

Universidad Latina

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Ingeniería Eléctrica y Mecánica

Programa académico Licenciatura en ingeniería mecánica

Proyecto de graduación

Diseño mecánico de un horno para fundiciones de wolframio

Autor: Josué Torres Rojas

12 de agosto del 2017



2

## TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: Diseño mecánico de un horno para fundiciones de wolframio, por el (la) estudiante: Josué Torres Rojas fue aprobada por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Mecánica y Administración de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Mecánica y Administración.

  
Jonathan Hernández Hernández  
Tutor

  
Samuel Grant Chaves  
Lector

  
Carlos Campos Hernandez  
Representante

Heredia, 17 de Agosto de 2017

Sres

Miembro del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: Diseño mecánico de un horno para fundiciones de wolframio, elaborado por el estudiante Josué Torres Rojas puede optar por la Licenciatura en Ingeniería Mecánica y Administración.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

Josué Torres Rojas

Tutor 

Lic. Jonathan Hernández Hernández

Heredia, 14 de Agosto de 2017

Sres

Miembro del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: Diseño mecánico de un horno para fundiciones de wolframio, elaborado por el estudiante Josué Torres Rojas puede optar por la Licenciatura en Ingeniería Mecánica y Administración.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

Josué Torres Rojas

Lector



Lic. Samuel Grant Chaves

*San José, 22 de agosto del 2017*

*Señores*

*Universidad Latina*

*Facultad de Ingeniería y Arquitectura*

*Ingeniera Eléctrica y Mecánica*

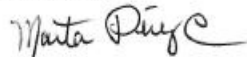
*Respetados Señores:*

*El estudiante Josué Torres Rojas, número de cédula 1-1550-04361 me ha presentado para la revisión filológica, la Tesis, para optar por el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Mecánica y Administración, titulada Diseño mecánico de un horno para fundiciones de wolframio.*

*He revisado y corregido los aspectos referentes a estructura gramatical, acentuación, ortografía, puntuación, vicios de dicción que se trasladan al escrito y he recomendado que las correcciones al presente documento se realicen en el documento final.*

*Por tanto, hago constar que este se encuentra listo para ser presentado a la Universidad Latina de Costa Rica como trabajo de graduación.*

*Atentamente*



*Máster Marta Pérez Campos*

*Carnet N° 004234*

*N° Cédula 2 292 1357*

*Colegio de Licenciados y Profesores en Artes y Letras*

*Carnet N° 004234*

*C/c: Archivo personal*

## **Declaración de autenticidad**

Yo, Josué Torres Rojas ced:1-1550-0436, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente anteproyecto, *“Diseño de Horno de Wolframio”*, previo a la obtención del Título de Licenciatura en Ingeniería Mecánica y Administración, son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas.

## **El resumen**

El proyecto es el diseño de un horno de fundición de wolframio. Lo que hay que destacar es que en la actualidad no existe un horno que eleve su temperatura a  $3200^{\circ}\text{C}$ . El diseño va a consistir en la unión de dos factores importantes. El primero es el sistema de combustión que deberá ser diseñado solo para este tipo de horno porque este consistirá en usar las boquillas de la soldadura de oxiacetileno para que el combustible llegue a  $3200^{\circ}\text{C}$ , la importancia de esta temperatura es la cercanía que tiene con el punto de fundición del wolframio.

El segundo factor es la carcasa con el crisol ya que no existe un tipo de carcasa y crisol que toleren tanta temperatura, no hay que dejar de lado que la carcasa que se va a diseñar es para la fundición de 10kg de wolframio porque su uso sería más científico o para hacer pruebas con este material; el material que se usará son arenas y cerámicas refractarias que sus puntos de fundición están entre  $3700^{\circ}\text{C}$  a  $4500^{\circ}\text{C}$  para que puedan soportar el calor del sistema de combustión y este sea apto para su uso en un horno de fundición. Con la unión exitosa de estos 2 materiales el horno está apto para la fundición de wolframio.

## Índice

TRIBUNAL EXAMINADOR.....	2
Carta del tutor .....	3
Carta de lector.....	4
Carta autenticidad del filólogo .....	5
Declaración de autenticidad.....	6
El resumen .....	7
Índice de tablas .....	10
Índice de figuras .....	11
Capítulo I.....	12
1. Problemas y propósito.....	13
1.1. Síntoma.....	13
1.2. Causas .....	13
1.3. Pronóstico .....	13
1.4. Control al pronóstico .....	14
1.5. Formulación del problema.....	14
1.6. Sistematización del problema.....	14
1.7. Objetivo general .....	15
1.8. Objetivos específicos .....	15
1.9. Estado actual de la investigación.....	16
Capítulo II.....	17
2. Marco Teórico .....	18
2.1. Marco Situacional.....	20
2.2. Propiedades del wolframio y características .....	21
2.3. Tipos de llamas.....	22
2.4. Oxiacetilénico y soldadura .....	24
2.5. Tipos de hornos .....	25
2.6. Horno de crisol .....	26
2.7. Marco conceptual .....	27
2.8. Hipótesis .....	28
2.9. Limitaciones .....	28



2.10.	Alcances.....	29
	Capítulo III .....	30
3.	Desarrollo.....	31
3.1.	Actividades .....	32
3.1.1.	Verificar punto de estado líquido del wolframio con estudios ya hechos. ....	32
3.1.2.	Selección del combustible por usar, que tenga la cualidad de llegar a 3200 grados Celsius. 33	
3.1.3.	Presentar, tipos de materias para las paredes y crisol por usar .....	35
3.1.4.	Proceso para la fabricación de los instrumentos para el horno que son a base de refractarios .....	37
3.1.5.	Formulas del horno y el sistema de ventilación de este.....	39
3.1.6.	Diseño del horno y sistema de ventilación .....	45
3.1.7.	Equipo del oxiacetilénico.....	49
3.2.	Equipo de trabajo.....	52
3.3.	Cronograma .....	53
3.4.	Presupuesto.....	54
4.	Conclusiones .....	55
5.	Recomendaciones.....	56
5.	Bibliografía.....	57
6.	Anexos.....	59

## Índice de tablas

<i>TABLA 1 TEMPERATURA TÍPICA DE LLAMAS, EN ESTA TABLA SE ESPECIFICA CADA TEMPERATURA DE SEGÚN CADA COMBUSTIBLE.....</i>	<i>22</i>
<i>TABLA 2 TABLA DE DIÁMETROS PARA TUBERÍA DE VENTILACIÓN, PCM STEEL.....</i>	<i>42</i>
<i>TABLA 3 TABLA DE PRESUPUESTO, PROPIA, SE DA EL DESGLOSE DEL PRESUPUESTO PARA LA APLICACIÓN DE PROYECTO,FUENTE PROPIA .....</i>	<i>54</i>

## Índice de figuras

<i>FIGURA 1</i> PIEZA DE WOLFRAMIO, LABORATORIUM BERGARA .....	33
<i>FIGURA 2</i> ESQUEMA DE TEMPERATURAS , ESPECIFICACIÓN TEORICA DE TEMPERATURAS DE MATERIALES A USAR VAN DE WALLE LAB/BROWN UNIVERSITY.....	35
<i>FIGURA 3</i> TABLA DE REFERENCIA DE MATERIALES REFRACTARIOS ,CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS MATERIALES REFRACTARIOS, ÇENGEL, YUNUS A, PAG.853.....	36
<i>FIGURA 4</i> TAPA , DISEÑO DE LA TAPA DEL HORNO, FUENTE PROPIA .....	45
<i>FIGURA 5</i> HORNO, DISEÑO DEL HORNO Y LAS PAREDES DEL MISMO, FUENTE PROPIA.....	46
<i>FIGURA 6</i> CAJA DE DISTRIBUCIÓN, DISEÑO DE CAJA DE DISTRIBUCIÓN DEL AIRE REFRIGERANTE, FUENTE PROPIA... ..	47
<i>FIGURA 7</i> HORNO COMPLETO, DISEÑO DE TODAS LAS PARTES UNIDAS, FUENTE PROPIA.....	48
<i>FIGURA 8</i> LLAMA DE OXIACETILÉNICA, ES LA DISTANCIAS DE LA LLAMA Y SUS TEMPERATURAS , .....	48
<i>FIGURA 9</i> EQUIPO DE CORTE DE ACETILENO, EBAY.COM .....	50
<i>FIGURA 10</i> MANGUERA DE 7 M PARA EL OXICORTE, EBAY.COM.....	50
<i>FIGURA 11</i> PUNTAS DE OXICORTE,EBAY.COM .....	51
<i>FIGURA 12</i> TANQUES DE OXÍGENO Y ACETILENO PARA SU USO EN CORTE, EBAY.COM .....	51
<i>FIGURA 13:</i> FIGURA DE CRONOGRAMA, PROPIA, SE DA LA IMAGEN DE COMO SE ABORDA EL TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO,FUENTE PROPIA. ....	53

## Capítulo I

## **1. Problemas y propósito**

### **1.1.Síntoma**

Los síntomas del problema es que actualmente el wolframio no se trabaja por fundición solo por pulmetalurgia, se quiere abordar para comprobar si el wolframio se puede llegar a derretir a través de fundición

### **1.2.Causas**

Una de las causas de este problema es que no existe un horno que esté capacitado para poder llegar a la temperatura deseada para la fundición completa del wolframio. Otra de las causas es lo caro que es fabricar piezas con recubrimiento de este material por lo duro que este es.

### **1.3. Pronóstico**

Diseñar todas las partes del horno de wolframio y que este pueda llegar al punto de fundición del wolframio. En el caso de esta investigación que no poder completarse el diseño se podrá contar ya con las bases suficientes para poder ver si el diseño es rentable.

#### **1.4. Control al pronóstico**

Diseño completo del horno de wolframio para un uso de fundición del wolframio, enfatizando en el sistema de inyección de combustible y el diseño de la carcasa y crisol del horno para el mismo. El horno diseñado no va a ser más grande a 10kg de este tipo de material para que sea de pequeñas cantidades y no de uso industrial sino con objetivo más científico.

#### **1.5. Formulación del problema**

Se va a diseñar un horno para fundiciones que puedan soportar un calor de 3200°C para fundir el wolframio.

#### **1.6. Sistematización del problema**

Diseño del horno del wolframio.

### 1.7. Objetivo general

Diseñar un horno de fundición para el wolframio para el diseño de piezas de este material.

### 1.8. Objetivos específicos

- Analizar las propiedades del wolframio.
- Definir que si hay un tipo de combustible viable para poder alcanzar 3200 grados Celsius para la fundición de wolframio.
- Seleccionar el material para las paredes refractarias y el crisol que van a estar más expuestos a 3200°C.
- Diseñar el horno en dimensiones no mayores a 10kg de este material.
- Mostrar la unión entre los sistemas de combustión del horno, el diseño de las paredes, de crisol, y de los materiales a usar.
- Analizar la viabilidad del horno.

### 1.9. Estado actual de la investigación

Al considerar que el proyecto se debe hacer, ya que no existe actualmente en el mercado ningún tipo de horno de fundición para el wolframio, pero una de las limitantes mayores que existe es que se le debe aplicar una temperatura de fundición de 3300°C aunque esta no podría considerarse como una limitante porque piezas elaboradas con este material nos brindarían un mayor costo- beneficio. Las piezas podrían estar sometidas a temperatura constantemente porque el coeficiente de dilatación es el más bajo de metales que nos daría la cualidad que en trabajos rigurosos y a temperaturas entre 100 a 3000 esta pieza no va sufrir defectos por temperatura.

Otra de sus características es la mayor resistencia a tracción, ello implica poder hacer piezas de este material que deben ser sometidos a tracción en uso industrial y se despreocuparía de su funcionamiento por la gran resistencia que este ofrece.

Tiene otras propiedades entre las que destacan su fuerza, resistencia calórica, y buena resistencia química, ya que no es fácilmente atacable por ácidos. Todas sus aleaciones se distinguen por su enorme dureza y su resistencia. El metal se comporta excelentemente incluso a altas temperaturas, en comparación del molibdeno que tiene las mismas propiedades, pero en el wolframio estas cualidades físicas son mejores y en la industria las piezas de molibdeno son cambiadas por wolframio porque el molibdeno es escaso.

