

**Universidad
Autónoma
Metropolitana**



Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

Licenciatura en Ingeniería Mecánica

Proyecto Tecnológico

Diseño de un tostador de café por aire caliente

Sergio Ibarra Moreno

Matrícula: 210202397

Rocío Luna Ramos

Matrícula: 2133001726

Asesores:

M. en C. Alejandro León Galicia

Ing. Mauricio Cano Blanco

Programa de Desarrollo Profesional en Automatización, UAM-A

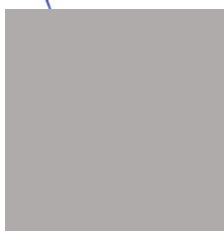
Trimestre 2018 Invierno

Abril de 2018, Ciudad de México

Yo, MAURICIO CANO BLANCO, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Yo, ALEJANDRO LEÓN GALICIA, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Yo, SERGIO IBARRA MORENO, doy mi autorización a la Coordinación de Servicios de Información de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Yo, ROCÍO LUNA RAMOS, doy mi autorización a la Coordinación de Servicios de Información de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



AUTORIZACIÓN DE INSCRIPCIÓN A PROYECTO DE INTEGRACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA

PI-A-MEC

Trimestre en que se autoriza la propuesta: 17 P Fecha: 24/07/2017 PI-A-MEC 022/17

DATOS DEL ALUMNO

Nombre: Rocio Luna Ramos Matrícula: 2133001726

Correo personal: lunaramosrocio@gmail.com

ASESOR RESPONSABLE / DATOS DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Empresa: M. en C. Alejandro León Galicia

No. económico: 5741 Adscripción/Departamento/Sección: Departamento de Energía

Área de investigación: Programa de Desarrollo Profesional en Automatización

Correo institucional: alg@correo.azc.uam.mx

COASESOR O ASESOR EXTERNO / JEFE O RESPONSABLE LEGAL DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Jefe o Responsable legal: Ing. Mauricio Cano Blanco

No. económico/Teléfono: 35548 Adscripción/Puesto: Departamento de Energía

Área de investigación/Departamento: Programa de Desarrollo Profesional en Automatización

Correo electrónico: mcb@correo.azc.uam.mx

MODALIDAD DEL PROYECTO

Proyecto tecnológico Proyecto de investigación Estancia profesional Experiencia profesional

TÍTULO DEL PROYECTO

Diseño de un tostador de café por aire caliente

Proyecto de Integración asociado a un Proyecto de Investigación: No Si Clave (?):


OBJETIVO GENERAL


Diseñar una maquina para tostar lotes de 4 kg de granos de café verde, por medio de aire caliente.

UNIDADES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE ASOCIADAS AL PROYECTO DE INTEGRACIÓN

Clave	UEA	UEA Autorizada	Vigencia
1100118	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I	81	Inicio
1100128	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica II		17 O Termino
1100138	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Mecánica		18 I

Nombre y firma del Coordinador de Estudios


Ing. Romy Pérez Moreno



Originales: Coordinador de Estudios; Coordinación de Sistemas Escolares.
Copias: Alumno, Asesor(es).

Revisión: Febrero 2016

AUTORIZACIÓN DE INSCRIPCIÓN A PROYECTO DE INTEGRACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA

PI-A-MEC

Trimestre en que se autoriza la propuesta: 17 P

Fecha: 24/07/2017

PI-A-MEC 022/17

DATOS DEL ALUMNO

Nombre: Sergio Ibarra Moreno

Matrícula: 210202397

Correo personal: Sergioibarraim@gmail.com

ASESOR RESPONSABLE / DATOS DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Empresa: M. en C. Alejandro León Galicia

No. económico: 5741 Adscripción/Departamento/Sección: Departamento de Energía

Área de investigación: Programa de Desarrollo Profesional en Automatización

Correo institucional: alg@correo.azc.uam.mx

COASESOR O ASESOR EXTERNO / JEFE O RESPONSABLE LEGAL DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Jefe o Responsable legal: Ing. Mauricio Cano Blanco

No. económico/Teléfono: 35548 Adscripción/Puesto: Departamento de Energía

Área de investigación/Departamento: Programa de Desarrollo Profesional en Automatización

Correo electrónico: mcb@correo.azc.uam.mx

MODALIDAD DEL PROYECTO

Proyecto tecnológico Proyecto de investigación Estancia profesional Experiencia profesional

TÍTULO DEL PROYECTO

Diseño de un tostador de café por aire caliente

Proyecto de Integración asociado a un Proyecto de Investigación: No Sí Clave (2):

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una maquina para tostar lotes de 4 kg de granos de café verde, por medio de aire caliente.

UNIDADES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE ASOCIADAS AL PROYECTO DE INTEGRACIÓN

Clave	UEA	UEA Autorizada	Vigencia
1100118	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I	SI	Inicio
1100128	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica II		17 O Termino
1100138	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Mecánica		18 I

Nombre y firma del Coordinador de Estudios



Resumen

Se diseñó una máquina para tostar 2,5 kilogramos de café verde en no más de 12 minutos, por medio de aire caliente. La cámara de tostado está constituida por dos tambores concéntricos horizontales, que giran de forma simultánea impulsados por un motor de corriente directa de 300 W. La carga de granos se deposita en el recipiente interior y el arreglo de doble tambor previene el contacto directo de los granos con las superficies calientes.

El aire se calienta por medio de un quemador de tipo soplete, que utiliza gas licuado de petróleo y proporciona 10 kW de calor. Para promover el flujo del aire caliente dentro del tostador se emplea un extractor de gases, conectado en la salida de un separador ciclónico que además extrae los residuos sólidos generados por el proceso de tostado. La medición de la temperatura se realiza en la parte inferior de la cámara interna, empleando un termopar tipo K y una tarjeta Arduino con un shield con pantalla LCD.

La alimentación de los granos verdes a la cámara de tostado se hace a partir de una tolva. Al término del tueste los granos salen a una tina de enfriamiento con paletas mezcladoras, donde se enfrían con un flujo de aire libre hasta alcanzar la temperatura ambiente.

Se elaboraron los dibujos de detalle de cada componente y los planos de ensamble correspondientes.

Tabla de contenidos

1.	Introducción	1
2.	Antecedentes y marco teórico	3
3.	Justificación	7
4.	Objetivos.....	9
4.1	Objetivo General	9
4.2	Objetivos Particulares	9
5.	Marco teórico.....	11
5.1	Variedades de tostado	11
5.2	Etapas del proceso de tostado.....	12
5.3	Tipos de máquinas tostadoras	14
6.	Desarrollo del proyecto.....	17
6.1	Caracterización de los granos de café verde GCV	17
6.2	Caracterización experimental del desplazamiento de los granos.	19
6.2.1	Registro de las variables de mezclado.	21
7.	Propuesta inicial de diseño del tostador.....	23
7.1	Arreglo general.....	23
7.2	Selección del motor primario.....	25
7.3	Diseño del eje de la cámara de tostado.....	25
7.4	Selección de los rodamientos y chumaceras.....	27
8.	Sistema de calentamiento	31
8.1	Relación aire combustible	31
8.2	Tiro	32
8.3	Gases combustibles.....	33
8.4	Quemadores de gas.....	33
8.4.1	Quemador atmosférico.....	33

8.4.2 Quemador de alta presión.....	34
8.4.3 Quemador de baja presión.....	34
8.5 Cálculo de la potencia de los quemadores	35
8.5.1 Balance de masa.	36
8.5.2 Balance de energía.	38
8.4 Selección del sistema de combustión	41
9. Diseño de la tina de enfriamiento	43
10. Extracción de la cascarilla y los gases de la cámara.....	45
10.1 Eficiencia de un ciclón.....	46
11. Estructura de la máquina	47
11.1 Estructura de la cámara de tostado	47
11.2 Estructura de soporte para la cámara y la tina de enfriamiento.....	48
11.3 Tolva	50
11.4 Aislante	51
11.5 Alabes	52
12. Sistema de control	53
12.1 Medición de la temperatura.....	54
12.1.1 Termopares.....	54
12.1.2 Tiempo de reacción del termopar.	54
12.1.3 Ubicación y tipo del termopar.....	55
12.2 Conexión del termopar y la placa Arduino	55
12.2.1 Conexión del sistema.....	56
12.2.2 Programación de la placa Arduino.	57
13. Resultados	59
13.1 Dimensiones de la maquina.....	59
Proceso de tueste:	60
14. Análisis y discusión de resultados	63
15. Conclusiones	65
16. Glosario.....	¡Error! Marcador no definido.
17. Bibliografía.....	67
Anexo A.1 Dibujos de detalle de la cámara de pruebas.	
Anexo B.1 Diseño del eje.	
Anexo B.2 Tablas utilizadas en el diseño del eje.	

Anexo B.3 Cotización de los posibles motores para la máquina tostadora.

Anexo C.1 Dibujos de detalle de la cámara de tostado, elementos de sujeción y ejes.

Anexo D.1 Catálogo de selección del quemador.

Anexo E.1 Dibujos de detalle de la tina de enfriamiento.

Anexo F.1 Dibujos de detalle del ciclón extractor de gases.

Anexo G.1 Códigos de perfiles y elementos de sujeción para la estructura inferior.

Anexo G.2 Dibujos de detalle de la estructura inferior.

Anexo G.3 Dibujos de detalle de la estructura superior.

Entregables. Planos de ensamble.

Índice de Figuras

Figura 1. Granos de café tostado y café verde.....	1
Figura 2. Envasado de 69 kg de granos verdes en bolsas.....	3
Figura 3. Tostador de tambor clásico.	4
Figura 4. Tipos de tueste comercializados en Norteamérica.....	12
Figura 5. Izquierda: masa de granos verde en 500 ml.	18
Figura 6. Dimensiones del modelo de la cámara de mezclado; acotaciones en m.....	19
Figura 7. Modelo de la cámara de mezclado cilíndrica.	20
Figura 8. Modelo de la cámara de tostado, con la instrumentación para caracterizar el mezclado.	20
Figura 9. Núcleo de granos inmóviles durante el mezclado; $50 < \omega < 90$ rpm.	22
Figura 10. A partir de 100 rpm los granos se adhieren a la pared de la cámara, por la acción de la fuerza centrífuga.....	22
Figura 11. Ensamble de la cámara de tostado.	24
Figura 12. Configuración general del tostador.....	24
Figura 13. Diagrama de cuerpo libre	25
Figura 14. Bridas planas de los tambores de la cámara de tostado.....	26
Figura 15. Ensamble de las bridas planas con el eje de la cámara de tostado.....	26
Figura 16. Cámara de tostado sin el tambor exterior.	27
Figura 17. Cojinete de bolas NSK con sellos.	27
Figura 18. Chumacera de pared.....	28
Figura 19. Dimensiones máximas y mínimas del eje y el rodamiento.....	29
Figura 20. Quemador de gas atmosférico	34
Figura 21. Quemador de túnel de gas.	34
Figura 22. Quemador aspirador de pre mezcla de aire y gas para combustión.....	35
Figura 23. Diagrama con flujo de masa y energía.....	36
Figura 24. Grafica Temperatura vs masa en los granos	38
Figura 25. Quemador de flama recta, tipo soplete.	42
Figura 26. Tina de enfriamiento.....	43
Figura 27. Tina de enfriamiento con paletas mezcladoras.	44
Figura 28. Separador ciclónico.....	45
Figura 29. Geometría recomendada para el ciclón.	46
Figura 30. Conjunto de cámaras sustentado en las paredes laterales.....	47

Figura 31. Estructura de la cámara de tostado.....	48
Figura 32. Mesa para soportar la cámara de tostado y la tina de enfriamiento.....	49
Figura 33. Sujeción entre dos perfiles a 90 grados.	49
Figura 34. Soportes de esquina para las uniones entre tramos perpendiculares.	50
Figura 35. Tolva de entrada de los granos; cotas en mm.	51
Figura 36. Álabes adosados a la pared del tambor interior.	52
Figura 37. Vista frontal del tostador. 1. Probeta; 2. Mirilla.....	53
Figura 38. Diagrama de conexiones.....	57
Figura 39. Máquina tostadora.....	59
Figura 40. Dimensiones generales de la máquina tostadora	60
Figura 41. Vista lateral derecha de la maquina tostadora.	61
Figura 42. Detalle de la válvula de servicio del GLP.	61
Figura 43. Tablero de control.....	62

Índice de Tablas

Tabla 1. Masa de los granos de café verde en 500 ml.....	17
Tabla 2. Masa de los granos de café tostados en 500 ml.	18
Tabla 3. Demanda de potencia para impulsar la cámara de tostado.	21
Tabla 4. Ajustes de árboles y agujeros.....	28
Tabla 5. Tolerancias principales de agujeros.	29
Tabla 6. Características del gas licuado de petróleo.....	33
Tabla 7. Calor total necesario para tostar 1.0 kg de café verde.	40

1. Introducción

En este proyecto se desarrolló el diseño de una máquina para el tostado de granos de café verde por medio de aire caliente, con capacidad para procesar lotes de 2.5 kg en no más de 12 minutos.

En el proceso de tostado influyen diversas variables —como el desplazamiento de los granos, el tiempo de tostado, la geometría y velocidad angular de la cámara de tostado y la temperatura de los granos— que definen las propiedades organolépticas del café tostado y determinan la calidad del producto.

Durante el tostado el café pierde humedad y pasa por reacciones fisicoquímicas en las que se liberan grasas, se producen azúcares y se emiten gases y vapor de agua. Una de las consecuencias del tostado es que los granos se expanden casi al doble de su volumen inicial; figura 1. El desplazamiento de los granos de café dentro de la cámara de tostado, que se mantiene con temperatura elevada, favorece la oxidación rápida de los granos. Si el desplazamiento y mezclado de los granos no es el apropiado se obtendrán resultados no uniformes, con granos exageradamente tostados y otros todavía claros.

Aparentemente, el diseño de las máquinas tostadoras que se manufacturan en México es por completo empírico. Para llevar a cabo nuestro diseño se hizo un estudio experimental del desplazamiento de los granos en el interior de la cámara, provista con un grupo de álabes para favorecer la mezcla durante el tostado.

A partir de los resultados experimentales se diseñó el sistema de calefacción, la transmisión de potencia, la estructura y el sistema de control de la máquina.



Figura 1. Granos de café tostado y café verde.

2. Antecedentes y marco teórico

Una máquina tostadora de café es un horno especializado para transferir calor hacia los granos de café verde, mediante una corriente de aire caliente, el contacto con una superficie sólida o mediante radiación. Durante el tostado los granos de café se deben mezclar continuamente, hasta conseguir cierta deshidratación y oxidación apropiadas para obtener un sabor y aroma determinados.

En la actualidad existen variados tipos de tostadoras, con capacidades que van desde 0,5 hasta 69 kg por carga (el peso de un saco de granos verdes con calidad de exportación, figura 2; algunos modelos procesan lotes de hasta 200 kg). Los tostadores de mayor uso en la industria suelen ser los que funcionan con un tambor metálico giratorio y los tostadores de aire caliente.

El tostador de tambor clásico consiste en un cilindro rotatorio de acero o hierro, impulsado por un motor eléctrico y con su eje de giro en posición horizontal. La flama que se produce



Figura 2. Envasado de 69 kg de granos verdes en bolsas de polietileno y sacos de henequén.

con la combustión de gas, natural o LP, transfiere calor tanto al tambor como al aire que lo rodea. Un ventilador dirige los gases calientes de la cámara de combustión a través de los granos en movimiento y extrae el humo, vapor de agua y los subproductos provenientes del proceso de tueste; figura 3.

Existen diversos tipos de tostadores de tambor. La principal variante es la forma en que se transfiere el calor a los granos. En algunos modelos la flama hace contacto directo con el tambor, en otros se colocó un segundo cilindro entre el tambor y el quemador para evitar el contacto directo de la flama.

En otros tostadores el quemador calienta una corriente de aire que se introduce en el tambor que contiene a los granos, para agitarlos intensamente y transferirles calor. La forma en que se transfiere calor a los granos de café, y la uniformidad del mezclado y el tostado, influyen enfáticamente en la calidad del producto final [1].

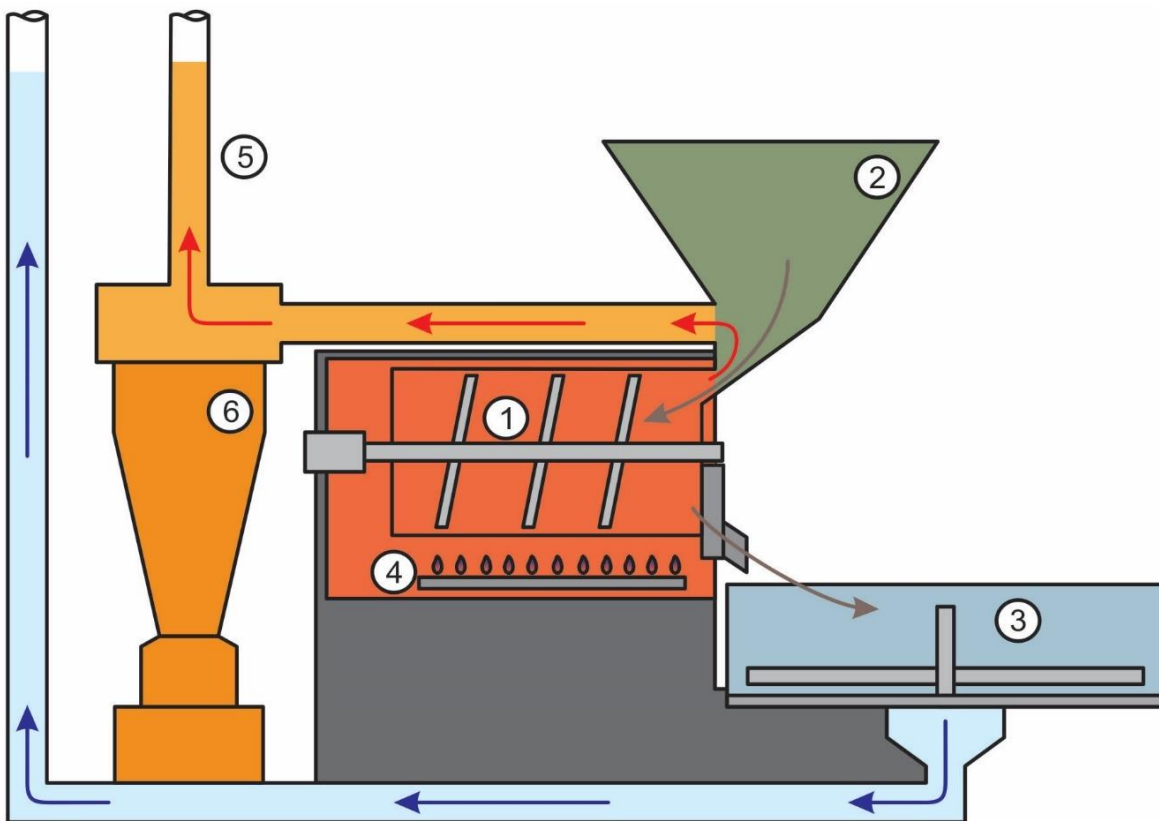


Figura 3. Tostador de tambor clásico.

Los granos entran al tostador (1) (flechas color café), a través del túnel de descarga (2). Después de tostarse el café se enfría en la zona de enfriado (3). El aire (flechas rojas) cruza la cámara de combustión (4) a través del tambor y escapa a través de la chimenea (5), por la succión aplicada por el ciclón (6) que atrapa los residuos sólidos provenientes del tueste.

En la actualidad es una práctica frecuente tostar dosis pequeñas de café de alta calidad, para controlar en forma esmerada la calidad del producto que se vende con un precio elevado. Un tostador con capacidad cercana a los cuatro kilogramos de café verde tiene dimensiones aproximadas de 157 × 152 × 130 cm, mientras que uno con capacidad para setenta kilogramos supera los 6 m³ de volumen total [2].

3. Justificación

El *Grupo Cafetalero Venado (GCV)*, es una empresa familiar que cultiva matas de café en la sierra norte de Oaxaca. El principal producto que comercializa GCV es el café verde, que se distribuye en sacos de 69 kg. En fecha reciente la empresa se interesó en la venta de la infusión de café en taza, por lo que abrió dos cafeterías en la ciudad de Oaxaca. En estos locales se venden diversas bebidas, preparadas con la infusión de sus propios granos de café tostados de manera artesanal. También se vende café tostado empacado en paquetes de 1 kg, a sus clientes y a otras cafeterías de la misma ciudad.

La producción de café verde tiene un valor comercial reducido (entre \$ 60 y \$ 150 por kg). Son los procesos de tostado y mezclado los que incrementan sustancialmente el valor del café (entre \$150 y \$800 por kg, en México). Por este motivo, GCV quiere mudar su actividad comercial a la venta de café tostado y mezclado, distribuido en paquetes desde 500 gr hasta 10 kg de producto listo para el molido y la infusión.

GCV quiere mejorar su proceso de tostado —que hasta ahora efectúa con procedimientos artesanales— para asegurar la repetibilidad del proceso y producir café tostado de gran calidad. Esta empresa se acercó al Programa de Desarrollo Profesional en Automatización, para solicitar el diseño de una máquina tostadora de café que satisfaga sus necesidades, proporcione resultados consistentes y se pueda construir en México.

Para asegurar la calidad de su producto GCV necesita una máquina que permita controlar en forma muy precisa las características organolépticas del café tostado. La opinión generalizada de las empresas dedicadas a la producción y venta de café es que los mejores resultados se obtienen tostando lotes pequeños de granos de café verde, por medio de aire caliente en una cámara de tostado rotatoria con doble tambor.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Diseñar una máquina para tostar lotes de 2.5 kg de granos de café verde, por medio de aire caliente.

4.2 Objetivos Particulares

Caracterizar experimentalmente el desplazamiento de los granos de café dentro de la cámara para tostado.

Determinar experimentalmente la velocidad angular y la geometría del recipiente, así como la forma de los álabes necesarios para obtener el tostado requerido.

Determinar experimentalmente el consumo de potencia requerido para mover un lote de 2.5 kilogramos de café.

Desarrollar el sistema de calefacción para tostar los granos por medio de convección forzada con aire caliente.

Diseñar el sistema de transmisión de potencia, el sistema de control de tiempo, temperatura y velocidad angular, y la estructura de la máquina tostadora.

Generar los dibujos de detalle y ensamble de los componentes.

5. Marco teórico

En el proyecto se desarrollaron diversas actividades —de caracterización experimental, diseño, búsqueda de materiales, selección de componentes y elección de procesos de manufactura— para cumplir los objetivos descritos en el capítulo 4.

La primera tarea consistió en conocer el proceso de tostado de los granos de café verde y visitar varios expendios de café en la Ciudad de México, para evaluar la calidad de su producto, observar sus procedimientos de tostado e identificar el tipo, marca y capacidad de los equipos empleados para el tueste.

5.1 Variedades de tostado

El cambio de tono en el color del café se debe al proceso de caramelización de los azúcares. Si un grano de café tiene un tono marrón más oscuro será menos dulce y habrá perdido más acidez que un grano claro; también habrá perdido un porcentaje mayor de cafeína y su apariencia será más brillante, por el mayor desprendimiento de los aceites esenciales.

Cada variedad particular de café alcanzará un nivel determinado de tostado en distintos tiempos. No existe una denominación única para los diferentes tipos de tueste, pero muchos distribuidores de café distinguen cuatro categorías, progresivamente más oscuras por el mayor tiempo de proceso; figura 4.

Tueste ligero o canela. Es el tueste más ligero y claro. El grano adopta un color canela característico, conserva un alto contenido en cafeína, no hay aceite en la superficie de los granos y su infusión tiene un sabor ácido y afrutado.

Tueste americano. El grano adopta un color castaño muy característico. Se utiliza sobre todo para preparar la infusión en cafeteras de filtro. Contiene un alto contenido de cafeína y tampoco muestra aceite en la superficie del grano. La infusión tiene un sabor más acaramelado, con más aroma y menos grado de acidez.



Figura 4. Tipos de tueste comercializados en Norteamérica.

Tueste francés. Se produce con un tiempo de tostado más largo. Los granos muestran un tono marrón más fuerte, algo brillantes, con un poco de aceite en la superficie. La acidez desaparece casi por completo, el aroma es intenso y el sabor ligeramente ahumado, con un tenue regusto agridulce.

Tueste italiano. Su color es muy oscuro, marrón chocolate casi negro, con un brillo característico debido a su superficie aceitosa. El sabor natural del café se ha modificado por el proceso de tostado, para dar un gusto amargo con un toque ahumado. Cuanto más oscuro sea el tueste, menos acidez se encontrará en la infusión. La cafeína se ha reducido sustancialmente.

Los granos de café con calidad «gourmet», que serán preparados en cafetera espresso, normalmente reciben el tueste italiano [1].

5.2 Etapas del proceso de tostado

El tostado es un proceso térmico combinado con alguna forma de agitación mecánica, en el que los granos de café pasan por cambios fisicoquímicos producidos por el aumento y descenso de la temperatura. Las principales transformaciones en los granos de café son:

- Pérdida de peso, ocasionada por la evaporación del agua contenida en el grano.
- Incremento de volumen, ocasionado por el almacenamiento de CO₂ gaseoso en los

granos y el aumento en la presión interna. El volumen puede aumentar hasta el doble respecto al volumen inicial.

- Cambio del color, en función del tiempo que los granos de café se exponen a la temperatura elevada. El cambio de color determinará, en gran medida, el sabor, cuerpo y aroma de la infusión. Por ejemplo, mientras más claro, más ácido, y mientras más oscuro más amargo.
- Intensificación del aroma. Los azúcares reaccionan con los aminoácidos y determinan ampliamente el aroma del café. Los grupos amino suministran gran parte del nitrógeno que se incorpora a los volátiles del aroma del café tostado.

En el proceso de tostado se distinguen tres etapas: secado de los granos de café verde, pirólisis y enfriamiento. Cada una de las etapas se lleva a cabo en distintos intervalos de temperatura, con la combinación de varios modos de transferencia de calor, lo que ocasiona que los granos modifiquen progresivamente sus propiedades organolépticas. El tiempo que los granos se mantengan bajo la acción de la temperatura elevada determinará el nivel de tueste.

Etapa 1: [Secado de granos de café verde.](#)

Utiliza aproximadamente el 80% del tiempo total del tostado. El grano se mantiene en el intervalo de temperatura entre 125°C y 187°C y pierde una parte considerable de su peso, debido a la evaporación del agua.

Etapa 2. [Pirólisis](#)

Es una reacción exotérmica espontánea, con duración menor a un minuto, que sucede en el interior de los granos cuando la temperatura se acerca a los 200°C. Se produce la descomposición química de la materia orgánica, causada por el calentamiento a altas temperaturas en ausencia de oxígeno. En esta etapa se produce el oscurecimiento de los granos, que dependerá del tiempo en que permanezcan en la cercanía de 200°C.

Etapa 3. [Enfriamiento](#)

El proceso de pirólisis se debe detener bruscamente, para no modificar más el grado de tueste y los resultados de color, sabor, aroma y cuerpo. Para frenar las reacciones físico-químicas se debe reducir la temperatura rápidamente, muy por debajo de los 220°C.

Actualmente existen dos procesos para lograrlo, hacer pasar una corriente de aire frío por el café tostado o realizar una aspersión de agua directamente en los granos.

Para efectuar el proceso del tostado, la cámara de una máquina tostadora se debe mantener en el intervalo de temperaturas de 185°C a 255°C, siendo el intervalo óptimo de 210°C a 230°C. Por encima de los 240°C el grano comienza a carbonizarse y pierde sus propiedades de manera paulatina, hasta conseguir un sabor a quemado, a pesar de que un tostado italiano requiere hasta los 255°C, hasta conseguir un sabor a quemado.

Cada etapa del tostado se lleva a cabo en intervalos de tiempo, que varían de acuerdo con el grado de tostado deseado, la cantidad de café a tostar, el tipo de máquina y sus características particulares. El proceso completo puede durar de 2 a 20 minutos [3].

Durante el proceso se deben desalojar dos tipos de gases de la cámara de tostado. Los primeros son gases producto del tueste del café, vapor de agua, dióxido de carbono y cascarilla quemada. El segundo tipo de gases son producto de la combustión del combustible empleado, muy probablemente gas LP o gas natural.

5.3 Tipos de máquinas tostadoras

Desde que se tuvo conocimiento de las infusiones de café se han desarrollado diversos métodos de preparación. Sin embargo, para muchos de los consumidores de café no era evidente que la mayoría de las características organolépticas de la bebida se establecían desde un paso previo a la preparación, durante el tostado.

Con el propósito de mejorar el proceso de tueste, para obtener resultados homogéneos y lograr un sabor y aroma determinados, se idearon paulatinamente algunas técnicas y máquinas de tostado. Se comenzó con recipientes de barro, donde se vertían los granos y, mientras estaban en contacto con el fuego, se movían con una cuchara de madera, metal o barro. También se usaron placas metálicas sobre las que se colocaban los granos, moviéndolos cada tanto para evitar que se quemaran. Luego se diseñaron recipientes perforados, que permitían disminuir el tiempo de tostado.

Durante el siglo XVIII, por la popularidad casi generalizada de la bebida en Europa, diversos inventores de máquinas de café desarrollaron sistemas novedosos, para superar

a sus competidores. Así se propusieron variados procedimientos para lograr tostados cada vez más uniformes, en menor tiempo y con aroma, cuerpo y sabor superiores [4].

Las nuevas técnicas para el tostado estaban acompañadas con máquinas que lograban procesar el grano. De esta forma, el método y la máquina se fusionaron para caracterizar a los diversos tipos de tostadoras, con funciones y elementos básicos dependientes de cada técnica seleccionada. Se puede mencionar a las más conocidas y utilizadas:

Tostadora de tambor. Puede ser de tambor simple o con tambor doble, concéntricos y separados radialmente por una pequeña distancia. En este tipo de tostadora la transferencia de calor se lleva a cabo principalmente de manera convectiva.

Tostadoras continuas. Se utilizan para la producción en serie y emplean menor tiempo que las otras máquinas de tostado. Trabajan con temperaturas más elevadas y desplazan grandes caudales de aire. Además, no tienen fase de regeneración de oxígeno y humedad durante la descarga.

Tostadoras de lecho fluido. Un caudal de aire caliente ingresa a un tambor estático con la base perforada, lo cual genera un movimiento rotatorio del café y se expelen la basurilla y los vapores producto del tostado.

Tostadoras turbo de convección. Son tostadoras de tambor con transferencia puramente convectiva, que funcionan con temperaturas aproximadas de 550°C y permiten un tostado más rápido.

Tostadoras centrífugas Se utilizan para procesar lotes pequeños de granos empleados para preparar café de filtro y cápsulas.

Tostadoras para café torrefacto. Ejecutan un proceso en el que se le añade azúcar al grano mientras se está tostando [5].

6. Desarrollo del proyecto

6.1 Caracterización de los granos de café verde GCV

La empresa GCV nos proporcionó granos verdes de la variedad arábica pluma (*cafeto arábigo*), cosechados en sus campos ubicados en la sierra norte del Estado de Oaxaca. El tamaño de los granos corresponde a una criba 15 (dimensión ISO 6.0 mm).

Para determinar el volumen específico promedio de los granos verdes, apilados en forma libre dentro de un recipiente, se utilizó una probeta graduada de 500 ml. Se tomaron diez mediciones sucesivas de la masa necesaria para llenar el volumen de la probeta; figura 5.

Tabla 1. Masa de los granos de café verde en 500 ml.

Medición	Masa, kg
1	0.3420
2	0.3465
3	0.3474
4	0.3427
5	0.3445
6	0.3408
7	0.3428
8	0.3403
9	0.3505
10	0.3426

$$\bar{m}_{\text{café verde}} = 0.34401 \text{ kg}$$

El volumen específico es $v_{cv} = \frac{V}{m} = \frac{0.0005 \text{ m}^3}{0.344 \text{ kg}} = 1.453 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ y su recíproco, la densidad aparente, es $\rho_{cv} = 688.2 \text{ kg/m}^3$. También se contó el número de granos que forman un kilogramo de café; el resultado promedio fue 5 813 granos/kg de café verde. Se efectuaron múltiples mediciones para determinar las dimensiones promedio de los granos: largo = 10.42 mm; ancho = 7.2 mm y espesor = 4.05 mm.

Los granos de café se hinchan cuando pasan por el proceso de tostado. La expansión incrementa el volumen específico entre 85% y 115% del volumen del grano verde; estas cifras ya consideran que los granos pierden el 10% de su peso durante el tostado [1]. Por lo tanto, para diseñar la cámara de tostado se propuso que al inicio de la operación los granos verdes ocupen aproximadamente el 17.5% del volumen de la cámara. Así, al concluir el proceso la cámara de tostado estará llena al 35% de su volumen.

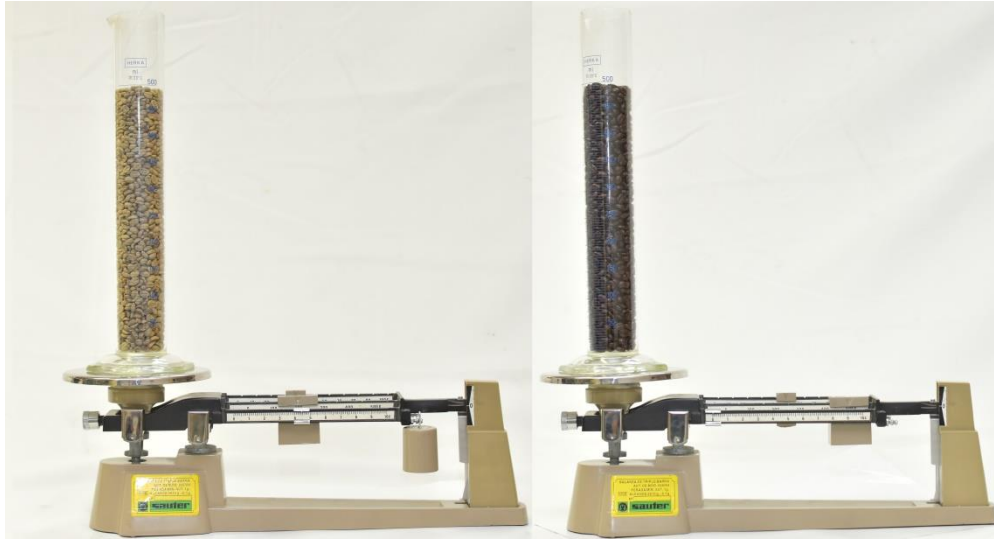


Figura 5. Izquierda: masa de granos verde en 500 ml.
Derecha: masa de granos tostados en 500 ml.

De modo semejante a lo que se hizo con el café verde, se determinó el volumen específico de los granos de café GCV tostados con tueste americano (ver sección 5.1).

Tabla 2. Masa de los granos de café tostados en 500 ml.

Medición	Masa, kg
1	0.1784
2	0.1765
3	0.1781
4	0.1744
5	0.1697
6	0.1702
7	0.1793
8	0.1727
9	0.1803
10	0.1731

$$\bar{m}_{\text{café tostado}} = 0.17527 \text{ kg}$$

El volumen específico es $v_{\text{ct}} = \frac{V}{m} = \frac{0.0005 \text{ m}^3}{0.17527 \text{ kg}} = 2.852 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ y la densidad aparente es $\rho_{\text{ct}} = 350.54 \text{ kg/m}^3$. El volumen necesario para contener 2.5 kg de café tostado es:

$$V_{\text{café tostado}} = 0.00713 \text{ m}^3$$

y con un llenado máximo del 35% el volumen de la cámara es:

$$V_{\text{cámara de tostado}} = 0.0203 \text{ m}^3$$

6.2 Caracterización experimental del desplazamiento de los granos.

La cámara de tostado tendrá forma cilíndrica, al igual que muchos otros modelos de tostadora, con el propósito de facilitar el desplazamiento y mezclado de los granos mientras la cámara gira alrededor de su eje en posición horizontal. El análisis de diversas tostadoras mostró que la cámara de tostado suele tener un factor de forma cercano a 1; es decir, el diámetro interior d_i es aproximadamente igual a la altura L del cilindro.

Si se elige la altura $L = 0.29$ m, como $V_{\text{cámara de tostado}} = 0.0203$ m³, se despeja $d_i = 0.29$ m y el área transversal de la cámara sería:

$$\text{Área transversal } A_t = \frac{\pi}{4} (d_i^2) = \frac{\pi}{4} \times (0.29 \text{ m})^2 = 0.066 \text{ m}^2$$

Con la finalidad de caracterizar experimentalmente el desplazamiento de los granos de café verde, en una cámara cilíndrica que gira con cierta velocidad angular, se construyó un modelo de la cámara con la altura L y el diámetro d_i que se definieron en el párrafo anterior; figura 6.

Para construir este modelo se eligieron materiales transparentes, de modo que se pudiera observar y fotografiar el mezclado de los granos. La pared cilíndrica es de película de vinilo transparente, con espesor $e_{cv} = 0.002$ m; las dos tapas circulares se cortaron de una placa de polimetilmetacrilato (acrílico o Plexiglas®), con espesor $e_{ca} = 0.015$ m.

En las tapas del cilindro se adhirieron refuerzos concéntricos de acrílico con forma de disco —con diámetro $d_{ca} = 0.06$ m y espesor $e_{ca} = 0.015$ m— para darles mayor rigidez en la región de contacto con el eje longitudinal de acero. Se empleó Pegacryl, un solvente adhesivo, para unir los discos con las placas de acrílico de forma permanente; figura 6.

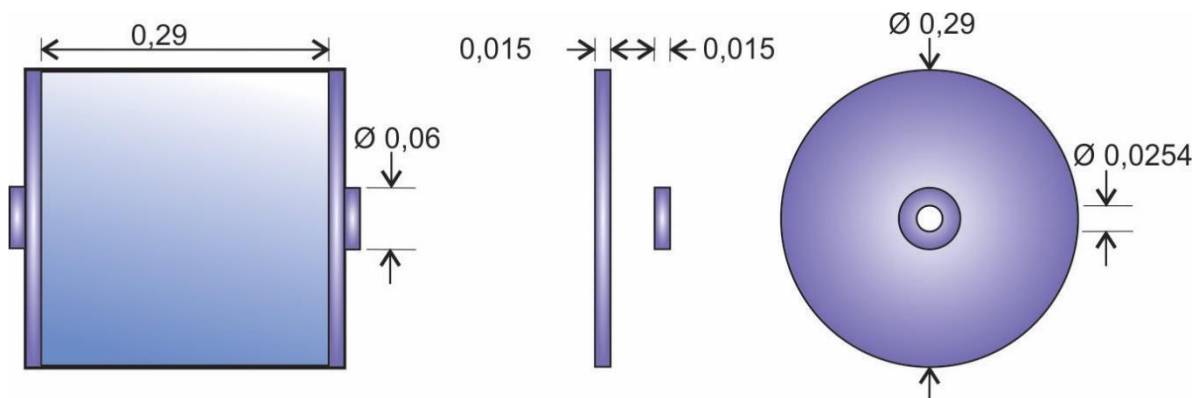


Figura 6. Dimensiones del modelo de la cámara de mezclado; acotaciones en m.

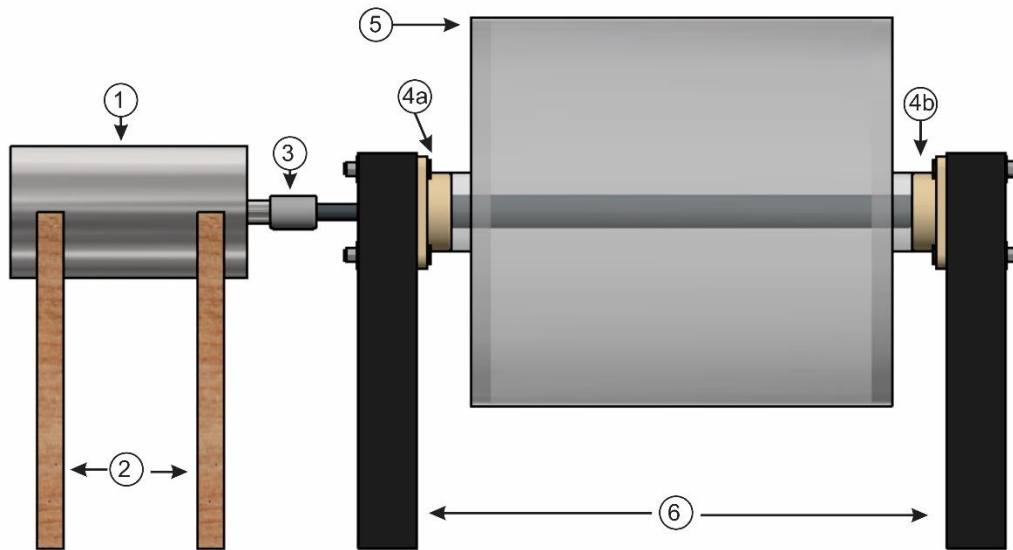


Figura 7. Modelo de la cámara de mezclado cilíndrica.
 1. Motor; 2. Bases del motor; 3. Cople; 4a. y 4b. Chumaceras;
 5. Cámaras de mezclado; 6. Soportes para las chumaceras.

El eje de la cámara cilíndrica está soportado por dos chumaceras, montadas en el extremo superior de sendos perfiles de aluminio con sección transversal rectangular. El eje del motor que impulsa el desplazamiento angular se acopló colinealmente con el eje de la cámara; figura 7. Se trata de un motor de corriente directa Indiana General, con velocidad angular variable ($\omega_{\max} = 1125 \text{ rpm}$), alimentado por un variador de velocidad Baldor modelo BC140. Los dibujos de diseño de este prototipo se muestran en Anexo A.1.



Figura 8. Modelo de la cámara de tostado, con la instrumentación para caracterizar el mezclado.

6.2.1 Registro de las variables de mezclado. El modelo de la cámara de tostado se instrumentó con el propósito de identificar la velocidad angular que produce el mejor mezclado de los granos y la demanda de potencia para efectuar esta operación. Se conectó un multímetro en paralelo para medir el voltaje suministrado al motor y un amperímetro en serie para medir la demanda de corriente; figura 8.

En la cámara del modelo se introdujo una carga de 2.5 kg de granos de café verde GCV, con las características que se describieron en la sección 6.1. La velocidad angular de la cámara se incrementó progresivamente, desde las condiciones de mezclado incipiente hasta obtener el arrastre centrífugo de los granos. En la tabla 3 se muestran las lecturas de voltaje y corriente para diferentes velocidades angulares.

Tabla 3. Demanda de potencia para impulsar la cámara de tostado.

Velocidad angular, rpm	Voltaje V	Corriente A	Potencia W
9.5	6.02	5.8	34.916
19.3	6.53	6.5	42.445
30.0	7.90	8.4	66.360
38.4	7.80	8.8	68.640
46.1	8.00	9.1	72.800
50.8	8.11	9.6	77.856
65.1	8.20	10.0	82.000
84.9	8.14	10.3	83.842
102.3	1.00	4.01	4.010

El intervalo de velocidades angulares en el que se obtuvo un mayor mezclado de los granos es de 50 a 90 rpm. Sin embargo, al observar el desplazamiento de los granos se hizo evidente que siempre se mantiene un núcleo de granos, alojado en la región central de la masa desplazada por el tambor cilíndrico, que no se mezcla con el resto; figura 9. En conclusión, es por completo indispensable el uso de alabes mezcladores adosados en la pared interior de la cámara de tostado; ver la sección 11.5.

También se encontró que cuando el tambor excede 100 rpm los granos se adhieren a las paredes de la cámara, por causa de la fuerza centrífuga, y se interrumpe por completo el mezclado; figura 10.

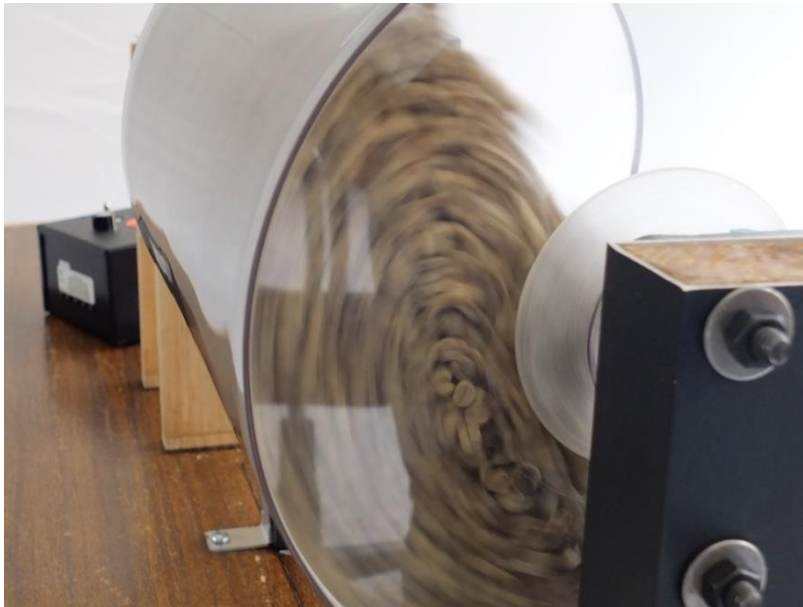


Figura 9. Núcleo de granos inmóviles durante el mezclado; $50 < \omega < 90$ rpm.

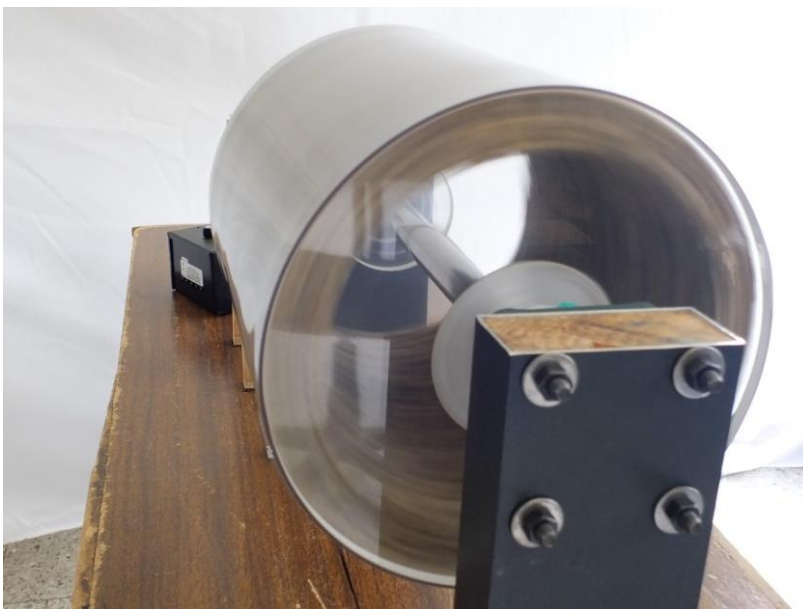


Figura 10. A partir de 100 rpm los granos se adhieren a la pared de la cámara, por la acción de la fuerza centrífuga.

La potencia demandada al motor, necesaria para impulsar el giro del tambor con la carga de granos, se obtuvo con las mediciones de corriente y voltaje. La mayor potencia consumida por el motor fue 83.84 W, correspondiente a la velocidad de 84.9 rpm. Por encima de 100 rpm, cuando se presenta el arrastre centrífugo de los granos, la demanda de potencia se redujo drásticamente.

7. Propuesta inicial de diseño del tostador.

En las entrevistas que se sostuvieron con productores y expendedores de café, junto con la lectura de variadas fuentes que discuten la construcción y el desempeño de las máquinas tostadoras, prevaleció la opinión de que el producto de mejor calidad se consigue tostando lotes pequeños de granos de café verde, por medio de aire caliente en una cámara de tostado rotatoria con doble tambor.

7.1 Arreglo general

La primera propuesta para configurar la máquina partió de la elección de una cámara para tostado horizontal, con forma cilíndrica, llena al 35% de su volumen con 2,5 kg de granos de café tostado; ver la sección 6.1. Los resultados experimentales sobre el mezclado de los granos confirmaron la necesidad de emplear alabes mezcladores, adosados en la pared interior de la cámara de tostado; ver la sección 6.2.

El calor se suministrará a la cámara de tostado mediante la combustión de gas licuado de petróleo; los quemadores se colocarán en la parte inferior de la cámara. El tambor interior de la cámara rotatoria se construirá con lámina de acero inoxidable calibre 22 (0.45 mm), perforada con orificios cilíndricos (diámetro $d_o = 0.003$ m; los granos verdes pasan por la criba 15 de 6 mm) para facilitar el flujo de aire caliente a través de los granos. El tambor exterior será una envoltura del tambor interior, recibirá el contacto directo con las flamas de combustión y se construirá con lámina lisa de acero inoxidable calibre 26 (0.74 mm).

Los tambores de la cámara tendrán fondo plano y un extremo abierto, girarán en forma simultánea y estarán montados en voladizo, concéntricos, sujetos a un eje de acero. Un sistema formado por dos bridas planas y un separador cilíndrico permitirá sujetar los fondos de los tambores al eje, el cual estará sustentado en ambos extremos por chumaceras; figura 11.

La máquina tostadora también incluirá una tolva para la entrada de los granos verdes, la cámara de combustión, una tina construida con placa de acero inoxidable para el enfriado de los granos tostados, un ciclón para atrapar los residuos sólidos generados durante el tostado y la chimenea para la salida de los gases; ver figura 12.

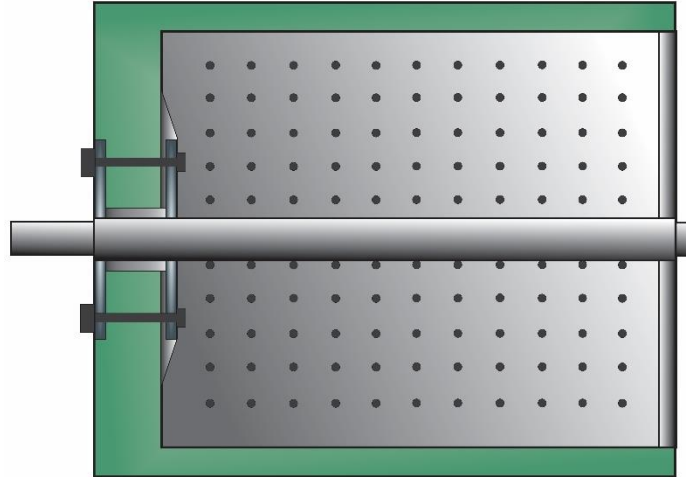


Figura 11. Ensamble de la cámara de tostado.

