59. Posición de la pestaña en la bisagra **BS1**

Pestaña en la bisagra **BS2**

Es la segunda bisagra de la semicaja superior BS2. Colocando el perno hacia arriba, viendo de frente el barril la pestaña se coloca en la parte trasera con el cuerpo hacia la derecha. La cara trasera de la pestaña debe de coincidir con la línea tangente en la parte trasera de la bisagra y de esta manera debe soldarse.

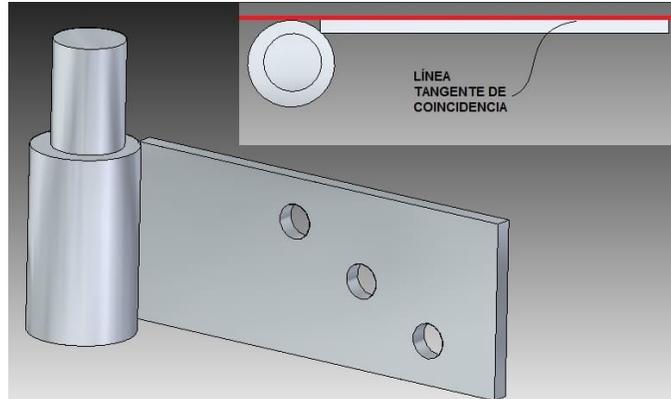


Figura 60. Posición de la pestaña en la bisagra **BS2**

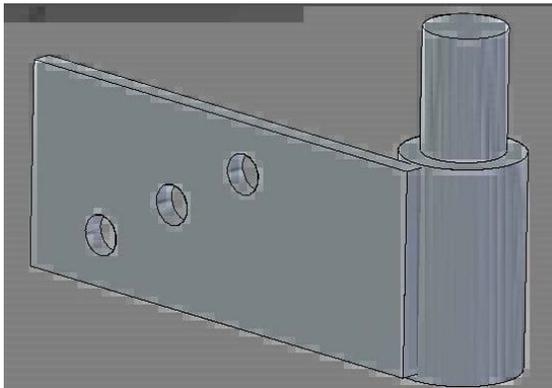


Figura 61. Posición de la pestaña en la bisagra **BS3**

Pestaña en la bisagra **BS3**

Colocando el barril con el perno hacia arriba (con el barreno hacia abajo), viendo al barril en esta posición, la pestaña va en la parte delantera y se suelda de manera que esta quede tangencial y adyacente a la superficie cilíndrica con el cuerpo de la pestaña hacia la izquierda.

Pestaña en la bisagra **BI1**

Colocando el barril con el perno hacia arriba (con el barreno hacia abajo), viendo al barril en esta posición, la pestaña va en la parte delantera y se suelda de manera que esta quede tangencial y adyacente a la superficie cilíndrica con el cuerpo de la pestaña hacia la izquierda.

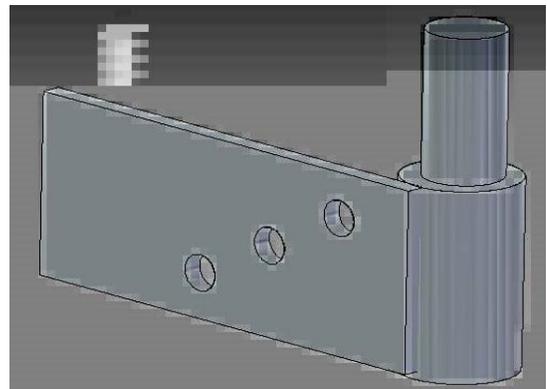


Figura 62. Posición de la pestaña en la bisagra **BI1**

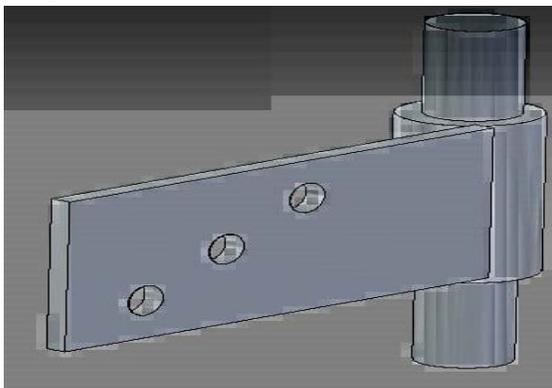


Figura 63. Posición de la pestaña en la bisagra **BI2**

Pestaña en la bisagra **BI2**

Viendo de frente el barril, la pestaña se coloca en la parte delantera con el cuerpo hacia la izquierda. La cara delantera o frontal de la pestaña debe de coincidir con la línea tangente en la parte frontal de la bisagra y de esta manera debe soldarse.

Pestaña en la bisagra **BI3**

Colocando el barreno boca arriba, viendo de frente el barril la pestaña se coloca en la parte delantera con el cuerpo hacia la derecha. Para ser soldada la cara trasera de la pestaña debe de estar tangente y adyacente a la superficie cilíndrica.

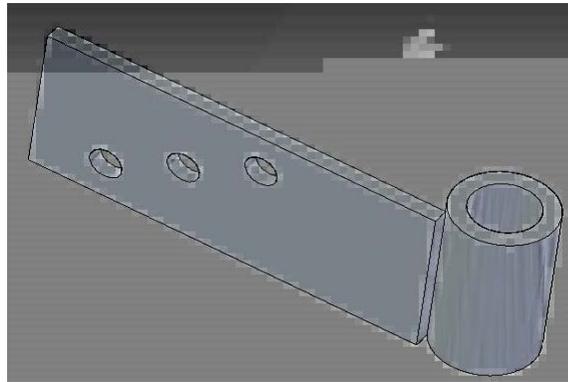


Figura 64. Posición de la pestaña en la bisagra **BI3**

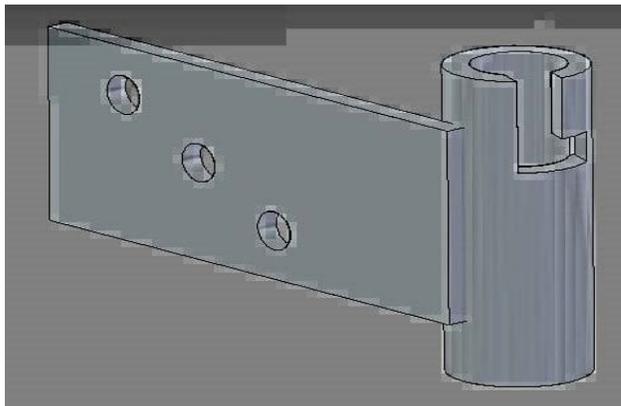


Figura 65. Posición de la pestaña en la bisagra

Pestaña en la bisagra **BES1**

Colocando el barril con la muesca o corte en L hacia arriba y hacia adelante, viendo al barril en esta posición, la pestaña va en la parte delantera y se suelda de manera que esta quede tangencial y adyacente a la superficie cilíndrica con el cuerpo de la pestaña hacia la izquierda.

Pestaña en la bisagra **BES2**

Colocando el barril con el barreno boca arriba y el perno hacia abajo, se sugiere colocar la muesca o corte hacia el frente y así soldar la bisagra con el cuerpo a la derecha. La cara trasera de la pestaña debe de coincidir con la línea tangente en la parte trasera de la bisagra y de esta manera debe soldarse.

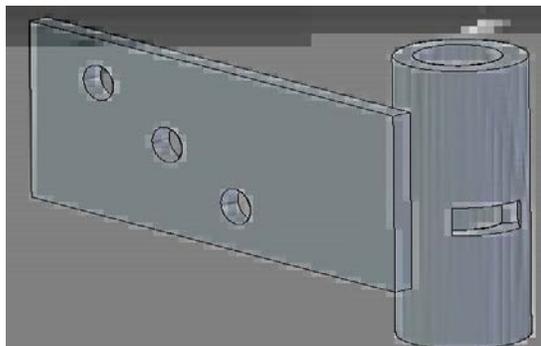


Figura 67. Posición de la pestaña en la bisagra **BEI1**

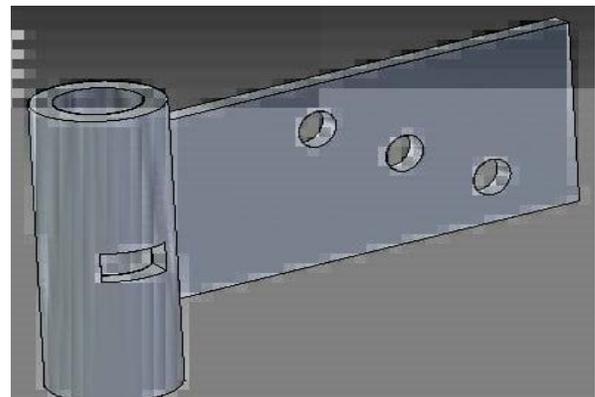


Figura 66. Posición de la pestaña en la bisagra **BES2**

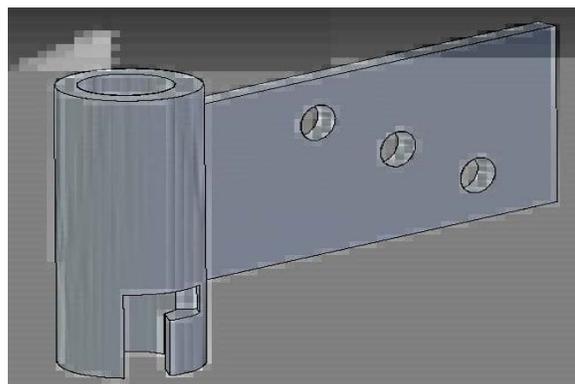
Pestaña en la bisagra **BEI1**

Esta bisagra debe de colocarse con la muesca hacia adelante, el lado más corto a la base debe de orientarse hacia abajo, viendo así el barril, se coloca la pestaña en la parte frontal con el cuerpo hacia la izquierda, se suelda de manera que esta quede tangencial y adyacente a la superficie cilíndrica.

Pestaña en la bisagra **BEI2**

Si colocamos el barril con la muesca o corte en L hacia abajo y hacia enfrente, viendo al barril en esta posición, la pestaña va en la parte trasera y se suelda de manera que la cara trasera de la pestaña coincida con la línea tangente en la parte trasera del barril.

Figura 68. Posición de la pestaña en la bisagra **BEI2**.



Manija de sujeción

La manija de sujeción se hace a partir de solera de 3.175mm ($\frac{1}{8}$ " de pulgada de espesor por 1 pulgada de ancho. El proceso de fabricación incluye el corte de 4 trozos con una longitud de 320mm para rebajar el filo en las secciones de corte. Se marcan las secciones de doblez en las caras contrarias al ángulo agudo del doblez y se corta solo a lo ancho, este corte es solo a la mitad del grosor de la solera, destinado al doblez cada semi corte, se doblan a 90° sujetándolos en el tornillo prensa de banco. Para reforzar las esquinas de corte y doblez se le pone un cordón de soldadura en cada arista.

Gancho al seguro

El material para fabricar las dos piezas necesarias fue una barra de acero de perfil cuadrado con lado de 6.35mm ($\frac{1}{4}$ "). Primero se forja en caliente la barra reduciendo la sección y haciéndola plana en la punta, así mismo, mediante forja se conforma la parte del gancho con un radio de 12.7mm ($\frac{1}{2}$ "). Posteriormente haciendo un corte perpendicular a la barra en la parte contraria que lleva el doblez, calentando esta zona nuevamente mediante forjado se dobla al ángulo requerido. Para lograr el ángulo del doblez se realiza una plantilla en la mesa con la geometría de la pieza final de trabajo con ayuda de una escuadra universal. Antes de cortar la barra a la medida se barrena con una broca de 9.52mm ($\frac{3}{8}$ ") para lograr el radio en el extremo opuesto al gancho.

Caja de gancho

La caja base donde se apoyará el gancho está hecha con solera de 1" de ancho por 4.76mm ($\frac{3}{16}$ ") de espesor. De esta solera se cortan dos trozos de 160mm, se marcan las distancias al doblez y se cortan a la mitad del espesor con una sierra de arco, el espesor del material requiere que se caliente para forjar el trabajo de doblez. De esta manera se conforma la estructura y forma del dibujo en el plano (Ver apéndice plano 18), de la solera sobrante se cortan dos trozos a una pulgada de longitud para soldarlos a la parte inferior del cuerpo principal y cerrar el marco. Se ubican los puntos para barrenar y se marcan con punto de golpe por donde pasará la broca que genera los barrenos.

Perno de sujeción al gancho

Con la misma solera para fabricar la caja del gancho se fabrica el cuerpo para colocar el perno de sujeción del gancho. Se cortan dos trozos a una longitud de 53mm para poder rectificar un

poco la superficie de corte y eliminar los filos. Se ubican con las coordenadas del plano (Ver apéndice plano 19) y se marcan con el punzón de marcar los puntos para barrenar, entre ellos el del perno, que se barrenar con una broca de 12.7mm ($\frac{1}{2}$ ""). El perno se fabrica con un trozo de barra cilíndrica con 6.55mm ($\frac{21}{32}$ "") de diámetro y una longitud al corte de 20 mm para su maquinado en torno. De uno de sus extremos a lo largo de 15mm se reduce el diámetro a 12.7mm ($\frac{1}{2}$ ""), los siguientes 4mm se maquinan para dejar la pieza del diámetro original. Teniendo ya el perno se ensambló en la solera barrenada y se suelda a ella por el extremo trasero.

Tapa superior de prensado

La tapa de prensado está fabricada de madera contrachapada con espesor de 15.87mm ($\frac{5}{8}$ ""), el corte rectangular se realiza con ayuda de una cortadora de disco para madera portátil, el recorrido de la máquina sobre la madera se apoya con una regla para garantizar que estos queden lo más recto posible. Las viguetas transversales en la parte superior de la tapa son de una tabla de 50mm (2") por 25.4mm (1") y tiene la dimensión de largo de la tapa. Se ensamblan mediante pijas a la tapa. El barrenado que permite el paso del bebedero se realiza con ayuda de un sacabocados para madera con el diámetro deseado por el plano (Ver apéndice plano 20).

Tapa inferior de prensado

De la misma manera que la tapa superior de prensado la tapa inferior de prensado se corta de la madera contrachapada y las viguetas que lleva son del mismo material. El mecanismo que asegura la tapa a la caja en el proceso de moldeo es realizado por diferentes procesos de maquinado por lo cual se describe a continuación la fabricación de cada pieza y los procesos de manufactura involucrados para su obtención.

Manivela

La fabricación de esta pieza requiere de procesos de corte, el primero es para obtener las piezas que en el segundo proceso serán maquinadas para obtener la forma deseada. Primero, de una barra de perfil cuadrado con 6.35mm ($\frac{1}{4}$ "") de lado, se cortan con sierra de arco dos trozos de 80mm, el excedente de material es necesario para el proceso de maquinado posterior. Mediante clamps y tornillos (aplicación adecuada para la fresa) se sujetan ambas piezas, la parte libre de las mordazas debe ser aún más amplia que el largo de la pieza. Mediante el cortador vertical de 12.7mm ($\frac{1}{2}$ "") se realizan muescas hasta alcanzar las dimensiones de largo y espesor de la forma que se muestran en el plano (Ver apéndice plano 22). En las muescas realizadas se genera el barrenado solicitado en el diseño. Se corta nuevamente con la sierra de arco, esta vez a las dimensiones finales. Por último debe redondearse mediante el desbaste con esmeril de banco, el lado de la muesca que ha sido barrenado.

Biela

Se requieren dos piezas, la fabricación requiere de procesos de corte y desbaste. Primero los tramos necesarios son tomados de la barra con sección cuadrada de 6.35mm ($\frac{1}{4}$ ""), el largo es de 80mm, los cortes se realizan con sierra de arco, de la misma manera que la manivela, la muesca necesaria es maquinada en la fresadora. La pieza es cortada a la medida con la sierra de arco, los barrenos se realizan con ayuda del taladro de banco y ambos extremos son redondeados con el esmeril de banco.

Corredera

Se requieren cuatro piezas de acuerdo con el diseño, los tramos son de barra de 6.35mm ($\frac{1}{4}$ "") el largo es de 60mm y son cortados con sierra de arco. Los tramos son sujetados mediante el sistema de clamps en la fresa para su maquinado, este requiere de hacer un canal de 3.175mm ($\frac{1}{8}$ "") a lo largo de 25mm pero se hará a 30 mm para el posterior corte de ajuste a la dimensión final. Se corta con la sierra de arco a largo final.

Base de la corredera

Las cuatro piezas requeridas se toman de la barra de 6.35mm ($\frac{1}{4}$ ""), se cortan con sierra de arco tramos de 60mm, así son llevados a la fresa para rebajar la longitud y espesor necesarias. Al final solo son cortadas con la sierra de arco a la dimensión final solicitada en el diseño (Ver apéndice de plan 25).

Base del mecanismo

De una solera de 19.05mm ($\frac{3}{4}$ "") de ancho y 6.35mm ($\frac{1}{4}$ "") de espesor se requieren dos tramos con 50mm de largo, el corte se realiza con sierra de arco, las esquinas y aristas del corte se rebajan con lima. Adicional al diseño, para poder ensamblar el mecanismo con la tapa es necesario que de un tramo de solera de 12.7mm ($\frac{1}{2}$ "") y 3.175mm ($\frac{1}{8}$ "") cortadas cuatro piezas a un largo de 12.7mm ($\frac{1}{2}$ ""), se barrena al centro para pasar una pija de sujeción a la tapa, dos de estas piezas son soldadas a la solera base del mecanismos en sus dos lados laterales.

Tope al mecanismo

De la barra de perfil cuadrado de 6.35mm ($\frac{1}{4}$ "") se cortan dos tramos con una longitud de 50mm, los cuales son sujetados en la fresa para rebajar el largo y ancho requerido en el plano (Ver apéndice plano 27). Las piezas maquinadas son cortadas a la longitud requerida en el plano con la sierra de arco.

Poste de la manivela

De la barra de 6.35mm ($\frac{1}{4}$ "") se cortan cuatro tramos de 9.52mm ($\frac{3}{8}$ ""), estos tramos son barrenados con broca de 3.175mm ($\frac{1}{8}$ "") como se indica en el plano (Ver apéndice plano 28), posteriormente con la lima se asienta las caras generadas con el corte y se retiran los filos generados por el corte.

2.2.3. FABRICACIÓN DE LAS PIEZAS DISEÑADAS PARA EL ENSAMBLE DE LA PLACA MODELO.

En la fabricación de la placa modelo, los componentes que se fabrican de madera fueron debidamente sellados con barniz de poliuretano para hacerlos impermeables. Esto es en atención a que durante el moldeo en arena en verde se tiene una humedad suficiente para causar daño con el paso del tiempo sobre la superficie de la madera. Esta humedad puede ser fácilmente absorbida por la madera causando hinchamiento y deformación a la placa.

Placa

La placa se fabricó con una tabla de madera contrachapada con dimensiones de 700mm a lo largo, 600mm a lo ancho y 12.7mm ($\frac{1}{2}$ "") de espesor. De acuerdo al plano se traza primero el perímetro correspondiente a los bordes exteriores que se encuentran en las esquinas, y se corta

en este contorno con una sierra de disco portátil para madera. Con ayuda de una escuadra universal se marcan los ángulos de 135° para el corte de las orillas con la sierra de disco. Los barrenos de las esquinas se marcan y se barrenaron con broca para madera de 12.7mm ($\frac{1}{2}$ ").

Modelo

Los modelos son de barra de aluminio cilíndrica con un diámetro de una pulgada. Doce piezas de la barra se cortan con sierra de disco para aluminio en trozos de 225mm. Para fabricar el modelo bipartido propuesto, primero los trozos cortados obtienen un careado plano en sus bases cilíndricas mediante el torno, dejándolos hasta una longitud de 220mm. Los cilindros son sometidos a otro proceso de corte y se maquinan en la fresadora, la sujeción es en una prensa tornillo alineada y anclada a la bancada de la máquina que permite la reducción de 190mm de largo ponderados a partir del centro de la pieza, para de esta manera reducir la sección de la pieza a la mitad del diámetro hasta obtener la pieza en una forma de media caña, desbastándolas hasta una altura igual al radio. Las doce pseudo medias cañas son terminadas cortando la parte faltante de los extremos con sierra de arco y limando en caso de ser necesario para asegurar una superficie plana a lo largo de la media caña. Una vez las doce medias cañas, se unen en parejas para forman seis cilindros, se aseguran las partes del cilindro para poder barrenar en los extremos ambas partes como si estas fueran una sola pieza, el barreno es de 2.38mm ($\frac{3}{32}$ ") ya que el tornillo para el ensamble tiene 3.175mm ($\frac{1}{8}$ ") de diámetro. Una de las medias cañas que forman el cilindro es machuelada para permitir el paso de la rosca del tornillo, la otra media caña es barrenada nuevamente al diámetro del tornillo 3.175mm ($\frac{1}{8}$ ") para evitar inconvenientes de coincidencia con la rosca por el desplazamiento debido al espesor de la placa. Bien ensamblados los cilindros mediante los tornillos es que deben obtenerse las formas del modelo, para ello el proceso de fabricación regresa al torno en donde cada cilindro es maquinado hasta obtener las formas de las probetas con las dimensiones requeridas por el plano (Ver apéndice plano 33). De la misma forma en que se han ensamblado los cilindros, ahora debe repetirse el ensamble dentro del cuerpo de las probetas generadas con los tornillos. El excedente de material que contiene el primer ensamble con tornillos debe de ser cortado dando con este paso la dimensión final que requiere cada modelo y dejándolas listas para su posterior ensamble con la placa. Con esta última operación se logra su ensamble en la placa mediante tornillos de cabeza plana.

Canales de alimentación

Los canales de alimentación son fabricados con hojas de madera tipo mdf de 6 y 5 mm de espesor, pues este también se ensambla de forma bipartido en la placa. Para el corte se traza la geometría con escuadras universales y reglas de apoyo sobre la hoja de madera, Para asegurar que en ambas hojas se tenga el mismo corte, estas son pegadas en la superficie libre de la geometría del corte para cortar ambas al mismo tiempo. Se cortan con ayuda de una sierra caladora portátil y una máquina de sierra de calar de banco. Esta fue ubicada en el plano de ensamble de la placa modelo y ensambló con pegamento blanco.

Bebedero

El material del bebedero es una barra cilíndrica de madera (Bastón) de 2 pulgadas de diámetro con una longitud de 15mm. Para obtener la forma del bebedero se trabajó en torno con las dimensiones requeridas por el plano (Ver apéndice plano 37).

MATERIALES Y ADITAMENTOS FABRICADOS TERMINADOS



Figura 69. Placa modelo



Figura 70. Sistema de moldeo

2.3. MANUAL DEL FUNCIONAMIENTO Y ACCESORIOS DEL MATERIAL PROPUESTO.

El diseño de fabricación que comprende el sistema de moldeo para arena verde mediante modelo bipartido permanente en placa, está formado por la caja, las tapas, y la placa modelo.

El diseño de estas piezas generadas está en función de los parámetros de requerimientos y necesidades para el área de fundición de la Facultad, por tanto se desconoce si existe algo similar o se emplee algo parecido en algún otro lugar. Por esta razón se expone a continuación el modo de empleo y funcionamiento del diseño propuesto.

Piezas del sistema de moldeo.

- Semi-caja superior
- Semi-caja inferior
- Placa modelo
- Bebedero
- Tapa superior de prensado
- Tapa inferior de prensado

El funcionamiento del material propuesto implica que este lleve un proceso en el cual el sistema de moldeo se va armando antes y durante el proceso de moldeo. De las piezas del sistema de moldeo, previo a el proceso de moldeo se arman las semi-cajas superior e inferior y se ensamblan con la placa modelo; las tapas de prensado se ensamblan al sistema durante la operación de moldeo.

Pasos del proceso de funcionamiento del sistema de moldeo

Previo al proceso de moldeo

1. **Ensamble semi-caja inferior.** Tiene su sistema de unión con la placa y la otra semi-caja, y se hace por medio de pernos en cada bisagra. El pasador prisionero es ubicado en posición de ensamble. La caja se ensambla mediante el pasador inferior mediante el seguro del perno en la bisagra BEI1, atornillándolo para que este quede fijo.
2. **Ensamble de placa modelo.** Se monta sobre los pernos y después de quedar lista la semi-caja inferior, se coloca con la cavidad de ensamble del bebedero hacia arriba y los barrenos deben de coincidir con los pernos de la semi-caja inferior.
3. **Ensamble semi-caja superior.** Su sistema de ensamble de caja general es mediante barrenos en la parte inferior de las bisagras y los pernos de sujeción de gancho. El ensamble se logra al colocar el pasador superior como unión de ensamble de la BES1 y la BES2 y colocar el tornillo del pasador que va en la BES2 para asegurar la semi-caja.
4. **Ensamble caja.** Las semi-cajas y la placa deben quedar ensambladas para empezar la operación de moldeo, para asegurarlo el sistema de aldabas deben de quedar en posición asegurándose en el perno de seguro al gancho, antes de colocar

la semi-caja superior deben de encontrarse abiertos los ganchos para evitar complicaciones en el proceso de ensamble.

En el proceso de moldeo

1. La tapa inferior se coloca al terminar de moldear la semi-caja inferior. Si activa el mecanismo de la tapa y se sigue el proceso
2. La tapa superior de prensado es colocada casi al finalizar la etapa de moldeo, cuando se va a comprimir la arena.

Pasado el proceso de moldeo.

1. Recuperación del modelo. Terminada la fabricación del molde se retira el sistema de moldeo. Una vez que se cava el basín (primera cavidad del sistema de alimentación en recibir el metal) limpiar la arena suelta de entre el sistema. Liberar el sistema de aldabas.
2. Levantar uniformemente la semi-caja superior, así podrá retirarse la placa con el mismo cuidado que la semi-caja superior.
3. Limpiar cuidadosamente con aire comprimido los residuos de arena sin compactar de las cavidades impresas en el molde
4. Devolver la semi-caja superior en posición con el sistema de moldeo.
5. Liberar los pasadores de su posición de ensamble.
6. Retirar el sistema de moldeo del molde. La tapa inferior de prensado será la base del molde y permanecerá con este hasta que termine la función del molde.

Nota:

Debe de manejarse con cuidado cada semi-caja durante la operación de ensamble pues podrían ocurrir accidentes por machucones en las esquinas móviles de la caja.

La caja de moldeo se ensambla por partes, cada semi-caja puede ensamblarse por separado. Independientemente del proceso expuesto, en los extremos de unión o ensamble de cada semi-caja se cuenta con un perno que es el que permite el ensamble y deberá encontrarse colocado antes y después de su uso en la bisagra **BES1** y **BEI2** para la superior y la inferior respectivamente. El perno tiene en su extremo superior una pequeña varilla soldada para la sujeción, por el otro extremo un barreno con rosca en donde entra un tornillo atravesando la bisagra para mantener el ensamble de la semi-caja. De esta manera permanece sujeto el perno en las bisagras mencionadas.

CAPITULO 3. DISEÑO Y MANUFACTURA DE PARTES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA PROPUESTA DEL PROCESO DE FUNDICIÓN EN CÁSCARA (SHELL MOLD CASTING)

El molde de cáscara es otro método para llevar a cabo el proceso de fundición de piezas con forma particular, aunque es empleado mayormente en la elaboración de corazones o núcleos. El método consiste en elaborar el molde con una mezcla de arena y resinas termo-enduresibles para obtener una concha o cáscara cerámica con la forma de la pieza deseada impresa en negativo. Una vez obtenida la cáscara, se coloca en una caja con arena que le sirve como soporte para realizar la colada, pues el molde es la unión de dos mitades del modelo.

Durante el moldeo, la arena es curada en dos ocasiones mediante energía térmica. Cuando la mezcla de la arena está sobre el modelo caliente entre 200 y 400 °C, adyacente al modelo se empieza a hacer efecto el mecanismo de la reacción termo-endurecible construyendo una cáscara de arena al polimerizarse la resina. El espesor común de la cáscara esta entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ de pulgada y depende de la temperatura del modelo, el tiempo que permanece sobre el modelo en la caja de vertido y de la mezcla de la arena. La arena aún sobre el modelo puede ser recalentada a 250 y 350 °C de 1 a 3 minutos. Una vez que se enfrió de manera segura las cáscaras mitades del modelo pueden ser ensambladas para hacer la colada. [10]

El método es altamente usado en la industria por la facilidad de automatización del proceso, además es ideal para elaborar casi todo tipo de piezas incluyendo las que requieren el uso de corazones para obtener cavidades internas, las tolerancias dimensionales y el acabado superficial que se obtienen mediante este método son muy aceptables y requieren de muy poco trabajo de maquinado posterior. La única restricción debida a su elevado costo es que las piezas obtenidas están limitadas en tamaño, usualmente solo se generan piezas pequeñas en moldes que pueden ser manipulados por una sola persona.

La propuesta de este método es para tener más herramientas de aprendizaje teóricos-prácticos y de desarrollo al respecto de la fundición, aprovechando que este método es también algo que se encuentra comúnmente en la industria y ofrece de alguna manera un panorama de la labor técnica en la operación del método en la industria.

En el desarrollo de esta propuesta también se muestran los parámetros de diseño necesarios, el diseño de los aditamentos con los elementos de apoyo como el software de diseño tridimensional de piezas sólidas “CAD”, planos necesarios de fabricación y, como estos son usados para la fabricación de todos los elementos necesarios con la ruta de trabajo evidenciando que se ha seguido el uso adecuado de las herramientas y máquinas utilizadas.

3.1. ELEMENTOS NECESARIOS PARA REALIZAR EL PROCESO

Un funcionamiento óptimo en este método está apoyado por equipo y herramientas especializadas para el trabajo que desempeñan, estas son, una placa con modelo bipartido dispuesto sobre en un mismo plano y misma dirección y a su vez encontradas ambas partes en espejo; también es necesario un horno para calentar el modelo, caja de vertido para crear la

concha mediante termo endurecimiento, un sistema de operación de moldeo en conjunto, y finalmente un lugar de apoyo para realizar la colada que es una caja.

El agente principal de moldeo es la arena. La arena que es usada consiste en una mezcla de los siguientes ingredientes:

1. Granos de arena seca, finura de método AFS de 60 a 140 hilos por pulgada distribuidos entre cuatro y cinco tamices.
2. Aglutinante de resina sintética, de 3 a 10 por ciento en peso. Las resinas que pueden ser usadas son de fenol-formaldehído, formaldehído y poliéster. Las resinas deben de ser de plástico termoestable.

La mayoría de las resinas tienen un rendimiento diferente y su utilidad depende de sus propiedades físicas y del mecanismo de la reacción termo endurecible.

3.2. DISEÑO DEL MATERIAL PROPUESTO PARA EL MÉTODO DE MOLDEO EN CÁSCARA

El diseño de este material se pensó y se hizo en función de los requerimientos y necesidades del área de fundición buscando su adaptación de la manera más óptima y lograr un buen funcionamiento y resultados.

3.2.1. PARÁMETROS DE DISEÑO EN FUNCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DEL ÁREA DE FUNDICIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA.

Ampliar la cartera de métodos en los que se puede hacer fundición para la Facultad. Obtener mediante este método piezas con menores restricciones en las formas geométricas y de superficies de las piezas generadas. Aplicación de forma extendida el uso de corazones. Al igual que el método anterior este permite romper limitantes de forma y da herramientas para el desarrollo y aprendizaje.

Es necesario para el proceso que el manejo de los aditamentos sea de forma segura, pues la parte principal del trabajo de moldeo se realiza a altas temperaturas. El diseño del proceso del método requiere que este pueda operarse con seguridad y los menores riesgos posibles.

Para operar este proceso, frecuentemente se requiere de un área especial o destinada únicamente para el proceso de moldeo. En dicha área se cuenta con el equipo necesario de moldeo como el horno tipo mufla, las placas de los modelos, la caja de vertido y el mecanismo de funcionamiento que permite las operaciones de moldeo; el área destinada al proceso de moldeo es un espacio con el que no se cuenta en el área de fundición de la Facultad, por ello este inconveniente se toma como parámetro de diseño que adapta las partes esenciales del método para hacerlas posibles en nuestra área de trabajo.

3.2.2. PARÁMETROS DE DISEÑO EN FUNCIÓN DE LAS NECESIDADES DEL ÁREA DE FUNDICIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA.

Normalmente para llevar a cabo este proceso es necesario un horno que caliente el modelo de forma uniforme, este es usualmente un horno de tipo mufla, y es ideal para el proceso de moldeo de este método. En el área de fundición de la Facultad no se cuenta con este equipo por lo cual se tomará este inconveniente en los parámetros de diseño del método.

El desarrollo del proceso necesita de las piezas y aditamentos necesarios para el desarrollo del proceso, no se cuenta con ellas en la Facultad, por ello deben de ser fabricadas.

Tabla 4. Parámetros en función de los requerimientos y necesidades

Requerimientos	Necesidades
Más métodos de moldeo para fundición en arena	Aditamentos y herramientas para el proceso
Más variedad de formas	Sistema de operación de moldeo
Uso de corazones	Adaptación del horno disponible
Adaptación al espacio disponible	Adaptación al espacio disponible

3.2.3. DISEÑO DE ADITAMENTOS NECESARIOS PARA EL MÉTODO

En función de los requerimientos y necesidades se diseñan los aditamentos necesarios para el método de fundición en cáscara. Como se sabe, el método requiere de algunos componentes para llevarse a cabo, estos son placa modelo, caja de vertido, sistema de operación de moldeo y caja para colada.

3.2.3.1. PLACA MODELO O MODELO

El modelo elegido es el cuerpo y estructura principal de una prensa en “C”. La elección de este diseño se debe a que para terminar la pieza se requieren operaciones de maquinado posterior en el torno para la elaboración del sinfín, de taladro para obtener el barreno por el que se desplaza el sinfín y de machuelado para tener la rosca que determina el paso del espárrago, solo por mencionar algunas, pero pueden desarrollarse más operaciones de mecanizado. La máxima área que ocupa el cuerpo es de 12in² y se disponen dos de estas piezas estratégicamente en un área de 84in². El material con el cual se obtienen los modelos y la placa es aluminio. Como estrategia de fabricación, de acuerdo con la disponibilidad de máquinas-herramienta en los laboratorios de ingeniería mecánica, es que los modelos son fabricados y diseñados de manera independiente al diseño de la placa, pero están dimensionalmente relacionados. El modelo se conforma del ensamble de dos piezas que son simétricas y que en conjunto tienen la forma del modelo original. En la placa se disponen ambas piezas una frente a la otra encontradas en espejo. La placa deberá garantizar que ambos modelos queden dentro del área de la placa y que ambas piezas logren coincidir las cavidades generadas cuando se imprima el negativo en la cáscara, por ello las dimensiones de la placa son 12in de largo por 7in de ancho y 1/2in de grosor.

Modelo

El cuerpo de la prensa en C es de sección transversal recta, tiene un largo de 4in por 3in y un espesor de 1in. En el plano de fabricación para esta pieza y todas las que se mencionen se encontrarán a detalle las dimensiones de las piezas.

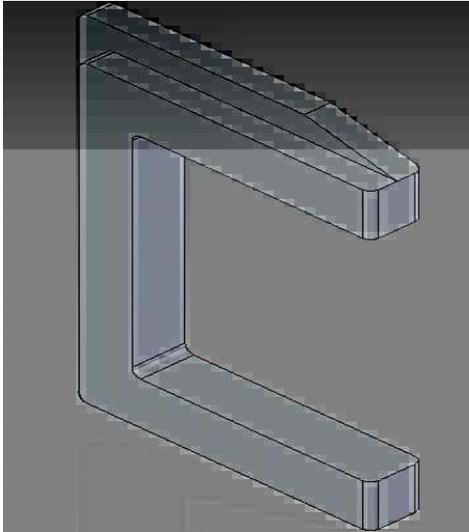


Figura 71. CAD Modelo prensa en C.

Placa

El diseño de la placa es de suma importancia pues es parte estratégica para el método. En la placa se deben de imprimir ambas partes de la cáscara que formaran el molde, entonces está dividida en dos partes de misma área. En cada una de estas áreas se alojará una de las dos partes del modelo, por ello se colocarán cuatro guías que harán que ambas cáscaras coincidan de forma precisa. Por la mitad de la longitud de la placa lleva una cresta, es una herramienta que permite partir la cáscara en ambas partes del modelo.

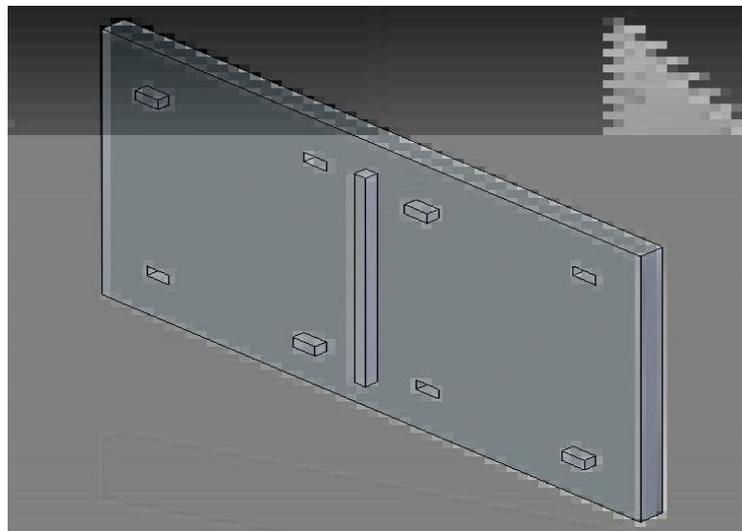


Figura 72. CAD de la Placa

Ensamble Modelo-Placa

La disposición del modelo partido en la placa es de frente y en espejo con la concavidad hacia enfrente una de la otra como en la siguiente imagen se aprecia.

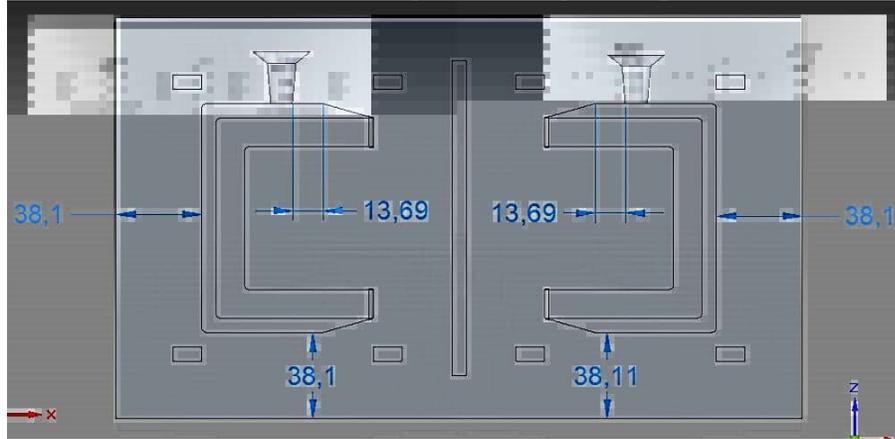


Figura 73. CAD del ensamble de la placa-modelo

Sistema de alimentación

El sistema de alimentación para la colada es hecha al igual que el modelo, independiente de la placa este es de forma cónica y sus dimensiones están estrechamente relacionadas con el modelo y la placa.