En pocas palabras, las ventajas que ya se han mencionado a grandes rasgos, lograrían disminuir en costos de piezas de \$5000 (cinco mil dólares) a \$1000 (mil dólares), ya que el proceso para elaborarlas, en este tipo de horno, es directo con menos pasos, al contrario del utilizado en la actualidad que se llama polvimetalurgia. Además el horno en mención, dará la facilidad de trabajar el wolframio casi completamente puro y sin perder sus propiedades, además de ser más abundante que el molibdeno, por lo tanto el cambio de esas piezas en la industria va a hacer relativamente fácil.



## Capítulo II

## 2. Marco Teórico

“En Centroamérica, durante la época de la colonia, la técnica de fundición fue mayormente utilizada para la elaboración de herramientas, armas, elementos decorativos, etc. La forja y la fundición dentro de este ámbito, se han mantenido muy relacionadas una con la otra, pues el maestro fundidor tenía conocimientos de herrería y forja. En el siglo XX surgieron talleres de herreros forjadores y fundidores que brindaban este servicio para una creciente demanda de herramientas y elementos realizados por medio de estas técnicas” (Hernández Beltrán, 2014)

En un primer momento de la fundición los moldes empleados eran de piedra, donde se tallaba la figura del elemento por elaborar. Para aquel entonces, el nivel alcanzado en el tallado en piedra permitía trabajos muy finos. Posteriormente se avanzó a la edad de bronce donde se empezaron a emplear técnicas para mejorar la solidez del metal fundido como también el uso de moldes compuestos por dos partes para elaborar piezas que tenían simetría bilateral, para este último se procuraba que la luz del elemento fabricado concordara con el filo, al cual se le daba forma en el acabado.

“Al referirse a los metales fundidos, mayormente se encuentra el manejo del plomo y aluminio y en algunos casos bronce por ser metales que requieren de una temperatura inferior o igual a los 1000 °C, temperatura que estos artesanos podían alcanzar sin ningún problema. Hoy en día el oficio de la fundición y los talleres dedicados a esta técnica son escasos, debido a diversos factores que han impedido que se mantenga vigente en una época donde muchos oficios se ven afectados por la industrialización, que brinda los mismos servicios con costos más bajos”. (Hernández Beltrán, 2014)

“En la actualidad, la fundición se ha situado como uno de los procesos más prácticos para la elaboración de piezas de gran complejidad en cualquier metal. Virtualmente, cualquier metal que puede ser fundido puede ser vertido en un molde para tomar la forma impresa en

este. En términos de valor y volumen en la industria metalúrgica, la fundición se ve superada únicamente por el acero rolado. Anualmente, solo en Estados Unidos, más de 3000 instalaciones fundidoras producen de 12 a 14 millones de toneladas de fundición en las variedades ferrosas y no ferrosas. El valor anual de los productos de fundición se estima que se acerca a los \$20 billones” (Handbook, 2008)

## 2.1. Marco Situacional

Se van a presentar las consideraciones generales que se deben de tomar en cuenta el proceso de diseño de un horno para la fundición de wolframio, por lo cual se debe contemplar el panorama de las propiedades del wolframio y sus características, dicho material no se provee en la industria. Así también conocer el combustible para la fundición, materiales de diseño del crisol, materiales de las paredes refractarias para el horno. En los siguientes capítulos se brindará la información del mismo, se les informará sobre las generalidades del tipo de horno por diseñar y todas aquellas consideraciones necesarias que la metalurgia en estos tipos de hornos, ha llevado.

## 2.2. Propiedades del wolframio y características

En la actualidad el wolframio es uno de los materiales que sirve para sustituir el molibdeno porque sus propiedades son muy parecidas uno del otro, pero a diferencia que el molibdeno es escaso en la tierra.

El wolframio es conocido como tungsteno se puede decir que “El tungsteno puede usarse como metal puro o mezclado con otros metales para formar aleaciones. Las aleaciones de tungsteno tienden a ser duras y flexibles, resisten al desgaste y conducen bien la electricidad” (Enfermedades, 2016). Normalmente el tungsteno es muy difícil usarlo por la cualidad que es resistente al desgaste entonces en la industria su usa en el método de polvimetalurgia, y este es usado como un revestimiento de piezas metálicas.

Algunas características que el wolframio provee.

El Wolframio, también llamado Tungsteno, es un metal con propiedades únicas que lo convierten en un componente esencial en muchas aplicaciones industriales. Entre sus principales características destacan:

- Punto de fusión más elevado de todos los metales (3.400°C).
- Segundo material más duro, presente en la naturaleza (después del diamante).
- Muy alta densidad.
- Estable térmica y químicamente.
- Excelente conductor.

Se puede denotar y contemplar que para la fundición unas de las características del horno debe ser llegar a  $3400C^0$  para que el wolframio alcance a su punto líquido para usar este material en la confección de piezas. “El wolframio es el segundo material con mayor punto de fundición después del diamanté...” (Saloro, 2015)

### 2.3. Tipos de llamas

La importancia de este apartado es que en la actualidad uno de los datos determinantes de viabilidad del diseño de un horno es que algún tipo de combustible puede llegar a su punto de fundición del material, que se desee derretir, en este caso se necesitaría ver un tipo de llama que se acerque a los  $3400C^0$  para fundir el wolframio.

Para poder abordar el diseño de un horno primero se debe definir el tipo de combustible que se desea usar para el este.

Se denota que el combustible por usar es el acetileno, por sus propiedades de temperatura de llama que este provee. Según (lopez, 2012)

*Tabla 1 Temperatura típica de llamas, en esta tabla se especifica cada temperatura de según cada combustible*

Tabla 1: Temperaturas típicas de llamas	
Material quemado	Temperatura de llama [C]
Carbón	750-1200
Metano	900-1500
Soplete de propano	1200-1700
Vela	1100-1700
Magnesio	1900-2300
Soplete de hidrógeno	2000
Gas MAPP	2020
Gas licuado (GLP)	Hasta-1970
Soplete de acetileno	Hasta-2300
Oxiacetilénico	Hasta-3300
Mechero bunsen	900-1600

Madera	1027
Gasolina	1026
Metanol	1200
Kerosene	900
Grasa natural	800-900

Según la tabla anterior se puede dar a conocer que la llama puede alcanzar  $3300C^0$  y gracias a estas temperaturas se puede lograr calentar el wolframio casi hasta su temperatura de fundición del mismo. Lo que se va a hacer es definir que las mismas boquillas que usan para la soldadura de corte de acetileno se usen para el proceso de calentamiento del horno para derretir el wolframio. Hay que denotar que en un horno convencional para fundición sus temperaturas varían entre 1200 a 2400 °C y el diseño de este horno su temperatura de función va a ser de 1000 grados más que los convencionales.

## 2.4.Oxiacetilénico y soldadura

Se puede definir el “oxicorte” como: el procedimiento de corte empleado para seccionar piezas metálicas mediante la acción de un chorro de oxígeno proyectado a presión sobre una zona calentada, con anterioridad, a una temperatura algo inferior a la de fusión.

El oxiacetileno según: “Es un gas combustible llamado acetileno, propano o natural (MAPP) que significa metil acetileno propadieno, el oxígeno puede estar en forma de aire comprimido, pero casi siempre se utiliza oxígeno puro. En la soldadura con gas el combustible se debe mezclar con uniformidad con el oxígeno, esto se hace en una cámara mezcladora que es parte del soplete. El soporte sirve para mover, dirigir o guardar la flama. Los gases combustibles y el oxígeno cuando se combinan producen una flama de altas temperaturas. En este proceso se utiliza un gas llamado acetileno; es un gas carburante cuya mezcla alcanza una temperatura aproximada de 3300°C” (Vargas, 2006)

El oxiacetileno como se mencionó, es usado en soldadura o corte por su facilidad de llegar temperaturas de 3000°C que nos dan la facilidad que pueden derretir la mayoría de los metales conocidos. En este caso se usará este combustible gracias a su temperatura de 3000°C para implementarla en el sistema de combustión del horno.

En este apartado se menciona la importancia de usar el mismo tipo de inyección que se usa en la soldadura por el motivo que sin este tipo de sistema no existirá una unión uniforme entre el acetileno y oxígeno que nos brindará la temperaturas entre 3000°C-3400°C para el horno de fundición de wolframio.



## 2.5. Tipos de hornos

Cuando se habla de tipos de hornos para fundición hay muchos sistemas diferentes, en la presente investigación se hablará y mencionarán de los tipos de horno que existen para la fundición de metales.

Los hornos son usados para la fundición de metales y de aleaciones que se usan actualmente, estos varían según el tamaño y qué tipo de uso se les va a dar. El tipo de diseño depende de los siguientes factores:

- La velocidad deseada para fundir el metal.
- La necesidad de mantener la pureza del material y su composición.
- Producción requerida del horno (productividad y economía).
- El costo de operación del horno.
- Interacción entre todos los sistemas que conforman el horno.

Los tipos de horno de fundición más usados en la industria:

- Horno eléctrico.
- Horno de inducción.
- Horno de arco eléctrico.
- Horno de cubilote.
- Horno de crisol.

En este diseño se le dará más importancia al horno de crisol por esa razón solo se va a especificar este tipo.

## 2.6.Horno de crisol

“De manera sencilla un horno de crisol no es más que una recámara a la cual se le suministra energía, almacena calor y promueve la transferencia de este a un metal contenido en un recipiente conductor del calor y resistente a la acción del metal y a las altas temperaturas denominado crisol, el cual permite fundir el metal en su interior para luego ser vertido a un molde previamente preparado” (Handbook, 2008)

Los hornos de crisol trabajan por combustión de un elemento como el gas el cual calienta el crisol que contiene el metal fundido. Para lograr concentrar el calor alrededor del crisol este está contenido entre unas paredes refractarias que generan una cavidad para el flujo de los gases de combustión El crisol es un recipiente que se coloca dentro de los hornos para que reciba el metal fundido. Normalmente está hecho de grafito con cierto contenido de arcilla y puede soportar materiales a altas temperaturas.

“El crisol se apoya sobre la peana que está hecha también en material refractario y le da la posición necesaria con respecto a la salida del gas. Para lograr concentrar el calor alrededor del crisol este está contenido entre unas paredes refractarias que generan una cavidad para el flujo de los gases de combustión. Existen hornos con crisol móvil o con crisol fijo. La diferencia entre estos es que el crisol móvil al fundir el metal se levanta y sirve como cuchara de colada. Los hornos de crisol fijo se deben cucharear para realizar la fundición.” (INDUSTRIAL, 2008)

En la actualidad los hornos de crisol ofrecen a la industria una gran flexibilidad y una amplia variedad de opciones con respecto al tipo de metal a fundir, reducción y refinación de metales, el tamaño de la fundición, combustibles y técnicas de procesamiento. Aluminio, latón, bronce, cobre, hierro gris y dúctil, acero, magnesio, monel, níquel, aleaciones refractarias, y otras aleaciones y metales han podido ser elaborados utilizando hornos de crisol. “Se pueden fundir todas las variedades de metales ferrosos y no ferrosos polímeros y cerámicos.” (UMSS, 2006)

## 2.7.Marco conceptual

En el diseño del horno de fundición hay que iniciar explicando para qué sirve un horno de fundición este “permite fundir el metal en su interior para luego ser vertido a un molde previamente preparado”. Los hornos de este tipo son más usados en las industrias de metal o de preparación de piezas metálicas, estos pueden variar desde 70kg hasta los 1400kg dependiendo del tipo de horno que se esté usando. (Handbook, 2008)

Al escoger hornos de fundiciones hay que considerar que uno de sus factores más importantes es definir el tipo de combustible a usar, ya que la temperatura varía dependiendo del metal que se desee fundir. En este caso se usará la soldadura oxiacetileno porque “soldadura oxiacetilénica se utiliza una llama neutra (3.300° C)” a destacar que la parte que interesa es la temperatura de llama de la soldadura. La razón para por la cual se decide usar esa cantidad de temperatura es porque el wolframio tiene un punto de fundición de 3400°C y este material se puede usar en la fabricación de piezas por medio de vertido del mismo en moldes. (Schafer, 2013)

Uno de los factores más importantes que se debe considerar para poder construir el horno es la selección de diseño del crisol y sus paredes refractarias, ya que estas deberán soportar mayor cantidad de tiempo con temperaturas de 3400°C. Estas son las que realmente van a definir el tamaño del horno por su consideración que van a tener que disipar la mayor cantidad de calor por motivos de seguridad del operario que vaya a trabajar con este tipo de horno.