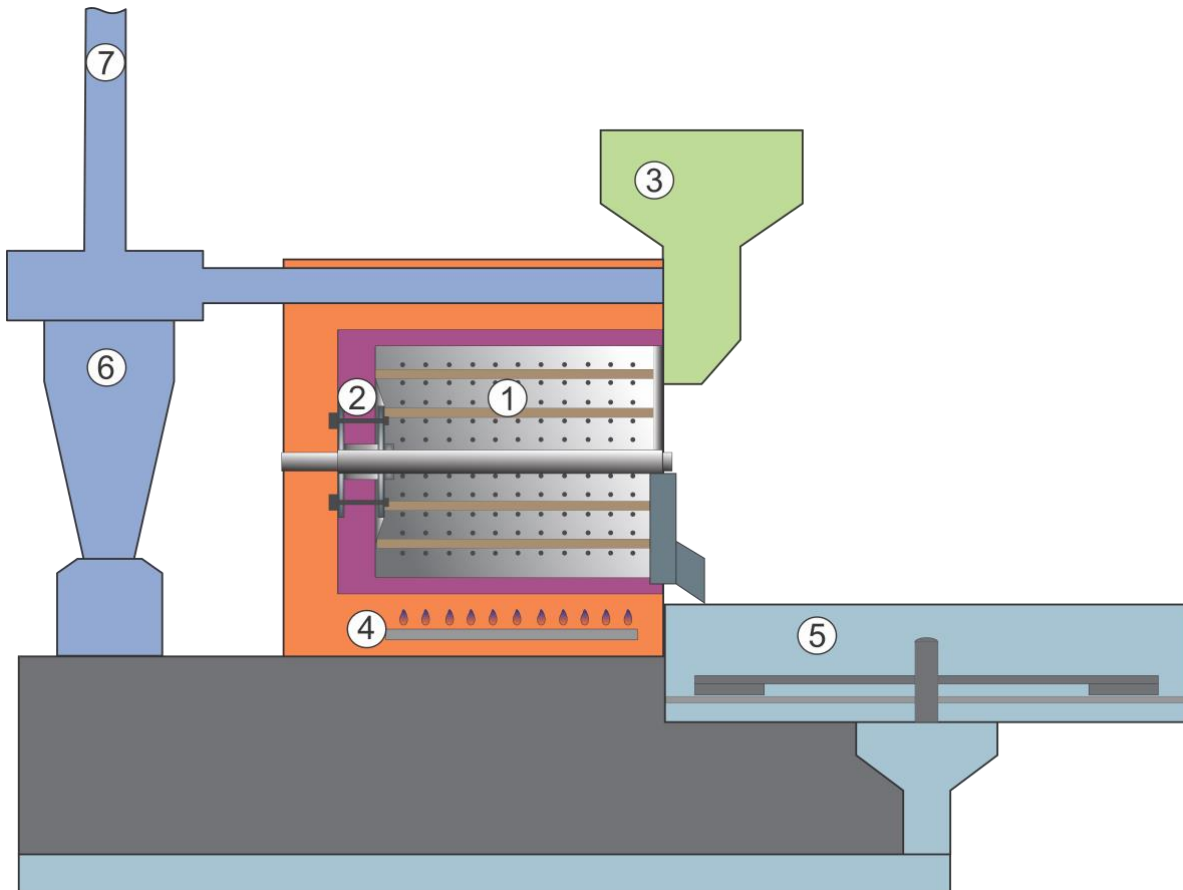


Figura 12. Configuración general del tostador.

1. Tambor interno; 2. Tambor externo; 3. Tolva para la entrada de los granos verdes; 4. Cámara de combustión; 5. Tina para el enfriado de los granos tostados; 6. Ciclón y 7. Chimenea.

7.2 Selección del motor primario.

La potencia necesaria para impulsar el giro del tambor con la carga de granos no supera los 100 W. La velocidad angular de la cámara de tostado será ajustable, en el intervalo 50 a 90 rpm; ver la sección 6.2.1. El motor eléctrico que impulsará el desplazamiento de la cámara operará en forma intermitente, con tiempos de marcha no mayores a 30 minutos y en la cercanía de un ambiente con alta temperatura.

Se eligió un motorreductor de corriente directa, con una velocidad máxima de 100 rpm y potencia nominal de 1/6 hp (124 W), alimentado por un variador de voltaje para controlar la velocidad angular. La transmisión entre los ejes de la cámara y del motor se hará por medio de un cople.

7.3 Diseño del eje de la cámara de tostado.

Los tambores de la cámara de tostado, con la carga de café en su interior, estarán montados en voladizo, concéntricos y sujetos a un eje de acero. El par torsor que impulsa el desplazamiento de los tambores ingresa por el extremo del eje que sobresale de las bridas planas; figura 11.

En la figura 13 se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje de la cámara de tostado. En el anexo B.1 se detalla el análisis para determinar las dimensiones del eje.

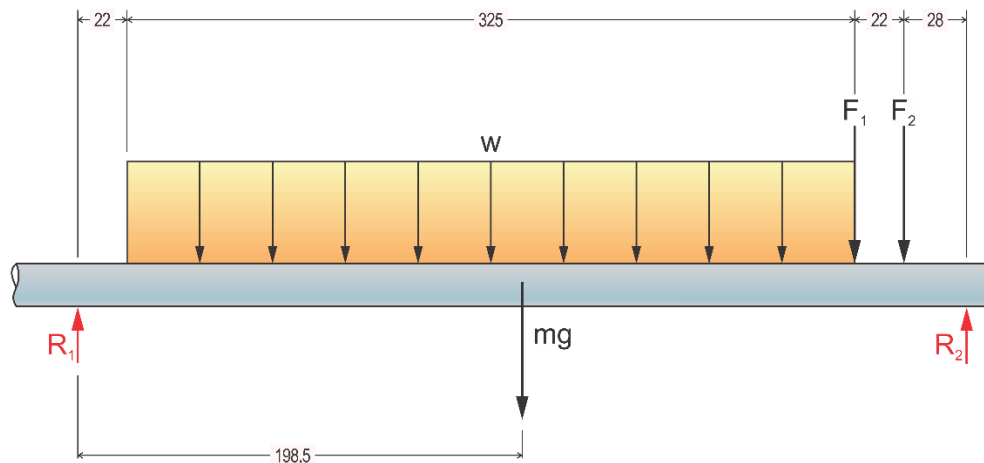


Figura 13. Diagrama de cuerpo libre

En el anexo B.1 se reporta el análisis de esfuerzos del eje, que permitió determinar su sección transversal. Se encontró que un eje de acero al carbono 1020, con diámetro $D = 0,019$ m, es apropiado para soportar las condiciones de funcionamiento de la cámara de tostado.

Los tambores de la cámara de tostado se sujetan al eje por medio de dos bridas planas, fabricadas con placa de acero al carbono de $\frac{1}{4}$ pulgada. Las dos bridas son idénticas, con seis barrenos pasados para sujetar los fondos de los tambores mediante tornillos con tuerca; figura 14. La brida que sujeta al tambor exterior está soldada a un separador cilíndrico, maquinado en acero al carbono, que establece la distancia entre los fondos de los tambores. El separador se sujeta en el eje por medio de un opresor; figuras 15 y 16. En el Anexo C.1 se encuentran los dibujos de detalle de cada componente.

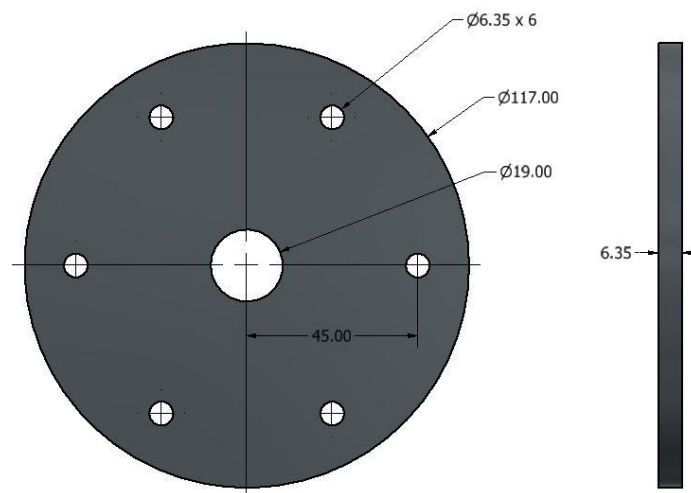


Figura 14. Bridas planas de los tambores de la cámara de tostado.

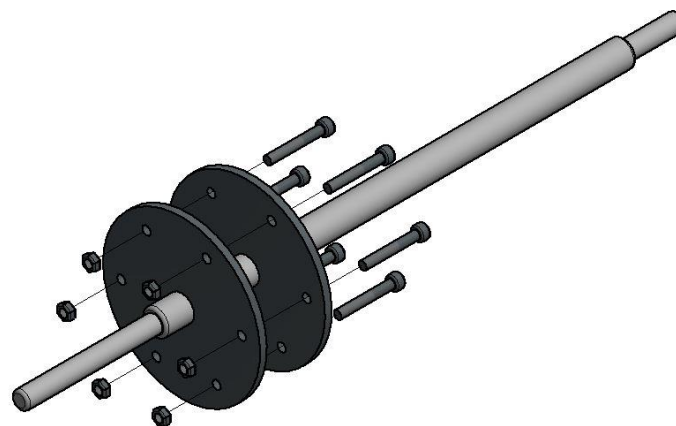


Figura 15. Ensamble de las bridas planas con el eje de la cámara de tostado.

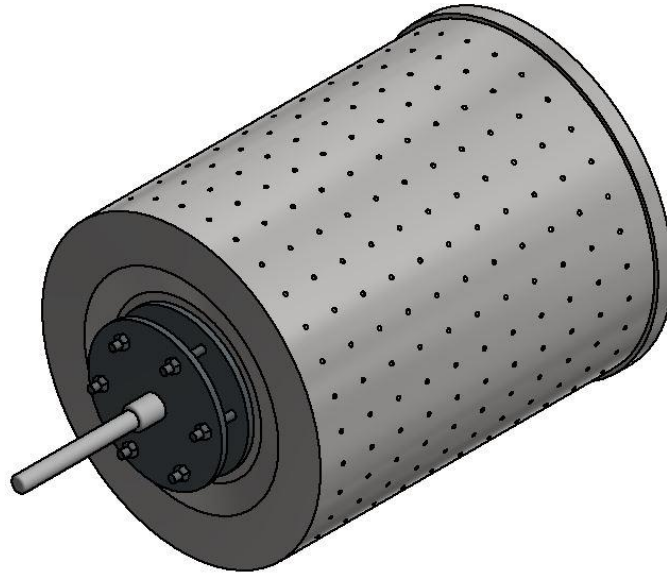


Figura 16. Cámara de tostado sin el tambor exterior.

7.4 Selección de los rodamientos y chumaceras

Los rodamientos son elementos mecánicos que apoyan a un eje o un árbol de transmisión y permiten su desplazamiento angular, por medio de una rodadura que incluye rodillos, agujas, rodillos cónicos o bolas. Se diseñan para soportar cargas radiales puras, cargas de empuje puras o una combinación de ambas. Los rodamientos de bolas son indicados para soportar esfuerzos radiales, mientras que los de rodillos son apropiados para fuerzas de empuje o mixtas [6].

El eje de la cámara de tostado se apoya en dos rodamientos, colocados en cada extremo del eje. La carga será exclusivamente radial y los rodamientos estarán expuestos al calor del horno. Por consiguiente, se seleccionaron rodamientos de bolas marca NSK, modelo NN3017RXMRKREE4, para alta temperatura, pre-lubricados, con sellos integrales y grasa de larga duración; figura 17.



Figura 17. Cojinete de bolas NSK con sellos.



Figura 18. Chumacera de pared.

Los rodamientos se montarán en chumaceras de pared marca FK, de pestaña cuadrada, atornilladas por el exterior a las paredes frontal y posterior con cuatro puntos de sujeción; figura 18. El ensamble del eje en el rodamiento requiere un ajuste con apriete mediano m6/H7, de modo que el eje no gire ni se deslice dentro del rodamiento (agujero); ver la tabla 6 [7]. El diámetro del eje (árbol) debe ser ligeramente mayor que el del agujero.

El diámetro nominal del rodamiento, de acuerdo con el fabricante, es $20^{+0,021}_{+0,000}$ mm. Para obtener el ajuste con apriete mediano m6/H7 el diámetro del árbol debe ser $20^{+0,021}_{+0,008}$ mm; ver la tabla 7 y la figura 19. El ensamble de los rodamientos se hará a mano con ayuda de un mazo.

Tabla 4. Ajustes de árboles y agujeros.

Ajustes con apriete		Árboles (posición)	Agujeros y calidad de los árboles		
			H6	H7	H8
Apriete débil	El ensamble se realiza a mano, la unión no transmite esfuerzos, se puede montar y desmontar.	js	5	6	
		k	5		
Apriete mediano	Imposible desmontar sin deterioro. La unión puede transmitir esfuerzos.	m		6	
		p		6	
Apriete fuerte	Imposible desmontar sin deterioro. La unión puede transmitir esfuerzos.	s			7
		u			7
		x			7
		z			7

Tabla 5. Tolerancias principales de agujeros.

Valores en micras (0.001 mm)

Diámetro en mm	>10 a 18	>18 a 30	>30 a 50
js6	+ 5.5	+ 6.5	+ 8
	- 5.5	- 6.5	- 8
m6	+ 18	+ 21	+ 25
	+ 7	+ 8	+ 9
p6	+ 29	+ 35	+ 42
	+ 18	+ 22	+ 26

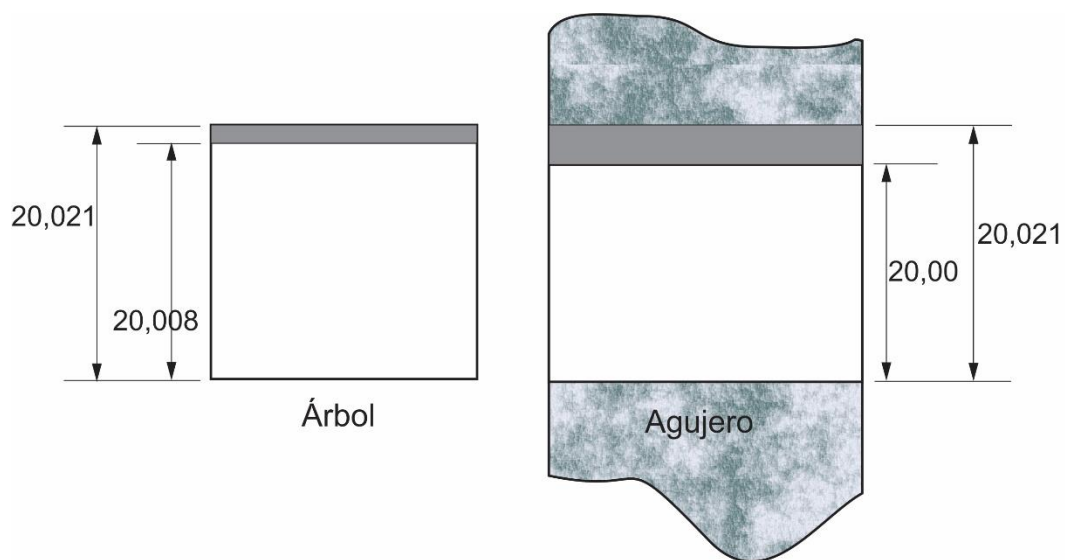


Figura 19. Dimensiones máximas y mínimas del eje y el rodamiento.

8. Sistema de calentamiento

El tostado de los granos de café se obtiene suministrándoles energía en forma de calor. En la cámara de combustión se llevará a cabo un proceso exotérmico auto mantenido, en fase gaseosa —una forma especial de oxidación rápida en que el oxígeno en el aire se combina con elementos combustibles, generalmente carbono, hidrógeno y en menor medida azufre— el cual proporcionará la energía para realizar todo el proceso de tueste.

En la máquina tostadora se quemará gas licuado del petróleo (GLP). Para que el sistema de calentamiento pueda transferir el calor con el ritmo necesario se deben cumplir tres condiciones en la combustión del compuesto inflamable:

1. El GLP y el oxígeno del aire se deben combinar en la proporción adecuada.
2. Se debe alimentar una mezcla uniforme de GLP y oxígeno a la cámara de combustión, de modo que cada partícula de combustible tenga oxígeno alrededor para permitir la reacción exotérmica.
3. Se establecerá y controlará la temperatura de ignición, de forma que el combustible continúe su ignición sin el suministro de calor externo tan pronto inicie la combustión.

Si las condiciones anteriores no se cumplen, y se consigue una combustión incompleta, la cámara de combustión arrojará humos, la llama tendrá baja temperatura y se tendrá un bajo rendimiento en la operación de tostado [8].

8.1 Relación aire combustible

El combustible se conduce a los quemadores mezclándolo con un flujo de *aire primario*. Después de la ignición inicial la combustión se sostiene por sí misma y forma una llama. Para favorecer la mezcla uniforme del oxígeno con el gas combustible la acción de la llama debe producir una turbulencia. También se puede suministrar *aire secundario* en ciertos lugares de la cámara, para asegurar que se quemó todo el combustible.

Si no se suministra suficiente aire la mezcla será rica en combustible; se tendrá una llama reductora, que tiende a ser larga, con una tonalidad ocre y que produce humo. La combustión será incompleta, los gases producto de la combustión contendrán combustible no quemado (partículas de carbono o monóxido de carbono, en vez de dióxido de carbono) y se generará menos calor en el proceso de combustión.

La combustión siempre se lleva a cabo con cierto exceso de aire, para asegurar que todo el combustible se quema correctamente, que se obtiene el mejor rendimiento de generación de calor y que se evita la formación de humo y depósitos de hollín. Pero si se suministra demasiado aire la mezcla será pobre en combustible, dando lugar a una llama más corta, más limpia o clara y más fría. El exceso de aire sale por la chimenea mezclado con los gases de combustión, con temperatura elevada, se lleva parte de la energía que se generó en el *hogar*¹ y la transfiere al ambiente exterior.

Cuando los gases de combustión que salen por la chimenea lucen como humo negro es indicio de insuficiente aire. Si el aire es excesivo se produce un denso humo blanco. Cuando sale de la chimenea un humo transparente, ligeramente gris, es signo de una relación razonablemente buena entre el aire y el combustible. El exceso de aire suele estar entre el 20% y el 30%, dependiendo del combustible utilizado y el tipo de quemador.

8.2 Tiro

Además del suministro de aire primario y secundario se debe considerar el *tiro*, que es la presión diferencial que induce o empuja al aire, combustible y gases quemados a través del hogar [8]. Sin tiro se producirá una estratificación en el proceso de combustión, y la llama se puede extinguir por falta de aire. El tiro vence la resistencia al flujo presentada por la obstrucción de los tubos, paredes de la cámara, baffles directores, compuertas, el revestimiento de chimenea y los posibles depósitos de escorias.

El tiro natural se produce en una chimenea, un ducto vertical que evacua los gases del hogar. El aire frío admitido en el hogar, mediante las compuertas de entrada, empuja y desplaza de la cámara a los gases calientes que son menos densos. Así, los gases calientes suben espontáneamente por la chimenea y producen un tiro natural.

El tiro mecánico se produce artificialmente por medio de ventiladores, de tiro inducido o aspirado, o bien de tiro forzado o soplado. Incluso en las instalaciones con tiro mecánico es necesaria una chimenea, para ventilar los productos de combustión de manera que no sean dañinos para los alrededores. Las cámaras de combustión de tipo doméstico utilizan alguna forma de tiro mecánico. Los quemadores domésticos pueden llevar un ventilador

¹Hogar, en los sistemas de calentamiento hace referencia a la zona que ocupan los quemadores, la flama y el área necesaria para que el sistema funcione correctamente.

incluido en la unidad del quemador, o sino contar con una campana y chimenea extractora de gases [9].

8.3 Gases combustibles

El gas licuado del petróleo es una combinación de butano (C_4H_{10}) y propano (C_3H_8), dos subproductos de la fabricación de la gasolina natural y de ciertas operaciones de refinería. Ambas sustancias tienen poderes caloríficos elevados, se licúan fácilmente a baja presión y se utilizan ampliamente como combustibles envasados. En la tabla 7 se enlistan las características energéticas del GLP [9].

Tabla 6. Características del gas licuado de petróleo

Masa Volumétrica (kg/L) a 15°C	0.51
KWh por Kg	13.385
Temperatura de la flama (°C) a 1 bar y 20°C	1980

8.4 Quemadores de gas

La combustión del GLP no requiere una preparación del combustible, como lo necesitan los combustibles sólidos y líquidos. La dosificación del gas con el aire, el mezclado y la combustión se pueden tratar de varios modos, mediante uno u otro modelo de quemador.

8.4.1 Quemador atmosférico. Este quemador para gas es muy popular, como se puede apreciar por sus aplicaciones domésticas. Su principal peculiaridad reside en el modo en que se mezclan el aire y el combustible. El quemador emplea la energía cinética de la corriente gaseosa, que ingresa con baja presión, para aspirar parte del aire necesario para la combustión; el gas y el aire fluyen a través de un tubo Venturi que conduce a la abertura del quemador. Un mecanismo de cierre permite regular la cantidad de aire inducido de esta manera, para conseguir una llama azul no luminosa. El aire secundario se dirige a la llama desde la atmósfera circundante; figura 20, [9].

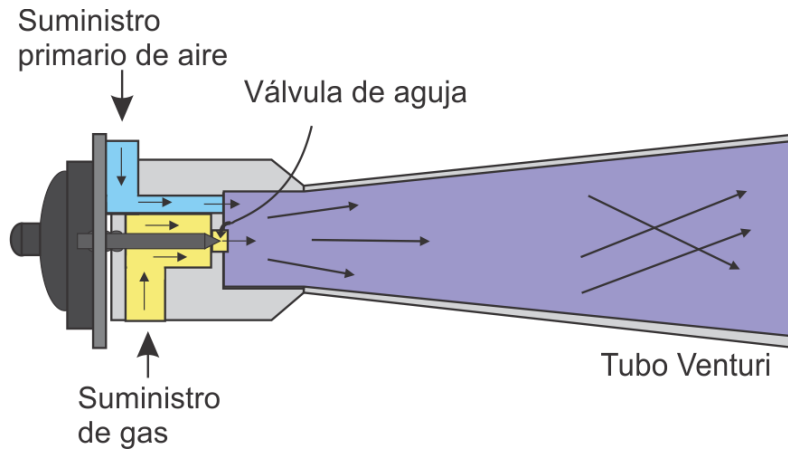


Figura 20. Quemador de gas atmosférico

8.4.2 Quemador de alta presión. Este quemador utiliza el gas presurizado entre 20 y 30 psi (138 kPa a 206 kPa) y el aire a presión atmosférica o cerca de ella. Otros tipos de quemadores utilizan aire comprimido, con gas a la presión atmosférica; figura 21.

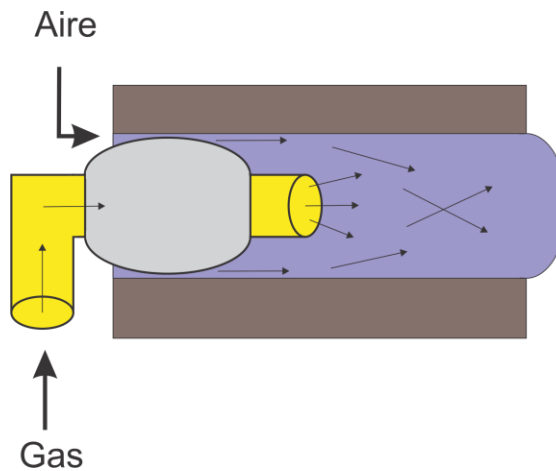


Figura 21. Quemador de túnel de gas.

8.4.3 Quemador de baja presión. En este quemador el flujo de aire ingresa a alta presión y el gas lo hace a presión atmosférica. El aire pasa por la garganta de un tubo Venturi y aspira el gas necesario para la combustión. El flujo de gas se regula por medio de una válvula de aguja, que disminuye o aumenta el área de paso. Uno de estos quemadores puede suministrar a un cabezal quemador que funciona a mayor presión, para superar las condiciones variables del tiro en el hogar; figura 22, [9].

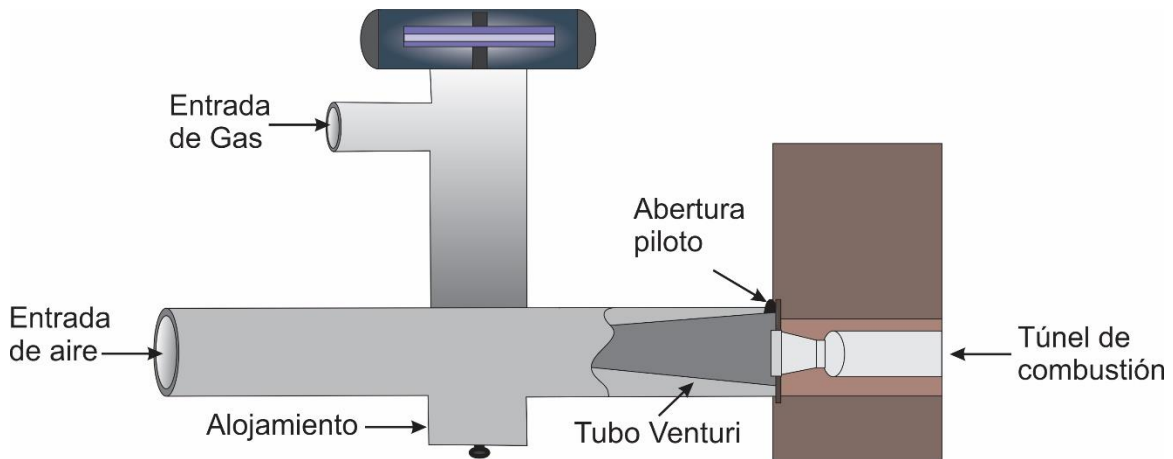


Figura 22. Quemador aspirador de pre mezcla de aire y gas para combustión.

8.5 Cálculo de la potencia de los quemadores

El departamento de Ciencia de Alimentos, de la Universidad de Massachusetts en Amherst, publicó un modelo para analizar el consumo energético de tostadoras de café por lotes y evaluar la forma de reducir ese consumo [10]. El cálculo de la potencia que deben suministrar los quemadores se basa en ese trabajo.

Se llama tostadores de café simples (TS) a las máquinas en las que los gases de combustión no se recirculan; es decir, los gases atraviesan por la cámara de tostado sólo una vez. Los tostadores simples se diseñan habitualmente para lotes pequeños menores a 60 kg, incluso para lotes tan reducidos como 2.5 kg. En muchos TS se desplaza el aire secundario por medio de un extractor, mezclándolo con la flama proveniente de un quemador de tipo lanza. Posteriormente, la mezcla de gases atraviesa por la cámara, el extractor y el ciclón.

En la figura 23 se muestran los componentes básicos de un tostador de café simple, con sus respectivos flujos de masa y temperaturas. Por medio de un balance de energía —con las variables que se enuncian en la figura 23— se establece cuál es la energía total que los quemadores deben suministrar para tostar $m_t = 1$ kg de granos de café verde. Para efectuar el balance de energía se debe elegir la temperatura promedio máxima a la que se tostarán los granos, T_{bf} ; 255°C para tostado oscuro, 236°C para tostado medio y 214°C para tostado ligero (ver la sección 5.1).

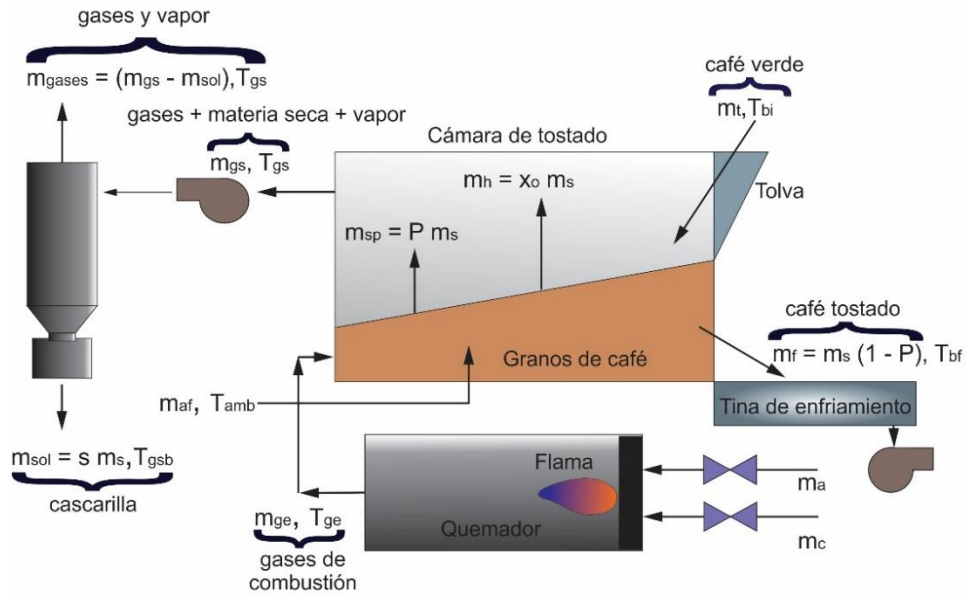


Figura 23. Diagrama con flujo de masa y energía.

8.5.1 Balance de masa. La masa m_t de granos de café verde ingresa a la cámara de tostado a través de la tolva. Los granos verdes contienen humedad y su masa total es la suma de la masa de materia seca m_s y la masa de agua m_h :

$$m_t = m_s + m_h \quad (8.1)$$

Se define la fracción másica $x_0 = m_h/m_s$, que establece la proporción entre la materia seca y la humedad del grano verde.

Para tostar la masa de café verde ingresa al quemador la masa total de combustible m_c y la masa total de aire m_a . La combustión se lleva a cabo en el hogar y se produce la masa de gases de combustión m_{ge} , que ingresa a la cámara de tostado con la temperatura T_{ge} .

Durante el proceso de tostado la masa de agua m_h que ingresó con los granos verdes se evapora por completo y se desprende de los granos de café. Se tiene:

$$m_h = x_0 m_s \quad (8.2)$$

Cuando los granos de café alcanzan aproximadamente 196°C emiten un sonido de crujido. Este “primer crujido” indica el comienzo del tostado liviano. La mayoría de la humedad ya se evaporó y ahora los granos emiten la masa m_{sp} , formada por diversos compuestos (vapor de agua generado por reacciones químicas, CO_2 , CO y compuestos orgánicos volátiles).

Se define la fracción másica $P = m_{sp}/m_s$, que establece la proporción entre la materia emitida total y la materia seca de los granos verdes. Por lo tanto, la materia emitida total se expresa como:

$$m_{sp} = P m_s \quad (8.3)$$

Se define la fracción másica $S = m_{sol}/m_s$, que establece la proporción entre la masa de cascarilla desprendida y la materia seca de los granos verdes. La masa de cascarilla desprendida —y extraída por medio del ciclón— se expresa como:

$$m_{sol} = S m_s \quad (8.4)$$

Se define la fracción másica $Q = m_{gases}/m_s$, que establece la proporción entre la masa emitida como gases, vapor y volátiles, y la materia seca de los granos verdes. Por lo tanto, la materia gaseosa emitida total se expresa como:

$$m_{gases} = Q m_s \quad (8.5)$$

Por supuesto, $m_{sp} = m_{sol} + m_{gases}$, de donde:

$$Q = P - S \quad (8.6)$$

En la mayoría de las cámaras de tostado se mantiene la presión estática por abajo de la atmosférica, para evitar el escape de los gases, vapores y humos. Por lo tanto, se puede filtrar aire fresco a la cámara. La masa total de aire fresco que ingresa a la cámara, durante el tiempo θ_{tost} , se puede expresar con la fracción másica $A = m_{af}/m_s$. Entonces:

$$m_{af} = A m_s \quad (8.7)$$

El balance de masa para los gases queda:

$$\begin{aligned} m_{gs} &= m_{ge} + m_{af} + m_h + m_{sp} = m_{ge} + A m_s + x_0 m_s + P m_s \\ m_{gs} &= m_{ge} + m_s (A + x_0 + P) \end{aligned} \quad (8.8)$$

El balance de masa para la materia sólida queda:

$$\begin{aligned} m_s &= m_t / (1 + x_0) = m_f + m_{sp} \\ m_f &= m_s - m_{sp} = m_s - P m_s \end{aligned}$$

La masa final de los granos al terminar el tostado, pero antes del enfriamiento, es:

$$m_f = m_s (1 - P) \quad (8.9)$$

La masa total emitida como gases, vapor y volátiles, $m_{\text{gases}} = Q m_s = (P - S) m_s$, es función de la temperatura en la cámara de tostado. La gráfica de la figura 24 muestra el cambio de las fracciones de masa de cada compuesto emitido, en función de la temperatura de los granos de café.

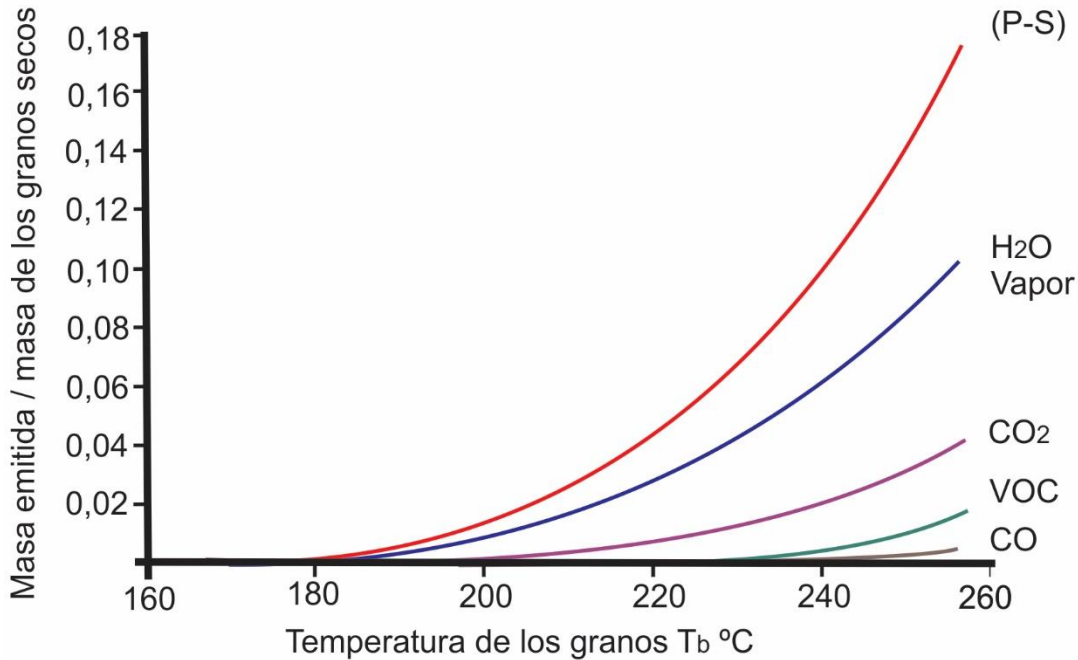


Figura 24. Grafica Temperatura vs masa en los granos

8.5.2 Balance de energía. Por medio de un balance de entalpías se calculó la energía total que los quemadores deben suministrar para tostar $m_t = 1$ kg de granos de café verde. El balance de energía se fraccionó, para calcularlo por separado para cada sustancia involucrada en el proceso.

Granos tostados. El calor específico para la materia seca de los granos se puede evaluar con la igualdad:

$$C_{b \text{ seca}} = [1.099 + 0.007 T_b] \text{ kJ}/(\text{kg } ^\circ\text{C}) \quad (8.10)$$

y el calor neto transferido a la materia seca de los granos es:

$$Q_b = m_f \Delta h_b = m_s (1 - P) \int_{T_a}^{T_{bf}} C_p(T) dT = m_s (1 - P) \int_{T_a}^{T_{bf}} [1.099 + 0.007 T_b] dT$$

$$\Delta h_b = Q_b / m_s = (1 - P) [1.099 (T_{bf} - T_a) + 0.0035 (T_{bf}^2 - T_a^2)] \quad (8.11)$$

donde T_{bf} = temperatura final de los granos en la cámara, que depende del tipo de tostado, y T_a = temperatura ambiente ≈ 20 °C.

Cascarilla. La cascarilla expulsada por la parte baja del ciclón también forma parte de la materia seca. Un valor típico para la cascarilla desprendida de los granos de variedad arábica es $S = 0,011$. Es típico que la cascarilla se caliente a $T_{sol} = 200^\circ\text{C}$ dentro de la cámara de tostado, antes de ser capturada en el ciclón [10]. Por consiguiente:

$$Q_{cas} = m_{sol} \Delta h_{cas} = S m_s \int_{T_a}^{200} C_p(T) dT = S m_s \int_{T_a}^{200} [1.099 + 0.007 T_{sol}] dT$$

$$\Delta h_{cas} = Q_{cas}/m_s = S [1.099 (200 - T_a) + 0.0035 (200^2 - T_a^2)] \quad (8.12)$$

Aire fresco. El calor transferido a la masa total de aire fresco que ingresa a la cámara es:

$$Q_{af} = m_{af} \Delta h_{af} = A m_s C_{af} (T_{gs} - T_a)$$

$$\Delta h_{af} = Q_{af}/m_s = A C_{af} (T_{gs} - T_a) \quad (8.13)$$

La temperatura de los gases de combustión a la entrada de la cámara, T_{ge} , está en el intervalo de 235°C a 535°C . En ocasiones T_{ge} se establece en un mínimo de 220°C o puede llegar hasta un máximo de 650°C . Pero los granos se queman a nivel superficial si $T_{ge} > 535^\circ\text{C}$ por un tiempo prolongado. Un valor aceptable para la temperatura de los gases de combustión a la salida de la cámara es $T_{gs} = 400^\circ\text{C}$. El calor específico promedio del aire es $C_{af} = 1.069 \text{ kJ/kg K}$. Para los tostadores de café simples se tiene $A = 0.733$, para un tiempo de tostado $\theta_{tost} = 600 \text{ s}$ [10].

Agua. El modelado de tostadoras industriales típicas mostró que, aproximadamente, la mitad del contenido de humedad de los granos se pierde cuando su temperatura llega a $T_b \approx 160^\circ\text{C}$ [10]. Por lo tanto, en el balance de entalpía del agua se supondrá que el contenido inicial de humedad en los granos verdes, $m_h = x_0 m_s$, se evapora a $T_b \approx 160^\circ\text{C}$. El calor transferido para calentar, la desorción evaporativa y el sobrecalentamiento de la humedad contenida en los granos verdes es:

$$Q_h = m_h \Delta h_h = x_0 m_s [C_{liq} (160^\circ\text{C} - T_a) + \Delta h_{de} + C_{vap} (T_{gs} - 160^\circ\text{C})]$$

$$\Delta h_h = Q_h/m_s = x_0 [C_{liq} (160^\circ\text{C} - T_a) + \Delta h_{de} + C_{vap} (T_{gs} - 160^\circ\text{C})] \quad (8.14)$$

El calor específico promedio del agua líquida es $C_{liq} = 4.25 \text{ kJ/kg K}$. La entalpía de evaporación del agua para $P_{atm} = 78 \text{ [kPa]}$ es $\Delta h_{fg} = 2 275.54 \text{ kJ/kg K}$. El calor latente de desorción evaporativa es aproximadamente 1.2 veces la entalpía de evaporación normal del agua [10]; por consiguiente, $\Delta h_{de} = (1.2 \Delta h_{fg}) = 2 730.65 \text{ kJ/kg K}$. El calor específico promedio del vapor de agua es $C_{vap} = 2.06 \text{ kJ/kg K}$. El valor típico para la fracción de humedad inicial en los granos verdes es $x_0 = 0.111$.

Materia seca gasificada. La temperatura promedio a la que se descompone la materia seca en gas y vapor es, aproximadamente, $T_{desc} = (200^{\circ}\text{C} + T_{bf})/2$ [10]. El calor transferido a la materia seca gasificada es:

$$Q_{gases} = m_{gases} \Delta h_{gases} = Q m_s \left[\int_{T_a}^{T_{desc}} C_p(T) dT + C_{gases} (T_{gs} - T_{desc}) \right]$$

$$Q_{gases} = (P - S) m_s \left[\int_{T_a}^{T_{desc}} [1.099 + 0.007 T_g] dT + C_{gases} (T_{gs} - T_{desc}) \right]$$

$$\Delta h_{gases} = Q_{gases} / m_s$$

$$\Delta h_{gases} = (P - S) [1.099 (T_{desc} - T_a) + 0.0035 (T_{desc}^2 - T_a^2) + C_{gases} (T_{gs} - T_{desc})] \quad (8.15)$$

El calor específico de los gases se tomará igual al del aire, $C_{gases} = C_{af} = 1.069 \text{ kJ/kg K}$.

Calor total. El calor total necesario para tostar la masa seca m_s de café verde es:

$$Q_T = m_s (\Delta h_b + \Delta h_{cas} + \Delta h_{af} + \Delta h_h + \Delta h_{gases})$$

pero la masa total de granos de café verde es $m_t = m_s + m_h$ y $m_h = x_0 m_s$, por lo que,

$$m_t = m_s + x_0 m_s = m_s (1 + x_0); \text{ entonces,}$$

$$m_s = m_t / (1 + x_0)$$

$$Q_T = [m_t / (1 + x_0)] (\Delta h_b + \Delta h_{cas} + \Delta h_{af} + \Delta h_h + \Delta h_{gases}) \quad (8.16)$$

El cálculo se puede hacer para $m_t = 1 \text{ kg}$, con $S = 0.011$, $A = 0.733$ y $x_0 = 0.111$. La diferencia $(P - S)$ se lee en la gráfica de la figura 24, en función de la temperatura final de los granos de café, ($T_{bf} = 214, 236$ ó 255°C , según el tostado que se prefiera). De la lectura en la gráfica, como $S = 0.011$, se despeja P . Se usarán las temperaturas $T_a = 20^{\circ}\text{C}$; $T_{gs} = 400^{\circ}\text{C}$; $T_{desc} = (200^{\circ}\text{C} + T_{bf})/2$; y las propiedades $C_{af} = 1.069 \text{ kJ/kg K}$, $C_{liq} = 4.25 \text{ kJ/kg K}$; $\Delta h_{de} = 2730.65 \text{ kJ/kg K}$; $C_{vap} = 2.06 \text{ kJ/kg K}$; $C_{gases} = C_{af} = 1.069 \text{ kJ/kg K}$. Los resultados se muestran en la tabla 7, para tres temperaturas finales de los granos de café.

Tabla 7. Calor total necesario para tostar 1.0 kg de café verde.

T_{bf} ($^{\circ}\text{C}$)	P-S	P	Δh_b (J)	Δh_{cas} (J)	Δh_{af} (J)	Δh_h (J)	Δh_{gases} (J)	Q_t (J)
214	0.022	0.033	359 812.96	3 700.67	297 759.26	424 025.55	12 328.83	987 963.30
236	0.068	0.079	396 877.32	3 700.67	297 759.26	424 025.55	39 242.23	1 045 549.18
255	0.160	0.171	401 611.12	3 700.67	297 759.26	424 025.55	94 750.70	1 099 772.51

La tasa promedio de transferencia de calor para tostar 2.5 kg de granos verdes se obtiene con el cociente del calor total por kg, multiplicado por 2.5, entre el tiempo de la operación de tostado, $\theta_{tost} = 600 \text{ s}$.

$$q = 2.5 \frac{Q_T}{\theta_{\text{tost}}} \quad (8.17)$$

Para cada tipo de tostado, definido por la temperatura final de los granos en la cámara, se tiene la tasa de transferencia:

$$q_{(214^\circ\text{C})} = 2.5 \frac{987\,963.3 \text{ J}}{600 \text{ s}} = 4\,116.5 \text{ W}$$

$$q_{(236^\circ\text{C})} = 2.5 \frac{1\,045\,549.18 \text{ kJ}}{600 \text{ s}} = 4\,356.5 \text{ W}$$

$$q_{(255^\circ\text{C})} = 2.5 \frac{1\,099\,772.5 \text{ kJ}}{600 \text{ s}} = 4\,582.4 \text{ W}$$

Sólo una parte del calor generado por la combustión se transmite a los tambores de la cámara de tostado y de éstos a los granos de café. Una parte considerable del calor se transmite hacia los alrededores y a la estructura y superficies del tostador. Por lo tanto, la tasa de transferencia para el tostado es mayor que la estimada anteriormente.

Una estimación razonable es que sólo la mitad del calor generado en el hogar se transmite a los granos de café. Por consiguiente, se multiplican las cifras anteriores por un factor de dos:

$$q_{(214^\circ\text{C})} * 2 = 8.233 \text{ kW}$$

$$q_{(236^\circ\text{C})} * 2 = 8.713 \text{ kW}$$

$$q_{(255^\circ\text{C})} * 2 = 9.165 \text{ kW}$$

8.4 Selección del sistema de combustión

Para seleccionar el sistema de combustión se estableció lo siguiente:

- La empresa emplea regularmente gas licuado de petróleo y actualmente no está interesada en modificar sus instalaciones.
- Como primera solución el control del flujo de gas en el quemador será manual. Posteriormente —cuando se haya caracterizado el funcionamiento de la máquina tostadora— se instalará un sistema de control que regule la intensidad de la flama, en función de la temperatura de los gases que ingresan a la cámara de tostado, T_{ge} .

- Se pueden emplear uno o varios quemadores para GLP, pero el control de la temperatura será más complicado si se emplea más de un quemador. El quemador seleccionado deberá ser robusto y soportar condiciones de uso continuo.

La tasa de transferencia que se debe suministrar a la cámara de tostado es relativamente pequeña, no mayor a 10 kW, y se puede satisfacer con un quemador atmosférico. Se seleccionó un quemador industrial de flama recta, disponible en México, marca PYPESA, modelo QA11; figura 25. Este quemador tiene varias características ventajosas:

- a. El quemador se puede colocar tanto en posición vertical como horizontal.
- b. Está construido con hierro colado y tiene una esprea intercambiable de latón para dosificar el flujo de gas (GLP o natural).
- c. Es ligero y sus dimensiones son reducidas (180 mm de largo y 54 mm de diámetro), lo cual facilita colocarlo en el espacio inferior de la cámara de tostado.
- d. La conexión para la alimentación de gas es roscada $\frac{1}{4}$ NPT. El flujo de gas que ingresa al quemador se regula en forma manual; el aire es aspirado por la corriente de gas.
- e. El área transversal del quemador es circular, con el fin de aprovechar al máximo las dimensiones del hogar.

La capacidad del quemador, con la esprea número 70 y alimentado con GLP, está en el intervalo 1.44 a 12.75 kW, en función de la presión de alimentación del gas. Su precio aproximado es \$327. Las dimensiones y características del quemador se muestran en el Anexo D.1.



Figura 25. Quemador de flama recta, tipo soplete.

9. Diseño de la tina de enfriamiento

Inmediatamente después del tostado se inicia el proceso de enfriamiento, para que las células del grano se cristalicen, sellen los poros de la superficie y atrapen dentro del grano los aromas y sabores que se liberarán con el molido y la infusión. Por consiguiente, al término del proceso de tueste los granos de café deben disminuir drásticamente su temperatura. Se espera que en los treinta segundos posteriores al tostado la temperatura de los granos descienda hasta 175°C ; después, en menos de tres minutos, los granos deberán enfriarse hasta la temperatura ambiental.

Para facilitar el enfriamiento, los granos tostados se extraen de la cámara de tueste y caen en una tina de enfriamiento [12]. Se trata de un recipiente abierto a la atmósfera, dentro del cual se desplazan continuamente los granos para exponerlos al contacto con el aire a temperatura ambiente. El piso de la tina es una placa metálica con perforaciones, a través de las cuales pasa el aire desplazado por un extractor. Unas paletas mezcladoras giran a baja velocidad para mover y esparcir los granos dentro de la tina; figura 26.

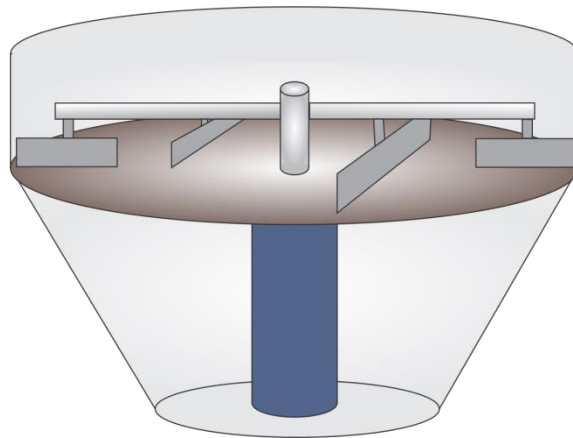


Figura 26. Tina de enfriamiento.

En las visitas que se hicieron a diversos locales, que tuestan y expenden café en la Ciudad de México, se observó detenidamente el proceso de enfriamiento de los granos en máquinas tostadoras de aire caliente. La velocidad angular de las paletas mezcladoras está habitualmente por encima de 10 rpm, pero no rebasa 18 rpm.

Para impulsar el desplazamiento de las paletas se buscó un motor eléctrico con reducción incorporada, cuya velocidad esté en el intervalo 10 a 18 rpm. Se encontró un motor

síncrono marca Superior Electric, modelo SS700G5, 120 VAC, 1.1 A, monofásico, con reducción planetaria 5:1 y velocidad de salida de 14.4 rpm.

A petición de GCV la tina de enfriamiento tendrá una capacidad superior al volumen de un lote tostado, para que el desalojo de los granos no deba realizarse en cada lote. Para acelerar el enfriamiento conviene que la altura de los granos dentro de la tina sea muy somera. El volumen necesario para contener 2.5 kg de café tostado es $V_{ct} = 0.00713 \text{ m}^3$.