3.2.3.2. SISTEMA MECÁNICO DE OPERACIÓN DE MOLDEO EN CONJUNTO

Parte del trabajo en la realización del molde en cáscara es calentar el modelo y depositar arena sobre él para que esta pueda endurecer y polimerizarse. Las temperaturas de calentamiento del modelo son de 200 a 300 °C y hay riesgos por quemaduras si no se tiene el equipo adecuado. Dicho lo anterior se desarrolla un sistema de operación de moldeo en conjunto, el diseño obedece y se adapta a las condiciones de espacio y restricciones de los equipos fundamentales necesarios del proceso.

El sistema está integrado sobre una estructura que da alojamiento a un marco de calentamiento para la placa, gracias al sistema este puede rotar sobre un

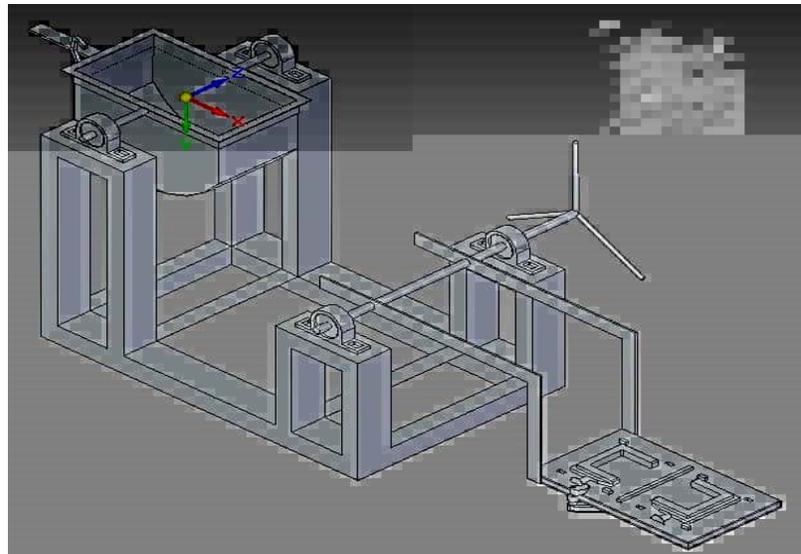


Figura 74. CAD Sistema mecánico de operación de moldeo

eje para acoplar la placa a altas temperaturas a la caja de vertido de arena, lugar donde se formará la cáscara.

Estructura de soporte

Esta es el esqueleto principal del sistema mecánico de operación de moldeo, sobre él se fija los componentes de operación. El diseño es en función de la operación de moldeo.

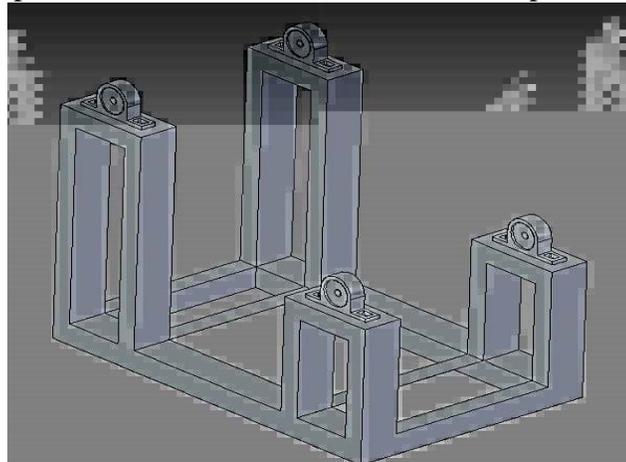


Figura 75. CAD Estructura de soporte.

Riel a la estructura de soporte

La estructura de soporte lleva el marco de calentamiento dentro y fuera del fuego, así se opera de forma segura el proceso de moldeo. Para cumplir con esta función el sistema de operación de moldeo se desliza por un riel hecho para el mecanismo.

Marco de calentamiento.

La placa modelo debe de ser calentada, una vez alcanzada la temperatura necesaria debe de manipularse para hacer la cáscara con ayuda de la caja de vertido. El marco a través del sistema de moldeo lleva la placa hasta el fuego y también evita tomar la placa con las manos para llevarla a la caja de vertido. El marco de calentamiento está hecho con sección angular de 90° a la medida de la placa para que este pueda alojarla, tiene dos brazos en un extremo a lo largo y unidas en ambos extremos del ancho que sostienen el marco al sistema de rotación. El sistema de rotación está colocado sobre la estructura, son dos chumaceras por las cuales pasa un eje con palanca de rotación a 180°. Para realizar la tarea de llevar la placa del fuego a la caja de vertido, se debe de asegurar la placa para la hora de voltearla, entonces el diseño del marco de calentamiento cuenta con un mecanismo de leva que asegura la placa al marco.

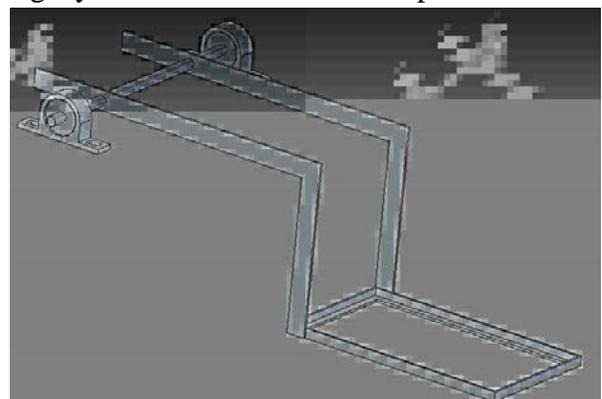


Figura 76. CAD Sistema marco de calentamiento

Mecanismo de leva

Está compuesto de cuatro piezas, una leva, el eje, un buje y una palanca. Su diseño es solo el de sujetar la placa modelo en el marco de calentamiento al rotarla a la caja de vertido y ahí liberarla para que se ensamble a la caja.

Leva. Es una pieza que tiene la semi forma de disco, su función es girar en un eje, aunque el eje pasa por un extremo de este y no en el centro, así es que atora la placa al marco. El disco reduce su altura generando una pendiente en una de sus bases cilíndricas, esto permite quitar y ponerlo bajo presión a la placa.

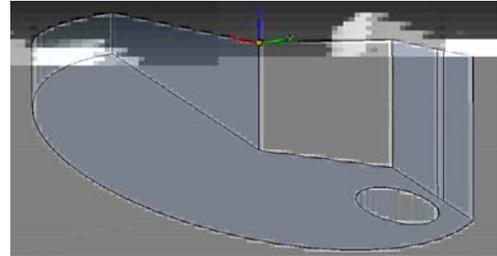
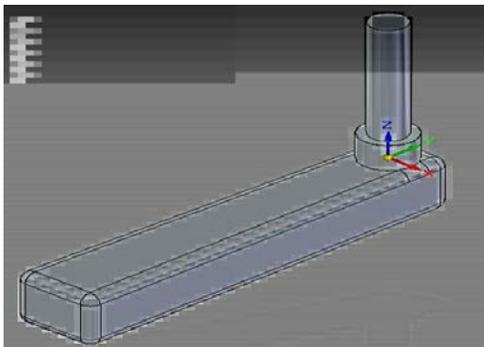


Figura 77. CAD leva



Eje y palanca. El eje es el que permite girar la leva del mecanismo, está anclado en uno de sus extremos a la leva y en el otro está fijado a una palanca que permite mover el disco.

Figura 78. CAD del eje y palanca

Buje. Esta pieza aloja el eje y ensambla el mecanismo al marco de calentamiento, su diseño es importante ya que todo el mecanismo estará sometido a una fuerte potencia de calor, y su temperatura se elevará considerablemente, los efectos de dilatación térmica son importantes, entonces el diámetro interior del buje debe ser ligeramente mayor que el diámetro del eje.

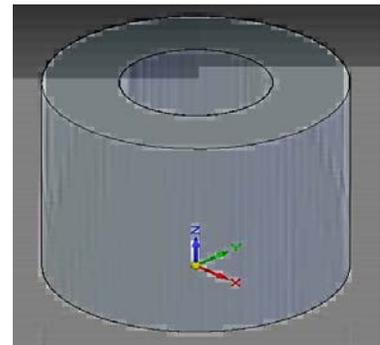


Figura 79. CAD

Caja de volteo

La caja de volteo también forma parte del sistema de moldeo en conjunto. Esta es una herramienta que ayuda a verter la arena sobre el modelo en el proceso de moldeo. El diseño de esta caja es en función de la placa, pues guardan estrecha relación en algunas de sus dimensiones. A fin de evitar que en las esquinas de la caja se almacene arena, la base de esta caja tiene forma en arco. Soportado por un cinturón macizo metálico se le colocó un eje en la parte superior de sus caras más largas en posición normal, este es un sistema de rotación de un poco más de 180° para verter la arena, esta soportado por un par de chumaceras montadas en la estructura principal del sistema.

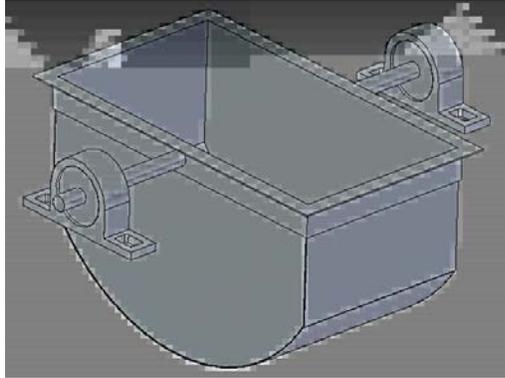


Figura 80.CAD Sistema Caja de volteo

3.2.3.3. CAJA PARA COLADA

Para realizar la operación de vaciado de metal en el molde adquirido es necesario que el molde formado por las cáscaras tenga un soporte en el cual pueda apoyarse. Usualmente el molde se sumerge dentro de arena normal. Para soportar el molde de cáscara se diseñó y se fabricó una caja que arroja al molde de cáscara y permite soportarlo con arena para realizar la colada.

3.3. FABRICACIÓN DEL MATERIAL PROPUESTO

En esta sección se muestran los planos necesarios para la fabricación de las piezas diseñadas de los aditamentos que requiere el método de moldeo propuesto. Mediante estos planos se manufacturó y maquinó cada una de las piezas que en conjunto forman parte del diseño de elementos necesarios para el proceso de moldeo en cáscara.

3.3.1. FABRICACIÓN DE LAS PIEZAS DISEÑADAS PARA EL ENSAMBLE DE LA PLACA MODELO.

Modelo

El material con el cual se fabrica el modelo es aluminio, se requieren dos placas de 4 x 3 pulgadas con un espesor de 1/2". El Proceso de fabricación implica un maquinado en fresa. Primero se realiza un careado plano para ajustar las dimensiones de ambas placas, antes de quitarlas de la fresa se sujetan con una herramienta externa como unas pinzas de presión para sacar las piezas de las mordazas de la fresa y mantener la cuadratura entre ambas placas. Trazar la geometría del modelo con tinta, rayadores y escuadras y universales si es necesario según la complejidad del dibujo, marcar un contorno al exterior de los trazos con una ancho de pestaña de 8 mm con el fin de generar el ángulo de desmolde. Regresar a la fresa y cortar fuera de las líneas del trazo original dejando una ceja de 8 mm mediante el cortador vertical se realiza el corte aproximado al contorno exterior. El ángulo de desmolde es de 10° y este se ajusta en el cabezal de la fresa, la ceja tiene el cálculo para cortar el ancho de la pieza y no sobrepasar la línea de dibujo, aun así durante el maquinado es importante cuidar que la herramienta no rebese esta línea. Para lograr el radio de las esquinas internas y alcanzar la dimensión final se usa un cortador de 1/4".

Placa

La manufactura de la placa se realiza sobre una placa de aluminio que tiene sus dimensiones comerciales de 8 x 12 pulgadas con un espesor de $\frac{1}{2}$ ". La fabricación de la misma involucra de varias etapas de procesos de maquinado, en las cuales se cortan y ensamblan las partes que forman la placa. Estas partes se componen de la placa, los barrenos-pernos de ensamble de modelo y la cresta divisora del modelo en la placa. La placa implica un maquinado de corte que se realiza en una fresadora de cortador vertical. Se hace un careado plano en la superficie donde estará el modelo, el ancho se marca con tinta, rayador y escuadras, el cortador que rebajará el ancho no tiene que rebasar esta línea y debe seguirla firmemente. Ahora la placa se marca en los puntos estratégicos donde quedara ensamblados los modelos, los barrenos-pernos de ensamble y la cresta divisora, es importante hacer los trazaos con alta precisión usando escuadras y universales si es necesario, los puntos marcados se barrenan usando un cortador tipo broca con diámetro de $\frac{3}{32}$ " mediante la máquina fresadora para poder ajustar la profundidad del barreno a $\frac{3}{8}$ ". Todos los barrenos hechos con broca de $\frac{3}{32}$ " son machuelados a un tornillo de $\frac{1}{8}$ ". Los puntos marcados que pertenecen a los barrenos de acoplamiento de modelo, son barrenados con un cortador vertical con punta de bola con un diámetro de $\frac{1}{2}$ ", a una profundidad de $\frac{1}{4}$ ". La cresta es tornada de una pieza rectangular de aluminio de una longitud de 9" y sección transversal cuadrada de $\frac{1}{2}$ ", la altura se rebaja hasta obtener una sección cuadrada de $\frac{1}{4}$ ", se barrena con broca de $\frac{1}{8}$ " en donde coincide el ensamble con los barrenos de la placa. Los pernos de acoplamiento del modelo se fabrican independientes a la placa, tomando una barra de aluminio de $\frac{1}{2}$ ", requiere un trabajo de maquinado mediante torno, se sujeta la barra dejando uno de sus extremos libre a una longitud de 10mm, el proceso requiere tener una plantilla circular con el diámetro del cortador de bola, el mecanizado a la barra requiere rebajar la punta con forma esférica apoyándose con la plantilla para dar el acabado a la pieza. Aún en torno se barrena con la broca de $\frac{3}{32}$ " a una profundidad de 15mm. Ahora cada pieza es cortada con sierra de arco a la medida deseada y se asienta su base plana con lima musa. Cada perno es ensamblado con tornillos en la posición descrita en el plano. Así es como queda la placa. Para finalizar, se realiza el ensamble del modelo con los tornillos.

Sistema de alimentación

Al igual que el modelo, el sistema de alimentación, es fabricado aparte, este se toma de una barra de aluminio de 1". El mecanismo de fabricación se realiza en un principio maquinando dos pedazos de barras en la fresan para obtener dos medias cañas de estas, ambas medias cañas se ensamblan mediante un tornillo, para lograrlo se taladra y machuelan para que queden unidas y llevarlas posteriormente al torno para acabar con la forma final de la pieza. Finalmente se cortan con sierra de arco y se ensamblan a la placa en su respectivo lugar con un tornillo.

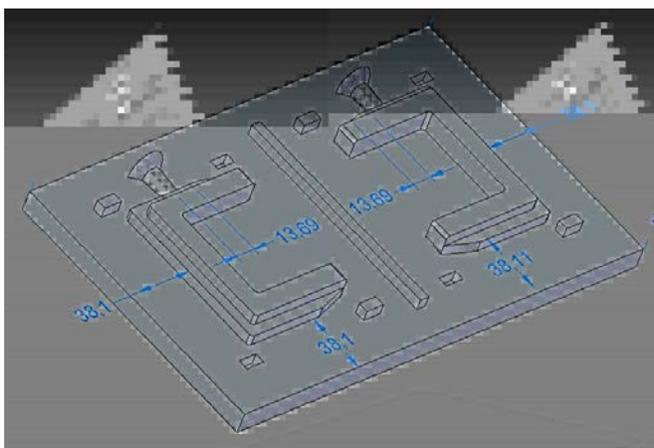


Figura 81. CAD ensamble placa modelo

3.3.2. FABRICACIÓN DE LAS PIEZAS DISEÑADAS PARA EL ENSAMBLE DEL SISTEMA MECÁNICO DE OPERACIÓN DE MOLDEO EN CONJUNTO

Marco de calentamiento.

Se fabrica con solera de 1" por $\frac{1}{8}$ " de espesor. Para que el marco pueda contener a la placa se cortan 2 trozos con cortadora de disco a una longitud de 307mm y 2 más de 181mm, se arma el marco y se sueldan por arco eléctrico y electrodo revestido a ángulos de 90° entre cada trozo. Los brazos se incorporan al marco mediante una soldadura de arco. Se cortan 2 trozos, por un lado con ángulo recto y por el otro con un ángulo de 45° a una longitud máxima de 228mm, otros dos trozos de este mismo material se cortan de la misma manera pero con una longitud de 425mm. Cada pieza del par se une con una del otro par mediante soldadura de arco en ángulo recto.

El brazo que queda libre tiene un eje normal a su superficie plana soldado firmemente a él para lograr el la colocación de la caja en la caja de volteo. El eje atraviesa ambos brazos y está sujeto a un sistema de dos chumaceras con un diámetro de $\frac{1}{2}$ ", en uno de los extremos se tiene una extensión del eje y tiene soldada un sistema de palanca con tres barras para poder rotar el marco.

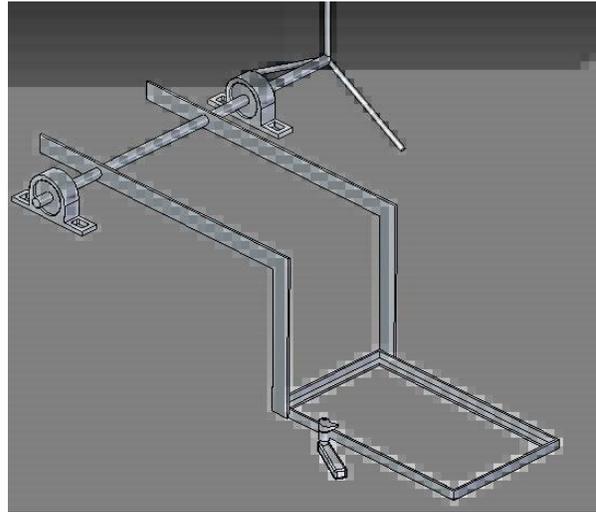


Figura 82. CAD sistema de movimiento del

Caja de volteo

Para este elemento se requiere lámina negra de acero de calibre 22. Se fabrica mediante el ensamble de 4 piezas, de las cuales tres son de lámina y una de solera. De acuerdo con las dimensiones descritas en el plano, dos piezas de lámina son los lados laterales y el restante es el envoltorio junto con los lados frontales. El trabajo de pailería se realiza trazando con ayuda de tinta, rayador y escuadras marcando el dibujo de cada pieza y dejando pestañas de 10mm en solo uno de los lados adyacentes a la unión. Trazado el dibujo a las dimensiones doblar en la dobladora de lámina, tanto vértices como pestañas, ensamblar las piezas y soldar mediante puntos de resistencia. Sellar los lados con soldadura por oxi-combustible y soplete, utilizando soldadura de plata como material de aporte. El sistema de rotación de la caja de volteo se constituye por un cinturón de soporte hecho con solera, este rodea y sujeta a la caja por los lados en la parte superior pegado a las pestañas de contención de placa. Este se fabrica con un trozo de solera de $\frac{3}{16}$ " de ancho, $1\frac{1}{2}$ " y con una longitud de 870mm. Se trazan a lo largo las longitudes de doblar y se corta parcialmente a la mitad del espesor para doblarlas, colocar el marco generado como un cinturón en la caja de volteo y soldar mediante soldadura de resistencia eléctrica ambas piezas. Centrado en largo y ancho del lado largo de la solera, barrenar junto con la caja a un diámetro de $\frac{1}{2}$ " para permitir al paso del eje que ensambla al sistema de operación de moldeo.

Estructura del sistema de operación

La estructura del sistema se fabrica con perfil tubular rectangular, de 2 ½” por 1 ¼” y espesor de pared de 1/32”. Este tiene cuatro torres, gemelas por pares en dimensiones que alojan las chumaceras del marco de calentamiento y en las más altas de la caja de vertido. Las esquinas de unión de la estructura tienen por cada pieza un ángulo de 45°, se cortan a la medida del plano respetando este ángulo, cada pieza es soldada en la posición que le corresponde con una alta técnica pues el espesor del material dificulta mucho este proceso, ya que es fácil fundir las orillas a soldar provocando que se coma el material.

MATERIALES Y ADITAMENTOS FABRICADOS TERMINADOS

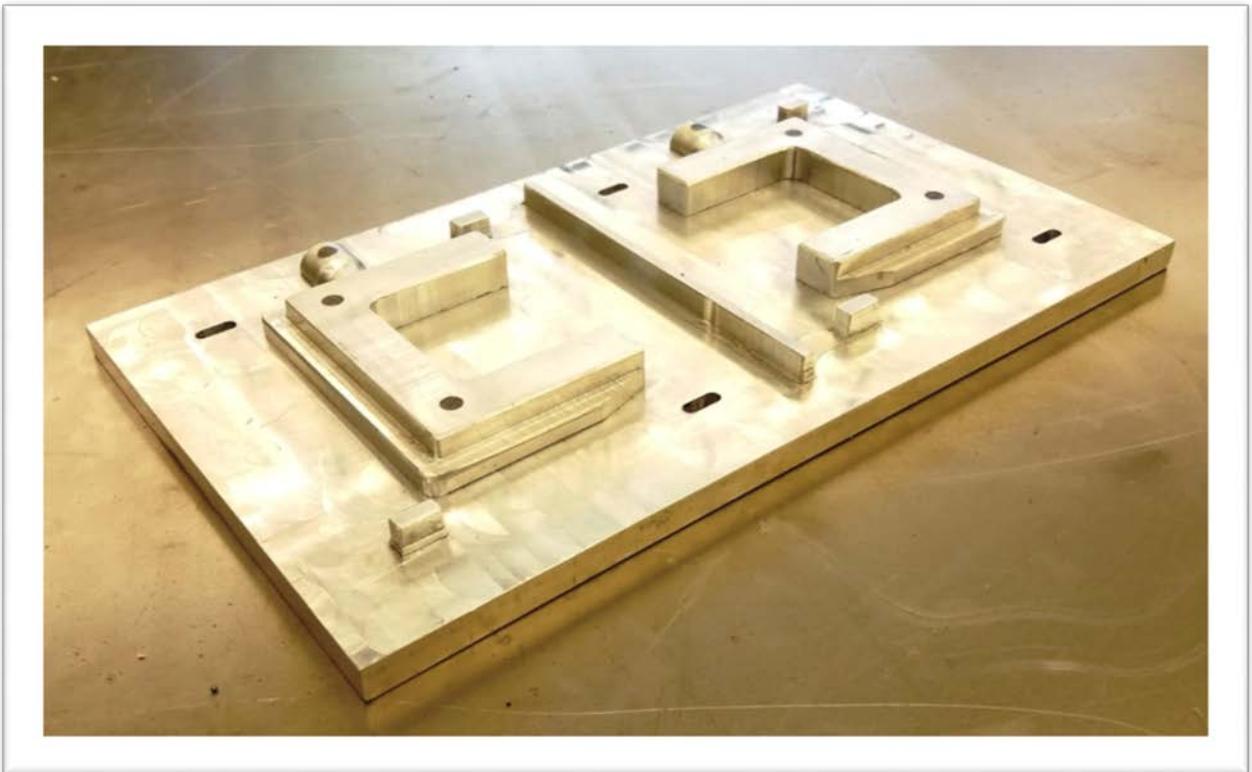


Figura 83. Placa modelo



Figura 84. Sistema de molde

3.4. MANUAL DEL FUNCIONAMIENTO Y ACCESORIOS DEL MATERIAL PROPUESTO

Los aditamentos y equipo fabricado que se emplean en el método son diseñados de acuerdo a los requerimientos y necesidades que en el área de fundición se tienen. Aunque es poco probable, se desconoce si existe una reproducción del equipo con el diseño aquí expuesto, pero no se descarta la posibilidad, aunque sí se sabe que los hay similares en el empleo del método. Por esta razón se expone a continuación el modo de uso y funcionamiento del equipo.

Los aditamentos fabricados y empleados son:

- Placa modelo
- Sistema de operación de moldeo en conjunto
- Marco de calentamiento
- Caja de vertido
- Caja de colada

El empleo de estos equipos se realiza siguiendo una serie de pasos para la realización del molde. Cada uno de ellos se describe a continuación en orden de empleo:

1. Calentamiento del modelo. El riel se ubica en línea con el horno, debe quedar bien nivelado y descansar seguro sobre sus cuatro patas. Colocar el sistema de operación de moldeo dentro del riel y retirado de las llamas en el horno. Colocar la placa con el modelo hacia arriba dentro del marco de calentamiento y accionar el mecanismo de leva para asegurar la placa al marco. Correr el sistema a través del riel hasta que la placa quede abrazada por las llamas. Ahí debe permanecer la placa según indique la práctica propuesta.
2. Fabricación de la cáscara. Sacar la placa de la flama mediante el riel para tomar datos de lectura según lo estipulado en la práctica y, para rotar en 180° el marco de calentamiento junto con la placa hasta alcanzar la caja de vertido. Desactivar el mecanismo de leva en el marco de calentamiento y rotarlo al origen. A la placa colocar los seguros de tensión con palanca dispuestos en la caja de vertido. Rotar la caja 180° a la manera especificada por la práctica propuesta. Regresar la placa y caja a la posición original para desactivar los mecanismos. Cuidadosamente con una espátula levantar la placa y retirarla según el procedimiento estipulado por la práctica propuesta.
3. Curado de cáscara. Regresar la placa cubierta con la cáscara al marco de calentamiento para ingresarlos de nuevo a la llama del horno. Para ello con pinzas de presión tomar la placa y depositarla nuevamente dentro del marco de calentamiento, ahora ingresar nuevamente el marco de calentamiento a la llama del horno para lograr el recocido de la cáscara. Realizar este proceso de acuerdo a lo estipulado en la práctica propuesta.
4. Ensamble de la cáscara. Recuperando la placa del marco de calentamiento, esperar a que se enfríe para poder retirar la cáscara. Para ello solo bastara con golpear ligeramente sobre la superficie de la placa que no tiene cáscara. Tomar la cáscara con ambas manos, una en cada mitad del modelo y golpear ligeramente en la ranura generada a la mitad para obtener ambos modelos. Hacer coincidir los barrenos y pernos de acoplamiento para dejar ensamblado el molde.

CAPITULO 4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO, OBSERVACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS MÉTODOS PROPUESTOS.

En el desarrollo de las prácticas de fundición propuestas se requieren de tres operaciones generales que determinan el éxito de una colada, y son preparar el sistema de arena, fabricar el molde y realizar la operación de colada. Por ello cada una de estas operaciones requiere un control en la medición de parámetros clave a fin de minimizar la probabilidad de falla.

Como punto de partida se toma como referencia parámetros teóricos de la literatura. Las pruebas consisten en iterar alternamente los valores a fin de encontrar los más óptimos o en su defecto tratar de identificar la falla más probable y, la manera en que podría solucionarse el problema.

4.1. PRUEBAS EN EL MÉTODO DE FUNDICIÓN EN ARENA VERDE CON MOLDEO DE MODELO BIPARTIDO EN PLACA

Los parámetros clave en las pruebas de funcionamiento para fundición en arena verde se dividen en dos grupos generales, el primero es la operación de preparación del sistema de arena y el segundo la fabricación del molde, de cada una de estas operaciones se iteran los valores de referencia en la teoría para obtener los óptimos en el diseño del proceso.

4.1.1. PREPARACIÓN DEL SISTEMA DE ARENA VERDE

4.1.1.1. Cantidad de componentes

Porcentaje en peso en los ingredientes del sistema. Los porcentajes de referencia para los componentes del sistema de arena verde son: 85% de arena, 10% aglutinante y 5% agua.

Tabla 5. Mezclas para las pruebas del sistema de arena verde

	%Arena	%Arcilla	%Agua	Observaciones
Mezcla 1	85	10	5	Consistencia de baja humedad, baja activación del aglutinante, molde seco y frágil
Mezcla 2	75	15	10	Consistencia lodosa y grumosa, alta humedad. Dificultad al moldeo, evaporación con borbullo violento en la colada.
Mezcla3	90	7	3	Sistema demasiado seco. Molde frágil
Mezcla 4	86	7	7	Porcentajes de mezcla óptimos. Suavidad y buena adaptación al moldeo, dureza, rigidez y firmeza en la compactación. Sin problemas en el vertido.

4.1.1.2. Tiempos de mezclado

Estas pruebas se realizaron con el objetivo de obtener los tiempos necesarios del diseño de nuestro proceso que nos permitan un resultado óptimo y con el menor tiempo posible. De acuerdo con W Heine, 1967, el tiempo óptimo para el mezclado en un molino de rueda vertical como el de la Facultad es de 4.5 a 6 minutos necesario para desarrollar los enlaces de la arcilla. Para las prácticas de fundición realizadas por moldeo en arena verde se toman cerca de 20 minutos para este proceso. Iteramos los valores de tiempo dentro del rango de la teoría y los prácticos aplicados en la Facultad.

Tabla 6. Tiempos para las pruebas de mezclado

Pruebas de tiempo de mezclado con un porcentaje de 86% Arena, 7% Arcilla y 7% Agua

Tiempo propuesto	minutos	Observaciones
T. teórico 1	4.5min	Sistema no uniforme, presencia de grandes terrones muy duros, se ven partículas blancas de arcilla. Zonas húmedas no uniformes.
T. teórico 2	6min	Sistema no uniforme, disminuye la presencia de arcilla a la vista, presencia de terrones Humedad aparentemente homogénea
T. propuesto 1	10min	Sistema homogéneo a la vista, humedad uniforme presencia de pocos y suaves terrones
T. propuesto 2	15min	Sistema visiblemente homogéneo, terrones muy suaves y escasos.
T. aplicado en prácticas	20min	Sistema visiblemente homogéneo, terrones muy suaves y escasos.

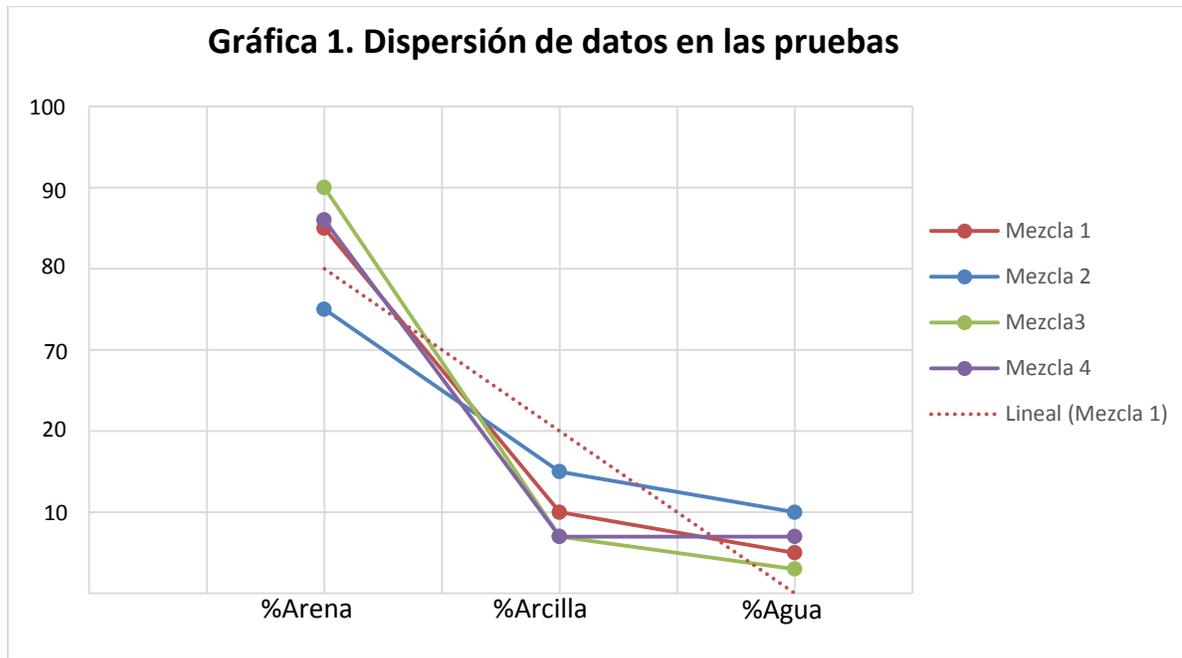
4.1.1.3. Análisis de resultados

El moldeo de arena verde involucra aspectos importantes, a tratar los más generales, como las cantidades de los materiales componentes y los tiempos necesarios y óptimos de preparación.

Mezcla óptima para el diseño.

La teoría propone valores que se usan como referencia, en las pruebas realizadas se determina que la mezcla óptima es la mezcla 4, la discrepancia en contraste con los valores teóricos es la más estrecha en relación con las otras mezclas propuestas, y es la que provee de mejores resultados para las características ideales del sistema de arena verde. Entonces quizá se deba a que la calidad de los materiales usados difiera en algo, pero lo cierto es que conserva casi el mismo patrón que los propuestos por las bases teóricas de acuerdo con los porcentajes para las cantidades de los componentes empleados.

Dispersión de datos obtenidos en las pruebas realizadas en la cantidad de los ingredientes del sistema de arena verde.



La dispersión de los datos muestra que la mezcla 4 es la menos alejada en relación a la mezcla teórica (mezcla 1). Este argumento puede demostrarse matemáticamente si se parametriza la función de las curvas y se integran para obtener el área bajo la curva, al hacer la diferencia de estos valores en contraste con el valor del área de la curva teórica (mezcla 1) se obtendrá que el valor absoluto más pequeño es el de la curva que pertenece a la curva cuatro (mezcla 4). Entonces este es el valor menos disperso de lo establecido por la teoría. Otra forma matemática más sencilla de demostrarlo es midiendo el porcentaje de error lo cual se muestra a continuación.

Tabla 7. Relación del porcentaje de ingredientes por mezcla

Componentes	Mezcla 1 (Teórica)	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4
%Arena	85	75	95	86
%Arcilla	10	15	7	7
%Agua	5	10	3	7

Porcentaje de error en la mezcla 2.

$$\%E_2 = \left| \frac{85 - 75}{85} \right| * 100 = 11.7$$

Porcentaje de error en la mezcla 3.

$$\%E_3 = \left| \frac{85 - 95}{85} \right| * 100 = 11.7\%$$

Porcentaje de error en la mezcla 4.

$$\%E_4 = \left| \frac{85 - 86}{85} \right| * 100 = 10\%$$

En el cálculo de los porcentajes de error se puede apreciar que la mezcla 4 es la que reporta un menor porcentaje de error. Aunque la diferencia con las otras mezclas propuestas es de poco más de una unidad, de acuerdo a los resultados en las pruebas se puede apreciar que el sistema que mejores resultados da es el mismo que se encuentra menos disperso de los valores teóricos.

Después de realizadas las pruebas y fundamentarlas con los cálculos realizados se sabe que la mezcla ideal para el diseño tiene un porcentaje de 86% de arena, 7% de arcilla y 7% de agua. Esta mezcla es ideal para obtener siempre el sistema de arena ideal para la práctica, pero resulta que es demasiado inconveniente en el aspecto económico, pues se requiere materiales nuevos por cada ciclo. El desarrollo de las prácticas para cada grupo que lleva el curso en la Facultad requiere del reúso del sistema de arena, por ello de acuerdo con W Heine, R Loper, 1967, para un nuevo ciclo de mezclado se propone agregar ingredientes con un 0.15 a 1 por ciento en peso de la arena, tanto de arcilla como de agua y arena. Así pueden reponerse las pérdidas que se generan por degradación de los ingredientes del sistema debido a las altas temperaturas en la colada.

Tiempo óptimo de mezclado

El tiempo de mezclado es un factor que ayuda a desarrollar por completo las propiedades del sistema de arena verde. La literatura indica un tiempo de mezclado en molino de entre 4.5 a 6 minutos, pero mediante las pruebas se ha determinado que este tiempo no es el tiempo óptimo para el mezclado, pues existe la presencia de terrones duros, la arcilla se visible y la humedad se manifiesta solo en algunas zonas de la mezcla. Entonces al aumentar el tiempos se obtuvo mejoras por cada intervalo usado, los mejores tiempos para el mezclado fueron el tiempo propuesto 2 y el tiempo usado para las practicas por los profesores. Como uno de los objetivos generales es disminuir el tiempo que requiere el proceso de fundición el tiempo óptimo seleccionado es el tiempo propuesto 2 con una duración de mezclado de 15 min.

4.1.2. FABRICACIÓN DEL MOLDE

La fabricación del molde incluye el uso de la máquina compactadora, entonces los parámetros calculados en el diseño del uso de la compactadora como la fuerza de moldeo y la presión de moldeo se toman aquí como referencia puesto que estos se calcularon en acuerdo a la teoría.

- **Presión en la línea de aire**

De acuerdo a W Heine, 1967, uno de los parámetros importantes en el proceso de moldeo con compactadora neumática es la presión de moldeo (MP), mediante ella logra estimarse el promedio de dureza del mole, la densidad de abultamiento entre los granos de la arena y controlar la permeabilidad del molde. Para obtener la presión de moldeo es necesario primero obtener la fuerza de moldeo (FM), esta depende de dos factores, el primero es el área de la base del molde, y el segundo y más importante es la presión en la línea de aire, esta es la energía principal para variar los parámetros del proceso y encontrar los que mejores resultados arrojen. La línea de aire en el área de fundición tiene una presión máxima de 100 psi. Las pruebas consisten en variar la presión del aire en decenas empezando con un valor de 70 psi. Así obtenemos diferentes fuerzas de moldeo que al mismo tiempo permitirán obtener las presiones de moldeo para analizar cual de ellas es la mejor y comparar los resultados con los estipulados en la teoría.

Tabla 8. Relación de parámetros obtenidos en función de la presión en la línea de aire.