## 2.8.Hipótesis

Por la observación de la soldadura de oxiacetilénico, su punto de temperatura y también la observación que dan los materiales cerámicos y su resistencia al calor al igual que su uso normalmente en fundiciones darían la facilidad de poder afirmar que es posible diseñar un horno de fundición de wolframio.

## 2.9.Limitaciones

Las limitaciones que se presentan es poder hacer el diseño básico del horno que este pueda ser viable para poder hacerse y también que el diseño pueda resistir la cantidad de calor necesaria para poder derretir el wolframio.

Otra de las limitaciones que existe es que los componentes para hacer el sistema de ventilación y por la cercanía donde estos tienen que entregar el aire las piezas no pueden ser usadas así que se usa un modelo de caja que nos brindaría la facilidad de abastecer el aire para los orificios.

## 2.10. Alcances

El alcance más importante es el hecho de poder tener un diseño para un horno específicamente para la fundición del tungsteno y poder tener la oportunidad de la creación del horno que nos brindaría poder fabricar piezas a un menor costo y aprovechando todas las propiedades que nos brinda el wolframio. Hay que considerar que gracias a este diseño se puede trabajar libremente con el material de darle cualquier forma necesaria usando el molde deseado; en la actualidad el tungsteno solo es usado para muy pocas aplicaciones como recubrimiento en cuchillas de corte de alta precisión y en electrodos de bombillos.

## Capítulo III

### 3. Desarrollo

En este proyecto se hacen las valoraciones para verificar si es posible poder fundir el wolframio aunque el material actualmente solo se trabaja en pulvimetalurgia. El material que va a comprender la mayor parte del horno que se quiere diseñar va a ser de carburos de tantalio que está relativamente recién descubierto, pero este material nos brindaría las características para poder aguantar los  $3400^{\circ}C$  que es el punto de fundición del tungsteno.

En la actualidad los procesos de fundición son mayormente para hacer piezas en masa, por la demanda que existe tiene que ser de esta manera pero cuando se trata de materiales más caros o que no se pueden fundir por un medio convencional pasan a procesos que aunque den un buen acabado, da la desventaja que el material no tiene todas las cualidades que una pieza hecha completamente por fundición.

Solo para mencionar uno de los sistemas más usados para el tungsteno es la pulvimetalurgia, esta consiste en tener polvos de este material y por procesos de compactación da una pieza muy bien acabada, pero el mayor lío que esta nos brinda es que aunque se haga con mucho cuidado, la pieza tiene porosidad y nos da la desventaja de perder muchas cualidades que el material da por los poros, que si se pone en uso se puede quebrar fácilmente. También en estos sistemas se puede usar un recubrimiento de polvo de wolframio en otra pieza de otro material y brinda muy pocas cualidades del tungsteno, pero le da un poco más de resistencia a la pieza con este recubrimiento.

### 3.1.Actividades

#### 3.1.1. Verificar punto de estado líquido del wolframio con estudios ya hechos.

“El wolframio es único porque posee una combinación de propiedades relativamente extremas con respecto a otros metales. Entre sus propiedades se incluyen:

- Tiene el punto de fusión más elevado de todos los metales, 3.422°C (punto de ebullición 5.700°C).
- Es un metal muy denso y muy pesado, 19,25 g/cm<sup>3</sup>.
- Es extremadamente resistente al desgaste; su dureza es similar a la del diamante, posee el módulo elástico y la resistencia a la tracción más elevados de todos los metales.
- Es térmica y químicamente estable, con alta conductividad térmica y posee el coeficiente de dilatación más bajo de todos los metales.
- Tiene una alta conductividad eléctrica.
- Es un metal relativamente inerte, que no se oxida fácilmente, es extremadamente resistente a la corrosión y relativamente resistente a los ácidos; además, se considera respetuoso con el medioambiente.” (Saloro, 2015)

Al verificar las propiedades de este metal se puede asumir que este tiene uno de los puntos más altos de la tabla periódica para la fundición del mismo. No obstante este material se presenta en la tierra no totalmente purificado entonces su punto de fundición depende de cuán puro sea el mismo y esto nos brindaría la ventaja que el material ronda entre los 3000°C a los 3422°C para su fundición.





*Figura 1 Pieza de wolframio, laboratorio Bergara*

### **3.1.2. Selección del combustible por usar, que tenga la cualidad de llegar a 3200 grados Celsius.**

“Vale señalar que la soldadura oxiacetilénica por alta presión donde tanto el oxígeno como el gas combustible (acetileno, hidrógeno, ...) que alimentan el soplete proceden de las botellas que los contienen a alta presión. Es conveniente resaltar que la llama de un soplete de acetileno/oxígeno puede llegar a alcanzar una temperatura por encima de los 3100°C aumentando de esta forma la peligrosidad de este tipo de soldadura.” (Muñoz Muñoz, 2007)

En nuestro caso la soldadura dependiendo de su tipo, se puede usar para corte y esta nos brindaría una temperatura cercana a lo que se quiere para poder derretir el wolframio. Este tipo de soldadura es una de las que ronda mayores temperaturas en la industria y esta da las facilidades de poder tener un control completo sobre la temperatura de la llama.

El oxiacetileno es un combustible que este con las boquillas de corte del sistema de oxicorte nos brindaría una llama muy caliente y esta ronda entre los 3100°C y los 3300°C. Lo que hay que destacar es que es de los sistemas de combustión que nos brindaría una llama grande para que esta pueda calentar el crisol uniformemente y se llegue a la temperatura deseada.

El combustible que se va a usar para el tipo de horno va a ser el oxiacetileno por el motivo que la llama que este genera unas temperaturas entre 2700°C a 3300°C. Ya que se necesita para la fundición del wolframio llegar entre las temperaturas de 3200°C a 3400°C para que este se funda, necesariamente no se va necesitar para algunas piezas que este se derrita gracias a que a estas temperaturas el metal puede ser prensado y este nos dará la facilidad de tener la pieza metálica casi completamente de wolframio. El sistema de fundición es en el caso de que se quiera llegar a un nivel de purificación del materia de otros materiales que en este se presentan.

### 3.1.3. Presentar, tipos de materias para las paredes y crisol por usar

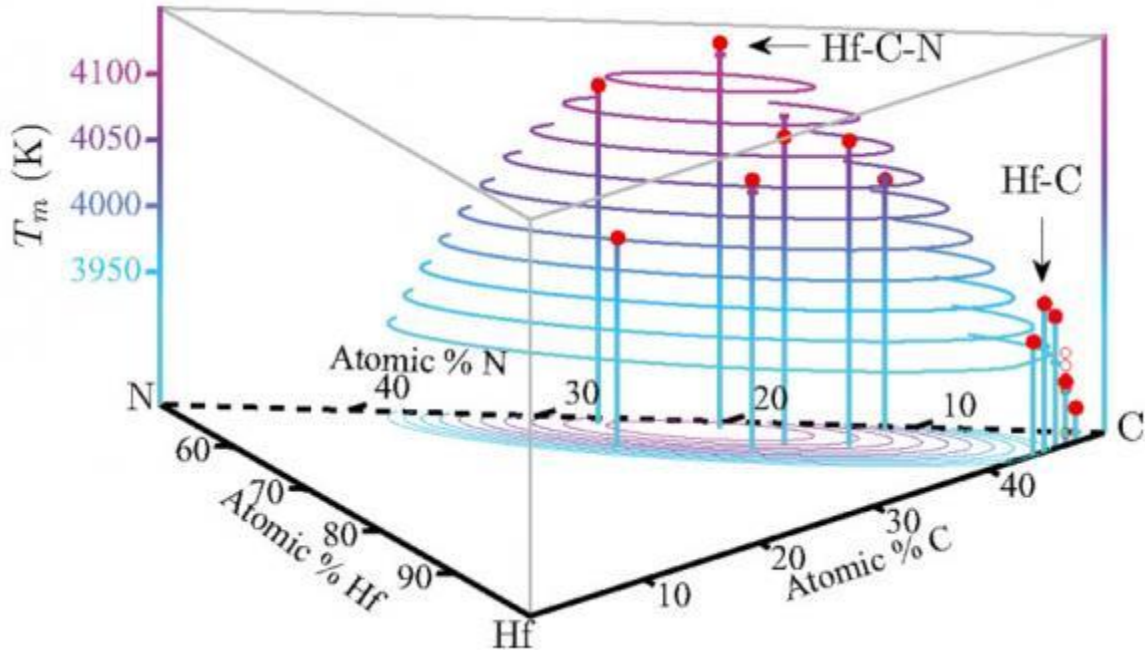


Figura 2 Esquema de temperaturas, especificación teórica de temperaturas de materiales a usar Van de Walle lab/Brown University

“4.400 Kelvins, que equivalen a 4.126 grados centígrados, sería el punto de fusión de este material sintético, conformado por una combinación precisa de Hafnio, Nitrógeno y Carbón. La temperatura, proyectada en razón de los elementos combinados, sería tan elevada que equivaldría al 66% de la temperatura promedio de la superficie solar”. (Hong, 2015)

Al presentarse este nuevo compuesto da la posibilidad de poder usar el mismo para las paredes del horno de fundición, ya que sería el único material que podría resistir el calor que para llegar a la temperatura de fundición del wolframio sin que las paredes del horno se fundan antes que nuestro metal.

“Fuera de todo el proceso matemático para proyectar los cálculos, el reto ahora consistiría en lograr sintetizar esta sustancia para comprobar las estimaciones del punto de fusión, aunque no exista una aplicación práctica real para este material” (Hong, 2015) A estas afirmaciones se puede decir que este material es el único que aparte de las paredes del

horno se tendría que usar como el crisol que es el contenedor del material mientras que este está en el proceso de fundición. Para este artículo no existe una aplicación práctica, pero gracias a las cualidades del material ya tendría un uso práctico en la industria.

“El compuesto mixto (Ta<sub>0.8</sub>Hf<sub>0.2</sub>C) era consistente con la investigación anterior que fundía a 3905°C, pero los dos compuestos por sí solos superaron los puntos de fusión registrados anteriormente. El compuesto TaC fundió a 3768°C y HfC fundió a 3958°C” (press, 2016)

También se consideran dos más compuestos, estos también son cerámicas refractarias que sería el carburo de tántalo, este tiene su punto de fusión a una temperatura de 3768°C es sería utilizado para hacer la primera pared y va a estar en mayor contacto con el calor. El segundo que se va a usar es el carburo de hafnio por el motivo que resiste demasiado calor 3958°C y al igual que el carburo de tántalo son cerámicas refractarias.

Material	Densidad, $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica, k, W/m · K	Calor espe- cífico, $c_p$ J/kg · K
Asfalto	2 115	0.062	920
Baquelita	1 300	1.4	1 465
Ladrillo refractario			
Ladrillo de cromita			
473 K	3 010	2.3	835
823 K	—	2.5	—
1173 K	—	2.0	—
Arcilla refractaria cocida			
1600 K	—	—	—
773 K	2 050	1.0	960
1073 K	—	1.1	—
1373 K	—	1.1	—
Arcilla refractaria cocida			
1725 K	—	—	—
773 K	2 325	1.3	960
1073 K	—	1.4	—
1373 K	—	1.4	—
Ladrillo de arcilla refractaria			
478 K	2 645	1.0	960
922 K	—	1.5	—
1478 K	—	1.8	—
Magnesita			
478 K	—	3.8	1 130
922 K	—	2.8	—

Figura 3 Tabla de referencia de materiales refractarios, conductividad térmica de los materiales refractarios, Çengel, Yunus A, pag.853

Gracias a esta tabla del libro de transferencia de calor, se asume que todo tipo de materiales refractarios rondan entre 1.0 a 1.4, así que se usa el coeficiente más alto por seguridad.

### 3.1.4. Proceso para la fabricación de los instrumentos para el horno que son a base de refractarios

Antes de mencionar el diseño del horno debemos tener claro que se necesita poseer ladrillos refractarios para formar las paredes del horno, estas son las que van a contener una temperatura que aumente hasta llegar a otras más altas.

Unos de los polvos que se van a usar es el de carburo de hafnio, carburo de tantalio, arcilla refractaria cocida y un compuesto de hafnio con nitrógeno y carbón. Estos elementos en forma individual, tendrían su propósito definido para el horno. El carburo de hafnio, la arcilla refractaria cocida y un 20% de agua en una mezcla darán una masa en un estado casi líquido para la pared externa y cubriendo así, que nada salga de la pared primaria y dándole soporte a la pared primaria para que esta se quede en su lugar.

