



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE UN PROTOTIPO A ESCALA DE LABORATORIO DE UN SECADOR POR CO₂ SUBCRÍTICO CON CONTROL DE TEMPERATURA.”

AUTOR: Sebastián Vinicio Sánchez Borja

TUTOR: Ing. Javier García del Valle, PhD.

AMBATO - ECUADOR

2020

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema “CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE UN PROTOTIPO A ESCALA DE LABORATORIO DE UN SECADOR POR CO₂ SUBCRÍTICO CON CONTROL DE TEMPERATURA.”, realizado por el señor Sebastián Vinicio Sánchez Borja, portador de la cédula de ciudadanía: 1804573226, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica. CERTIFICO que la presente investigación fue elaborada en su totalidad por el autor, revisado cada uno de sus capítulos y ha sido finalizado.

Ambato, diciembre del 2019



.....

Ing. Javier García del Valle, PhD.

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Sebastián Vinicio Sánchez Borja, portador de la C.I. 1804573226, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, declaro que las investigaciones realizadas en el presente trabajo experimental con el tema: “CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE UN PROTOTIPO A ESCALA DE LABORATORIO DE UN SECADOR POR CO₂ SUBCRÍTICO CON CONTROL DE TEMPERATURA.” Así como las ideas, análisis, resultados, conclusiones y recomendaciones, son inéditos y de absoluta responsabilidad del autor.

Ambato, diciembre del 2019



Sebastián Vinicio Sánchez Borja

C.I. 1804573226

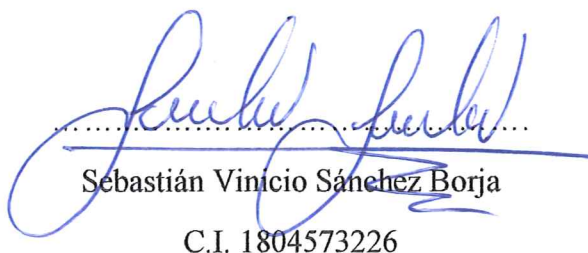
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Yo, Sebastián Vinicio Sánchez Borja, autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, una fuente aprovechable para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Universidad.

Concedo los derechos de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo Experimental dentro de las regulaciones de la Institución, siempre y cuando esta reproducción sea sin fines de lucro y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, diciembre del 2019



Sebastián Vinicio Sánchez Borja
C.I. 1804573226

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE UN PROTOTIPO A ESCALA DE LABORATORIO DE UN SECADOR POR CO₂ SUBCRÍTICO CON CONTROL DE TEMPERATURA”, del egresado Sebastián Vinicio Sánchez Borja, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, enero del 2020

Para constancia firman.

.....
Ing. Mg. Santiago Cabrera

.....
Ing. Mg. Luis Escobar

DEDICATORIA

“La motivación es el empuje del éxito; el éxito es la plenitud de la vida; la vida no sería vida si no hubiera una familia”

Primeramente, este logro va dedicado a Dios por darme la sabiduría y fortaleza para culminar este proyecto.

Con mucho cariño y gratitud este logro obtenido se lo dedico a mi madre Mirian Borja, quien con su inteligencia, amor y sacrificio ha sido mi guía e inspiración para poder culminar el objetivo. Sin usted no sería nada mamita. Gracias por ser el pilar fundamental para culminar esta etapa de mi vida

A mi tía Geovana, por siempre ayudarme e incentivar me a seguir adelante cada día a pesar de las adversidades.

A mis primas Valery y Paz como ejemplo de esfuerzo y estímulo profesional.

Por último, a mi abuelito Holger Borja, quien con su esfuerzo y consejos me ha incentivado a ser un mejor hombre cada día.

AGRADECIMIENTO

El maestro deja una huella para la eternidad; nunca se puede decir cuando se detiene su influencia.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Javier García del Valle PhD. por haber confiado en mí y haberme guiado con conocimientos científicos y empíricos, siendo una base fundamental para el desarrollo exitoso del presente proyecto.

A todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Mecánica, por su paciencia y dedicación con la que me impartieron sus conocimientos.

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por formar profesionales con calidez y eficiencia con docentes pulcros que nos brindan sus conocimientos.

Agradecido infinitamente con mi madre, mi tía, primo y primas, quienes siempre han estado cuando los he necesitado, en los buenos, pero más en los malos momentos. Este logro también es suyo.

A esa persona especial, que siempre ha sabido levantar mi ánimo cuando así lo he necesitado, por ser un ser incondicional y ayudarme tanto en la vida.

Siembra una buena y sincera amistad, y muy probablemente el tiempo te permitirá disfrutar de una agradable cosecha, a todos mis amigos por siempre estar ahí y ser parte de este largo camino.

Finalmente, a todos quienes han intervenido directa o indirectamente en la culminación del presente trabajo de investigación. Muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
RESUMEN EJECUTIVO	xiii
EXECUTIVE SUMMARY	xiv
CAPÍTULO I	1
ANTECEDENTES	1
1.1 TEMA	1
1.2 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	1
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 Objetivo General:	4
1.3.2 Objetivos Específicos:	4
1.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
1.4.1 Conservación de alimentos por reducción de su actividad de agua.....	4
1.4.1.1 Efecto de la actividad del agua sobre los productos alimenticios	5
1.4.1.2 Reducción de la actividad de agua por el proceso de secado	6
1.4.1.3 Etapas del secado	7
1.4.1.4 Tipos de secado	8
1.4.1.4.1 Secado con aire caliente	9
1.4.1.4.2 Secado al vacío	9
1.4.1.4.3 Secado al vapor sobrecalentado	10
1.4.1.4.4 Liofilización.....	12
1.4.1.4.5 Secado por CO2	13
1.4.2 Productos seleccionados para la experimentación	14
1.4.2.1 Aguacate.....	14
1.4.2.2 Mora.....	15