Presión línea de aire (psi)	MF (lb)	MP (psi)	Dureza del molde %	Observaciones
70	6546.94	26.94	73.47	Buen conformado de molde, poca penetración de dedo, densidad de compactación entre 77 y 86 lb/ft^3 . Permeabilidad experimental adecuada
80	7497.27	30.85	75.43	Conformado de molde sólido, sin penetración de dedo, densidad de compactación entre 80 y 91 lb/ft^3 . Buena permeabilidad experimental.
90	8447.60	34.76	77.38	Molde sólido, alta dureza, sin penetración de dedo, densidad de compactación entre 83 y 94 lb/ft^3 . Permeabilidad experimental poco adecuada.
100	9397.94	38.67	79.34	Molde sólido, alta dureza, sin penetración de dedo, densidad de compactación entre 85 y 96 lb/ft^3 . Permeabilidad poco adecuada.

4.1.2.1. Densidad de abultamiento.

La densidad de abultamiento proporciona información acerca de los huecos que quedan entre los granos de arena que están adyacentes cuando ha sido compactado el molde, debido a los huecos esta es una manera aproximada de medir la permeabilidad del sistema de arena y está en función de la dureza adquirida en la compactación.

De la tabla 8 utilizamos los porcentajes de dureza y el promedio de la densidad de abultamiento obtenida, y mediante los modelos matemáticos que proporciona W Heine, 1967 se obtienen los porcentajes de sólidos y vacíos en el sistema.

La densidad de arena sílice es 165.4 lb/ft^3

Porcentaje de sólidos

$$\%Sólidos = \frac{\text{Densidad de abultamiento}}{\text{Densidad arena sílice}} * 100$$

Porcentaje de vacíos

$$\%Vacíos = 100\% - \%Sólidos$$

Tabla 9. Porcentaje de cuerpos sólidos y huecos en el molde.

Dureza del molde %	Promedio de densidad de abultamiento (lb/ft^3)	Porcentaje de cuerpos sólidos %	Porcentaje de espacios vacíos. %
73.47	81.5	49.27	50.73
75.43	85.5	51.69	48.31
77.38	88.5	53.51	46.49
79.34	90.5	54.71	45.29

4.1.2.2. Número de percusiones.

El factor de sacudido es de suma importancia para tener una compresión efectiva alrededor del modelo, según el autor que dirige el razonamiento de las pruebas W Heine, 1967, existe un número óptimo teórico de sacudidas, que al ser rebasado, los efectos benéficos se vuelven asintóticos, y aunque no se demuestra matemáticamente, en las pruebas realizadas se usó dicho valor como parámetro y probar otros más.

Tabla 10. Percusiones en la operación de moldeo

# sacudidas	Observaciones
3	Cavidad del modelo suave pero estable, algunos arrastres. Penetración de dedo en la partición y las bases del molde
6	Cavidad del molde más firme, estable, endurecimiento notable de las superficies libres del molde y poca penetración de dedo.
9	Cavidad del molde firme, superficies duras y estales, endurecimiento notable de las superficies libres del molde sin penetración de dedo.
12	Cavidad del molde firme, superficies duras y estables, endurecimiento notable de las superficies libres del molde sin penetración de dedo.

4.1.2.3. Tiempos de moldeo

El uso de la máquina compactadora reduce el tiempo de moldeo, datos recabados de las prácticas en la Facultad muestran que el tiempo de moldeo en piso o en banco con pisonetas de forma manual requiere en promedio entre una hora y una hora veinte minutos, los datos recabados con la máquina compactadora requiere de un tiempo entre veinte y cuarenta minutos, esto dependerá de llevar a cabo efectivamente los pasos descritos en las prácticas para generar los moldes.

4.1.2.4. Análisis de los resultados

Presión en la línea de aire.

La variación en la presión de la línea de aire permitió medir y observar parámetros como la fuerza de moldeo, el esfuerzo en el moldeo, la dureza alcanzada y entender la permeabilidad del molde. Los valores óptimos teóricos de presión de moldeo son entre 20 y 50 psi, las presiones de moldeo obtenidas están entre 25 y 40 psi, pero en la parte experimental, una presión de moldeo de 30 psi es ideal para el diseño del proceso, esta da una buena compresión en el modelo, en el molde y una adecuada permeabilidad, la dureza alcanzada al molde es de 75%. Para obtener esta presión, en la línea de aire se tiene que controlar una presión de entrada de 80 psi.

Densidad de abultamiento

Mediante la densidad de abultamiento se mide de forma teórica la permeabilidad aproximada que tenemos del molde. Según W, Heine, aún después de alcanzar la máxima dureza en el molde, la composición del sistema es de 60 % de partículas sólidas y el 40 % restante de espacios vacíos entre los granos con una densidad de abultamiento máxima de 100 a 115 lb/ft^3 . En el diagrama se observa que a una dureza de 75% tenemos una densidad entre 80 y 90 lb/ft^3 , en promedio se tendría una densidad de 85% pero al realizar el cálculo con la teoría expuesta por W, Heine se obtiene que el porcentaje de cuerpo sólidos dentro del molde es de 51.7% y 48.3 % de espacios vacíos. Este porcentaje aproximado de espacios vacíos indica que casi la mitad del molde está compuesto por micro poros por los cuales evacuan los vapores y gases generados en el proceso de la colada. Al generar más dureza en el molde se reduce el porcentaje de espacios vacíos al igual que la permeabilidad del molde.

Número de percusiones

El efecto del número de percusiones es importante, así se obtienen cavidades más firmes, el grano que cae sobre la superficie del modelo se empaqueta mejor y al momento de la compresión esta zona se endurece un poco más, pero de las pruebas se notó que después de 6 percusiones muy poco beneficio se obtiene y por el contrario suma tiempo innecesario para la operación de moldeo.

Tiempos de moldeo

Los tiempos de moldeo en contraste con los ocupados en el moldeo de piso o de banco reflejan una gran discrepancia de más de 50 minutos, el uso de la máquina compactadora resta tiempo en la operación de moldeo pero no al conocimiento o entendimiento básico del proceso de fundición.

4.2. PRUEBAS EN EL MÉTODO DE FUNDICIÓN EN CÁSCARA

Para el proceso propuesto no es necesario preparar el sistema de arena, este ya viene preparado por el proveedor, aunque no siempre es así, pero el proceso de preparado de arena requiere de equipo especializado. No se cuenta con este equipo pero si con la arena Shell preparada. Las pruebas para este método solo se centran en la fabricación del molde.

4.2.1. FABRICACIÓN DEL MOLDE

- **Temperatura y tiempos de diseño aproximados del proceso de calentamiento del modelo.**

Las temperaturas para el calentamiento del modelo son entre 200 y 300 °C debido a que en teoría el promedio es la temperatura que requiere la mezcla de arena para fijar una cáscara. Estas son las temperaturas que se usan como parámetros de referencia en las pruebas de fabricación del molde.

Tabla 11. Tabla de tiempo y temperaturas del calentamiento del modelo

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Espesor (mm)	Color	Consistencia
8	216	6 - 7	Mostaza muy pálida	Galleta frágil, zonas agrietadas, perímetro muy inestable y alto desgrano.
10	269	7 - 8	mostaza y latón	Galleta tenaz, Poca presencia de grietas, presencia de granos sueltos en todo el modelo
12	328	7.5-8.5	Galleta café claro	Galleta rígida sin grietas, presencia de granos sueltos
14	371	9-14	Galleta café oscuro	Galleta muy rígida, escasa presencia de granos sueltos, detalles finamente marcados del modelo.
16	414	10-16	Galleta con apariencia quemada	Galleta muy rígida, presencia de granos sueltos casi imperceptible, detalles finamente marcados del modelo.

Nota. Revisar en la sección anexa de apéndices el “Apéndice D: Imágenes de las pruebas en la fabricación del molde de cáscara”

- **Tiempo para la formación de cáscara dentro de la caja**

El tiempo que el modelo permanece en reposo dentro de la caja de vertido de arena es de suma importancia, este es un factor importante para determinar el espesor de la cáscara. Este factor se conjuga con el tiempo de precalentamiento y la temperatura alcanzada para obtener el espesor de la cáscara y controlar la polimerización de grano deseada con el espesor adecuado para el diseño planteado.

Tabla 12. Tiempo de curado del molde

Tiempo de calentamiento (min)	Temp (°C)	Tiempo de curado (s)	Espesor (mm)	Observaciones
12	320	10	6.8-8	Cáscara delgada, superficie trasera irregular, zonas aisladas frágiles.
	345	15	10-14	Superficie trasera irregular
	305	20	8.3-9	Superficie irregular
14	349	10	7-8.4	Cáscara delgada, superficie irregular, pocas zonas frágiles aisladas
	374	15	8.5-10	Superficie gruesa, con espesor constante y firme.
	390	20	10.5-18	Superficie gruesa, formación de una sobre capa en la superficie trasera débilmente polimerizada, erosión de esta subcapa importante.
16	398	10	7.9-10	Superficie gruesa, formación de la sobre capa débilmente polimerizada en la superficie trasera.
	443	15	14-17	Características repetidas al punto anterior

Nota. Revisar en la sección anexa de apéndices el “Apéndice D: Imágenes de las pruebas en la fabricación del molde de cáscara”

- **Tiempos de recocido**

Los granos de la cáscara deben de fijarse bien en toda la superficie, debe ser completamente firme, de lo contrario podría tener puntos de fractura por concentrado de esfuerzos y comprometer el éxito del proceso de fabricación del molde. Para ello se aplica el recocido del molde, que junto con el modelo, se regresa al horno para agregar más energía térmica y polimerizar la resina que no haya alcanzado suficiente entalpía para la reacción química “ ΔH ” de polimerización de granos. Los tiempos teóricos de recocido recomendados por W Heine, 1967 son de 1 a 3 minutos a una temperatura entre 150 y 380 °C. Debido a la adaptación del diseño con el horno de gas es complicado controlar las temperaturas de recocido, las pruebas solo se centran en los tiempos del recocido que favorezcan de la mejor manera la obtención de moldes deseables.

Tabla 13. Tiempos de recocido

Tiempo de recocido (s)	Observaciones
30	Recocido en exceso, galleta quemada en ambas superficies, frágil y desgrano de carbón en el modelo y parte trasera de la concha
20	Recocido en exceso, galleta quemada en ambas superficies, aún frágil.
10	Recocido total de la superficie trasera de la concha, recocido aun en exceso de la superficie del modelo impreso, desgrano de carbón al modelo.
7	Recocido total de la superficie trasera, recocido con fijación total de los granos internos y externos de la concha. Desgranado casi imperceptible
5	Recocido no suficiente para la superficie trasera de la concha.

- **Análisis de los resultados**

Temperatura y tiempos de diseño aproximados del proceso de calentamiento del modelo

De acuerdo a la literatura de W, Heine, las temperaturas de fijación de la resina termoendurecible oscilan entre 200 y 300 °C, estas temperaturas son controladas con el termostato del horno de resistencia tipo mufla. En el proceso propuesto este horno no está disponible en el área de fundición, por lo cual se obtuvieron tiempos de calentamiento en relación con las temperaturas y espesores para la selección de los parámetros de diseño adecuados para la práctica. Entonces por las pruebas realizadas se sabe que se requiere un tiempo de calentamiento aproximado de 14 segundos, con ello se alcanza una temperatura promedio de 370°C y un espesor de cáscara entre 9 y 14 mm, la consistencia de la galleta es idónea pues quedan finamente marcados los detalles del modelo y la erosión de la superficie es casi nula. El tiempo de calentamiento de modelo podría prolongarse hasta los 16 s pero en cuestiones de tiempo esto ya no es favorable.

Tiempo para la formación de cáscara dentro de la caja

Con el tiempo seleccionado de precalentamiento de modelo de 14 s se obtiene una temperatura promedio en la placa de 370 °C. A esta temperatura es posible obtener una fijación de granos deseable, pero el espesor también es importante, se sabe que si esta es demasiado delgada puede genera zonas frágiles con grietas o fracturas que podrían propagarse cuando se separa el molde del modelo, el espesor adecuado oscila entre 8 y 10 mm, para obtener este espesor, de acuerdo con las pruebas realizadas, el modelo debe permanecer alrededor de 15 segundos dentro de la caja de vertido. Entonces el tiempo de calentamiento del modelo será de 14 segundos con el cual se alcanzará una temperatura promedio de 370 °C como tolerancia a las pérdidas de calor en el traslado del modelo a la caja de vertido, donde permanecerá 15s para alcanzar un espesor entre 8 y 10 mm, deseable y con sección constante a lo largo de todo el molde para obtener una cáscara firme.

Tiempos de recocido

El tiempo de recocido es un parámetro con el cual se termina de fijar los granos o las zonas que no lo hayan hecho bien, en especial la superficie detrás de la cavidad del modelo. En las pruebas realizadas se determina el tiempo de recocido idóneo para la cáscara seleccionada, este tiempo proporciona una fijación total de los granos en ambas caras de la cáscara y no quemara la cara interna de la concha. Entonces después de formada la concha junto al modelo debe regresarse al marco de calentamiento para reingresar a la flama del horno y permanecer en recocido por un tiempo de 7 segundos. La diferencia tan grande que existe en comparación con el tiempo teórico se debe quizá a que el poder calorífico de la flama del horno es mucho mayor que la que se obtiene en el horno tipo mufla, entonces la temperatura necesaria para el recocido se alcanza mucho más rápido.

4.3. OPERACIÓN EN LA COLADA

- **Temperatura y tiempo de fundición**

La temperatura de fundición del aluminio es de 660°C, para realizar el proceso de colada se requiere un sobrecalentamiento de 120°C, pero no más de eso, esto a fin de evitar una solidificación prematura o inserción de gases en el metal. Entonces la temperatura necesaria para el proceso de colada es de 780°C. La medición del tiempo es un parámetro necesario requerido para alcanzar la temperatura indicada. La temperatura se recabó con ayuda de un termopar y el tiempo promedio que el horno tarda en alcanzarla es entre 40 y 50 minutos. Después de transcurrido este tiempo será necesario apagar el horno y portando el equipo de seguridad adecuado se deberá tomar la temperatura del metal fundido a fin de asegurarse que está en el valor deseado. Si no es así entonces deberá de encenderse el horno a fin de sobrecalentar más el material.

- **Tiempo de enfriamiento y solidificación**

El tiempo que se ocupa para solidificar y enfriar a una temperatura manejable el material es aproximadamente entre 20 y 30 minutos, después de transcurrido este tiempo podrá recuperarse la pieza del molde, para ello por seguridad es necesario portar guantes.

- **Análisis de resultados**

Tanto para el proceso de arena en verde como para el de fundición en cáscara las piezas coladas se han llenado en su totalidad, la presencia de defectos es casi nula, solo se observa una ligera porosidad en la superficie de algunas piezas debido a un ligero arrastre de arena en el molde, pero estas imperfecciones no afectan en la pieza debido a que los modelos guardan tolerancias en las dimensiones para un posterior maquinado, además estos pequeños defectos son fácilmente retirados con un trabajo de limado, lijado o pulido. El éxito en las piezas generadas se ha alcanzado, el diseño para ambos procesos ha dado los resultados esperados, los defectos en las piezas generadas se han reducido, así como también los tiempos en las etapas de moldeo y las dificultades que en esta operación se presentan gracias al diseño de los materiales propuestos. Ahora bien pueden generarse casi cualquier tipo de modelo en placas de modelo permanentes para ambos procesos propuestos.

CAPITULO 5. PRÁCTICAS PROPUESTAS

5.1. “FUNDICIÓN EN ARENA VERDE CON MOLDEO DE MODELO BIPARTIDO EN PLACA”



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ingeniería

FUNDICIÓN EN ARENA VERDE CON MOLDEO DE MODELO BIPARTIDO EN PLACA

División de Ingeniería Mecánica e Industrial
Departamento de Ingeniería de Diseño y Manufactura



1. OBJETIVO

- Realizar satisfactoriamente el proceso de fundición en arena verde mediante el método de moldeo con modelo bipartido en placa.
- Minimizar la presencia de defectos en las piezas generadas así como en los moldes realizados.
- Conocer y utilizar otros métodos de moldeo en arena para el proceso de fundición.
- Que el alumno adquiriera conocimientos teórico- prácticos de la técnica de fundición en arena.

2. INTRODUCCIÓN

De entre los diferentes procesos de fundición existe el de fundición en arena. Uno de los métodos de moldeo empleados a este proceso es el de moldeo con arena verde. De arena en verde se pueden encontrar varios métodos para generar los moldes, como lo es el moldeo en piso, el moldeo de modelos

partidos, moldeo en modelo bipartido en placa entre otros más. El moldeo en arena verde es hacer una mezcla que cuyos ingredientes son arena sílice, arcilla que funciona como aglutinante y que usualmente es bentonita y, por ultimo agua, que es el que le da nombre de “verde” porque hace referencia a la humedad que en el molde se tiene además de que funciona

como activador del aglutinante. Estos se mezclan a determinados porcentajes en peso con respecto al peso total de la mezcla propuesto, ordinariamente, los porcentajes de estos componentes son 85% de arena, de 3 a 10 % de arcilla y el resto es de agua. (W Heine, R Loper , & C Rosenthal, 1967, pág. 24) El método de moldeo que se emplea en esta práctica es de arena verde por medio de modelo bipartido en placa. Para fines de esta práctica, este método de moldeo es apoyado por el empleo de una máquina de moldeo con accionamiento neumático de percusión y prensado.

El moldeo de arena verde es de los más utilizados entre los diferentes métodos de moldeo en arena. A parte de los principales componentes, la arena en verde para el moldeo puede tener también aditivos que provean a la arena de mejores características como polvo de madera (aserrín), óxidos de hierro entre otros.

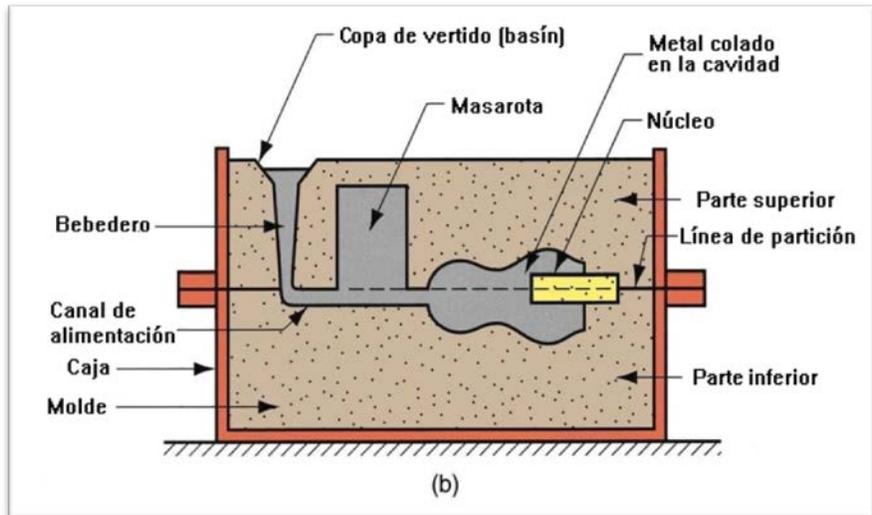


Figura 1. Molde de arena en verde.[XIV]

Los pasos básicos en la preparación de moldes de arena en verde son:

1. Preparación del modelo. Muchos moldes de arena verde son hechos con placas de modelo bipartido. Los modelos sueltos son usados cuando se hacen relativamente pocas fundiciones de este tipo.

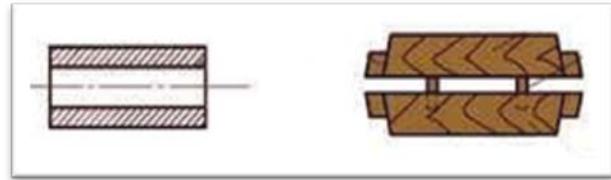


Figura 2. Modelo de fundición.[XV]

2. Preparación del molde. El molde requiere que la arena sea vertida sobre la superficie del modelo. La compactación de la arena genera que adquiera fuerza y se vuelva rígida dentro de la caja de moldeo. El molde debe de contar con un sistema de canales a la superficie y forman parte del sistema de alimentación del metal fundido, este sistema debe también ser moldeado durante este proceso.

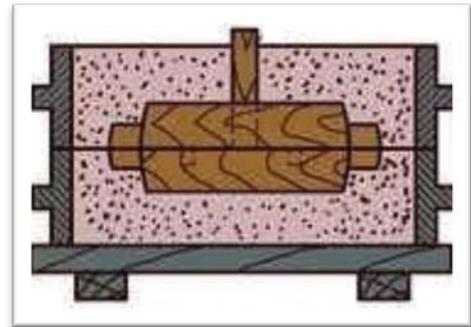


Figura 3. Preparación del molde.[XV]



Figura 4. Configuración y ajuste de corazones.[XV]

3. Configuración del núcleo. Los núcleos o corazones son un conjunto dentro de la cavidad del molde para formar las superficies internas de los modelos.

4. Cerrado y sujetado. Con los núcleos en posición las mitades de la caja de moldeo en conjunto son unidas y sujetadas firmemente una a otra en ausencia de la placa, para evitar voladizos en la superficies de unión que derrame el metal.[10]



Figura 5. Tubo colado. [XV]

Debido a la naturaleza de los moldes de arena en verde, estos tienen ciertas ventajas y limitaciones:

Ventajas

1. Gran flexibilidad como proceso de producción.
2. Usualmente es la ruta más directa de moldeo de modelos listos para colar.
3. Ordinariamente el moldeo de arena en verde es de costos económicos bajos.

Limitaciones

1. Algunos diseños de fundición requieren el uso de otro método para el proceso de fundición.
2. Ciertos metales y fundiciones desarrollan defectos en las piezas si dentro del molde se tiene mucha humedad.
3. Una fundición muy intrincada puede ser hecha mediante otros procesos.
4. La exactitud dimensional y el acabado superficial de una fundición en arena verde, puede no ser la adecuada. (W Heine, R Loper , & C Rosenthal, 1967)

En la preparación y control de la arena verde, es importante un conocimiento básico de los materiales que constituyen un sistema de arena verde y del equipo requerido para preparar y mantener la integridad del sistema.

Pruebas y control.

Las pruebas ayudan a reducir la variación de la arena y de las materias primas que se alimentan pues a través de estas se cuantifican importantes propiedades de la arena para establecer condiciones en el sistema que mantengan el control de calidad en el vaciado y el moldeo. (Simpson Thecnologies Corp., Aurora, Illinois, 2000, pág. 5)

Arenas.

La arena es el principal componente del sistema de arena verde y normalmente están hechas de sílice (SiO_2). A través de la granulometría se controla el acabado superficial de las piezas, la resistencia y la permeabilidad del molde que es de suma importancia por la evacuación de los gases formados por la evaporación de agua y la descomposición de los constituyentes orgánicos de los aglutinantes y de los componentes de arena verde.

Capacidad refractaria

Los moldes de arena verde deben de resistir las temperaturas del metal fundido en el vaciado. Su capacidad refractaria está en función del porcentaje de sílice en la composición de la arena. Una adición constante de arena nueva en el sistema ayudará a reponer el contenido de sílice del mismo y a drenar las cantidades excesivas de ceniza, finos y arcilla destruida térmicamente. (Simpson Thecnologies Corp., Aurora, Illinois, 2000, pág. 5)

Arcillas.

La arcilla es el adhesivo que mantiene la forma del molde a temperaturas tanto ambiente como elevada. La adición de agua se requiere para activar la arcilla. El contenido de

humedad del sistema es crítico y puede afectar casi todas las propiedades físicas que son medidas en una fundición. Existen dos tipos de arcillas naturales, bentonita sódica y cálcica que son utilizadas en una mayoría de operaciones de fundición. (Simpson Thecnologies Corp., Aurora, Illinois, 2000, pág. 6)

3. SEGURIDAD PARA LA PRÁCTICA

Para poder realizar la práctica es necesario atender los siguientes puntos de seguridad:

- Mantener el orden en el área de fundición, así como una comunicación efectiva informando siempre entre los integrantes de brigadas y entre ellas, las actividades que se realicen, a fin de evitar accidentes por descuido o negligencia. Evitar siempre juegos y bromas.
- Portar el equipo de seguridad personal: Peto, careta, guantes, polainas y calzado de trabajo.
- Mantener el orden en el área de fundición, así como una comunicación efectiva informando siempre entre los integrantes de brigadas y entre ellas, las actividades que se realicen, a fin de evitar accidentes por descuido o negligencia. Evitar siempre juegos y bromas.



Figura 6. Equipo de protección personal

- Respetar las líneas de seguridad para evitar accidentes con las máquinas y equipos de trabajo
- No portar objetos sueltos ni cabello suelto.
- Atención total en el uso adecuado de las herramientas y el equipo para evitar lastimarse.
- En el material propuesto se cuenta con una caja de moldeo con un diseño particular, de modo que es importante que se

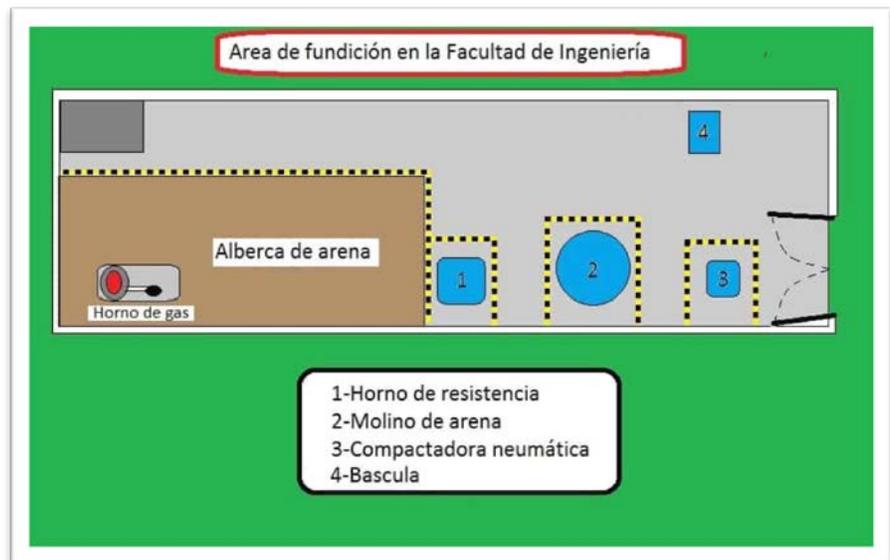


Figura 7. Zonas limitadas por las líneas de seguridad

tenga cuidado para evitar machucones ya que estas se integran de varios elementos que en sus partes articuladas pueden machucar dedos o manos si no se tiene la atención adecuada.

- Al generar el molde a través de la compactadora de percusión debe prestarse atención al momento de compactar con la maquina neumática para evitar machucarse con la placa compactadora.
- Adoptar posiciones correctas para cargar objetos pesados.



Figura 9. Riesgo por machucón en las partes articuladas de la caja de moldeo.

4. ADITAMENTOS, HERRAMIENTAS Y UTENSILIOS NECESARIOS PARA LA PRÁCTICA

- **Preparado de la mezcla de arena**

- | | |
|-------------------------|--------------------|
| I. Arena sílice | V. Molino de arena |
| II. Arcilla (Bentonita) | VI. Báscula |
| III. Agua | VII. Cronómetro |
| IV. Palas | |

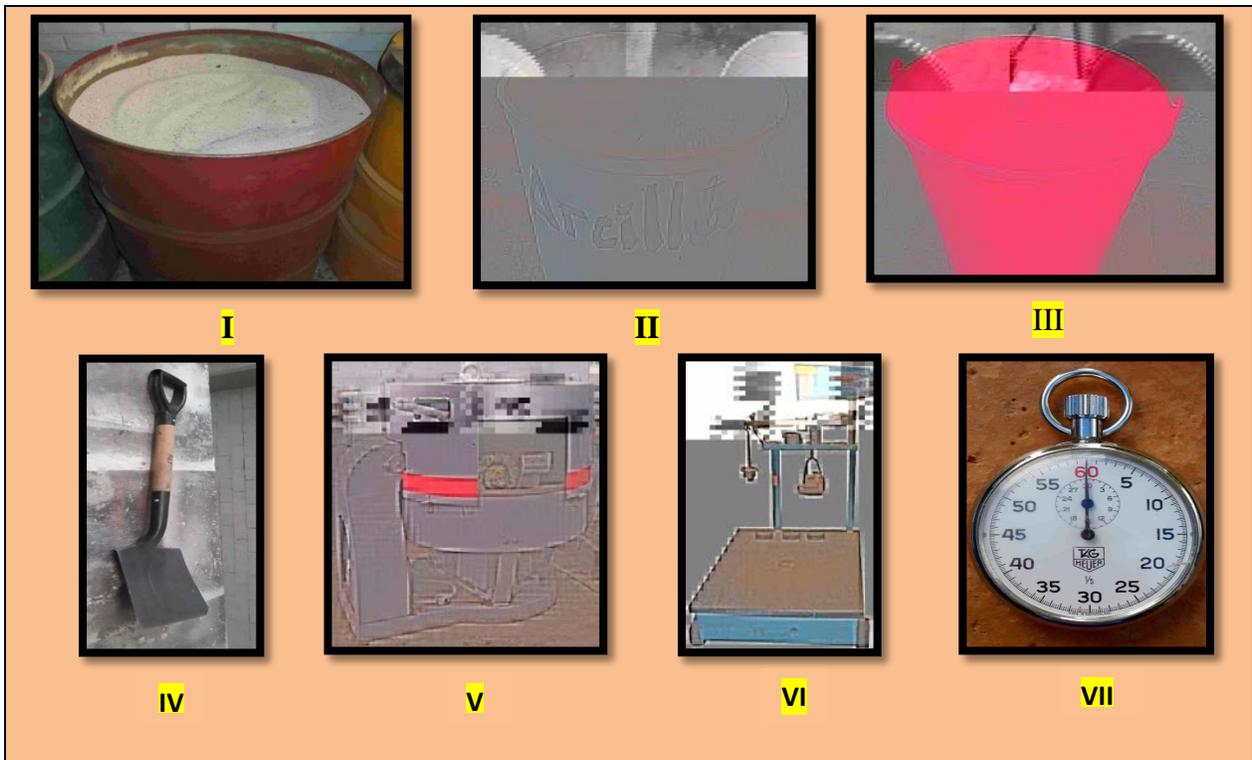


Figura 11. Para el preparado de la mezcla de arena

- **Operación de moldeo**

- | | |
|-------------------------------------|---|
| I. Caja de moldeo | VI. Razador |
| II. Placa modelo | VII. Cucharas de moldeo |
| III. Desmoldante (talco industrial) | VIII. Compactadora de percusión neumática |
| IV. Tamiz | IX. Palas |
| V. Apisonadores | |

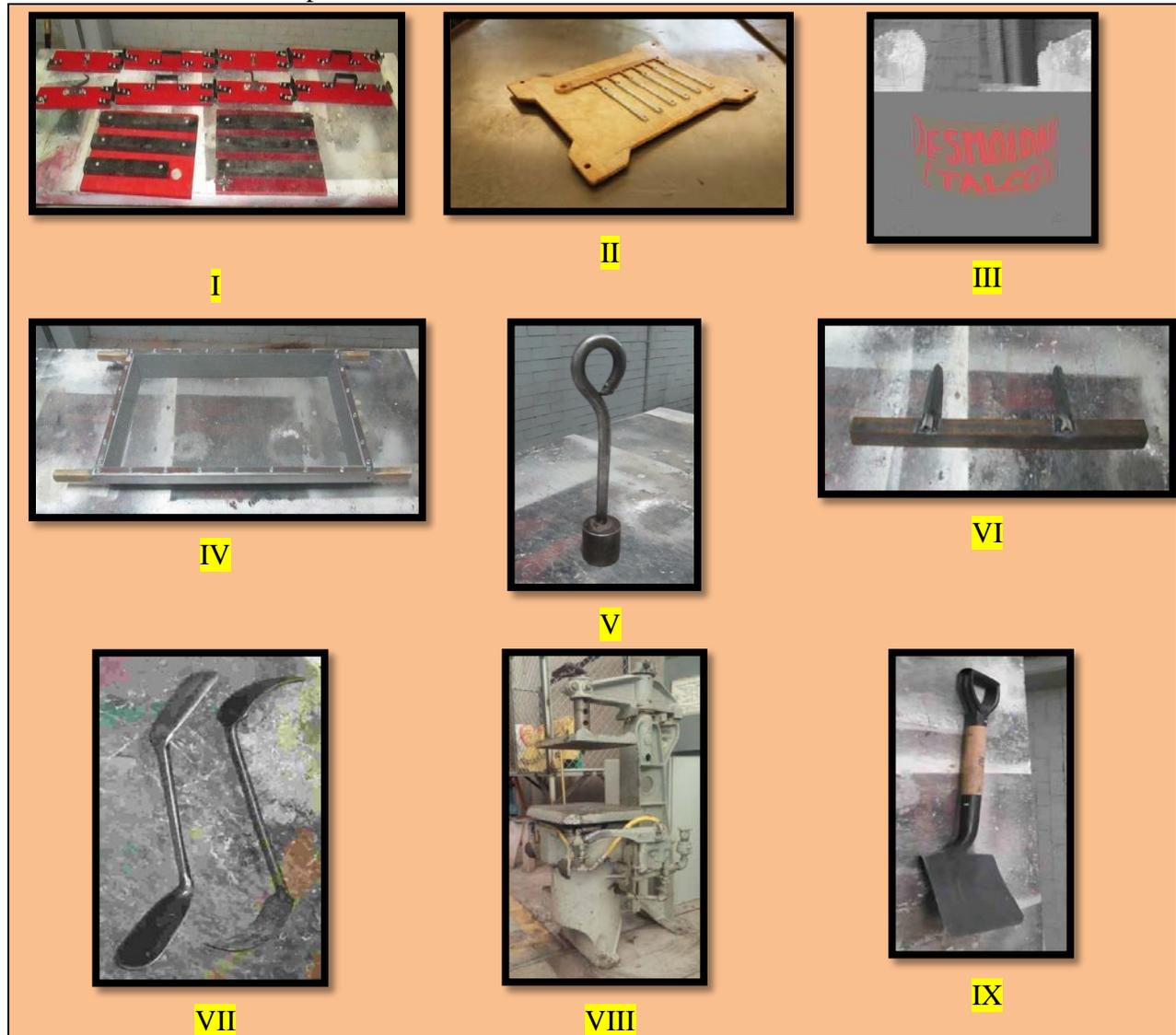


Figura 12. Para la fabricación del molde

- **Fusión y operación de colada**

- | | |
|---|-----------------------------|
| I. Horno de gas con turbo soplador para fundición | V. Pinzas para el crisol |
| II. Crisol | VI. Lingotera |
| III. Cucharón de escoria | VII. Porta crisol |
| IV. Tenazas para crisol | VIII. Lingote de aluminio |
| | IX. Multímetro con termopar |



Figura 13. Para la fundición y operación de colada

5. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

La práctica consta de cuatro etapas principales. La primera es preparar arena verde, segunda hacer el molde, tercera es la colada y por último el enfriamiento y recuperación de la pieza.

A continuación se describen las etapas en pasos de las actividades a realizar para cada una.

○ Preparar arena

La preparación de la arena se divide en las siguientes etapas.

- Peso de los componentes de la mezcla.

Mediante la báscula se obtiene el peso total de los componentes de la mezcla de arena para el moldeo. El peso total está dividido en porcentajes de los cuales para cualquier cantidad de peso necesario de mezcla, el 88% deberá de ser arena, 6% de aglutinante y 6 % de agua.



A) Peso de arena



B) Peso de arcilla

Cálculo del peso de los componentes:

$$\begin{aligned} P_T(\text{Peso total a mezclar}): & x \\ P_A(\text{Peso de la arena}): & x*0.85 \\ P_C(\text{Peso de la arcilla}): & x*0.1 \\ P_{H_2O}(\text{Peso del agua}): & x*0.05 \end{aligned}$$

Figura 14. Peso en porcentaje de los componentes en la arena verde



C) Peso de agua

- Mezcla de componentes

Una vez medido el peso de los componentes deben de mezclarse dentro del molino de arena. En este se suaviza la arena y se mezcla uniformemente con los demás componentes. Se recomienda que la operación de mezclado se realice de la siguiente manera.

1. Una vez que el molino se ha arrancado, se vierte primero la arena y la arcilla y se deja mezclar durante 8 minutos.
2. Posterior a estos primeros 8 minutos se agrega el agua y se deja que se mezcle durante 8 minutos más.
3. Terminada la operación de mezclado, la arena se saca del molino para tenerla disponible a su uso.



Figura 15. Mezcla en el molino de arena

- **Fabricar molde**

La operación de moldeo se lleva a cabo en varias etapas y pasos a seguir.

I. Ensamble de la caja de moldeo.

Los componentes de la caja son: placa moldeo, dos semi-cajas con sistema de unión y por último las tapas superior e inferior de prensado.



Figura 16. Principales componentes del sistema de moldeo.

Para realizar el ensamble básico de la caja deben de seguirse los siguientes pasos:

1. Con ayuda del pasador debe de fijarse la semi-caja inferior. Para identificarla, esta tiene los pernos de acoplamiento en la parte superior y tiene ensamblados los ganchos de las aldabas o sistema de auto-sujeción de la caja.
2. Con la semi-caja inferior ensamblada debe de colocarse la placa. Los barrenos en las esquinas de la placa deben de coincidir con los pernos de la caja. Para esto, el pozo de la placa debe de orientarse a la esquina de ensamble de la caja.
3. La semi-caja superior debe de ensamblarse de la misma manera en que se hizo el de la semi-caja inferior.



Figura 17. Ensamble caja inferior



Figura 18. Colocación de la placa modelo



Figura 19. Ensamble semi-caja superior.

4. Cuando la semi-caja superior este ensamblada debe de acoplarse a la semi-caja inferior y a la placa a su vez cuidando que los ganchos del sistema de sujeción estén abiertos (Figura 20. A). Cuando el sistema está en contacto y asentado entra en acción la sujeción de la caja mediante el sistema de aldabas, la caja de moldeo está lista para la operación (Figura 20. B).