Con base en las tinas de las diversas máquinas tostadoras que se estudiaron, se eligió el diámetro $d_t = 0.52 \text{ m}$. El área de la base es:

$$A_{te} = \frac{\pi}{4} (d_t)^2 = \frac{\pi}{4} (0.52)^2 = 0.2123 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{café tostado}} = A_{te} * L \rightarrow L = \frac{V_{\text{café tostado}}}{A_{te}} = \frac{0.00713 \text{ m}^3}{0.2123 \text{ m}^2} = 0.0336 \text{ m}$$

Para satisfacer la petición de CGV se eligió $L = 0.15 \text{ m}$ para la tina de enfriamiento, que estará construida con lámina de acero inoxidable AISI 304, calibre 22. En el Anexo E.1 están los dibujos de detalle y ensamble de las piezas que componen la tina.

La tina tendrá dos pares diferentes de paletas. Dos paletas son rectangulares, planas, paralelas al brazo radial y se desplazan muy cerca de la pared vertical de la tina. Las otras dos tiene mayor longitud, son curvas en un extremo y se ubican más cercanas al eje vertical de giro. Estarán fabricadas con acero inoxidable 304, calibre 22; figura 27.

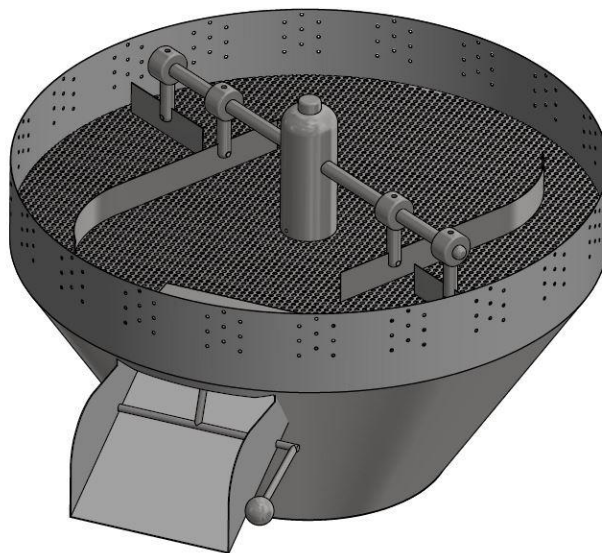


Figura 27. Tina de enfriamiento con paletas mezcladoras.

10. Extracción de la cascarilla y los gases de la cámara.

En el proceso de tostado de los granos de café verde se presentan diversos cambios fisicoquímicos, uno de ellos en el cambio de volumen ocasionado por el almacenamiento de CO_2 gaseoso y el aumento en la presión interna (ver la sección 5.2). No obstante que los granos verdes se someten al proceso de trillado antes de pasar al tueste, aún tienen una ligera capa a modo de barniz, un tegumento natural producto de la cereza que cubre el exterior del grano. Esta capa, conocida también como cascarilla, se desprende de cada grano en el proceso de cocción, debido al aumento de volumen [13].

Es común que las máquinas tostadoras por aire caliente cuentan con un extractor de gases, conectado a un separador ciclónico en el cual se precipita la cascarilla transportada por el aire desde la cámara de tueste. El extractor de aire debe forzar el caudal suficiente para regular la temperatura dentro de la cámara de tostado, así como para extraer la cascarilla y evitar su carbonización (lo que modificaría las propiedades organolépticas de los granos).

Un separador ciclónico, conocido en ocasiones como pre-limpiador, es un aparato utilizado para retirar partículas sólidas de un fluido en movimiento, sin la necesidad de filtros de tela o precipitadores electrostáticos. Algunos de sus principales usos es la extracción en hornos de cocción, calcinación, cuba o cochura, para el control de emisiones y la colección de sólidos [14].

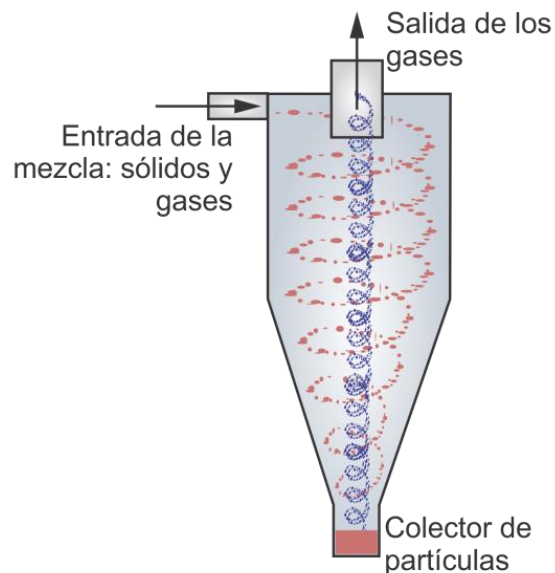


Figura 28. Separador ciclónico.

Los ciclones emplean las fuerzas centrifugas generadas por causa de la rotación, para sedimentar tanto las partículas sólidas como las gotas de condensados; figura 28. Está formado por un recipiente cilíndrico acoplado a un cono truncado, ambos dispuestos en posición vertical. El flujo de gas ingresa por un conducto horizontal, conectado de manera tangencial en la parte superior del cilindro. En la parte baja del recipiente cónico se tiene una compuerta, a través de la cual se retiran las partículas sedimentadas.

Los sólidos contenidos en el fluido se mueven por la periferia del ciclón, siguiendo una trayectoria en espiral que desciende hasta llegar a la parte más estrecha del cono truncado. En este punto las partículas sólidas caen y el fluido continúa su trayectoria, de nuevo con un trazo espiral pero esta vez ascendiendo por la parte central, gracias al ventilador que se ubica en la parte superior del ciclón y extrae el aire [15].

10.1 Eficiencia de un ciclón

La eficiencia de un ciclón está determinada en gran medida por su tamaño. Se ha comprobado que los ciclones de menor diámetro son los que proporcionan las mayores eficiencias en la separación de partículas [16]. También se ha observado que la eficiencia aumenta con la altura total del equipo, el diámetro y densidad de las partículas, la baja rugosidad de la pared interior y el incremento de la velocidad de entrada.

Las partículas sólidas que se deben extraer en el proceso de tueste son relativamente grandes (mayores a 40 μm). Por lo tanto, la eficiencia de remoción de partículas estará en el rango elevado (entre 95 y 99%), pero el ciclón deberá tener las proporciones sugeridas por McCabe; figura 29.

Los dibujos de detalle y ensamble del ciclón se encuentran en el Anexo F.1.

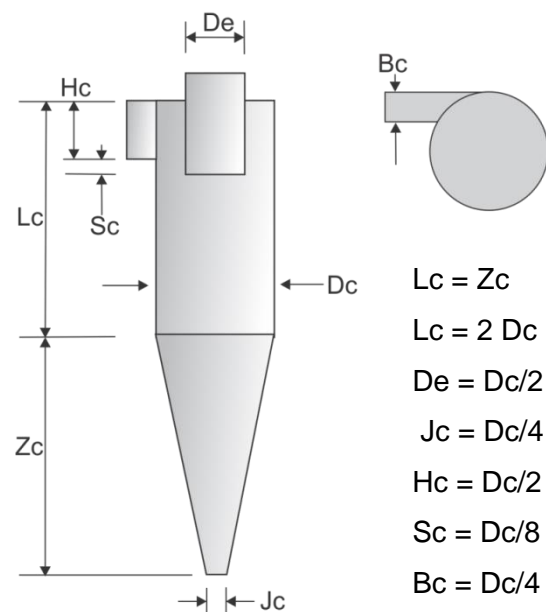


Figura 29. Geometría recomendada para el ciclón.

11. Estructura de la máquina

La estructura contiene a todos los componentes de la máquina tostadora, los sujeta en las posiciones relativas que deben mantener y absorbe las reacciones que se suscitan durante el funcionamiento de la máquina [17]. Para diseñar la estructura primero se deben definir las posiciones de cada uno de los elementos, en función de las relaciones que mantienen entre sí y la forma en que se sujetaran a la estructura.

La máquina tostadora contiene los siguientes elementos: tambor exterior e interior, eje, chumaceras y rodamientos, paredes frontal y trasera, cubierta interior y exterior, tina de enfriamiento y extractor, quemador, sistema de control y extractor con separador ciclónico.

Todos los componentes de la máquina tostadora mantendrán una posición fija sobre sus puntos de sujeción, y se moverán únicamente en el caso de requerir mantenimiento o para la integración de nuevos componentes.

11.1 Estructura de la cámara de tostado

El conjunto de los dos tambores, el eje, y la carga de café estará apoyado sobre dos rodamientos (ver sección 7.3). Los rodamientos se montarán en chumaceras de pared, que estarán montadas directamente sobre las paredes del tostador. Las paredes serán de lámina de acero inoxidable 304 en calibre 16, con una rigidez que excede lo necesario para la aplicación, dado que la carga del conjunto café, cámaras, eje y sujeción tiene una masa aproximada de 10 kg; figura 30.

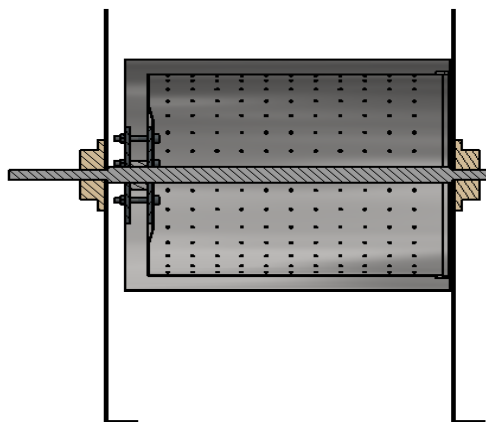


Figura 30. Conjunto de cámaras sustentado en las paredes laterales.

Con un propósito meramente estético se colocará una tercera pared, paralela a las ya mencionadas que se muestran en la figura 30. Su finalidad es ocultar el motor y las piezas que lo acoplan con el eje de la cámara de tostado.

Para aumentar la rigidez del conjunto se instalarán cuatro barras de acero, con media pulgada de diámetro y en posición horizontal, que atravesarán cada una de las paredes y las mantendrán equidistantes; figura 31.

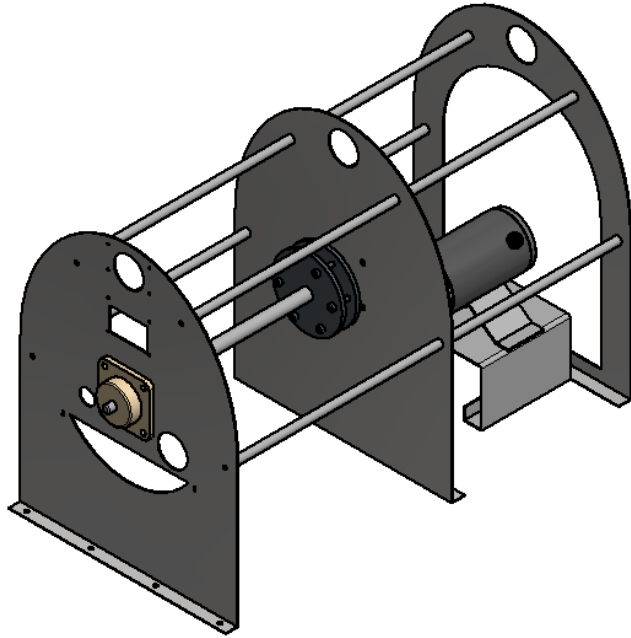


Figura 31. Estructura de la cámara de tostado.

11.2 Estructura de soporte para la cámara y la tina de enfriamiento.

La estructura inferior soportará a la cámara de tostado y a la tina de enfriamiento. Para diseñarla se eligieron perfiles IPS de aluminio, que se utilizan ampliamente para construir estructuras por su gran versatilidad, ligereza y facilidad de ensamble sin necesidad de soldadura. El peso total de la máquina tostadora no supera 50 kg, una carga muy ligera para las capacidades de los perfiles IPS con sección transversal de 40 mm x 40 mm. Por lo tanto, no fue necesario realizar un análisis de cargas estáticas y dinámicas, sino un sencillo diseño geométrico.

La empresa 80/20 es un fabricante de sistemas de encuadre modular, con una gran variedad de productos como perfiles, accesorios de piso, conectores, piezas de unión y

ensamble mediante tornillos, entre otros. En el catálogo de este fabricante se identificaron los perfiles y los elementos de sujeción necesarios para la estructura. Los códigos de identificación de los elementos empleados se encuentran listados en el Anexo G.1.

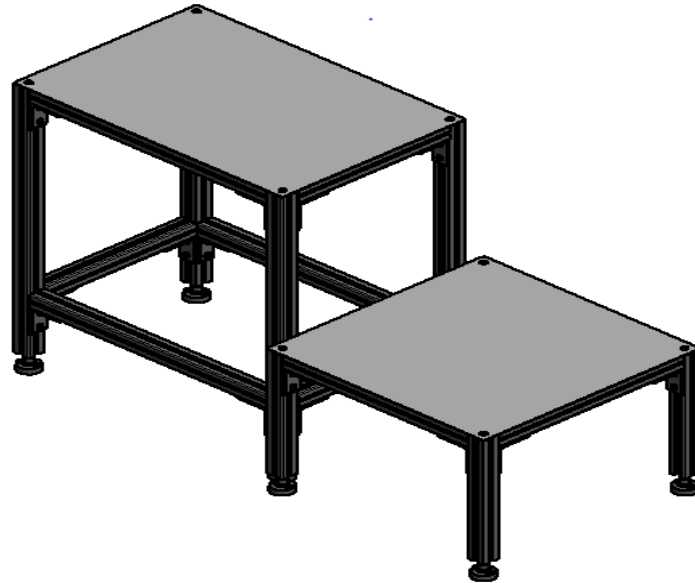


Figura 32. Mesa para soportar la cámara de tostado y la tina de enfriamiento.

Esta sección de la estructura consiste en una mesa con dos tableros horizontales. En el tablero superior se colocará la cámara de tostado y en el inferior la tina de enfriamiento; figura 32. En el extremo inferior de los seis postes verticales, con sección de 40 mm x 40 mm, se instalarán patas reguladoras de altura para compensar las posibles variaciones del suelo y nivelar cada tablero. En las uniones perpendiculares se empleará un sistema de tornillo y tuerca deslizante, para sujetar los perfiles entre sí; figura 33.

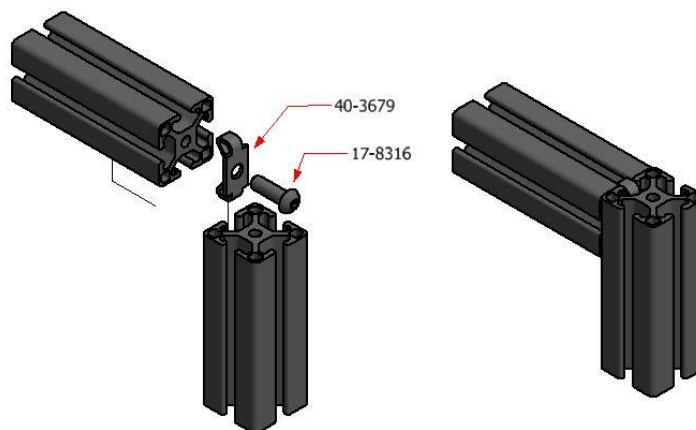


Figura 33. Sujeción entre dos perfiles a 90 grados.

Para rigidizar las uniones perpendiculares entre dos tramos rectos se emplearán soportes de esquina, sujetados con tuercas 30-3796 y tornillos de 8 mm x de 16 mm; figura 34. Las superficies de los tableros se construirán con lámina de acero inoxidable 304, calibre 16.

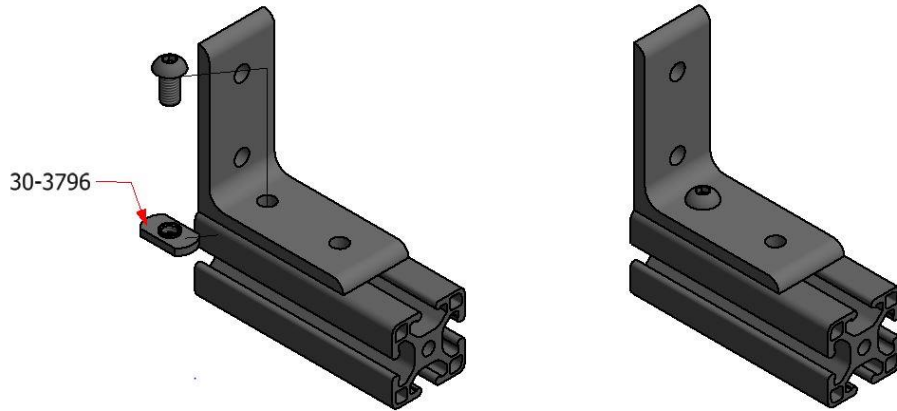


Figura 34. Soportes de esquina para las uniones entre tramos perpendiculares.

El ciclón se colocará de forma independiente, adecuándose a las posibilidades del lugar de trabajo. Se sugiere que se coloque en la parte posterior de la cámara de tostado, el lugar más cercano al tubo de salida de los gases desde el tambor interior.

Los dibujos de detalle y los planos de ensamble se muestran en el anexo G.2.

11.3 Tolva

Se trata de un recipiente semejante a un embudo, en el que se depositan los granos de café verde y se mantienen hasta el momento en que ingresan a la cámara de tostado. Por lo general, las tolvas se diseñan para contener el volumen máximo de un lote de tueste. El volumen de 2.5 kg de café verde es de $0.00363 \text{ m}^3 \approx 3.63$ litros.

La tolva se forma con la unión de un recipiente cilíndrico y un cono truncado. En la parte inferior del conjunto se tiene un tubo más estrecho, que servirá para introducir los granos verdes en la cámara de tostado. En su totalidad estará construida con lamina de acero inoxidable calibre 22; figura 35.

El área trasversal del cilindro superior tiene 0.25 m de diámetro y su área transversal es:

$$a_{tv} = \frac{\pi}{4} (0.25\text{m})^2 = 0.049 \text{ m}^2$$

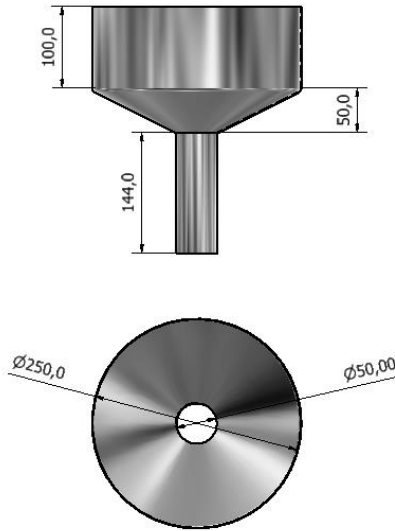


Figura 35. Tolva de entrada de los granos; cotas en mm.

Con una altura de 0.1 m el volumen de la parte superior de la tolva será:

$$v_{tv} = a_{tv} \cdot h = (0.049 \text{ m}^2)(0.1 \text{ m}) = 0.0049 \text{ m}^3$$

Con lo cual se excede el volumen necesario para alojar los 2.5 kg de granos.

La tolva cuenta con una compuerta de salida en la parte inferior del tubo, que al abrirse permite el ingreso de los granos a la cámara de tostado. Además de retener los granos de café dentro de la tolva hasta el momento del tueste, la compuerta restringe el acceso de aire frío al interior de la cámara y direcciona la salida de los gases caliente hacia el ciclón.

11.4 Aislante

Para disminuir la transferencia de calor entre el hogar y el ambiente —y también para disminuir la temperatura superficial con la que puede hacer contacto el usuario— se colocará un material aislante. El aislante estará contenido entre dos placas de acero inoxidable, una es la que está en contacto con el ambiente y la otra que lo protege de la flama dentro del hogar.

Se utilizará lana mineral (fabricada a partir de rocas ígneas), un material bien conocido por ser ignífugo y un excelente aislante (su conductividad térmica está entre 0.05 y 0.031 W/m K), debido a su estructura multidireccional que alberga aire en su interior.

11.5 Álabes

Los álabes o paletas son elementos que sirven para mezclar, porque desvían la trayectoria y acarrean a los granos que se mueven alrededor del eje de la cámara de tostado (ver la sección 6.2.1). En el caso de la máquina tostadora se utilizarán álabes muy sencillos, con forma de placas rectangulares delgadas, adosados en la pared del tambor interior; figura 36.

Los álabes tendrán un pequeño dobléz en la base, que les da una sección transversal en forma de L. La altura del perfil será de 5 centímetros, lo suficiente para romper el núcleo de granos inmóviles. Su longitud es igual a la del tambor y están colocados equidistantes a cada 60°, fijos a la pared del tambor mediante remaches.

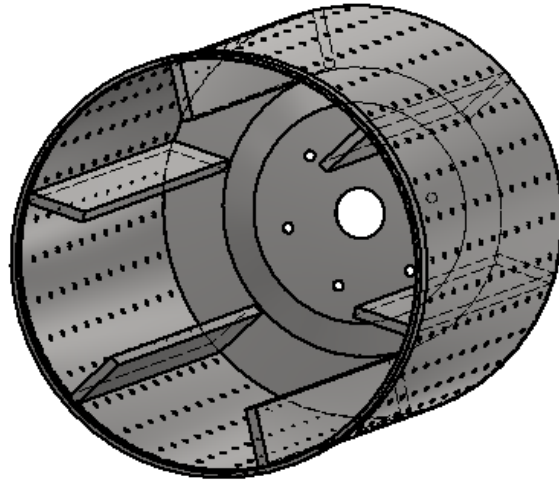


Figura 36. Álabes adosados a la pared del tambor interior.

12. Sistema de control

Cualquier máquina que desarrolle una tarea útil debe contar con un subsistema por el que se traslada información, con el propósito de dosificar la transmisión de potencia para que la máquina efectúe su tarea con el ritmo y la magnitud adecuados [17].

Los granos de café se tuestan para obtener un sabor y aroma determinados, que se eligen en cada ocasión dentro de un abanico amplio de posibilidades. El avance y los resultados de la operación de tostado se someten a la apreciación cualitativa de un especialista, una persona experimentada y con conocimientos de las características organolépticas del café. Por esta razón, la máquina tostadora diseñada en este proyecto no es automática y necesitará la presencia de un operario, tanto para colocar los granos dentro de la tolva de entrada, como para determinar el momento de salida de los granos de acuerdo con el grado de tueste deseado.

En la pared frontal del tostador se colocaron dos elementos que permiten vigilar la evolución del proceso. La mirilla permite observar el color que toman los granos durante el proceso de cocción. La probeta ranurada es un recipiente cilíndrico pequeño, que se introduce a la cámara de tostado y recoge una muestra de los granos. La montura de la probeta permite retirarla manualmente para apreciar el avance del tostado; figura 37.

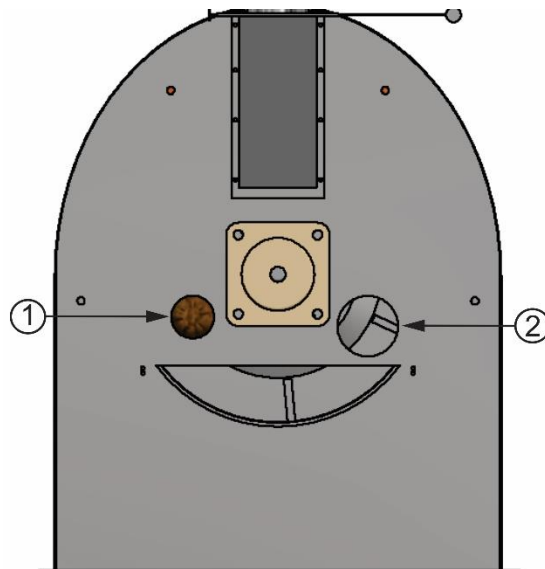


Figura 37. Vista frontal del tostador. 1. Probeta; 2. Mirilla.

12.1 Medición de la temperatura

La temperatura es una de las variables más importantes en el proceso de tueste. Mediante esta variable se determina el grado de tostado así como la duración del proceso. Por esto, es de suma importancia conocer la temperatura a la que se encuentra la cámara.

12.1.1 Termopares. La medición de la temperatura se realizará con termopares. Un termopar es un sensor para medir temperatura, que funciona con base en la diferencia de voltaje que se genera entre dos alambres de diferentes metales. El extremo en el que se unen ambos alambres se sumerge en el ambiente donde se quiere medir la temperatura. Generalmente, los alambres están enfundados en un revestimiento aislante, que varía en espesor y material [18]. Los termopares a los que nos referiremos en este capítulo son los que están en contacto con el montículo de granos dentro de la tostadora.

Es importante aclarar que el termopar informa su propia temperatura, específicamente en el extremo o cerca del extremo con la unión de los alambres. Esta temperatura es afectada por el espesor del revestimiento aislante, el diseño de la tostadora, la ubicación de la sonda respecto al montículo de granos, la masa de granos, el flujo de aire que se filtra a través de la masa de granos, la velocidad del aire y los ajustes del quemador.

Por eso, la medición de la temperatura del grano a través de un termopar –enterrado en la masa de granos dentro de la tostadora– se debe entender como un indicador de temperatura teórica de esa masa de granos. A esta temperatura se le conocerá como la “temperatura del proceso”.

En general, los termopares más delgados son más sensibles a los cambios de temperatura, mientras que los más gruesos tienen mayor inercia térmica y tienden a reaccionar más lentamente.

12.1.2 Tiempo de reacción del termopar. En la mayoría de los sistemas de tueste se precalienta el metal de la cámara de tostado y el aire que circula a través de la máquina. El precalentamiento forma una carga térmica, que ayuda a transitar por la primera etapa del tueste. Por lo tanto, los termopares se calientan mucho mientras se precalienta la tostadora.

Cuando los granos se introducen a temperatura ambiente los termopares se enfrían con rapidez. Después, los granos se calientan progresivamente por el gradiente térmico entre

el ambiente de la cámara y la masa de granos. La temperatura real de los granos está en permanente ascenso, por el continuo ingreso de energía térmica a la cámara. Después de un tiempo el termopar debe alcanzar el equilibrio térmico con la masa de granos, pero los termopares más gruesos estarán siempre atrasados respecto de los más delgados.

Es probable que ningún termopar indique con exactitud la temperatura verdadera del grano, pero los termopares son excelentes indicadores que ayudan a comprender el proceso de tostado. El tiempo de reacción del termopar causa una diferencia, que puede ser significativa, entre la temperatura del termopar y la temperatura de la masa de granos de café.

Otra consideración importante es que los termopares más gruesos tienden a filtrar los datos naturalmente, ya que no pueden reaccionar tan rápidamente. Esto puede sugerir que la curva graficada está progresando de manera más favorable, pero se trata de una función de suavizado del atraso térmico. Si bien son durables, algunas veces son demasiado lentos para reaccionar y pueden no dar una indicación suficientemente precisa sobre lo que está sucediendo dentro del tambor.

12.1.3 Ubicación y tipo del termopar. La ubicación y posición del termopar afecta la cantidad de exposición al flujo de aire y la transferencia de energía de radiación, y con ello el tiempo de reacción del termopar. Las localizaciones más comunes para el termopar son en la placa frontal, encima de la puerta, y dentro de la puerta abatible. Para esta máquina se eligió el lugar más bajo dentro del tambor, en la puerta abatible, para colocar el termopar.

La temperatura en la cámara de tostado se encuentra en el intervalo de temperatura ambiente a 260°C. El termopar que mejor se ajusta a este intervalo es el tipo K, con alambres de cromel y alumel, el cual trabaja en el intervalo de temperaturas -200°C a 1250°C. El termopar K posee un límite de error de 0.75% (tipo estándar) y de 0.4% (tipo especial), es de uso muy común y es poco costoso.

12.2 Conexión del termopar y la placa Arduino

Se utilizará la plataforma Arduino para recibir la señal eléctrica del termopar y mostrarla en una pantalla con diodos luminosos. Arduino es una plataforma de código abierto utilizada para la construcción de proyectos de electrónica. Consiste en una placa de

circuitos programable, a menudo denominada microcontrolador, y un sistema de software que se ejecuta en una computadora, para escribir y cargar códigos de cómputo en la placa física. Existe un conjunto muy variado de placas, llamadas shields, que se pueden enchufar en la parte superior de la placa Arduino y que amplían sus capacidades.

Para la medición de temperatura se emplearán los siguientes componentes:

- Una base de madera o acrílico, de 10 x 10 cm
- Tarjeta Arduino UNO.
- Conectores de tornillo para Arduino
- Shield con pantalla LCD + Keypad, marca DF Robot
- Módulo MAX6675
- Termopar Tipo K (Incluida con el módulo MAX 6675)
- Cable Dupont Hembra-Macho
- Fuente de poder
- Tornillos de fijación

12.2.1 Conexión del sistema. Para ensamblar el sistema que medirá la temperatura, a través de la placa Arduino, se siguen los siguientes pasos:

1. En la base de madera o acrílico se deben realizar barrenos iniciales, para después insertar los tornillos y fijar el módulo MAX6675 y la tarjeta Arduino UNO.
2. Se colocan los conectores de tornillo en la tarjeta Arduino y sobre ellos se inserta la pantalla Shield LCD.
3. Se conecta el termopar al módulo MAX6675. Los termopares que vienen junto con el módulo están diseñados para acoplarse fácilmente, con los tornillos de ajuste ubicados en la tarjeta MAX6675. Es importante comprobar que la polaridad del termopar coincida con la mostrada en el módulo.
4. Conectar el MAX6675 a la tarjeta Arduino como se muestra en la figura 38.

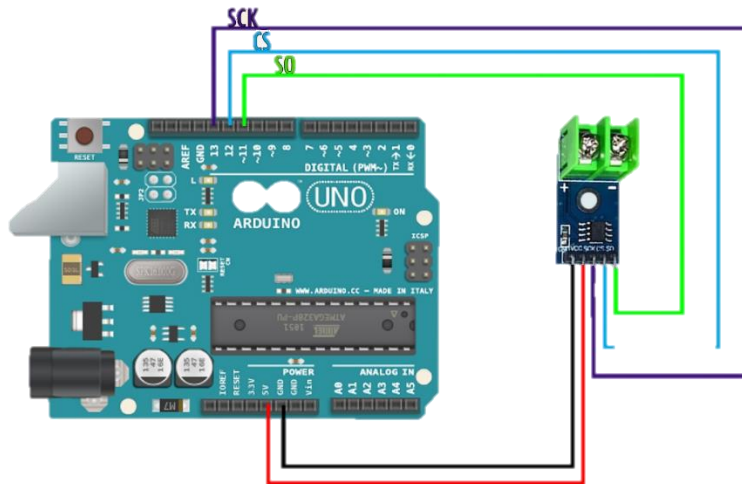


Figura 38. Diagrama de conexiones.

12.2.2 Programación de la placa Arduino. Se deben llevar a cabo unas pocas acciones para programar la placa Arduino.

a. Se debe instalar en una computadora personal el paquete de software Arduino IDE. Una vez instalado gestionar la librería necesaria para controlar el Módulo MAX6675 con ayuda de Arduino; esta librería está disponible en línea.

b. Si se requiere hacer modificaciones al programa es necesario contar con el software mencionado en el punto anterior. Si no hay nada que modificar se procede a programar la tarjeta. Para esto vamos a: Menú -> Herramientas -> Placa “Arduino/Genuino Uno” -> Arduino/Genuino Uno.

c. Después se selecciona el puerto que utilizará Arduino, vamos a: Menú -> Herramientas -> Puerto -> COM4 (Arduino/Genuino Uno).

d. Se hace “click” en el ícono en forma de flecha que apunta a la derecha, para comenzar a compilar el programa.

e. El programa está listo y de inmediato deberá mostrar la temperatura del termopar.

El reporte de la temperatura se puede leer en el tablero de control, acompañado por los botones de encendido de los componentes de la máquina; figura 43.

13. Resultados

13.1 Dimensiones de la maquina

La máquina tostadora tiene tres secciones principales: la cámara de tostado, la tina de enfriamiento y el ciclón extractor, que estarán arregladas en las posiciones que se muestran en la figura 39.

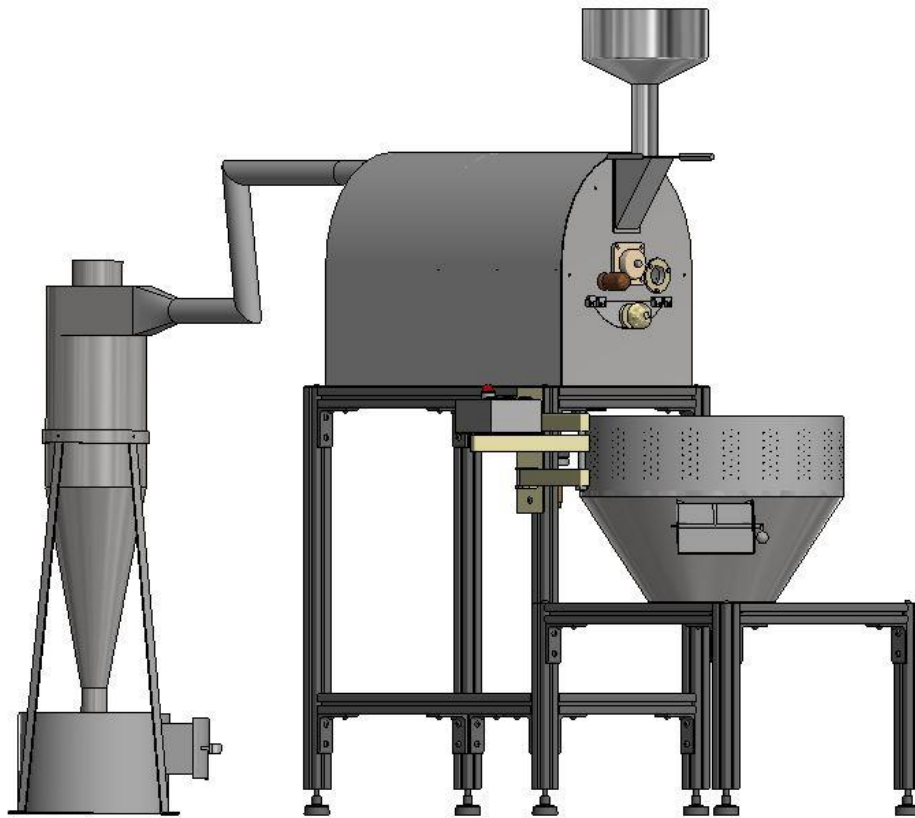


Figura 39. Máquina tostadora

La cámara de tostado debe estar inmediata a la tina de enfriamiento, pues al término del tueste los granos caen en la tina para enfriarlos rápidamente y frenar su cocción. El ciclón se conecta en la parte trasera de la máquina, donde se encuentra el tubo que comunica con la cámara para extraer los gases. La posición del ciclón puede variar, para adaptarse a las dimensiones y disposición del local, pero se sugiere que se coloque lo más cerca posible a la cámara para reducir las caídas de presión y economizar en cuanto al tramo de tubo para la conexión.

Con la distribución sugerida, la maquina ocupará el espacio que se detalla en la figura 40.

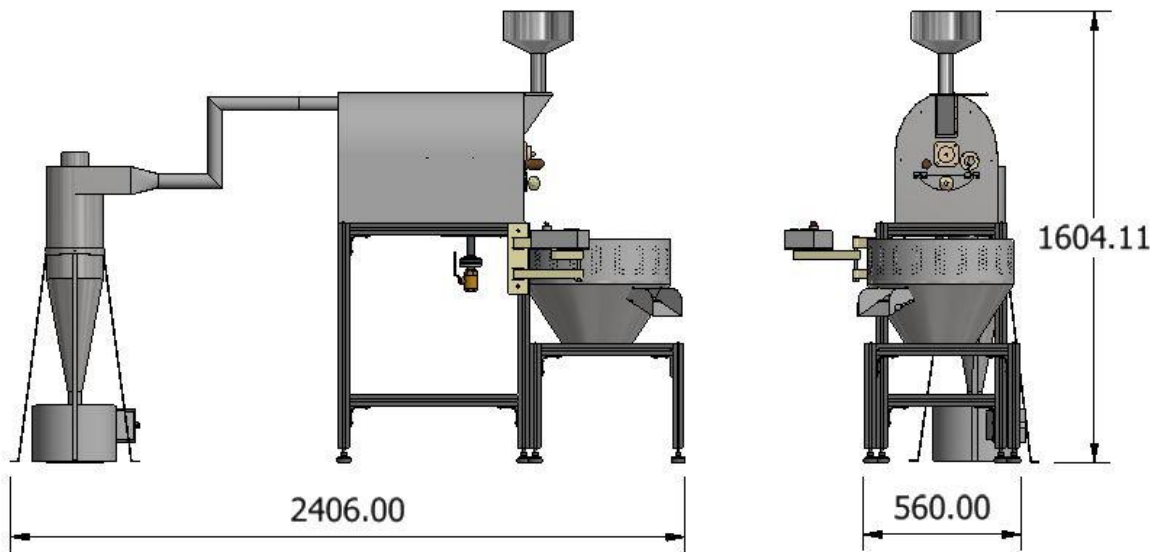


Figura 40. Dimensiones generales de la máquina tostadora

Proceso de tueste:

El proceso de tueste de café se realiza entre 214 y 255°C (ver la sección 8.5). El primer paso en el proceso de tostado es encender la llama del quemador de forma manual, con la ayuda de un encendedor portátil de gas que se debe introducir por la parte lateral derecha, a través de los orificios que se muestran en la figura 41. El encendedor deberá tener una longitud aproximada de 20 centímetros, para entrar con facilidad y evitar riesgos para el operario a cargo.

Otra posibilidad es emplear un piloto de encendido por arco eléctrico, que se acciona mediante un botón especial del tablero de control; figura 43.

La apertura del gas se realiza por la parte inferior del tostador, a la entrada del tiro, mediante la apertura y regulación manual de una válvula de bola, convencional para los sistemas de alimentación de gas LP; figura 42.

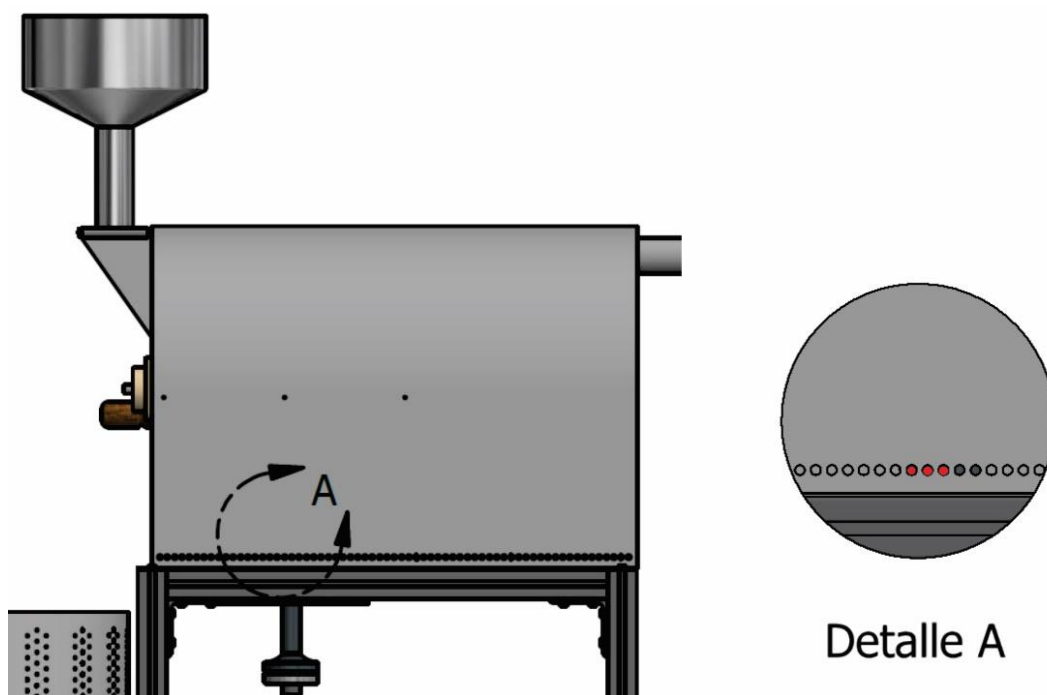


Figura 41. Vista lateral derecha de la maquina tostadora.
Acceso al quemador por los orificios en color rojo.

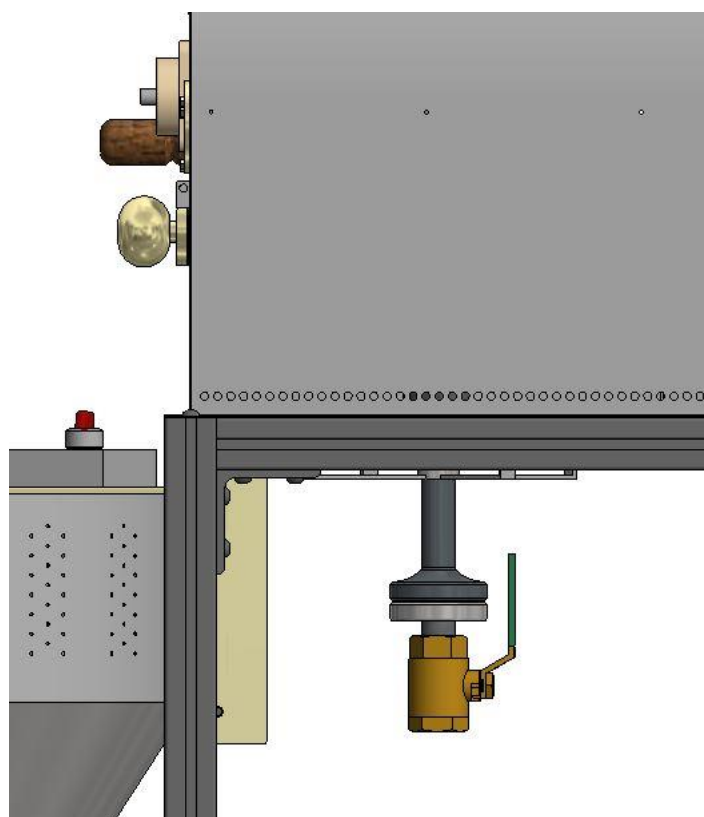


Figura 42. Detalle de la válvula de servicio del GLP.

Se deberá esperar a que la cámara alcance la temperatura adecuada para el tueste, que el operario podrá leer en la pantalla conectada a la caja del sistema de control. Con el botón 1 se ponen en marcha dos motores: el que impulsa el giro de las cámaras de tostado y el motor que hace funcionar al extractor de gases, conectado en la parte superior del ciclón. La temperatura de la cámara se podrá regular mediante la cantidad de aire extraído de la cámara mediante el tiro forzado, esto regulado la velocidad de giro del extractor conectado al ciclón.

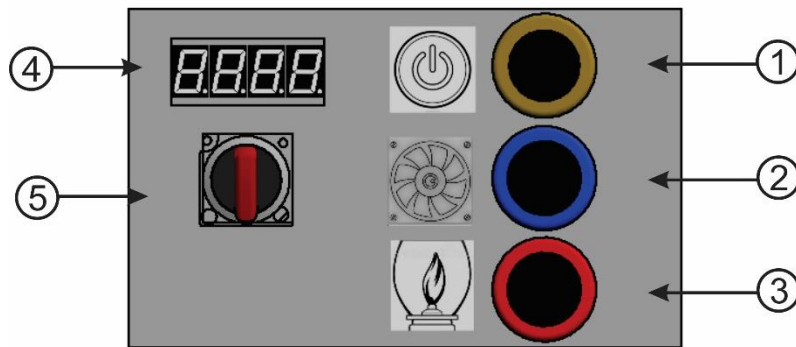


Figura 43. Tablero de control.

Cuando la temperatura de la cámara sea la adecuada para iniciar el tostado, el grano ingresa por la tolva adosada en la pared frontal; figura 39. El grano entra cuando la compuerta inferior de la tolva se encuentra abierta; al terminar el acceso del grano se cierra la compuerta para conectar la cámara con el extractor.

Durante el proceso de tostado se puede observar el avance por la mirilla frontal. La probeta ranurada permitirá extraer algunos granos para verificar su color y apariencia. El proceso de tostado durará aproximadamente doce minutos, dependiendo del grado de tueste deseado. Cuando el finaliza el proceso de tostado se cierra el suministro de gas con la válvula a la entrada del quemador. Enseguida se debe oprimir el botón 2, para poner en marcha el motor de los álabes mezcladores de la tina de enfriamiento y el extractor de la tina de enfriamiento.

Posteriormente se abre la compuerta de salida de la cámara, levantando el contrapeso, Los granos caen a la tina de enfriamiento, donde se mantendrán por tres minutos. Tan pronto como se hayan extraído todos los granos tostados de la cámara, se puede desactivar el botón 1, para apagar el extractor del ciclón y detener el giro de los tambores de la cámara. Al término del enfriamiento de los granos tostados se abre la compuerta lateral de la tina y se permite la salida del grano.

14. Análisis y discusión de resultados

Se realizó el diseño integral de la máquina tostadora por medio de aire caliente, con capacidad de 2.5 kg de granos de café verde. Algunos de los procesos más importantes del diseño, que frecuentemente se ignoran en la construcción de máquinas tostadoras artesanales, se analizaron con base en modelos bien afinados de la ingeniería.

Así fue, por ejemplo, con el balance de energía para determinar la tasa promedio de transferencia de calor que debe proporcionar el quemador. El diseño del eje de transmisión de los tambores concéntricos, en la cámara de tostado, se llevó a cabo con el método de Von Mises para ejes sometidos a fatiga.

Dos variables iniciales de diseño se determinaron con base en una caracterización experimental: la velocidad angular apropiada para los tambores en la cámara de tostado y la demanda de potencia para impulsar los tambores y mezclar los granos de café. La experimentación también confirmó la necesidad de incluir álabes en el tambor interior de la cámara

Una parte muy importante de los resultados son los dibujos de detalle de todos los componentes y los planos de ensamble de los diversos sistemas que configuran la máquina, así como la selección de los motores para impulsar el sistema de enfriamiento y los tambores de la cámara de tostado.

Los dibujos de detalle se pueden consultar en los Anexos A.1, C.1, E.1 y F.1.

Los elementos comerciales en los anexos B.3, D.1 y G.1.

Los planos de detalle están en la sección de entregables.

15. Conclusiones

Se construyó un modelo físico que permitió estudiar el mezclado de los granos en el interior de un cilindro giratorio en posición horizontal. Además de las observaciones estrictamente cualitativas —por ejemplo, que la masa de granos forma un núcleo que permanece inmóvil a menos que se incluyan álabes para el mezclado— el modelo también permitió determinar experimentalmente dos variables de diseño muy importantes, el intervalo de velocidades angulares más apropiado para mezclar los granos y la potencia necesaria para ejecutar esta operación.

El sistema de calentamiento se dimensionó a partir del estudio “*Batch coffee roasting; roasting energy use; reducing that use*” publicado por la Universidad de Massachusetts, que emplea resultados experimentales para cuantificar el consumo energético de una máquina tostadora con recirculación. Se hizo una adaptación de este estudio para una máquina de tostado simple (TS), con la que se determinó la tasa de transferencia de calor y la capacidad del quemador de GLP.

Los resultados que se mencionan en los dos párrafos anteriores son extrapolables al diseño de otras máquinas, con diferente principio de tostado y otra carga de trabajo.

Para obtener granos de café tostado de gran calidad es necesario retirar la cascarilla que se desprende durante el proceso de tueste. De lo contrario se afectarán las propiedades organolépticas de los granos tostados. Se propuso un sistema de extracción formado por un separador ciclónico y un extractor, el cual separa la cascarilla y genera la succión necesaria para transportar los gases calientes a través de la cámara de tostado.

Al concluir la operación de tostado se debe disminuir con rapidez la temperatura de los granos de café, para frenar su cocción. Se diseñó el sistema de enfriamiento para recibir los granos tostados en una tina metálica abierta a la atmosfera, y mezclarlos con suavidad mientras circula un flujo de aire forzado por un extractor, ubicado en la parte inferior de la tina de enfriamiento.

El material seleccionado para la mayoría de las piezas de esta máquina, y en especial aquellas que alcanzan altas temperaturas y están en contacto con los granos, es acero inoxidable 304. De esta forma se satisface las exigencias sanitarias de maquinaria para procesar alimentos de ingesta humana.