La pared primaria es la que va a estar expuesta a más calor, esta va a ser hecha de ladrillos refractarios compuestos de 95% de carburo tantalio, 5% de arcilla refractaria cocida y agua hasta que esté en forma de masa para poder comprimirla y darle su figura. La confección de los ladrillos pasa por el siguiente proceso:

- **Molienda;** dosificada y mezclada: en este proceso se muele la unión de polvos para hacer un mezclado uniforme del mismo y esto provocaría que el ladrillo esté conformado uniformemente y así evitar problemas en su conformación. “Tanto la molienda, dosificado y el tipo de mezcla, están comprendidos en la sección de obtención del ladrillo refractario” (guanochanga, 2013)
- **Conformado:** En este proceso del producto que sale de la molienda se coloca en moldes metálicos y el producto es prensado para darle la forma al ladrillo que se está fabricando. “ el conformado conlleva, un proceso de prensado de la materia prima, después de cumplir con las características de calidad en cuanto a granulometría y dosificación de acuerdo con tipo del refractario” (guanochanga, 2013)

- **Secado:** “El secado tiene por objeto eliminar el agua libre, no combinada, contenida en la pasta cruda e incorporada durante la preparación de las materias primas, la temperatura de secado debe bordear entre los 110°C a 120°C se recomienda hacerse de tal modo que no se produzcan agrietamientos; la necesidad e importancia de esta operación, previa a la cocción, está en consonancia con el porcentaje de humedad de la pasta. Es por lo tanto particularmente relevante en las masas plásticas de arcilla y, por el contrario, es innecesaria para las masas prensadas en seco o aglomeradas químicamente. Terminado el proceso de secado de manera cuidadosa en función del tamaño del ladrillo y de la consistencia de la masa utilizada, se requiere, una duración que puede oscilar entre un día y varias semanas” (guanochanga, 2013)
- **Cocción:** “La cocción es sin duda la etapa más delicada del proceso de fabricación, ya que condiciona las propiedades más importantes y específicas del producto final. Los parámetros básicos de la cocción son la temperatura, el tiempo de tratamiento y la velocidad de calentamiento y enfriamiento” (guanochanga, 2013) en este proceso la temperatura de cocción que se va a usar es de 1800°C porque es para ladrillos refractarios de mayor resistencia calórica

Al terminar este proceso, daría un ladrillo de 22x11x6cm que gracias a este se podría ya diseñar el horno para el sistema de fundición del wolframio. Se obtienen además los ladrillos del suelo o parte inferior, solo que estos varían en el compuesto usado, pues se usaría el hafnio, nitrógeno y carbón en proporciones de 98% del material ya mencionado, un 2% de arcilla refractaria, con agua hasta que esta masa esté uniforme para poder ser comprimida y así darle su figura.

Gracias al proceso mencionado anteriormente, permite fabricar los ladrillos, también hay que descartar usar el mismo proceso, solo que cambiando los moldes. Al cambiarlos se puede usar el carburo de tántalo en las mismas proporciones que con los ladrillos; esto nos dará la facilidad de que va a ser posible levantar el crisol para usar el wolframio derretido. Las dimensiones de los ganchos son de 3 cm del grosor del palo con una longitud de 160cm y con un gancho de 90° con una longitud de 7.5cm. Con este aditamento se proporcionaría

la facilidad de quitar la tapa sin que los operarios se quemem y se dará la facilidad de poder sacar el crisol del horno.

Otro de los elementos que usan el mismo proceso, es el crisol, solo que variando el molde se entregaría un crisol hecho de hafnio, nitrógeno y carbón. El crisol sus dimensiones serian de 8cm de diámetro y 1cm de grosor de pared con un alto de 10cm. Este material estaría conformado completamente de lo mismo, usaría el agua solamente para hacer la masa y poder colocarla dentro de los hornos y del producto requerido.

### **3.1.5. Formulas del horno y el sistema de ventilación de este**

Se va a aplicar un sistema de fórmulas que darán la facilidad de comprender cómo se va a comportar el horno en su uso. Los cálculos se contemplan acá y dará la luz para ver si los materiales por escoger van a poder usarse para el horno y que den las pautas de seguridad como que el suelo alrededor del horno se mantenga a 22°C en la tierra adyacente, para que estos no sientan calor que del horno se desprende.

Antes de empezar tenemos que mencionar la ley Fourier: esta establece que el flujo de transferencia de calor por conducción en un medio isótropo es proporcional y de sentido contrario al gradiente de temperatura en esa dirección. En pocas palabras esta menciona que la energía calórica va a pasar de un calor caliente a un calor frío para que las energías se balanceen y lleguen a una temperatura media entre las dos.

“Considere que la conducción estacionaria de calor atravesó de un tubo de agua caliente: el calor se pierde en forma continua hacia el exterior a través de la pared del tubo e, intuitivamente, se siente que la transferencia de calor a través de este se efectúa en la dirección normal a su superficie y no se tiene alguna transferencia significativa en otras direcciones. la red del tubo , cuyo espesor es más bien pequeño ,separa dos fluidos a temperaturas diferentes y, en consecuencia, el gradiente de temperatura en la dirección radial es relativamente grande además, si las temperaturas de los fluidos, dentro y fuera del tubo, permanecen constantes, entonces la transferencia de calor a través de ese tubo es

estacionaria. En este caso la temperatura del tubo depende solo de una dirección (la dirección r radial) y se puede expresar como  $T=T(r)$ .” (Cegel, 2007)

Con esta cita se puede decir que se va a usar el radio del cilindro para hacer nuestras medidas, ya que el diseño del horno es cilíndrico. También hay que abordar que es la transferencia de calor que es representada con una Q.”La razón de transferencia de calor hacia el tubo debe de ser igual que la razón de la transferencia hacia afuera de el” (Cegel, 2007)

En donde la fórmula de transferencia es:

$$1) Q = -kA \times dt/dr$$

Aplicando la integración de la formula según el cilindro se ve así:

$$2) Q = 2\pi LK \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

Esta ecuación se puede acomodar de otra forma ya que en nuestro caso son paredes múltiples:

$$3) Q = \frac{T_1 - T_2}{R_{total}}$$

La  $R_{total}$  en el caso de nuestro cilindro la fórmula para las resistencias o mejor dicho las paredes se pueden denotar de esta manera:

$$4) R_{total} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi LK} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi LK} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{2\pi LK}$$

En nuestro caso no se contemplan las fórmulas con la convección o radiación por el motivo de que las paredes van a estar sin movimiento, eso contemplado también el aire que esté, no es estrictamente necesario para el horno.



Al usar la primera fórmula se debe especificar cada uno de los términos:

- $2\pi$  este es una constante de la fórmula de los cilindros.
- $L$ : es el largo del cilindro.
- $K$ : es la constante de conductividad de cada elemento, para el aire es de 0.026 y para los materiales refractarios es de 1.4.
- $r$ : es el radio de lo cilindros

Se asume que la conductividad térmica es de 1.4 gracias a que “la capacidad del carburo de tántalo (TaC) y el carburo de hafnio (HfC), para soportar ambientes extremadamente duros significa que la cerámica refractaria podría ser utilizada en sistemas de protección térmica” (press, 2016)

Ya cuando se usen las fórmulas para averiguar la resistencia total se vería de esta forma.

$$5) R_{total} = \frac{\ln\left(\frac{0.30}{0.05}\right)}{2\pi \times 1.43 \times 0.026} + \frac{\ln\left(\frac{0.36}{0.30}\right)}{2\pi \times 1.43 \times 1.4} + \frac{\ln\left(\frac{0.42}{0.36}\right)}{2\pi \times 1.49 \times 1.4}$$

$$R_{total} = 7.685$$

Al tener la resistencia total ya se puede aplicar la fórmula de transferencia, en donde se tome en cuenta que:

- $T_1$  es la temperatura inicial que es de  $3300^\circ\text{C}$
- $T_2$  es la temperatura final que es de  $22^\circ\text{C}$ .

$$6) Q = \frac{3300-22}{7.685}$$

$$Q = 426W$$

Al ver que la transferencia da 426W, está dentro de los rangos permisibles para que las personas que estén caminando alrededor del horno, no sientan calor.

Para empezar hablando de la segunda fórmula que sería el cálculo de la ventilación para determinar cómo se va a comportar el aire primeramente abordamos, “La razón es que a moderados números de Reynolds se produce un cambio profundo y complicado en el comportamiento de los flujos. El movimiento deja de ser suave y ordenado (laminar) y se convierte en fluctuante y agitado (turbulento).” (White, 2004)

*Tabla 2 Tabla de diámetros para tubería de ventilación, PCM steel*

CAÑERIAS DE ACERO ASTM IMEL					
NORMA ASTM A-53 SCH 40 GRADO A Y B					
Diámetro Nominal	Diámetro Exterior (D)	Espesor Nominal	Peso Teórico	Presión de Prueba Kg/cm <sup>2</sup>	
pulg.	mm.	mm(e).	Kg/m.	Grado A	Grado B
1/8	10,3	1,73	0,37	49,2	49,2
1/4	13,7	2,24	0,63	49,2	49,2
3/8	17,1	2,31	0,84	49,2	49,2
1/2	21,3	2,77	1,27	49,2	49,2
3/4	26,7	2,87	1,69	49,2	49,2
1	33,4	3,38	2,5	49,2	49,2
1 1/4	42,2	3,56	3,39	84,4	91,4
1 1/2	48,3	3,68	4,05	84,4	91,4
2	60,3	3,91	5,44	161,7	175,8
2 1/2	73	5,16	8,63	175,8	175,8
3	88,9	5,49	11,29	156,1	175,8
4	114,3	6,02	16,07	133,6	155,4
6	168,3	7,11	28,26	106,9	125,1

Ya con la información de la tubería que se van a usar, de 3 pulgadas y se entiende que en Reynolds se puede abordar la fórmula donde:

- V: velocidad que es de 15m/s
- D: diámetro de la tubería que sería de 88.9mm
- $\rho$ : la densidad del aire que es de 1.2 kg/m<sup>3</sup>
- $\mu$ : viscosidad del aire es de 1.8x10<sup>-5</sup>

$$7) Re = \frac{Vx Dx\rho}{\mu}$$

Aplicando la fórmula se vería de esta manera

$$8) Re = \frac{15x0.0889x1.2}{1.8x10^{-5}}$$

$$Re = 88900$$

Que según Reynolds se da un flujo turbulento y se usa la fórmula de coeficiente de fricción de este tipo:

- $\varepsilon$  que esta es la rugosidad del tubo que es 0.0460.
- $D$  el diámetro ya mencionado.
- $Re$  es Reynolds que acabamos de obtenerlo.

$$9) F = \frac{1.325}{\left(-\ln\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.4}}\right)\right)^2}$$

Usando la fórmula:

$$10) F = \frac{1.325}{\left(-\ln\left(\frac{0.04600}{3.7 \times 0.0889} + \frac{5.74}{88900^{0.4}}\right)\right)^2}$$

$$F = 0.51$$

Fórmula de las pérdidas de fricción:

- $L$  es el largo de la tubería 2.15m.
- $k_{codo\ 90}$  es coeficiente de fricción que es de 0.9.
- $k_{codo\ t}$  es coeficiente de fricción que es de 1.8.
- $g$  es la gravedad que es definida por  $9.8\ m^2/s$ .

$$11) hf = Fx \frac{L}{D} x \frac{V^2}{2g} + k_{codo\ 90} x \frac{V^2}{2g} + k_{codo\ t} x \frac{V^2}{2g}$$

Ya con términos la fórmula daría:

$$12) hf = 0.51x \frac{2.15}{0.0889} x \frac{15^2}{2 \times 9.8} + (0.9 + 0.9)x \frac{15^2}{2 \times 9.8} + (1.8)x \frac{15^2}{2 \times 9.8}$$

$$hf = 180.14m$$

Según la ecuación de Bernoulli ya simplificada para este caso se vería de esta manera:

- $h_l$  la altura del sistema 2.15m.

$$13) h_b = h_l + \frac{V^2}{2g} + hf$$

En uso la

$$14) h_b = 2.15 + \frac{15^2}{2 \times 9.8} + 180.14$$

$$h_b = 193.62m$$

Para averiguar la potencia de la bomba usamos:

- Q que es el caudal que nos daría específicamente 0.093.
- e Esta es la eficiencia de la bomba 0.75.

$$15) P_b = \frac{Q \times \rho \times g \times h_b}{746e}$$

$$16) P_b = \frac{0.093 \times 1.2 \times 9.8 \times 193.62}{746 \times 0.75}$$

$$P_b = 0.3hp$$

Para el sistema de ventilación se necesitaría una bomba de 0.3 caballos de fuerza, pero en el mercado es más normal conseguir bombas de 0.5 caballos de fuerza aunque si se pueden conseguir bombas de mayor caballaje, sería ideal por un tema de costos, esto daría la facilidad de poder suministrar más aire para el sistema y que este pueda refrigerar de mejor manera las boquillas para que estas no se derritan.