A) Posición de las aldabas para el ensamblaje



B) Ensamble para iniciar la operación de moldeo

Figura 20. Ensamble del sistema de moldeo

II. Operación de moldeo en la caja.

Para lograr la obtención de un molde fuerte y rígido, la operación de moldeo involucra una serie de etapas que se describen más adelante. Para ambas semi-cajas la operación de moldeo se hace de forma similar en 2 importantes y principales operaciones:

- a) Careado fino mediante cernido de arena. Previa a esta operación, la superficie de la placa-modelo y las paredes de la caja deben de ser ligeramente cubiertas con polvo desmoldante (talco industrial) para evitar problemas al momento de retirar la placa y la caja (Figura 21. A). El careado consiste en una operación de cernido de arena en tamiz sobre el modelo, esto provee de características favorables al molde y la pieza colada. De la arena verde lista, se toma parte para cernir granos finos y distribuidos uniformemente sobre la superficie del modelo. Esta operación



A) Aplicación de desmoldante

ayudara a que la superficie sea bien cubierta en su totalidad y que el grano fino en contacto con el modelo de un acabado superficial razonable a la pieza (Figura 21. B). Esta operación se hace para ambas caras de la placa, en el moldeo primero será la de la semi-caja inferior y después de la superior (Para el caso de la parte superior el bebedero deberá estar colocado en su posición antes de cernir) pues en este mismo orden es que se moldean ambas cajas.



B) Cernido sobre las

Figura 21. Cernido de arena sobre la superficie del modelo

b) Relleno de semi-caja y prensado.

Después de hacer el careado fino se vierte arena verde sin cernir sobre la semi-caja en cuestión, (Para el caso de la parte superior el bebedero deberá estar colocado en su posición) se debe de evitar que se vayan terrones grandes. Una vez que la caja está más que llena se sacude mediante la percusión de la compactadora y con los apisonadores debe de darse una ligera compactación para asentar la arena, después colocar la tapa de prensado para compactar la arena.

A continuación se describen paso a paso y a detalle ambas etapas para el moldeo.

1. Poner la caja de moldeo sobre la mesa de la compactadora, la cavidad de la semi-caja inferior deberá estar primero hacia arriba es decir en posición de moldeo.
2. Aplicar desmoldante sobre la superficie de la placa modelo y sobre las paredes internas de la semi-caja, concentrándolo sobre la geometría del modelo (Figura 21. A).



Figura 22. Colocación de la semi-caja inferior en posición de moldeo



Figura 23. Percusión neumática de moldeo

3. Verter arena cernida sobre el modelo hasta quedar cubierta por completo la superficie de la placa modelo (Figura 22. B).

4. Rellenar la semi-caja con arena verde sin cernir hasta rebasar la altura de las paredes de la semi-caja y mediante la acción de percusión (Acción del pedal derecho de la compactadora) agitar entre 3 y 5 veces.

5. De forma ligera apisonar manualmente y uniforme toda el área. Volver a cubrir de arena por encima de las paredes y nuevamente apisonar ligeramente. La cavidad que reste debe tener una profundidad apropiada donde puedan accionarse los mecanismos de sujeción de la tapa inferior de prensado.
6. Una vez plana la superficie, colocar la tapa inferior de prensado (tapa de medio continuo) de manera que su perímetro este dentro de las paredes de la caja (Figura 25. A). Accionar los mecanismos de sujeción de la tapa de prensado (Figura 25. B).



Figura 24. Apisonado manual



A) Colocación de tapa de prensado inferior



B) Mecanismos de sujeción

Figura 25. Compactación de la semi-caja inferior

7. Sin remover la tapa de prensado en la semi-caja inferior, rotar la caja para colocar la semi-caja superior en posición de moldeo. La tapa de prensado inferior se convierte en la base del molde.

Figura 26. Giro de semi-caja moldeada



8. Colocar el bebedero en el pozo de la placa modelo.
9. Aplicar desmoldante como se describe en el paso 2.
10. Cernir arena para cubrir la superficie de la placa modelo garantizando que el pozo este bien cubierto.
11. Repetir de igual manera la actividad descrita en el paso 4 y de forma ligera apisonar manualmente y uniforme toda el área. Volver a cubrir de arena por encima de las paredes y nuevamente apisonar ligeramente. En la operación de apisonado tener cuidado de no golpear el bebedero.
12. Con el rizador se debe remover el exceso de arena, y se debe de colocar la tapa superior de prensado (Tapa con barreno para el bebedero). Compactar de 1 a 3 veces mediante el accionamiento neumático.
13. Retirar la tapa superior de prensado y verificar la rigidez del molde picando con un dedo la superficie compactada, si este penetra la superficie, prensar con la máquina 3 veces más, si la superficie se ha endurecido tanto para evitar que el dedo penetre entonces el compactado del molde está listo.
14. Una vez listo el compactado del molde, se debe de generar el basín del sistema de alimentación con ayuda de una cuchara, este debe tener la forma de la boca de una copa de superficie cónica o esférica.
15. Si el molde está listo, para retirar la arena que quedo adherida, pero sin compactar sobre la superficie del molde y la caja, se



Figura 27. Bebedero ensamblado al pozo



Figura 28. Compactado neumático del molde.



Figura 29. Prueba de dureza del

debe de soplar y limpiar mediante aire comprimido. Esta operación se realiza utilizando la manguera de aire comprimido de la máquina compactadora que es activada con la acción del pedal izquierdo. Terminada esta operación podrá retirarse el bebedero.

16. Limpiar las cavidades internas del molde. Esta acción requiere que la placa modelo sea retirada del sistema de moldeo, para lograrlo deben de seguirse una serie de pasos los cuales se explican a continuación:
 - i. Una vez listo el molde sobre la mesa de trabajo se debe de liberar el sistema de aldabas de la caja. De esta manera ambas semi-cajas podrán liberarse independientemente.
 - ii. Por las manijas de sujeción y con cuidado levantar la semi-caja superior y colocarla de forma segura a un costado de la máquina.
 - iii. Retirar la placa modelo. Deberá de ser de forma uniforme para evitar dañar las cavidades debido al arrastre de arena en la placa o el modelo.
 - iv. Con la manguera de aire comprimido retirar el exceso de arena de la placa y de las cavidades de ambas mitades de las semi-cajas, cuidando de no pegar mucho la manguera a las cavidades pues la fuerza del aire podría provocar derrumbes en la geometría de la cavidad del molde.



Figura 30. Cavado del basín en el



Figura 31. Soplado de la caja y el



Figura 32. Aldabas fuera de



Figura 33. Separación de la semi-caja superior.



Figura 34. Desmonte de la placa modelo.

- v. Una vez limpia de restos de arena suelta, ensamblar nuevamente ambas semi-cajas pero en ausencia de la placa (aunque ya no se colocan, anticipar que los ganchos de las aldabas estén en posición abierta para evitar complicaciones posteriores).



Figura 35. Soplado a las cavidades internas del molde

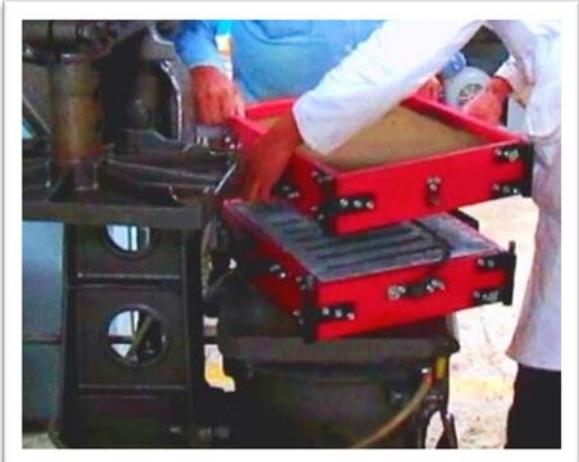


Figura 36. Ensamble del molde

III. Desensamble del sistema de moldeo

Teniendo el molde listo, ahora debe de prepararse para la operación de vertido de metal fundido. El molde generado en la caja debe trasladarse a la zona de colada. El traslado lo realizan dos personas.

Previo a este trabajo es importante que los integrantes de las brigadas caben una fosa donde pueda enterrarse parte del molde. La importancia de esto es porque puede derramarse metal fundido por el plano de partición del molde (Espacio donde se encontraba la placa), será más seguro si este se entierra y la tierra se ocupa para tapar el molde por arriba de la mitad. Los pasos de este proceso se describen a continuación.

- i. El molde debe de ser trasladado junto con su tapan inferior a la fosa correspondiente. Antes de ser trasladado e ingresado a la fosa, debe de liberarse de la caja de



Figura 37. Traslado del molde



Figura 38. Fosa para el molde

moldeo. Para lograrlo, con la tapa inferior de prensado como base del molde se retiran los pernos de ensamble de las semi-cajas, después se abren las paredes de la caja y se retiran del lugar.

ii. Ahora el molde sobre la tapa inferior de prensado se debe de colocar dentro de la fosa. Entre dos personas se deberá cargar de la tapa inferior y colocar con cuidado dentro de la fosa de modo que este quede bien nivelado.

iii. Con la tierra que ha sido removida deben de cubrirse las paredes del molde asegurándose que se cubra por encima de la línea de partición del molde. Se colocan unos pesos encima del molde para asegurar que asienten bien ambas partes del molde. El molde está listo para el proceso de colada.

Nota: El desarrollo de la práctica se realiza por brigadas de tres a cuatro personas, la brigada que avanza de la etapa de preparación de arena al moldeo deja a la siguiente brigada en la preparación de su sistema de arena verde para así posteriormente seguir a la primera brigada en la preparación de su molde.



Figura 39. Liberación del sistema de



Figura 40. Enterrado de molde

o **Colada**

Para llevar a cabo la operación de colada, se realiza un conjunto de actividades en serie. La primera es la fusión del metal, la segunda es la preparación previa a la colada y por último la colada.

I. **Fusión del metal.**

1. Para la operación de fusión del metal. Colocar el crisol de carburo de silicio dentro del hogar del horno e introducir la cantidad de material necesario para realizar el vaciado de la pieza y en general de todos los moldes a colar.



Figura 41. Crisol con material a fundir

2. La cantidad de material necesario para llevar a cabo la colada de todos los moldes debe de calcularse, y se recomienda tener un 10 % más sobre el total de peso calculado con el volumen total de las cavidades de todos los moldes, es decir, de las piezas y de los sistemas de alimentación. Debemos asegurarnos que éste vaya ligeramente en exceso pero nunca en menor cantidad.

3. Cargado con el material, mediante las tenazas para el crisol se debe de colocar dentro el hogar. Debe de asegurarse que el crisol está bien asentado dentro del hogar para evitar derramamientos por volcadura.

4. Para encender el horno, asegúrese de que no existan fugas de gas, revise que las llaves de paso del combustible estén debidamente cerradas y que no haya ninguna persona cercana a la zona de la flama. Primero encienda una estopa y con las pinzas para el crisol colocarla entre el crisol y el hogar, abrir la llave de paso del gas y activar el turbo soplador del horno, verificar que la flama se haya establecido adecuadamente, cerrar la tapa del horno, y regular la flama en un rango oxidante.

5. Esperar a que el material dentro del crisol funda por completo y este en completo estado líquido, apagar el horno, y posteriormente abrir la tapa.

Nota: La etapa de fusión del metal requiere aproximadamente 40 minutos, por ello se recomienda que la primera brigada en fabricar su molde consecuentemente delegue esta tarea e inicie el proceso.



Figura 42. Colocación del crisol en el horno



Figura 43. Encendido del horno

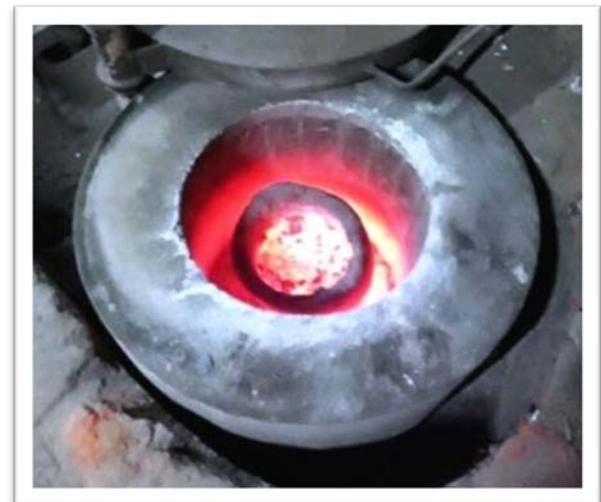


Figura 44. Material fundido

II. Preparación previa a la colada

1. Colocar el porta-crisol sobre las piedras para asentamiento de yeso listo para recibir el crisol.
2. Con ayuda de un cucharón largo para fundición retirar la escoria formada en la superficie.



Figura 45. Posicionamiento del porta-crisol



Figura 46. Retiro de escoria

3. Sujetar firmemente el crisol con las tenazas para crisol y sacarlo del hogar con mucho cuidado y precaución. Trasladar el crisol para dejarlo en posición con el porta-crisol.



A) Retiro del crisol del horno



B) Traslado del crisol al porta-crisol



C) Posición del crisol en el porta-crisol

Figura 47. Traslado del crisol del horno al porta-crisol

4. Para evitar que el metal absorba nitrógeno o gases del aire, se debe tomar la temperatura del metal fundido con ayuda del multímetro con termopar. Para poder realizar la colada, la temperatura del metal debe estar alrededor y no muy lejana de 780 °C. Si la temperatura esta excedida por más de 40°C, esperar a que baje al valor deseado. Para evitar que la temperatura este por debajo de este valor y tener que regresar el crisol al horno, como una recomendación en el trabajo previo de fusión, se sugiere usando debidamente el equipo de protección personal tomar la lectura de temperatura con el crisol dentro del hogar cuando el horno ha sido apagado, si la temperatura no es aun la deseada encender el horno. Si esta excedida, sacar el crisol y esperar el tiempo necesario para que descienda la temperatura deseada.



Figura 48. Temperatura del metal fundido °C

III. Operación de colada

El vertido de metal líquido en el molde debe de realizarse con cuidado, a velocidad constante y tan rápida como sea posible. Hasta que el material llene por completo la o las cavidades, verter el resto del metal en una lingotera perfectamente seca y libre de impurezas.

Con el fin de tener espacios seguros para la operación, es importante que se planee una estrategia para acomodar los moldes en el área de colada, estos deberán de estar dispuestos de manera tal que no se estorbe el paso ni la maniobra de colada con el porta-crisol.

Este proceso se opera entre tres personas debidamente protegidas con el equipo de seguridad. Dos personas sujetan y manipulan el porta-crisol, la tercera se encarga de checar que la boquilla del crisol esté en posición con el bebedero del molde, para después durante la operación de vertido detenerlo con un gancho y evitar que este volqué fuera del porta-crisol. Las personas encargadas de esta operación deben de estar muy coordinadas y comunicadas al realizar la operación para hacerlo de la manera más segura y rápida posible.



Figura 49. Moldes en posición estratégica



A) Transporte del crisol



B) Vertido en el molde



B) Vertido de remanente

Figura 50. Operación de colada.

○ Solidificación y recuperación de la pieza

Dejar solidificar el metal dentro del molde y esperar a que disminuya su temperatura durante unos 20 minutos aproximadamente. Para recuperar la pieza, utilizando guantes y una pala se debe desenterrar el molde hasta poder acceder a la base (Tapa inferior de prensado).



A) Recuperación del molde



B) Recuperación de la pieza



C) Pieza colada

Figura 51. Solidificación y recuperación de la pieza.

5.2. “FUNDICIÓN EN ARENA CON MOLDE DE CÁSCARA (SHELL MOLD CASTING)”

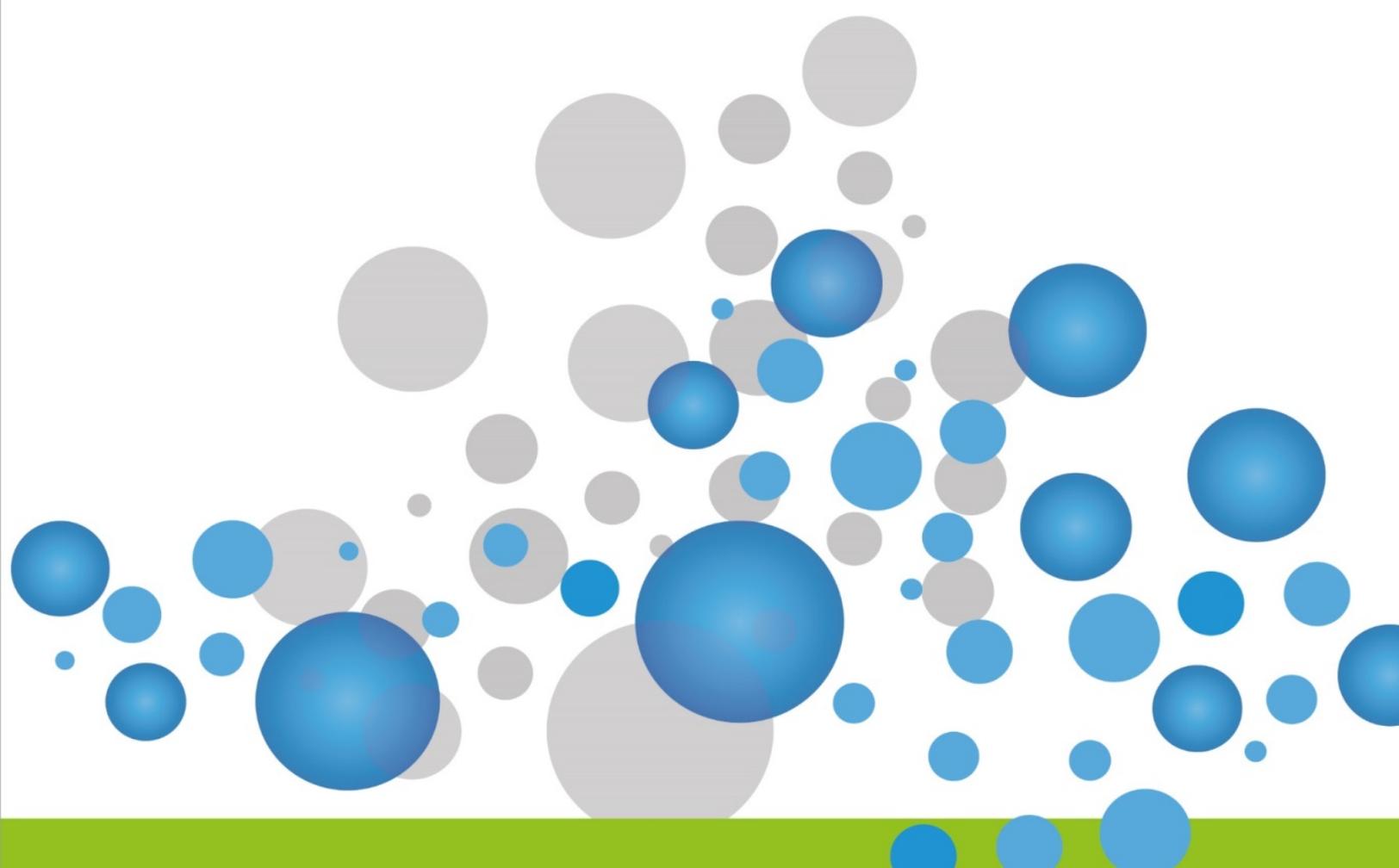


Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ingeniería

FUNDICIÓN EN MOLDE DE CÁSCARA (SHELL MOLD CASTING)

División de Ingeniería Mecánica e Industrial

Departamento de Ingeniería de Diseño y Manufactura



1. OBJETIVOS

- Realizar satisfactoriamente el proceso de fundición en arena con molde de cáscara.
- Conocer los aspectos teóricos y prácticos de la técnica para realizar una práctica de fundición en arena mediante el método de moldeo de cáscara.
- Estandarizar parámetros para eliminar la presencia de defectos en las piezas generadas así como en los moldes realizados y en caso de presentarse, identificar sus causas y proponer acciones correctivas que eviten nuevamente su aparición.
- Que se conozca y logren aplicar otros métodos de la fundición en arena en la Facultad de Ingeniería.

2. INTRODUCCIÓN

La fundición en molde de cáscara es uno de los métodos del proceso de fundición en arena. Mediante este método se elaboran con mayor frecuencia corazones pero también moldes. Usualmente los corazones son elaborados en cajas para corazones con la forma de la cavidad que se desea generar, los moldes se forma mediante un par de cáscaras de arena con la forma dividida del modelo. La cáscara se logra al calentar arena sobre el modelo que se desea colar, la arena que se usa es una mezcla de arena fina con una resina termoestable que logra polimerizar los granos de arena y fijarlos para hacer la concha. En la industria este método de moldeo es usado ampliamente para generar los núcleos o corazones de los modelos.

El proceso de molde de cáscara fue desarrollado en 1944 por el inventor alemán Johannes Croning (1886-1957) al tratar de desarrollar un molde permanente de materiales cerámicos. Empezó sus consideraciones con experimentos sobre una transferencia del proceso de colada de deslizamiento desarrollado para la fabricación de productos cerámicos. El proceso usa un molde dividido del objeto a ser colado hecho de yeso para producir cuerpos huecos. Suspensión de caolín es vertida en estos moldes. El molde de yeso deshumidifica la suspensión, creando una cáscara sobre la pared del molde el cual después forma el corazón o el molde. Así los fundamentos fueron puestos y llevaron a continuar los avances del proceso de moldeo de cáscara a través de numerosos pasos para llegar a su actual desarrollo. El éxito llegó cuando Johannes Croning encontró que el molde de cáscara tenía que estar formado por una mezcla de flujo libre de carga seca granular, resina seca y endurecedor seco. En su patente puso los fundamentos técnicos para el futuro desarrollo del proceso de moldeo de cáscara.[11]

Pasos del proceso y parámetros en el moldeo de cáscara

En este proceso, los moldes y corazones son preparados con una mezcla de arena fluida seca con una resina termoestable que son calentados después de ser vertidos en la placa modelo también previamente calentada. Debido a dicho calentamiento, la resina se cura, lo cual provoca que los granos de la arena se unan y formen una dura cáscara alrededor del modelo metálico. La parte interna de la cáscara es una réplica exacta del modelo en negativo. La forma y las dimensiones de la parte interna de la cáscara formada es exactamente la misma que el modelo. Si el modelo es de dos piezas la otra mitad de la cáscara debe de ser preparada de la misma manera. Ambas mitades de las cáscaras preparadas se colocan juntas después de introducir el corazón haciendo coincidir la forma del modelo, si es que lo lleva, para realizar el ensamble del molde. El

ensamble de la cáscara es situado después en una caja, para poner arena común alrededor del molde de cáscara y obtener un ensamble lo suficientemente fuerte. Ahora el molde de cáscara está completo para la colada del metal líquido.

Arena

La arena usada en el molde de cascara debe estar completamente libre de arcilla o aglutinantes. El tamaño del grano de la arena usada para el moldeo de cascara esta generalmente en un rango de malla con una finura de 60 a 150 AFS, debido a esto, el proceso de fundición en cáscara es recomendado para fundiciones que requieren de buen acabado superficial. Sin embargo, dependiendo del requerimiento de acabado de la fundición, el tamaño de grano puede ser determinado. También, si el tamaño de grano es muy fino, se requiere por tanto mucho más resina, haciéndolo más caro.

Resina y catalizador

La resina más ampliamente usada, es de fenol formaldehído, que son termo-endurecibles en la naturaleza. Combinada con la arena obtienen una alta fuerza y resistencia al calor. Con el fin de desarrollar las propiedades de enlace de la resina, el revestimiento de la arena es hecho con resina y un catalizador (Hexa-metil-tetramina). La cantidad de resina es de 4 a 6 % del peso de arena, el catalizador de 14 a 16 % del peso de la arena. La temperatura mínima de curado de la resina junto con el catalizador es alrededor de 150° C y el tiempo requerido para completar el curado es de 50 a 60 segundos.

Pasos en la preparación de los moldes de cáscara.

1. Una placa de metal con un modelo bipartido es calentado para el requerimiento de temperatura y equipado sobre una caja que contiene la mezcla de arena y resina termo-endurecible.
2. Después la caja es invertida de manera que, la mezcla cae sobre el modelo caliente. Esto cura una capa de la mezcla para un cierto grado y forma una cáscara dura.
3. Una vez que el espesor deseado de la cáscara ha sido alcanzado, la caja es nuevamente rotada a su posición original. El exceso de arena cae dentro de la caja, y se forma una cáscara sobre el modelo y la placa. El espesor obtenido depende de la temperatura y el tiempo de contacto de la mezcla.
El espesor de la cáscara requerido está en función de la temperatura de vaciado de metal y su complejidad. Esta puede estar en un rango de 2 a 8 mm.
4. Para complementar el curado, la cáscara de arena junto a la placa de metal es calentada en un horno por un tiempo determinado.
5. El molde de cáscara obtenido mediante este proceso es removido de la placa modelo.
6. Ahora las dos porciones del molde de cáscara se ensamblan y arena normal es usada en una caja para un propósito de soporte y estabilidad para el molde de cáscara y hacer al fin la colada.
7. Después de enfriarse la colada, la fundición terminada junto al sistema de alimentación es tomado y se quitan las partes indeseadas.

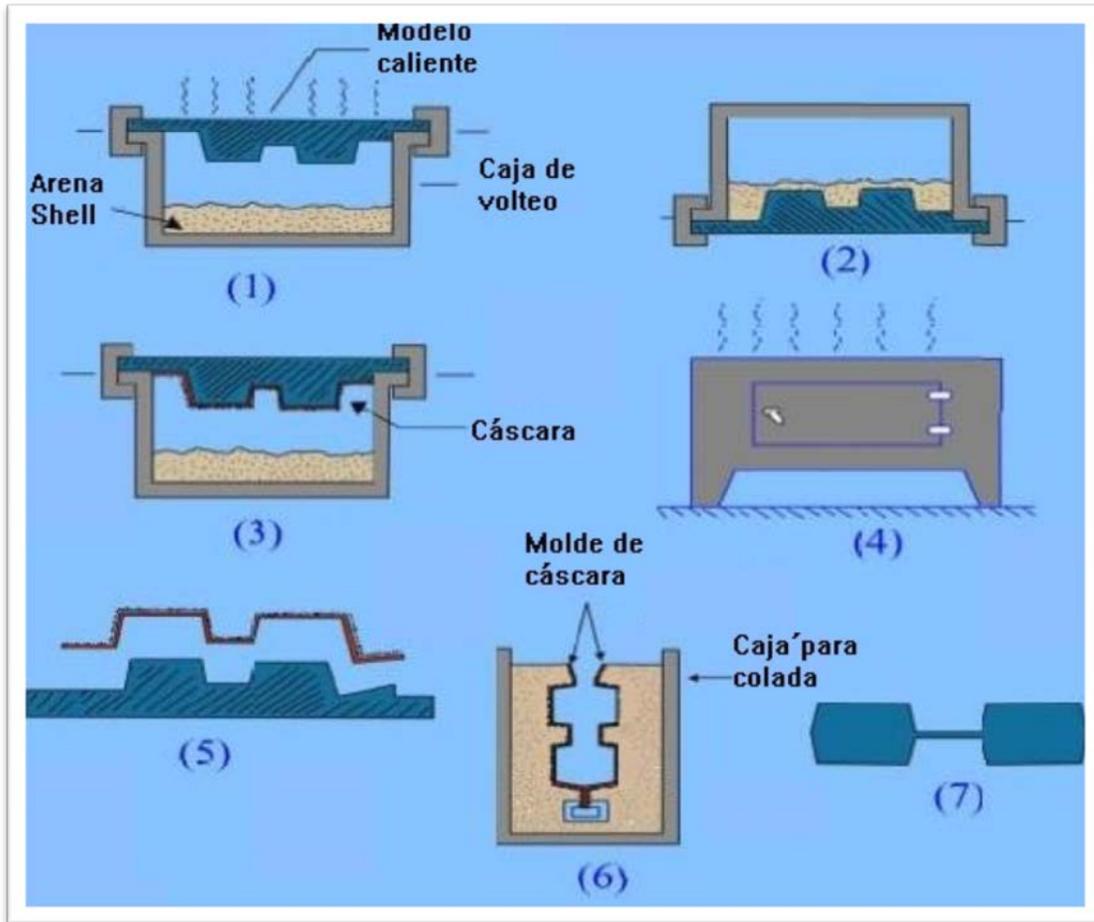


Figura 1. Secuencia del proceso con molde de cáscara.

Parámetros que afectan la calidad de las fundiciones producidas mediante el proceso de moldeo de cáscara.

Para identificar los parámetros que afectan la calidad del proceso de fundición producido mediante el moldeo de cáscara, ha sido generado el diagrama de causa-efecto de Ishikawa. Los siguientes parámetros del proceso pueden afectar la calidad de las fundiciones hechas mediante el proceso de moldeo de cáscara.

- Modelo: Exactitud dimensional, acabado superficial y requerimientos del dibujo.
- Aditivo: Tipo, función del aditivo, propiedades.
- Aleación: Temperatura de vertido, tiempo de vertido y tipo de aleación.
- Arena: Tipo: Silica, Zirconio; tamaño, distribución y forma de grano.
- Resina y catalizador: Tipo de resina, catalizador y costos
- Curado: Temperatura y tiempo.

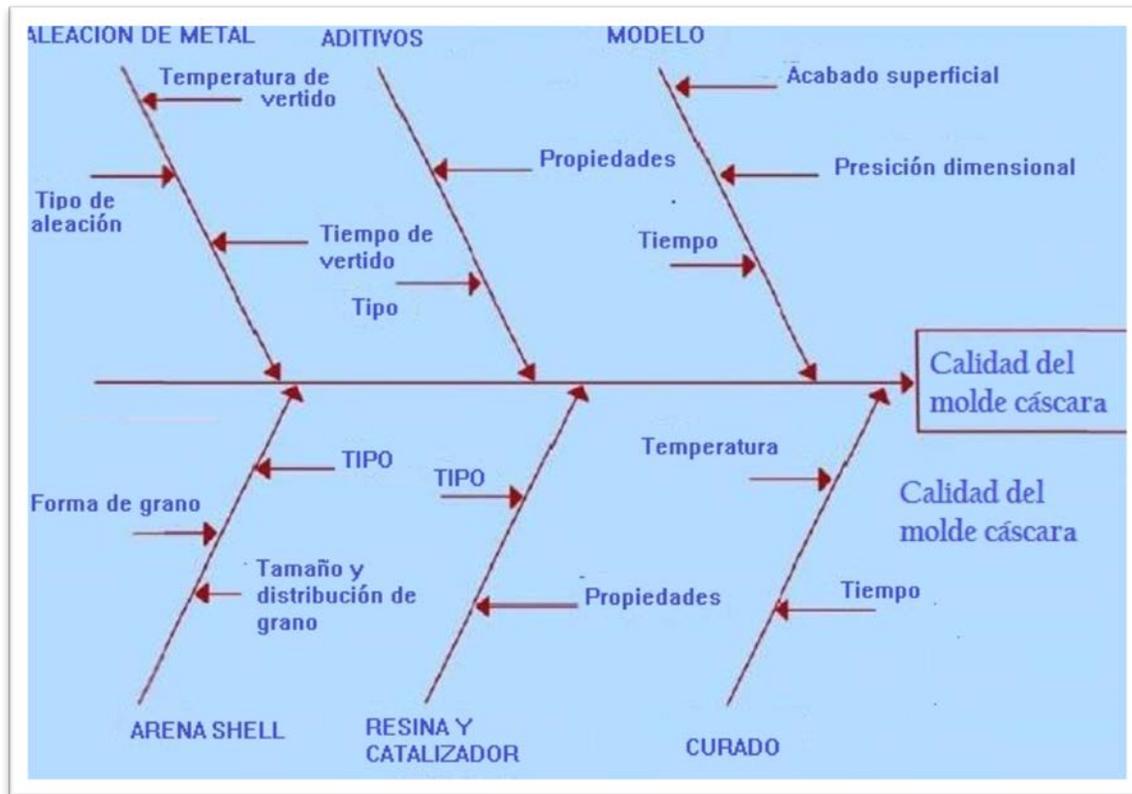


Figura 2. Diagrama de parámetros del proceso que afectan la fundición en molde de cáscara.

3. SEGURIDAD PARA LA PRÁCTICA

Para poder realizar la práctica es necesario atender atentamente los siguientes puntos de seguridad:

- Mantener el orden en el área de fundición, así como una comunicación efectiva informando siempre entre los integrantes de brigadas y entre ellas, las actividades que se realicen, a fin de evitar accidentes por descuido o negligencia. Evitar siempre juegos y bromas.
- Portar el equipo de seguridad personal: Peto, careta de protección facial, guantes, polainas y calzado de trabajo; quienes realizan la operación de moldeo deberán usar guantes de asbesto.
- Respetar las líneas de seguridad para evitar accidentes con las máquinas y equipos de trabajo.
- No portar objetos sueltos, colgijes ni cabello suelto
- Especial atención en la instrucción del uso adecuado de las herramientas y el equipo para evitar cualquier tipo de accidentes.
- Al hacer el molde en todo momento prestar atención y portar guantes debido a que la temperatura en la placa está alrededor de 300° C.

4. ELEMENTOS PARA LA PRÁCTICA

○ Operación de moldeo

- I. Cucharas de moldeo y espátula
- II. Modelo (Placa modelo)
- III. Sistema mecánico de operación de moldeo en conjunto
- IV. Termopar con multímetro
- V. Arena shell
- VI. Agente desmoldante
- VII. Caja para la colada
- VIII. Cronómetro
- IX. Apisonadores



Figura 3. Para la operación de moldeo

1. Fundición y operación de colada.

- | | | | |
|------|-------------------------|-------|--|
| I. | Multímetro con termopar | V. | Horno de gas con turbo soplador para fundición |
| II. | Crisol | VI. | Lingotera |
| III. | Cucharón de escoria | VII. | Pinzas para crisol |
| IV. | Tenazas para crisol | VIII. | Porta crisol |

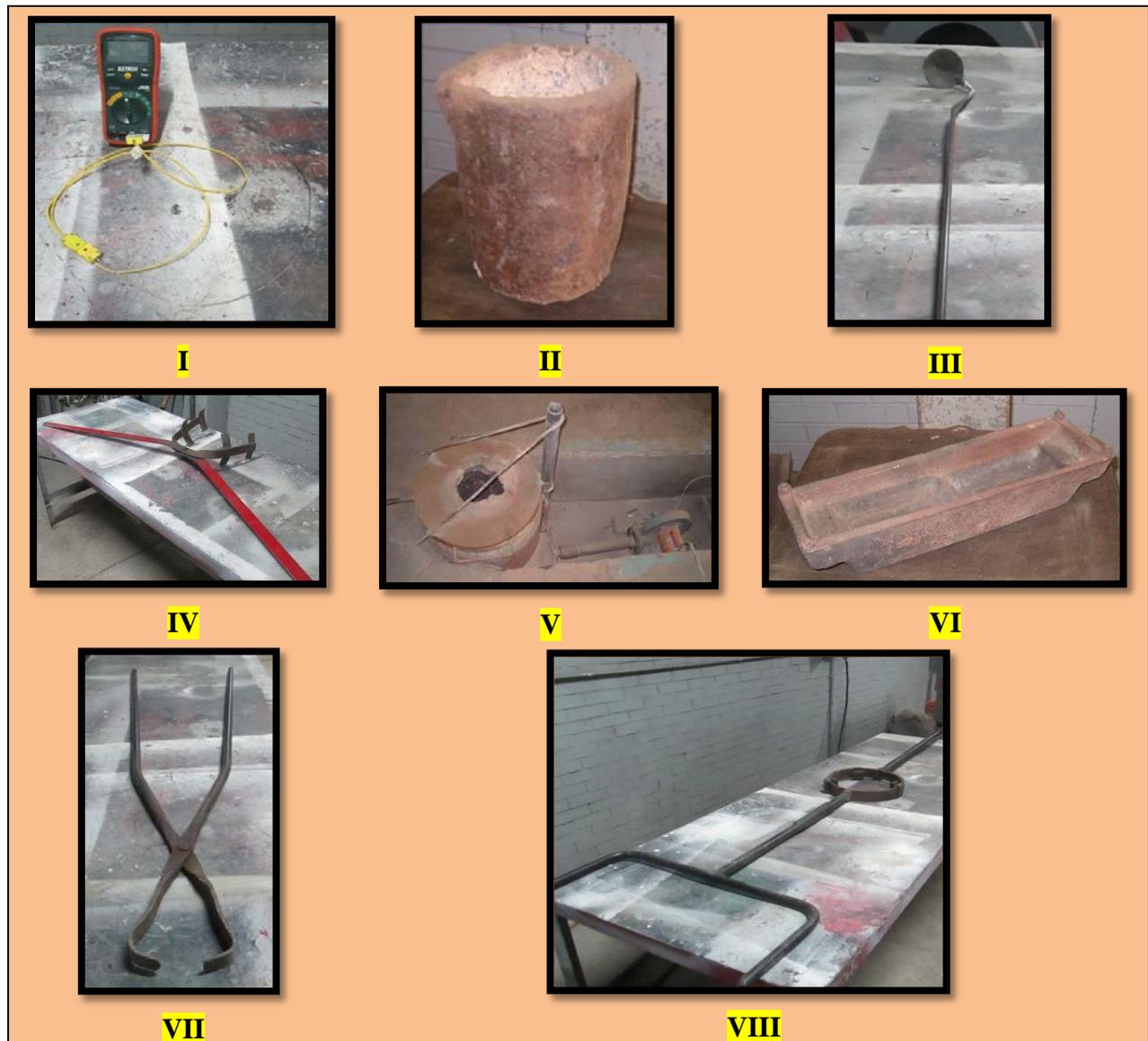


Figura 4. Para la operación de fusión y colada

5. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

- **Operación de moldeo**

La operación de moldeo se lleva a cabo en varias etapas y pasos a seguir.

I. Posicionamiento del sistema mecánico

Cargar entre dos personas la plataforma del riel y colocarla con cuidado en posición como se muestra en la ilustración. Debe de verificarse que este quede bien asentado en sus cuatro patas.

Colocar el sistema mecánico de operación de moldeo en conjunto con el marco de calentamiento en posición inicial y fuera del alcance de la flama del horno.



Figura 5. Posicionamiento de la plataforma de riel



Figura 6. Posicionamiento del sistema

II. Calentamiento del molde

Una vez que el sistema de moldeo en conjunto está en posición inicial. Colocar la placa modelo en el marco de calentamiento con vista del modelo hacia arriba.

Correr sobre el riel el sistema mecánico de operación de moldeo hasta que la placa modelo se encuentre sobre la boca del horno al alcance de la flama y de los gases de escape. En esta posición debe de permanecer hasta que la temperatura del modelo alcance alrededor de 350°C.



Figura 7. Posicionamiento de placa



Figura 8. Posicionamiento del modelo al calor

Mientras se calienta el modelo, verter arena dentro de la caja de volteo, esta debe solo llenarse en un tercio de su capacidad.