1.4.2.3	Fresa	16
1.4.2.4	Mango	16
1.4.2.5	Manzana.....	16
1.4.2.6	Sandía	17
1.4.2.7	Naranja	17
1.5	HIPÓTESIS.....	18
1.6	SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	18
1.6.1	Variables Independientes.....	18
1.6.2	Variables Dependientes	18
1.6.3	Término de la Relación	18
CAPÍTULO II.....		19
METODOLOGÍA		19
2.1	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	19
2.1.1	Exploratoria.....	19
2.1.2	Descriptiva	19
2.1.3	Explicativa	19
2.1.4	Cuantitativa	19
2.1.5	Experimental	19
2.1.6	Bibliográfico	19
2.2	POBLACIÓN Y MUESTRA	20
2.2.1	POBLACIÓN.....	20
2.2.2	Muestra	20
2.3	OPERACIÓN DE VARIABLES	21
2.3.1	Variable Independiente.....	21
2.3.2	Variable Dependiente	22
2.4	DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LA MÁQUINA .	23
2.4.1	Esquema de la máquina.....	23
2.4.2	Diagrama de flujo para la construcción de la máquina	24
2.4.3	Diagrama de flujo para la puesta en marcha de la máquina	26
2.5	PROCEDIMIENTOS	30
2.5.1	Procedimiento para la puesta en marcha y obtención de la masa de agua de los productos alimenticios.....	30
2.5.2	Diseño de recipientes a presión	35
2.5.3	Ensayos de Rotura	39
2.5.4	Varillas roscadas	40

2.5.4 Regulador de presión.....	42
2.5.5 Mecanismo de balancín	43
2.5.6 Baño termostático caliente	44
2.5.7 Sistema de enfriamiento de los tanques.....	46
2.5.8 Resistencia de las tuberías de cobre.....	47
2.5.9 Tolerancias de planos	48
CAPÍTULO III.....	49
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	49
3.2 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	54
CAPÍTULO IV	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
4.1 CONCLUSIONES	56
4.2 RECOMENDACIONES	57
4.3 BIBLIOGRAFÍA:	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Valores de A_w	5
Figura 2. Manzana secada con el método de CO_2	6
Figura 3. Etapas del secado.....	7
Figura 4. Esquema de una cámara de secado.....	9
Figura 5. Punto triple, cambio del estado sólido a gaseoso	13
Figura 6. Concentración del agua en el CO_2	14
Figura 7. Prototipo a escala de laboratorio de un Secador por CO_2 subcrítico, con control de temperatura.....	23
Figura 8. Probeta de Aluminio - Ensayo de rotura	40
Figura 9. Gata hidráulica.....	43
Figura 10. Esquema Arduino	44
Figura 11. Tubo flexible enrollado en tanques	45
Figura 12. Esquema calentador de agua.....	45
Figura 13. Esquema sistema de enfriamiento	46
Figura 14. Cociente de humedad de la Mora vs. Tiempo	51
Figura 15. Cociente de humedad de la Fresa vs. Tiempo	52
Figura 16. Cociente de humedad de la Sandía vs. Tiempo	52
Figura 17. Cociente de humedad de la Manzana vs. Tiempo	53
Figura 18. Cociente de humedad de la cáscara la Naranja vs. Tiempo.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de la actividad de agua en microorganismos	5
Tabla 2. Rango de presiones para el secado al vacío	10
Tabla 3. Rango de presiones para el secado al vacío	11
Tabla 4. Producción y rendimiento nacional y provincial en el país de Ecuador	15
Tabla 5. Población.....	20
Tabla 6. Variable Independiente	21
Tabla 7. Variable Dependiente.....	22
Tabla 8. Procedimiento para la puesta en marcha y obtención de masa de agua de los productos alimenticios	30
Tabla 9. Pesos de los productos alimenticios	35
Tabla 10. Cargas de prueba. Rosca métrica ISO de paso grueso	42
Tabla 11. Datos de tubo de cobre.....	48
Tabla 12. Tabla de tolerancias generales	48
Tabla 13. Resultados de la prueba 1.....	49
Tabla 14. Resultados de la prueba 2.....	49
Tabla 15. Porcentaje de masa de agua extraída del producto alimenticio.....	54

RESUMEN EJECUTIVO

Tema de investigación:

“CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE UN PROTOTIPO A ESCALA DE LABORATORIO DE UN SECADOR POR CO₂ SUBCRÍTICO CON CONTROL DE TEMPERATURA.”

Autor: Sebastián Vinicio Sánchez Borja

Tutor: Ing. Javier García del Valle PhD.

El presente proyecto consistió en el diseño, construcción y prueba de una máquina la cual, mediante la utilización de Dióxido de Carbono subcrítico, sirvió para eliminar la mayor humedad encontrada en los productos alimenticios.

En primera instancia se diseñó todos los componentes de la máquina empezando por el cálculo de los tanques a presión, de las varillas de sujeción, de las tapas secundarias y otros componentes que intervienen en la seguridad del operador de la máquina. Posteriormente se desarrolló el diseño de la máquina y sus planos mediante la utilización de SOLIDWORKS.

Luego de tener esquematizada la máquina se procedió a la construcción mediante la guía de los códigos de diseño y construcción American National Standards Institute (ANSI) y American Society of Mechanical Engineers (ASME). El desarrollo de la construcción se la realizó en los laboratorios de la facultad.

Finalmente, con la máquina construida se realizaron los ensayos de los productos alimenticios establecidos, obteniendo como resultado el porcentaje de masa de agua extraída.