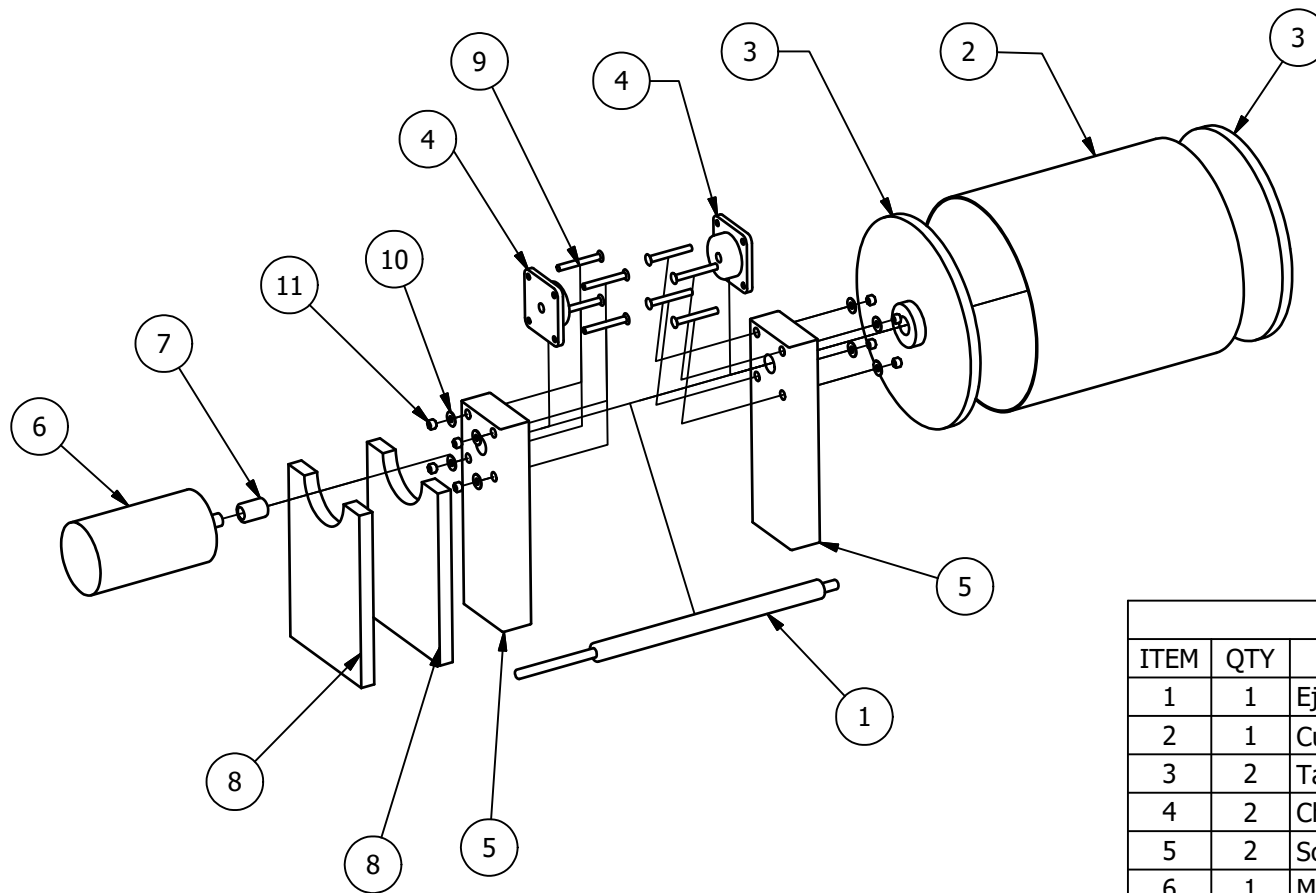
16. Bibliografía

- [1] Scott Rao, 2014, *The coffee Roaster's Companion*, Canada, capítulo 7.
- [2] Busco Café, 2017, *Maquinarias torrefacción, tostadoras de café industriales*, http://www.buscocafe.com/buscar/1_2_120.php
- [3] División de Estrategia y Proyectos Especiales de Comercialización Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1993, *Vademécum del Tostador Colombiano*, Capitulo 2.
- [4] Albert Solá, 2006, *Sabor de Café*, Fórum Café, Pag.36-41.
- [5] Marco Navarro, 2018, *Tipos de tostadores*, <https://de.scribd.com/doc/314746569/Tipos-de-Tostadores>
- [6] G. Buynas y K. Nisbett, 2008, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, Estados Unidos de América, Capitulo 6 y 7.
- [7] S. Villanueva y J. Ramos, 1994, *Manual de métodos de fabricación metal mecánica*, México, Capitulo 3.
- [8] Manuel Márquez Martínez, 2005, *Combustión y quemadores*, Barcelona España.
- [9] L. Kohan, Combustión, 2003, *Quemadores, controladores y sistemas de seguridad de llama. Procesos básicos de combustión*, Estados Unidos de América, capítulo 11.
- [10] Hery Schwarzberg, 2006, *Batch coffee roasting, roasting energy use, reducing that use*, United States.
- [11] Singh, P. Singh, R, Bhamidipati, S. Singh. S & Barone, P. 1997. *Thermophysical Properties of Fresh and Roasted Coffee Powders. Journal of Food Process Engineering*, United States, 20(1), 31-50
- [12] A. Castillo y M. Muños, 2016, *Manual básico de buenas prácticas para el tostado del café*, Ecuador.
- [13] Cafés Candelas, 2017, *¿Qué es la cascara del café y para qué sirve?* <https://www.cafescandelas.com/es/blog/cascara-cafe>

- [14] EPA, 2009, *Tecnología de control de contaminantes de aire*, United States.
- [15] Mc Cabe y C Smith, 1993, *Units Operation on Chemical Engineering*, United States, Capítulo 20.
- [16] Villca Villa, 2017, *Tropical cyclones, gases, applied and interdisciplinary physics*, United States.
- [17] G. Aragón, A. Canales y A. León, 2014, *Introducción a la potencia fluida*, España, Capítulo 1.
- [18] Omega Engineering Mexico, 2018, Omega, *Control de Temperatura, Equipos y Controlador PID*, <https://mx.omega.com/prodinfo/control-de-temperatura.html>
- [19] K. Ogata, 2010, *Ingeniería de control moderna*, España.
- [20] Secretaria de comercio, 1990, *Cribas para la clasificación de materiales granulares NMX-B-231-1990*, México.

Anexo A.1

Dibujos de detalle de la cámara de pruebas.

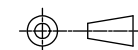


Lista de partes				
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	
1	1		Eje	
2	1		Cuerpo cilíndrico	
3	2		Tapa de la cámara	
4	2		Chumacera	1/2 x 3 3/8
5	2		Soporte para la cámara de pruebas	
6	1		Motor	
7	1		Cople	
8	2		Soporte del motor	
9	8		Tornillo	2 1/2 x 5/16 18 UNC
10	8		Rondana	5/16 - 13/16 x 1/16
11	8		Tuerca	5/16 18 UNC

Material:
Según especificaciones en planos

1:10

mm



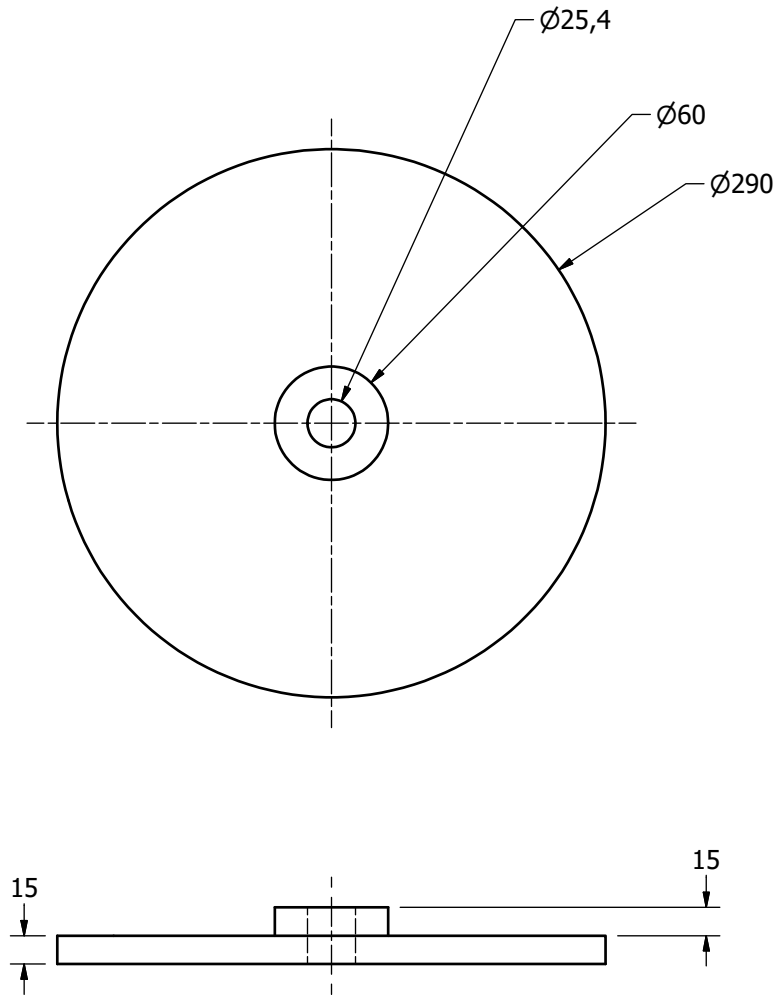
Prototipo de pruebas

UAM-A

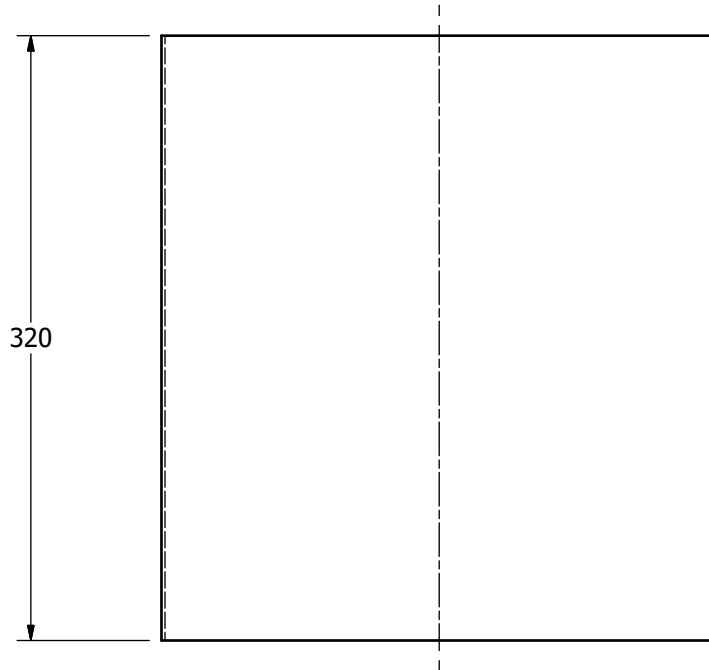
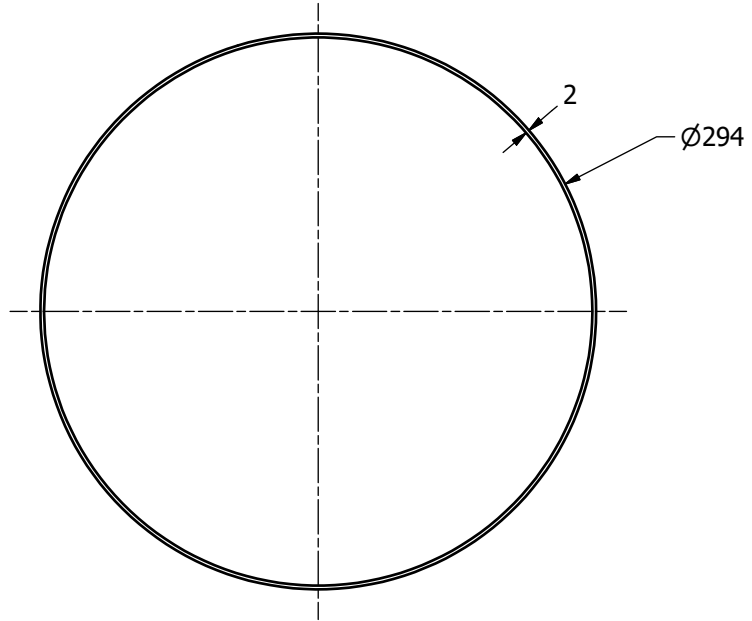
Explosionado

Alumnos:
Rocío Luna Ramos
Sergio Ibarra Moreno

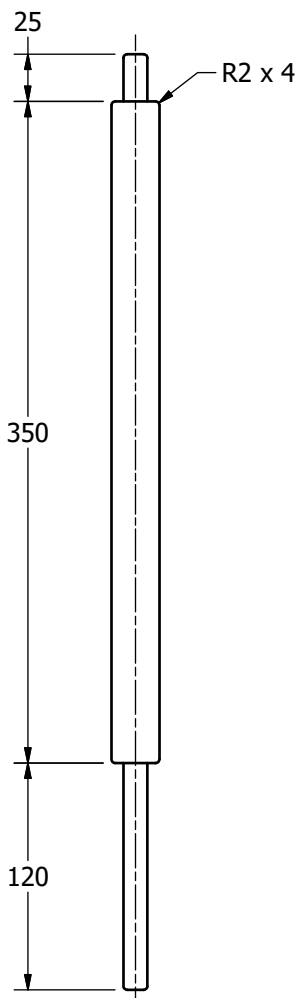
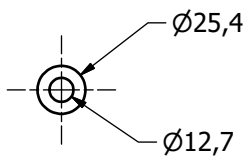
1 / 7



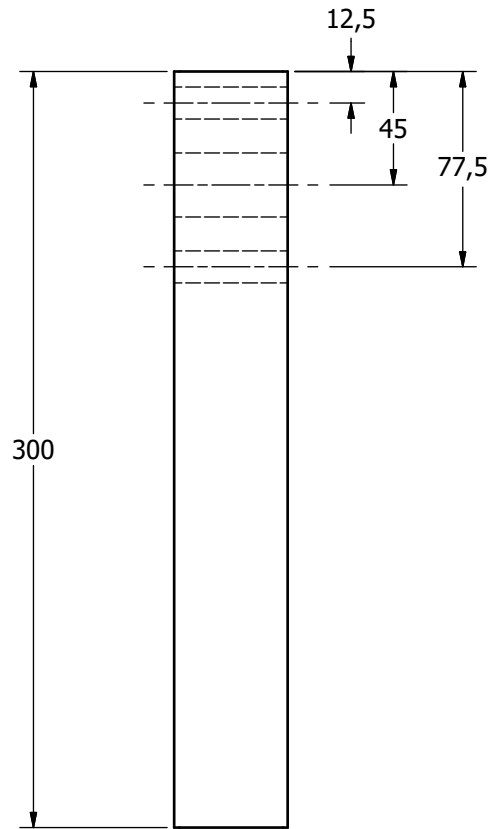
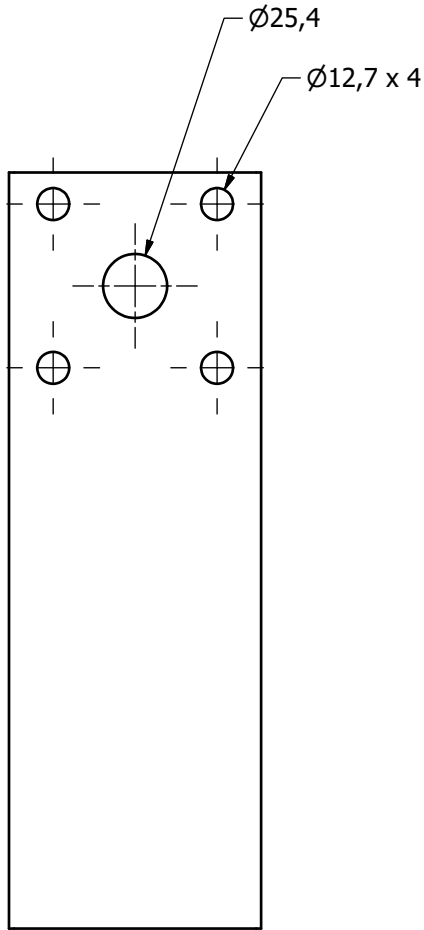
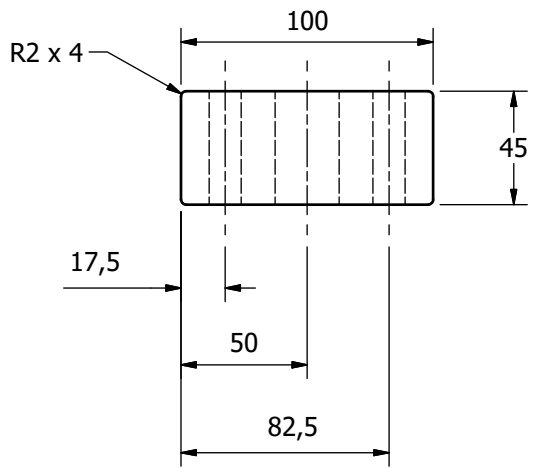
Material:	Placa de acrilico	1:4	mm		Prototipo de pruebas
UAM-A	Tapa de la cámara				
	Alumnos:	Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			2 / 7



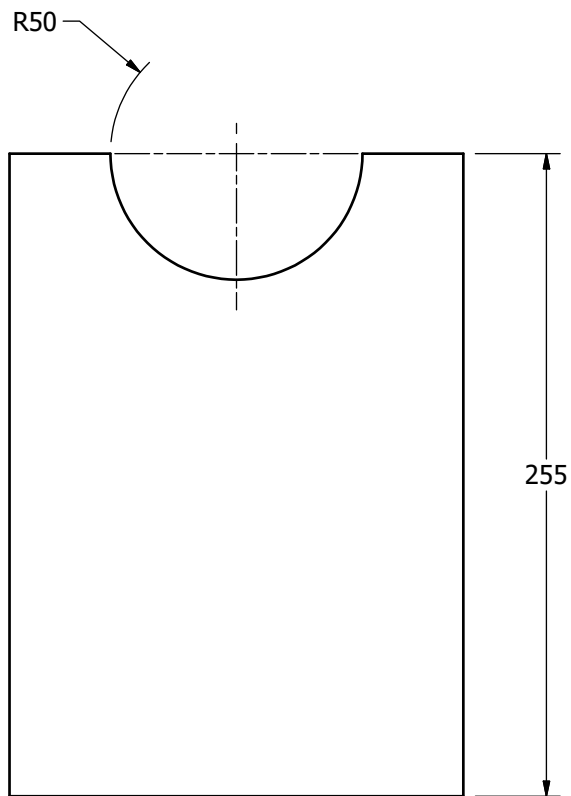
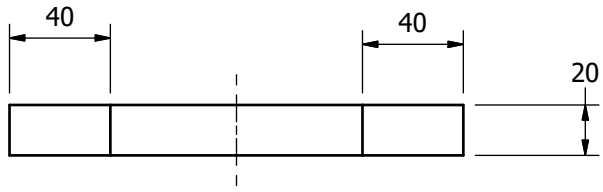
Material:	Película de vinilo	1:4	mm		Prototipo de pruebas
UAM-A	Cuerpo cilíndrico				
	Alumnos:	Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			3 / 7



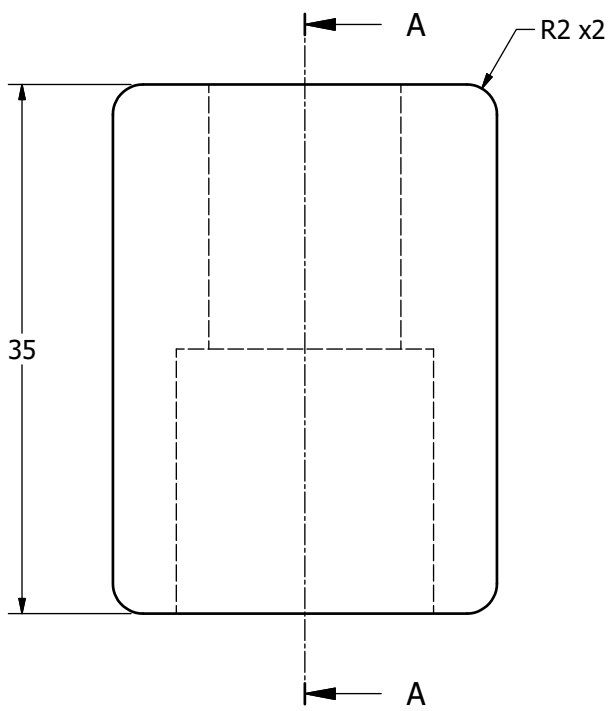
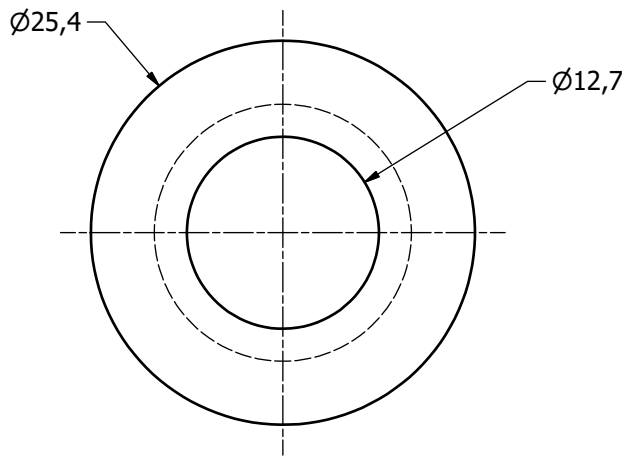
Material: Barra de acero inoxidable 304 diámetro 1 pulgada	1:4	mm		Prototipo de pruebas
UAM-A	Eje			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			4 / 7



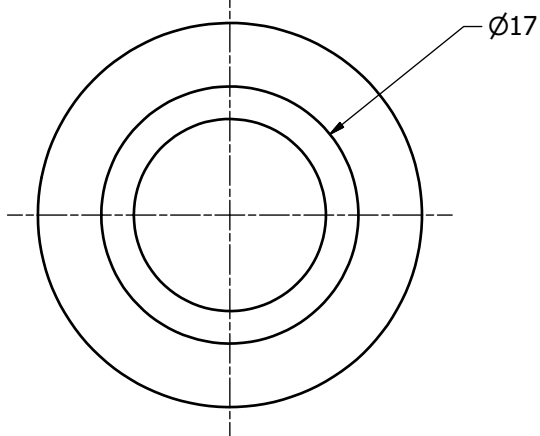
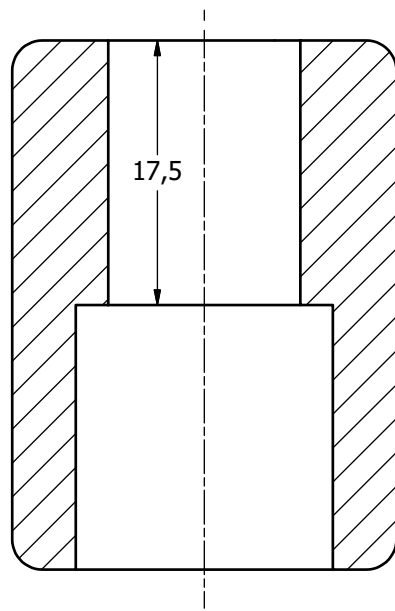
Material: Perfil rectangular de aluminio	1:3	mm		Prototipo de pruebas
UAM-A	Soporte para la cámara de pruebas			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			5 / 7



Material:	Placa de madera (pino)	1:3	mm		Prototipo de pruebas
UAM-A	Soporte del motor				
	Alumnos:	Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			6 / 7



CORTE A-A



Material: Barra de acero inoxidable 304 diámetro 1 pulgada	2:1	mm		Prototipo de pruebas
UAM-A	Cople			7 / 7
				Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno

Anexo **B.1**

Diseño del eje.

En el **anexo A** se detalla el análisis para determinar las dimensiones del eje.

El eje de transmisión deberá diseñarse para satisfacer las características demandadas por el proceso de torrefacción del café. Los siguientes parámetros se obtuvieron experimentalmente.

Tabla 1.- Datos de diseño

Potencia	W	300 [W]	Par torsor	$T =$	57.29
	=				[Nm]
Velocidad	$n =$	50 [rpm]	Carga café verde	$w' =$	2.5 [kg]

Se seleccionó un motorreductor de corriente directa

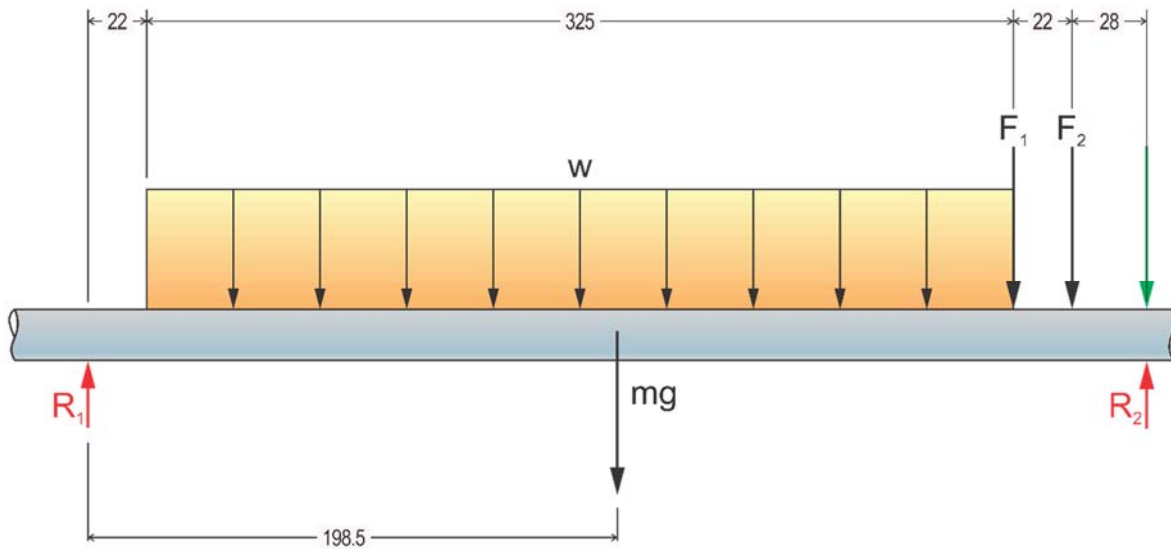


Figura A1. Diagrama de cuerpo libre del eje de transmisión de la cámara de tostado.

- $F_1 =$ peso del tambor interior y su brida
- $w =$ Carga distribuida del café verde
- $F_2 =$ peso del tambor exterior y su brida
- R_1 y $R_2 =$ reacciones en las chumaceras
- mg peso del eje

=

La carga F_1 considera el peso del tambor interior y la brida de acero. El punto de aplicación de esta carga se ubica en la sección de contacto entre el eje y la brida. La brida tiene un espesor de 0.25 pulgadas.

$$F_1 = (\text{masa del tambor interior} + \text{brida}) (9.81 \text{ [m/s}^2\text{)})$$

$$F_1 = (3 \text{ [kg]} + 0.5 \text{ [kg]}) (9.81 \text{ [m/s}^2\text{)})$$

$$F_1 = 34.3 \text{ [N]}$$

La carga F_2 considera el peso del tambor exterior y la brida plana utilizada para acoplarse con el tambor interior. Igualmente, su punto de aplicación corresponde a la región sobre la que hace contacto con el eje.

$$F_2 = (\text{masa del tambor exterior} + \text{brida}) (9.81 \text{ [m/s}^2\text{)})$$

$$F_2 = (1.5 \text{ [kg]} + 0.5 \text{ [kg]}) (9.81 \text{ [m/s}^2\text{)})$$

$$F_2 = 19.6 \text{ [N]}$$

La carga distribuida por el café se calcula a partir de la masa de café verde (2.5 [kg]) y el espacio que utiliza en el tambor interior (325 [mm]).

$$w = (2.5 \text{ [kg]}) (9.81 \text{ [m/s}^2\text{)}) / (0.325 \text{ [m]})$$

$$w = 75.5 \text{ [N/m]}$$

Las reacciones provocadas por las chumaceras son:

$$R_1 = 28.6 \text{ [N]}$$

$$R_2 = 69.4 \text{ [N]}$$

Los diagramas de cortante y de momentos se muestran en la figura B.

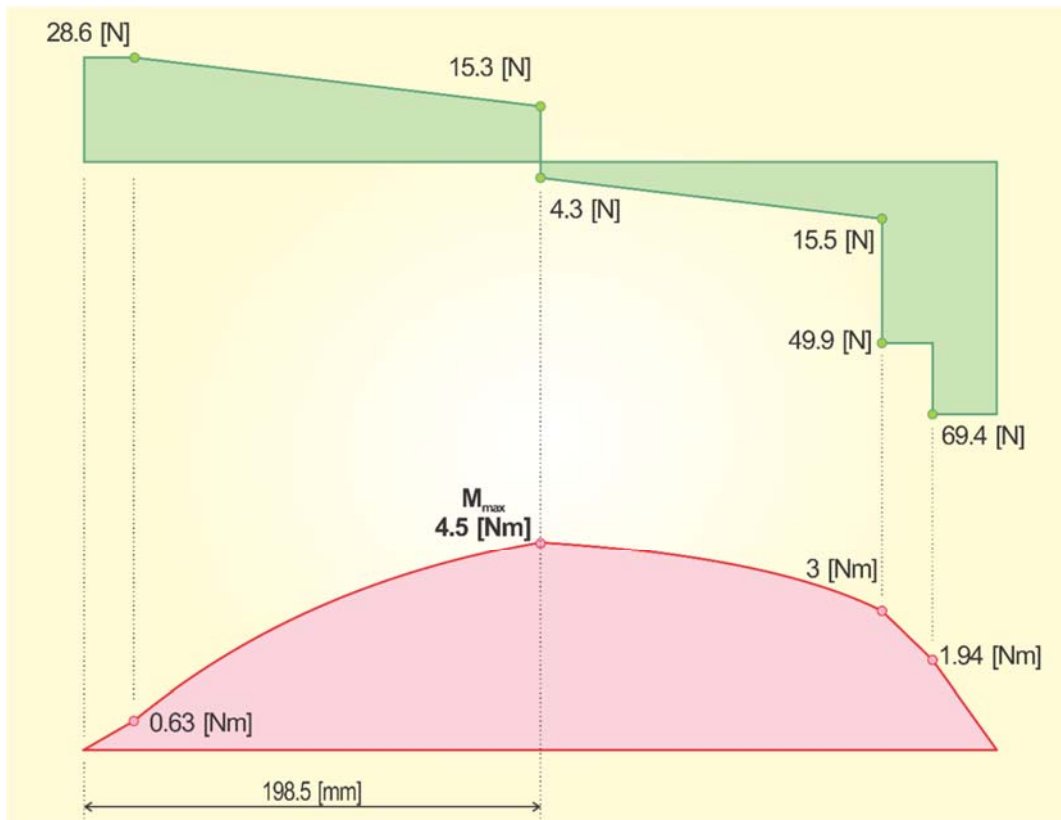


Figura B. Diagrama de Cortante, momento flector y momento torsor.

7.3.1 Diseño del eje de transmisión por fatiga.

El eje transmitirá potencia solo en un sentido de giro (el tambor solo gira en un sentido) por lo tanto, las cargas externas inducirán una flexión reversible a lo largo del eje. Aunque la carga (w_t o m_c) disminuye a lo largo del proceso de tostado, debido a la pérdida de agua de los granos verdes, se consideró constante la potencia que transmite el eje.

Los esfuerzos que producen fatiga en el eje tiene el comportamiento mostrado en la figura C. El diseño por fatiga para esta condición de esfuerzos combinados se analizó con la teoría de von Mises Goodman.

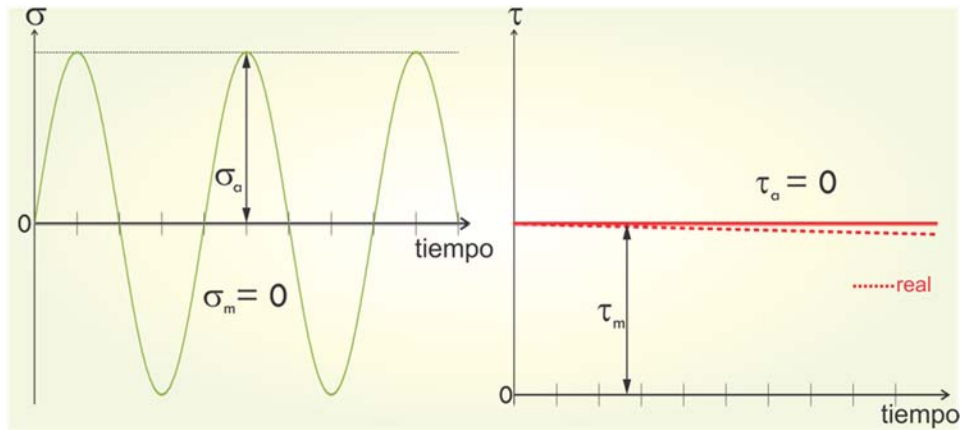


Figura C. Estado de esfuerzos, flexión reversible y par torsor constante.

para este caso, la ecuación general es:

$$(FS) \left[\sqrt{\left(\frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2} + \sqrt{3\left(\frac{\tau_m}{S_u}\right)^2} \right] = 1$$

Donde: FS = Factor de Seguridad S_e = Resistencia a la fatiga de la pieza
 σ_a = Esfuerzo normal alternante S_u = Resistencia última del material
 τ_m = Esfuerzo constante promedio

La misma ecuación, expresada en términos del diámetro, momento y par torsor es:

$$(FS) \left(\frac{32}{\pi d^3} \right) \left[\frac{M}{S_e} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{T}{S_u} \right] = 1$$

Donde: d = Diámetro exterior del eje T = Par torsor
M = Momento flector

Para determinar las dimensiones del eje de transmisión se considera el par torsor nominal de 57.3 [Nm] y un factor de diseño de 1.5.

$$\text{Par torsor de Diseño} = (7.96 \text{ [Nm]})(1.5) = 85.95 \text{ [Nm]}$$

En el diagrama de momento de la figura B se muestra la ubicación y magnitud del momento flector máximo.

$$M_{\max} = 4.5 \text{ [Nm]}$$

Las suposiciones consideradas son:

- el material del eje será con acero 1020 ($S_u = 420 \text{ MPa}$) [6]
- el diseño considera una vida infinita (10^6 ciclos) con una confiabilidad del 95%
- el factor de seguridad del eje se calcula partiendo de un valor propuesto para el diámetro.
- no existe concentración de esfuerzos, el eje será de diámetro constante de 19.05 [mm]
- la temperatura máxima dentro de la cámara es de $280 \text{ }^\circ\text{C}$ para un el tueste más obscuro.
- las condiciones de operación son de flexión reversible ($\sigma_m=0$)
- torsión de magnitud variable en un solo sentido ($\tau_a = 0$)

Se utilizaron los factores de Marin para cuantificar los efectos de la condición superficial, el tamaño, la confiabilidad y la temperatura (p. 278 y 279) [6].

k_a - Factor de modificación de la condición superficial

Se aprovechó el eje de transmisión de una lavadora comercial como eje de transmisión de los tambores. Usualmente, estos ejes se fabrican con de acero al carbono y se les da un recubrimiento para soportar el contacto con el agua y otros agentes oxidantes. Por lo tanto, se consideró un acabado similar al que se produce con el esmerilado.

Tabla 1 Parámetros en el factor de acabado superficial de Marin[6].

Acabado superficial	Factor a	
	S_{utr} MPa	Exponente b
Esmerilado	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frio	4.51	-0.265

La expresión empírica para determinar el factor de acabado superficial es:

$$k_a = a S_u^b \quad \text{Para valores de } a = 1.58 \text{ y } b = -0.085$$

$$k_a = 1.58 (420^{-0.085}) = 0.94$$

k_b - Factor de modificación del tamaño

El eje comercial que se utilizará consiste en una barra circular sólida. Su diámetro exterior es de. Por lo tanto el factor de tamaño o distribución k_b es:

$$k_b = 0.879 d_a^{-0.107}; \quad \therefore k_b = 0.879(0.75^{-0.107}) = 0.9$$

k_c - Factor de confiabilidad

Para establecer un parámetro de confiabilidad aceptable se seleccionó un valor de 95%. Por lo tanto, el factor que modifica la resistencia es:

$$k_c = 0.868$$

Tabla 2 Parámetros en el factor de confiabilidad de Marin [6].

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99,9	3.091	0.753
99,99	3.719	0.702
99,999	4.265	0.659

k_d - Factor de modificación de la temperatura [6]

$$k_d = 0,975 + 0,432(10^{-3})T_F - 0,115(10^{-5})T_F^2 + 0,104(10^{-8})T_F^3 - 0,595(10^{-12})T_F^4$$

Donde: T_F es la temperatura de operación °F

$$T_F = 280 \text{ }^\circ\text{C} = 536 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$k_d = 0,975 + 0,432(10^{-3})(536) - 0,115(10^{-5})(536)^2 + 0,104(10^{-8})(536)^3 - 0,595(10^{-12})(536)^4$$

$$k_d = 0,9872$$

Resistencia a la fatiga del eje

En este caso particular donde el material del eje es acero, es posible estimar el valor de la resistencia a la fatiga del material S_e' a partir de la resistencia última. [6].

$$\text{Para: } S_u < 1\,400 \text{ [MPa]} \quad \rightarrow \quad S_e' = 0.5 S_u$$

Por lo tanto, considerando los factores modificadores anteriores, la resistencia a la fatiga del eje es:

$$S_e = S_e' (k_a) (k_b) (k_d) (k_d)$$

$$S_e = (0.5 \cdot 420 \text{ [MPa]}) (0.94) (0.9) (0.868) (0.98) = 151 \text{ [MPa]}$$

Factor de seguridad del eje por fatiga

Mediante la ecuación de von Mises se calculó el factor de seguridad en el eje de transmisión:

$$FS = \frac{1}{\left(\frac{32}{\pi d^3}\right) \left[\frac{M}{S_e} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{T}{S_u} \right]}$$

$$FS = \frac{1}{\left(\frac{32}{\pi (0.01905 \text{ [m]})^3}\right) \left[\frac{4.5 \text{ [Nm]}}{151 \times 10^6 \text{ [Pa]}} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{85.95 \text{ [Nm]}}{420 \times 10^6 \text{ [Pa]}} \right]}$$

$$FS = 3.27$$

El resultado anterior indica que el eje seleccionado de $d = 19.05$ [mm], tiene la capacidad para resistir las condiciones de esfuerzos por la transmisión de potencia con un factor de seguridad de 3.27.

Anexo **B.2**

Tablas utilizadas en el diseño del eje.

Diseño en ingeniería mecánica de Shigley



Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett

Octava edición

**Mc
Graw
Hill**

Tabla A-22

Resultados de ensayos a la tensión de algunos metales* Fuente: J. Datsko, "Solid Materials", capítulo 32, en Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke y Thomas H. Brown, Jr. (editores en jefe), *Standard Handbook of Machine Design*, 3a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, 2004, pp. 32.49-32.52.

Número	Material	Condición	Fluencia S_{yf}		Última S_{ur}		Resistencia (a la tensión)		Resistencia a la deformación, exponente m	Resistencia a la fractura ϵ_f
			MPa (kpsi)	MPa (kpsi)	MPa (kpsi)	MPa (kpsi)	A la fractura, σ_{fr}	Coefficiente σ_{or}		
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1) [†]	620 (90.0)	0.25	1.05		
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) [†]	992 (144)	0.14	0.49		
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106) [†]	758 (110)	0.24	0.85		
1045	Acero	TyR 600°F	1 520 (220)	1 580 (230)	2 380 (345)	1 880 (273) [†]	0.041	0.81		
4142	Acero	TyR 600°F	1 720 (250)	1 930 (210)	2 340 (340)	1 760 (255) [†]	0.048	0.43		
303	Acero inoxidable	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1 520 (221) [†]	1 410 (205)	0.51	1.16		
304	Acero inoxidable	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1 600 (233) [†]	1 270 (185)	0.45	1.67		
2011	Aleación de aluminio	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2) [†]	620 (90)	0.28	0.10		
2024	Aleación de aluminio	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3) [†]	689 (100)	0.15	0.18		
7075	Aleación de aluminio	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102) [†]	882 (128)	0.13	0.18		

* Los valores se tomaron de una o dos caladas y se considera que pueden obtenerse usando especificaciones de compra. La deformación por fractura puede variar hasta en 100%.
[†] Valor derivado.

Tabla A-15

Gráficas de factores teóricos de concentración del esfuerzo K_t^*

Figura A-15-1

Barra en tensión o compresión simple con un agujero transversal. $\sigma_0 = F/A$, donde $A = (w - d)t$ y t es el espesor.

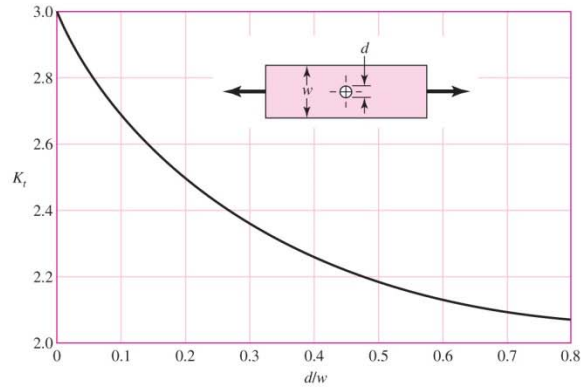


Figura A-15-2

Barra rectangular con un agujero transversal en flexión. $\sigma_0 = Mc/I$, donde $I = (w - d)h^3/12$.

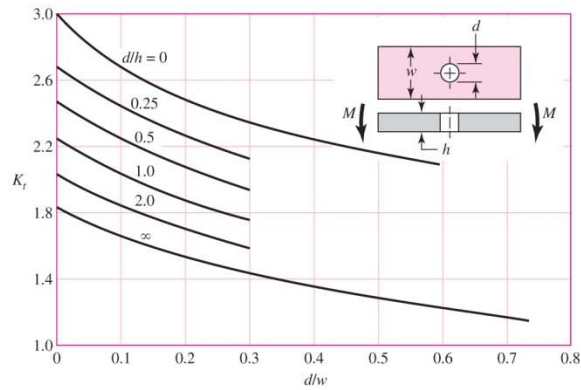


Figura A-15-3

Barra rectangular con muescas en tensión o compresión simple. $\sigma_0 = F/A$, donde $A = dt$ y t es el espesor.

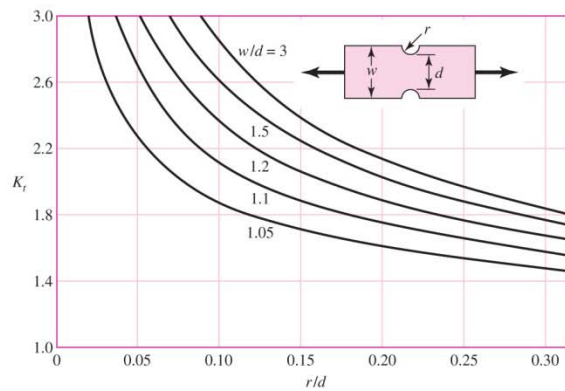


Tabla A-15

Gráficas de factores teóricos de concentración del esfuerzo K_t^* (continuación)

Figura A-15-4

Barra rectangular con muescas en flexión. $\sigma_0 = Mc/l$, donde $c = d/2$, $l = td^3/12$ y t es el espesor.

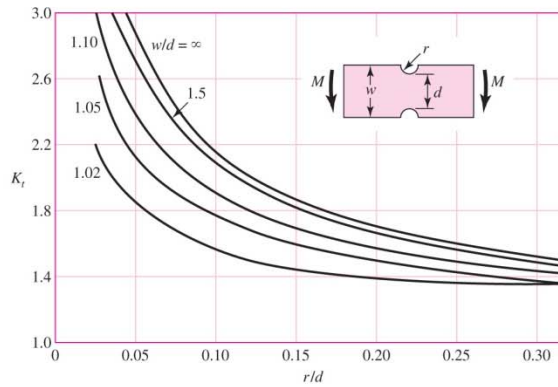


Figura A-15-5

Barra rectangular con filetes en tensión o compresión simple. $\sigma_0 = F/A$, donde $A = dt$ y t es el espesor.

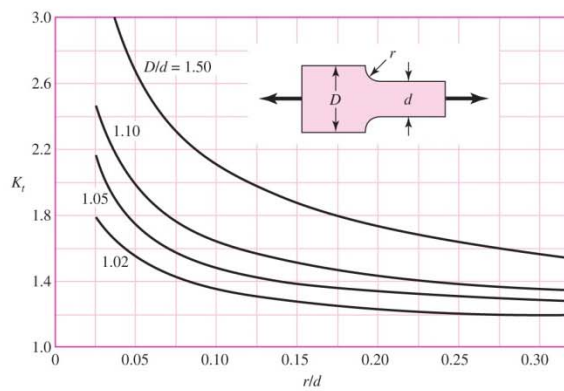
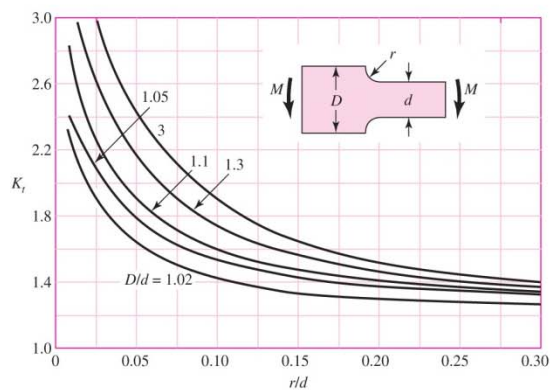


Figura A-15-6

Barra rectangular con filetes en flexión. $\sigma_0 = Mc/d$, donde $c = d/2$, $l = td^3/12$, t es el espesor.



(continúa)

*Factores de R. E. Peterson, "Design Factors for Stress Concentration", en *Machine Design*, vol. 23, núm. 2, febrero de 1951, p. 169; núm. 3, marzo de 1951, p. 161; núm. 5, mayo de 1951, p. 159; núm. 6, junio de 1951, p. 173; núm. 7, julio de 1951, p. 155. Reproducido con autorización de Machine Design, una publicación de Penton Media Inc.

Tabla A-15

Gráficas de factores teóricos de concentración del esfuerzo K_t^* (continuación)

Figura A-15-7

Eje redondo con filete en el hombro en tensión. $\sigma_0 = F/A$, donde $A = \pi d^2/4$.

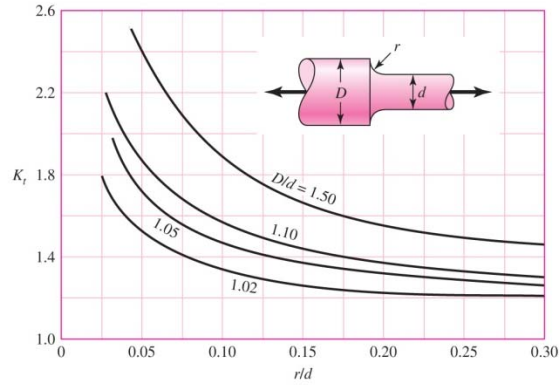


Figura A-15-8

Eje redondo con filete en el hombro en torsión. $\tau_0 = Tc/J$, donde $c = d/2$ y $J = \pi d^4/32$.

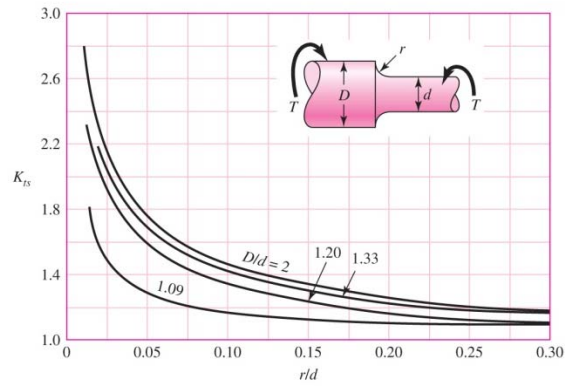


Figura A-15-9

Eje redondo con filete en el hombro en flexión. $\sigma_0 = Mc/I$, donde $c = d/2$ y $I = \pi d^4/64$.

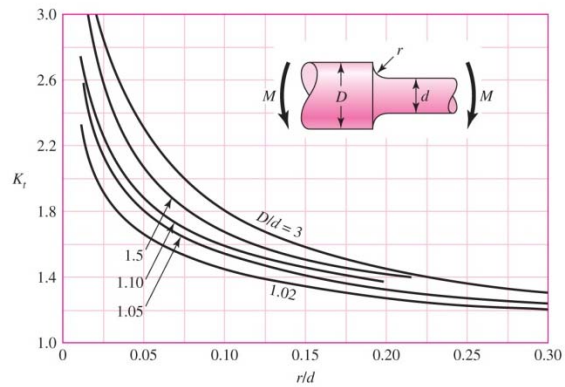


Tabla A-15

Gráficas de factores teóricos de concentración del esfuerzo K_t^* (continuación)

Figura A-15-10

Eje redondo en torsión con agujero transversal.

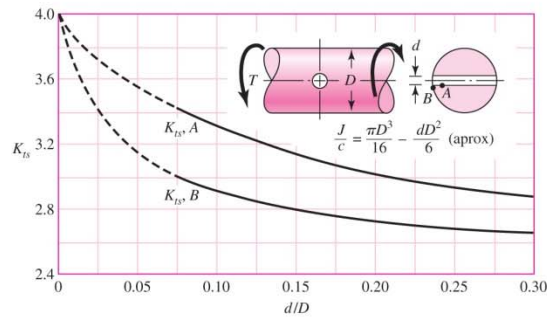


Figura A-15-11

Eje redondo en flexión con un agujero transversal. $\sigma_0 = M/[\pi D^3/32 - dD^2/6]$, aproximadamente.

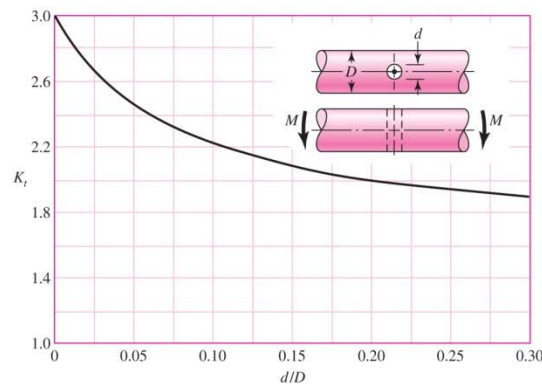
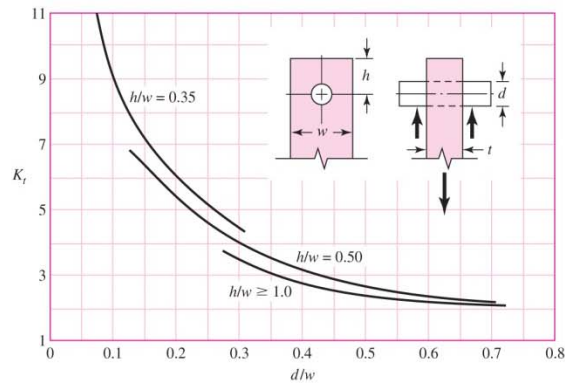


Figura A-15-12

Placa cargada en tensión mediante un pasador a través de un agujero. $\sigma_0 = F/A$, donde $A = (w - d)t$. Cuando exista holgura incrementa K_t de 35 a 50%. (M. M. Frocht y H. N. Hill, "Stress Concentration Factors around a Central Circular Hole in a Plate Loaded through a Pin in Hole", en *J. Appl. Mechanics*, vol 7, núm. 1, marzo de 1940, p. A-5.)



(continúa)

*Factores de R. E. Peterson, "Design Factors for Stress Concentration", en *Machine Design*, vol. 23, núm. 2, febrero de 1951, p. 169; núm. 3, marzo de 1951, p. 161; núm. 5, mayo de 1951, p. 159; núm. 6, junio de 1951, p. 173; núm. 7, julio de 1951, p. 155. Reproducido con autorización de Machine Design, una publicación de Penton Media Inc.