Después de aproximadamente 10 min de calentamiento, retirar el marco de calentamiento de la flama e insertando el termopar en el barreno ubicado al centro sobre la placa y entre el tope divisor del modelo, podrá registrarse la temperatura promedio del modelo a fin de conocer si está listo para el siguiente paso. En el caso de que la temperatura aún no sea la adecuada, devolver la placa a la flama durante 5 min más y volver a tomar la temperatura.



Figura 9. Arena en la caja de volteo



Figura 10. Toma de temperatura a la placa modelo.

III. Vertido de arena al modelo

La secuencia de pasos que conforman la operación de vertido de arena al modelo se describe a continuación, los pasos deben realizarse con extremo cuidado, y a la vez tan rápido como sea posible, pues las temperaturas de trabajo son peligrosas, y las pérdidas de energía térmica son considerables para el proceso de curado.

Cuando se alcance la temperatura deseada, debe asegurarse la placa al marco de calentamiento, y se sujeta mediante el mecanismo de leva que está ensamblado al marco de calentamiento. Rociar agente desmoldante sobre la placa.



Figura 11. . I) Sujeción de la placa al marco mediante el mecanismo de leva. II) Rocio de desmoldante

Asegurada la placa al marco de calentamiento, rotar el marco de calentamiento hasta que se alcance la caja de volteo. Cuando la placa este en posición de acoplamiento con la caja de volteo, retirar el mecanismo palanca-disco de la placa y, retornar el marco cuidado no arrastrar la placa en esta operación. Bien asentada la placa sobre la caja de volteo, colocar el mecanismo de gancho para asegurar su sujeción.



Figura 12. Operaciones de transporte de modelo. I) Rotación del marco de calentamiento. II) Seguro de gancho en la caja de sujeción a la placa

Con la placa bien asegurada a la caja de volteo, rotar la caja de volteo en 180° y sacudir ligeramente de 3 a 5 veces. Después de 15 segundos transcurridos a partir del volteo regresar la caja a su posición inicial.

IV. Curado de arena al horno

Una vez terminado el proceso de vertido de arena, debe de retirarse la placa de la caja de volteo, es casi seguro que después de retirar los ganchos que aseguran la placa esta quede amarrada, esto es debido a la concha de arena que se forma en la placa dentro de la caja. Para retirar la placa es necesario levanta con cuidado la placa utilizando una cuchara-espátula, cuidando no tocar con esta la cáscara formada.



Figura 13. Vertido de arena sobre el modelo



Figura 14. Curado de cascara

La placa debe de regresar al marco de calentamiento para ser reingresada nuevamente a la llama y hacer un segundo curado en el horno. Al llevar la placa al marco deben usarse guantes de asbesto y debe de hacerse rápido y con cuidado. Si la concha presenta algún defecto como una fractura o quizá en alguna zona faltó de cubrirse parcial o totalmente, rociar arena con la cuchara sobre la zona defectuosa hasta cubrirla. Si en caso de defecto se ha resanado ya la cáscara, una vez reingresada a la flama no debe de permanecer más de 8 segundos.

V. Ensamble de la cáscara y posicionamiento

Después del curado, la placa debe de llevarse a un lugar fresco y ventilado (se recomienda tomar la placa por la orilla con ayuda de unas pizas de presión para transportarla) para que pueda bajar su temperatura, así, la contracción del aluminio al enfriarse será favorable para poder separar la cáscara del modelo.



Figura 15. Separación de la cáscara del modelo



Figura 16. Molde Shell

Una vez que la placa puede manipularse con guantes de carnaza sin la sensación de sobrecalentamiento en la mano, debe de retirarse la cáscara con una espátula-cuchara con mucho cuidado y delicadeza para evitar fracturarla. La espátula debe engullirse ligeramente entre la placa y la cáscara por las orillas alternando con la orilla contraria hasta que ésta se vaya desprendiendo poco a poco de la placa.

Gracias a la línea divisora entre ambas mitades de la pieza a colar, se puede partir manualmente la cáscara en las dos mitades que

forman la cavidad del molde. Hecho esto, ambas conchas cuentan con pernos y barrenos que al unir las conchas hacen coincidir dichas cavidades.

Ensambladas ambas cavidades del molde, debe de colocarse dentro de la caja para colada en diagonal de manera que el basín del sistema de alimentación del molde quede hacia arriba, y así, permitir la entrada del metal líquido. En este punto debe de rellenarse con arena común los alrededores del molde dentro de la caja para colada, apisonando ligeramente para dar firmeza al molde hasta que se haya cubierto casi en su totalidad, con extremo cuidado para no derramar arena dentro de la cavidad de molde.



Figura 17. Molde listo en la caja para colada

○ **Colada**

Para llevar a cabo la operación de colada, se realiza un conjunto de actividades en serie. La primera es la fusión del metal, la segunda es la preparación previa a la colada y por último la colada.

IV. **Fusión del metal.**

1. Para la operación de fusión del metal. Colocar el crisol de carburo de silicio dentro del hogar del horno e introducir la cantidad de material necesario para realizar el vaciado de la pieza y en general de todos los moldes a colar.

Figura 18. Crisol con material a fundir



2. La cantidad de material necesario para llevar a cabo la colada de todos los moldes debe de calcularse, y se recomienda tener un 10 % más sobre el total de peso calculado con el volumen total de las cavidades de todos los moldes, es decir, de las piezas y de los sistemas de alimentación. Debemos asegurarnos que éste vaya ligeramente en exceso pero nunca en menor cantidad.
3. Cargado con el material, mediante las tenazas para el crisol se debe de colocar dentro el horno. Debe de asegurarse que el crisol está bien asentado dentro del horno para evitar derramamientos por volcadura.
4. Para encender el horno, asegúrese de que no existan fugas de gas, revise que las llaves de paso del combustible estén debidamente cerradas y que no haya ninguna persona cercana a la zona de la flama. Primero encienda una estopa y con las pinzas para el crisol colocarla entre el crisol y el hogar, abrir la llave de paso del gas y activar el turbo soplador del horno, verificar que la flama se haya establecido adecuadamente, cerrar la tapa del horno, y regular la flama en un rango oxidante.
5. Esperar a que el material dentro del crisol funda por completo y este en completo estado líquido, apagar el horno, y posteriormente abrir la tapa.

Nota: La etapa de *Fusión del metal* requiere aproximadamente 40 minutos para la fusión, por ello se recomienda que la primera brigada en fabricar su molde consecuentemente delegue esta tarea e inicie el proceso.

V. Preparación previa a la colada

1. Colocar el porta-crisol sobre las piedras para asentamiento de yeso listo para recibir el crisol.



Figura 19. Colocación del crisol en el horno



Figura 20. Encendido del horno

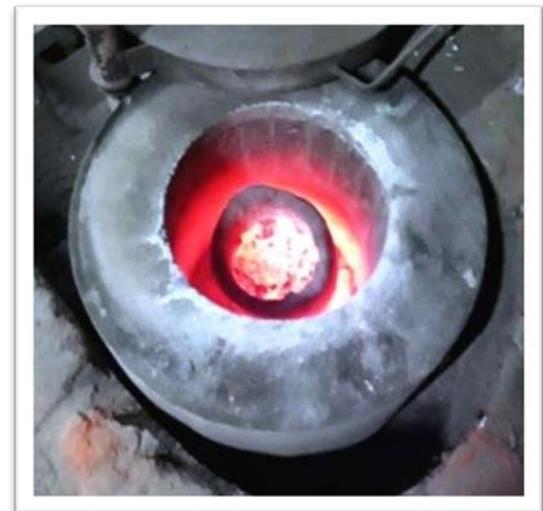


Figura 21. Material fundido

2. Con ayuda de un cucharón largo para fundición retirar la escoria o costra formada en la superficie.



Figura 22. Posicionamiento del porta-



Figura 23. Retiro de escoria

3. Sujetar firmemente el crisol con las tenazas para crisol y sacarlo del horno con mucho cuidado y precaución. Trasladar el crisol para dejarlo en posición con el porta-crisol.



A) Retiro del
crisol del horno



B) Traslado del crisol al porta-crisol



C) Posición del crisol en el porta-crisol

Figura 24. Traslado del crisol del horno al porta-crisol

4. Para evitar que el metal absorba nitrógeno o gases del aire, se debe tomar la temperatura del metal fundido con ayuda del multímetro con termopar. Para poder realizar la colada, la temperatura del metal debe estar alrededor y no muy lejana de 780 °C. Si la temperatura esta excedida por más de 40°C, esperar a que baje al valor deseado. Para evitar que la temperatura este por debajo de este valor y tener que regresar el crisol al horno, como una recomendación en el trabajo previo de fusión, se sugiere usando debidamente el equipo de protección personal tomar la lectura de temperatura con el crisol dentro del hogar cuando el horno ha sido apagado, si la temperatura no es aun la deseada encender el horno. Si esta excedida, sacar el crisol y esperar el tiempo necesario para que descienda la temperatura deseada.



Figura 25. Temperatura del metal fundido °C

VI. Operación de colada

El vertido de metal líquido en el molde debe de realizarse con cuidado, a velocidad constante y tan rápida como sea posible. Hasta que el material llene por completo la o las cavidades, verter el resto del metal en una lingotera perfectamente seca y libre de impurezas.

Con el fin de tener espacios seguros para la operación, es importante que se planee una estrategia para acomodar los moldes en el área de colada, estos deberán de estar dispuestos de manera tal que no se estorbe el paso ni la maniobra de colada con el porta-crisol.

Este proceso se opera entre tres personas debidamente protegidas con el equipo de seguridad. Dos personas sujetan y manipulan el porta-crisol, la tercera se encarga de checar que la boquilla del crisol esté en posición con el bebedero del molde, para después durante la operación de vertido detenerlo con un gancho y evitar que este volqué fuera del porta-crisol. Las personas encargadas de esta operación deben de estar muy coordinadas y comunicadas al realizar la operación para hacerlo de la manera más segura y rápida posible.



Figura 26. Moldes en posición estratégica



A) Transporte del crisol



B) Vertido en el molde

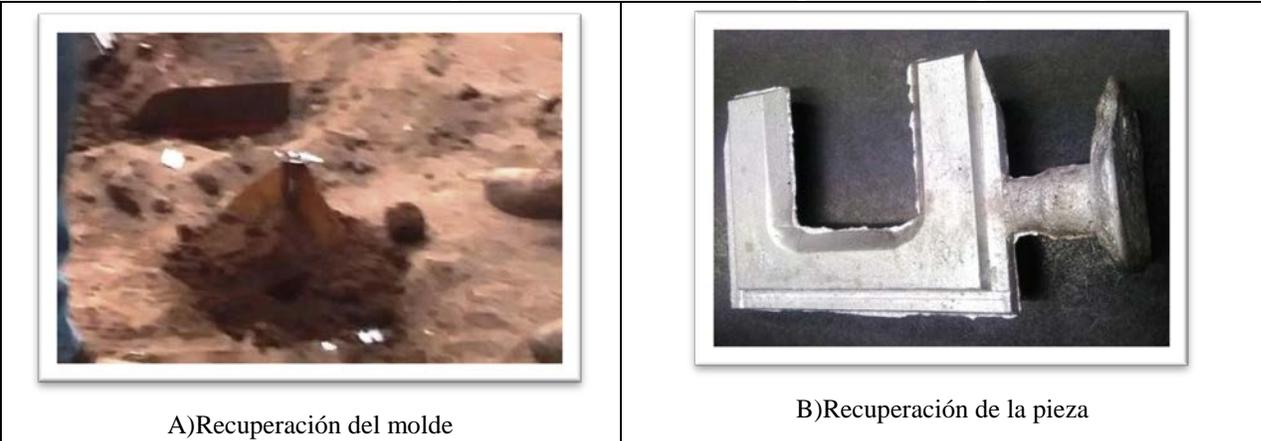


B) Vertido de remanente

Figura 27. Operación de colada.

○ **Solidificación y recuperación de la pieza**

Dejar solidificar el metal dentro del molde y esperar a que disminuya su temperatura durante unos 10 minutos aproximadamente. Para recuperar la pieza, utilizando guantes y una pala se debe desenterrar el molde hasta poder acceder a la base (Tapa inferior de prensado).



A) Recuperación del molde

B) Recuperación de la pieza

Figura 28. Solidificación y recuperación de la pieza.

PROPUESTA DE TRABAJO A FUTURO.

Las piezas de la placa de modelo-bipartido son probetas, estas se apegan a la norma E8M-00 de la ASTM para hacer pruebas de caracterización de propiedades mecánicas. Las piezas obtenidas, después de un mecanizado de acabado, podrían usarse para hacer ensayos de tracción. Resultarían bien aprovechados si logramos adentrar más la metalurgia al proceso de fundición y tratamos de controlar estas propiedades con parámetros al fundir aleaciones.

Como otra propuesta de trabajo a futuro se tiene que tomar en cuenta el espacio disponible en el área de fundición, para hacer un acondicionamiento de lugares destinados a la realización de las operaciones del proceso y los dedicados al resguardo y almacenamiento de aditamentos y herramientas. En esta organización de espacio podría incluirse ambiciosamente un espacio exclusivo para la operación de moldeo en cáscara incluyendo en el diseño la realización y construcción de un horno de gas para el calentamiento del modelo y curado de cáscara, para poder controlar de manera más exacta y rápida los parámetros en la fabricación del molde relacionados con la temperatura.

La administración de los recursos como materias primas, el mantenimiento constante y controlado de las máquinas, herramientas y aditamentos es un tema importante que determina en buena medida el éxito y la calidad de un buen proceso.

La recuperación de las máquinas para pruebas de arena proporcionaría un control en las mediciones de los parámetros para la preparación del sistema de arena verde. Sería quizá posible realizar prácticas dedicadas al control de los sistemas de arena y encontrar parámetros de diseño estándar que se adapten mejor a los tiempos y las cantidades de materiales para sustituir debido a la degradación que sufre la mezcla por cada ciclo.

CONCLUSIONES

A CERCA DE LA PREPARACIÓN DEL SISTEMA DE ARENA VERDE

Resulta que es muy complicado mantener el acondicionamiento óptimo del sistema de arena verde debido algunos factores como llevar el control en la reposición de los ingredientes, el tiempo óptimo de mezclado, el procedimiento de mezclado y también determinar cuándo es necesario cambiar por completo todo el sistema. Pero a través de las pruebas se han determinado parámetros eficaces para estos factores para utilizar el sistema en repetidos ciclos, pero ¿cuántos ciclos?, es aún una incógnita, para dar respuesta requerimos del uso de equipo para las pruebas específicas para el sistema como el permeámetro, la máquina universal de esfuerzos, el apizonador, el tamizador, el medidor de humedad entre otros. Ahora bien, es importante que para cada ciclo de mezclado se incluyan ciertos pasos para mejorar la efectividad del mezclado y el moldeo. 1-Remover los materiales externos, como restos de metal, terrones duros y todos aquellos que no sean parte de los ingredientes del sistema; 2-Adecuado mezclado en la arena para desarrollar las propiedades óptimas de la mezcla en el molino que se distribuya por competo la arcilla el agua y los aditivos; 3-Control de la temperatura, arena fresca es ideal pues el arena caliente por encima de los 30°C causa dificultades de moldeo y goteo.

Para el éxito de una fundición, la preparación del sistema de arena es un factor clave, se requiere un conocimiento básico de los materiales que constituyen un sistema y del equipo requerido para preparar y mantener la integridad del sistema, pero debe de cuidarse cada detalle del proceso, un aspecto importante es el procedimiento de mezclado del sistema que debe de realizarse por partes esenciales, primero debe de molerse la arena para suavizar los terrones duros, posteriormente es que debe de agregarse la arcilla y esperar a que se mezcle uniformemente para poder agregar después el agua. La lógica de este procedimiento radica en la función de la arcilla, esta es el adhesivo que mantiene la forma del molde en los diferentes cambios de temperatura que pasa, entonces es crucial que esta quede bien distribuida en la arena. Por ello es que primero debe quedar bien mezclada en la arena para después activarla mediante agua, entonces las propiedades del sistema se desarrollan uniformemente. Así se obtienen en las prácticas propuestas una manera de llevar a cabo este proceso.

SOBRE LA FABRICACIÓN DEL MOLDE DE ARENA VERDE

Los parámetros que se controlan no son del todo exactos debido a que pueden existir ligeras diferencias en algunas situaciones técnicas de equipo o materiales en contraste con las experiencias reportadas por W, Heine, pero lo que sí es seguro es que nos brinda una ruta de diseño confiable y que se ha logrado demostrar mediante las pruebas que aún con estas ligeras diferencias, los valores no se encuentran tan dispersos y lo mejor es que funcionan como parte del diseño de la práctica propuesta.

El diseño del material propuesto ha proporcionado grandes ventajas en la realización de las prácticas, primero en los tiempos requeridos para el proceso de moldeo, se logra ahorrar un tiempo que va desde cincuenta minutos hasta más de una hora, esto dependiendo de la destreza de la brigada en turno en la operación y por el empleo de la máquina compactadora. Los aditamentos en las funciones de la máquina permiten un trabajo con mayor facilidad al reducir el esfuerzo de apisonado, mejoras al moldeo como el asiento adecuado de arena sobre el modelo y así obtener un mayor compactado en esta zona, el soplado con aire comprimido de los excesos o sobrantes de arena en el molde y sus cavidades. Por su parte, el sistema de moldeo permite importantes ventajas, debido a que está diseñado para su operación en la máquina, pero también puede operarse sin ella, así los moldes se fabrican rápidamente pues debido al diseño las cavidades del modelo y todo el sistema de alimentación se imprimen al mismo tiempo durante el proceso con la máquina, al final del compactado tenemos un molde completo y formado en dos partes, por ello es que se logra liberar el sistema, lo que permite soplar y limpiar las cavidades al retirar la placa modelo barriendo arena suelta que erosione o se arrastre en la colada, al final se obtiene solo el molde, y el sistema de moldeo libre y listo para emprender un nuevo proceso de moldeo.

Si es verdad que se obtienen grandes beneficios con el empleo del método propuesto, también se encuentran situaciones que quizá puedan verse como inconvenientes, una de estas es que solo se cuenta con una máquina compactadora, el máximo de personas para fabricar el molde mediante la máquina está limitado a 3, pero puede hacerse un plan de trabajo en donde cada brigada tenga la oportunidad de controlar cada aspecto en las operaciones de preparado de sistema de arena y fabricación del molde. Así se puede tener un trabajo más dinámico y controlado para las clases, organizando las brigadas y preparando un plan de trabajo en el cual

cada brigada siga a la primera en las operaciones de la práctica, incluso se podría variar más parámetros por cada brigada y obtener un mayor razonamiento acerca del éxito o fallas de las piezas coladas y el proceso en general.

El diseño del sistema de operación de moldeo tiene hasta el momento a penas poco más de un par de iteraciones, sin embargo su funcionamiento ha sido satisfactorio, pero esto no determina un diseño absoluto, pues existen aún partes por mejorar y rediseñar, el objetivo principal para que se emplee en prácticas es que las cajas se fabriquen totalmente de metal, pero extraordinariamente que las placas modelo, sea cual sea este, se logren de fundición en una sola pieza, mejorar el sistema de ensamble de semi-cajas para optimizar y hacer más prácticos los tiempos en la etapa del armado.

El diseño de sistema provee también beneficios económicos para la administración, pues en la etapa de fabricación del molde solo es necesario tener como máximo dos cajas, mismas que pueden ser fabricadas por los alumnos que estén prestando su servicio social en los laboratorios de Ingeniería mecánica de la Facultad.

A CERCA DE LA FABRICACIÓN DEL MOLDE DE CASCARA

El diseño de este proceso se forzó de manera más empírica dado que los parámetros teóricos están referenciados a un tipo de trabajo que difiere en el equipo empleado para su realización, aunado a eso es probable que la calidad de los materiales empleados por W, Heine, y los usados para el desarrollo del material propuesto también tengan diferencias e influyan, ya que es probable que el catalizador de la resina sea más o menos efectiva, o que las cantidades en los materiales de preparación de sistema también difieran como también podría contar con más o menos aditivos favorables al proceso. Lo anterior se debe a que en la realización de este proceso el sistema de arena empleado para el Shell es obtenido directamente del proveedor, entonces no podemos controlar los parámetros en el proceso de preparación de sistema de arena, ello deja un gran hueco en las mediciones de propiedades del sistema de arena, pero a pesar de ello el proceso de la fabricación logró obtenerse de manera exitosa y práctica para su realización por la comunidad estudiantil como proceso de fundición en arena shell.

La realización de esta práctica ha dejado una gran experiencia, el diseño del proceso para ser adaptado a las condiciones del área de fundición requirió de un gran trabajo, a diferencia del proceso de arena verde, no se contaba con el equipo necesario para el desarrollo de la fabricación del molde, entonces el proceso de diseño se ha complementado en todos los aspectos, desde la investigación general del proceso, sus principios físico-químicos, los alcances, el diseño y fabricación de los aditamentos, equipos necesarios, rediseños en distintas iteraciones de las pruebas para su efectiva adaptación y el desarrollo de las repetidas pruebas realizadas para la obtención de los parámetros idóneos para la fabricación y obtención exitosa de los moldes.

GENERALES

El proceso de diseño es una actividad ingenieril en donde todas las habilidades, aptitudes, conocimientos y experiencias trabajan en equipo para determinar el éxito en la solución de algún problema hipotético o bien definido. El trabajo se extiende desde el conocimiento general y

profundo del tema a desarrollar, para después analizar los alcances y las posibilidades de realización o en su defecto ingeniar una forma alternativa de cumplir con los principios físicos de las operaciones, después un análisis para la fabricación u obtención de los equipos o aditamentos necesarios, analizar las posibilidades y alcances en la manufactura, el uso seguro y adecuado de las máquinas, accesorios y, las pruebas de funcionamiento de los equipos y aditamentos generados, rediseños en caso de ser necesarios, y por último, la determinación del éxito del producto o proceso en cuestión.

Es importante tener un conocimiento básico pero sólido de los procesos de manufactura, las formas en que se presenta y el uso de las máquinas y herramientas. Un conocimiento básico devela más ideas para la solución de problemas y propuestas alternas en la manufactura.

El papel que tiene la fundición tanto en la ingeniería como la industria del país es demasiado importante, los avances en la investigación y el desarrollo tecnológico pueden fácilmente resultar benéficos para el desarrollo económico del país, y de la industria de la fundición. La exportación de materias primas disminuiría, quedándose la mayor parte en la producción de productos terminados en el país.

COMENTARIOS

La fundición es una base de las más importantes de la industria metalmecánica, México cuenta con más de la infraestructura mínima requerida para impulsar esta área de la manufactura, es importante que se invierta conocimiento científico y desarrollo tecnológico para la fundición en México, en cualquiera de sus partes. Sería bueno que los procesos iniciales de manufactura en fundición en México pudiesen terminarse totalmente en el país.

El aprendizaje y desarrollo de esta parte de la manufactura impulsa la innovación y aumenta la versatilidad para obtener mejores herramientas, estos aspectos son importantes y se debe trabajar en ellos para obtener un desarrollo íntegro y provechoso. Este trabajo es un inicio con el cual se pretende empezar a llenar espacios vacíos en aras de estos temas para el impulso y desarrollo del conocimiento.

Mediante el empleo de estas prácticas, los estudiantes se ven favorecidos, en la parte de enseñanza de los procesos se logra optimizar tiempos de trabajo, resaltar detalles en la fabricación de las piezas como la calidad de estas, las formas que pueden obtenerse, el trabajo en equipo concatenado y compartido; también es posible para el desarrollo de piezas diseñadas para el desarrollo de cualquier proyecto o para fundir aleaciones y caracterizar los materiales obtenidos mecánicamente.

Aún queda trabajo por realizar, cosas por probar y hacer, como implementar procesos de fundición mediante otros métodos como fundición por inyección, a la cera perdida, fundición centrífuga entre otras más a las cuales se les podría dar un carácter ingenieril para su desarrollo y después de obtenidos uno científico de investigación o desarrollo tecnológico.

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ammen, C. W. (2000). *Metal casting*. New York: McGraw-Hill [7]

Atlatenco, E. y Jardón, L. (nd). *Fundición*. Ciudad de México: Universidad Nacional de México, Dpto. De Ingeniería Metalúrgica.[1]

Avendaño, De La Luz, Domínguez, Ramos, (s.f.) *Diseño y fabricación de modelos para fundición*. México: Instituto Politécnico Nacional, Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. [8]

AFS Safety and health committee (2005). *Guide for selection and use of personal protective equipment and special clothing for foundry operations*. Schamburg USA [5]

ASTM E8M-00b, Métodos de Prueba Estándar para Ensayos de Tensión de Materiales Metálicos [Metric], ASTM International, West Conshohocken, PA, 2001 [9]

El Economista. *Industria de la fundición estima crecimiento de 20% en México* .Extraído el 5 de Enero del 2017 de <http://eleconomista.com.mx/industrias/2014/09/17/industria-fundicion-estima-crecimiento-20-mexico> [3]

ESCACENA,(nd). *Caracterización de las propiedades mecánicas del aluminio 7075-t651*.Extraído el 16 de Septiembre del 2016 de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4089/fichero/6.pdf> [9]

Garavito, J. (2008). *FUNDICIÓN*. Colombia [6]

Ortiz, A., Ruiz, O. y Ortiz, J. (2013). *Modelado de proceso de manufactura*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Dpto. de Ingeniería Mecánica e Industrial [2]

Radver (s.f.). *Desarrollo de la fundición de Metales en México* .Extraído el 12 de febrero del 2017 de <http://www.radver.com/articulos-fundicion-metales/12-la-fundicion-de-metales/52-desarrollo-de-la-fundici%C3%B3n-de-metales-en-m%C3%A9xico.html> [4]

Ulrich Recknagel. (2007). *The Shell Moulding Process: A German Inovation*. Gieberei-Piaxis. Zwickau Alemania [11]

Simpson Thecnologies Corp., Aurora, Illinois. (2000). *Fundamentos en la Preparación y Control de la Arena Verde*. U.S.

Sociedad Mexicana de Fundidores. *Revista bimestral*. Extraído el 14 de Enero del 2017 de: <http://www.smfac.org.mx/#>

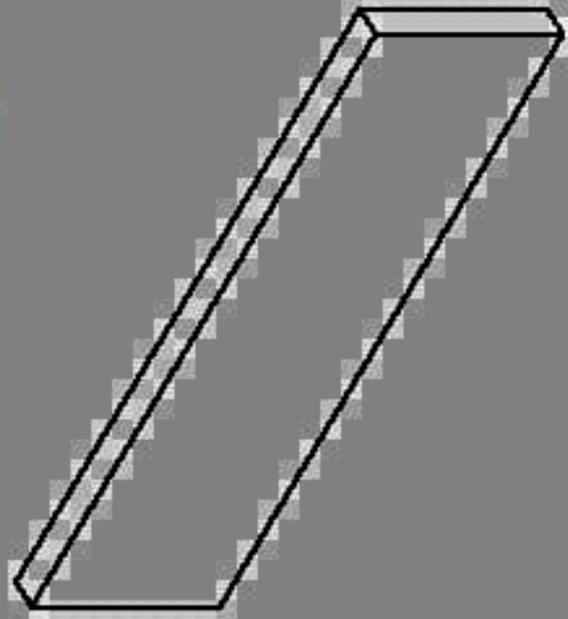
W Heine, R., R Loper , C., & C Rosenthal, P. (1967). *Principles of Metal Casting*. New York: McGraw-Hill. [10]

FUENTES ILUSTRATIVAS

- [I] *Figura 1.Epp México*. (2016). Protector facial [Fotografía]. Recuperado de <https://eppmexico.com/proteccion-a-la-cabeza/cascos/protector-facial-claro-infra>
- [II] *Figura 2. Logismarket*. Gafas de protección [Fotografía]. Recuperado de <https://www.logismarket.es/ip/general-optica-gafas-de-proteccion-gafas-de-proteccion-532987-FGR.jpg>
- [III] *Figura 3. SIME*. Peto de carnaza [Fotografía]. Recuperado de <http://d261pennugtm8s.cloudfront.net/stores/070/679/products/peto%20de%20carnaza-15cdd5a9ba75cab850ff2c7850f4026a-480-0.jpg>
- [IV] *Figura 4.El ferretero*. Guantes largos de carnaza [Fotografía]. Recuperado de <http://www.elferretero.com.mx/images/catalogo/900x900/14242.jpg>
- [V] *Figura 5. EPPSeguridad*. Calzado de seguridad [Fotografía]. Recuperado de <http://www.eppseguridad.com/MyImages/BASICO%203.jpg>
- [VI] *Figura 6. Zelecta*. Polainas de carnaza [Fotografía]. Recuperado de <http://soldaduraszelecta.com/productos/images/polainas%20carnaza.jpg>
- [VII] *Figura 10. Damosco*. Levantamiento de objetos pesados [Ilustración]. Recuperado de <http://www.sanar.org/files/sanar/prevenir-los-efectos-a-largo-plazo-de-levantar-peso.jpg>
- [VIII] *Figura 12. Mechanical Engineering*. (2013). Shell mold casting. [Ilustración]. Recuperado de <http://mechanicalinventions.blogspot.com/2012/12/types-of-patterns.html>
- [IX] *Figura 13. Jones J. T. A.* (2009). Match plate pettern. [Ilustración]. Recuperado de <https://image.slidesharecdn.com/casting-090508012452-phpapp02/95/casting-9-728.jpg?cb=1241746027>
- [X] *Figura 14. Ortiz A., Ruiz y Ortiz J. A.*(2013). Moldeo en arena en verde con maquina compactadora y percusión [Fotografía]. *Métodos de fundición o colada* (p. 32). Ciudad de México, Dpto. De Ingeniería Mecánica e Industrial, 2013
- [XI] *Figura 15. Atlatenco, E. y Jardón, L. (N)*. Pieza colada demasiado intrincada [Fotografía]. *Fundición* (p.9). Ciudad de México, Dpto. De Ingeniería Metalúrgica
- [XII] *Figura 17. Abraham* (1972). Squeeze head, jolt plate y radio de giro de la caja [Ilustración]. *Patent: Jolt Zqueeze Molding Machine*(p.2).United States
- [XIII] *Figura 58. Heine, Loper, Rosenthal*, (1967). Diagrama de compactación [Ilustración]. *Principles of Metal Casting* (p.54). New York: McGraw-Hill.
- [XV], [XV] *Figura 1-5. (Práctica arena verde)*. Dandong funding engineering. Molde de arena en verde [Ilustración]. Recuperado de <http://www.iron-foundry.com/hand-molding-method.html>

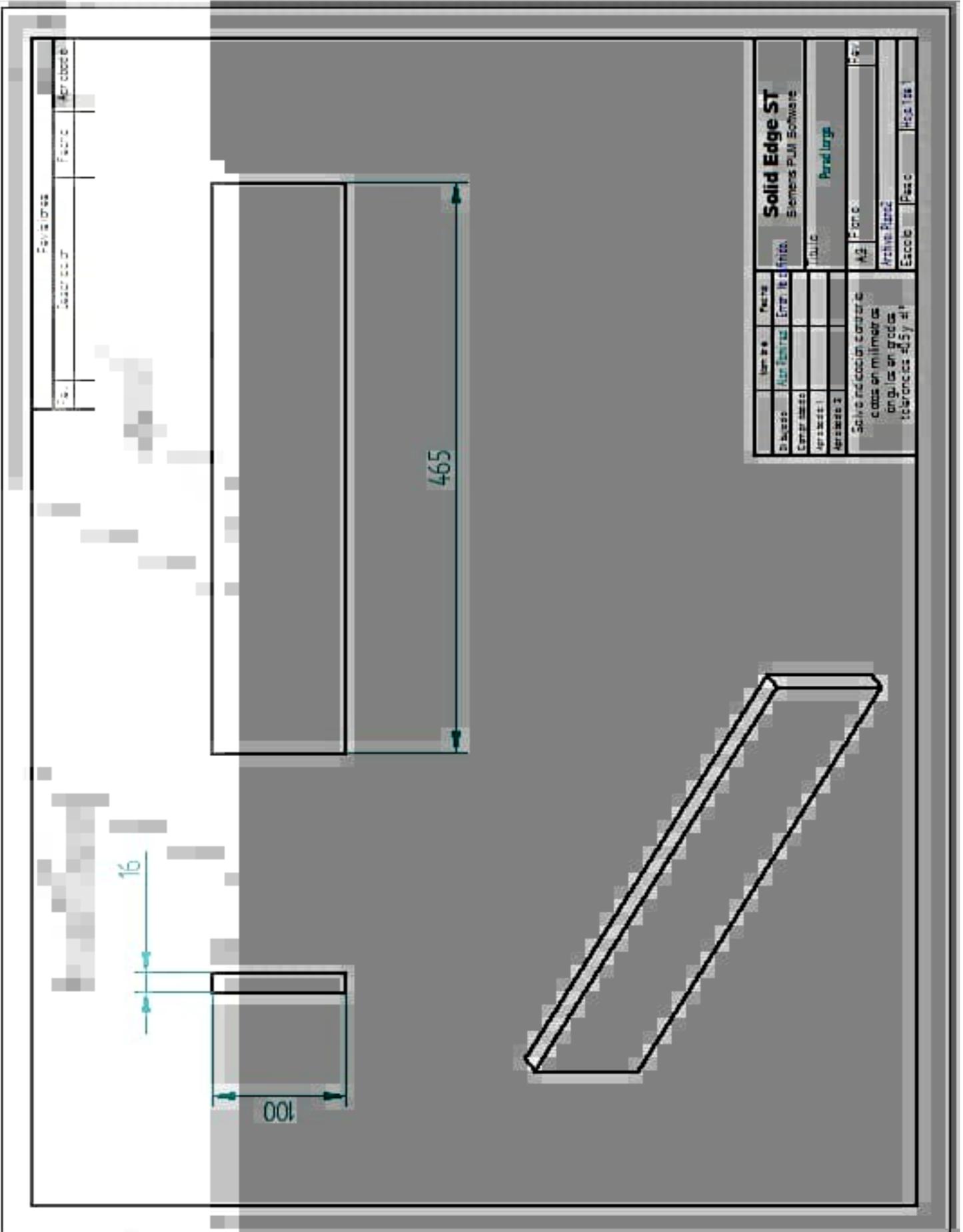
***APÉNDICE A: PLANOS DE FABRICACIÓN NECESARIOS
PARA EL ENSAMBLE DE LA CAJA DE MOLDEO.***

PARED DE CAJA CORTA (PLANO 1)



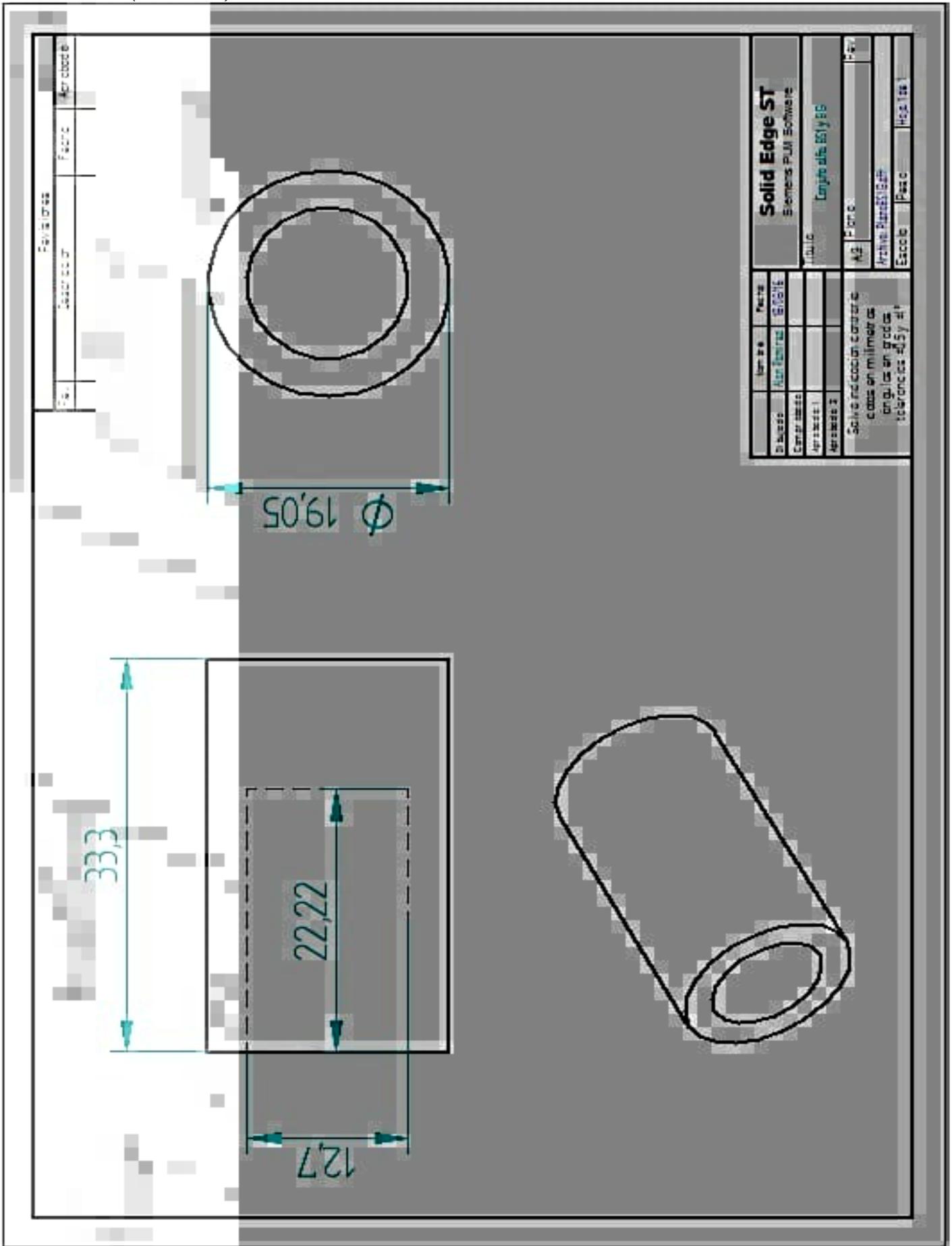
Solid Edge ST		Siemens PLM Software	
Nombre	Fecha	Estado	Proyecto
Alfonso	12/10/2010	Finalizado	Paradiso
Descripción	Entorno	Plantilla	Plantilla
Versiones	Plantilla	Plantilla	Plantilla
Versiones	Plantilla	Plantilla	Plantilla
Solución de problemas con errores cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1			
Escala		Hoja 1 de 1	