Se obtuvo una extracción máxima del sesenta y seis punto treinta y nueve por ciento, lo que sugiere que el método puede ser mejorado mediante la variación de las condiciones de operación.

EXECUTIVE SUMMARY

Research topic:

"CONSTRUCTION AND TESTING OF A LABORATORY SCALE PROTOTYPE OF A SUBCRITICAL DRYER WITH TEMPERATURE CONTROL".

Author: Sebastián Vinicio Sánchez Borja

Tutor: Ing. Javier García del Valle PhD.

The present project consisted in the design, construction and testing of a machine, which through the use of subcritical carbon dioxide, was used to eliminate the greatest humidity found in food products.

In the first instance, all the machine components were designed starting with the calculation of the pressure tanks, the clamping rods, the secondary covers and other components that intervene in the safety of the machine operator. Subsequently, the design of the machine and its plans were did through the use of SOLIDWORKS.

After having schematized the machine, construction was carried out by means of the guide of the design and construction codes of the American National Institute of Standards (ANSI) and the American Society of Mechanical Engineers (ASME). Construction development were carried out in the faculty laboratories.

Finally, with the built machine the tests of the established food products were carried out, obtaining as a result the percentage of mass of water extracted.

A maximum extraction of sixty-six and thirty-nine percent was obtained, this value suggests that the method can be improved with the variation of the operating conditions.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA

“CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE UN PROTOTIPO A ESCALA DE LABORATORIO DE UN SECADOR POR CO₂ SUBCRÍTICO CON CONTROL DE TEMPERATURA.”

1.2 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Para el desarrollo del presente trabajo experimental se citan algunas investigaciones las cuales poseen información muy importante y necesaria la cual servirá como apoyo para la investigación.

En el estudio de “Chin Xuan Tan, Gun Hean Chong, Hazilawati Hamzah, Hasanah Mohd Ghazali «Comparison of subcritical CO₂ and ultrasound-assisted aqueous methods with the conventional solvent method in the extraction of avocado oil» The Journal of Supercritical Fluids, 135, pp. 45-51, 2018”, se obtuvo:

La comparativa entre la extracción subcrítica de CO₂ (SCO₂) y la extracción acuosa asistida por ultrasonido (UAAE) con la extracción con solvente tradicional arrojaron que el aceite de aguacate extraído mediante los dos primeros métodos tiene valores más altos de yodo. Los ácidos grasos en el aceite fueron ácidos oleicos (40.73-42.72%) y palmítico (28.12-34.48%). En conclusión, tanto el SCO₂ como el UAAE sirven como métodos sin disolventes para extracción de aceites. [1]

En el artículo técnico de “P.K. Rout, S.N. Naik, Y.R. Rao Subcritical CO₂ extraction of floral fragrance from *Quisqualis indica*» Journal of Supercritical Fluids, 45, pp. 200-205, 2008”, se muestra:

La comparación entre los extractos de la *Quisqualis indica* (*es una especie de planta medicinal*) obtenidos con el método CO₂ subcrítico y obtenido con otros métodos, como la destilación con agua o la extracción con pentano y metanol. Adicionalmente, se comparan los extractos obtenidos con el pentano y con metanol frío, con los de CO₂

subcrítico. Obteniendo como resultado que con el método de CO₂ se consigue un producto organolépticamente superior, sin embargo, no se eliminan totalmente las ceras. Los componentes detectados en los extractos de CO₂ son E-y-linalool, 2,2,6-trimetil-6-vinil-3-keto-tetrahidropirano, 2,2,6-trimetil-6-vinil-3-hidroxi-tetrahidropirano, (E,E)- α -faneseno, Z-3-hexenilo de bencilo, entre otros. [2]

En el artículo técnico de “Renato Zagorscak, Hywel Rhys Thomas «Effects of subcritical and supercritical CO₂ sorption on deformation and failure of high-rank coals» International Journal of Coal Geology, 199, pp. 113-123, 2018”, se muestra:

El estudio minucioso de la deformación y ruptura de 20 muestras de carbones (antracíticos) obtenidos en diferentes ubicaciones, mediante la sorción de CO₂ tanto subcrítico como supercrítico a 2.1 MPa, 4.3 MPa y 8.5 MPa. Obteniendo una reducción de las resistencias a compresión uniaxial y de sus módulos elásticos en un 29% y un 83%. Según el estudio citado el debilitamiento químico de los carbones se produce principalmente por la sorción de CO₂ subcrítico. La compresión uniaxial indica que las muestras de carbón no saturadas se dividen axialmente, con una dilación de grietas y una gran explosión, mientras que al inyectarle CO₂ se fractura en múltiples partes, pero se produce una explosión intrascendente. En el análisis de fallo se observa que los ejemplares tratados con el compuesto se desintegran en partículas más pequeñas que las no tratadas, por lo que el estudio exhibe nuevos conocimientos acerca de la reacción geomecánica de los carbones (antracíticos) de alto rango a la infiltración de CO₂ a alta presión. [3]

El artículo técnico de “Oxana Babova, Andrea Occhipinti, Andrea Capuzzo, Massimo E. Maffei «Extraction of bilberry (*Vaccinium myrtillus*) Antioxidants using supercritical/subcritical CO₂ and ethanol as co-solvent» Journal of Supercritical Fluids, 107, pp. 358-363, 2016”, aportó:

La extracción de compuestos de arándano mediante CO₂ supercrítico y posterior CO₂ subcrítico con 10% v/v de etanol utilizado como co-disolvente. Obteniendo como resultado con el CO₂ subcrítico la extracción de cianidina-3-O-glucósido, cianidina-3-O-arabinósido, delfinidin-3-O-glucósido, ácido pentosido elágico, feruloil hexaóxido y glucósidos de quercetina. La extracción con CO₂ subcrítico es una

alternativa eficaz para obtener compuestos selectivos con una alta actividad antioxidante y un gran potencial en el campo farmacéutico. [4]