### 3.1.6. Diseño del horno y sistema de ventilación

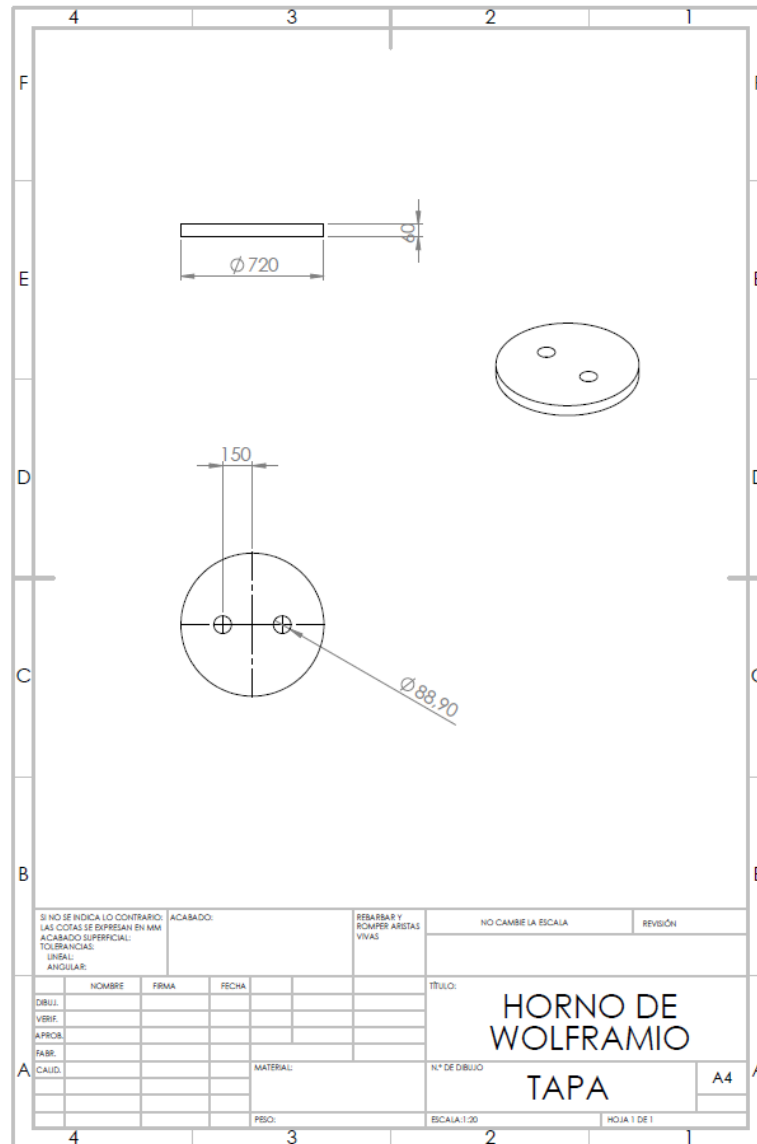
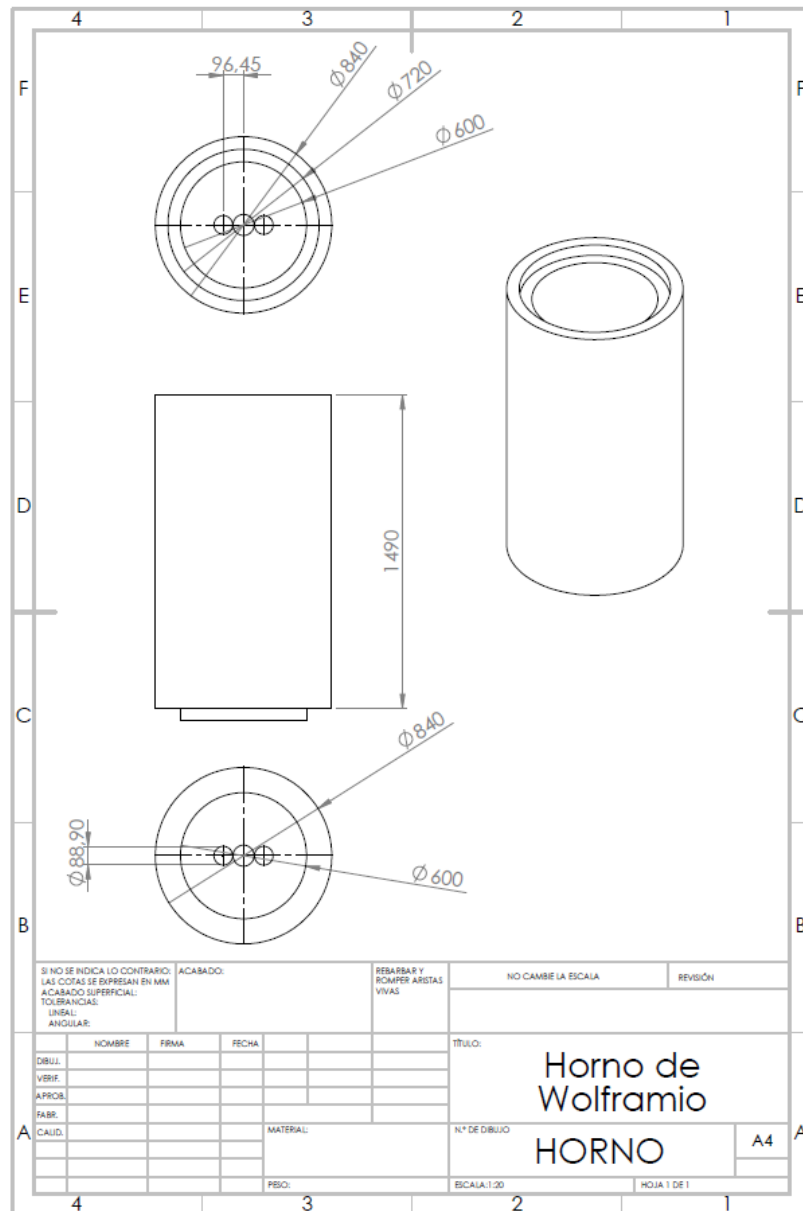


Figura 4 Tapa, diseño de la tapa del horno, fuente propia

En la figura anterior se puede notar que esta sería la tapa del horno, este está proporcionado por 2 orificios que cumplen tres funciones. Una de ellas es la disipación o mejor dicho serían los conductos donde saldría el calor gracias al sistema de ventilación que está ubicado en el inferior del horno. Otras de las funciones servirán a los hoyos como visores para ver cómo está el material y si este se derritió. La última función sería para quitar la tapa con unos ganchos ya mencionados, se introducen por los huecos y gracias a ellos se puede quitar o poner la tapa del horno para el alcance del material por fundir.



*Figura 5 Horno, diseño del horno y las paredes del mismo, fuente propia*

En el diseño del horno que se presenta (ver la figura 5) se pueden ver la dimensiones del horno, un detalle por destacar son las dos paredes que lo conforman. La primera pared desde el centro para afuera es de carburo de tántalo. Y la segunda pared está hecha de arcilla refractaria y carburo de hafnio para hacer un tipo de masa que daría un sellado completo del calor dentro del horno.

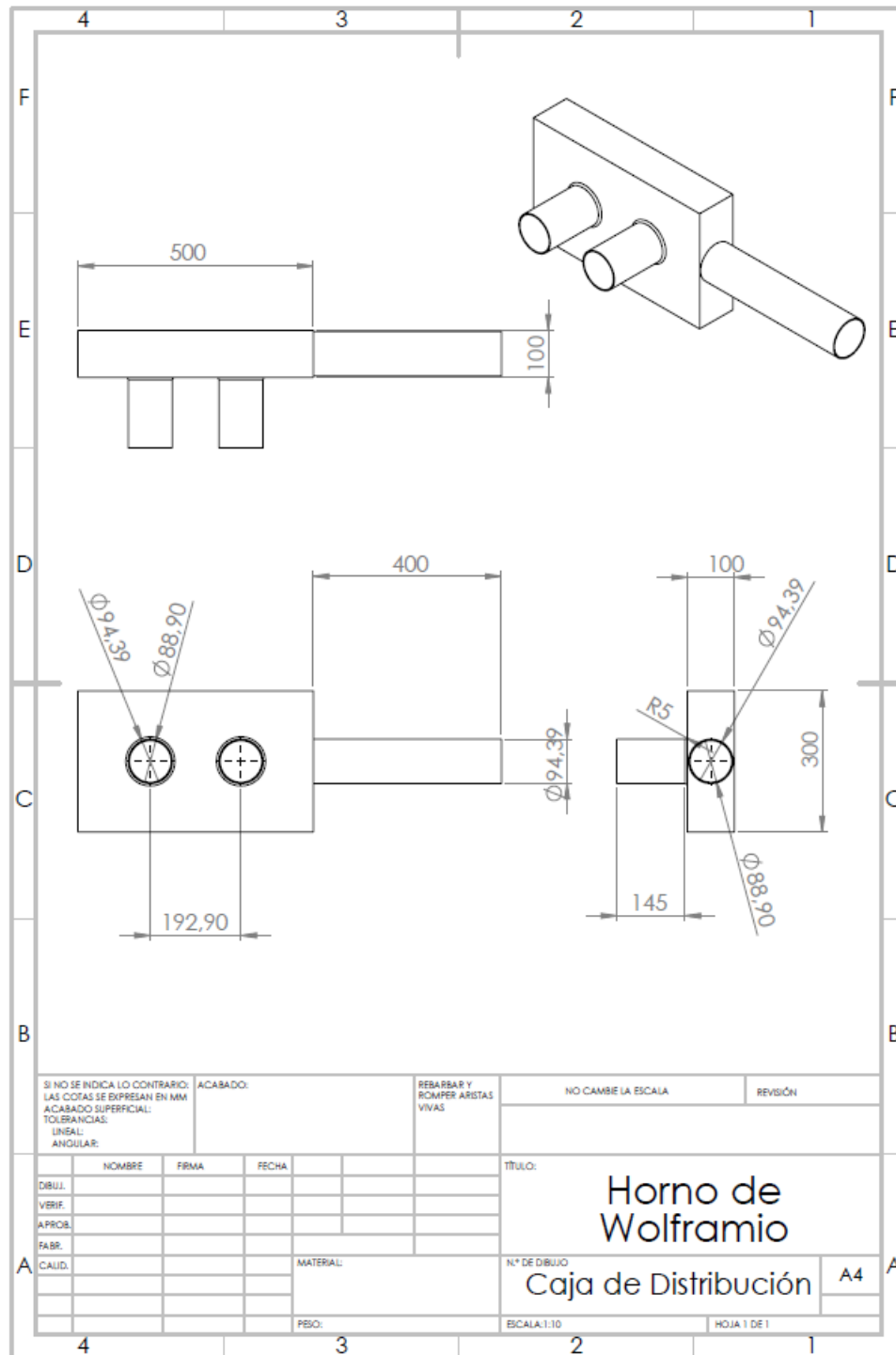


Figura 6 Caja de distribución, diseño de caja de distribución del aire refrigerante, fuente propia

La figura 6 nos muestra el sistema que va a estar ubicado por debajo del horno, este daría la facilidad de ventilar las boquillas del oxiacetilénico.





### 3.1.7. Equipo del oxiacetilénico

El equipo de oxiacetilénico va a constar de:

- 2 x Mango de la antorcha
- 2 x Regulador de oxígeno
- 2 x Regulador de acetileno
- 2 x Accesorio de corte
- 2 x Boquilla de corte
- 2 x Boquillas de soldadura
- 2 x Tanque de oxígeno
- 2 x Tanque de acetileno
- 2 x Manguera doble 15 'x 1/4 "Manguera de soldadura
- 2 x Manguera de 7 m de largo con acoples macho y hembras

Este sistema de oxiacetilénico a diferencia de los convencionales es la última manguera utilizada para poder introducirla a través del sistema de ventilación y llegar al centro del horno para calentar el crisol. Se usan 2 de cada una porque son 2 boquillas, pero por precaución es mejor dividir los sistemas de la llama.