PARED DE CAJA LARGA (PLANO 2)

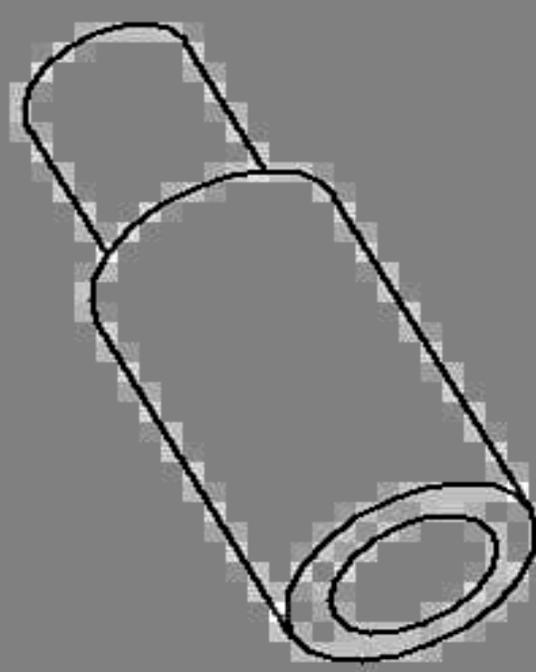
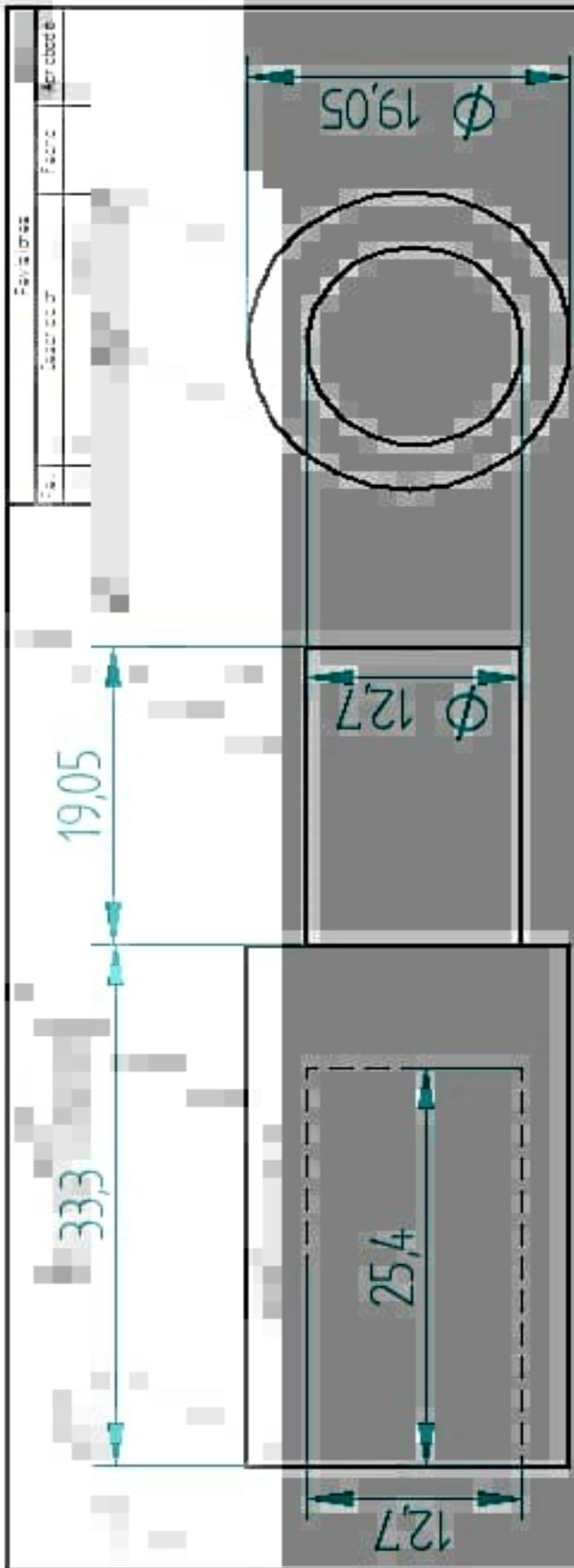


Solid Edge ST		Siemens PLM Software	
Diseno	Alan Robinson	Fecha	Entrenamiento
Comprobado		Titulo	Paralelismo
Aprobado 1		Objeto	Paralelismo
Aprobado 2		Escala	1:1
Solivo indicacion color de clases en milímetros de angulos en grados de tolerancia de ±0,5 y di		Proyecto	Paralelismo

CONJUNTO α (PLANO 3)



CONJUNTO B (PLANO 4)

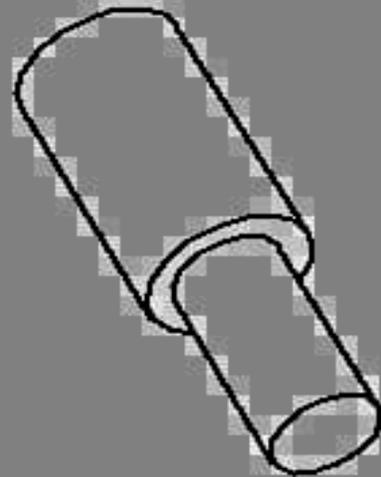
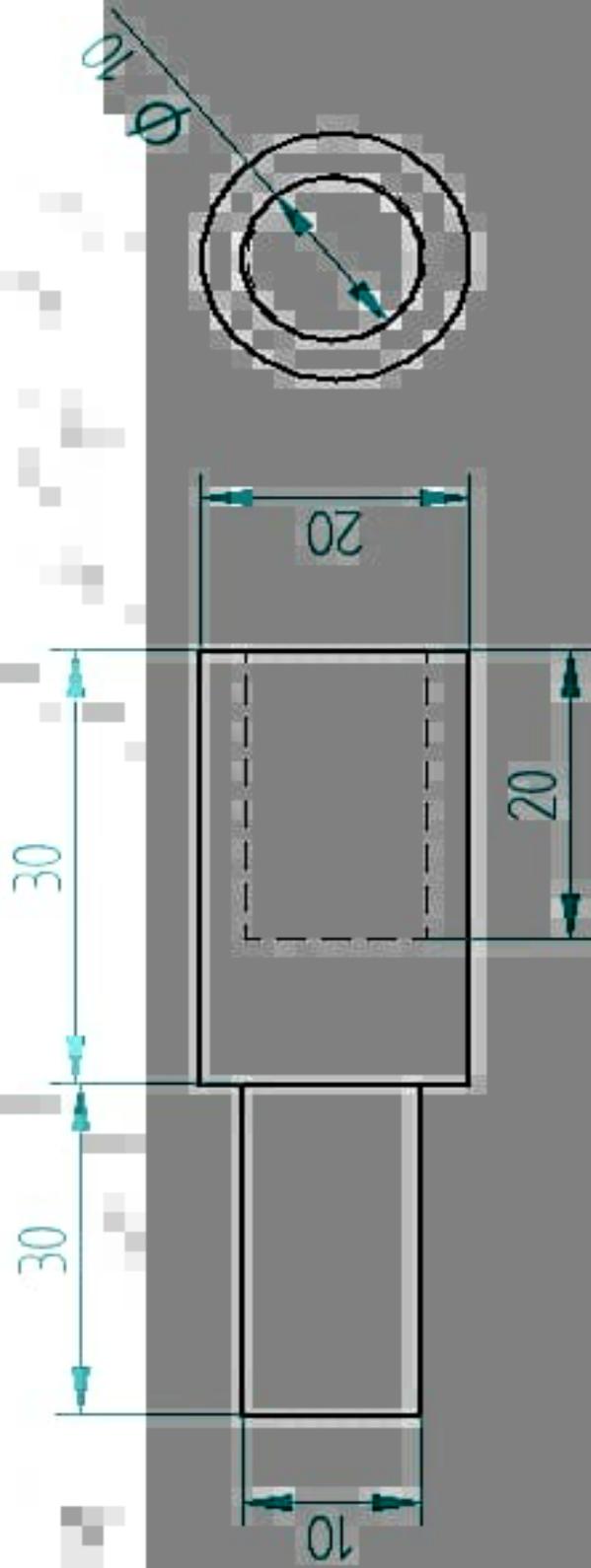


Revisión		Fecha	Aprobado
No.	Descripción		

Solid Edge ST		Fecha	
Siemens PLM Software		AutoCAD	2007/11
Proyecto		Nombre	
Conjunto B de B02 y B03		Apellido	
Folio		Plantilla	
42		Archivo	PlanoB02.dwg
Escala		Plantilla	
1:1		Plantilla	

Se debe indicar en cada caso en milímetros o en grados y tolerancias de 0,5 y 0,1

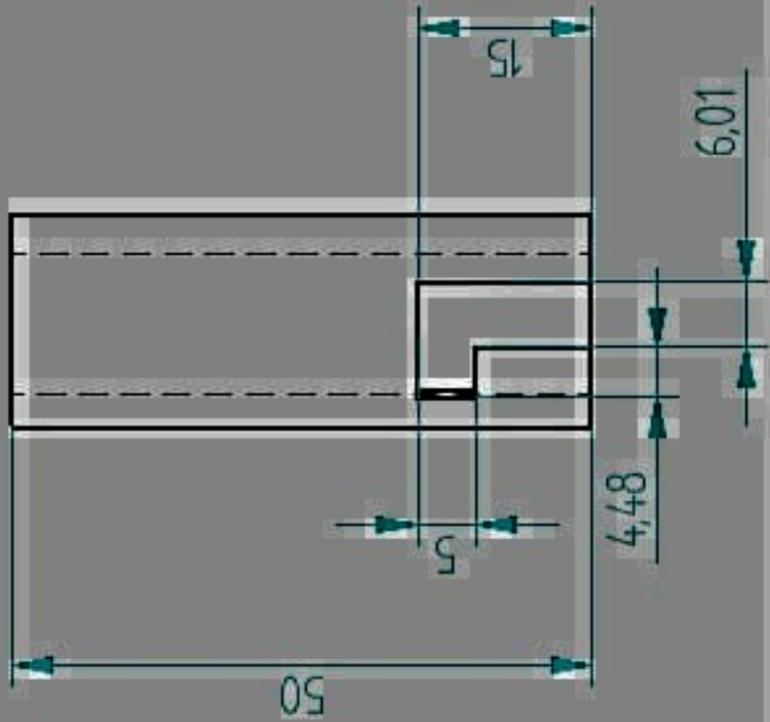
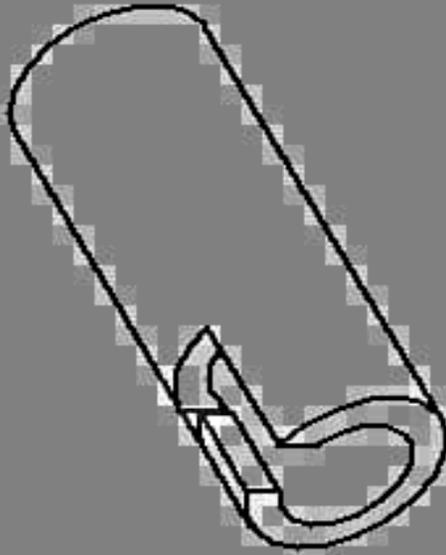
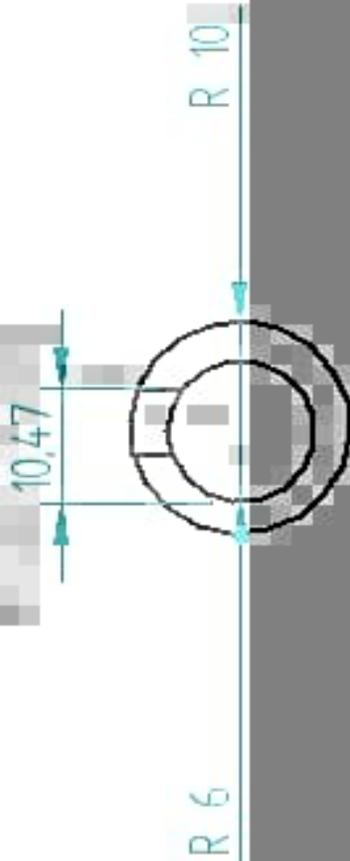
Pa.	Estado	Fecha	Aprobado



Solid Edge ST		Fecha	Estado
Siemens PLM Software		14/07/16	
Compartido			
Version 1			
Version 2			
Solivindicación control de cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y ± 1			
TÍTULO		Bisagra BI1	
AUTOR		P. GARCÍA	
ESCALA		1:1	
PROYECTO		H01.01.01	

BISAGRA DE ENSAMBLE BES1 (PLANO 7)

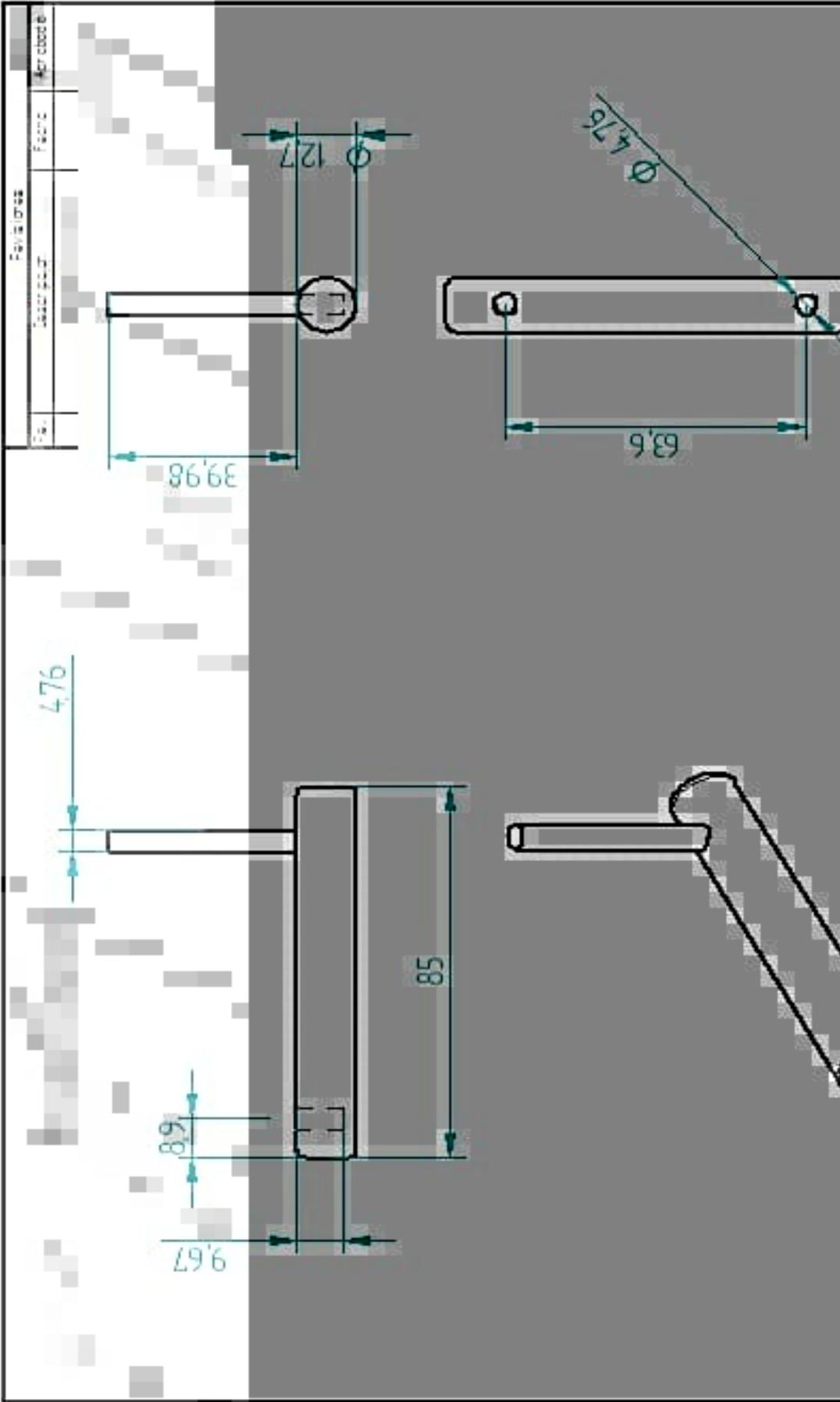
Rev. 01	Revisión	Fecha	Aprobado



Solid Edge ST		Nombre	Fecha
Siemens PLM Software		Auténticas	14/05/17
Título		Bisagra de montaje BES1	
Hoja		1 de 1	
Escala		1:1	
Proyecto		Proyecto: Bismatización Estándar	
Hoja		1 de 1	

Se vive indicación con todas las unidades en milímetros, ángulos en grados y tolerancias ±0,5 y ±1

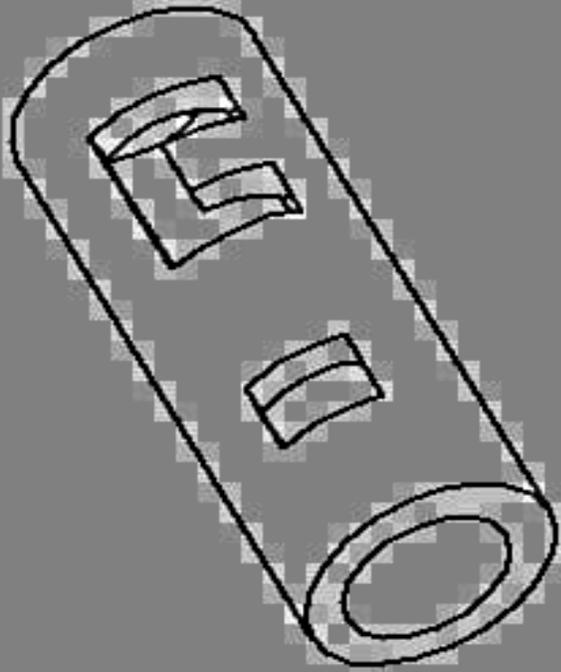
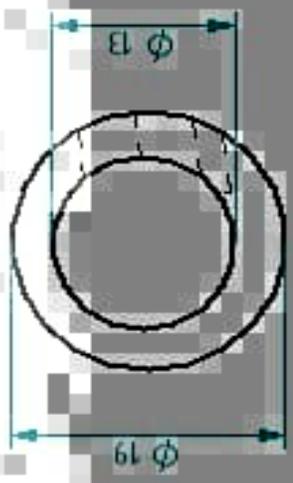
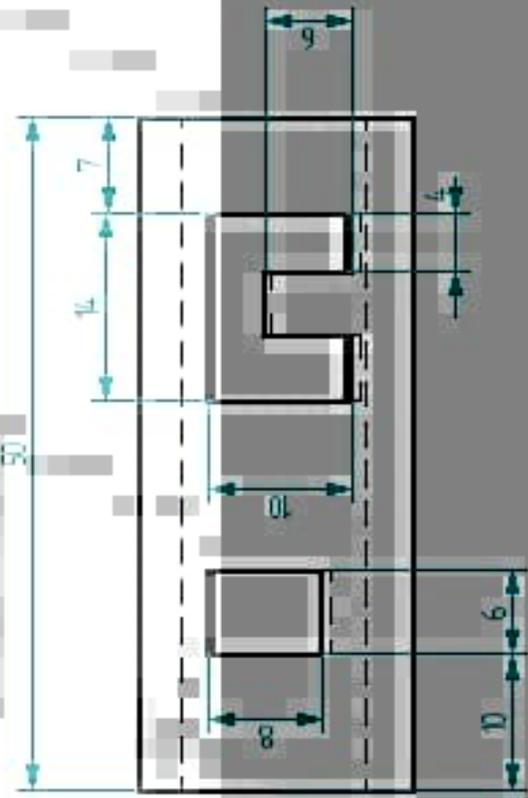
PASADOR SUPERIOR S (PLANO 9)



Solid Edge ST Siemens PLM Software	
Nombre: Alumno:	Fecha: 5/5/17
Contenido: Versión: 2	Título: Parte de un pasador superior
Se hizo indicación con arco e cosas en milímetros ángulos en grados tolerancias ± 0.1	
Escala:	Hoja: 1 de 1

BISAGRA DE ENSAMBLE BEI1 (PLANO 10)

Nombre	Fecha
Descripción	Estado
Elaborado	Revisado
Verificado	Aprobado

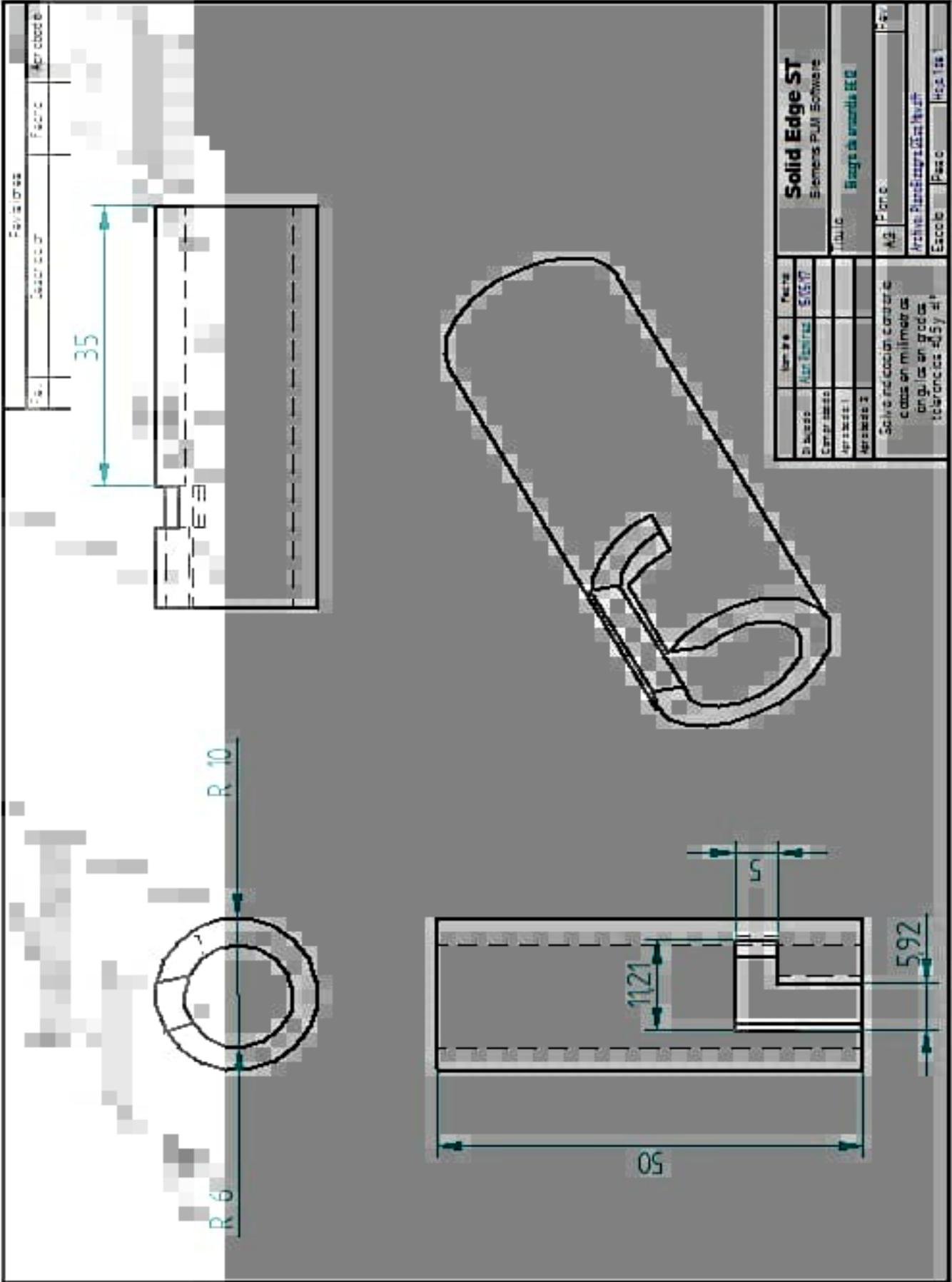


Nombre	Fecha
Descripción	Estado
Elaborado	Revisado
Verificado	Aprobado

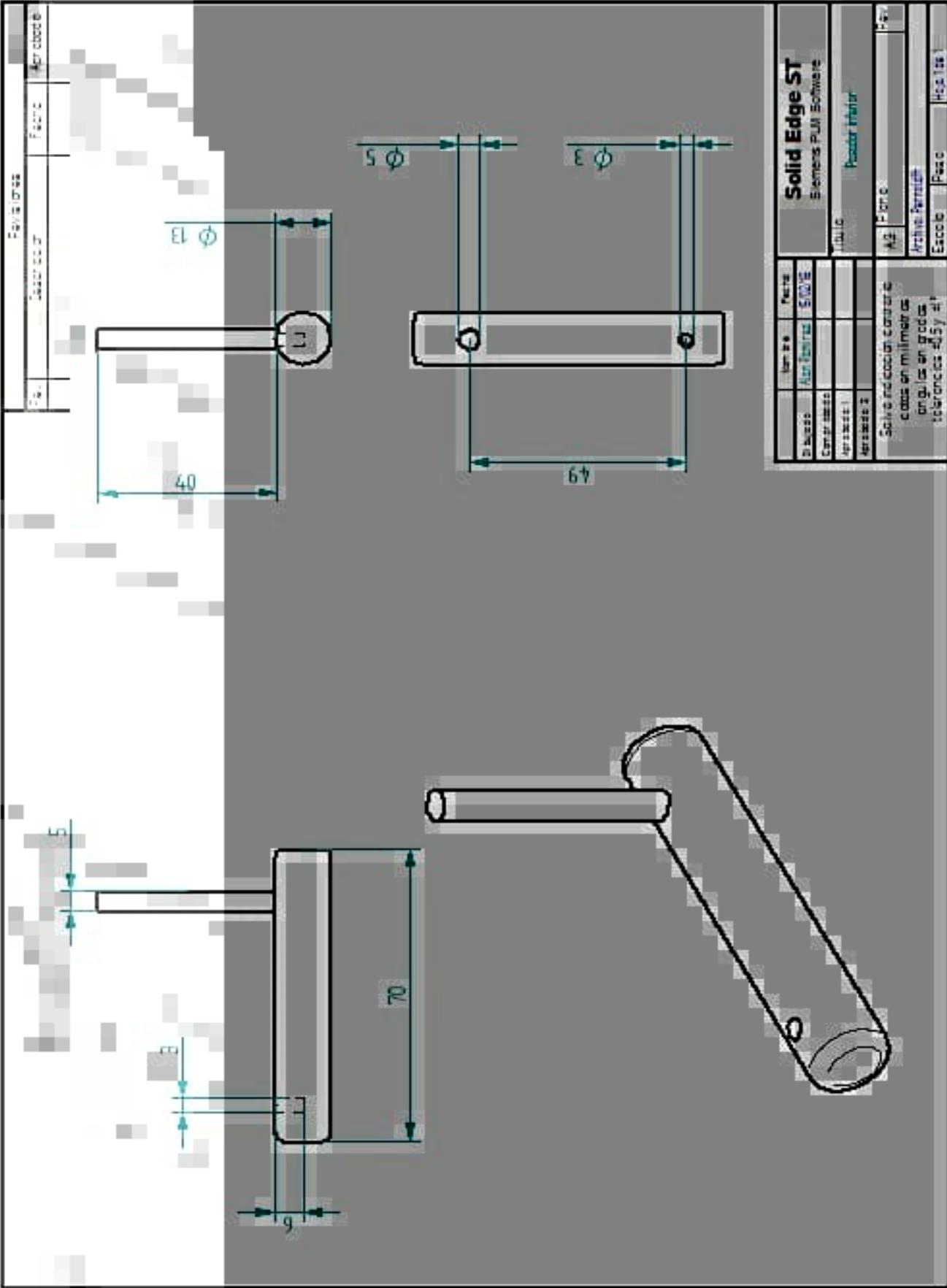
Solid Edge ST
 Siemens PLM Software
 TÍTULO: BEI1
 A3: Parte
 Archivo: BEI1.dwg
 Escala: Parte
 Hoja: 10

Solivindicación controlada
 con un millímetro de
 ángulos en grados
 tolerancias ±0,5 y ±1

BISAGRA DE ENSAMBLE BEI2 (PLANO 11)

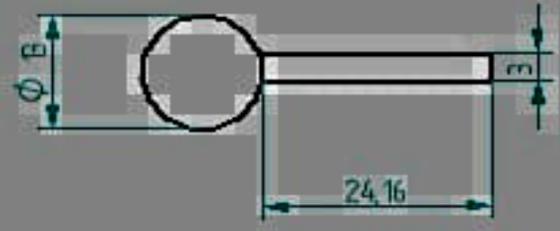
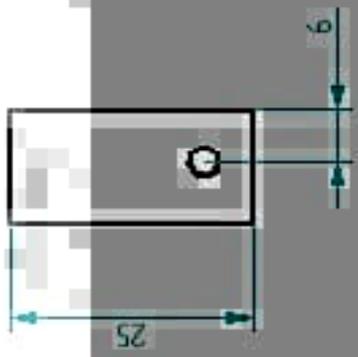
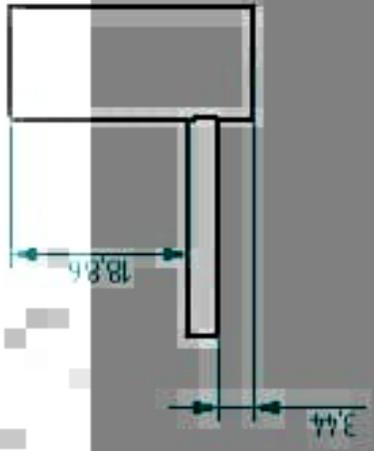


PASADOR INFERIOR I (PLANO 12)



PASADOR PRISIONERO (PLANO 13)

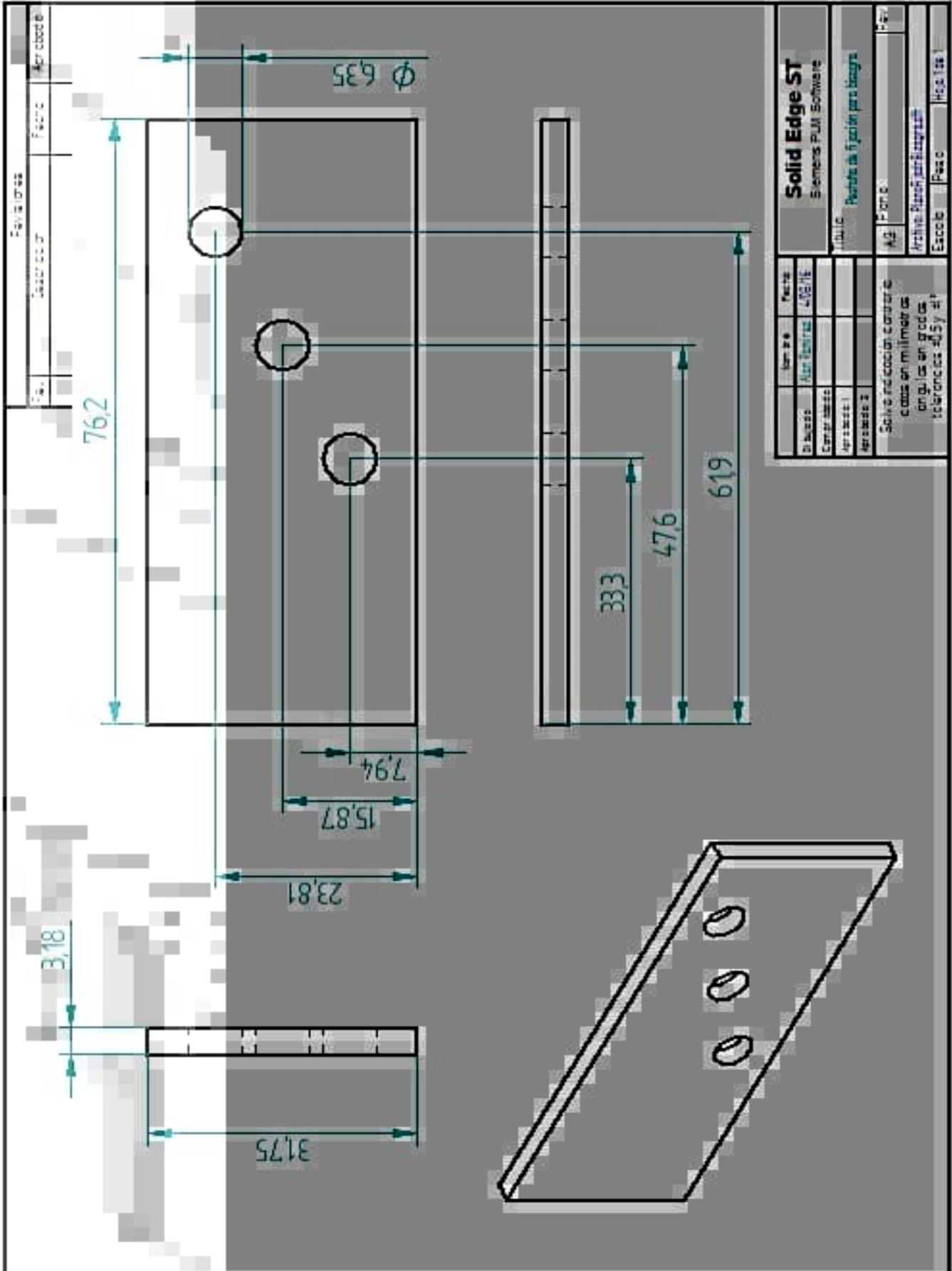
Rev. 01	Revisión	Fecha	Por
	Descripción	Fecha	Por



Solid Edge ST		Nombre	Fecha
Siemens PLM Software		Apellido	5/02/20
Titulo		Pena prisionero	
Escuela		A3	
Materia		Prácticas Prisionero	
Escala		Pas c	
Hoja		1 de 1	

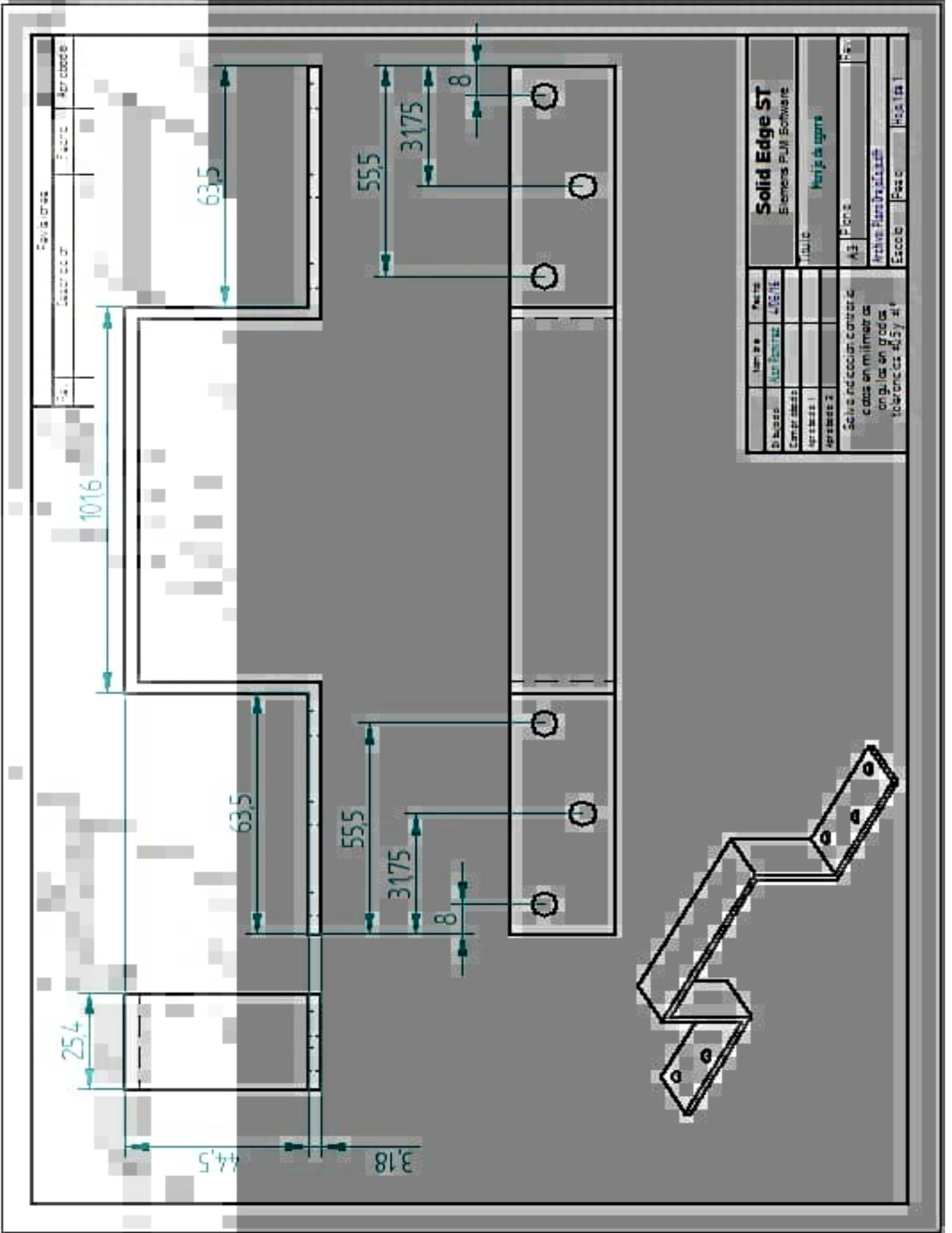
Se ve indicación con una
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0.5 y ±1

PESTAÑA DE FIJACIÓN PARA BISAGRA (PLANO 14)