En el artículo técnico de “V. Illes, H.G Daood, S. Perneczki, L. Szokonya, M. Then «Extraction of coriander seed oil by CO₂ and propane at super- and subcritical conditions» Journal of Supercritical Fluids, 17, pp. 177-186, 2000”, se concluye:

Que el poder de solvatación de los disolventes que tienen en su contenido propano es mayor que los que contienen CO₂. Además, que tanto la composición como el contenido de los aceites esenciales se pueden alterar cambiando la composición química del disolvente o las condiciones en las que se produce la extracción. Las pruebas se realizaron en la extracción de aceite de semillas de cilantro, las condiciones eran CO₂ y propano subcrítico y supercrítico. [5]

En el artículo técnico de “Heather M. Powell, Olukemi Ayodeji, Taryn L. Summerfield, David M. Powell, Douglas A. Kniss, David L. Tomasko, John J. Lannutti «Chemotherapeutic implants via subcritical CO₂ modification» Biomaterials, 28, pp. 5562-5569, 2007”, se muestra:

El desarrollo de un estudio para la implantación de paclitaxel quimioterapéutico, en placas reconstructoras que además de servir como soporte para los segmentos óseos consta de una función quimioterapéutica localizada. La implantación del paclitaxel se lo realiza mediante la utilización de CO₂ subcrítico gracias al cual es posible combinar la función quimioterapéutica en un implante polimérico, lo que es un gran avance para la medicina. [6]

En el artículo técnico de “P.K. Rout, S.N. Naik, Y.R. Rao, G. Jadeja, R.C. Maheshwari «Extraction and composition of volatiles from Zanthoxylum rhesta: Comparison of subcritical CO₂ and traditional processes» Journal of Supercritical Fluids, 42, pp. 334-341, 2007”, se muestra:

El estudio y comparación de la extracción de componentes del pericarpio de semillas Zanthoxylum rhesta mediante la utilización de métodos tradicionales como, hidrodestilación o mediante utilización de solventes usuales, con el uso de CO₂ subcrítico o metanol subcrítico modificado con CO₂. En el método tradicional se obtienen grandes cantidades de componentes cerosos en el extracto además de un rendimiento bajo, al contrario del extracto conseguido con la utilización de CO₂

subcrítico que es superior. Sin embargo, extrae un gran porcentaje de monoterpenos. Finalmente, para obtener un mejor resultado en la extracción sin importar el método, se puede tratar previamente el pericarpio con una cantidad pequeña de metanol. [7]

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General:

Construir un prototipo a escala de laboratorio de secador por CO₂ subcrítico con control de temperatura y prueba con productos regionales sumergidos directamente.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Realizar el diseño y cálculo estructural de los recipientes a presión y tuberías del sistema.
- Realizar el diseño y construcción de dos chiller para mantener las condiciones de presión y temperatura dentro de los recipientes a presión en un rango controlado por el usuario.
- Probar el correcto de funcionamiento del sistema con productos vegetales de la región.
- Modelar el proceso de secado mediante una expresión tipo Crank para comparar la factibilidad del secado en comparación con el método clásico de secado en aire.

1.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.4.1 Conservación de alimentos por reducción de su actividad de agua

El factor primordial para la conservación de un alimento es su contenido de agua. De forma general, bajos contenidos de agua están asociados a una reducción de las reacciones bioquímicas y enzimáticas, lo que alarga la vida útil del producto. A la variable que determina la cantidad de agua existente en un alimento se le conoce como actividad de agua, que no es sino la cantidad de agua existente para la actividad microbiana. Mientras más contenido de agua tiene un alimento mayor será dicha actividad, lo que se refleja en la alteración de las propiedades de los mismos en el almacenamiento.

1.4.1.2 Reducción de la actividad de agua por el proceso de secado

El secado de productos vegetales es un área de interés técnico e industrial a nivel mundial debido a que permite extender la vida de alimentos que de otra manera es muy corta.

Es descrito como un procedimiento en el cual se eliminan sustancias volátiles también llamada comúnmente como humedad, obteniéndose un producto seco. [10]

Básicamente en el secado intervienen dos procesos relacionados con la transferencia conjunta de calor y masa. La transferencia de calor, ya sea por conducción, convección y/o radiación, facilita la eliminación de la mayor cantidad de humedad del producto. Como consecuencia se produce la transferencia de humedad interna hacia el exterior del elemento tratado. [11]



Figura 2. Manzana secada con el método de CO2
Fuente: Autor

Según [8] el secado consiste en disminuir la cantidad de agua hasta inhibir la proliferación de microorganismos. Con el objetivo de alargar la vida útil de los elementos sometidos al proceso. Como consecuencia del proceso se disminuye tanto el peso como el tamaño de los alimentos, lo que facilita el transporte y la exportación del mismo. Pero se presenta un gran problema, el cual es la alteración en los nutrientes y de las características organolépticas de los alimentos. Lo cual se busca mejorar mediante la aplicación de alternativas no tradicionales para el secado, como es el uso de CO2 subcrítico en contacto directo con los alimentos. [8]