*Figura 9 Equipo de corte de acetileno, ebay.com*



*Figura 10 Manguera de 7 m para el oxícorte, ebay.com*

En la figura de arriba, está la manguera que iría después de la antorcha para transportar el oxígeno y al acetileno hasta las boquillas de corte que son las que llegan a mayor

temperatura. La figura siguiente es la boquilla que se usaría para poder llegar a las temperaturas deseadas y la única útil para el trabajo por desempeñar



*Figura 11 Puntas de oxicorte, ebay.com*



*Figura 12 Tanques de oxígeno y acetileno para su uso en corte, ebay.com*

### **3.2. Equipo de trabajo**

El equipo de trabajo para la realización de este proyecto es fundamental, se necesita un personal de calidad y calificado para como requerimiento básico delo proyecto para trabajar en esta área específica.

Este equipo se conforma por el estudiante Josué Torres Rojas como Ingeniero Mecánico para el diseño completo del horno de fundición de wolframio, Mildred Sánchez como coordinadora del proyecto del diseño y metalúrgica para corroborar el material de la carcasa que soporte las paredes del horno. El químico José Yáñez con un doctorado en química , por su dominio del tipo de combustible por usar.

### 3.3.Cronograma

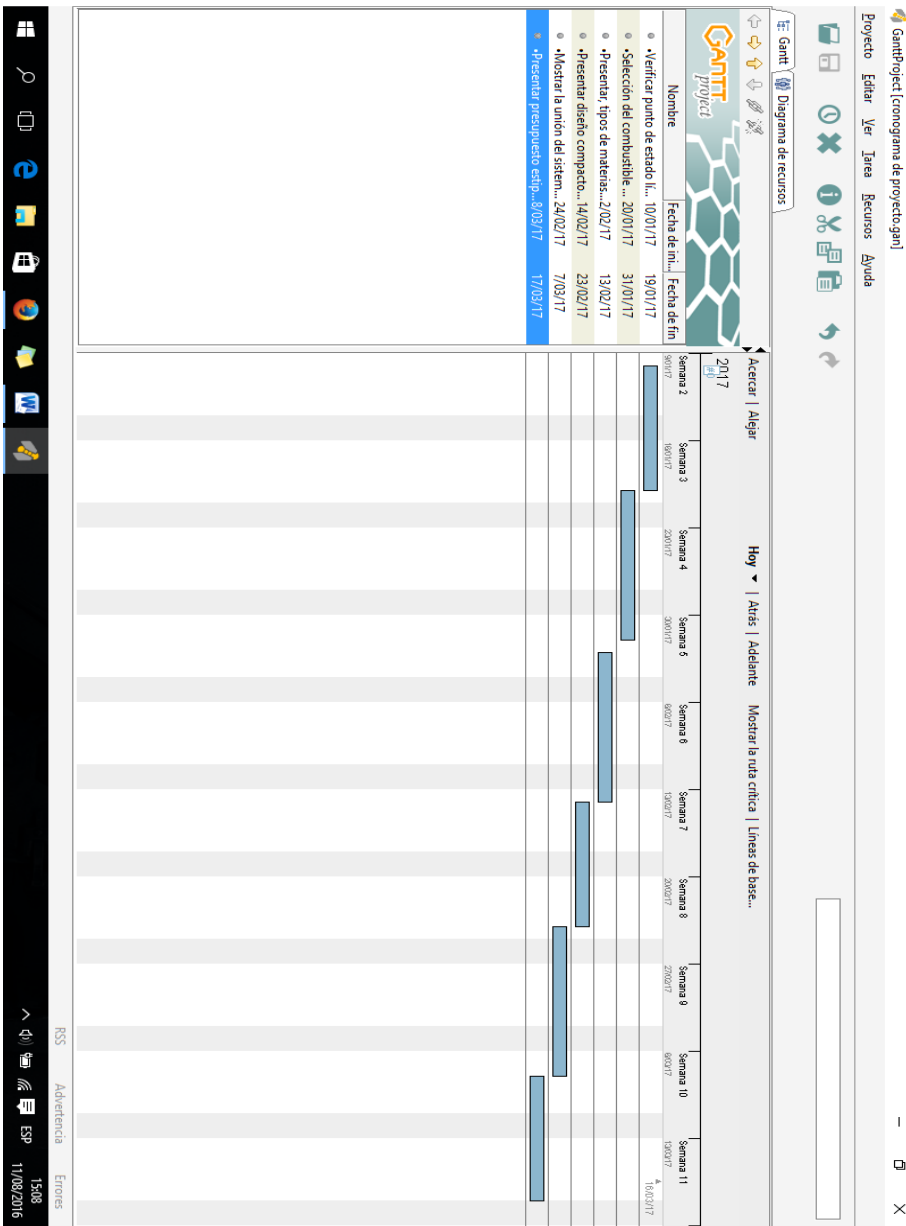


Figura 13: Figura de cronograma, propia, se da la imagen de cómo se aborda el tiempo de ejecución del proyecto, fuente propia.

### 3.4. Presupuesto

**Tabla 3** Tabla de presupuesto, propia, se da el desglose del presupuesto para la aplicación de proyecto, fuente propia

Rubro	Unidad de Medida	Costo por unidad de medida	Cantidad	Remuneraciones	Servicios	Materiales y suministros	Bienes duraderos	Total
Responsable del proyecto	Semanas	138750	16	€ 2.220.000,00				€ 2.220.000,00
Servicios Básicos (Agua, energía, internet, teléfono)	Semanas	15000	16		€ 240.000,00			€ 240.000,00
Materiales de oficina (Papel, lapiceros, Impresiones , etc)	Semanas	5000	16			€ 80.000,00		€ 80.000,00
Transporte	Semanas	15000	16		€ 240.000,00			€ 240.000,00
Alquiler de local	Semanas	95000	16		€ 1.520.000,00			€ 1.520.000,00
Unidades de Computo	Semanas	500000	1				€ 500.000,00	€ 500.000,00
(Materia Prima I)	Unidad	x	1			x		
(Materia Prima II)	Unidad	x	1			x		
Consumibles del proyecto	Semanas	60000	16			€ 960.000,00		€ 960.000,00
	Unidad	x	1				x	
Licencias de Software "Microsoft, Simulador, Matlab, Minilab, Proyect, etc"	Unidad	750000	1				€ 750.000,00	€ 750.000,00
Varios	Unidad	x	1			x		
<b>Total</b>				2.220.000,00	2000000	1040000	1.250.000,00	€ 6.510.000,00

Los costos de material primario y secundario no se ven contemplados por el motivo de que el proyecto solo va a ser diseño mecánico del mismo. Lo que hay que destacar es que el proyecto al ser meramente experimental, a la empresa que se le brinda este servicio, es la Universidad Latina. Si el proyecto se desea comprobar, sí es posible poder hacer la fundición de wolframio, aunque en esta investigación solo se ve en la tabla de costos meramente confeccionada solo para el diseño e investigación del proyecto y como propuesta para llevarse a la práctica.

#### 4. Conclusiones

Sí se pudo diseñar un horno para wolframio que pueda aguantar las temperaturas que estaba predispuestos, se analizó según los estudios que el wolframio se funde exactamente a  $3420^{\circ}\text{C}$  gracias a esto se define que el combustible por usar es el oxiacetilénico porque su llama llega a  $3300^{\circ}\text{C}$  dándonos  $100^{\circ}\text{C}$  más de lo estipulado. Se selecciona el TaC , HfC , el Hafnio, Nitrógeno y Carbón porque estos tres compuestos sus temperaturas rondan más de los  $3500^{\circ}\text{C}$  que esto nos permitiría resistir las temperaturas del horno.

Se diseña el horno con capacidades no mayores a 10kg ,ya que es un horno meramente para usos de pequeñas cantidades de este material. La unión entre los sistemas fue un éxito en el diseño porque este se ve que si se quiere se puede hacer con materiales conocidos en la industria solo que no muy usados. Los materiales más críticos son los refractarios de las paredes pero gracias a sus condiciones químicas y físicas nos dieron la oportunidad de ver que el horno si va a resistir el calor de trabajo del mismo. Conforme a la viabilidad de diseñar el horno según los cálculos el horno si es viable para hacerlo físicamente pero la viabilidad económica no se contempla por el motivo que la investigación es enfocada en el diseño no en los costos.

Se puede decir que el proyecto estipulado no se puede ejecutar por el motivo que si el wolframio es cien por ciento este tiene una temperatura de  $3420^{\circ}\text{C}$ ; por los medios de la llama de oxiacetilénico la llama solo llegaría a una temperatura de  $3300^{\circ}\text{C}$  y por este motivo no se podría fundir el metal. Lo que hay destacar es que si existen compuestos que pueden llegar a mayores temperaturas que el wolframio, que sirven como refractarios y gracias a esto se puede diseñar las paredes del horno para este proyecto. Las entradas de aire para el proyecto solo son específicas para la refrigeración de las boquillas para que estas no se derritan por el calor que es necesario llegar para fundir el wolframio.

## 5. Recomendaciones

Para las recomendaciones de este proyecto es necesario hacer un estudio de pureza necesaria del wolframio para bajarle el punto de fusión para que este metal pueda ser fundido. Lo que si hay que valorar la temperatura del horno en la cual se va a fundir para poder saber la cantidad de impureza del wolframio y que este se funda a menores temperaturas. Una de las ventajas de este proceso de bajar la impureza es que el compuesto mantendría las características del tungsteno si este está en mayor concentración que el otro material a adicionar.

Otra de las recomendaciones es que si se quiere cambiar las paredes u otro de los materiales del horno no se podría por el motivo de que los materiales son los que presentan mayores temperaturas de fundición y si se varían las paredes se volvería inservibles. Lo que se recomienda es que si no se quiere variar demasiado el sistema solo sería agregar un poco de impureza al material este logrando bajar el punto de fundición del metal.

El punto más importante es la ventilación en este horno por el motivo de que las boquillas de calentamiento necesitan estar refrigeradas para que estas no se derritan y puedan seguir cumpliendo el trabajo ya predispuesto. Las boquillas que se van a usar son de oxicorte, otro tipo de boquilla se podrían estar más expuestas a que se puedan derretir o que otro tipo de boquilla no llegue a la temperatura deseada.



## 5. Bibliografía

- Cegel, Y. A. (2007). *transferencia de calor y masa*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Enfermedades, A. p. (6 de mayo de 2016). *Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades*. Obtenido de Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades : [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs186.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs186.html)
- guanochanga, a. p. (25 de octubre de 2013). *diseño y elaboración de ladrillo refractario (22x11x6) empleando materias primas nacionales utilizados en la construcción, mantenimiento y reparaciones de los hornos de crisol y cubilote. diseño y elaboración de ladrillo refractario (22x11x6) empleando materias primas nacionales utilizados en la construcción, mantenimiento y reparaciones de los hornos de crisol y cubilote*. sangolqui, sangolqui, Ecuador: universidad de las fuerzas armadas espe.
- Handbook, A. (2008). *ASM Handbook - casting (vol 15)*. Atlanta: ASM international.
- Hernández Beltrán, E. G. (2014). *Diseño y construcción de un horno de crisol para fundición escultórica de bronce*. salvador: universidad del salvador.
- Hong, Q.-J. (27 de julio de 2015). *PHYSICAL REVIEW B*. Recuperado el 7 de julio de 2017, de *PHYSICAL REVIEW B*: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.92.020104>
- INDUSTRIAL, F. I. (15 de febrero de 2008). *escuela colombiana de ingeniería*. Obtenido de escuela colombiana de ingeniería: [http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/9627\\_fundicion.pdf](http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/9627_fundicion.pdf)
- López, j. e. (2012). *Desarrollo de un Sensor Fotónico para la medición de temperatura de llamas en procesos de combustión, usando técnicas espectrales avanzadas*. concepción: universidad de concepción .
- Muñoz Muñoz, R. J. (2007). *Soldadura oxiacetilénica*. Buenos Aires: El Cid Editor.
- press, e. (22 de diciembre de 2016). *cienciaplus*. Recuperado el 5 de agosto de 2017, de *cienciaplus*: <http://www.europapress.es/ciencia/laboratorio/noticia-nuevo-record-mundial-material-mas-resistente-calor-20161222132716.html>
- Saloro. (30 de mayo de 2015). *saloro*. Obtenido de saloro: [http://saloro.com/es/tungsten/about-tungsten/tungsten\\_properties](http://saloro.com/es/tungsten/about-tungsten/tungsten_properties)
- Schafer, J. A. (17 de junio de 2013). *soldadura oxiacetileno*. Obtenido de soldadura oxiacetileno: [http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/pro\\_ma/22.pdf#page=35&zoom=auto,-185,122](http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/pro_ma/22.pdf#page=35&zoom=auto,-185,122)

UMSS. (2006). *ing mecanica- tecnologia mecanica* . Cochabamba : UMSS – Facultad de Ciencias y Tecnología.