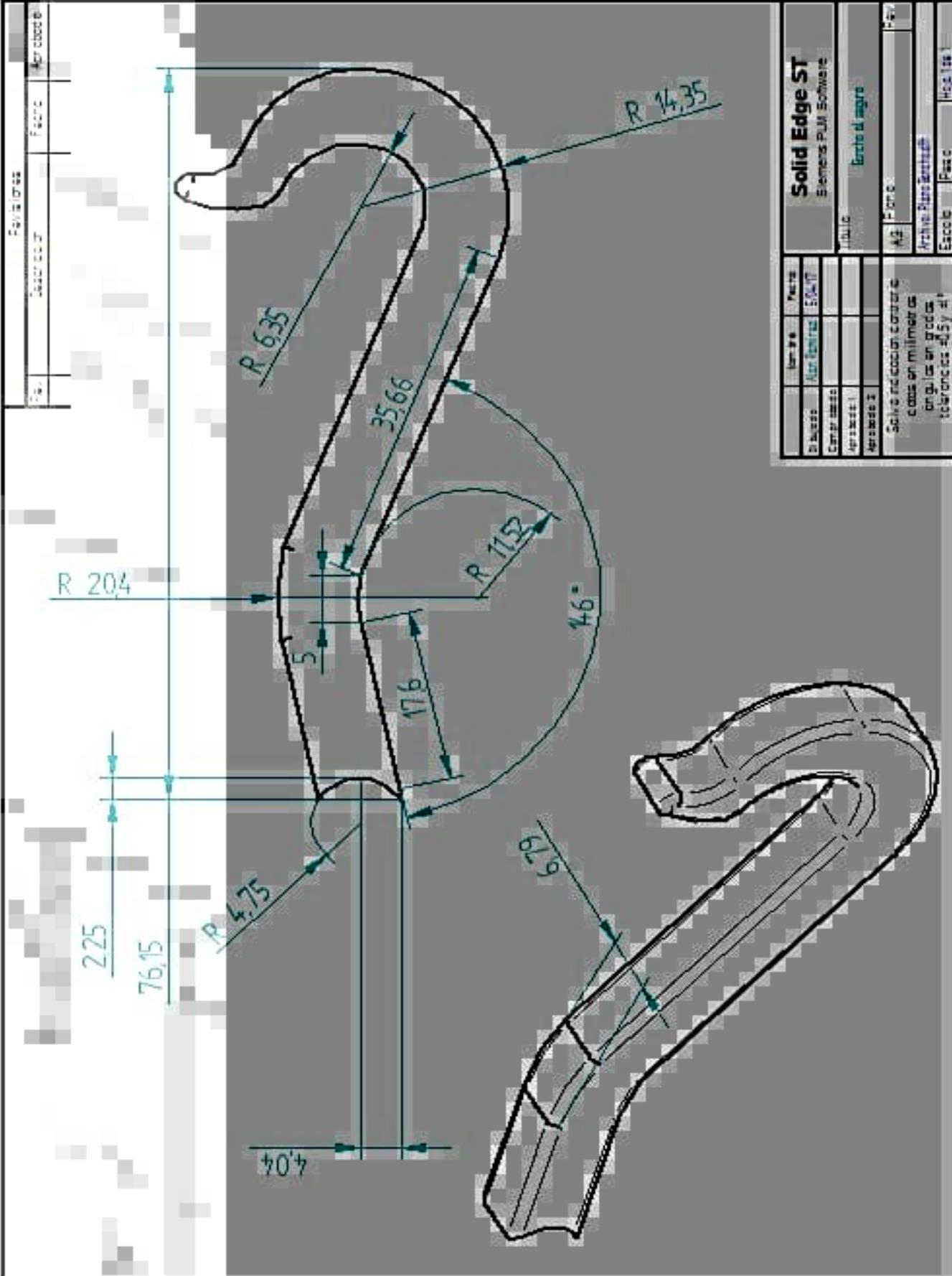


Estado	Alar	Fecha	4/08/16
Elaborado	Alar	Revisado	
Aprobado 1		Aprobado 2	
Solución de fijación con tornillos en milímetros de diámetro en grados de tolerancia ± 0.5 y ± 1			
Solid Edge ST Siemens PLM Software		Publico Método de fijación para bisagra	
Escala: 1:1		Hoja: 1 de 1	

MANIJA DE SUJECIÓN (PLANO 15)



GANCHO AL SEGURO (PLANO 16)

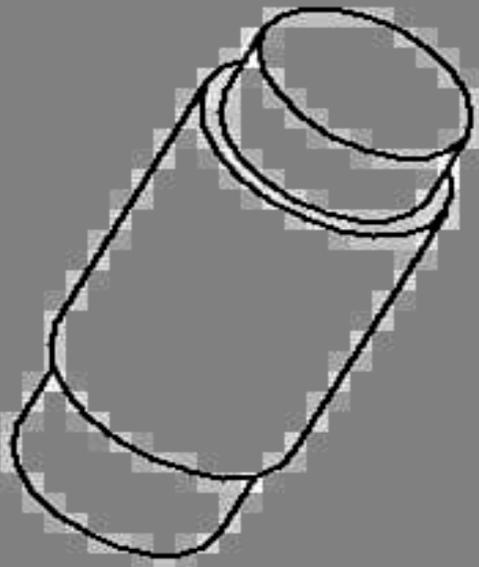
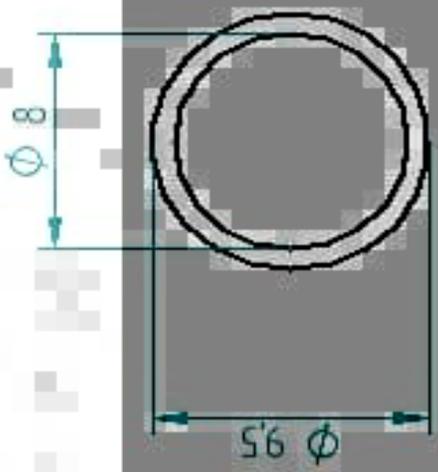
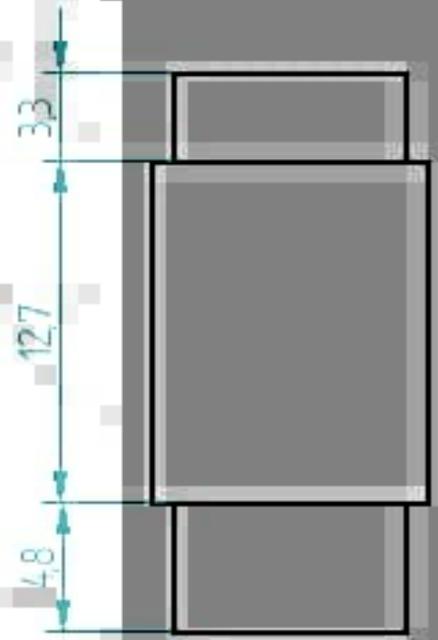


Pa.	Características	Fecha	Modificado
-----	-----------------	-------	------------

Solid Edge ST		Siemens PLM Software	
Nombre	Fecha	Escribo al seguro	
Director	AutoCAD	Mod.	Fecha
Compartido		Archivo: Plano Seguridad	
Aplicación		Escala	Fecha
Revisado 2		Hoja 1 de 1	

PERNO DE GANCHO (PLANO 17)

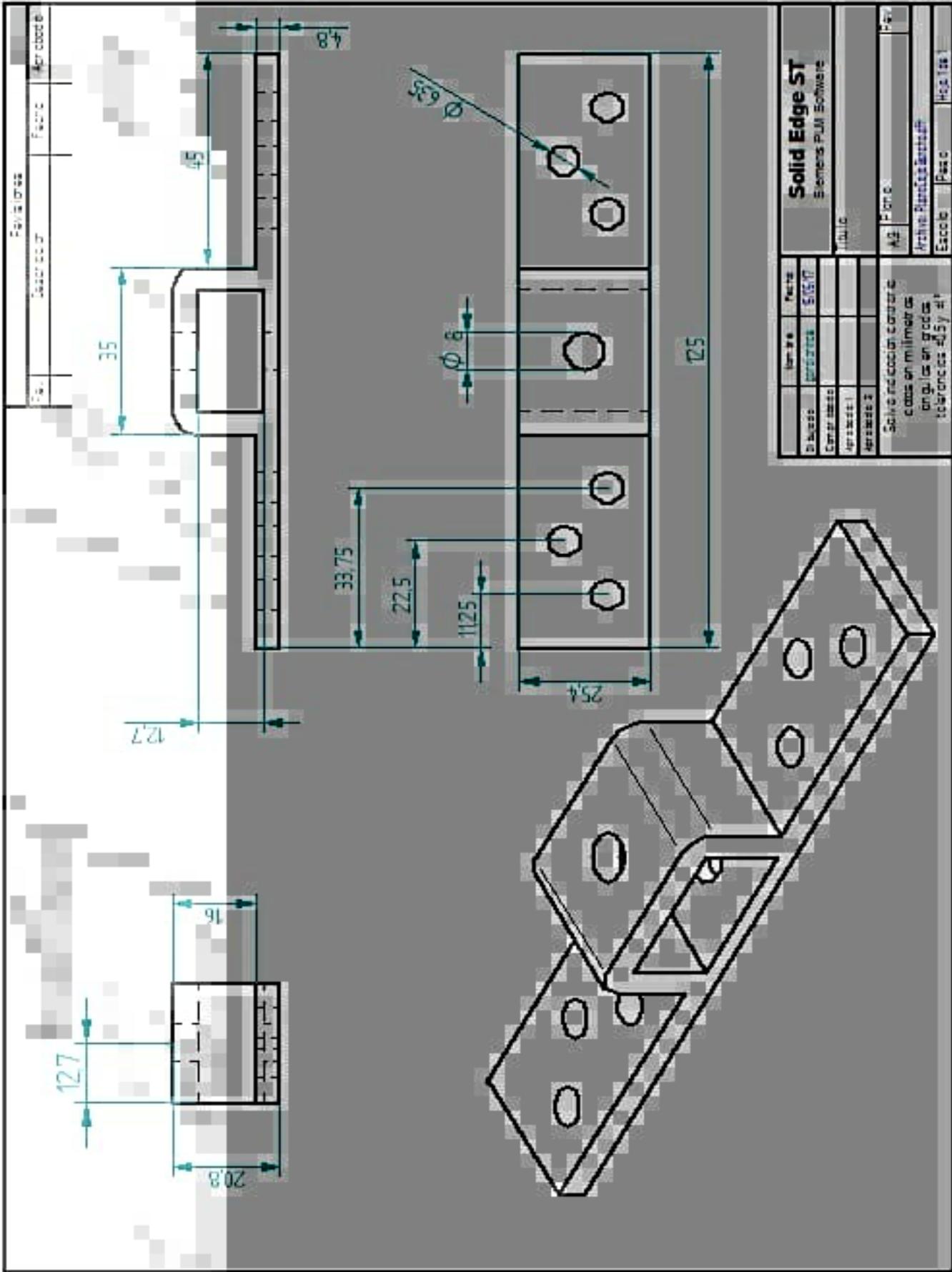
Revisión	Fecha	Aprobado



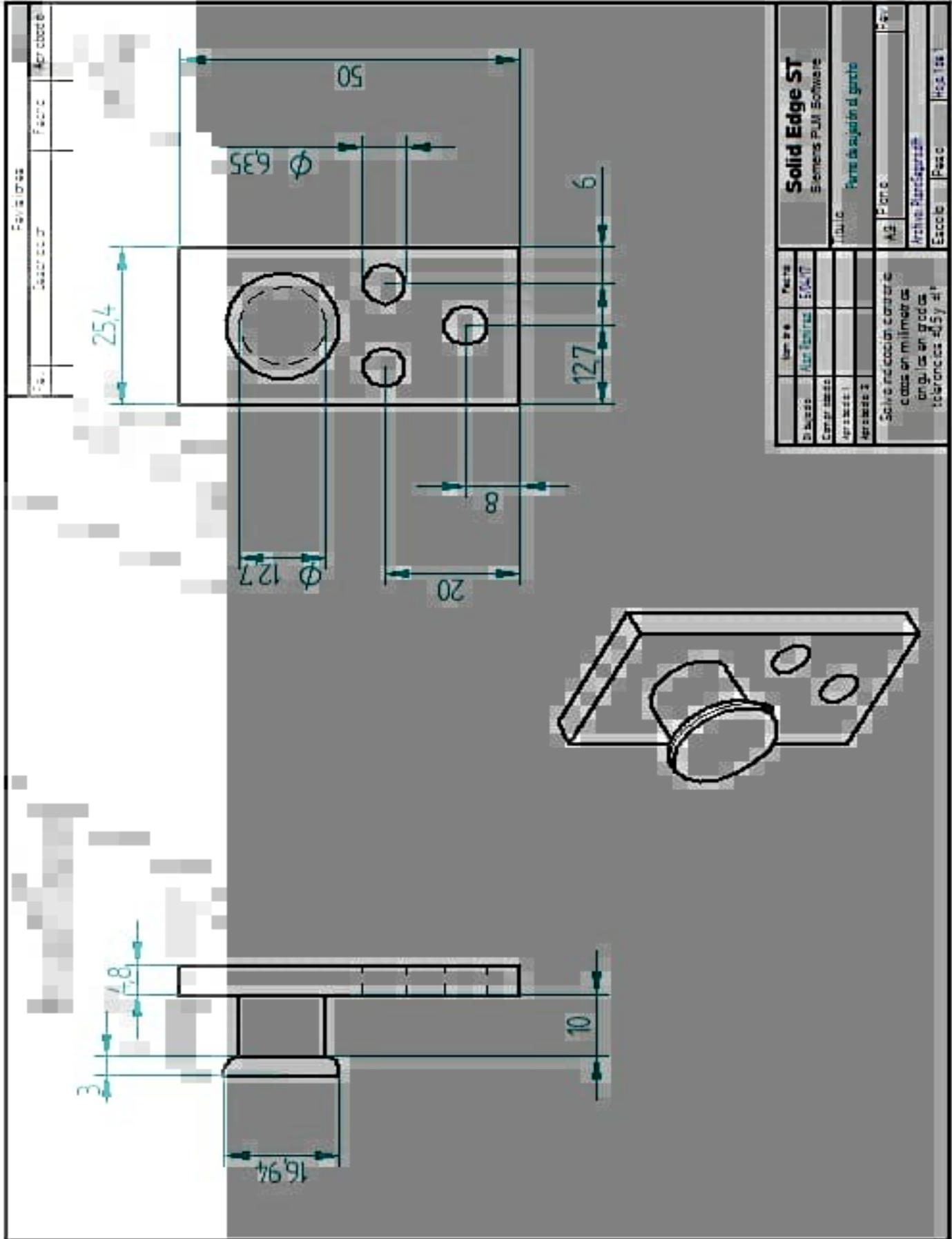
Solid Edge ST Siemens PLM Software	
Nombre: Perno de gancho	Fecha:
Autor: 	Proyecto:
Descripción: 	Archivo:
Versión: 	Escala:
Solución: 	Hoja:
Solución: 	Hoja:

Solución:
 Escala:
 Hoja:

CAJA DE GANCHO (PLANO 18)

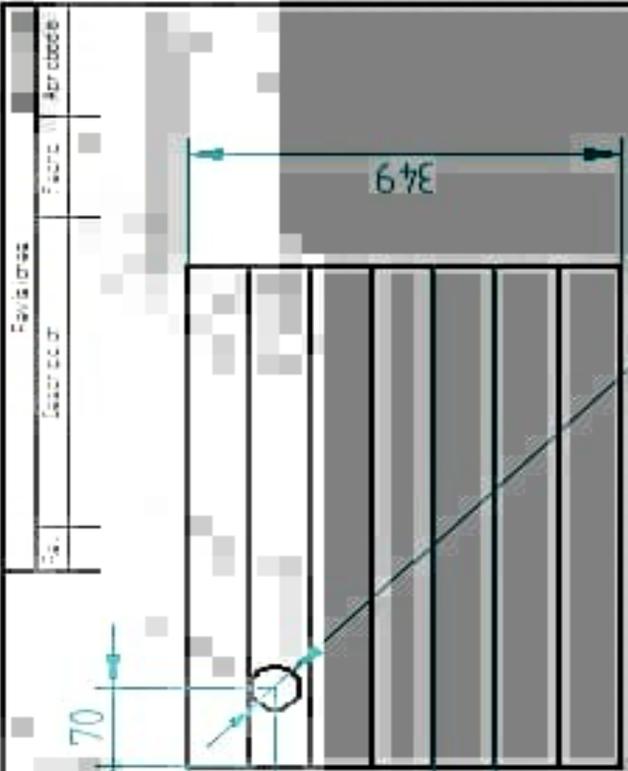


PERNO DE SUJECIÓN AL GANCHO (PLANO 19)

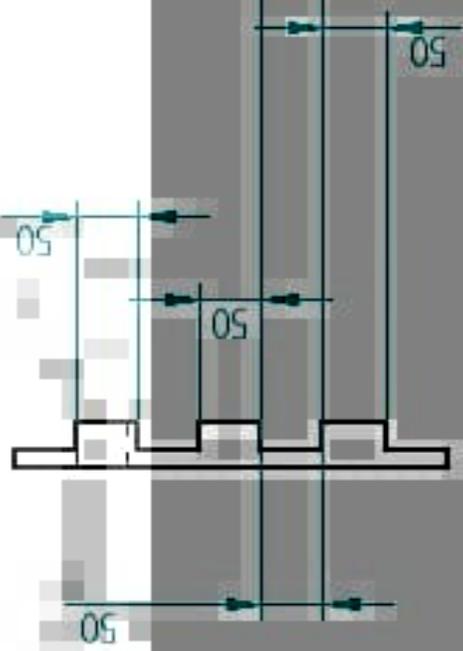
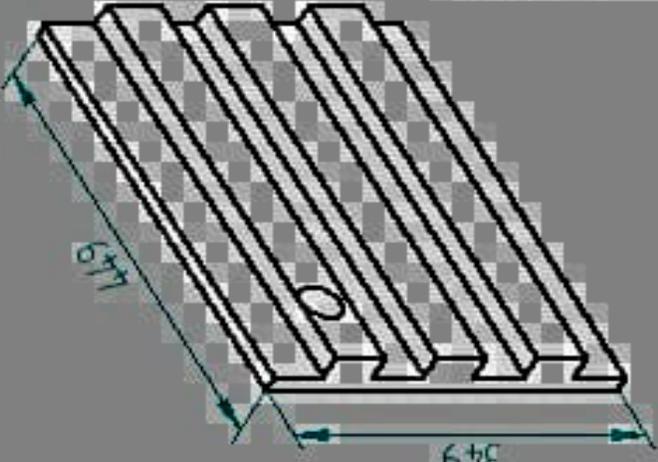


Nombre		Fecha	
Dibujos		AutoCAD	
Código		E04/07	
Versión 1			
Versión 2			
Solvo indicación con los datos en milímetros ángulos en grados tolerancias ± 0.5 al			
Solid Edge ST		Siemens PLM Software	
Título		Perno de sujeción al gancho	
Autor		M. J. Ponce	
Escala		1:1	
Hoja		19	

TAPA SUPERIOR DE Prensado (PLANO 20)



Ø 40



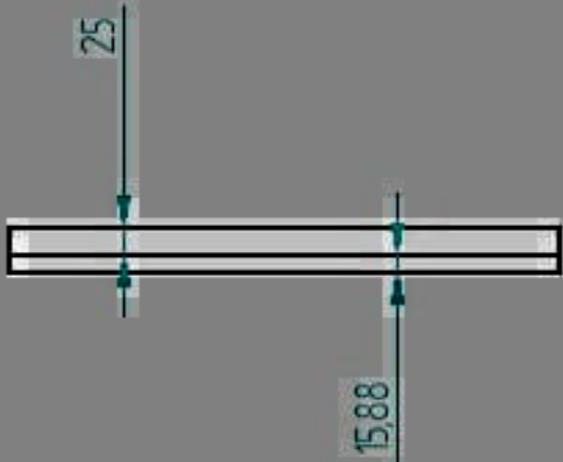
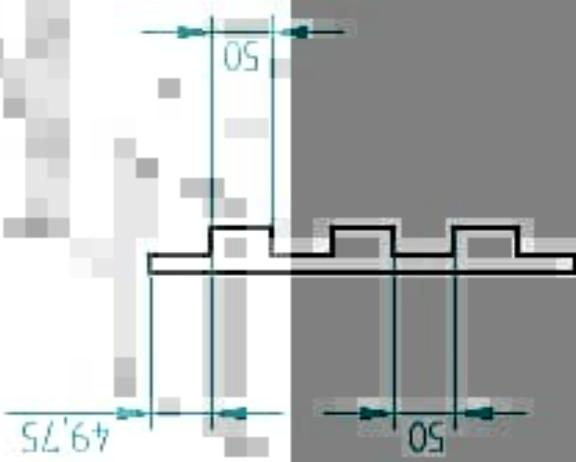
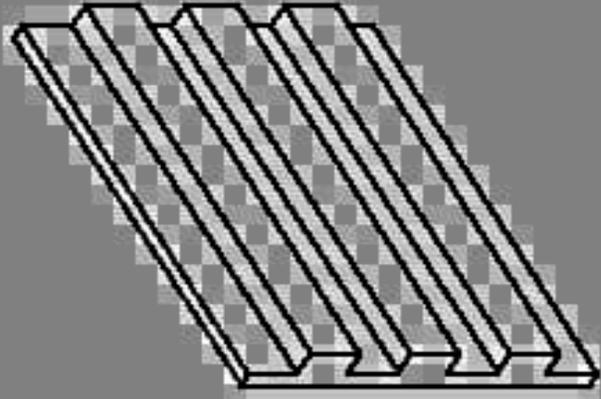
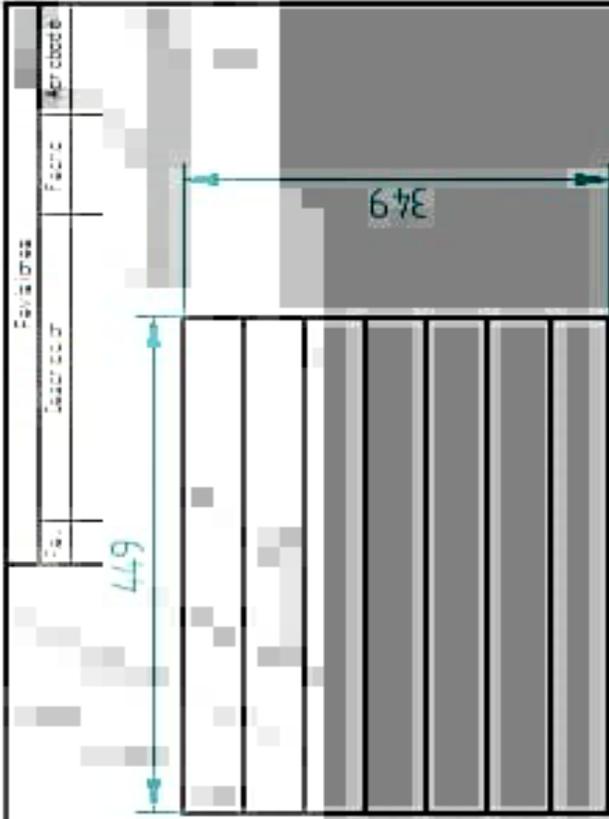
15,88



25

Nombre	Parte	Material	Procedimiento
Descripción	910-716		
Componentes			
Aplicaciones			
Aplicaciones 2			
Solución indicación controlada en milímetros de espesor en grados tolerancia ±0,5 y ±1			
Solid Edge ST		Elementos P.U.J. Software	
Tipo de impresión		A3	
Escala		Hojas 1	

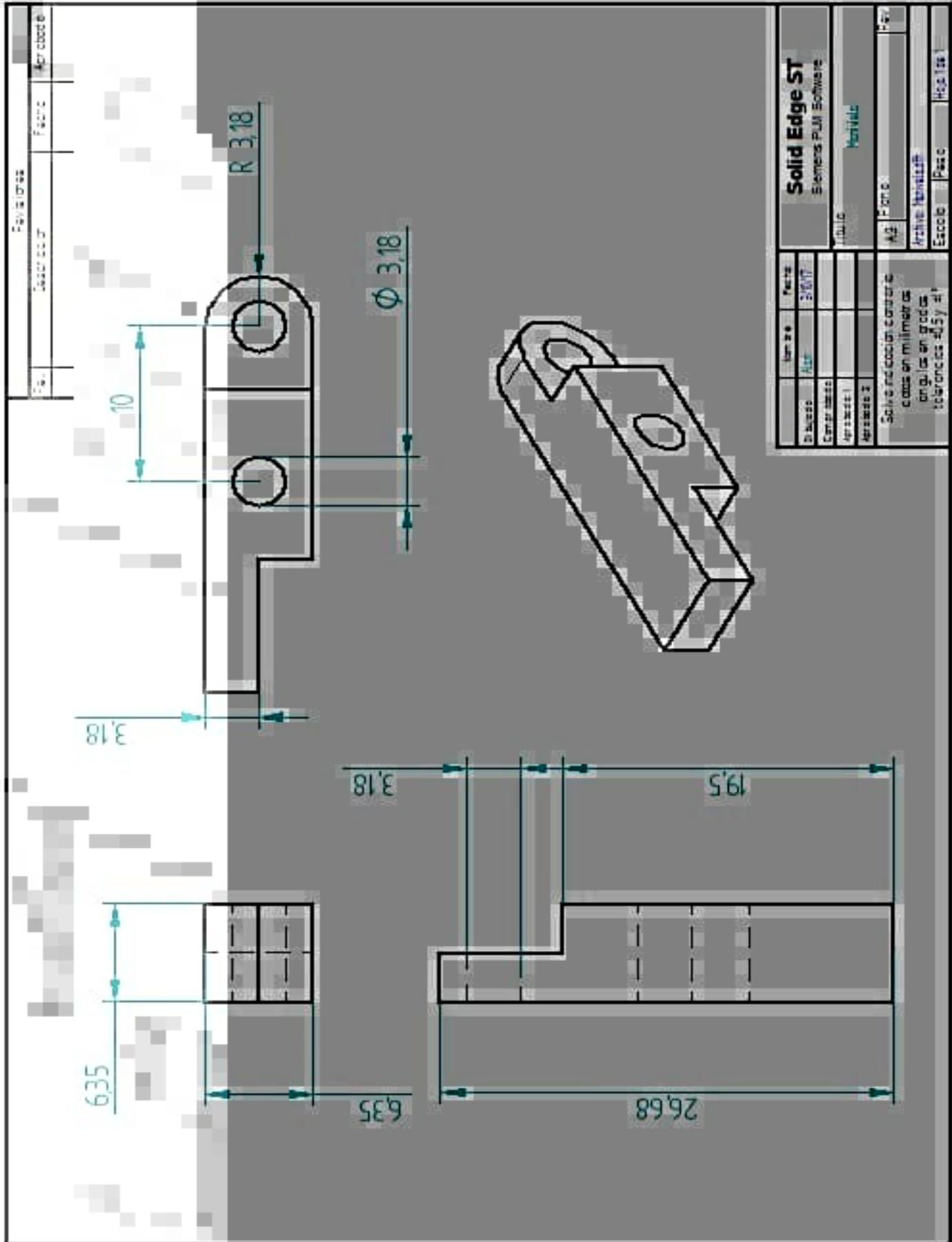
TAPA INFERIOR DE Prensado (PLANO 21)

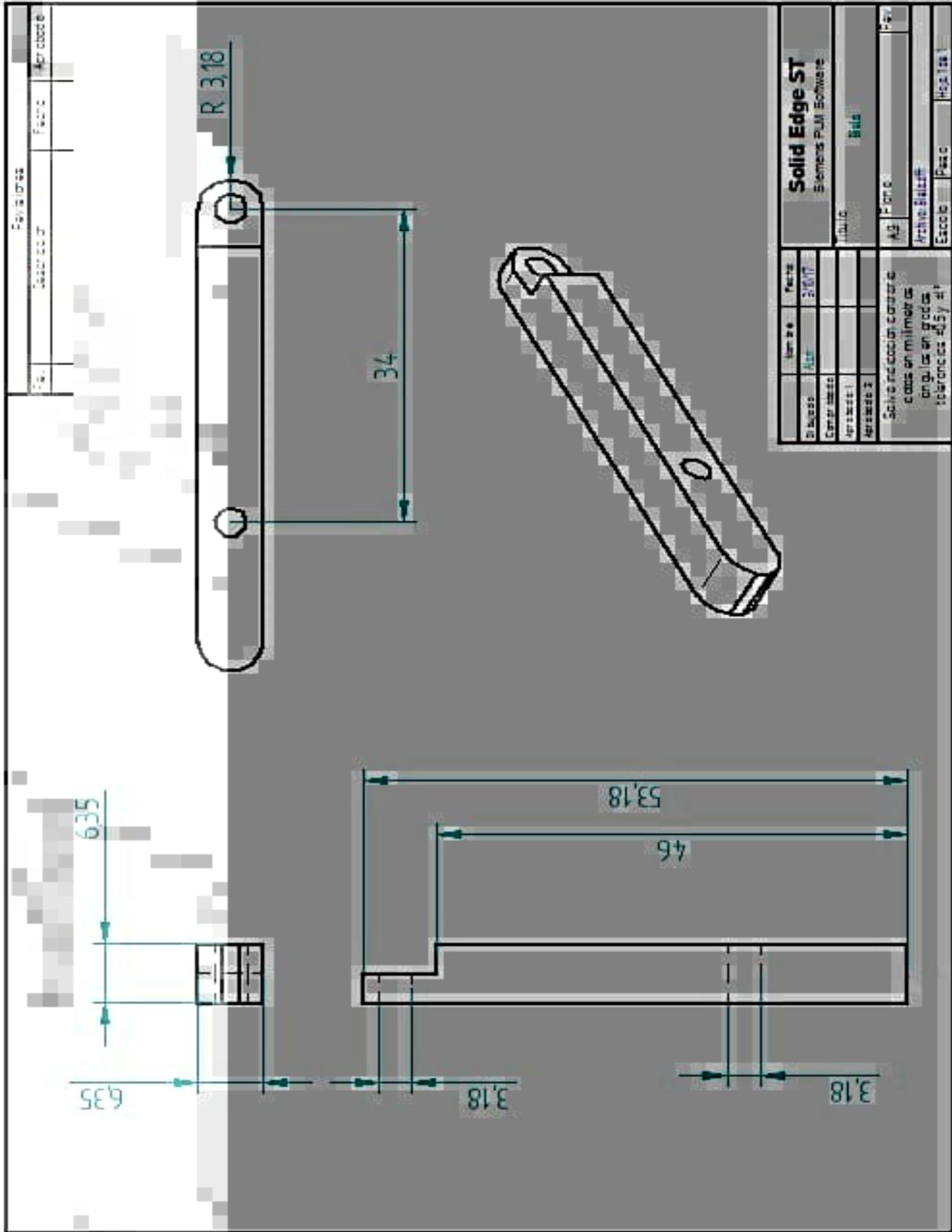


Solid Edge ST Siemens PLM Software	
Versión: 5.05.17 Fecha:	Título: Tapa inferior de prensado
Autor:	Proyecto:
Descripción:	Escala:
Hoja:	Hoja: 1 de 1

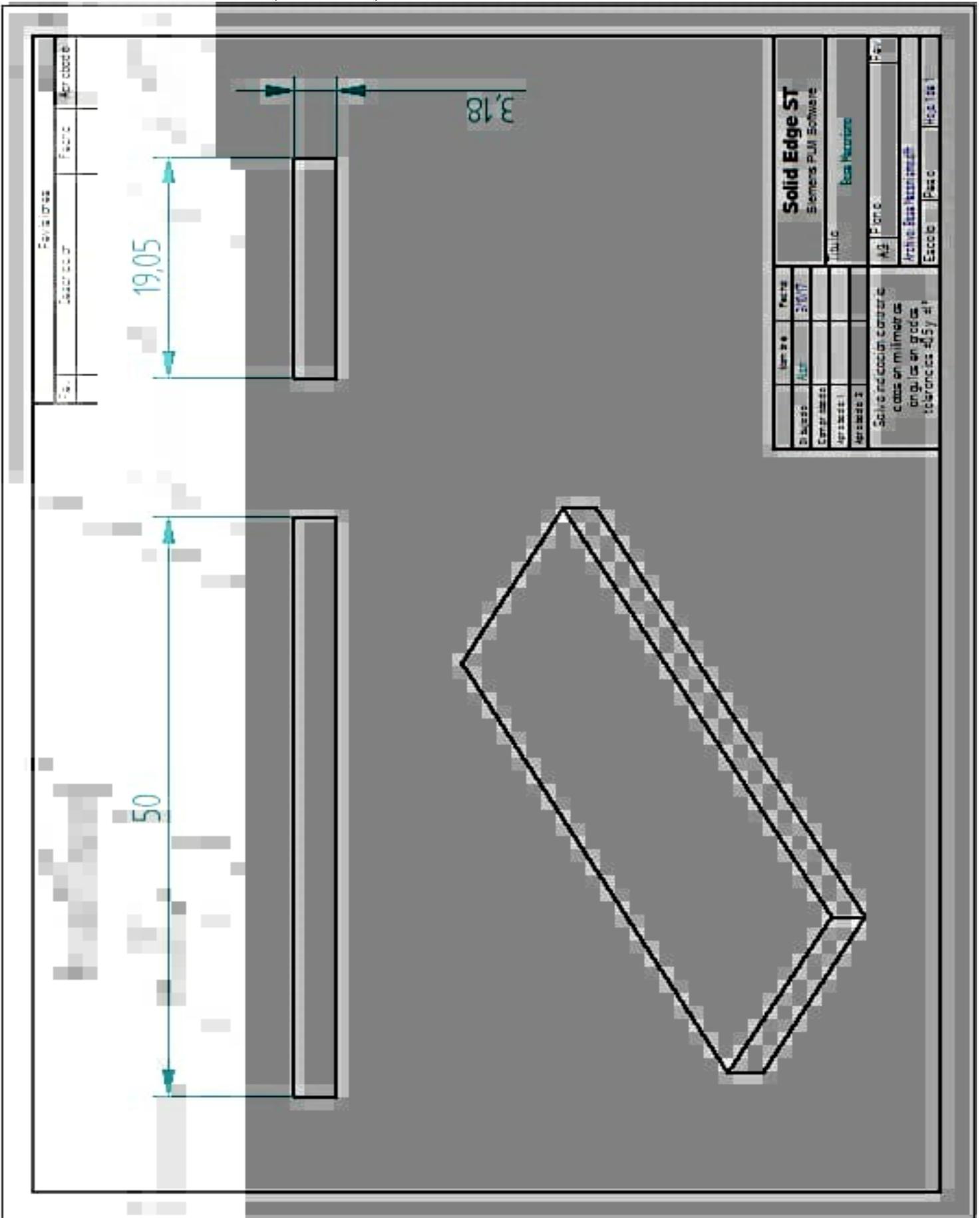
Solvo indicación con un eje
 como en milímetros de
 angulos en grados
 tolerancias ±0.5 y ±1

MANIVELA (PLANO 22)



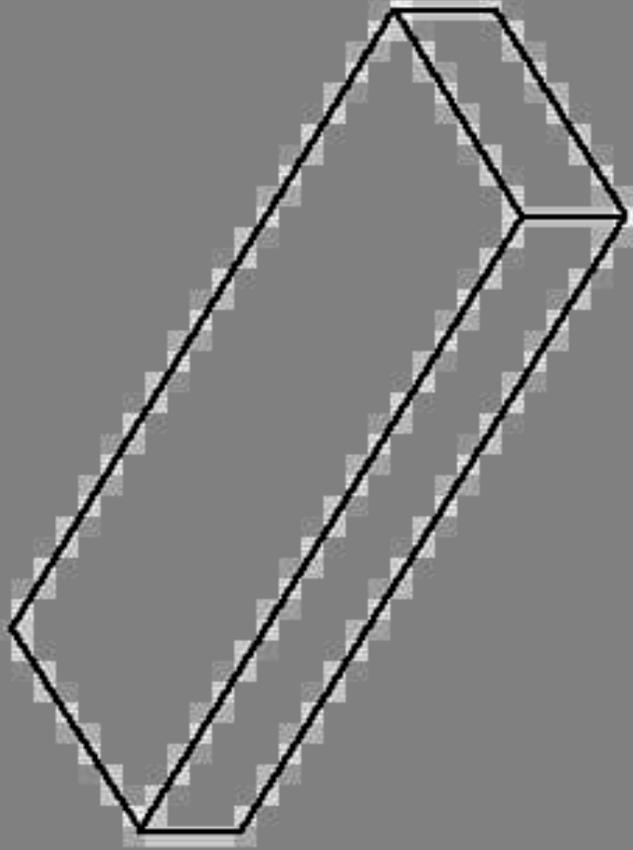
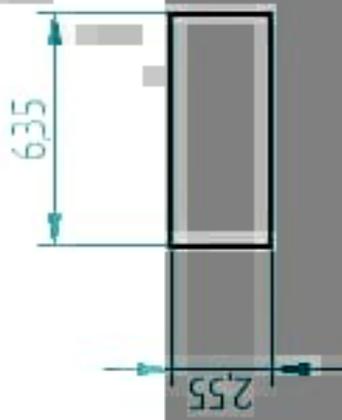


BASE DEL MECANISMO (PLANO 26)



TOPE AL MECANISMO (PLANO 27)