1.4.1.3 Etapas del secado

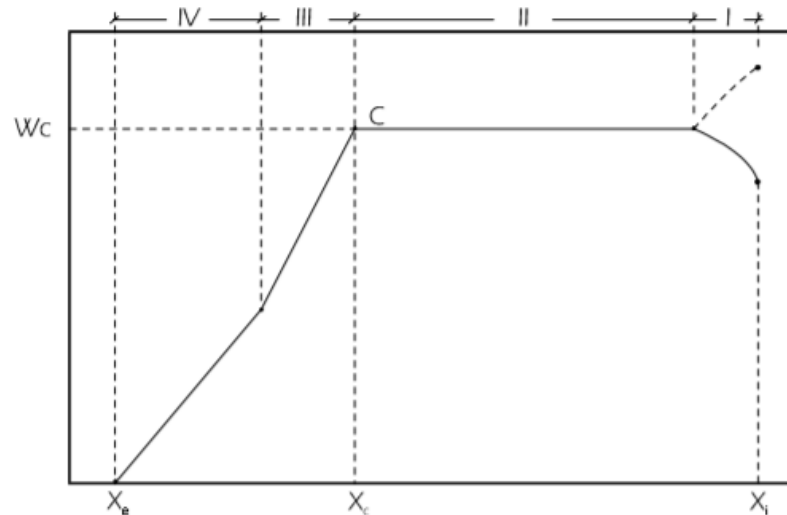


Figura 3. Etapas del secado

Fuente: [12]

En esta curva particular del proceso de secado se muestra la reducción de la humedad del sólido desde un valor de inicio alto hasta un valor pequeño final a su vez que se analiza el paso del sólido por diferentes etapas.

Es necesario describir los ejes de la gráfica para saber a qué se refieren:

- En el caso de X_e se refiere a la humedad de equilibrio.
- Refiriéndonos a X_c , a este se le va a denominar humedad crítica.
- En cuanto se refiere a W_c es la velocidad crítica y por último cuando se habla de X_i que es el valor inicial de la humedad.

Descripción:

En la etapa I la velocidad del proceso de secado crece o decrece súbitamente desde su valor de inicio. Debido a la rapidez con la que se realiza algunas veces no se pueden observar. En este momento la temperatura del elemento se ajusta a las del medio de secado.

En la etapa II la velocidad del proceso es constante. La velocidad de secado se comporta independientemente a la de la humedad del sólido. Aquí el sólido está muy húmedo y se crea una membrana de agua alrededor de la superficie lo que provoca que el líquido se comporte como si no existiera el sólido.

En la etapa III, en esta parte del secado se puede apreciar el decrecimiento de la velocidad y la humedad crítica. Al reducirse la humedad del sólido se llega a un cierto valor en donde la velocidad constante termina y la velocidad del secado empieza a reducirse. Como se puede observar, la reducción de la velocidad está representada con la letra C al cual se le llama punto crítico (punto en donde el líquido que se encuentra sobre la superficie no es suficiente para conservar una capa continua la cual envuelva el espacio de secado).

En el caso de los sólidos no porosos, en el momento que se evapora la humedad superficial se presenta el punto crítico. Sin embargo, en los sólidos porosos a este punto se llega en el momento en que la velocidad de flujo es inferior a la velocidad de evaporación.

En el caso que la humedad inicial del elemento sólido este por debajo al valor de la humedad crítica, la etapa de velocidad constante es omitida.

La humedad crítica es directamente proporcional al espesor del material, a la velocidad del secado por lo que no es una propiedad del elemento.

Luego de llegar al punto crítico tenemos una etapa en la cual encontramos una velocidad decreciente, como se puede apreciar la forma que adquiere la curva de la velocidad del secado está directamente relacionada con el tipo de material, el grosor y a propiedades como la temperatura y la presión. [12]

1.4.1.4 Tipos de secado

El proceso clásico de secado de vegetales consiste en la circulación de aire caliente a baja humedad relativa, siendo los mecanismos físicos para el secado la transferencia de calor y masa simultánea a través de un medio poroso [10].

Existen varios métodos de secado entre los cuales se va a abordar los más utilizados y conocidos, entre los cuales podemos encontrar:

- Secado con aire caliente
- Secado al vacío
- Sobrecalentado, secado al vapor
- Liofilización

- Deshidratación osmosis

1.4.1.4.1 Secado con aire caliente

Como se había citado antes existen varios métodos para realizar el secado de alimentos, en los secadores de tipo convectivo se utiliza aire caliente como agente secador.

En este tipo de secadores, el aire caliente se puede generar de muchas maneras, habitualmente quemando gas natural o propano. Ya obtenido el aire caliente depende del tipo de secador ya sea vertical y horizontal, el aire es impulsado por medio de ventiladores.

En cualquier tipo de secador se debe tener en cuenta la contaminación del producto y es por eso que la mayoría de secadores se utiliza un intercambiador de calor para calentarlos debido a que así se evita el contacto entre el producto a secar y los productos producidos en la combustión.

Adicionalmente, encontramos el calentamiento eléctrico que en consecuencia de su costo elevado y su deficiencia no se utiliza comúnmente. Encontrándolo solo cuando se debe evitar a toda costa la contaminación debido a la combustión y cuando se necesitan temperaturas muy elevadas. [13]

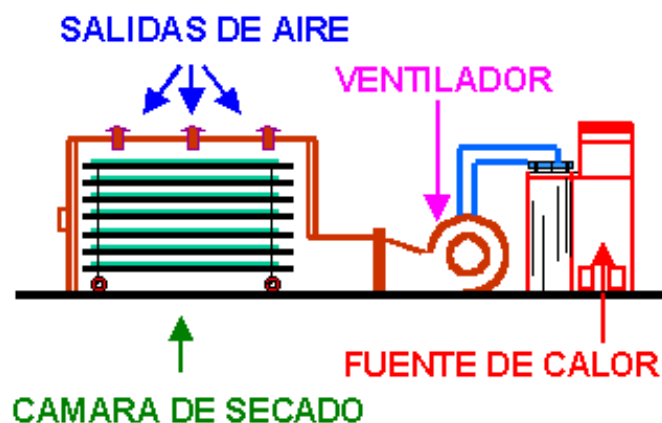


Figura 4. Esquema de una cámara de secado
Fuente: Autor

1.4.1.4.2 Secado al vacío

El vacío es cualquier gas que esté a una presión menor a la atmosférica. El vacío se puede clasificar en función en diferentes rangos según se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Rango de presiones para el secado al vacío