Vargas, L. A. (27 de septiembre de 2006). *angelfire.com*. Obtenido de *angelfire.com*:  
<http://www.angelfire.com/dc2/tpiwm/downloads/oxiacetileno.pdf>

White, F. M. (2004). *Mecánica de fluidos*. madrid: McGraw-Hill España.

## 6. Anexos

*Tabla 4 Temperatura típica de llamas, en esta tabla se especifica cada temperatura de según cada combustible*

Tabla 1: Temperaturas Típicas de Llamas	
material quemado	temperatura de llama [C]
Carbón	750-1200
Metano	900-1500
Soplete de propano	1200-1700
Vela	1100-1700
Magnesio	1900-2300
Soplete de hidrogeno	2000
Gas MAPP	2020
Gas licuado (GLP)	Hasta-1970
Soplete de acetileno	Hasta-2300
Oxiacetileno	Hasta-3300
Mechero bunsen	900-1600
Madera	1027
Gasolina	1026
Metanol	1200
Kerosene	900
Grasa natural	800-900



*Figura 14 Pieza de wolframio, laboratorio Bergara*

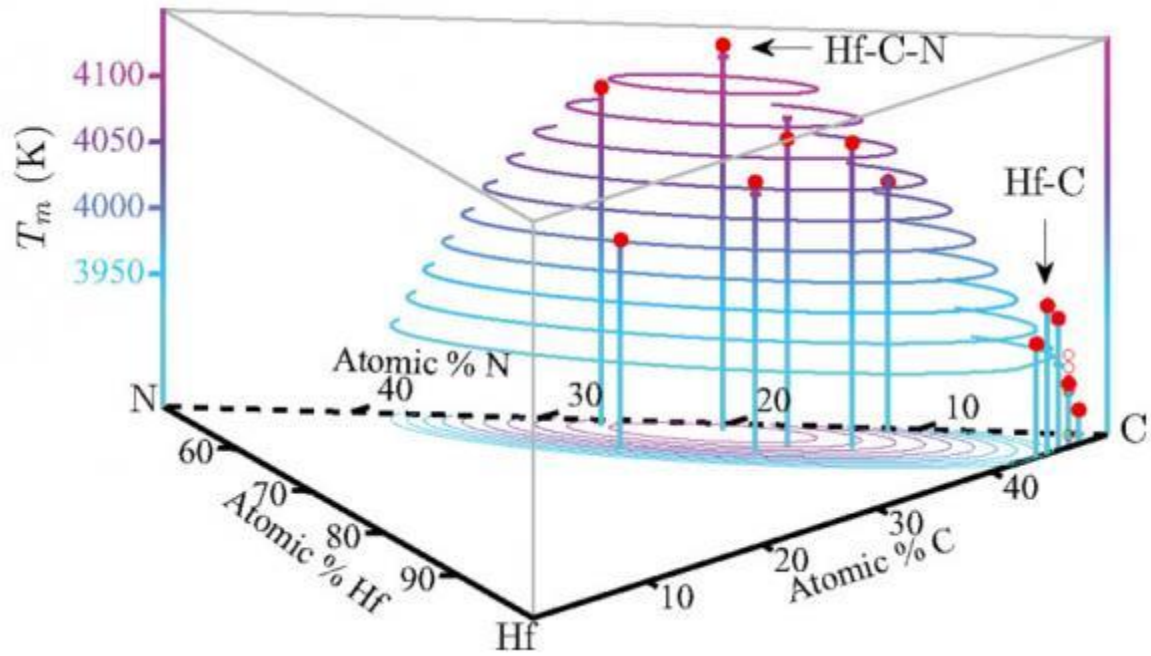


Figura 15 Esquema de temperaturas, especificación teórica de temperaturas de materiales a usar Van de Walle lab/Brown University

Material	Densidad, $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica, $k$ , W/m · K	Calor espe- cifico, $c_p$ J/kg · K
Asfalto	2 115	0.062	920
Baquelita	1 300	1.4	1 465
Ladrillo refractario			
Ladrillo de cromita			
473 K	3 010	2.3	835
823 K	—	2.5	—
1173 K	—	2.0	—
Arcilla refractaria cocida			
1600 K	—	—	—
773 K	2 050	1.0	960
1073 K	—	1.1	—
1373 K	—	1.1	—
Arcilla refractaria cocida			
1725 K	—	—	—
773 K	2 325	1.3	960
1073 K	—	1.4	—
1373 K	—	1.4	—
Ladrillo de arcilla refractaria			
478 K	2 645	1.0	960
922 K	—	1.5	—
1478 K	—	1.8	—
Magnesita			
478 K	—	3.8	1 130
922 K	—	2.8	—

Figura 16 Tabla de referencia de materiales refractarios, conductividad térmica de los materiales refractarios,  engel, Yunus A, pág.853

Tabla 5 Tabla de diámetros para tubería de ventilación, PCM steel

CAÑERIAS DE ACERO ASTM IMEL					
NORMA ASTM A-53 SCH 40 GRADO A Y B					
Diámetro Nominal	Diámetro Exterior (D)	Espesor Nominal	Peso Teórico	Presión de Prueba Kg/cm <sup>2</sup>	
pulg.	mm.	mm(e).	Kg/m.	Grado A	Grado B
1/8	10,3	1,73	0,37	49,2	49,2
1/4	13,7	2,24	0,63	49,2	49,2
3/8	17,1	2,31	0,84	49,2	49,2
1/2	21,3	2,77	1,27	49,2	49,2
3/4	26,7	2,87	1,69	49,2	49,2
1	33,4	3,38	2,5	49,2	49,2
1 1/4	42,2	3,56	3,39	84,4	91,4
1 1/2	48,3	3,68	4,05	84,4	91,4
2	60,3	3,91	5,44	161,7	175,8
2 1/2	73	5,16	8,63	175,8	175,8
3	88,9	5,49	11,29	156,1	175,8
4	114,3	6,02	16,07	133,6	155,4
6	168,3	7,11	28,26	106,9	125,1