Tabla A-15

Gráficas de factores teóricos de concentración del esfuerzo K_t^* (continuación)

Figura A-15-13

Barra redonda ranurada en tensión. $\sigma_0 = F/A$ donde $A = \pi d^2/4$.

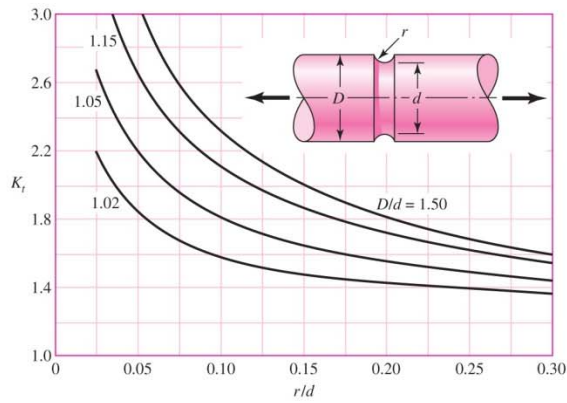


Figura A-15-14

Barra redonda ranurada en flexión. $\sigma_0 = Mc/I$, donde $c = d/2$ y $I = \pi d^4/64$.

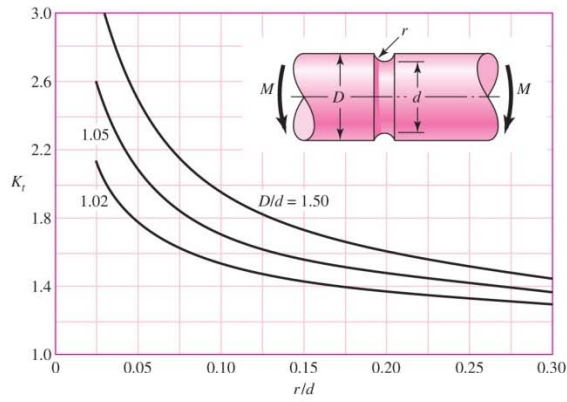
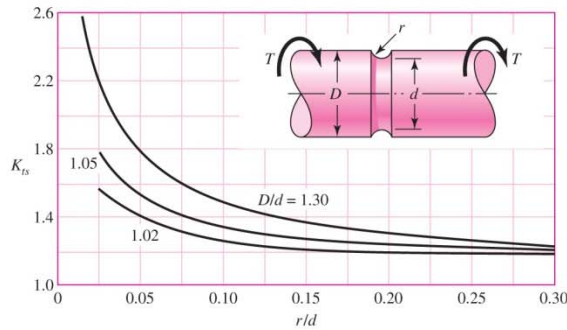


Figura A-15-15

Barra redonda ranurada en torsión. $\tau_0 = Tc/J$, donde $c = d/2$ y $J = \pi d^4/32$.



*Factores de R. E. Peterson, "Design Factors for Stress Concentration", en *Machine Design*, vol. 23, núm. 2, febrero de 1951, p. 169; núm. 3, marzo de 1951, p. 161; núm. 5, mayo de 1951, p. 159; núm. 6, junio de 1951, p. 173; núm. 7, julio de 1951, p. 155. Reproducido con autorización de *Machine Design*, una publicación de Penton Media Inc.

Tabla A-15

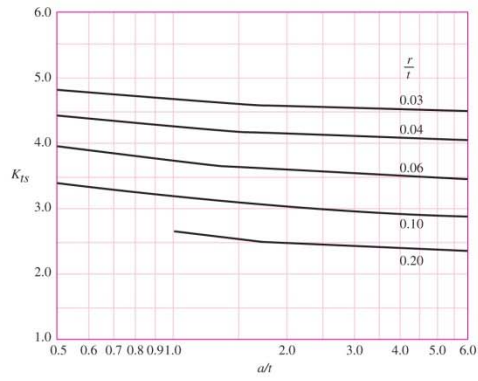
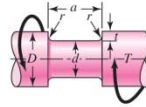
Gráficas de factores teóricos de concentración del esfuerzo K_t^* (continuación)

Figura A-15-17

Eje redondo con ranura de fondo plano en torsión.

$$\tau_0 = \frac{16T}{\pi d^3}$$

Fuente: W. D. Pilkey, *Peterson's Stress Concentration Factors*, 2a. ed., John Wiley & Sons, Nueva York, 1997, p. 133.



Anexo B.3

Cotización de los posibles motores para la máquina tostadora.









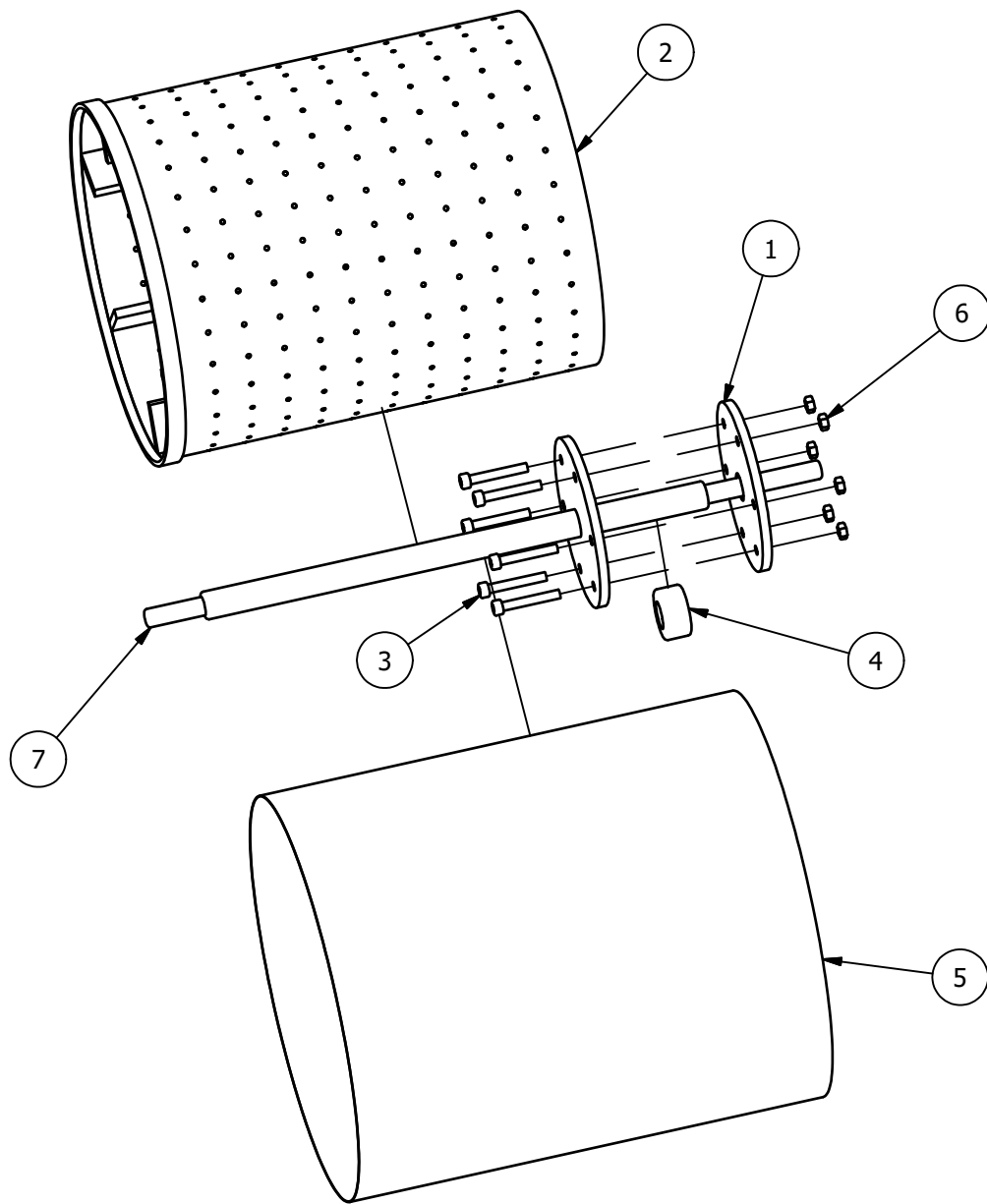
Imagen	Producto	Fabricante	Relación	RPM	Dimensión	Peso del motor (kg)	Total (MXN)	Comentarios
	400W BLDC DC s/escobillas con engranaje ratio 36:1	Curtis Automatio n Industry	36:1	86	150x100x100	4	2,887	Regulador de velocidad ya incluido
	250 W 90mm 24V Ratio 36:1	Curtis Automatio n Industry	36:1	83	196x60x160	3.2	2,358	Regulador de velocidad ya incluido
	24 V Motor Eléctrico Cepillado 250 W	Go to beautifull life		2750	n.e.	1.94	724.5	
	Motor eléctrico 24v 250w DC 15A P/Scooter	n.e.		2750	101.6x90x76	No indicado	1,900	Si es necesaria factura, el costo total es: 2204
	Motor eléctrico 250w	n.e.		2750	107x108x108	No indicado	2,158	Si necesita factura, costo será: 2307.24
	24 Volt Electric Scooter 280w	n.e.		2750	n.e.	No indicado	2,480	
	24v 250w Motor Reductor	n.e.	9.78:1	281.1	n.e.	No indicado	2,390	
	24 V 250 W de motor de engranaje de reducción	Alfa wheels	9.78:1	337.4	n.e.	No indicado	1,697	
	Dear gear motor, 250W 104mm.	ZD	36:1	83		No indicado	4,174	

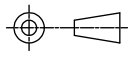
Imagen	Producto	Fabricante	Relación	RPM	Dimensión (mm)	Peso del motor (kg)	Total (MXN)	Comentarios
	90 W 24 V 90mm DC 36: 1	Curtis Automatio n Industry	12.5:1	224	200x90x90	2.2	1,639	Regulador de velocidad incluido
	90 W DC 12V/24V DC Gear Motor Speed	Guang Wan	15:1	200	203x90x90	3.5	3,112	
	ZD 90mm. 60W, 90W, 120W Small Electric DC Gear Motor	ZD	12.5:1	224		No indica- do	3,563	

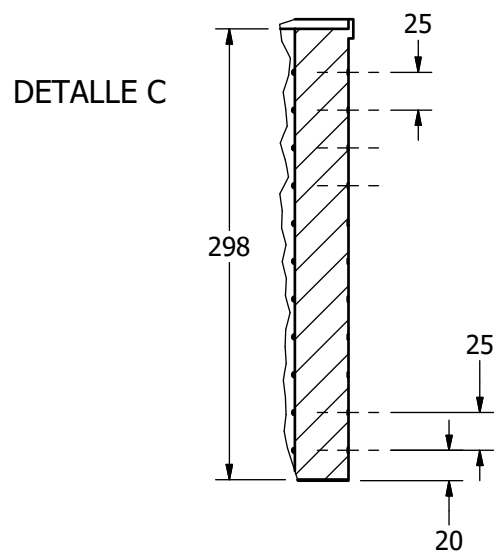
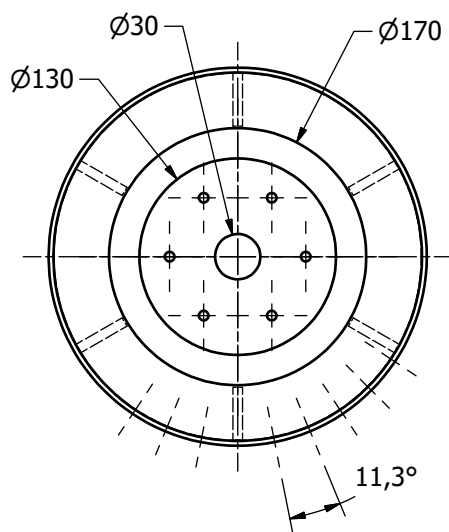
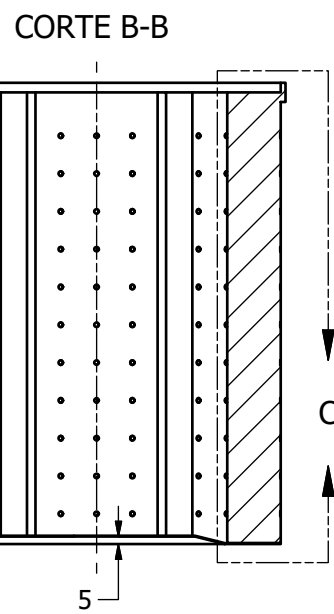
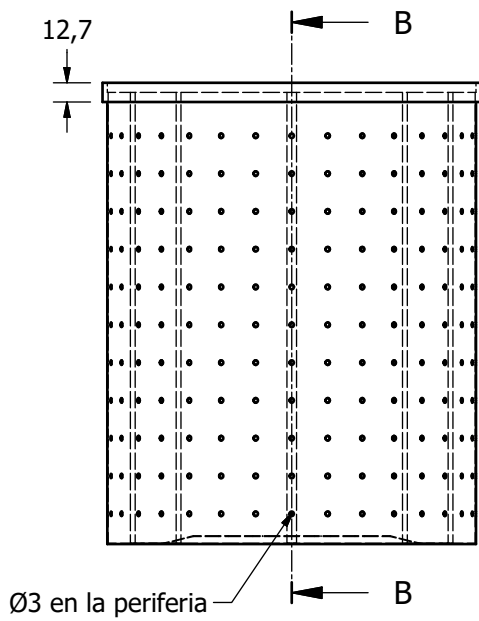
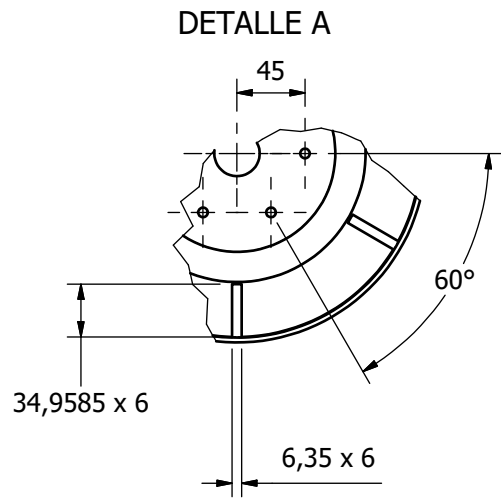
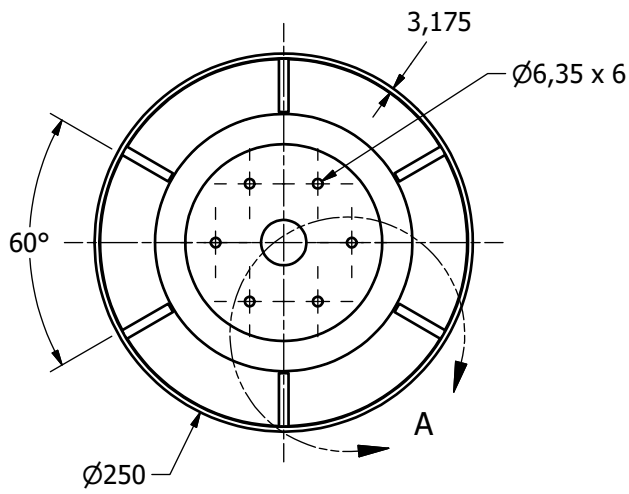
Anexo C.1

Dibujos de detalle de las cámaras, elementos de sujeción y ejes.

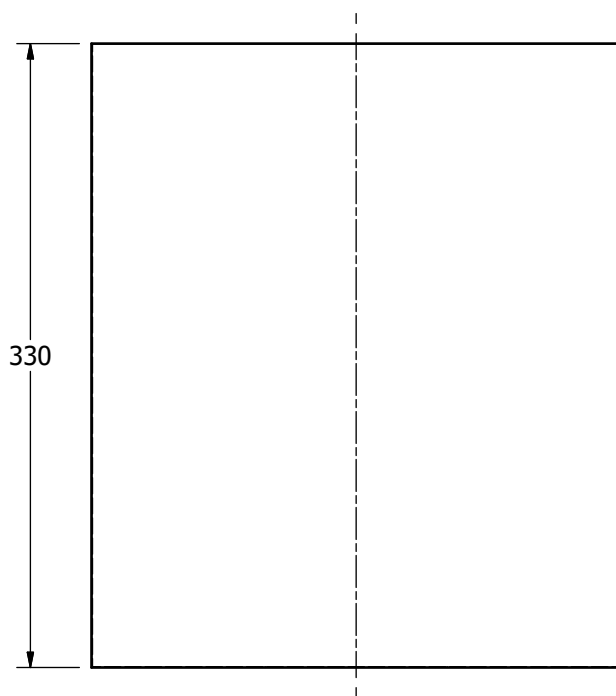
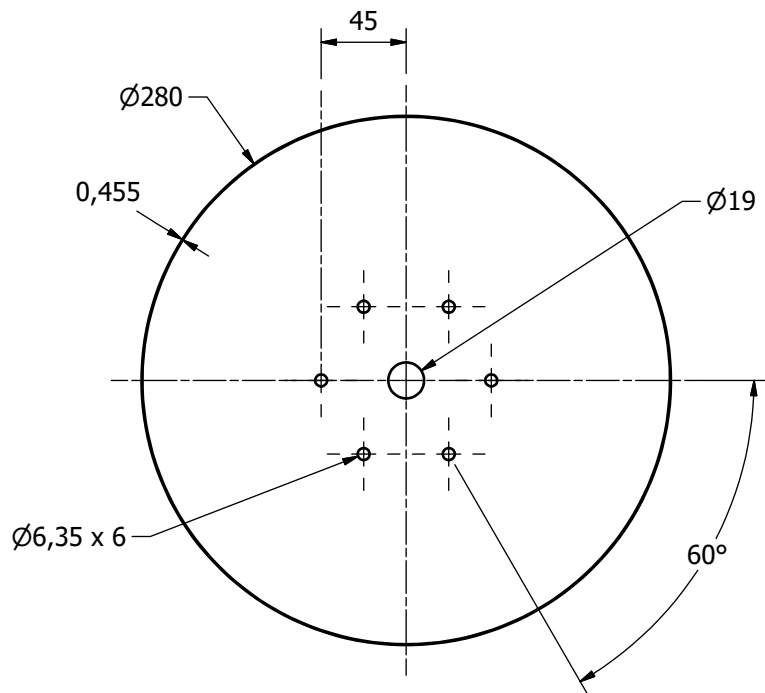


LISTA DE PARTES			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	2	Brida	
2	1	Cámara interna	
3	6	Tornillo	M1 x 0.25 x 40
4	1	Separador de las cámaras	
5	1	Cámara exterior	
6	6	Tuerca	M1 x 0.25
7	1	Eje	

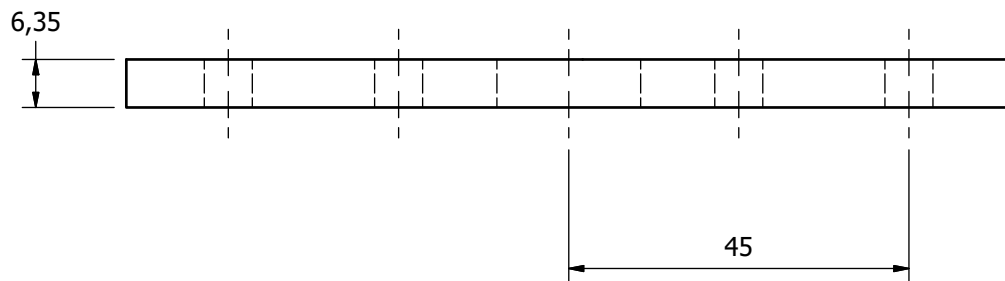
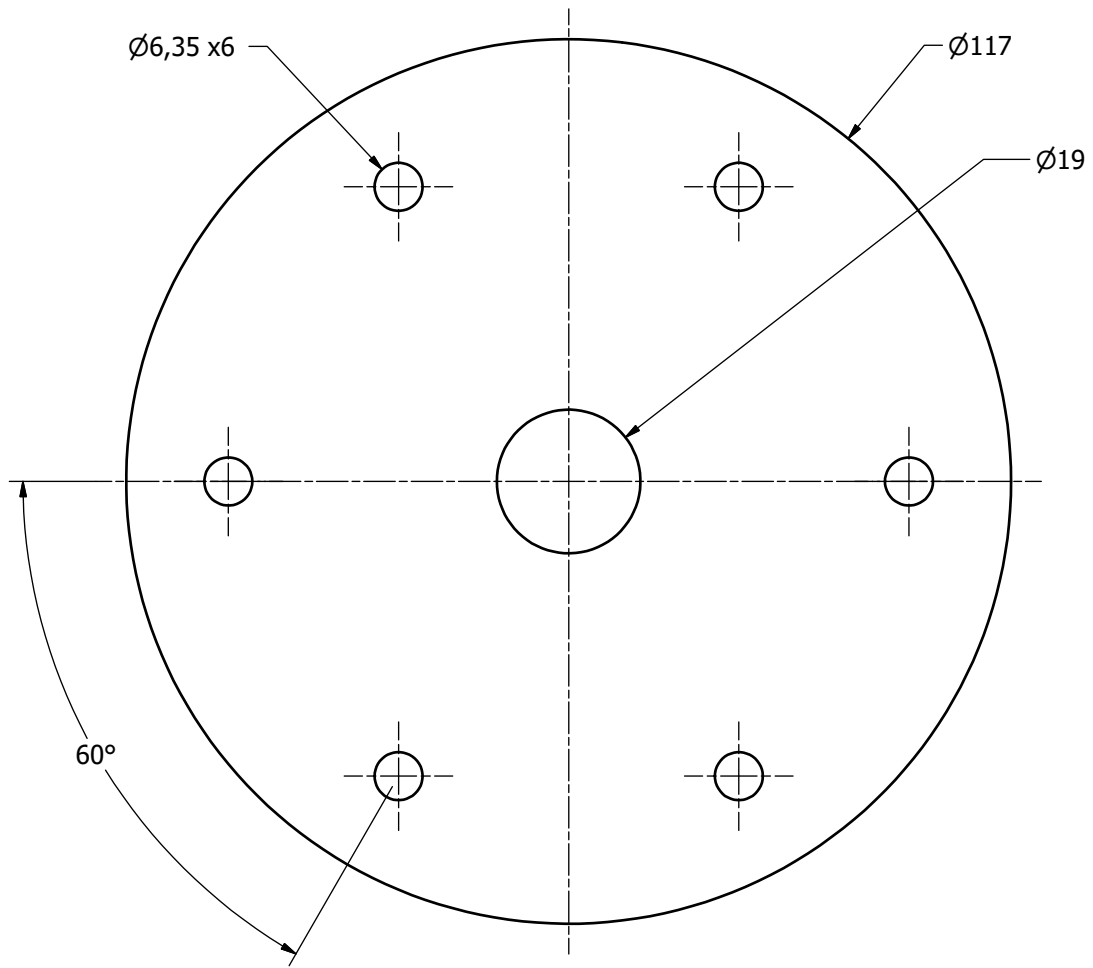
Material: Según especificaciones en planos	1:5	mm		Conjunto de cámaras
UAM-A	Explosionado			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			1 / 6

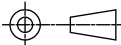


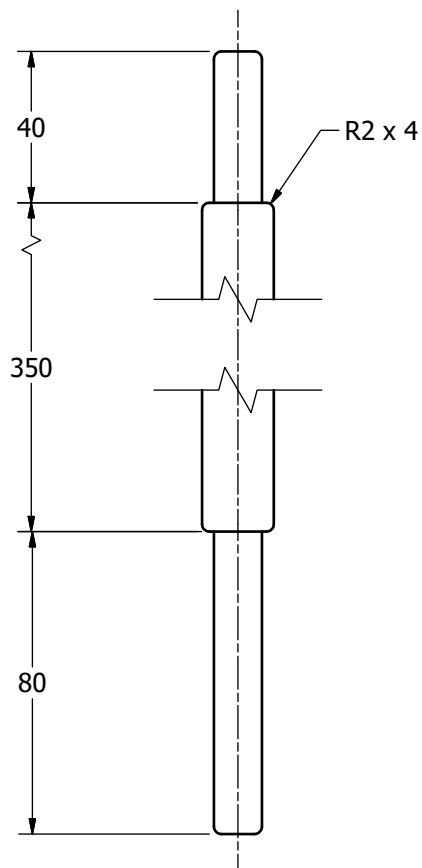
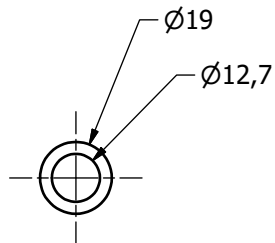
Material: Lamina de acero inoxidable 304	1:5	mm		Cámaras y sujeción
UAM-A	Cámara interna			2 / 6
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			

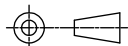


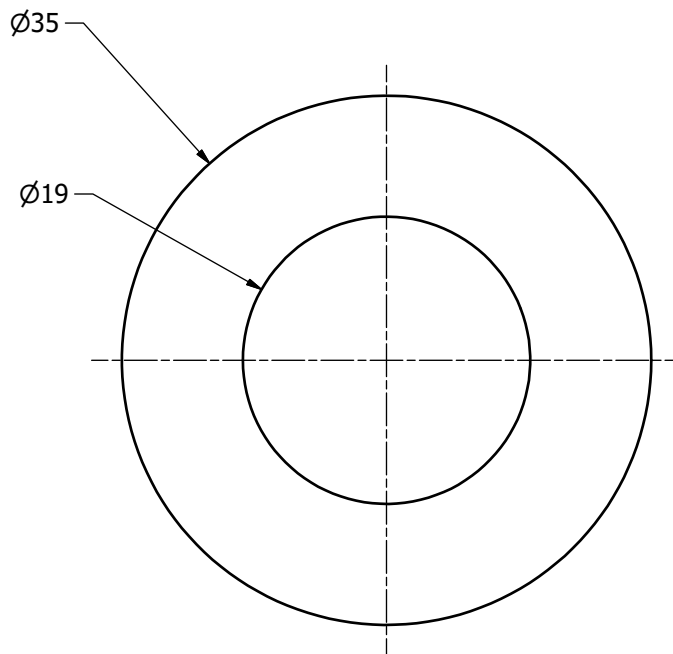
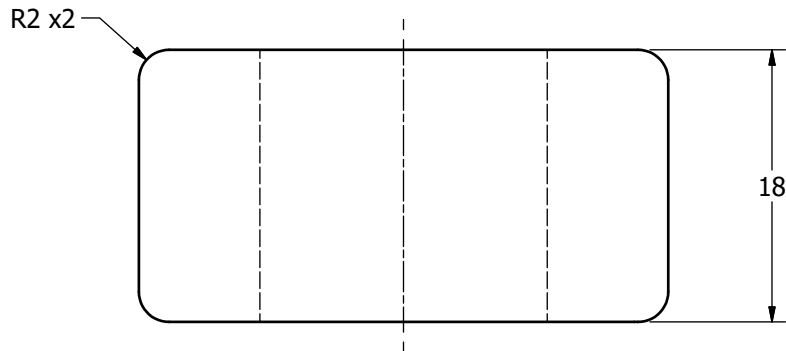
Material: Lamina de acero inoxidable 304 calibre 26	1:4	mm		Cámaras y sujeción
UAM-A	Cámara exterior			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno	3 / 6		



Material:	Placa de acero al carbon espesor 1/4	1:1	mm		Cámaras y sujeción
UAM-A		Brida			
		Alumnos:	Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno		4 /6



Material: Barra de acero inoxidable 304 diámetro 1 pulgada	1:2	mm		Cámaras y sujeción
<h1>UAM-A</h1>	Eje			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			5 / 6



Material: Barra de acero inoxidable 304 diámetro 1½ pulgadas	2:1	mm		Cámaras y sujeción
<h1>UAM-A</h1>	<h2>Separador de las cámaras</h2>			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			6 / 6

Anexo D.1

Catálogo de selección del quemador.



**CATÁLOGO
DE PRODUCTOS**

QUEMADORES

Burners

Diseñados con la técnica más moderna de mezcla atmosférica de gas y aire. Totalmente de hierro vaciado.

Con esprea intercambiable de latón desarmable para fácil limpieza. Para usarse en calentadores de agua, estufas, calderas, peroles, cazos. Operan en cualquier posición y a cualquier presión de gas LP o natural.

Diseñados para que su flama sea larga y puede trabajar en posición horizontal o vertical. Especiales para hornos de cerámica, crisoles, túneles de secado, ladrilleras, panaderías, cerámica, etc.



► Quemadores industriales para gas L.P.

Quemadores tipo soplete Straight flame burners



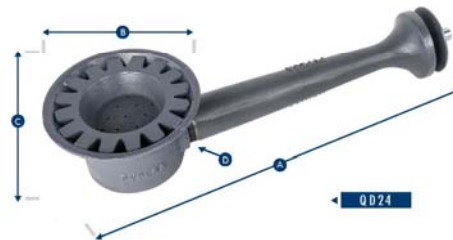
NO PARTE/PART	Modelo	Esprea / Orifice		Dimensiones en mm / Dimensions in mm				
		LP	Natural	A	B	C	D (NPT)	E (NPT)
002E700	QA-11	70	60	180	37	54	12.7	1/4"
002E701	QA-12	64	42	220	57	74	25.4	1/2"
002E702	QA-13	50	30	240	86	73	31.7	1/2"
002E703	QA-14	43	25	380	95	88	38.1	1/2"
002E704	QA-15	33	20	480	130	105	50.8	1/2"
002E705	QA-16	26	15	590	122	112	76.2	1/2"
002E706	QA-17	7/12	3/16	770	155	150	101.6	1"
002E707	QA-18	21/64"	-	1270	285	275	203.2	1 1/4"

29 | GAS LP

► Quemadores flama desplegada

Spreaded head burners

Utilizados para calentar recipientes de todo tipo, y diseñados para aplicaciones donde la flama debe ser vertical y de gran área, como peroles, cazos, calentadores de agua, estufas comerciales, etc.



NO PARTE/PART	Modelo	Esprea / Orifice		Dimensiones en mm / Dimensions in mm				
		LP	Natural	A	B	C	D (NPT)	E (NPT)
002E710	QD-21	62	48	156	104	68	12.7	1/2"
002E711	QD-22	37	22	335	140	111	38.1	1 1/2"
002E712	QD-24	26	15	450	203	120	50.8	2"

Las espreas son para usarse con gas L.P.
Se pueden surtir quemadores con esprea ciega o para gas natural.

CATÁLOGO DE PRODUCTOS

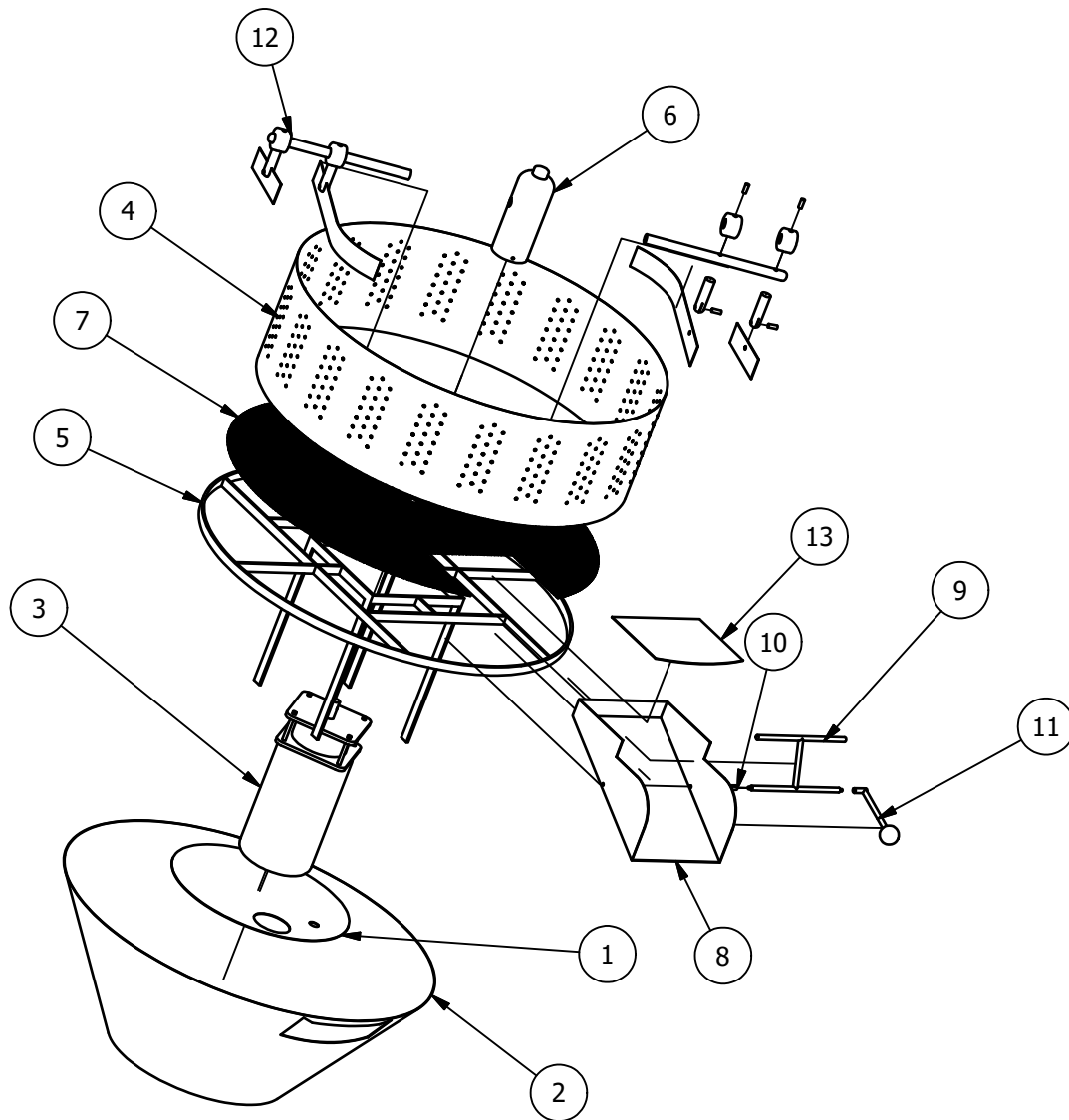
Capacidades aproximadas en miles de BTU por hora

Modelo Model	Esprea Orifice	Diferentes presiones de trabajo / Working Pressure (BTU per hour)					
		11" W.C.	1 lb	2 lb	5 lb	10 lb	20 lb
QD-21	62	10.5	15.9	23.0	36.3	51.2	71.6
QD-22	37	47.0	150.9	212.3	337.6	478.3	700.9
QD-24	26	140.0	296.7	416.9	657.4	931.1	1,317.4
QA-11	70	4.9	9.5	13.3	21.2	29.9	43.5
QA-12	64	8.0	14.5	20.5	32.5	46.0	63.9
QA-13	50	36.0	56.3	79.3	125.3	176.5	250.7
QA-14	43	44.0	104.9	145.8	230.2	324.9	460.4
QA-15	33	81.0	173.9	248.1	393.9	555.1	782.7
QA-16	26	140.0	296.7	416.9	657.4	931.1	1,317.4
QA-17	7/16"		590.0	833.9	1,319.9	1,869.3	2,634.7

GAS LP | 30

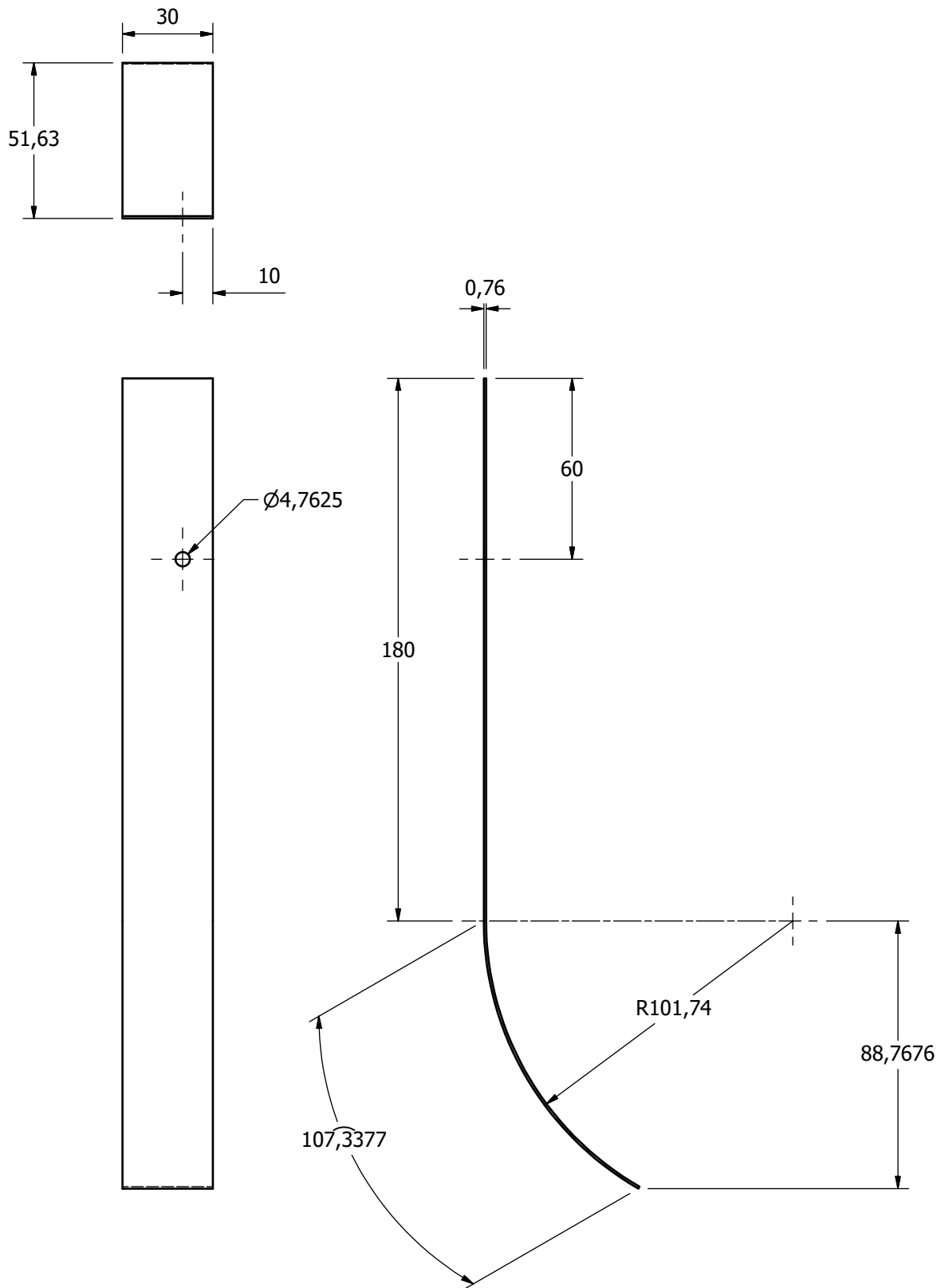
Anexo E.1

Dibujos de detalle de la tina de enfriamiento.

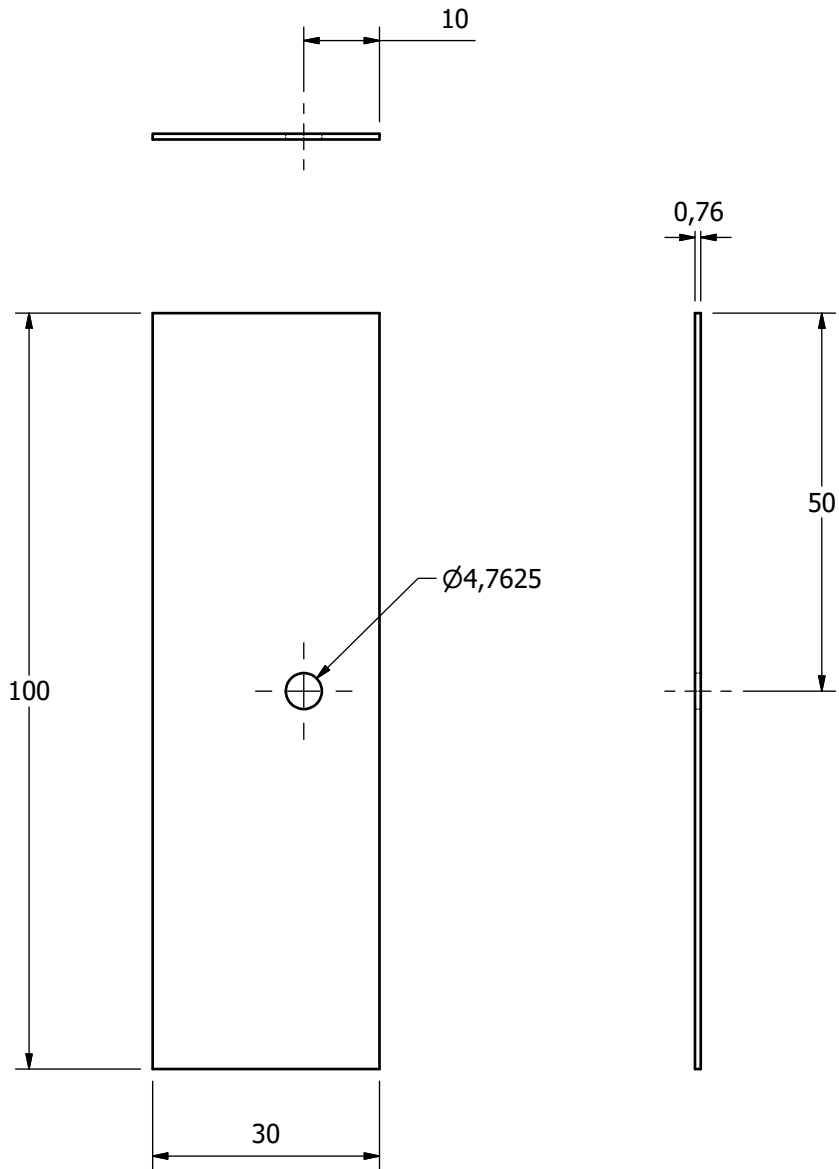


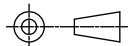
LISTA DE PARTES			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Tapa inferior	
2	1	Cuerpo central	
3	1	Motor	
4	1	Cuerpo superior	
5	1	Soporte interno	
6	1	Eje	
7	1	Placa base	
8	1	Desliz de salida de granos	
9	1	Cuerpo del mecanismo de apertura	
10	1	Tuerca del mecanismo de salida	
11	1	Palanca	
12	2	Ensamble de paletas	
13	1	Puerta de salida de granos	

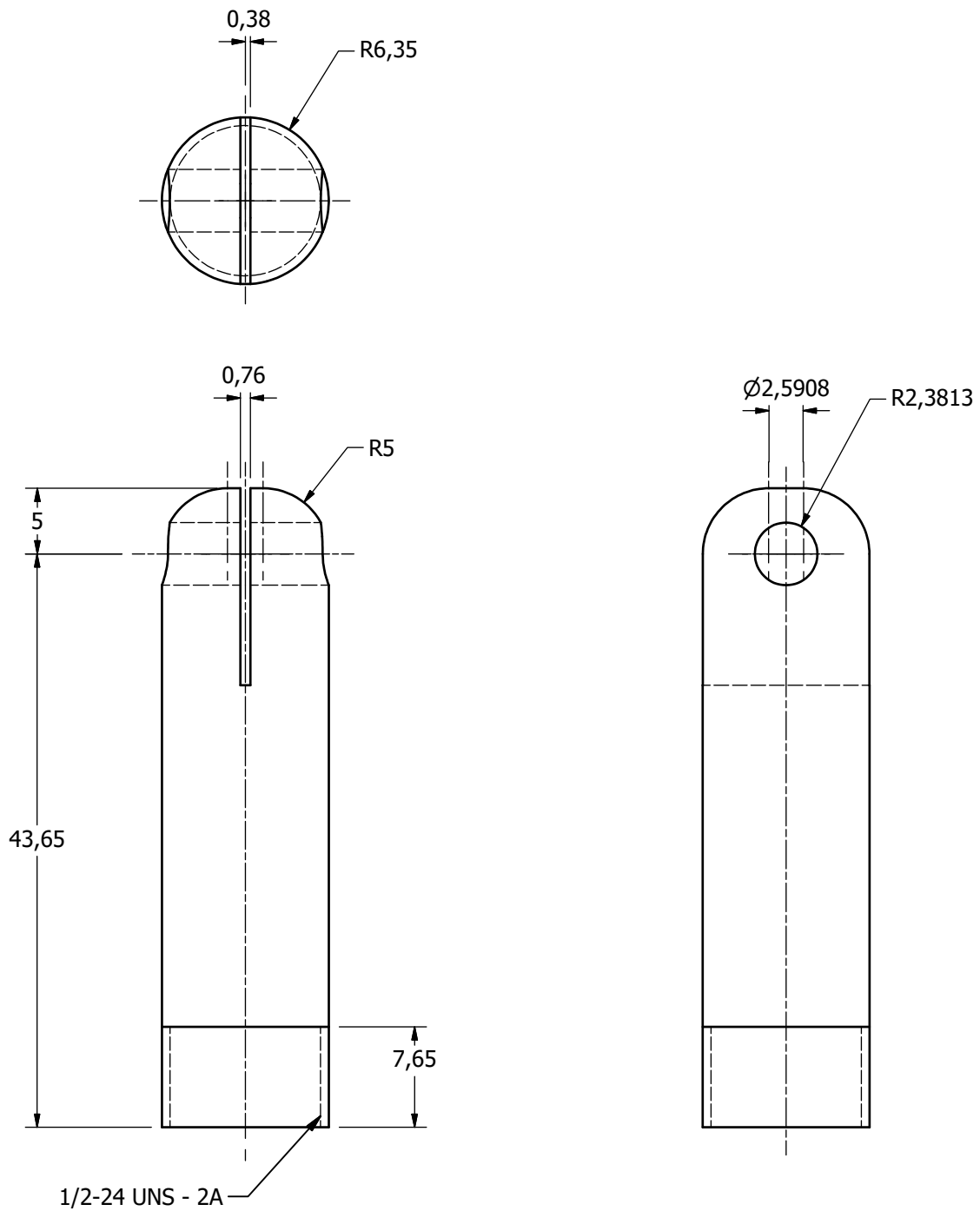
Material: Según especificaciones en planos	1:10	mm		Tina de enfriamiento
UAM-A	Explosionado			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			1 / 18



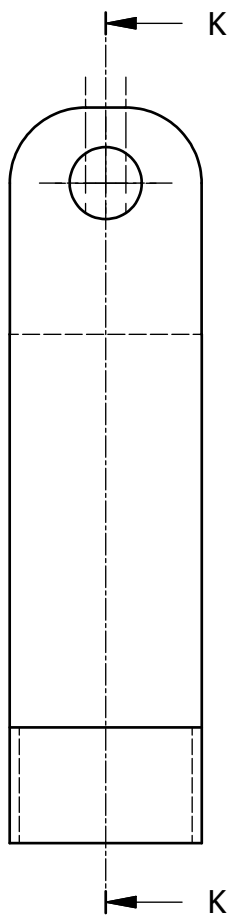
Material: Lamina de acero inoxidable 304 calibre 22	1:2	mm		Tina de enfriamiento
UAM-A	Paleta central con el extremo curvo			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno	2 / 18		



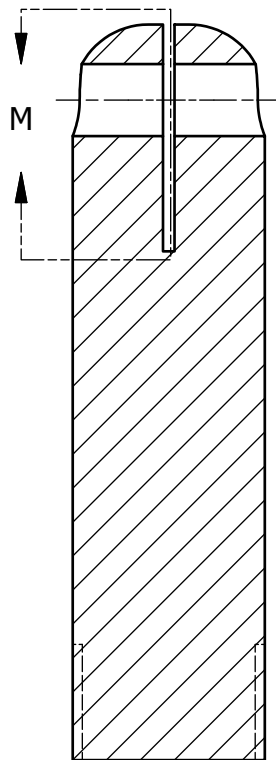
Material: Lamina de acero inoxidable 304 calibre 22	1:1	mm		Tina de enfriamiento
<h1>UAM-A</h1>	Paleta lateral			3 / 18
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			



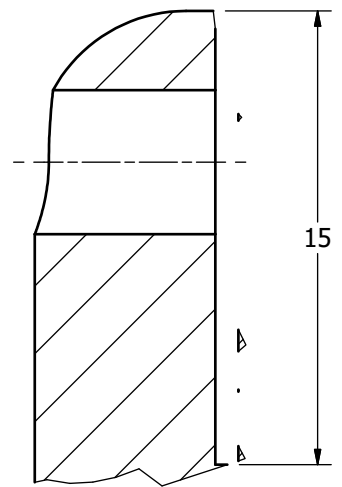
Material: Barra de acero inoxidable 304 diámetro 1/2 pulgada	2:1	mm		Tina de enfriamiento
UAM-A	Vastago de las paletas			4 / 18
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			