Grado de Vacío	Rango de Presión (Pa)
Bajo	$10^5 > P > 3.3 \times 10^3$
Medio	$3.3 \times 10^3 \geq P > 10^{-1}$
Alto	$10^{-1} \geq P > 10^{-4}$
Muy Alto	$10^{-4} \geq P > 10^{-4}$
Mucho Más Alto	$10^{-7} \geq P > 10^{-7}$
Extremadamente Alto	$10^{-10} \geq P$

Fuente: [14]

Este tipo de procedimiento es utilizado tanto en la industria alimenticia como en la farmacéutica, al estar sometido a bajas presiones y con la adición de calor ya sea por contacto o por radiación el vapor de agua se evapora más rápidamente. También se utilizan bajas temperaturas en el vacío para algunos productos que pueden sufrir alteraciones físicas al ser sometidos a altas. [14]

Ventajas y desventajas

Este proceso es idóneo para elementos que pueden sufrir alteraciones físicas al estar en presencia de altas temperaturas, también, gracias al vacío se retira la humedad y se evita la oxidación, adicionalmente, se usa en situaciones cuando el solvente necesita ser recuperado o cuando algunos elementos requieren ser secados hasta tener humedades muy bajas.

Por otro lado, tenemos desventajas entre las cuales podemos resaltar que para realizar este secado se necesita una gran cantidad de materiales metálicos debido a la complejidad del equipo en relación a otras técnicas y otra gran desventaja es que se requiere de una gran cantidad de energía para poder obtener buenos resultados. [14]

1.4.1.4.3 Secado al vapor sobrecalentado

Vapor sobrecalentado

En la zona de vapor sobrecalentado es conocido que se encuentra solo una fase la cual es vapor, además, las propiedades de presión y temperatura son independientes, en cambio las propiedades variables en este estado son presiones y entropías o presiones y entalpías, así como se muestra en la tabla 3.

Entre algunas características podemos decir que el vapor sobrecalentado está a bajas presiones, altas temperaturas, altos volúmenes específicos, altas energías internas y altas entalpías. [14]

Tabla 3. Rango de presiones para el secado al vacío

Presión manométrica [kg/cm ²]	Presión de vacío [cmHg]	Presión de vacío o manométrica [Pa]	Presión absoluta [Pa]	Temperatura de saturación [°C]
0.30		29419.95	109409.95	102.14
0.25		24516.63	104506.63	100.84
0.20		19613.30	99603.30	99.49
0.15		14709.98	94699.98	98.09
0.10		9806.65	89796.65	96.62
0.05		4903.33	84893.33	95.09
		0.00	79990.00	93.48
	5	-6666.10	73323.90	91.16
	10	-13332.20	66657.80	88.65
	15	-19998.30	59991.70	85.92
	20	-26664.40	53325.60	82.93
	25	-33330.50	46659.50	79.60
	30	-39996.60	39993.40	75.85
	35	-46662.70	33327.30	71.53
	40	-53328.80	26661.20	66.41
	45	-59994.90	19995.10	60.05
	50	-66661	13329	51.54

Fuente: Autor

Ventajas y desventajas

Existen numerosas opciones para realizar el secado como el uso de aire o vapor sobrecalentado, este último arroja algunas ventajas las cuales son:

- Debido a que se usa un sistema cerrado se reducen las pérdidas de energía las cuales si se obtienen cuando se usa aire caliente.

- Debido al alto coeficiente de transferencia de energía se produce un aumento gradual de la velocidad del secado por lo que eso se refleja en disminución de costos y de eficiencia.
- Se elimina la oxidación ya que el oxígeno es expulsado al medio ambiente, por lo que se eliminan riesgos de incendios o derivados.
- Este tipo de secadores requieren de un sistema cerrado por lo que no existe emisión de elementos contaminantes al ambiente. [14]

Así como el secado con vapor sobrecalentado tiene muchas ventajas, también se pueden evidenciar ciertas limitaciones cuando se usa este tipo de método, entre las más representativas que podemos enumerar se encuentran:

- Debido a las altas temperaturas pueden producirse problemas en materiales más delicados.
- En consecuencia, de las altas temperaturas son necesarios sistemas mucho más complejos para poder realizar el proceso en comparación al secado con aire caliente. [14]

1.4.1.4.4 Liofilización

El proceso de liofilización se utiliza desde la antigüedad, claro en ese entonces se lo realizaba naturalmente, consistía en dejar los alimentos a la intemperie para que se congelaran en la noche por el frío de los Andes y debido a la baja presión atmosférica de los mismos, en las mañanas por acción de los rayos de sol se producía la sublimación del agua solidificada. [15]

En realidad, la liofilización es una subcategoría del secado a vacío. En la actualidad se utilizan métodos mucho más sofisticados. Es conocido que un elemento puede estar en estado sólido, líquido o gaseoso y cambia del uno al otro por la liberación u obtención de calor latente dependiendo de hacia donde este cambiando el estado. [15]

En este caso se estudia el cambio de estado de sólido a gaseoso. Para que esto sea posible deben existir circunstancias de temperatura y presión por debajo del punto triple en donde el estado líquido es inexistente. El punto tripe es el punto en donde los tres estados (sólido, líquido y gaseoso coexisten).