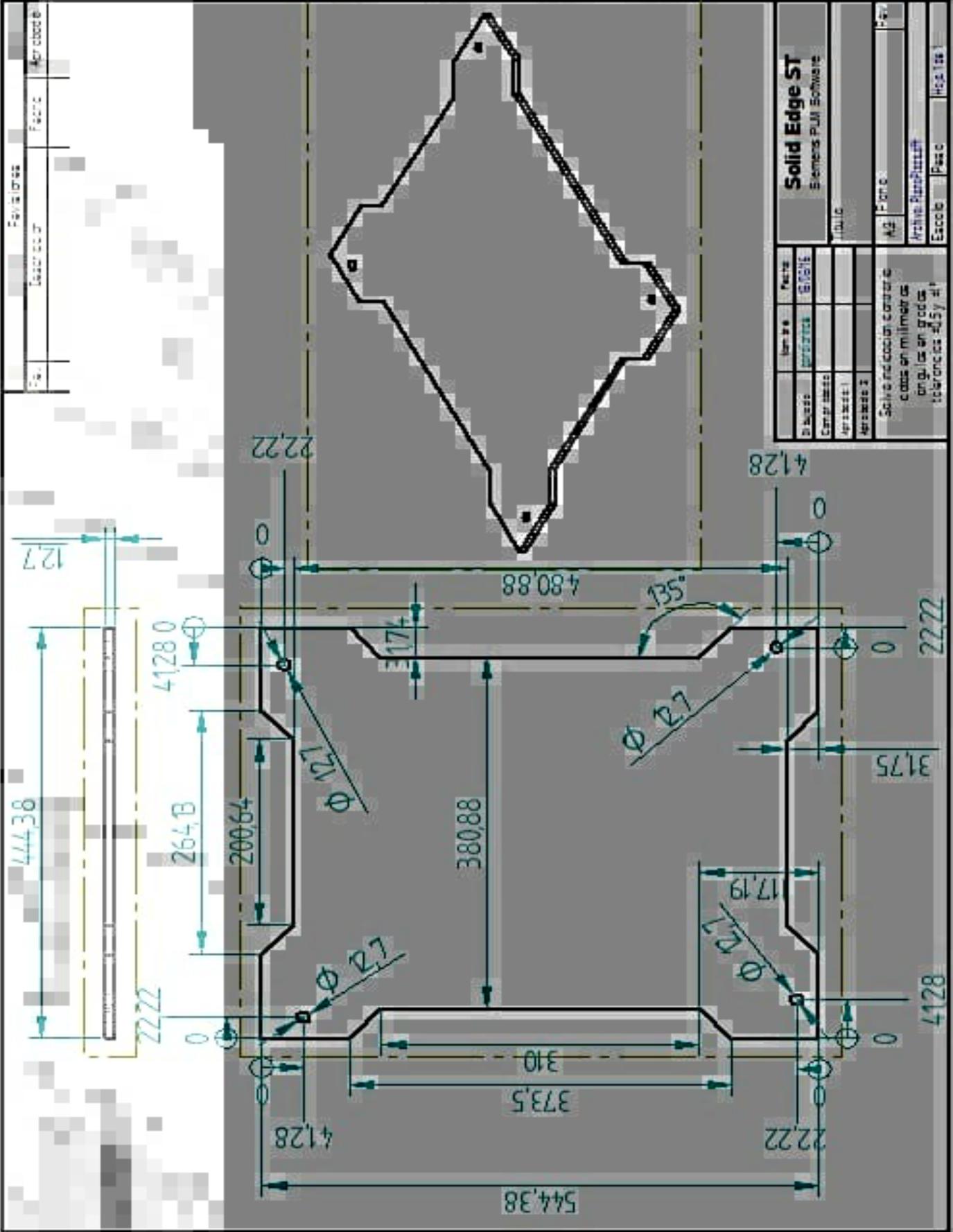
Pa.	Sección	Fecha	Modificado

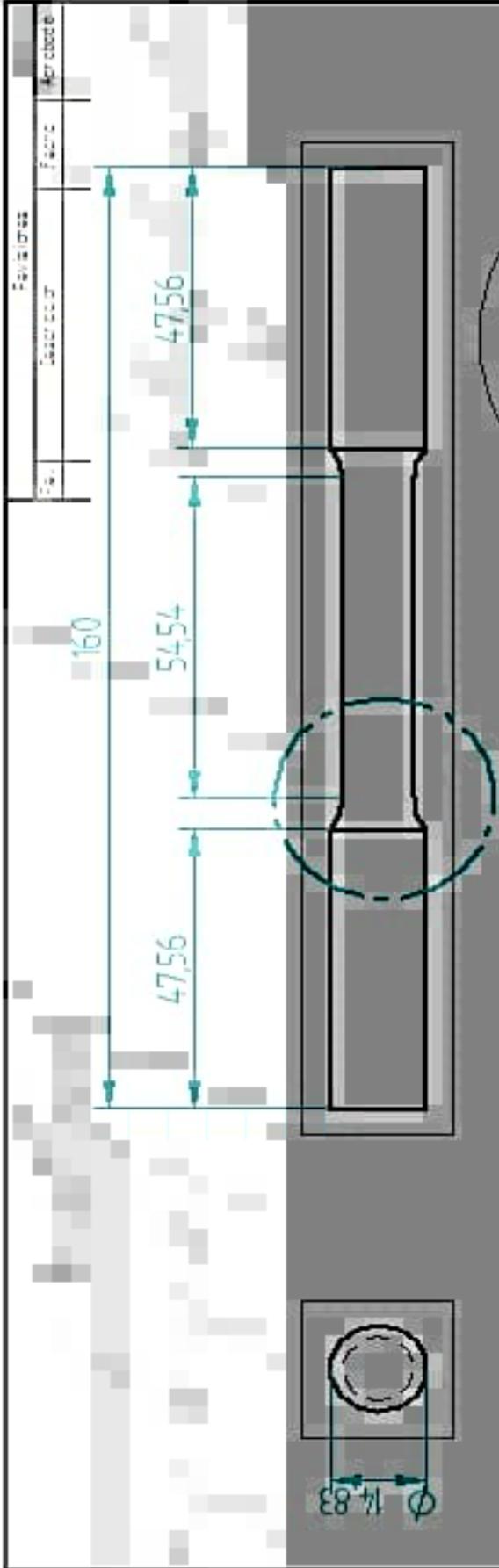


Solid Edge ST		Nombre	Fecha
Siemens PLM Software		Apellido	2/10/17
Título		Concepto	
Tipo		Verdad 1	
		Verdad 2	
Solución de problemas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1			
Escuela	Paseo	Hoja 1 de 1	

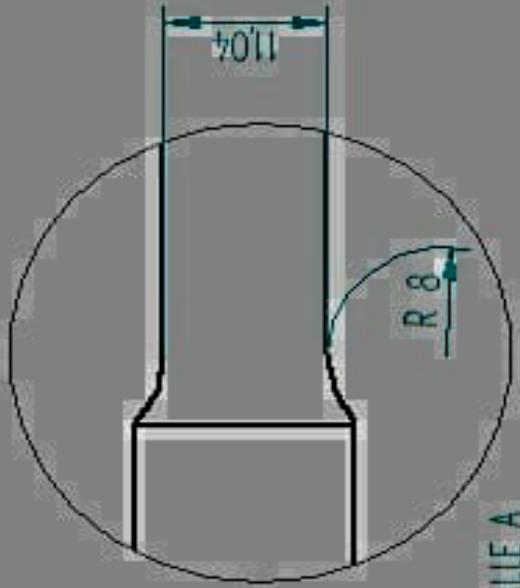
***APÉNDICE B: PLANOS DE FABRICACIÓN NECESARIOS
PARA EL ENSAMBLE DE LA PLACA MODELO.***

PLACA (PLANO 32)

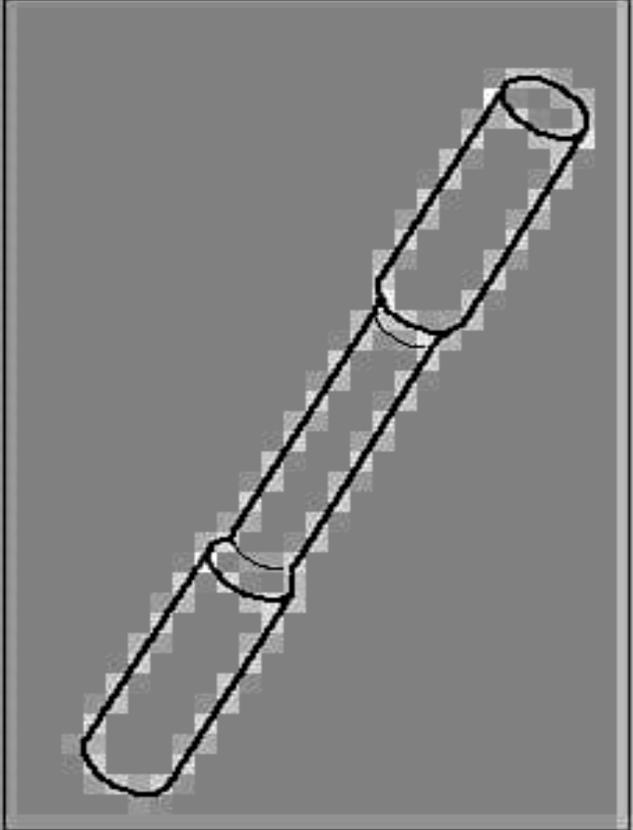




A



DETALLE A



Solid Edge ST		Siemens PLM Software	
Nombre	Fecha	Problema móvil	
Alumno	5/11/16		
Carpetas			
Aplicación 1			
Aplicación 2			
Solución indicación con error de casos en milímetros de ángulos en grados tolerancias ± 0.5 al			
Escuela		Fecha	
Escuela		Fecha	

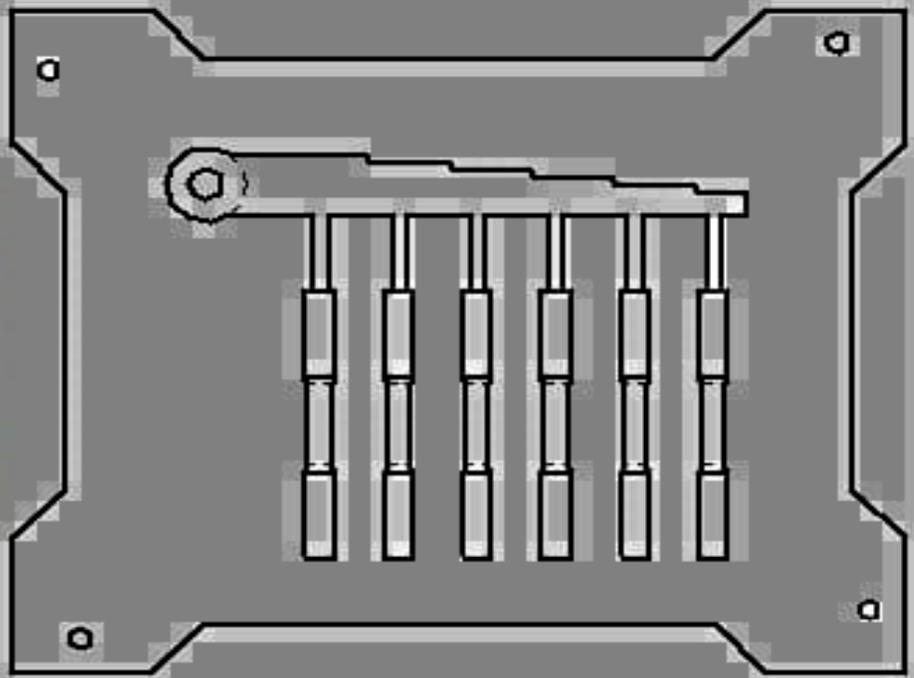
VISTA DE ANCHURA (VA)



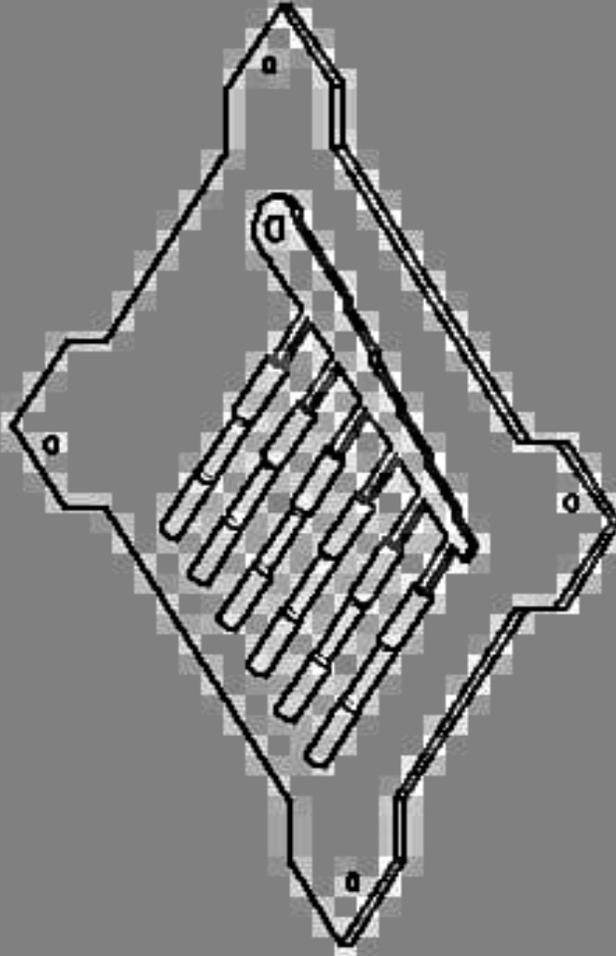
VISTA DEL LARGO (VL)



VISTA SUPERIOR (VS)

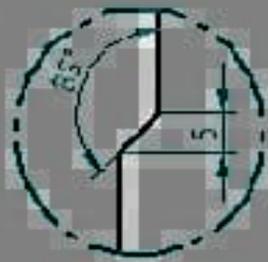
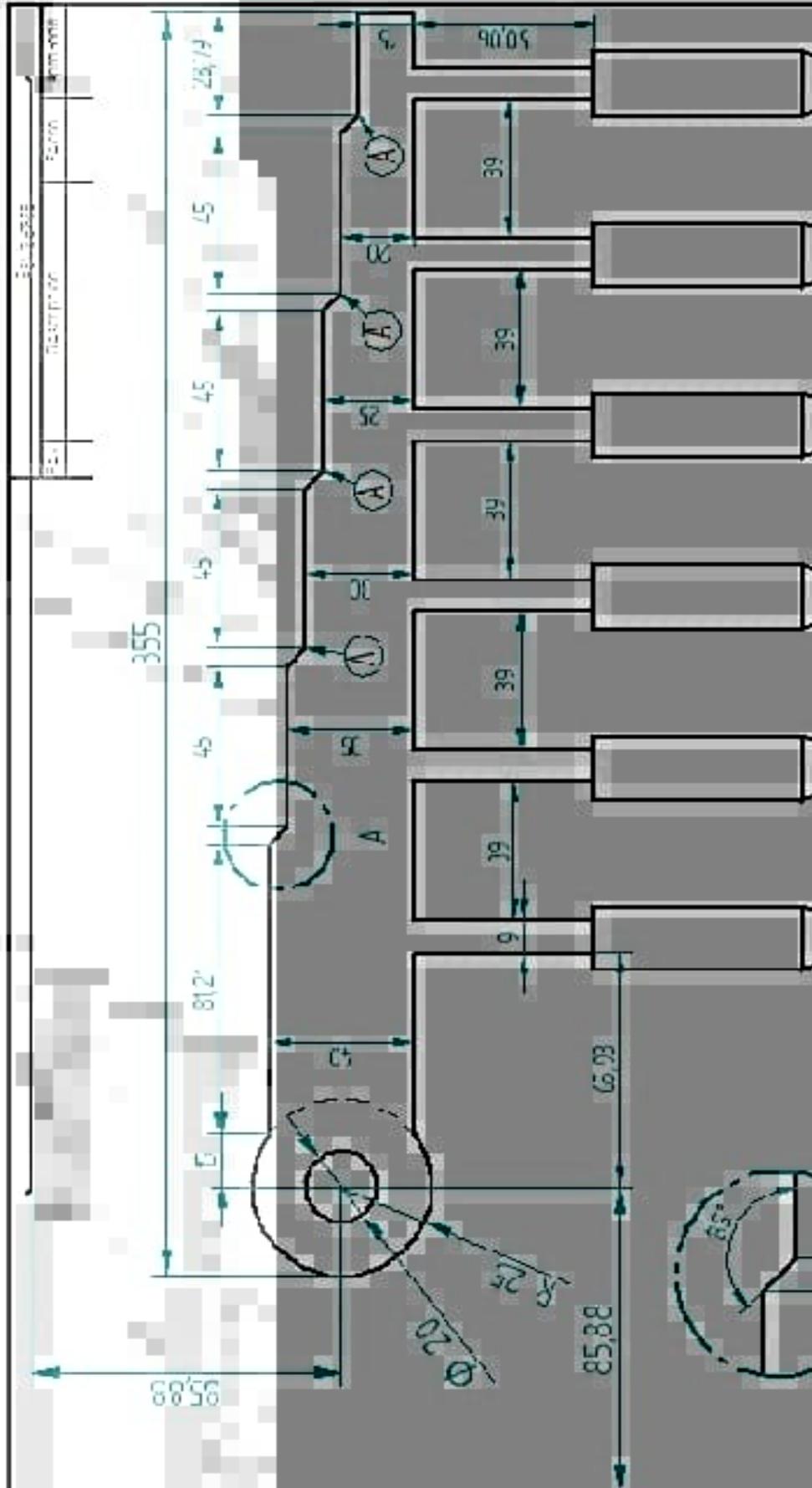


VISTA ISOMETRICA



Solid Edge ST Siemens PLM Software	
Formato: ISO 10765	Fecha:
Componentes:	Material:
Aprobado: 2	Plano:
Se ha indicado con un color en milímetros en guías en grados de tolerancia $\pm 0,5$ y $\pm 0,2$	
Archivo: PlacaModelo.PcbPrint.pdf	Escala:
Hoja: 1 de 1	Hoja: 1 de 1

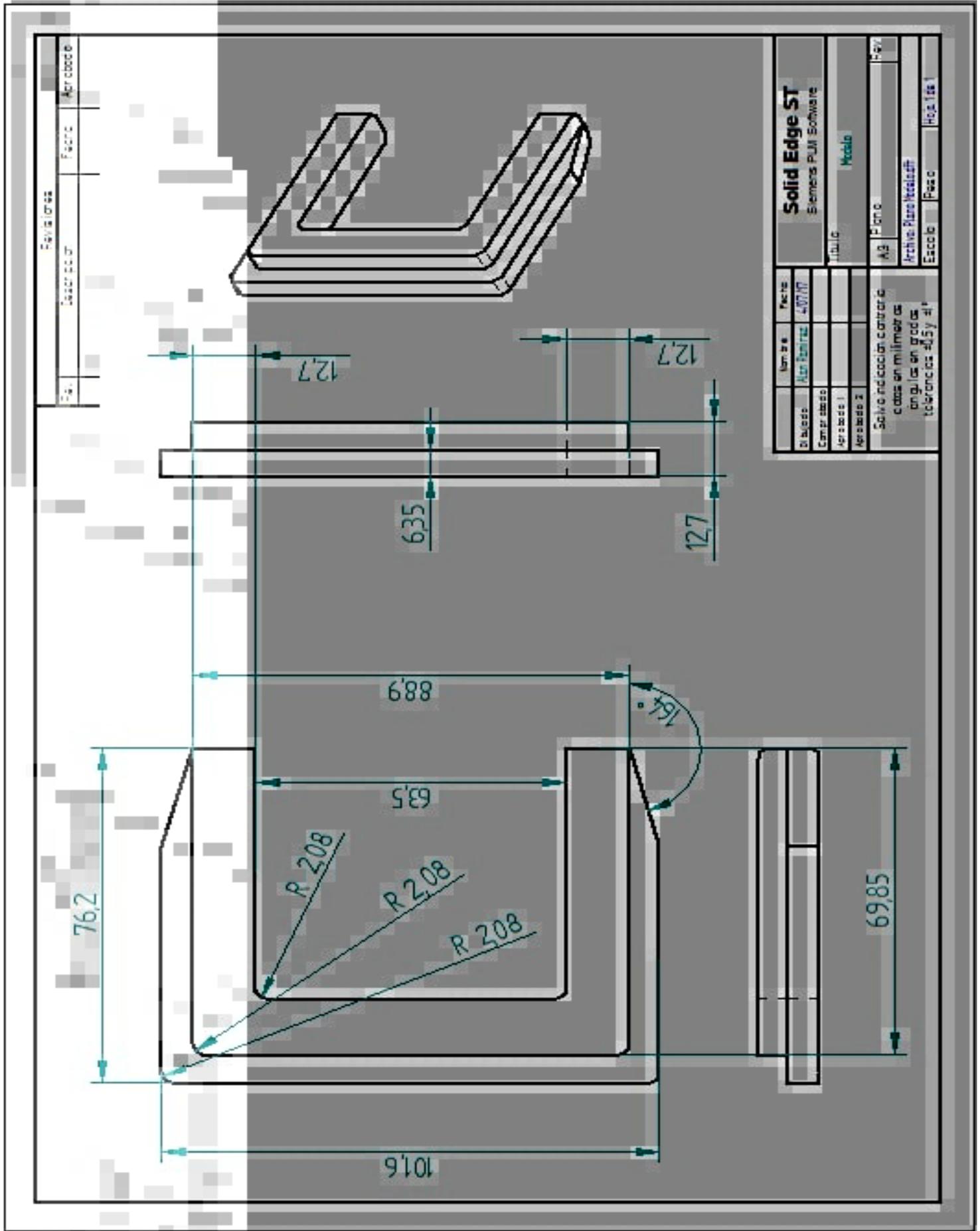
CANALES DE ALIMENTACIÓN (PLANO 35)



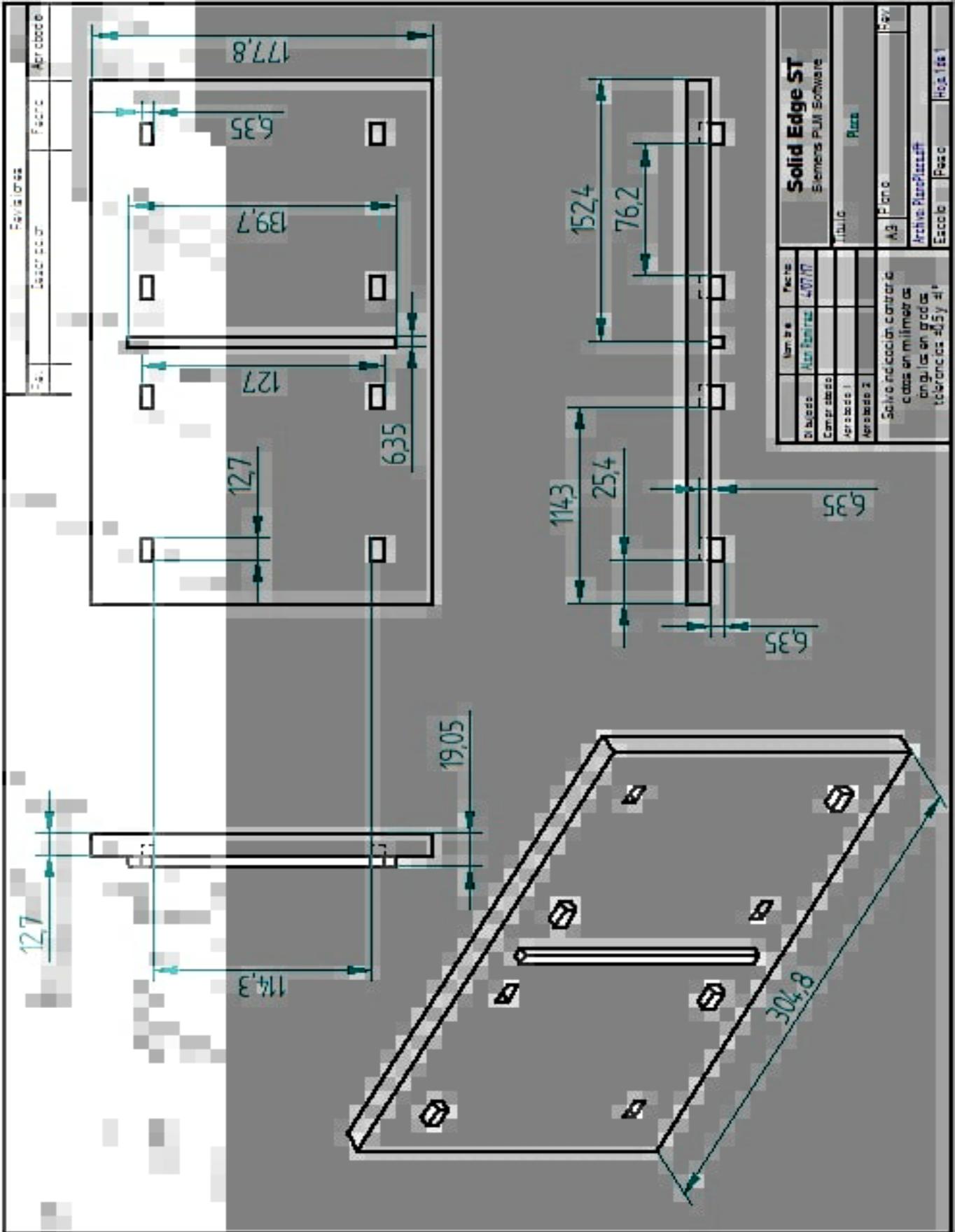
DETALLE A

Solid Edge ST		Elementos PDM Software	
Nombre:	Fecha:	Título:	
Alm. Edición:	4/07/07	Canales de alimentación	
Características:		Escala:	
Aprobado 1:		Hoja:	
Aprobado 2:		Hoja de 1	
Solución controlada como en millímetros angulares en grados tolerancias ±0.5 y 0.1			
Archivo: P:\proyectos\trabajo\SolidEdge		Hoja: 1 de 1	

APÉNDICE C: PLANOS DE FABRICACIÓN NECESARIOS Y LAS
PIEZAS DISEÑADAS PARA EL ENSAMBLE DE LA PLACA
MODELO



PLACA (PLANO 39)

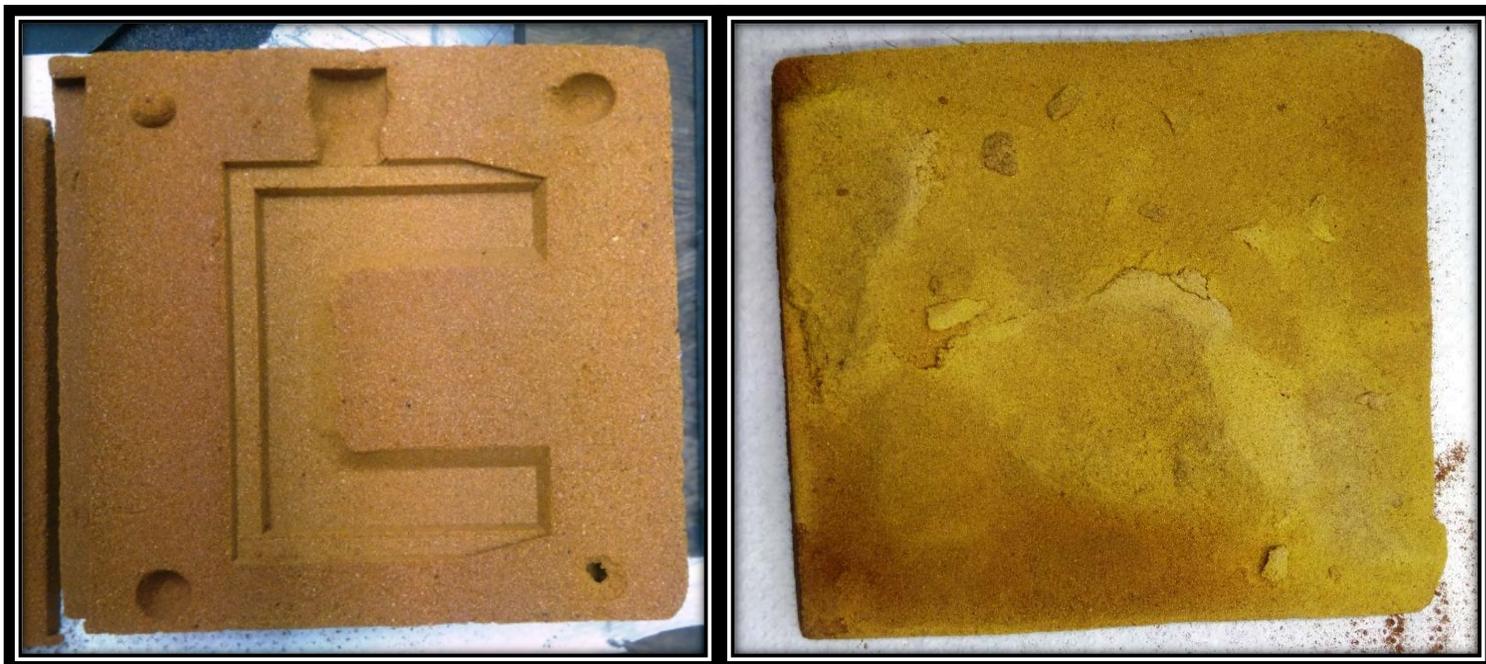


APÉNDICE D: IMÁGENES DE LAS PRUBAS EN LA FABRICACIÓN DEL MOLDE DE CÁSCARA

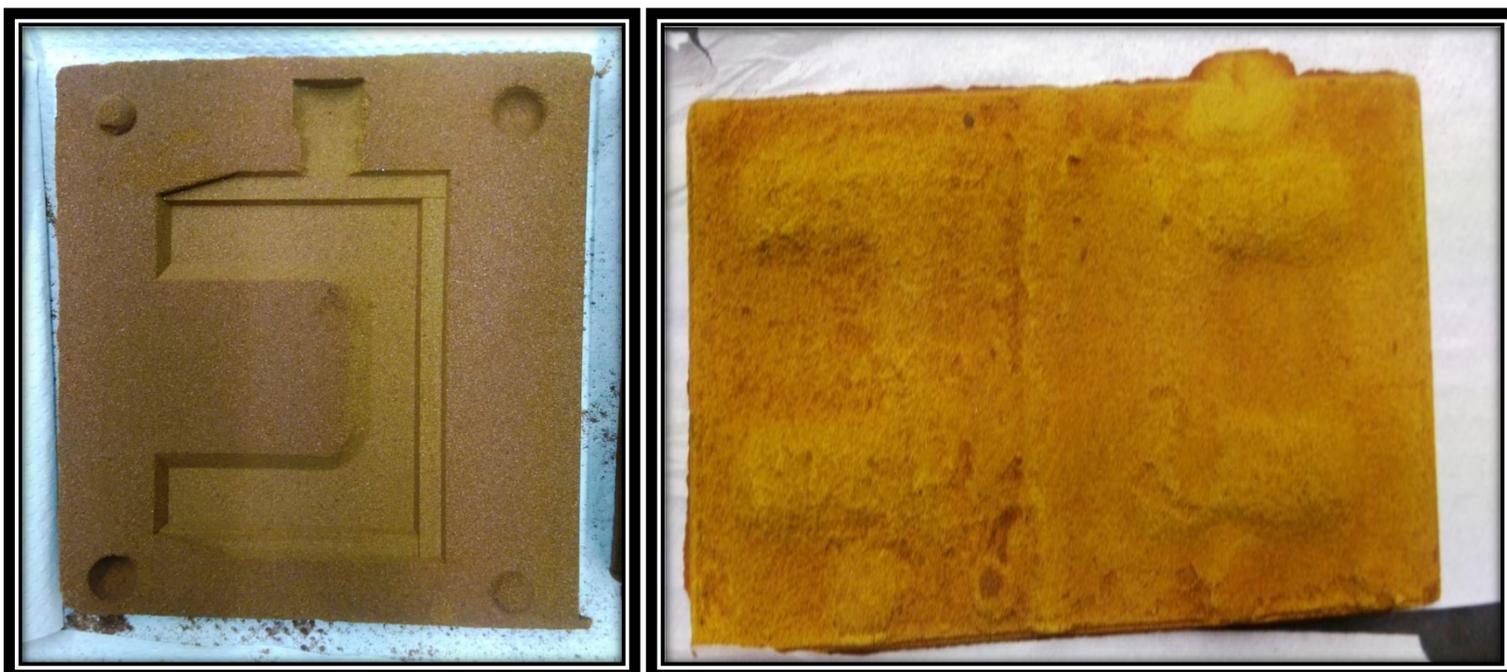
Tabla 11. Tabla de tiempo y temperaturas del calentamiento del modelo

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Espesor (mm)	Color	Consistencia
8	216	6 - 7	Mostaza muy pálida	Galleta frágil, zonas agrietadas, perímetro muy inestable y alto desgrano.
10	269	7 - 8	mostaza y latón	Galleta tenaz, Poca presencia de grietas, presencia de granos sueltos en todo el modelo
12	328	7.5-8.5	Galleta café claro	Galleta rígida sin grietas, presencia de granos sueltos
14	371	9-14	Galleta café oscuro	Galleta muy rígida, escasa presencia de granos sueltos, detalles finamente marcados del modelo.
16	414	10-16	Galleta con apariencia quemada	Galleta muy rígida, presencia de granos sueltos casi imperceptible, detalles finamente marcados del modelo.

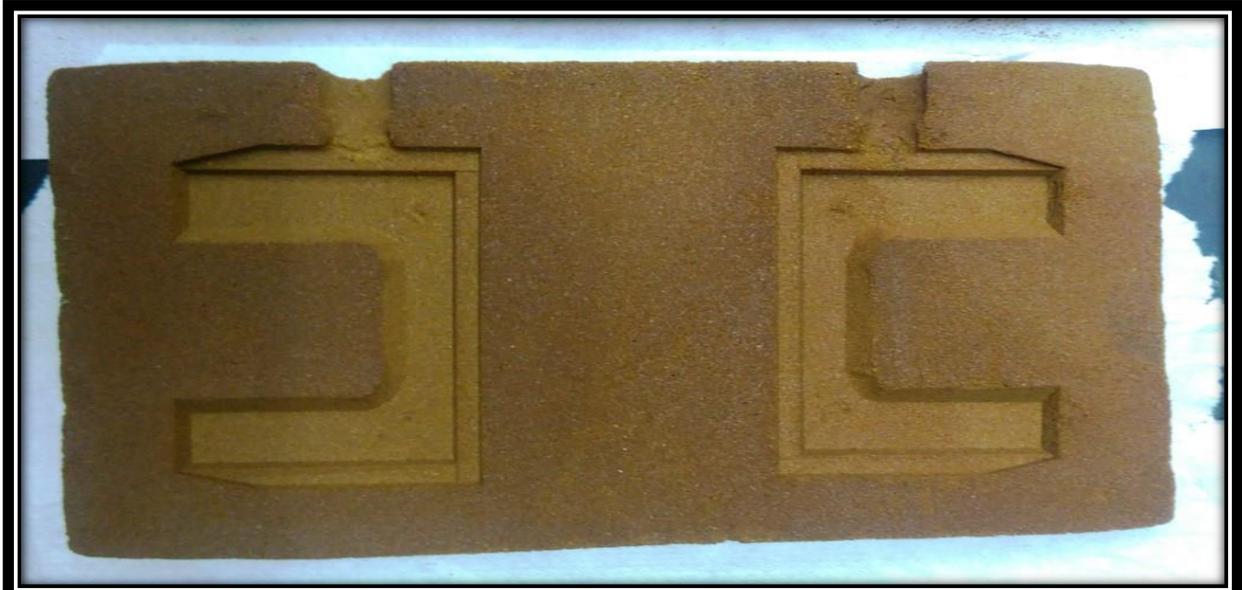
❖ Cáscara con **8 minutos** y **216 °C** en el calentamiento del modelo



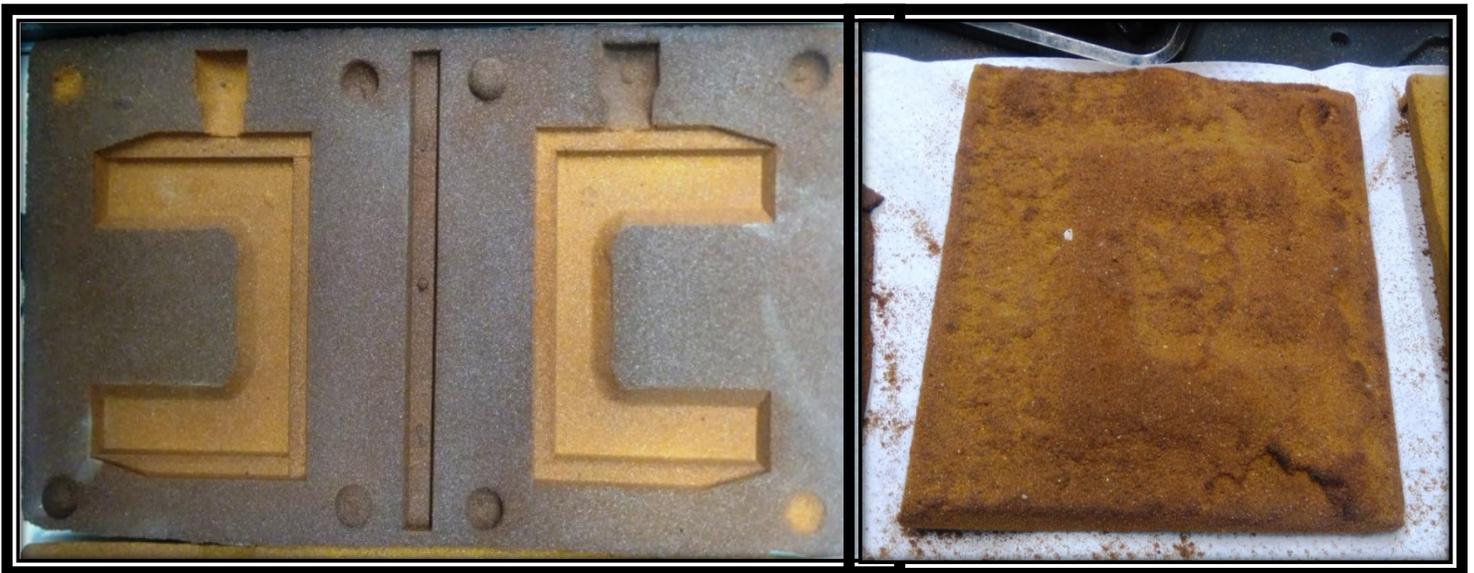
❖ Cáscara con **10 minutos** y **269 °C** en el calentamiento del modelo



❖ Cáscara con **12 minutos** y **328 °C** en el calentamiento del modelo



❖ Cáscara con **14 minutos** y **371 °C** en el calentamiento del modelo



❖ Cáscara con **16** minutos y **414 °C** en el calentamiento del modelo



Tabla 12. Tiempo de curado del molde

Tiempo de calentamiento (min)	Temp (°C)	Tiempo de curado (s)	Espesor (mm)	Observaciones
12	320	10	6.8-8	Cáscara delgada, superficie trasera irregular, zonas aisladas frágiles.
	345	15	10-14	Superficie trasera irregular
	305	20	8.3-9	Superficie irregular
14	349	10	7-8.4	Cáscara delgada, superficie irregular, pocas zonas frágiles aisladas
	374	15	8.5-10	Superficie gruesa, con espesor constante y firme.
	390	20	10.5-18	Superficie gruesa, formación de una sobre capa en la superficie trasera débilmente polimerizada, erosión de esta subcapa importante.
16	398	10	7.9-10	Superficie gruesa, formación de la sobre capa débilmente polimerizada en la superficie trasera.
	443	15	14-17	Características repetidas al punto anterior

❖ Cáscara con **12** minutos de calentamiento en el del modelo



❖ Cáscara con **14** minutos de calentamiento en el del modelo



❖ Cáscara con **16** minutos de calentamiento en el del modelo