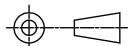


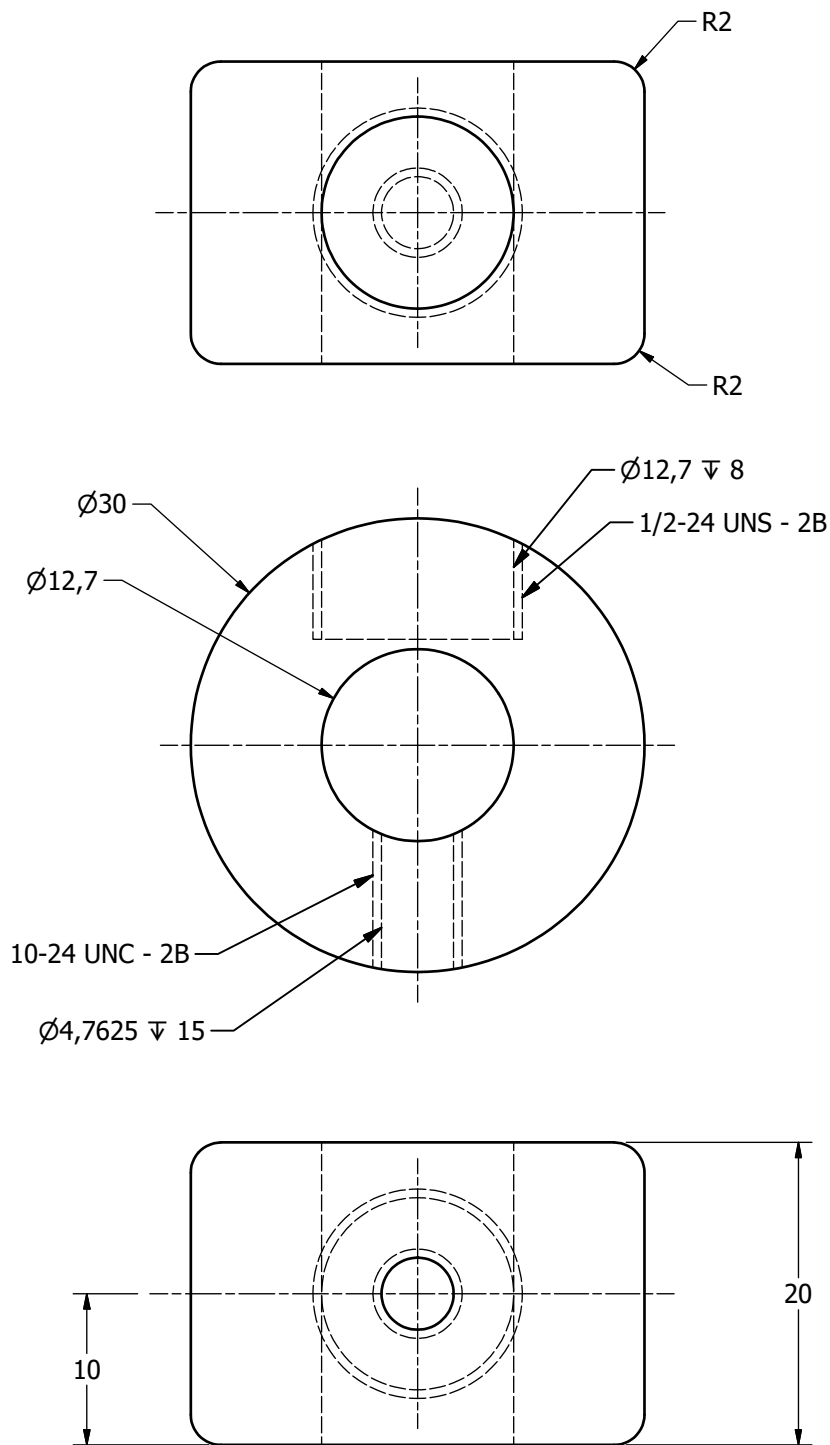
CORTE K-K



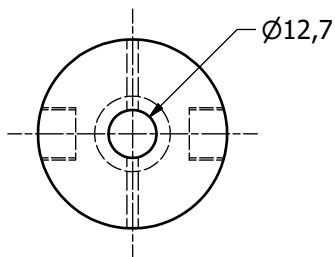
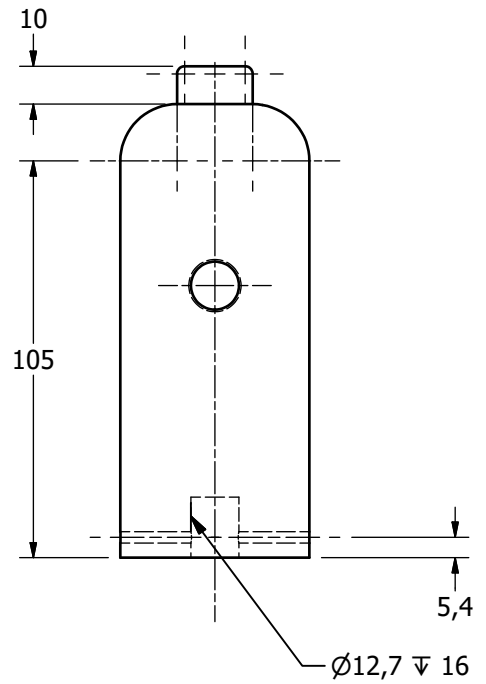
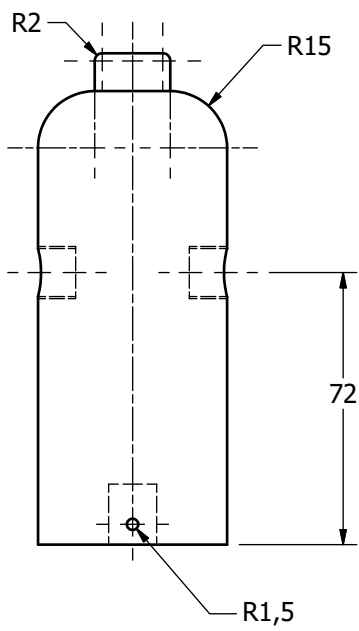
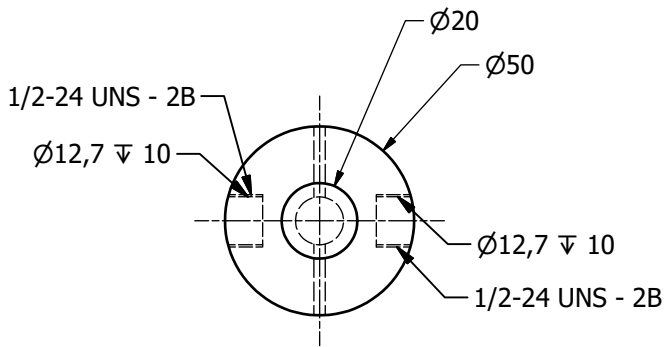
DETALLE M
ESCALA 4 : 1



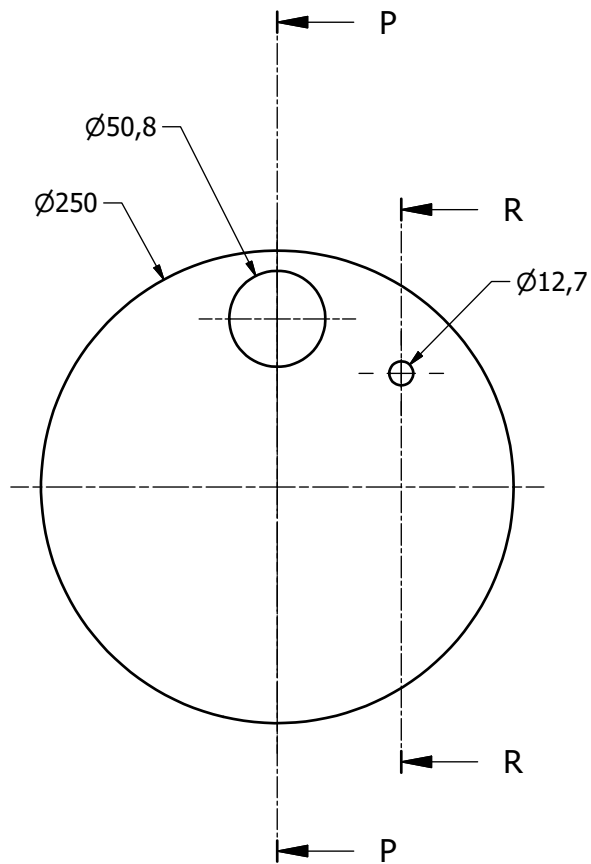
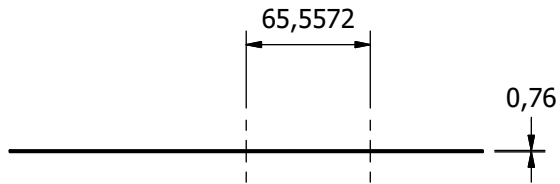
Material: Barra de acero inoxidable 304 diámetro 1/2 pulgada	2:1	mm		Tina de enfriamiento
<h1>UAM-A</h1>	Vastago de las paletas			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			5 / 18



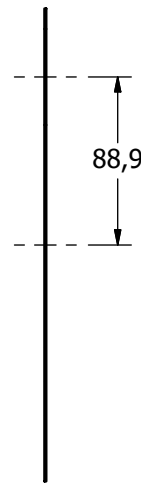
Material: Barra de acero inoxidable 304 diámetro 5/4 de pulgada	2:1	mm		Tina de enfriamiento
UAM-A	Conector de vastagos			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			7 / 18



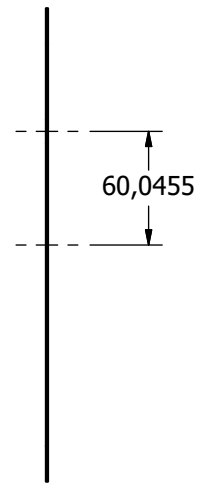
Material: Barra de acero inoxidable 304 diámetro 2 pulgadas	1:2	mm		Tina de enfriamiento
UAM-A	Eje			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			8 / 18



CORTE P-P



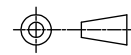
CORTE R-R



Material: Lamina de acero inoxidable 304 calibre 22

1:4

mm



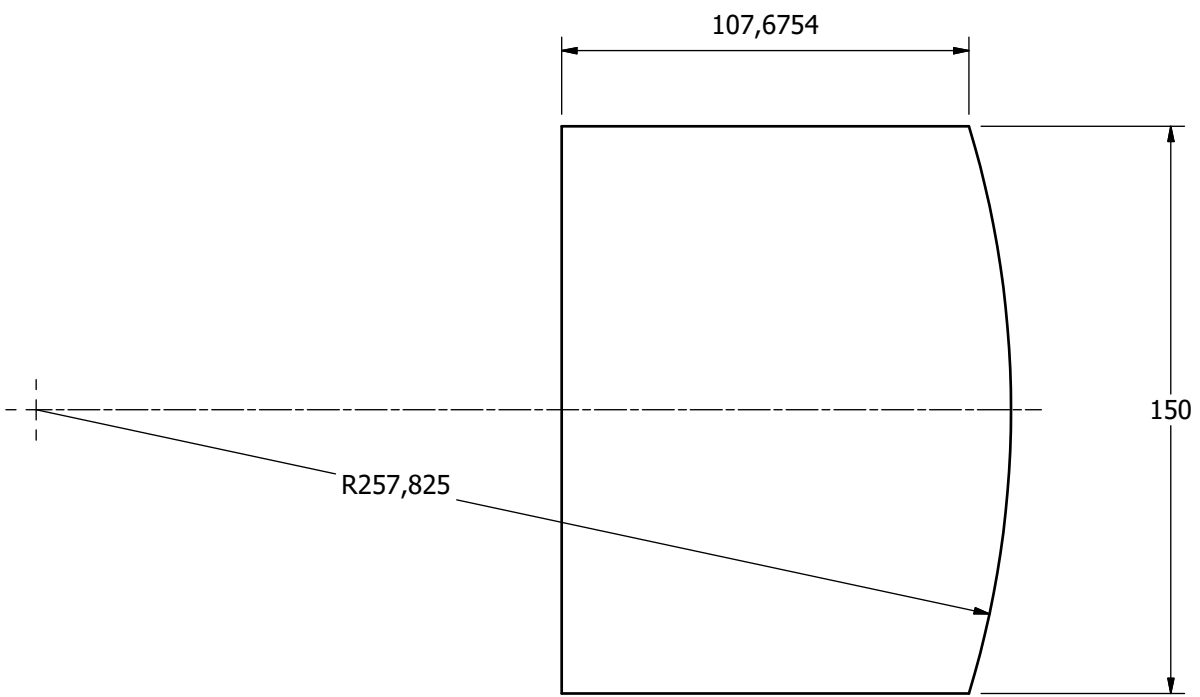
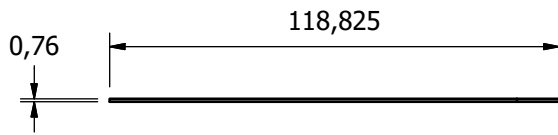
Tina de enfriamiento

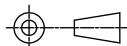
UAM-A

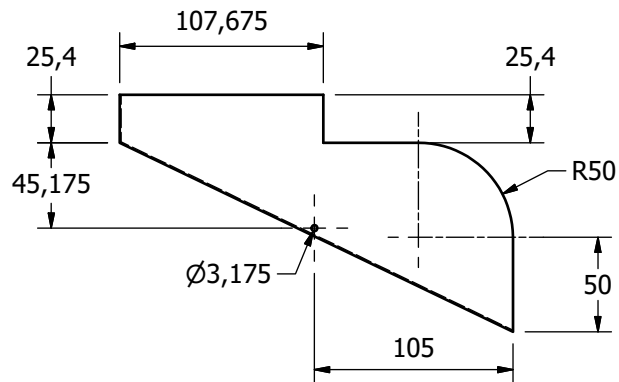
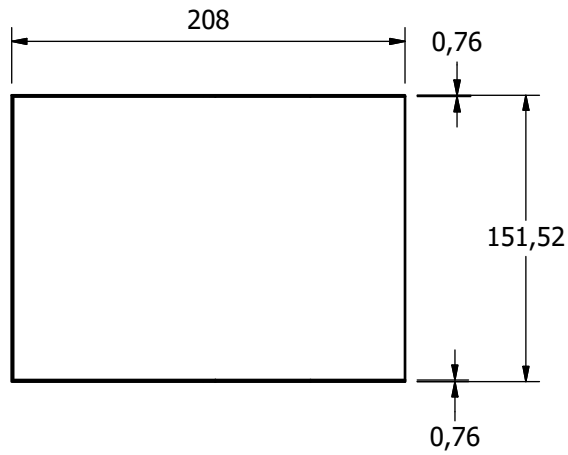
Tapa inferior

Alumnos: Rocío Luna Ramos
Sergio Ibarra Moreno

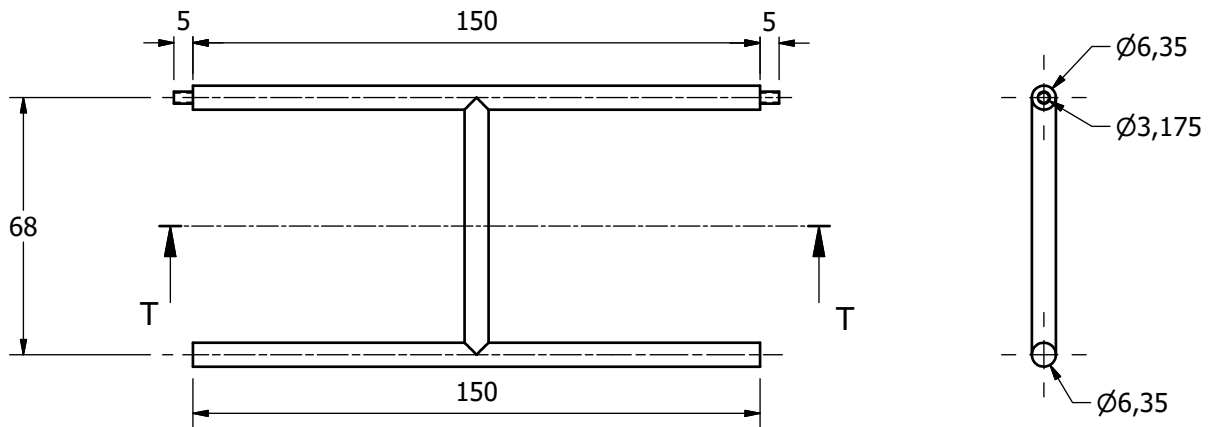
9 / 18



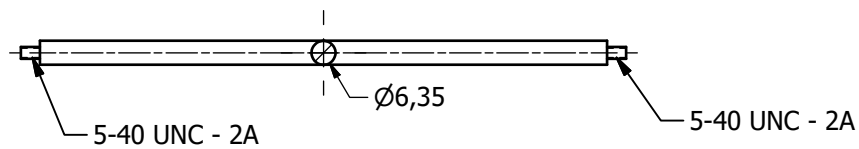
Material: Lamina de acero inoxidable 304 calibre 22	1:2	mm		Tina de enfriamiento
UAM-A	Puerta de salida de los granos			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			10 / 18



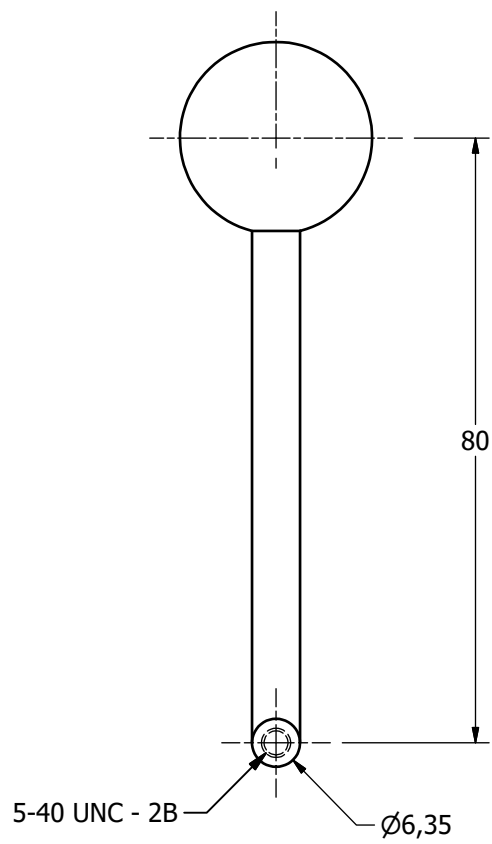
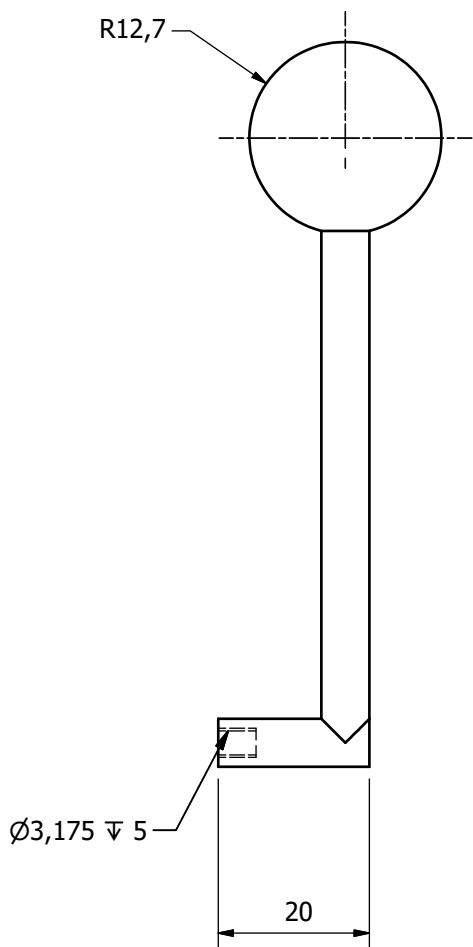
Material: Lamina de acero inoxidable 304 calibre 22	1:2	mm		Tina de enfriamiento
UAM-A	Desliz de salida de los granos			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			11 / 18



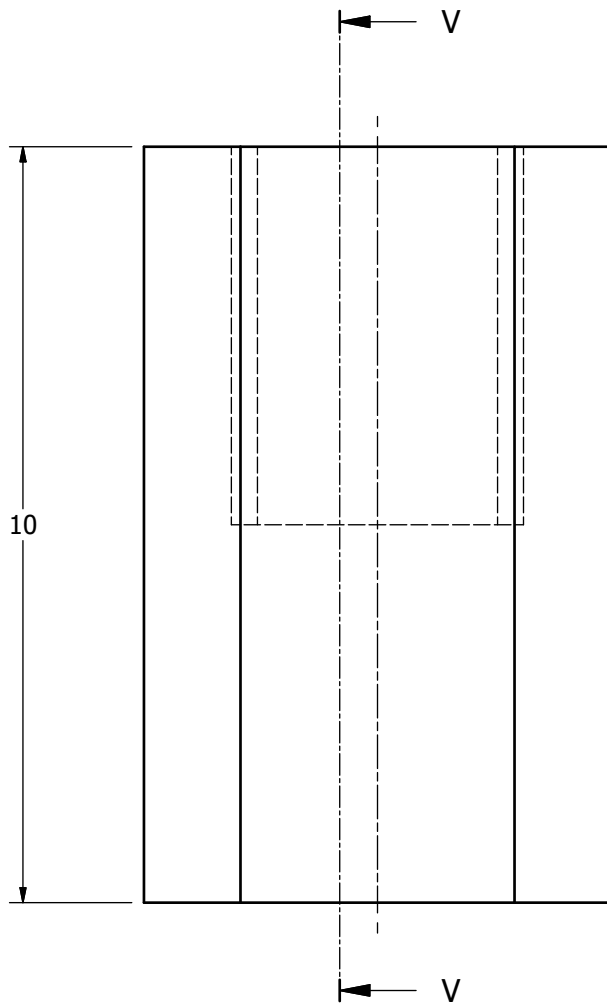
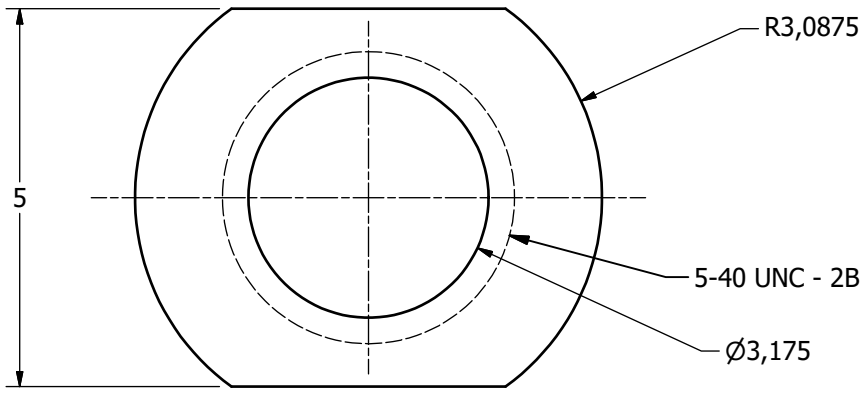
CORTE T-T



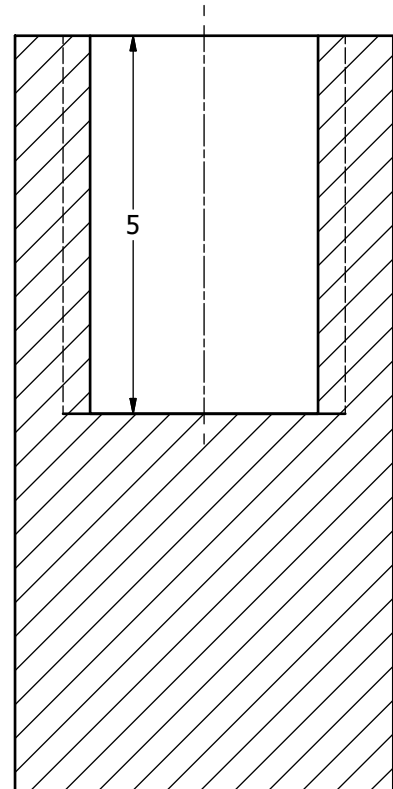
Material: Barra de acero inoxidable 304 diámetro 1/2 pulgadas	1:4	mm		Tina de enfriamiento
UAM-A	Cuerpo del mecanismo de apertura			12 / 18
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			



Material: Barra de acero inoxidable 304	1:1	mm		Tina de enfriamiento
UAM-A	Palanca			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			13 / 18



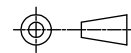
CORTE V-V



Material: Barra de acero inoxidable 304
diámetro 1/2 pulgada

10:1

mm



Tina de
enfriamiento

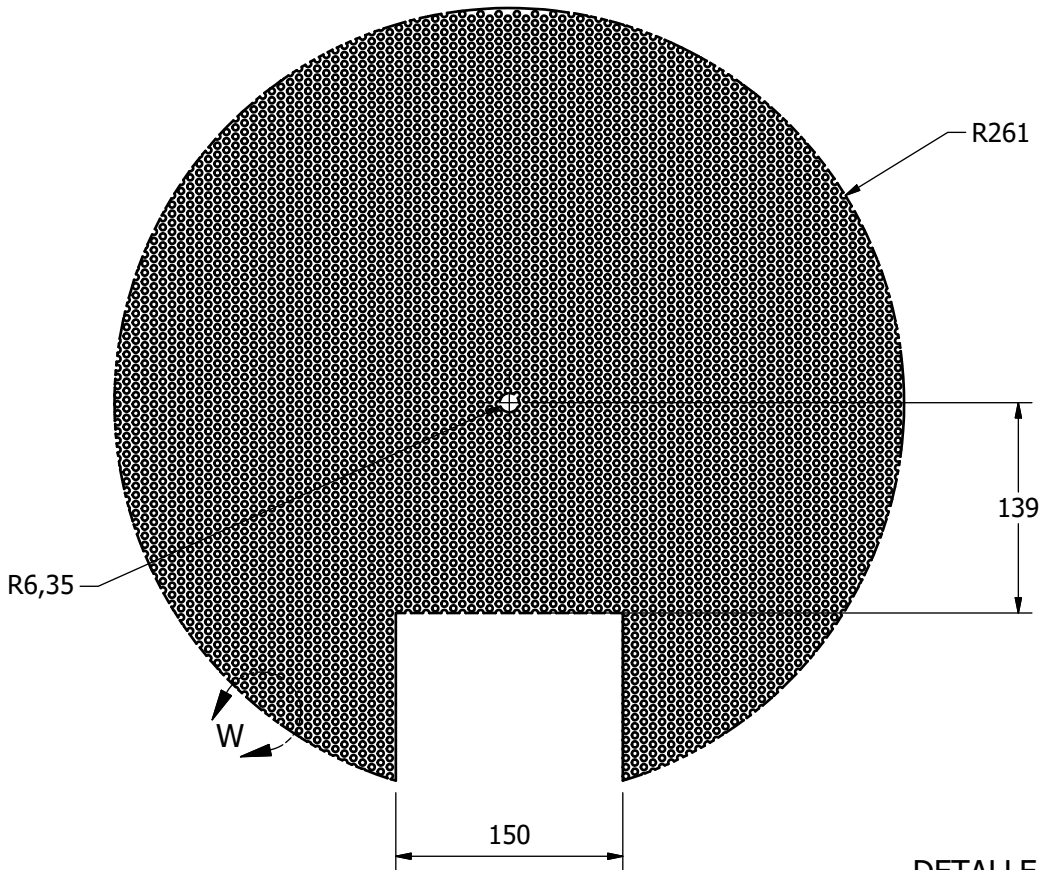
UAM-A

Tuerca del mecanismo de salida

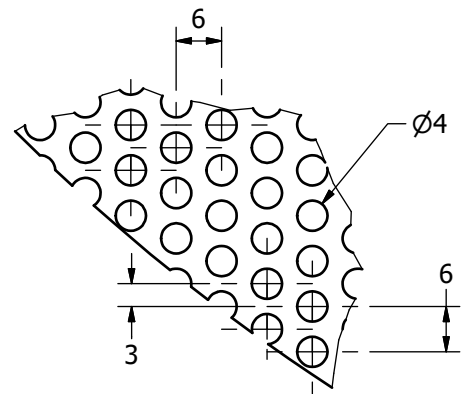
Alumnos: Rocío Luna Ramos
Sergio Ibarra Moreno

14 / 18

0,76



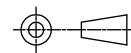
DETALLE W
ESCALA 1:1



Material: Lamina de acero inoxidable 304
calibre 22

1:5

mm



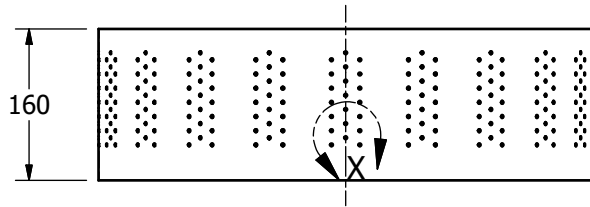
Tina de
enfriamiento

UAM-A

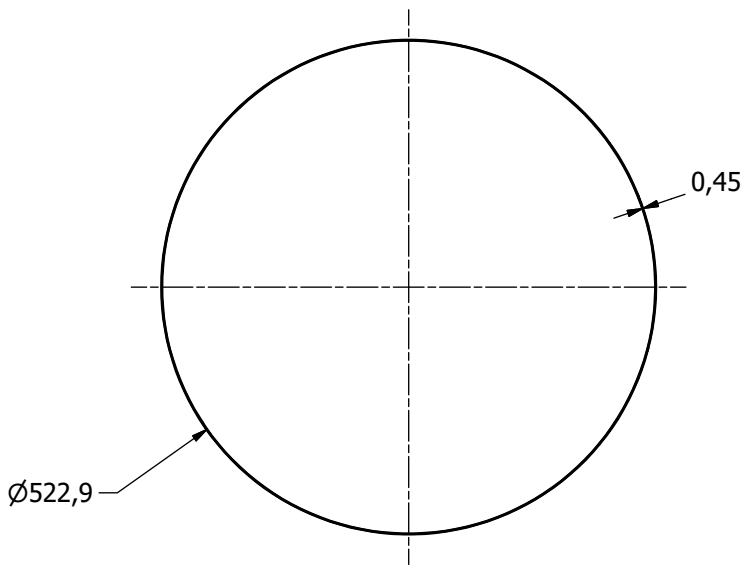
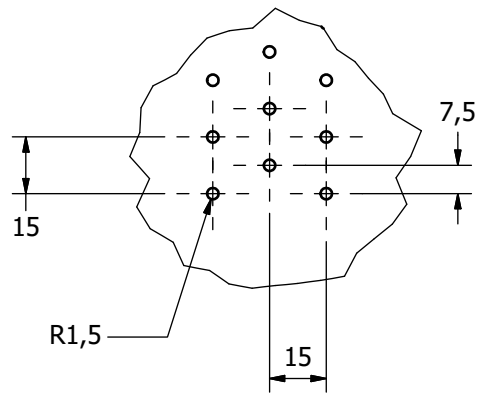
Placa base

Alumnos: Rocío Luna Ramos
Sergio Ibarra Moreno

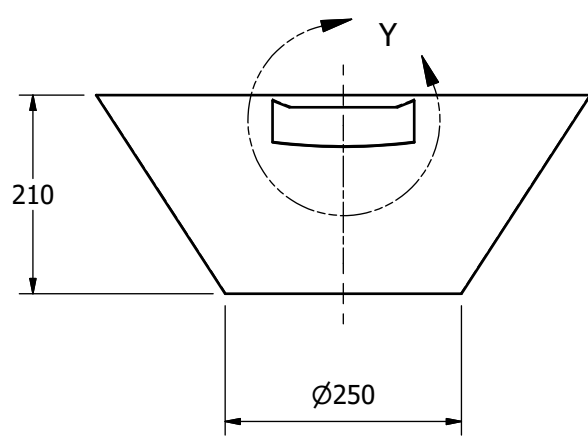
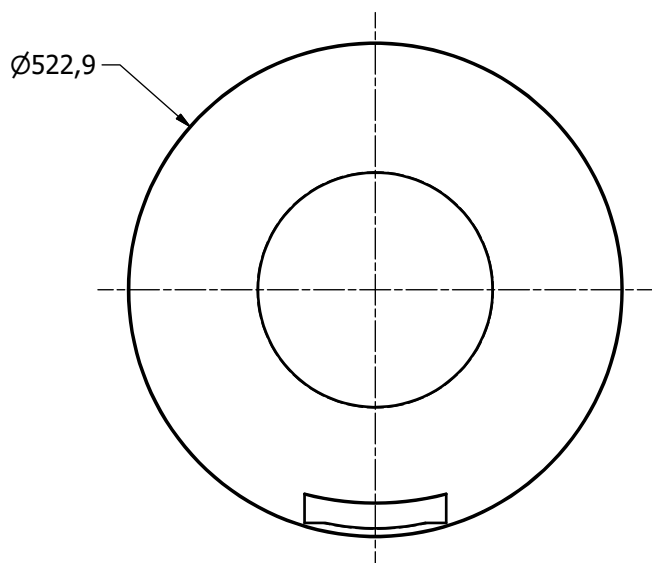
15 / 18



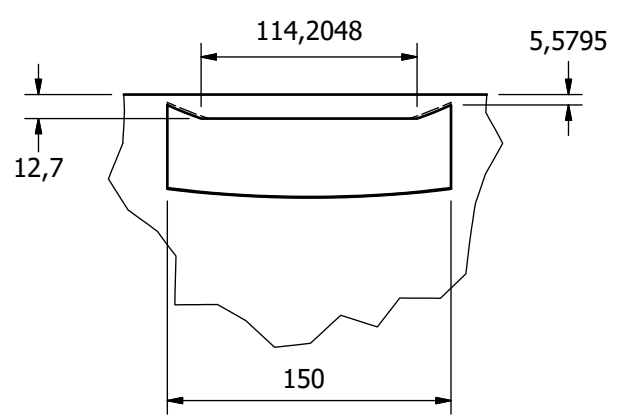
DETALLE X
ESCALA 1:2



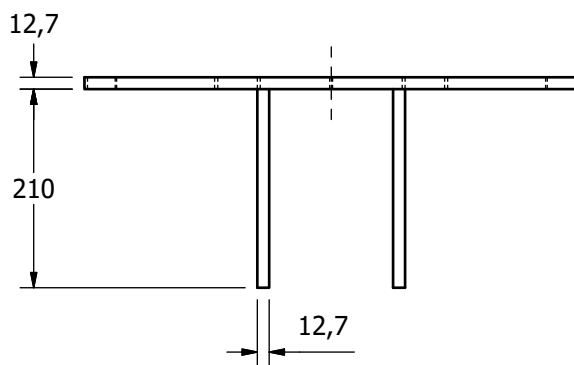
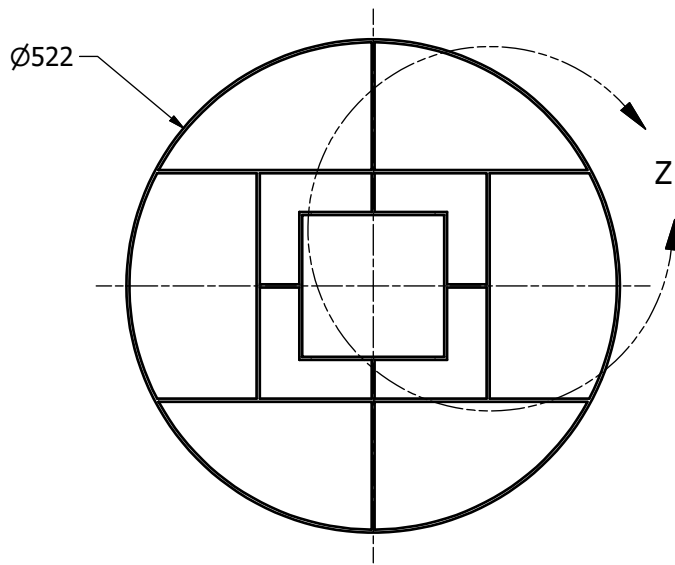
Material: Lamina de acero inoxidable 304 calibre 26	1:8	mm		Tina de enfriamiento
UAM-A	Cuerpo superior			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			16 / 18



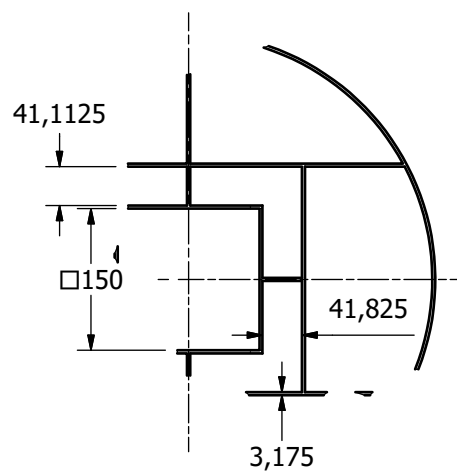
DETALLE Y
ESCALA 1 / 4



Material: Lamina de acero inoxidable 304 calibre 22	1:8	mm		Tina de enfriamiento
UAM-A	Cuerpo central			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno	17 / 18		



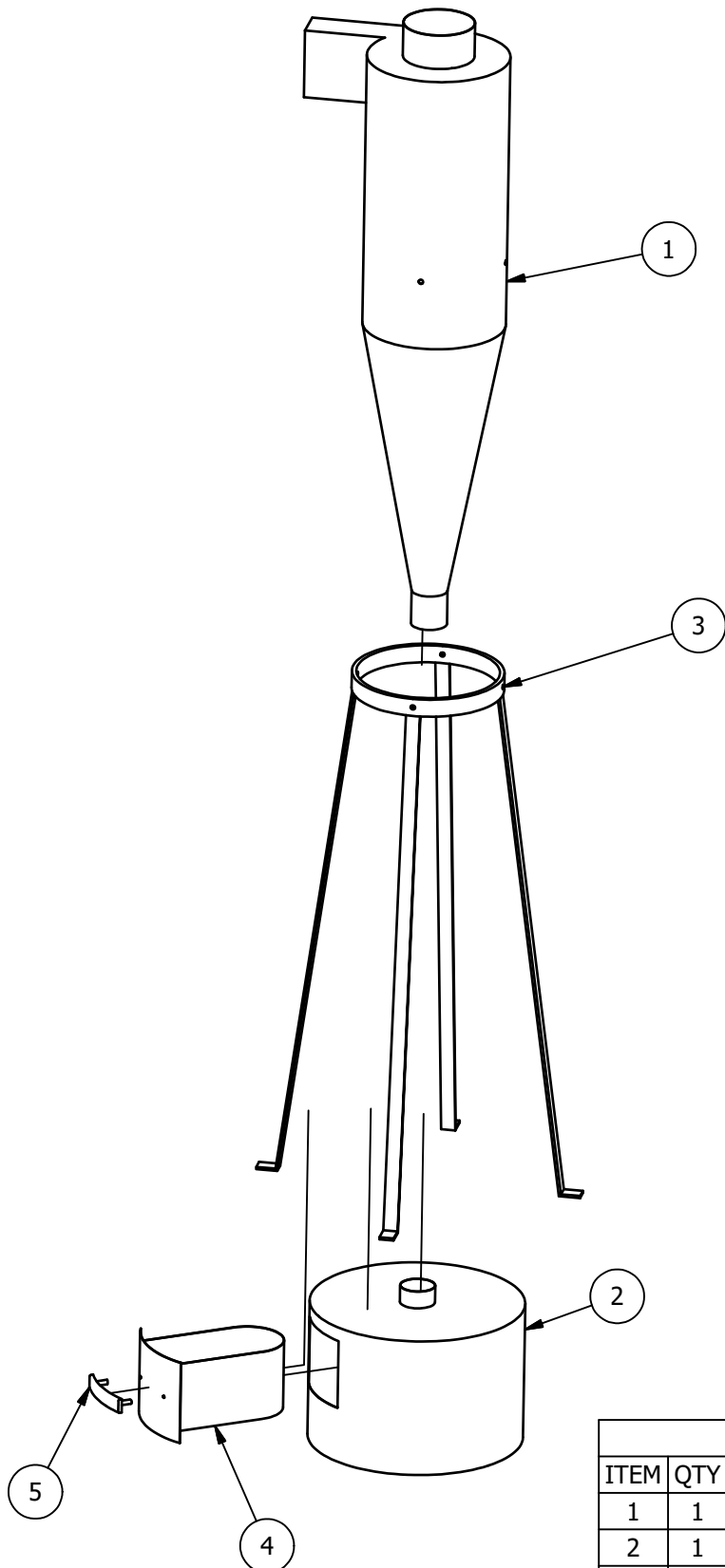
DETALLE Z



Material: Solera de acero al carbón de 1/2 x 1/8 pulgadas	1:8	mm		Tina de enfriamiento
UAM-A	Soporte interno			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			18 / 18

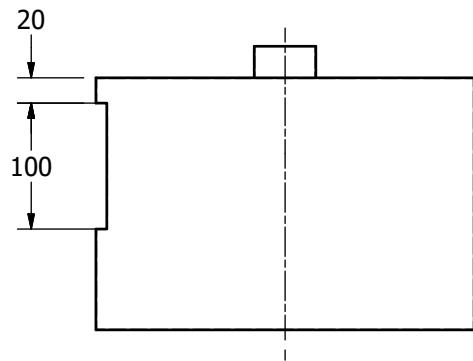
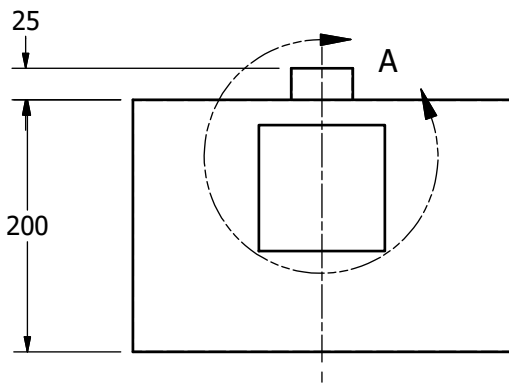
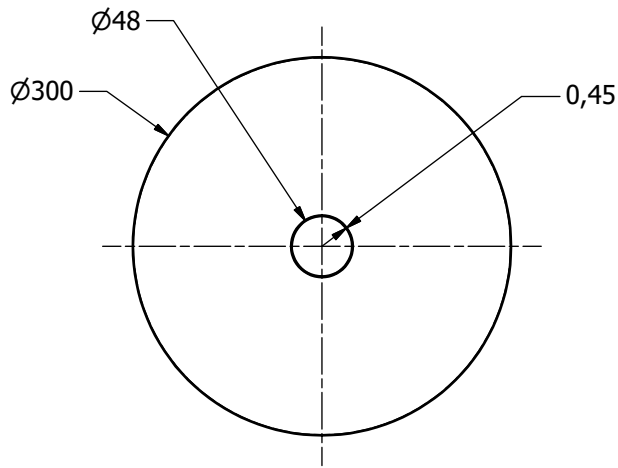
Anexo F.1

Dibujos de detalle del ciclón extractor de gases.

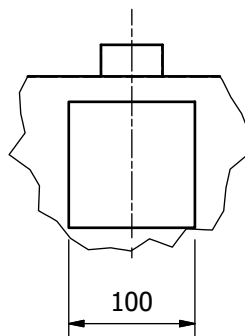


LISTA DE PARTES			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1		Ciclón
2	1		Base del ciclón
3	1		Soporte para el ciclón
4	1		Cajon recolector dse cascarilla
5	1		Manija del cajón recolector

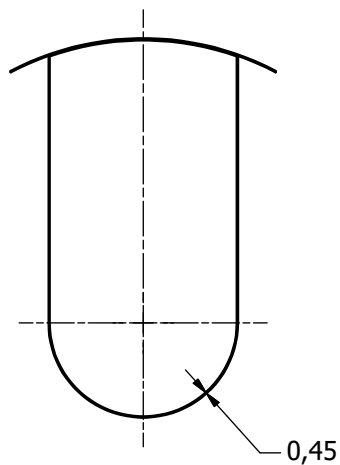
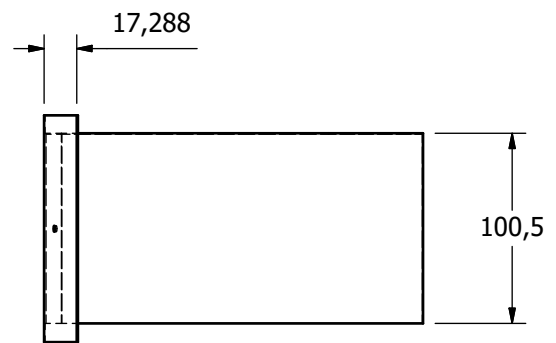
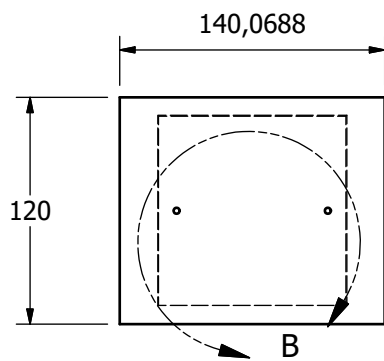
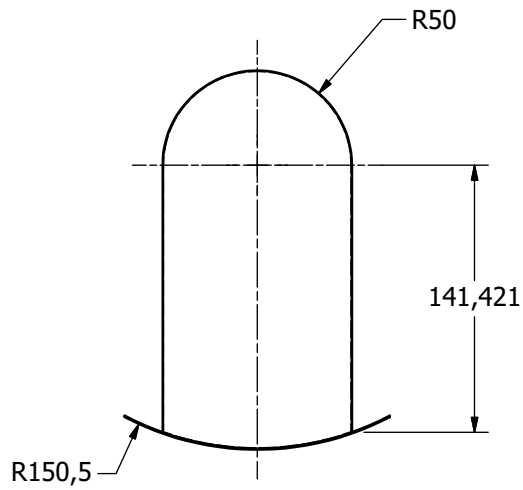
Material: Según especificaciones en planos	1:10	mm		Prototipo de pruebas
UAM-A	Explosionado			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			1 / 6



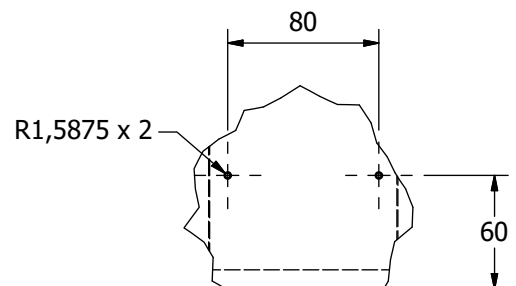
DETALLE A



Material: Lamina de acero inoxidable 304 calibre 26	1:6	mm		Prototipo de pruebas
UAM-A	Base del ciclón			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			2 / 6



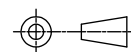
DETALLE B



Material: Lamina de acero inoxidable 304
calibre 26

1:4

mm



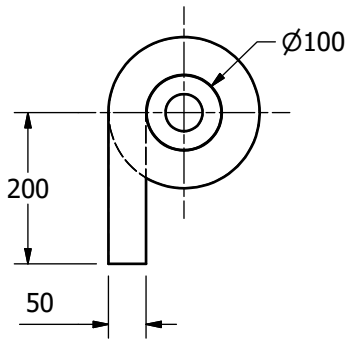
Ciclón extractor

UAM-A

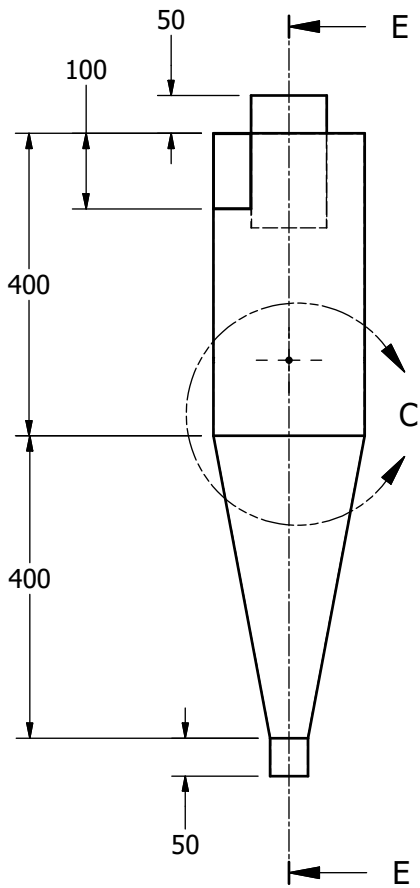
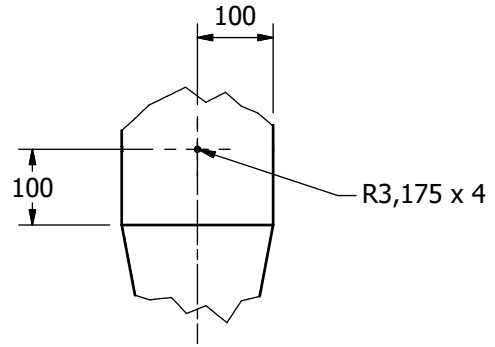
Cajón recolector de cascarilla

Alumnos: Rocío Luna Ramos
Sergio Ibarra Moreno

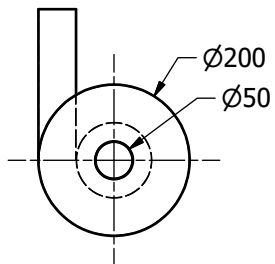
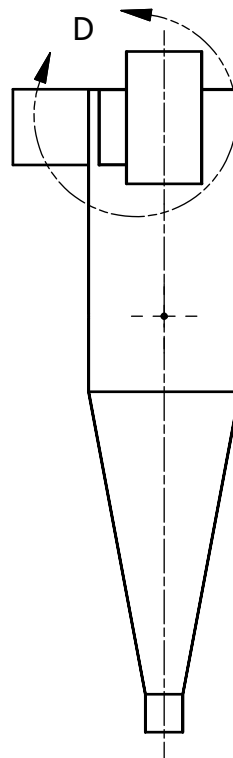
3 / 6



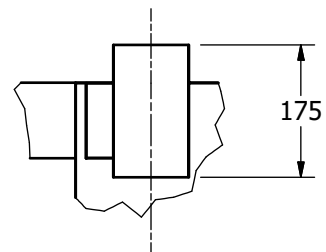
DETALLE C



CORTE E-E



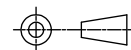
DETALLE D



Material: Lamina de acero inoxidable 304
calibre 26

1:10

mm



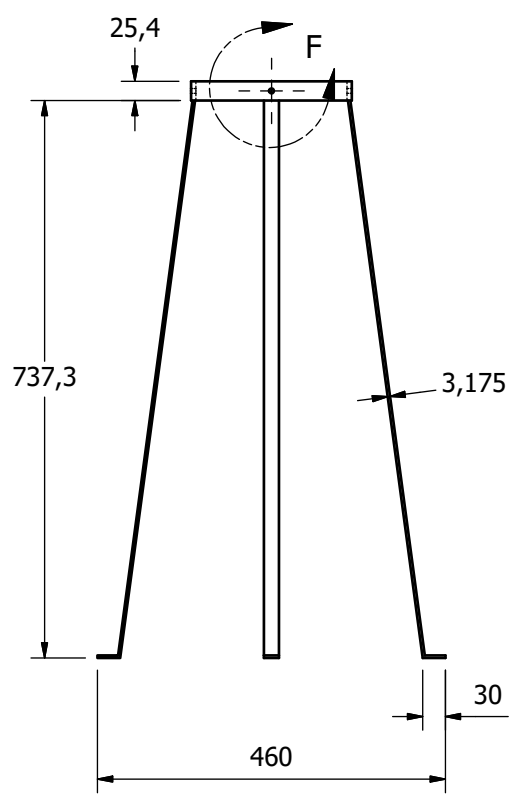
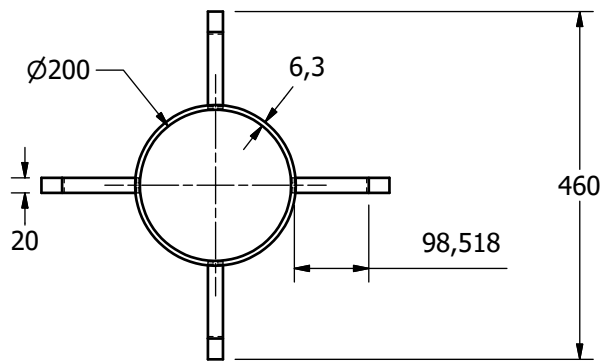
Ciclón extractor

UAM-A

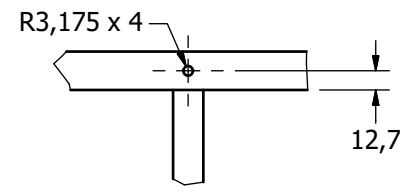
Ciclón

Alumnos: Rocío Luna Ramos
Sergio Ibarra Moreno

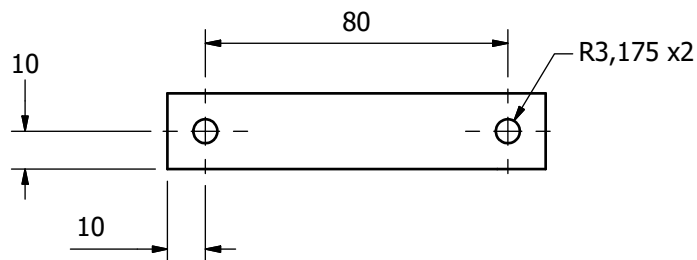
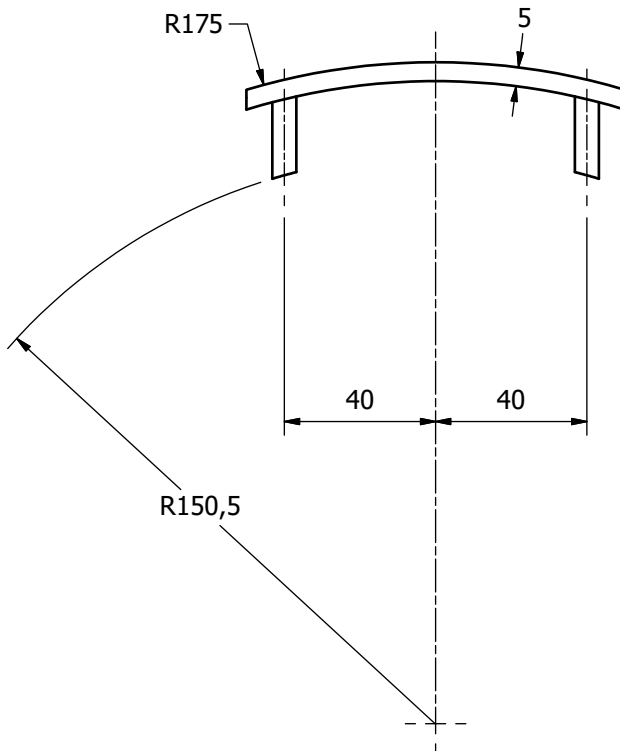
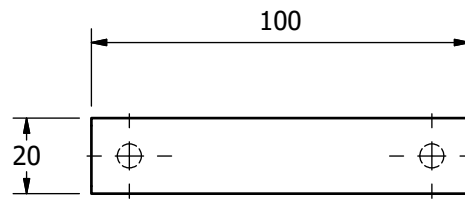
4 / 6



DETALLE F
ESCALA 1:5



Material: Solera de acero al carbón de 1 x 1/6 pulgadas	1:10	mm		Ciclón extractor
UAM-A	Soporte para el ciclón			5 / 6
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			



Material:	Acero inoxidable 304	1:2	mm		Ciclón extractor
UAM-A	Manija del cajón recolector				
	Alumnos:	Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			6 / 6

Anexo G.1

Códigos de perfiles y elementos de sujeción para la estructura inferior.