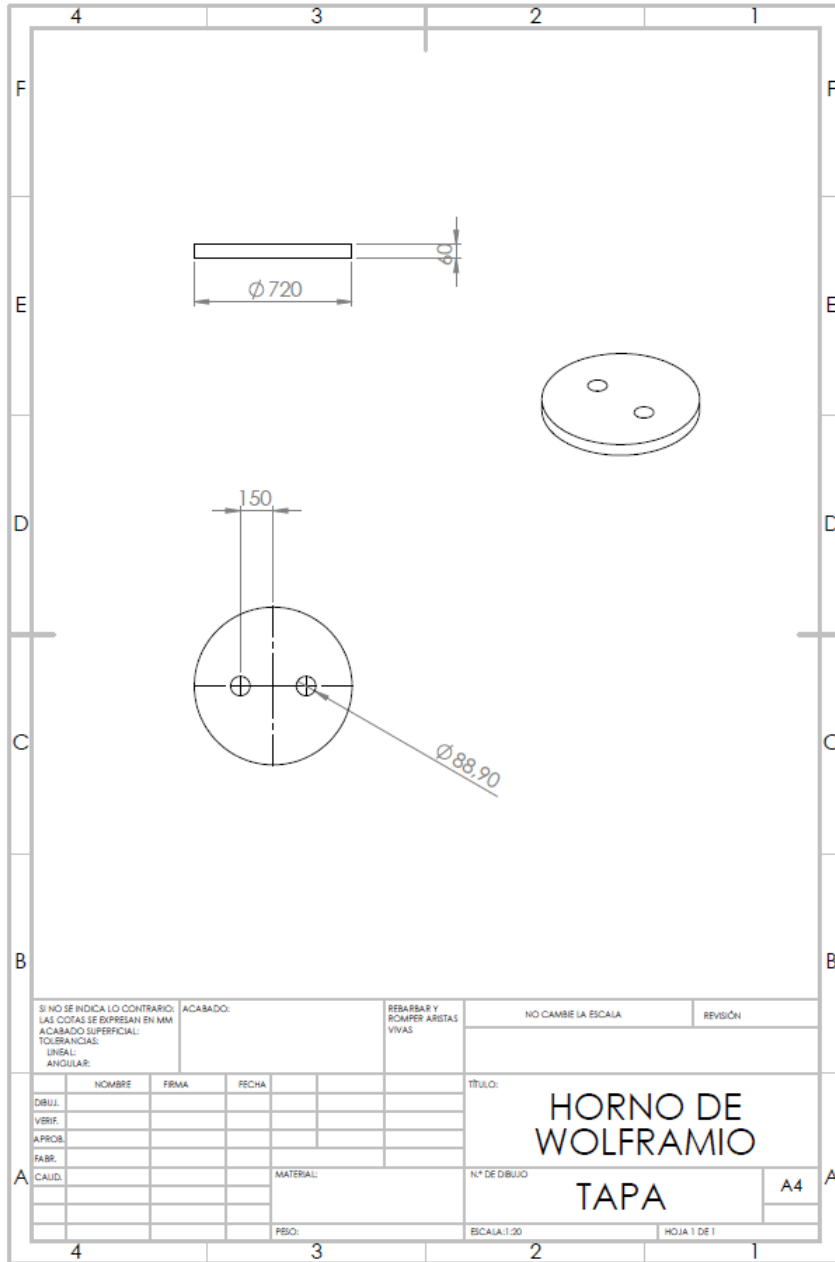


Figura 17 Tapa, diseño de la tapa del horno, fuente propia



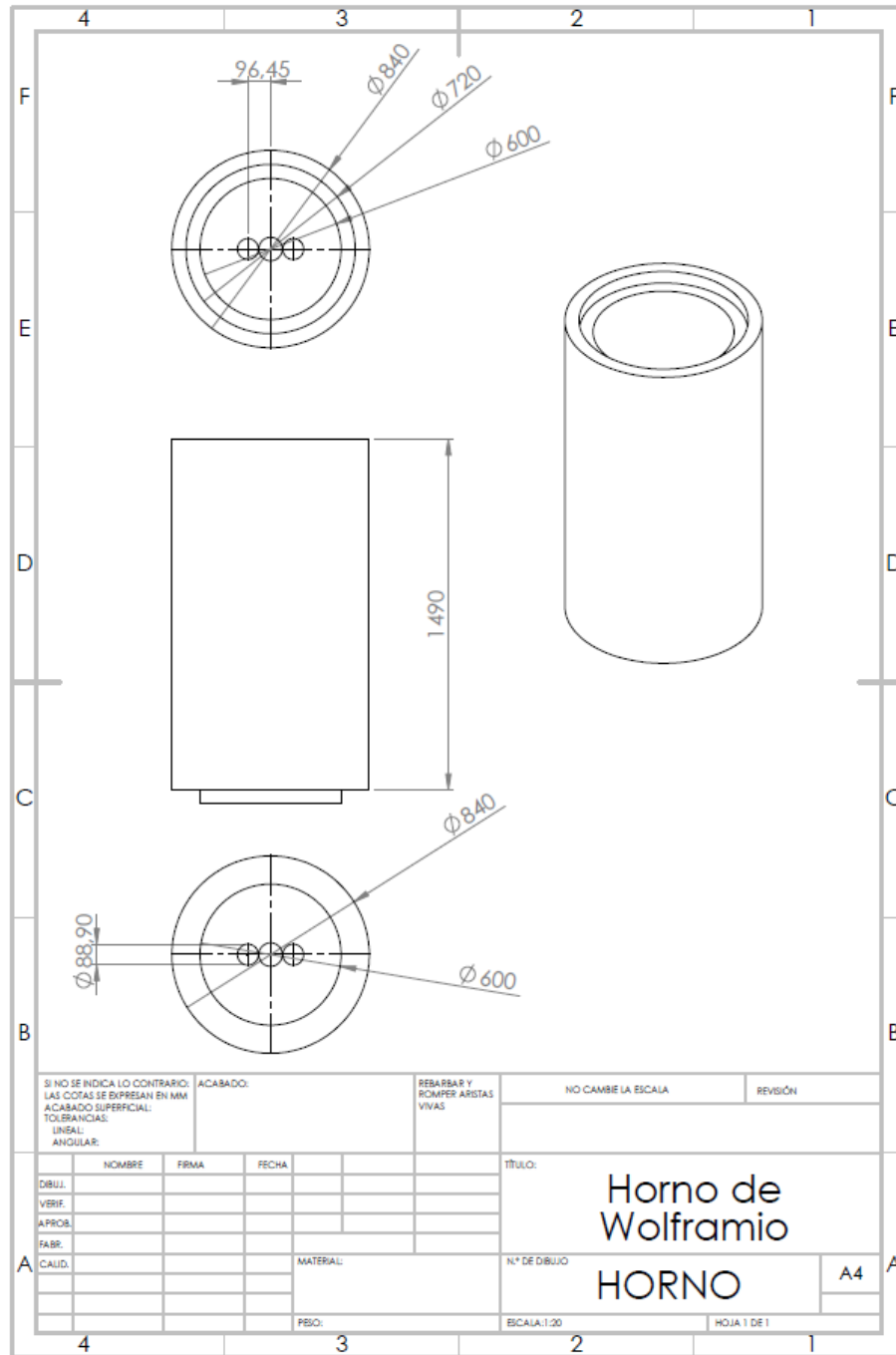


Figura 18 Horno, diseño del horno y las paredes del mismo, fuente propia



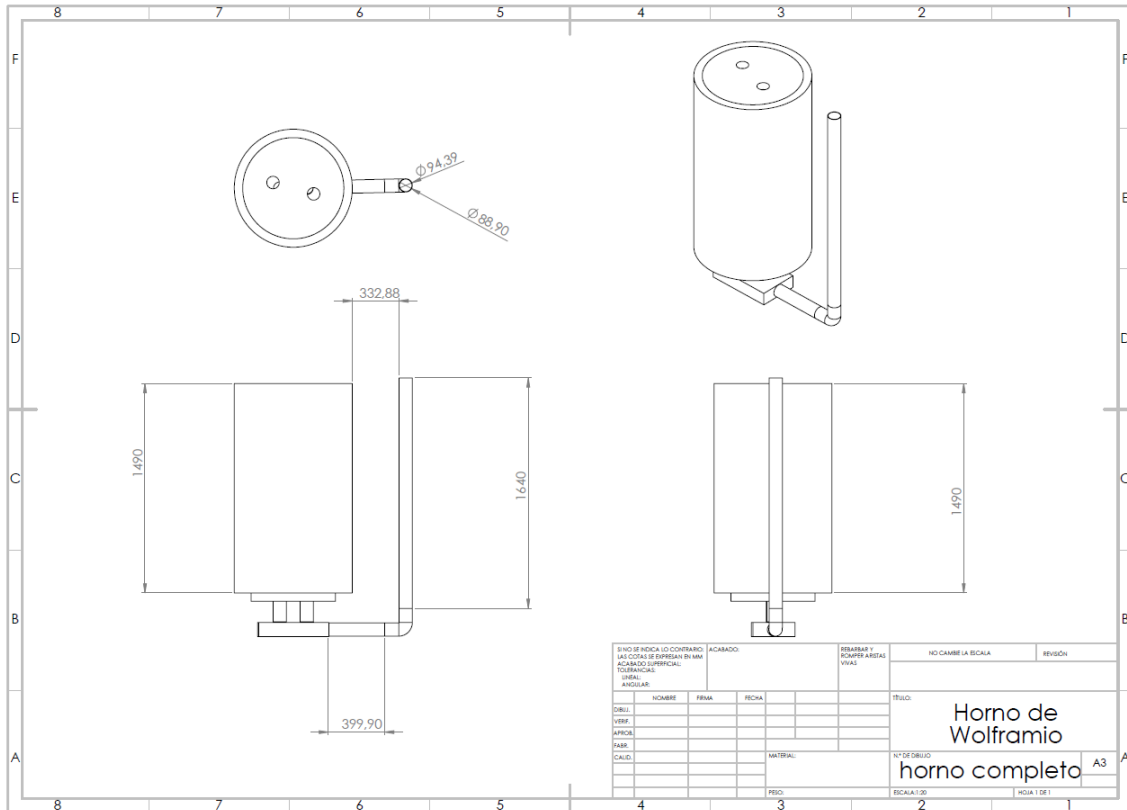
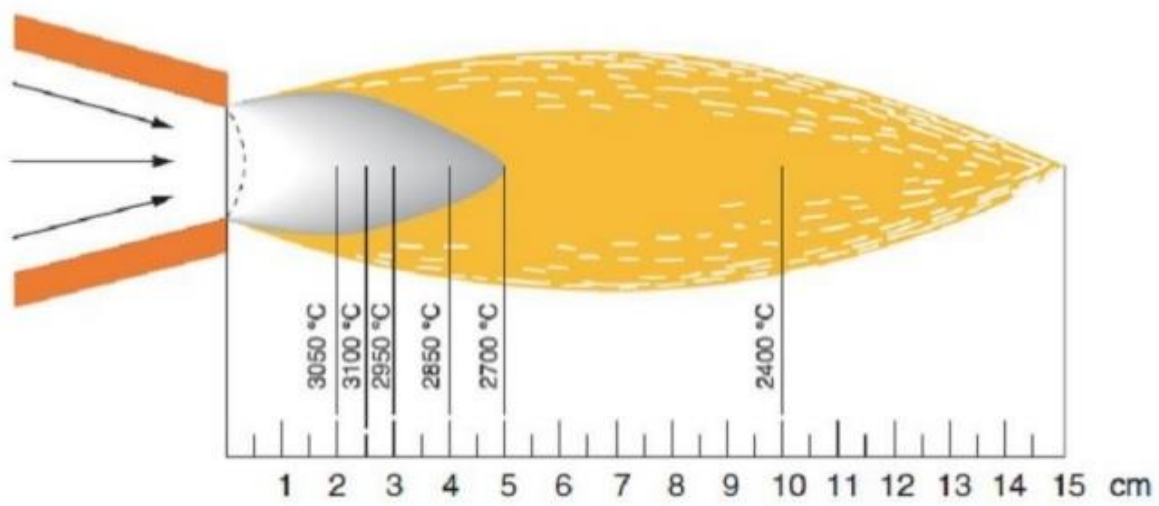


Figura 20H horno completo, diseño de todas las partes unidas, fuente propia



*Figura 21 Llama de oxiacetilénica, es la distancias de la llama y sus temperaturas,*



Figura 22 Equipo de corte de acetileno, ebay.com



Figura 23 Manguera de 7 m para el oxicorte, ebay.com



Figura 24 Puntas de oxicorte, ebay.com



Figura 25 Tanques de oxígeno y acetileno para su uso en corte, ebay.com



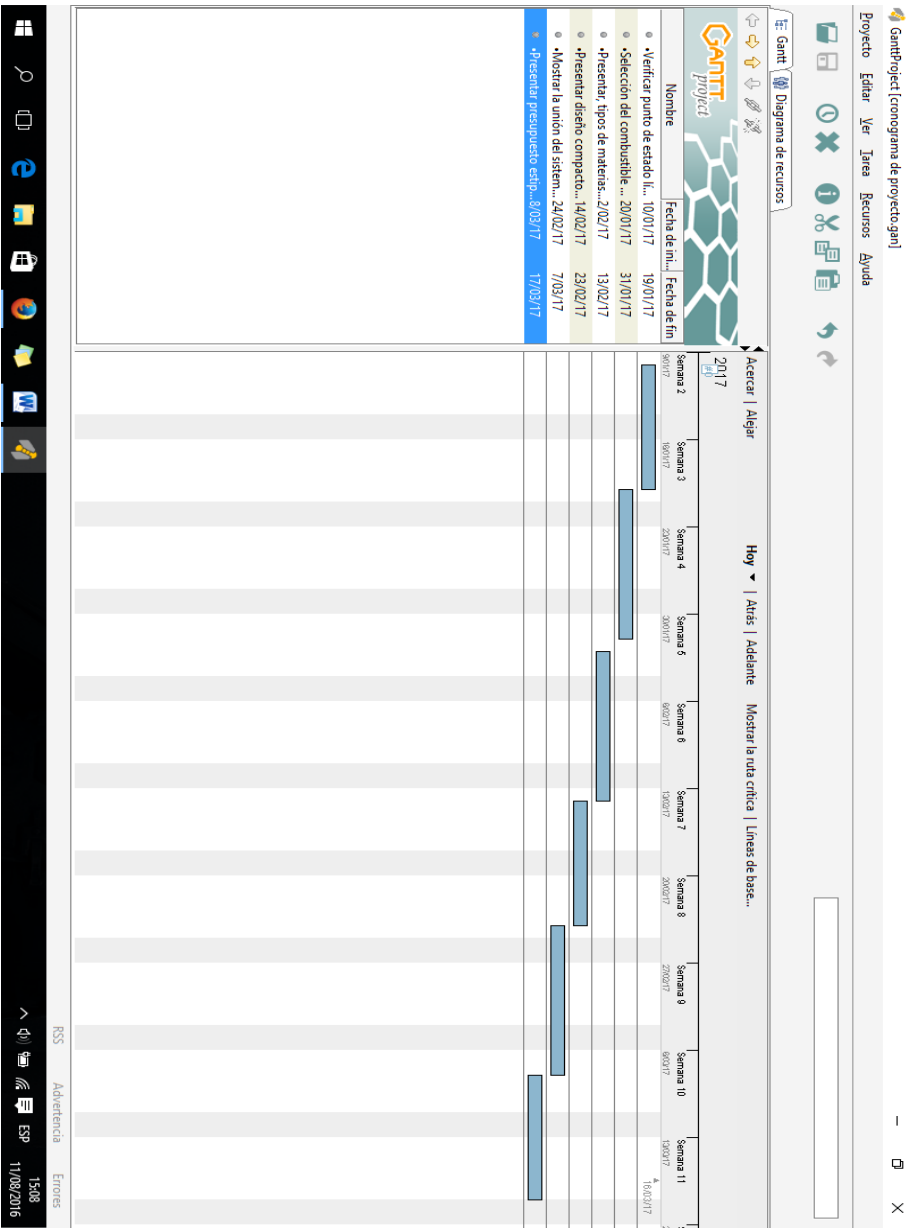


Figura 26: Figura de cronograma, propia, se da la imagen de cómo se aborda el tiempo de ejecución del proyecto, fuente propia

**Tabla 6** Tabla de presupuesto, propia, se da el desglose del presupuesto para la aplicación de proyecto, fuente propia

Rubro	Unidad de Medida	Costo por unidad de medida	Cantidad	Remuneraciones	Servicios	Materiales y suministros	Bienes duraderos	Total
Responsable del proyecto	Semanas	138750	16	€ 2.220.000,00				€ 2.220.000,00
Servicios Básicos (Agua, energía, internet, teléfono)	Semanas	15000	16		€ 240.000,00			€ 240.000,00
Materiales de oficina (Papel, lapiceros, Impresiones, etc)	Semanas	5000	16			€ 80.000,00		€ 80.000,00
Transporte	Semanas	15000	16		€ 240.000,00			€ 240.000,00
Alquiler de local	Semanas	95000	16		€ 1.520.000,00			€ 1.520.000,00
Unidades de Computo	Semanas	500000	1				€ 500.000,00	€ 500.000,00
(Materia Prima I)	Unidad	x	1			x		
(Materia Prima II)	Unidad	x	1			x		
Consumibles del proyecto	Semanas	60000	16			€ 960.000,00		€ 960.000,00
	Unidad	x	1				x	
Licencias de Software "Microsoft, Simulador, Matlab, Miniab, Proyect, etc"	Unidad	750000	1				€ 750.000,00	€ 750.000,00
Varios	Unidad	x	1			x		
Total				2.220.000,00	2000000	1040000	1.250.000,00	€ 6.510.000,00