Un ejemplo para entenderlo mejor es cuando se tiene hielo si a este se le calienta a una presión inferior a la del punto triple, dicho elemento sublima. [15]

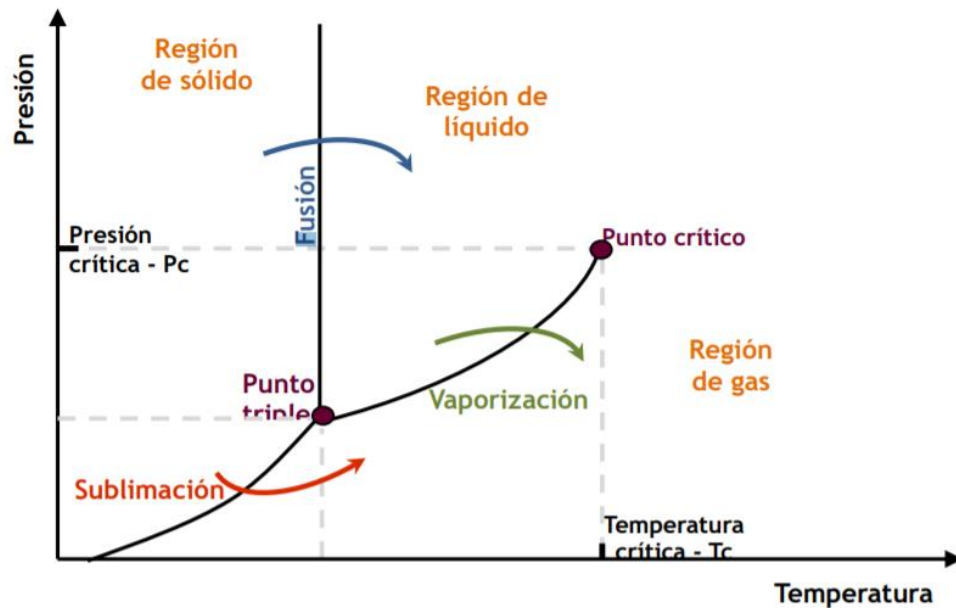


Figura 5. Punto triple, cambio del estado sólido a gaseoso
Fuente: [15]

1.4.1.4.5 Secado por CO₂

Toda técnica de secado se basa en última instancia en que el alimento esté inmerso en una atmósfera o espacio con una presión de vapor inferior a la de saturación. Una opción es introducir el producto en un líquido no miscible con agua, de tal manera que la superficie del producto estará en contacto con un medio de concentración nula de agua. Si la transferencia de masa esté gobernada por la ley de Fick, es decir, es proporcional a la concentración de agua entre la pared del producto y el medio, entonces se obtendrán tasas de extracción altas si el producto es introducido en un medio con nula concentración de agua. Esta es la idea del uso de CO₂, ya que de acuerdo a la Figura 6, la concentración de agua en el CO₂ es baja. Además, las bajas densidades del CO₂ hacen que éste se decante en el fondo del recipiente, pudiendo hacer extracciones parciales en determinados momentos del secado.

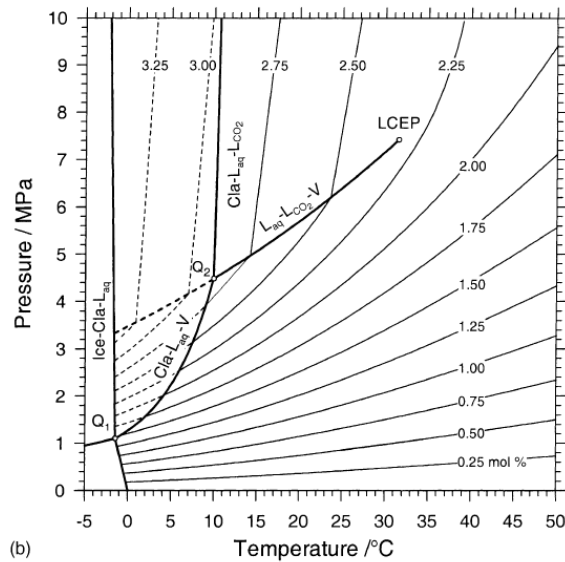


Figura 6. Concentración del agua en el CO₂
Fuente: [16]

Además, otra característica del CO₂ es que puede extraer otros compuestos diferentes al agua, fundamentalmente aceites o sustancias polares, pudiéndose obtener así un producto que tenga unas condiciones organolépticas diferentes al secado tradicional.

En cuanto al punto de trabajo se puede operar en subcrítico o supercrítico. Los datos experimentales para ambos regímenes son mínimos. El uso de CO₂ subcrítico tiene la ventaja de que se trabaja a presiones más moderadas y temperaturas bajas, lo que potencialmente mantiene de forma óptima las cualidades de productos delicados en comparación a trabajar con temperaturas elevadas.

1.4.2 Productos seleccionados para la experimentación

1.4.2.1 Aguacate

La especie seleccionada se la conoce científicamente como *Persea americana* de la familia Lauraceae, aunque en la cultura azteca consta que el nombre originario se derivaba de Ahuacatl que significa “miembros de árbol”. Se conoce que el punto de origen de esta fruta fue México [17].

La producción mundialmente atribuye a una manufactura de 7 toneladas métricas en un estimado de 1 hectárea. El mayor foco de producción se encuentra en México con una cifra de 1,52 millones de toneladas métricas anualmente, mientras que República

Dominicana produce apenas 420 Kilotoneladas métricas por lo que ocupa el segundo lugar en la producción de este espécimen [18].