...worth a thousand words.

80/20[®]



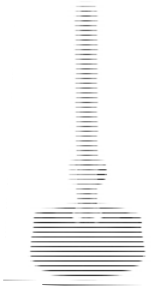
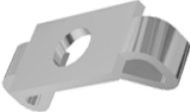


The Industrial Erector Set[®]

CATALOG
20

www.8020.net

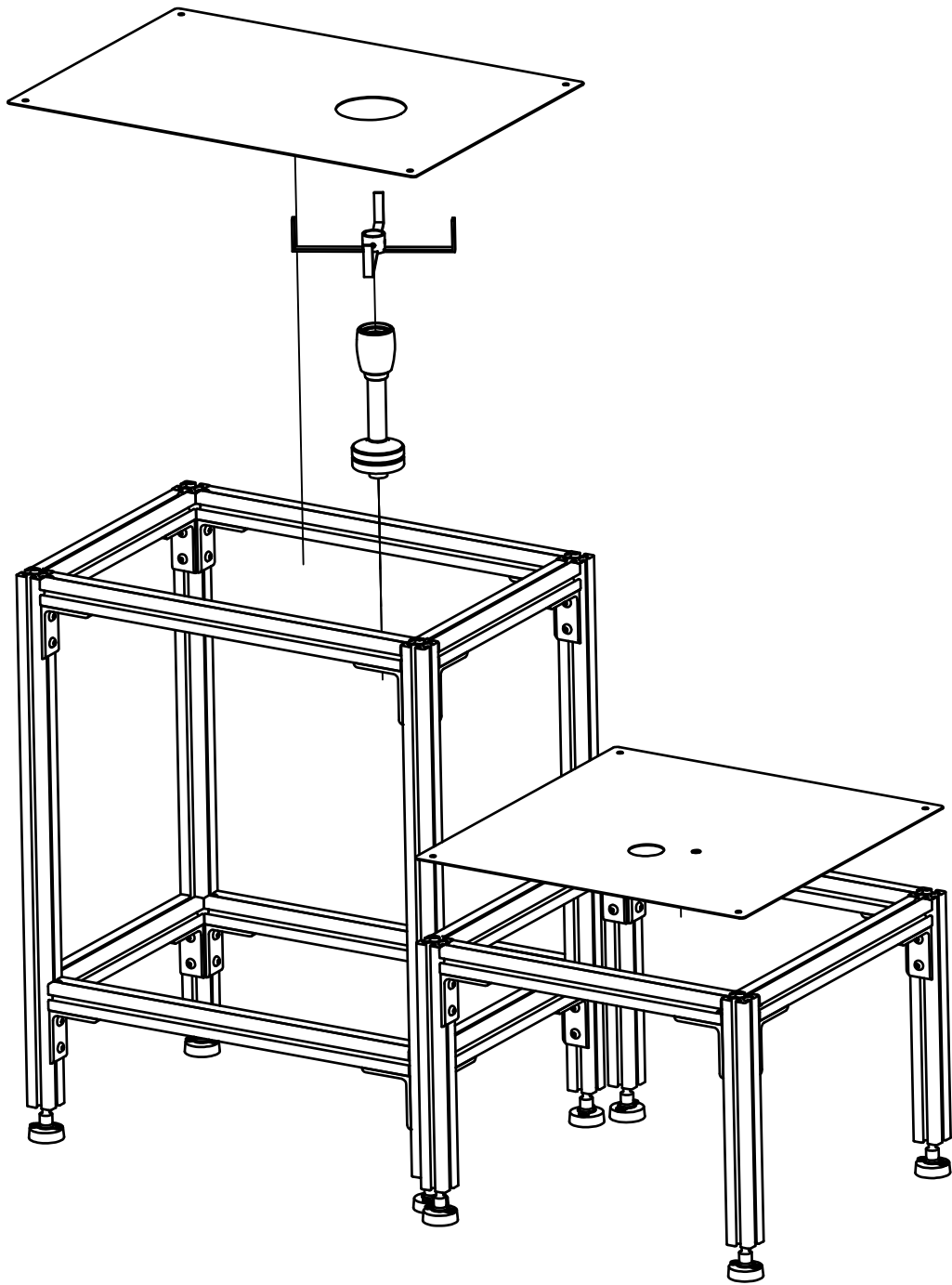


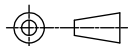
EVERYONE WANTS TO MAKE SOMETHING

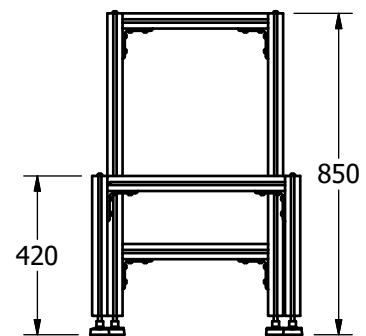
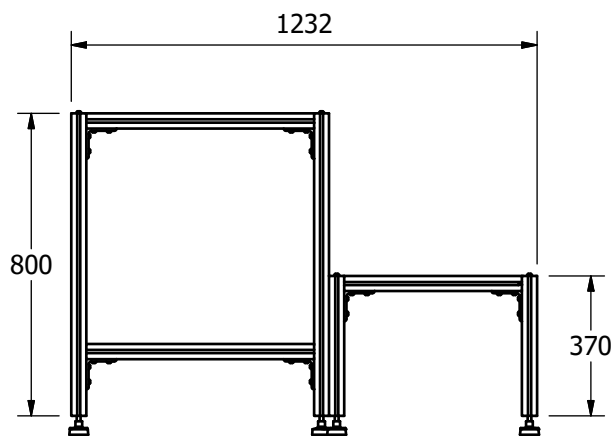
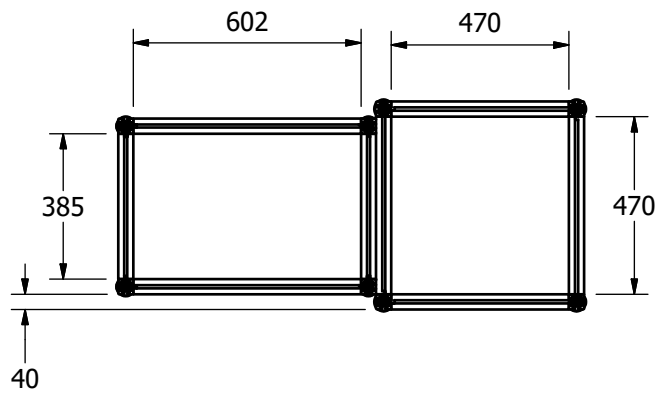
Numero de pieza	Descripción de la pieza	Material	
40-4040	Perfil cuadrangular	Aluminio	
40-4301	Soporte de esquina interna	Aluminio	
65-2183	Patitas	Base de Nylon Cuerpo de acero galvanizado.	
40-3679	Clip sujetador de montaje	Acero galvanizado.	
30-3796	Tuerca	Acero al carbón	
17-8316	Tonillo	Acero al carbón	

Anexo G.2

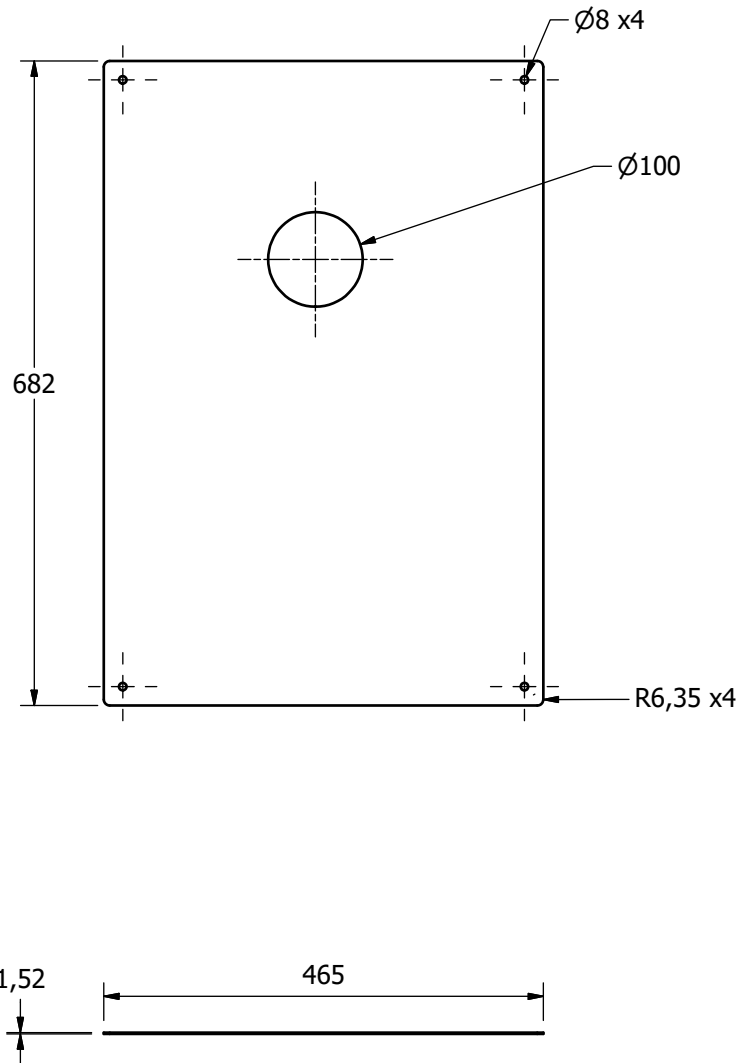
Dibujos de detalle de la estructura inferior.



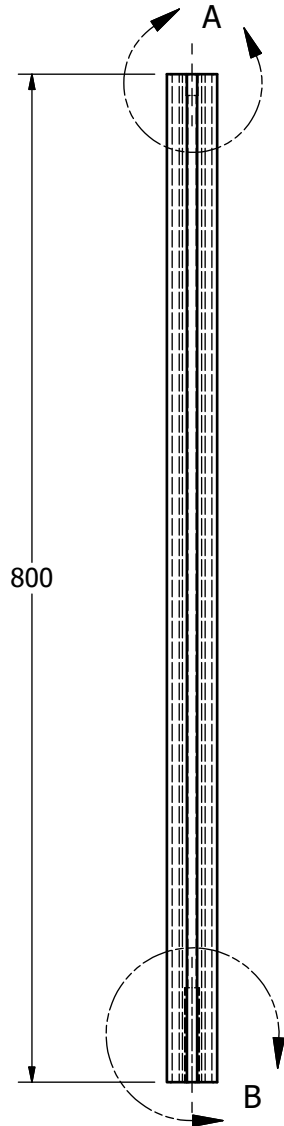
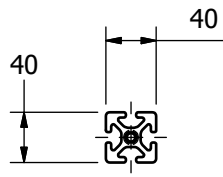
Material: Según especificaciones en planos	1:10	mm		Estructura inferior
<h1>UAM-A</h1>	<h2>Explosionado</h2>			1 / 6
Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno				



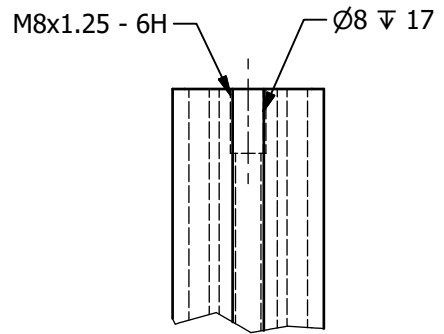
Material:	Perfil de aluminio	1:20	mm		Estructura inferior
UAM-A	Mesa en dos niveles				
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno				2 / 6



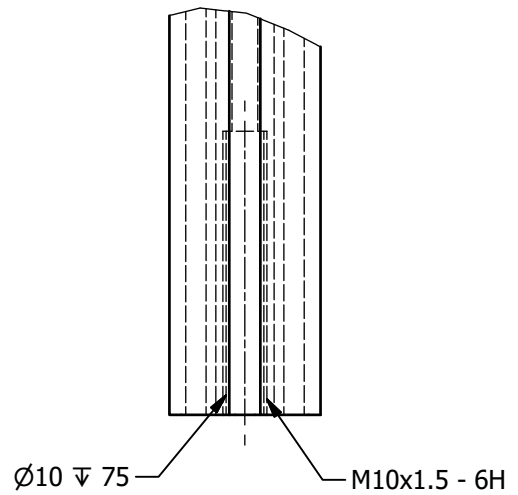
Material: Lamina de acero inoxidable 304 calibre 16	1:8	mm		Estructura inferior
UAM-A	Base del nivel superior			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			3 / 6



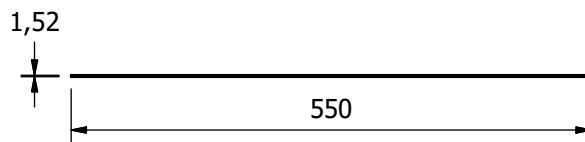
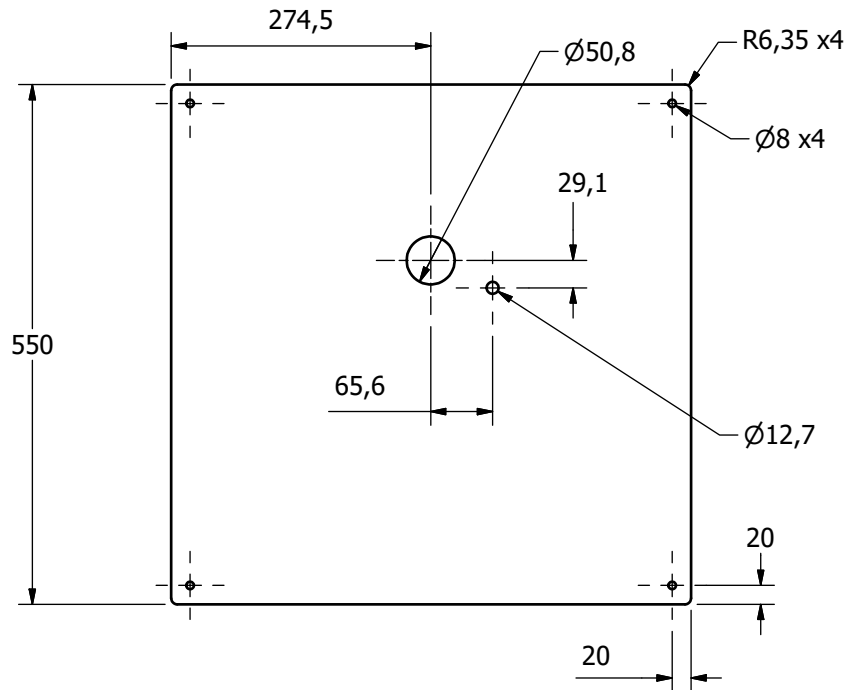
DETALLE A
ESCALA 1:2



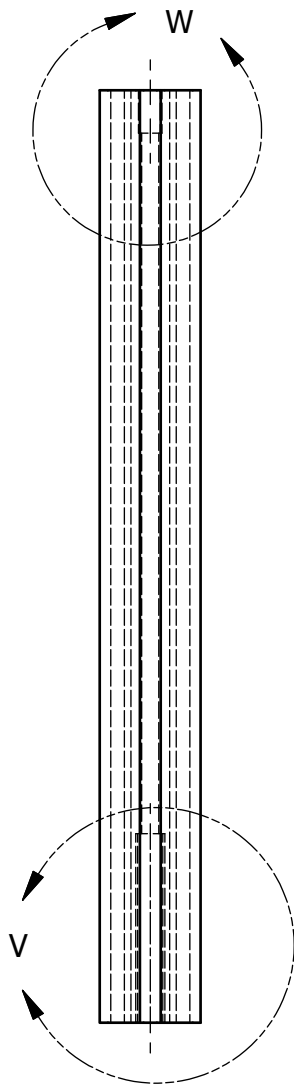
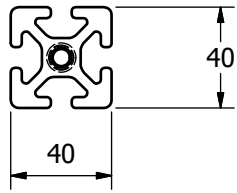
DETALLE B
ESCALA 1:2



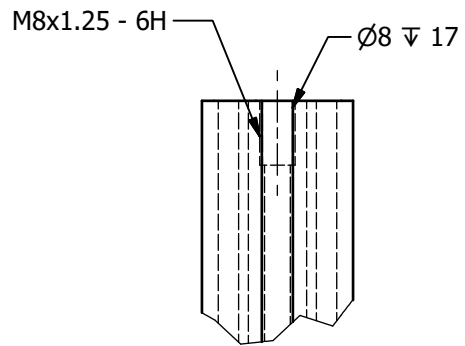
Material:	Perfil de aluminio	1:6	mm		Estructura inferior
UAM-A	Soporte vertical del nivel superior				
	Alumnos:	Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			4 / 6



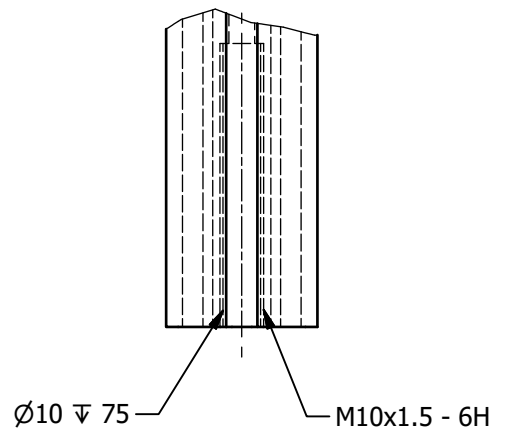
Material: Lamina de acero inoxidable 304 calibre 16	1:8	mm		Estructura inferior
UAM-A	Base del nivel inferior			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			5 / 6



DETALLE W
ESCALA 1:2



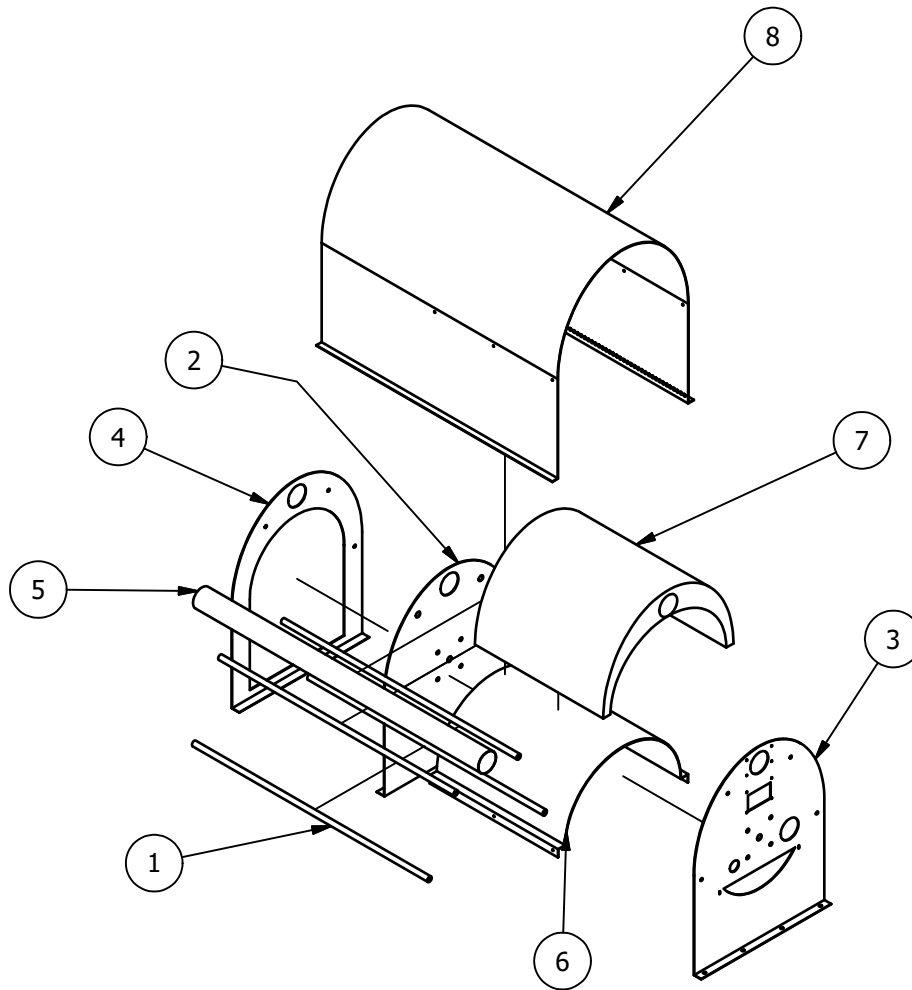
DETALLE V
ESCALA 1:2



Material:	Perfil de aluminio	1:6	mm		Estructura inferior
UAM-A	Soporte vertical del nivel inferior				6 / 6
	Alumnos:	Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			

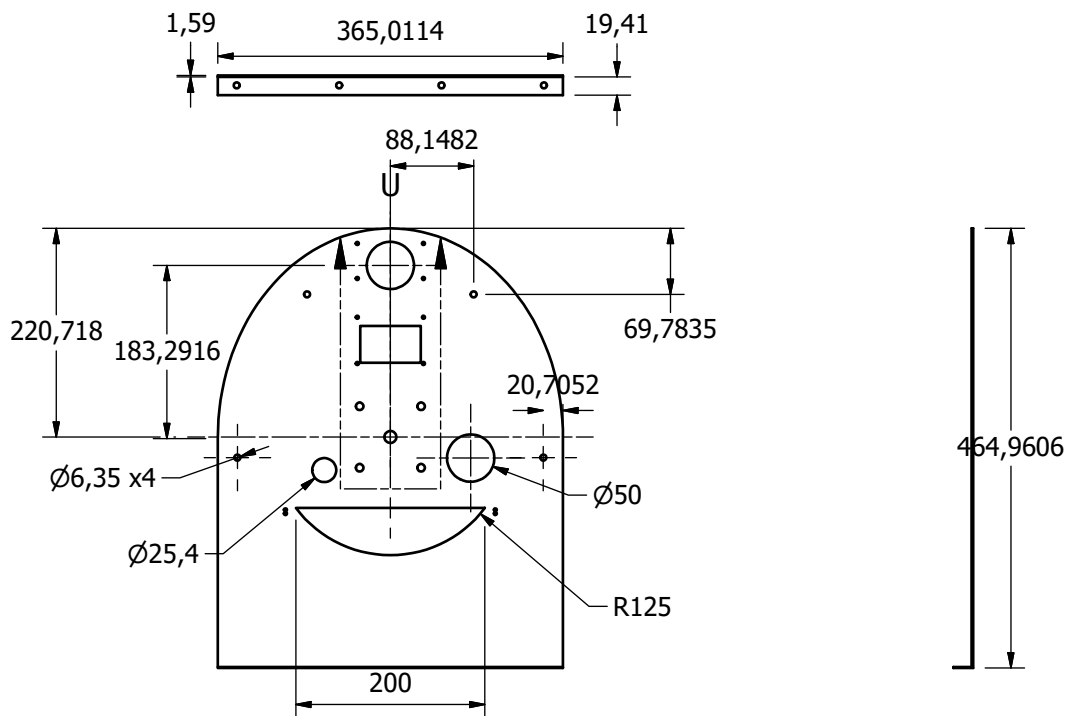
Anexo G.3

Dibujos de detalle de la estructura superior.

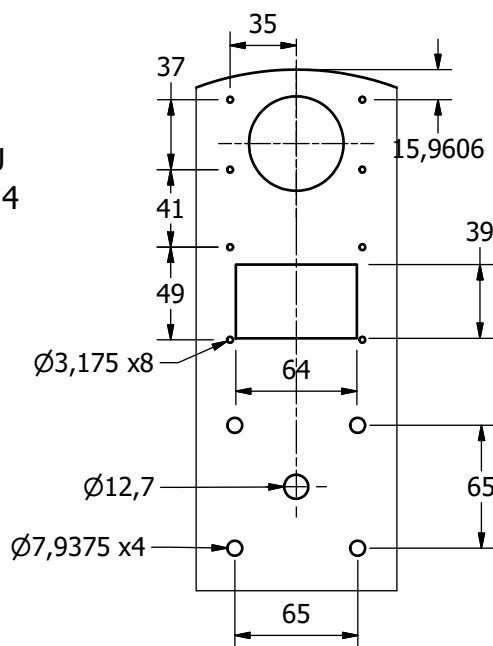


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	4	Soportes transversales	
2	1	Pared central	
3	1	Pared frontal	
4	1	Pared trasera	
5	1	Punel de gases	
6	1	Protector para el aislante	
7	1	Aislante	
8	1	Cubierta general	

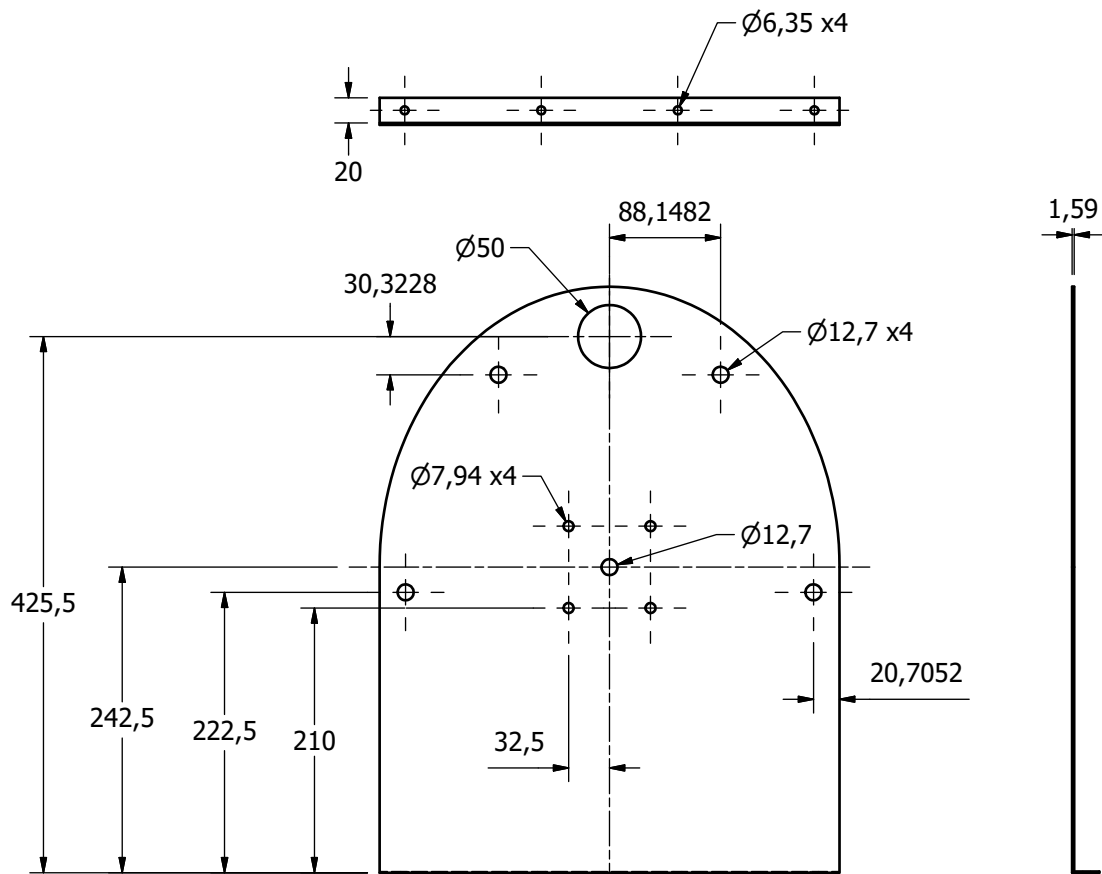
Material: Según lo especificado en los planos	1:15	mm		Estructura
UAM-A	Estructura superior			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno	1 / 9		

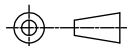


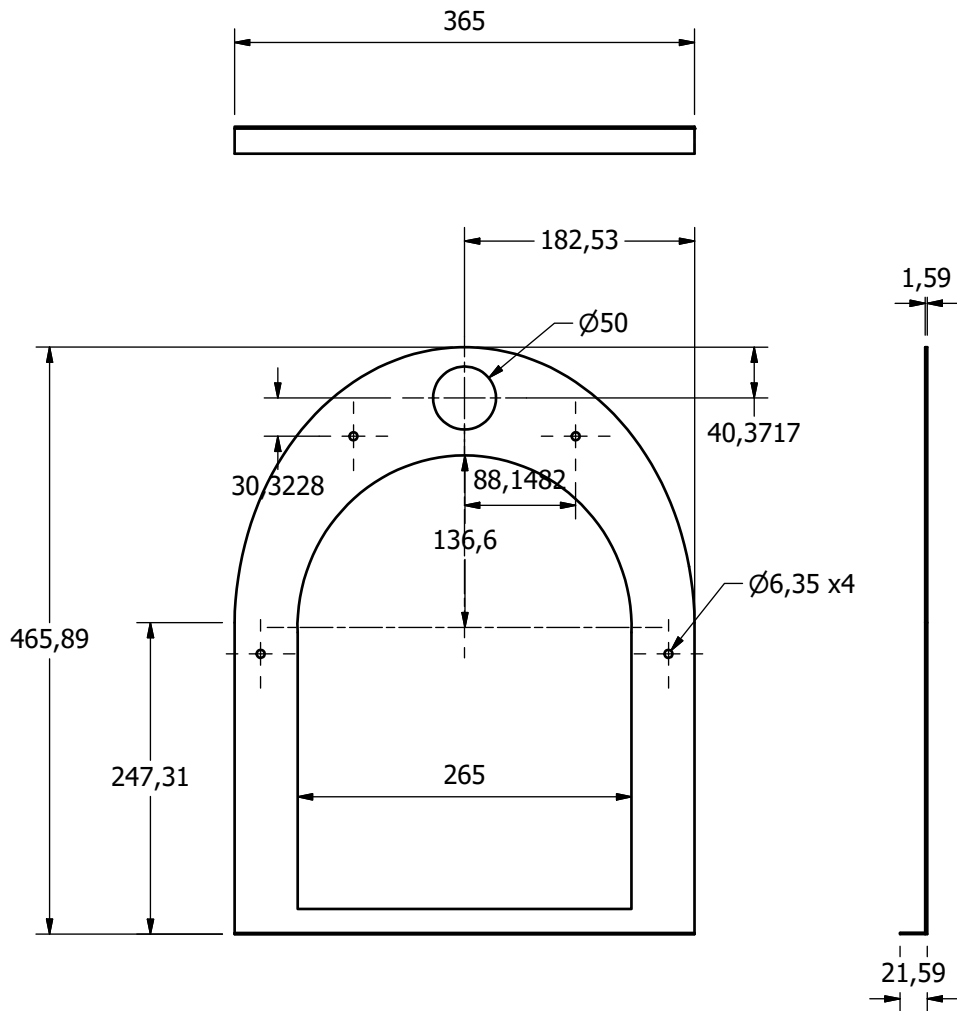
DETALLE U
ESCALA 1 / 4



Material: Lamina de acero inoxidable 304 calibre 26	1:8	mm		Estructura superior
UAM-A	Pared frontal			2 / 9
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			



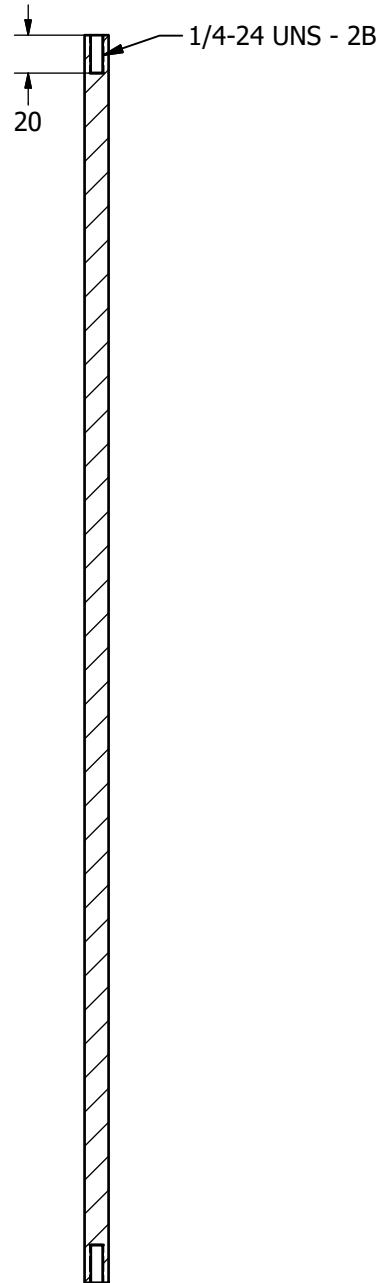
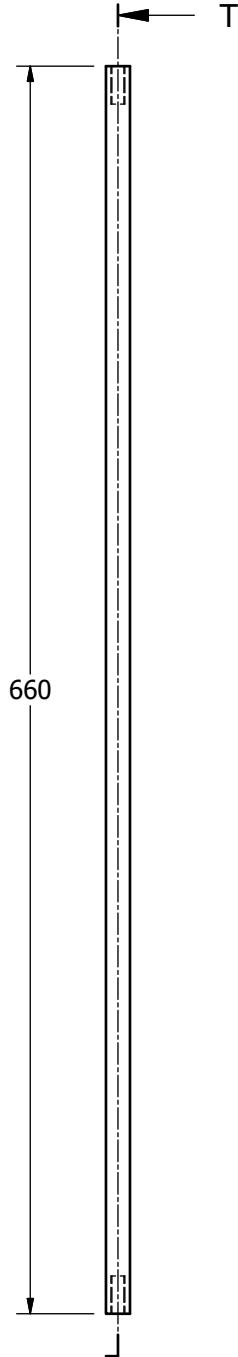
Material: Lamina de acero inoxidable 304 calibre 26	1:6	mm		Estructura superior
<h1>UAM-A</h1>	Pared central			3 / 9
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			



Material: Lamina de acero inoxidable 304 calibre 26	1:6	mm		Estructura superior
UAM-A	Pared trasera			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			4 / 9

Ø12,7
Ø6,35

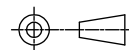
CORTE T-T



Material: Barra de acero inoxidable 304
diámetro 1/2 pulgada

1:4

mm



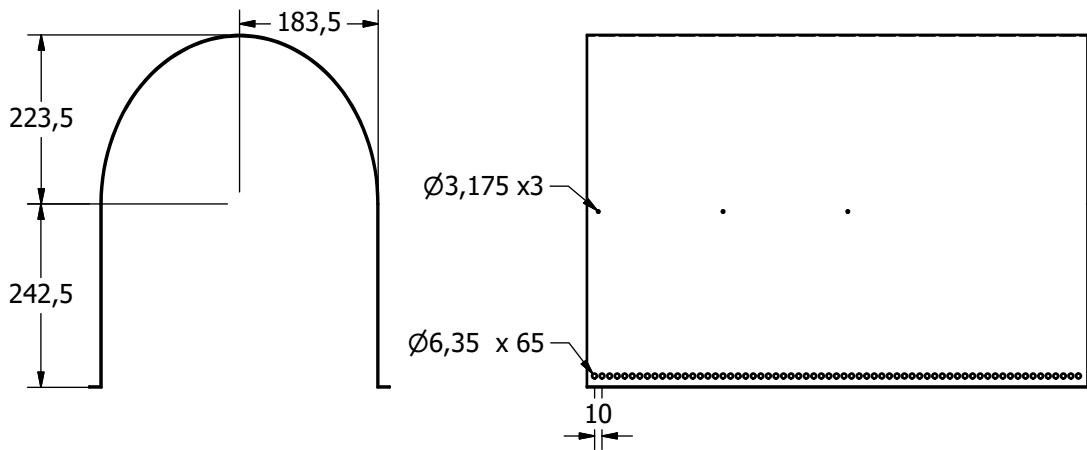
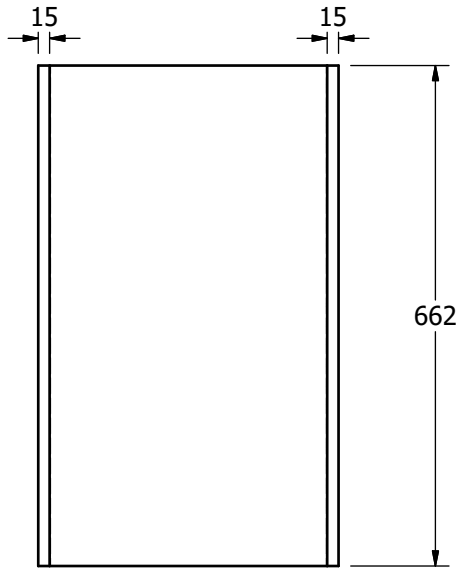
Estructura superior

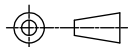
UAM-A

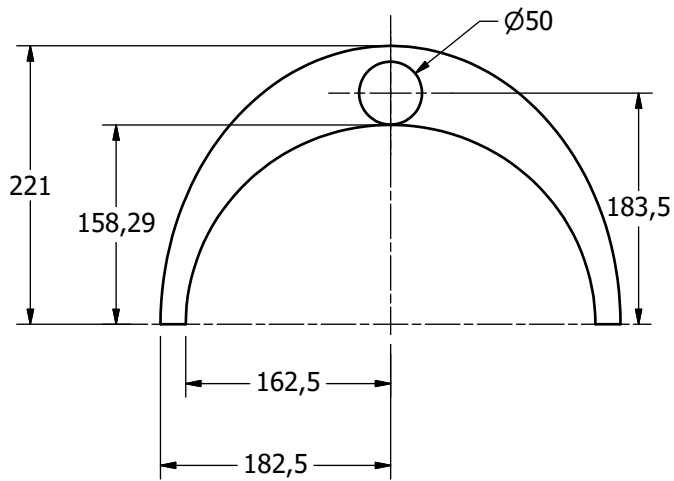
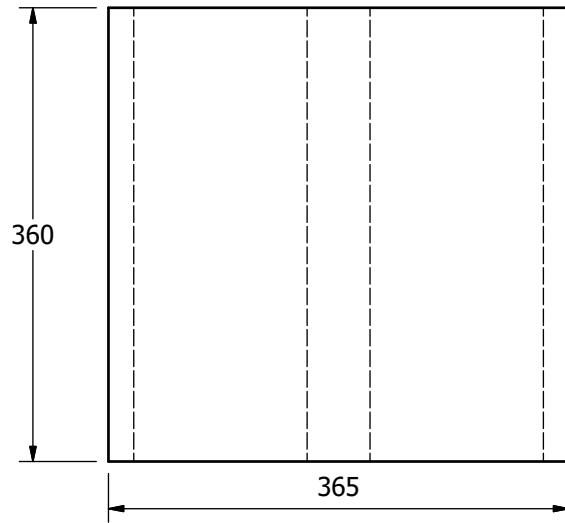
Soporte transversal

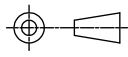
Alumnos: Rocío Luna Ramos
Sergio Ibarra Moreno

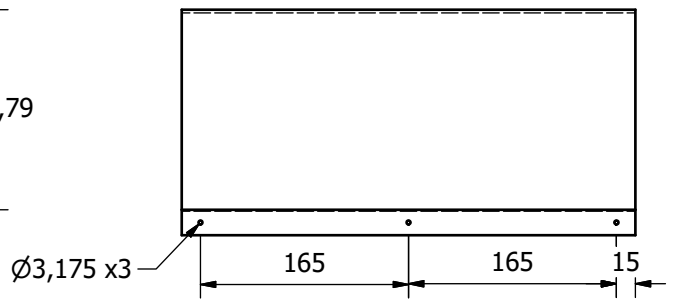
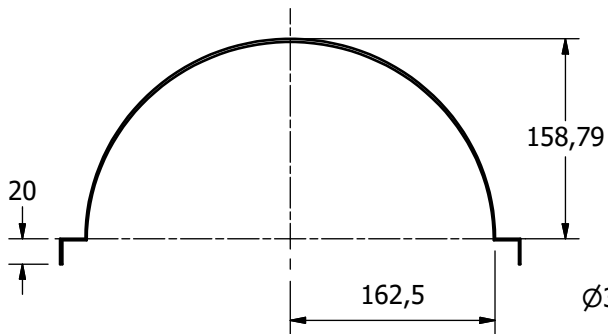
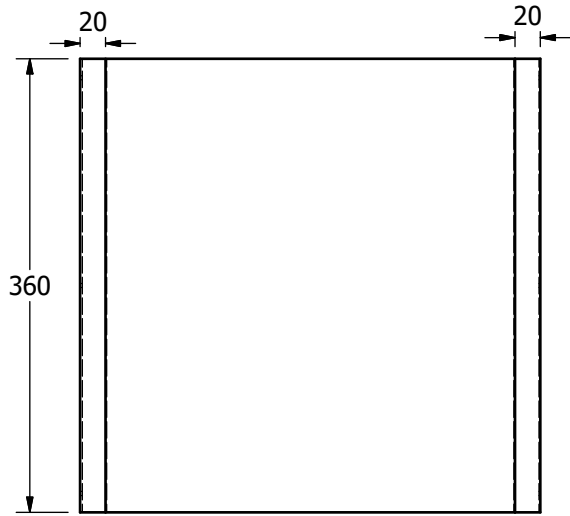
5 / 9

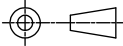


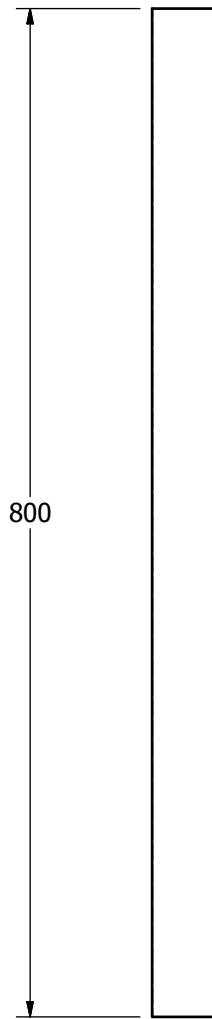
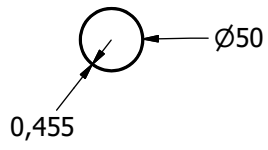
Material: Lamina de acero inoxidable 304 calibre 22	2:1	mm		Estructura superior
<h1>UAM-A</h1>	Cubierta general			6 / 9
Alumnos: Rocio Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno				



Material:	Lana mineral	1:6	mm		Estructura superior
UAM-A	Aislante				
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno				7 / 9



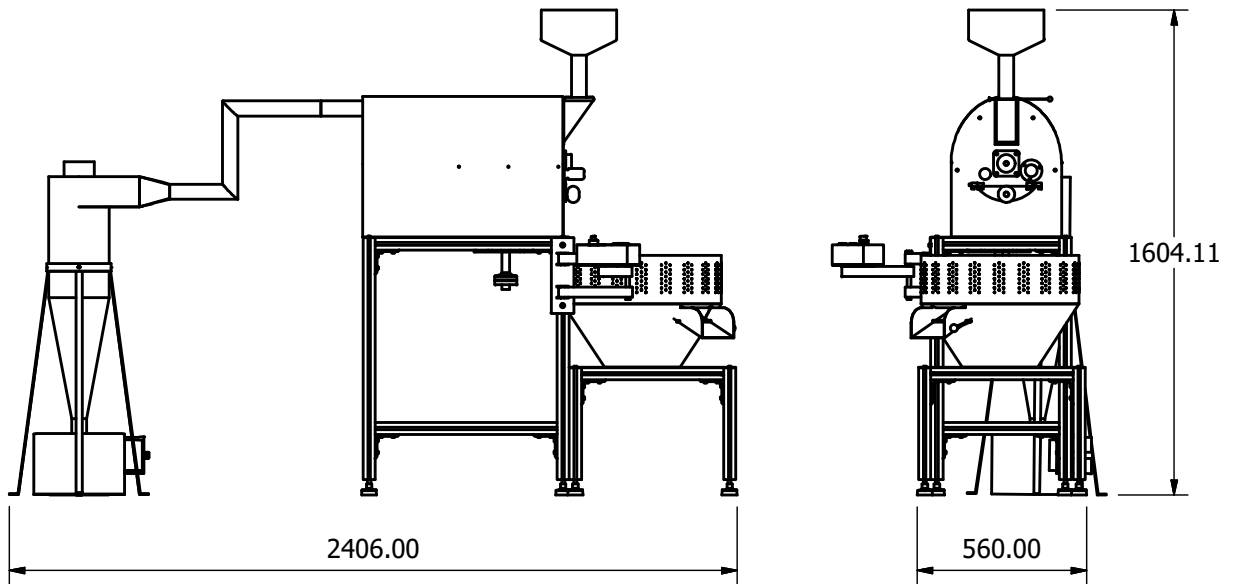
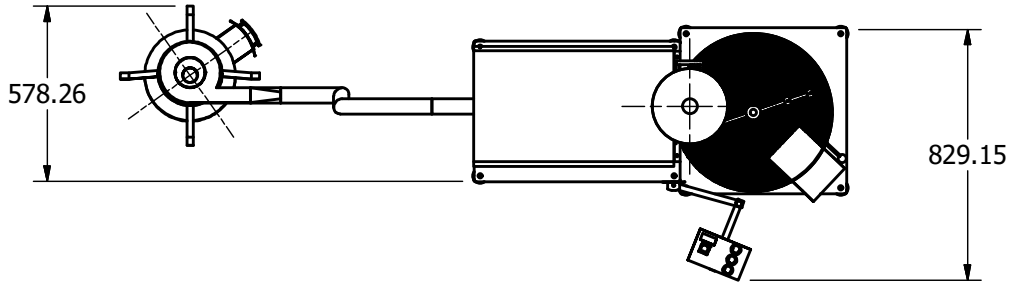
Material: Lamina de acero inoxidable 304 calibre 22	1:6	mm		Estructura superior
UAM-A	Protector para el aislante			8 / 9
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			

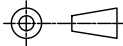


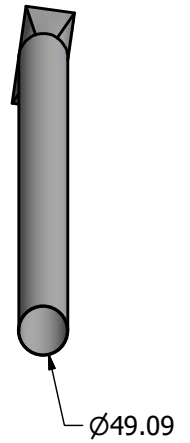
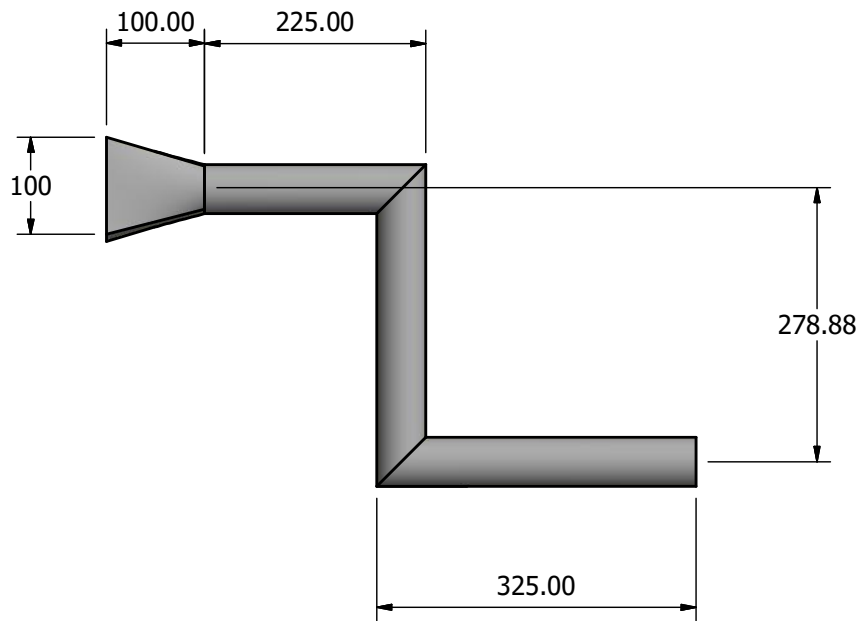
Material: Lamina de acero inoxidable 304 calibre 26	1:6	mm		Estructura superior
UAM-A	Tunel de salida de los granos			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			9 /9

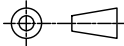
Entregables

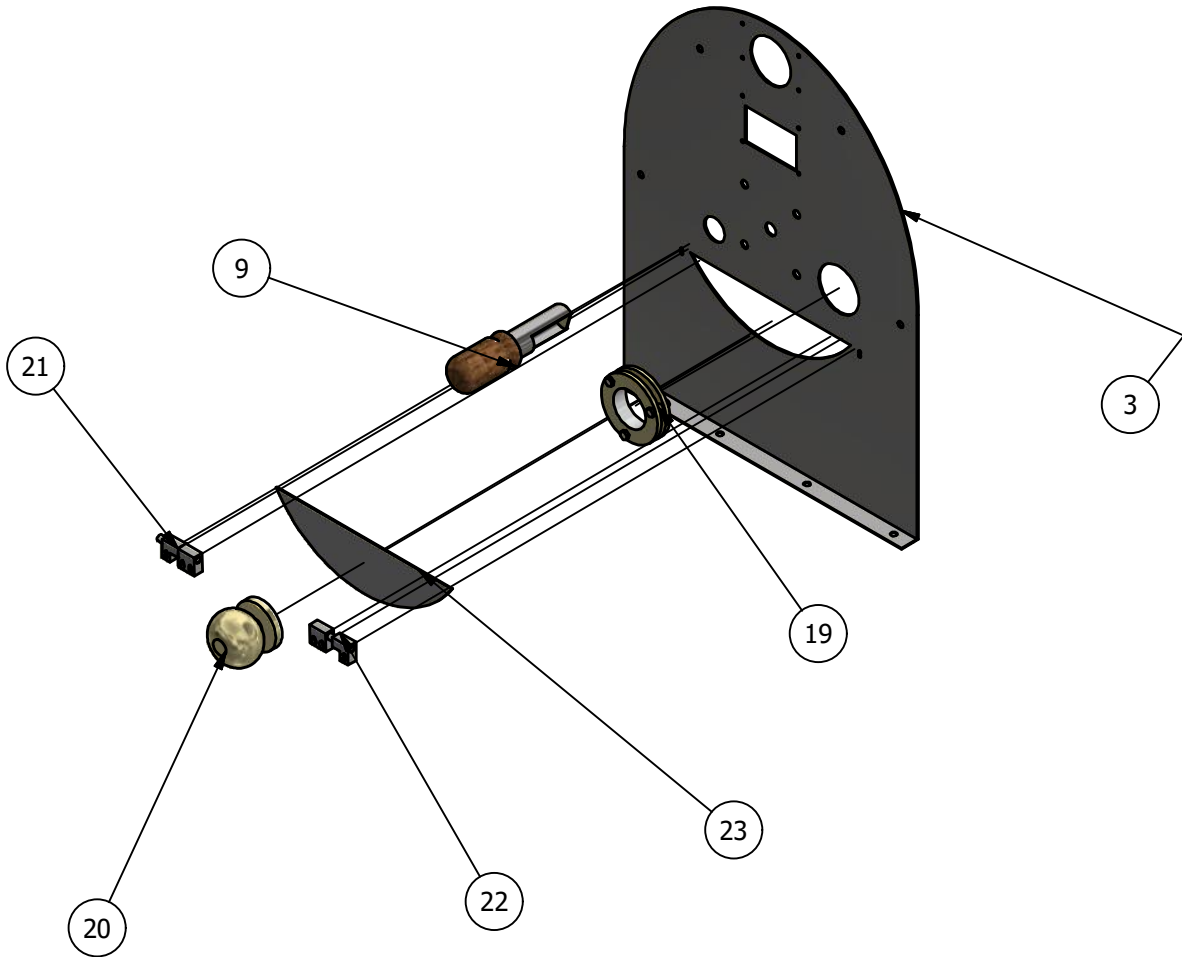
Los entregables de este proyecto consisten en los dibujos de detalle y los planos de ensamble necesarios para realizar la construcción de máquina tostadora, mismos que se encuentran en los anexos C.1, E.1, F.1, G.2 y G.3. El resto de los planos de componentes adicionales o de unión se encuentran en las páginas posteriores a este documento.

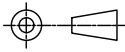


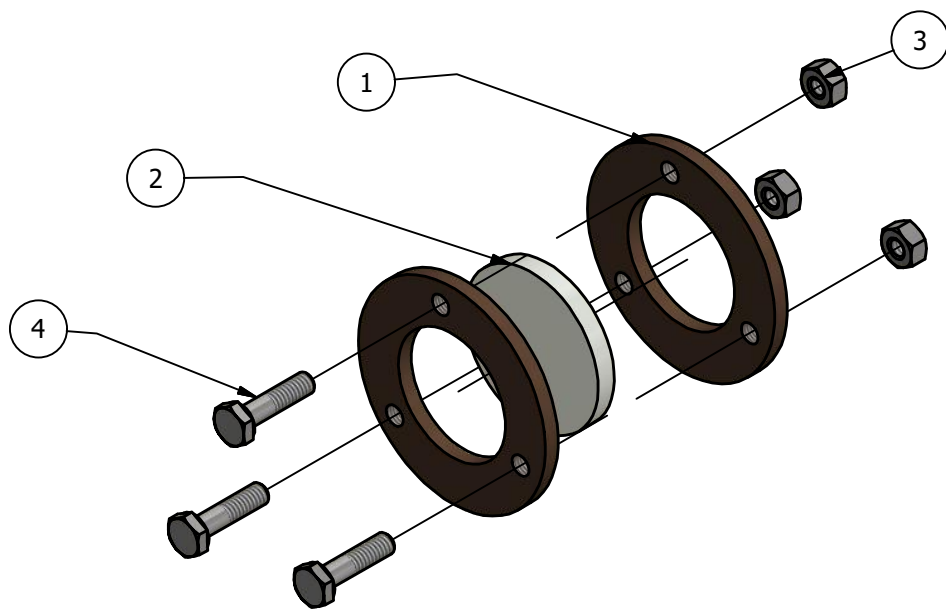
Material: Según especificado en los planos	1:25	mm		Máquina completa
UAM-A	Máquina tostadora			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno	1 / 1		



Material: Acero inoxidable 304	0.13:1	mm		Conector
UAM-A	Conector tostador-extractor			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			1/1



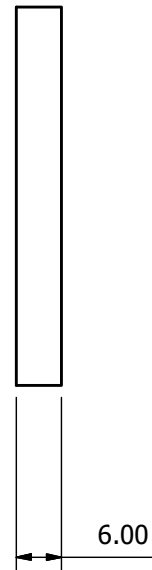
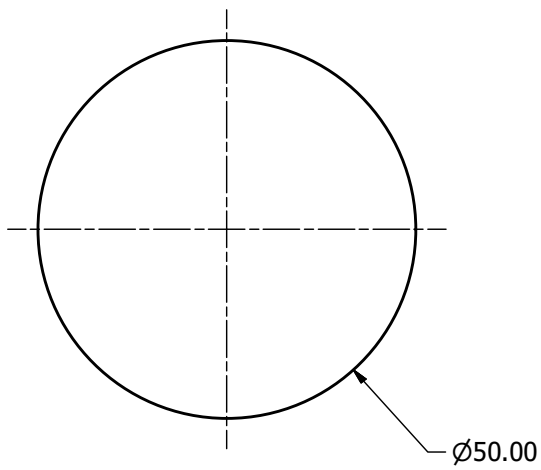
LISTA DE PIEZAS				
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	
3	1	Pared frontal		
9	1	proveta		
19	1	Mirilla		
20	1	pomo		
21	1	bisagra izquierda		
22	1	Bisagra derecha		
23	1	compuerta de salida de la camara		
Material: Inoxidable 304 / Acero al carbono		1:1	mm	 Elementos de placa frontal
<h1>UAM-A</h1>		Pared frontal		
		Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno		

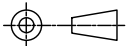


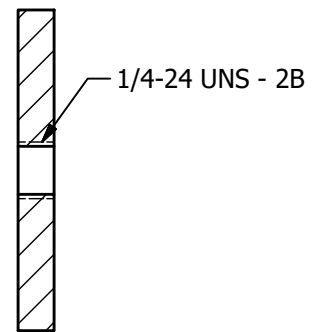
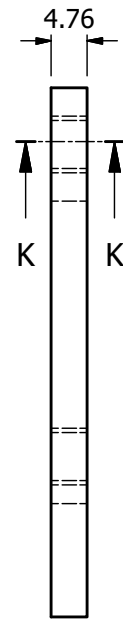
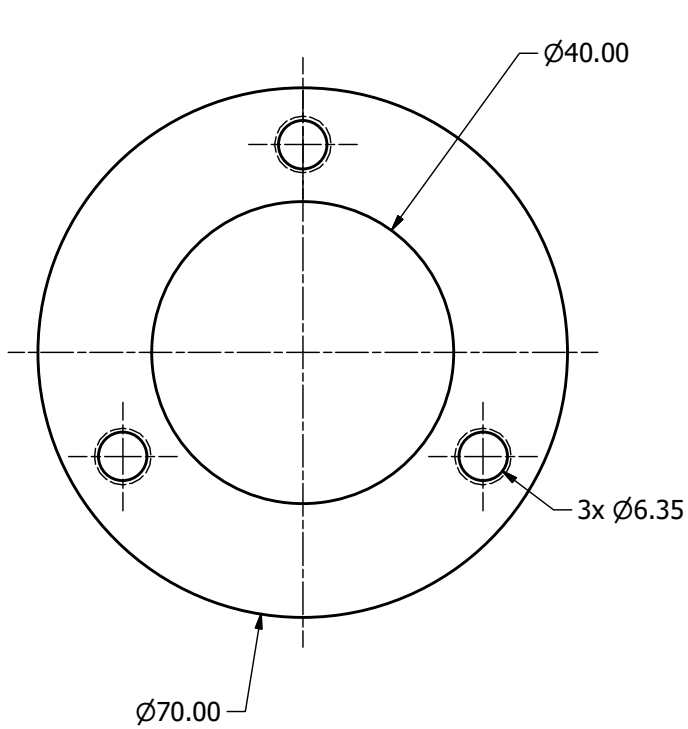
LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	Placa de mirilla	
2	1	Vidrio templado	
3	3	AS 2465 - 1/4 UNC	Tuercas, tornillos y pernos hexagonales unificados
4	3	AS 2465 - 1/4 x 1 UNC	Tuercas, tornillos y pernos hexagonales unificados (roscas UNC y UNF)

Material: Bronce / Vidrio templado	1:2	mm		Elementos de placa frontal
UAM-A	Mirilla			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			1/3

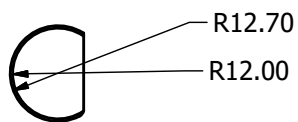
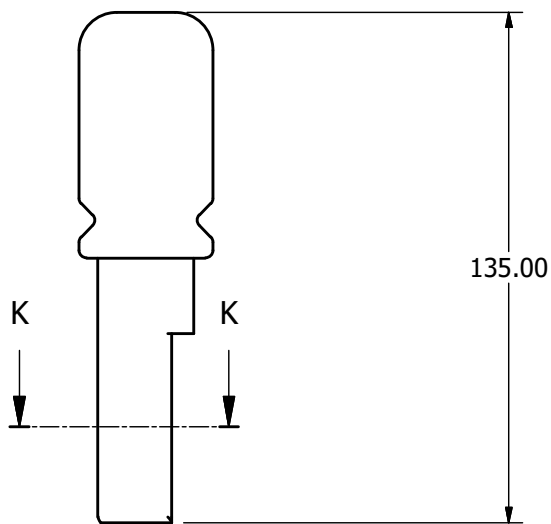
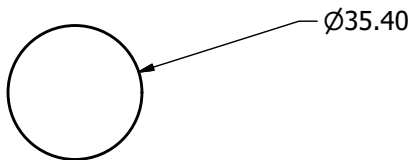


Material: Vidrio templado	1:1	mm		Mirilla
UAM-A	Vidrio templado de la mirilla			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			2/3

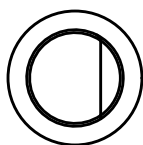


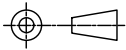
SECCIÓN K-K

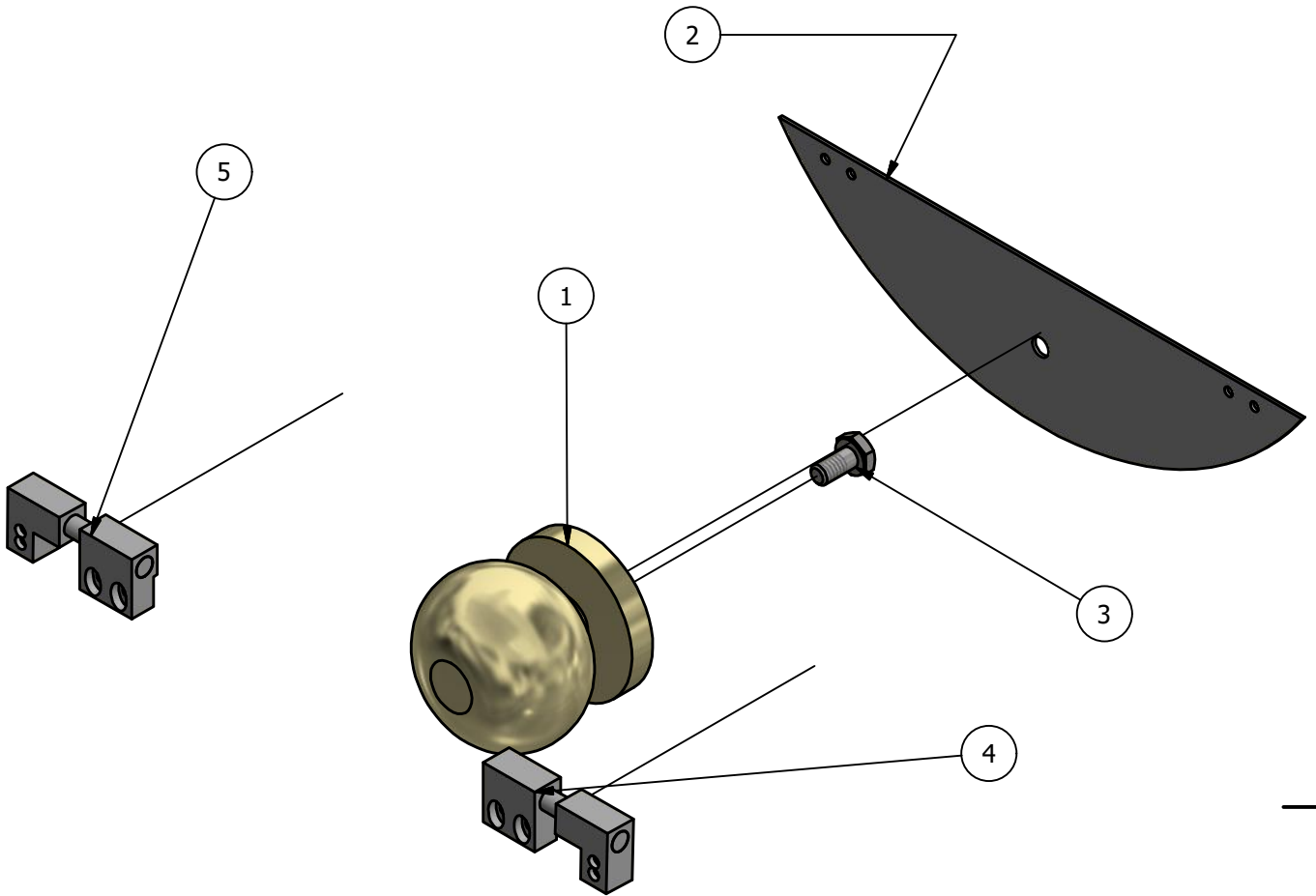
Material:	Bronce	1:1	mm		Mirilla
UAM-A	Placa de mirilla				
	Alumnos:	Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			3/3



SECCIÓN K-K
ESCALA 1 / 2



Material: Acero inoxidable 304	1:2	mm		Elementos de placa frontal
UAM-A	Probeta			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno	1/1		



LISTA DE PIEZAS

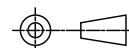
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	pomo	
2	1	compuerta de salida de la camara	
3	1	AS 2465 - 1/4 x 1/2 UNC	Tuercas, tornillos y pernos hexagonales unificados (roscas UNC y UNF)
4	1	Bisagra derecha	
5	1	bisagra izquierda	

Material:

Acero al carbon/Acero inoxidable/Bronce

1:1

mm



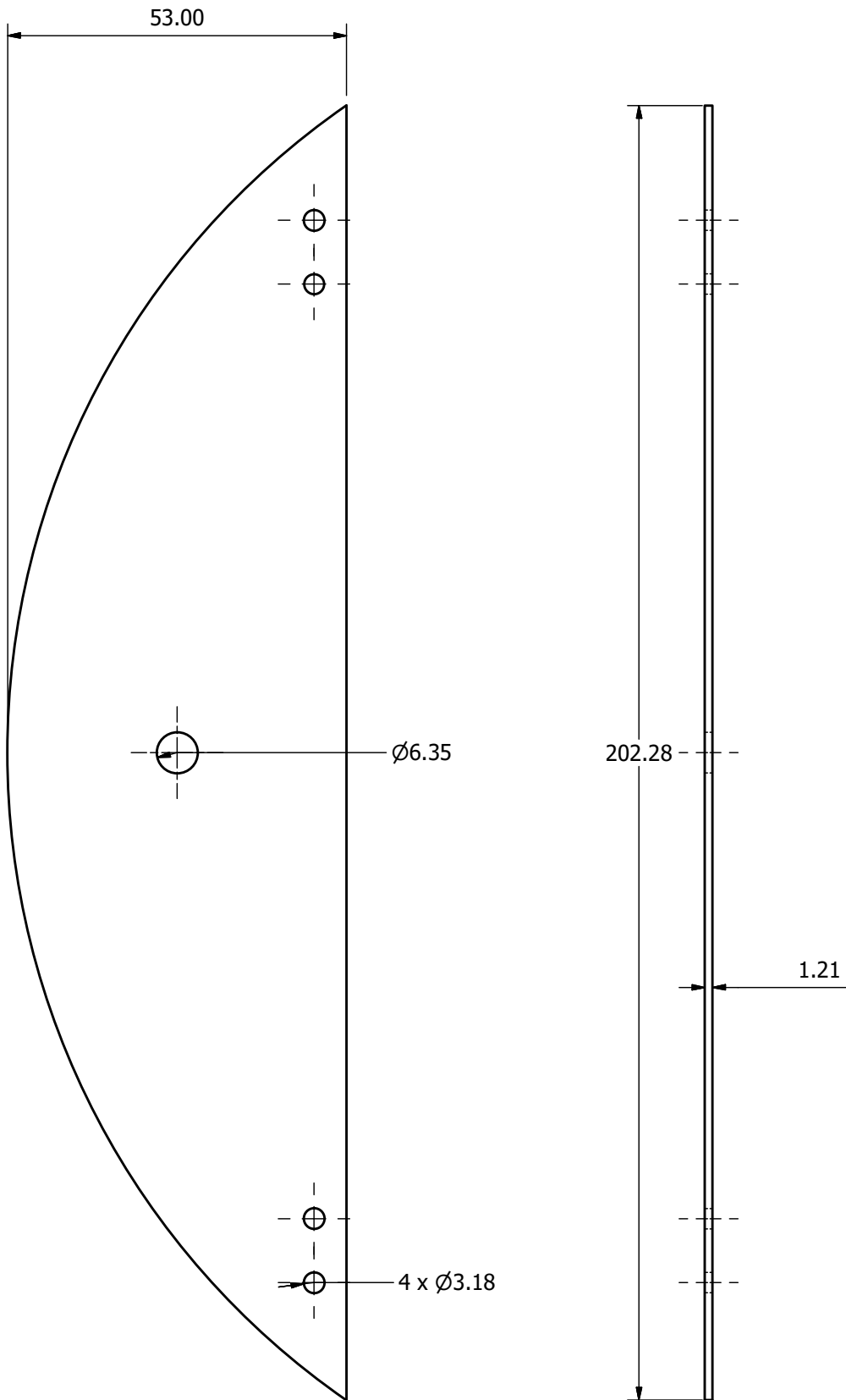
Elementos de placa frontal

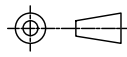
UAM-A

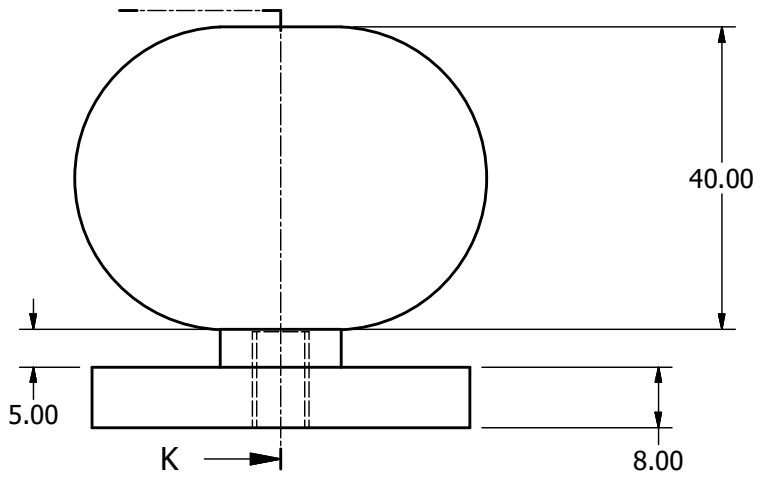
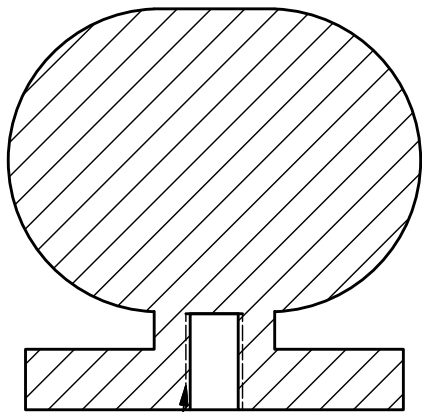
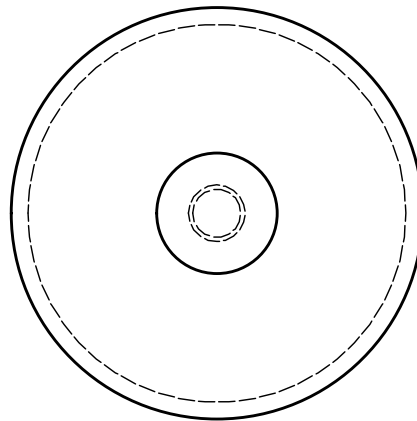
Puerta de salida de los granos

Alumnos: Rocío Luna Ramos
Sergio Ibarra Moreno

1/5

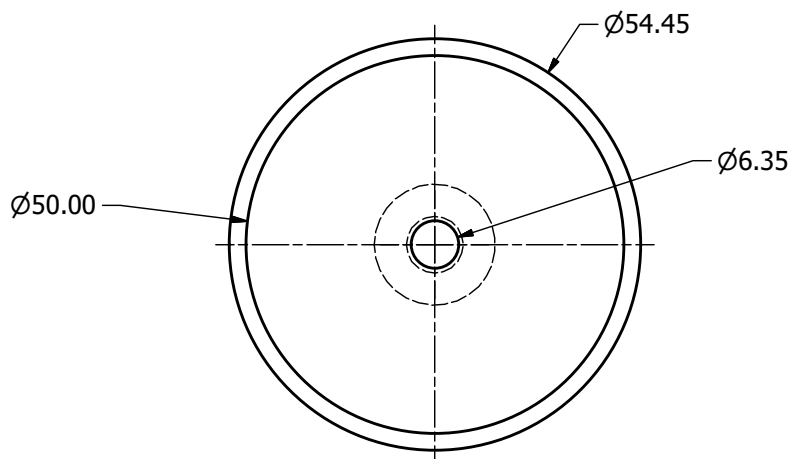


Material: Acero inoxidable 304 Calibre 18	1:1	mm		Elementos de placa frontal
<h1>UAM-A</h1>	<h2>Puerta</h2>			2/5
Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno				

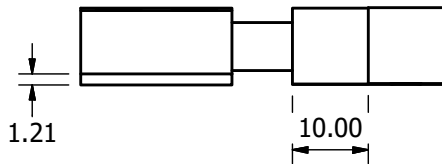
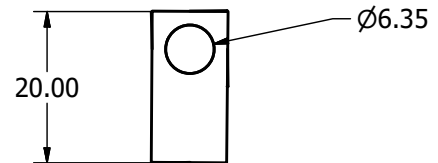
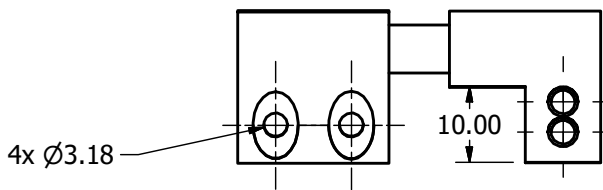


1/4-24 UNS - 2B

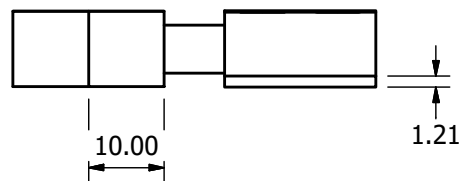
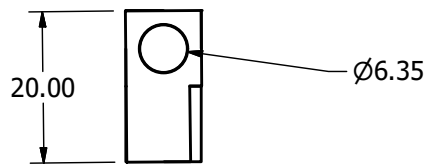
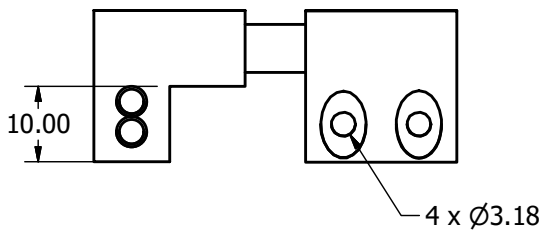
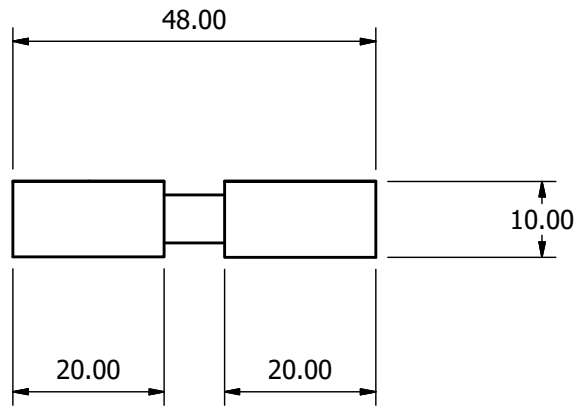
SECCIÓN K-K



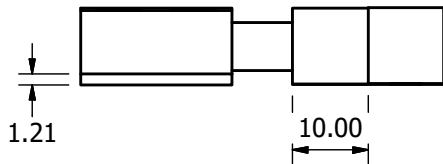
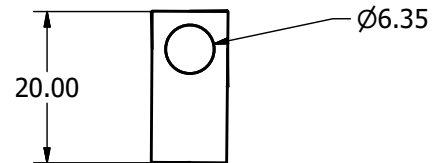
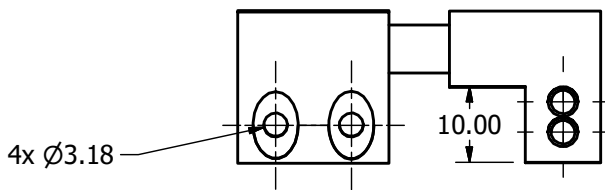
Material:	Bronce	1:1	mm		Puerta
UAM-A	Pomo				
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno				3/5

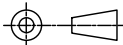


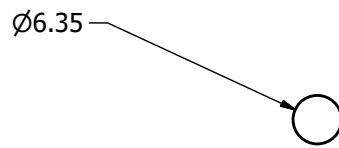
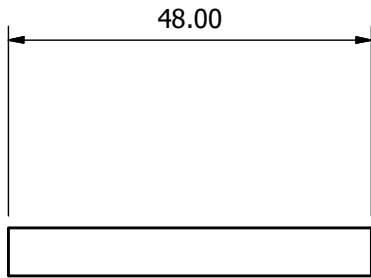
Material: Acero al carbono	1:1	mm		Elementos de placa frontal
UAM-A	Bisagra derecha			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno	4/5		

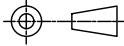


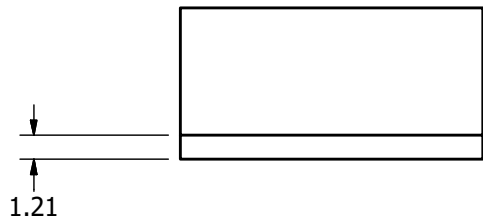
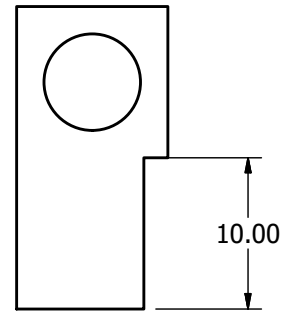
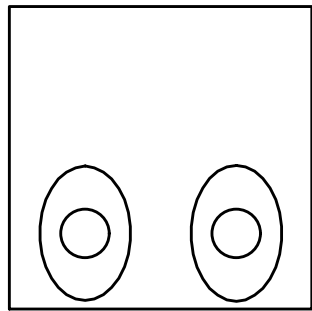
Material: Acero al carbonó	1:1	mm		Elementos de placa frontal
UAM-A	Bisagra izquierda			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno	5/5		



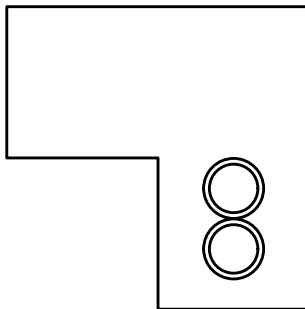
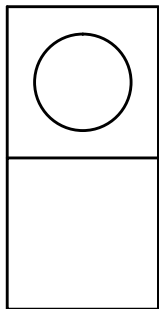
Material: Acero al carbono	1:1	mm		Bisagra der. e izq.
UAM-A	Bisagra			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			1/4



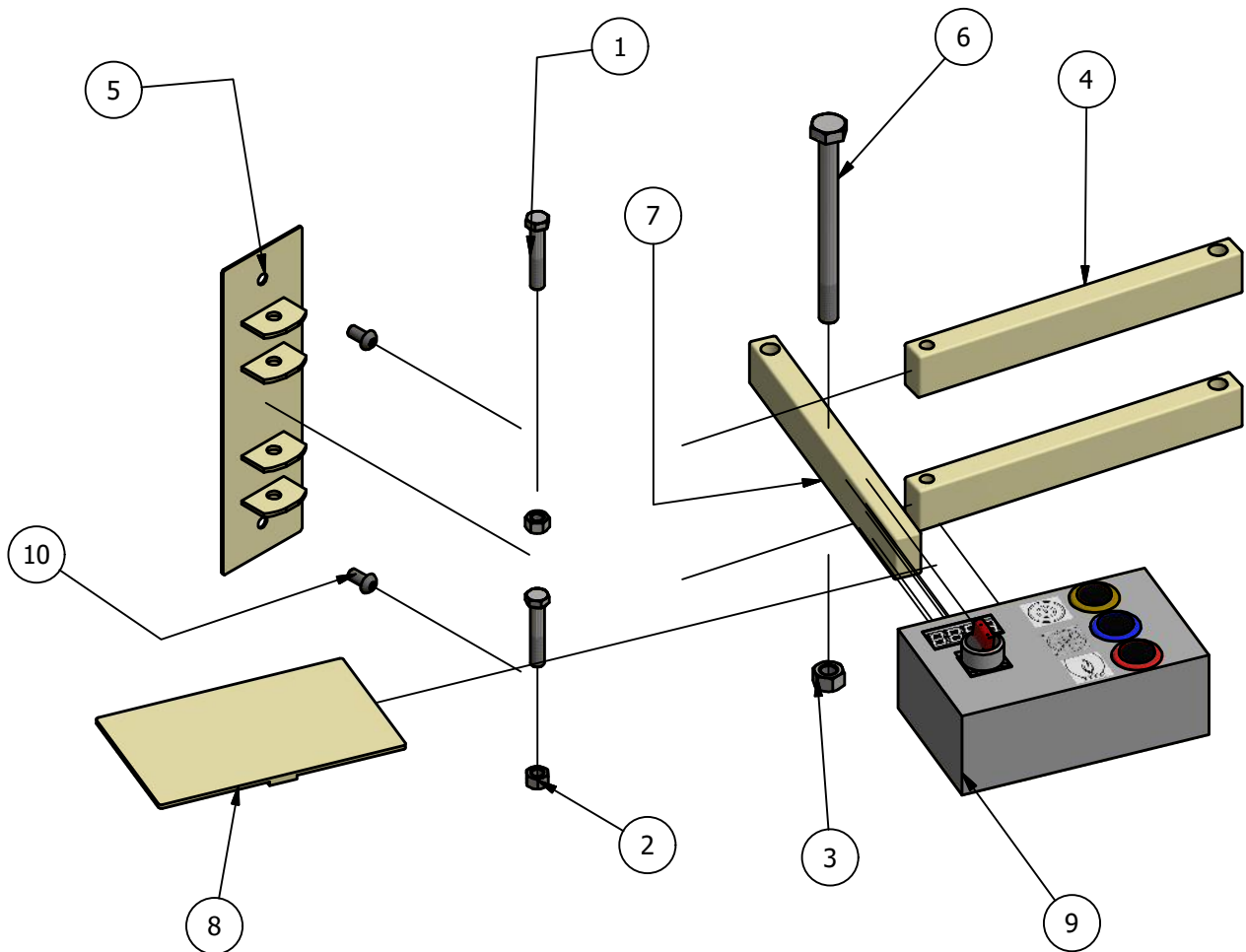
Material: Acero al carbono	1:1	mm		Bisagra der e izq
UAM-A	Eje de bisagra			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno	2/4		



Material: Acero al carbono	1:1	mm		Bisagra der. e izq.
UAM-A	Parte movil de bisagras			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			3/4

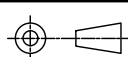


Material: Acero al carbono	1:1	mm		Bisagra der. e izq.
UAM-A	Parte fija de bisagras			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			4/4



LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	AS 2465 - 3/8 x 2 UNC	Tuercas, tornillos y pernos hexagonales unificados (roscas UNC y UNF)
2	2	AS 2465 - 3/8 UNC	Tuercas, tornillos y pernos hexagonales unificados
3	1	AS 2465 - 1/2 UNC	Tuercas, tornillos y pernos hexagonales unificados
4	2	pieza brazo 2	
5	1	pieza para brazo 1	
6	1	ANSI B18.2.1 - 1/2-13 UNC - 6	Perno grueso hex
7	1	pieza brazo 3	
8	1	pieza brazo 4	
9	1	Gabinete1.0	
10	2	17-8316	17-5310, 17-5312, 17-5316, 17-6310, 17-6312, 17-6316, 17-6320, 17-8312, 17-8316, 17-8320, 17-8325-Button Head Socket Cap Screws

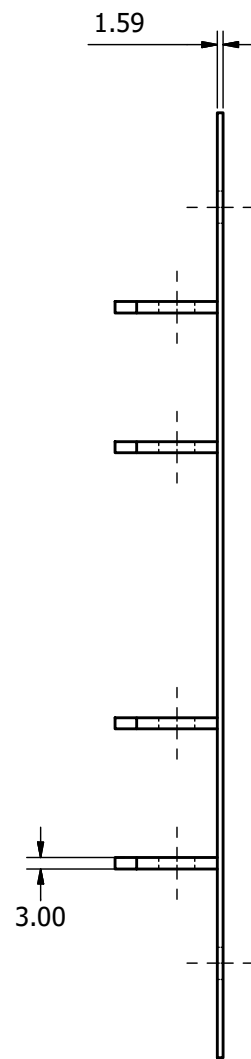
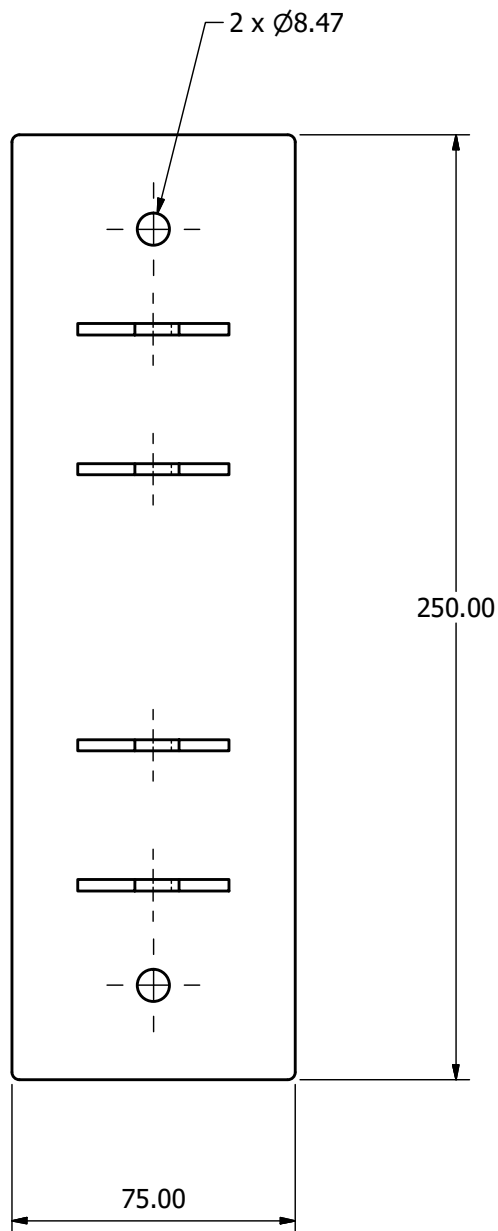
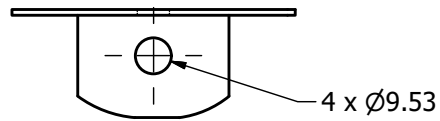
Material: Acero al carbon 0.2:1 mm  Elementos brazo p/gabinete

UAM-A

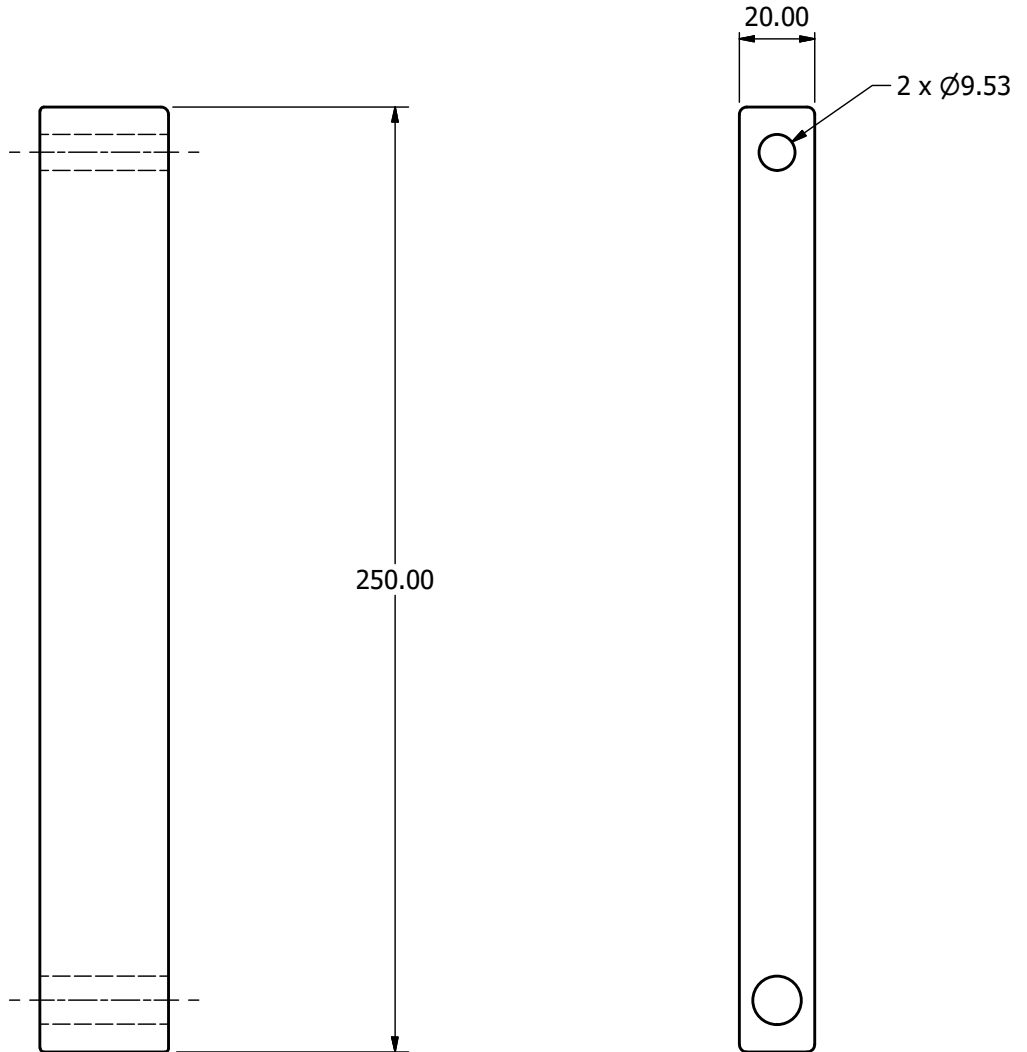
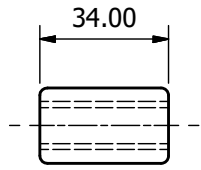
Brazo para gabinete

Alumnos: Rocío Luna Ramos
Sergio Ibarra Moreno

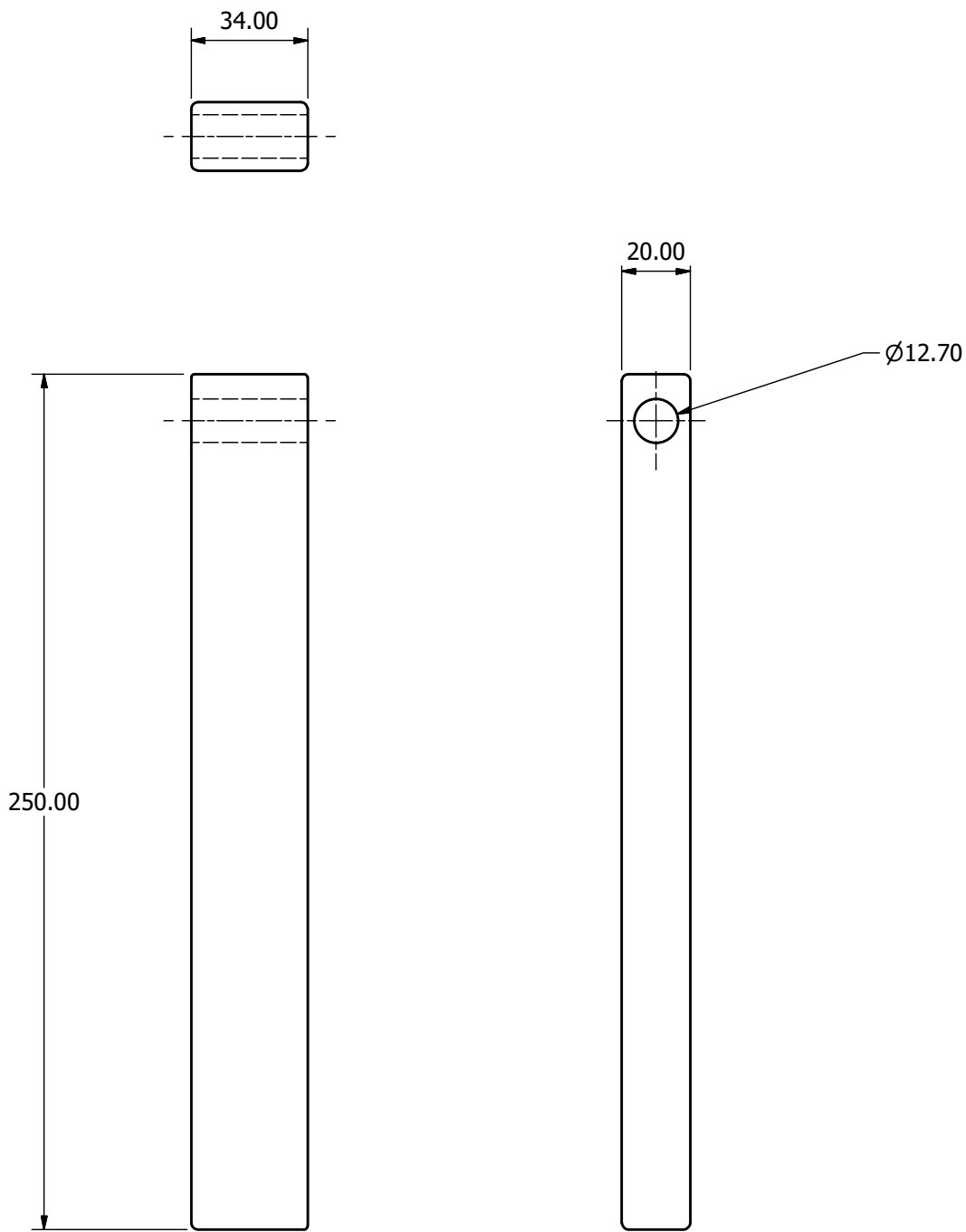
1/5

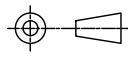


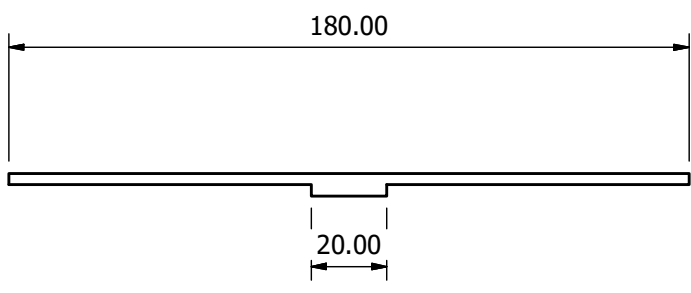
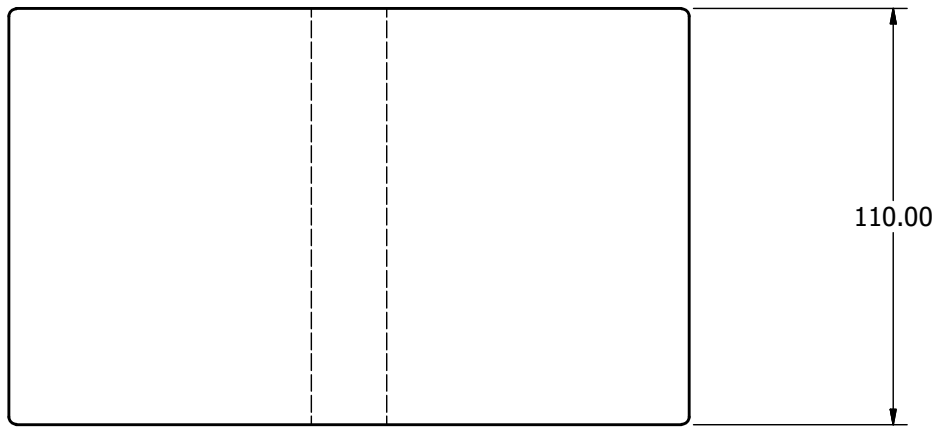
Material: Acero al carbon	1:4	mm		Elementos brazo p/gabinete
UAM-A	Soporte a estructura			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno	2/5		



Material: Acero al carbón	1:2	mm		Elementos brazo p/gabinete
UAM-A	Unión principal de brazo			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			3/5



Material: Acero al carbón	1:2	mm		Elementos brazo p/gabinete
UAM-A	Perfil de soporte a base de gabinete			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			4/5



Material: Acero al carbón	1:2	mm		Elementos brazo p/gabinete
UAM-A	Base de brazo-gabinete			
	Alumnos: Rocío Luna Ramos Sergio Ibarra Moreno			5/5