El aguacate deshidratado se lo comercializa en México siendo obvio por ser el mayor productor, tal producto se lo encuentra en supermercados como Oxxo o en tiendas digitales como Avocamex, que distribuye el producto en empaques de 50 gr, 250 gr, 500 gr y 10 kg.

1.4.2.2 Mora

La mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth) perteneciente al género *Rubus* de la familia de las rosáceas. Hoy en día se tiene conocimiento de más de 2000 especies alrededor del mundo, de las cuales solo cerca de 9 son tomadas en cuenta para ser comercializadas. [19] [20]

En Ecuador la producción ha venido disminuyendo a partir del año 2001 en donde en la provincia de Tungurahua se registró una producción de 5226 ton., Bolívar 2328 ton. y Cotopaxi 2315 ton. sumando un total de 11600 ton. Sin embargo, en el año de 2005 solo se produjeron 4744 ton. entre las provincias nombradas. Este fenómeno se debe a factores bióticos y abióticos que se perdió el control sobre ellos con el tiempo. [21]

A continuación, se enlista la producción y el rendimiento de las provincias más representativas en el Ecuador:

Tabla 4. Producción y rendimiento nacional y provincial en el país de Ecuador

Provincia	Producción					Rendimiento				
	2001	2002	2003	2004	2005	2001	2002	2003	2004	2005
Bolívar	2328	2812	1768	1788	1729	2217,1	2526,5	1588,5	1450,1	1446,9
Chimborazo	1225	1114	1298	181,8	81	2378,6	2464,6	3729,9	1136,4	1265,6
Cotopaxi	2315	2450	1280	1120	1220	2645,7	2737,4	3216,1	3043,5	3050
Imbabura	120	92	130	131	244	266,7	2139,5	3611,1	3477,4	3250,8
Pichincha	450	425	425	252	318	2727,3	2470,9	3571,4	3150	3180
Tungurahua	5226	4725	6553	448	1152	3129,3	2898,8	4752	1201,1	3122
Nacional	11664	11618	11454	3920,8	4744	2700	2698,7	3375,8	1740	2159,3

Fuente: [21]

Este tipo de alimentos se dan en los climas fríos como Colombia, Panamá, Ecuador, Guatemala y México. La mayor producción se registra en Cundinamarca produciendo alrededor de 40000 toneladas, por encima de Santander, Antioquia, Nariño y Boyacá. [22] [23]

La mora si se la puede encontrar en formato seco en páginas como cereArt a un precio de 6000 pesos colombianos los 50g, es decir USD 1.73. [24]

1.4.2.3 Fresa

Se cataloga científicamente como *Fragaria vesca* proveniente de dos familias, la una chilena correspondiente a la chiloensis y la otra estadounidense llamada virginiana. Se conoce globalmente que la producción de fresa se ha incrementado de manera considerable estableciendo un valor anual promedio de 3,18 toneladas. Continentalmente Europa se atribuye la mayor producción de fresa con 1,49 millones de toneladas abarcando el 47,7% de producción mundial, seguidamente de América con 0,92 millones de toneladas [25].

La diversidad de cultivo de fresas se origina en Huelva, provincia perteneciente a España mediante el uso de una maquinaria especializada que realiza la fertiirrigación y el proceso de colocación de plásticos para abrir agujeros. La fresa deshidratada se encuentra en un auge en la región de España al expandir productos de 0,25 kg a un precio de USD 18 con una reducción de su contenido de agua mediante la exposición al sol. Todo esto expande la empresa Froitasxeitosina [26].

1.4.2.4 Mango

La fruta de origen silvestre se conoce científicamente como *mangifera indica*, el cual resulta ser originario de India y posteriormente exportada a América por tropas portuguesas. Se considera este fruto como el tercero a nivel de producción mundial. Refiriéndose a estos datos de producción, Asia toma el primer lugar con 19,5 millones anualmente, secundado por África con 2,17 millones de mangos al año [27].

Frutireyes se encarga de la distribución internacional abarcando un 60% del mercado internacional, surtiendo a sus proveedores con productos de 25 gr, 75 gr y 5 kg. Dichos productos se realizan con previo pedido y el periodo de entrega varía entre 3 a 7 días. [28]

1.4.2.5 Manzana

El nombre científico de la manzana es (*Malus domestica*) considera una planta caducifolia, la cual se produce preferentemente en zonas frías. Sin embargo, como

resultado de la investigación, hoy en día también se producen en zonas que carecen de este tipo de clima. [29]

En el país la situación de las manzanas ecuatorianas es difícil, por el hecho que de cada 10 manzanas vendidas solo 1 es de procedencia ecuatoriana, las otras 9 son importadas desde países como Chile, EE.UU., España, Argentina, entre otros.

Es necesario recalcar que los cultivos en el Ecuador se dan principalmente en Tungurahua, Azuay, Cotopaxi y Cañar. Produciéndose en 2013 9477 toneladas de manzanas siendo este tan solo el 14.01% del consumo total en todo el Ecuador. [29]

Este tipo de producto alimenticio si se lo puede encontrar en páginas de venta de internet como Amazon y Mercado libre, en un precio que oscila entre los USD 2.50 a 3.25 cada 100 gr.

1.4.2.6 Sandía

También llamada melón de agua o científicamente (*Citrullus lanatus*) extendida desde África hacia el resto del mundo, siendo esta una fruta muy refrescante con más del 90% de agua en su estructura [31].

La mayor producción mundial se da en el continente asiático con más del 80%, siendo China el principal productor, seguido por África, Europa y América del norte. Con respecto a los países que son pioneros en la importación del producto lidera Estados Unidos con 0,22 Toneladas anualmente, secundado por Alemania correspondiente 0,17 Toneladas [32].

La deshidratación de la fruta corresponde a preservación de los alimentos conservando las proteínas propias de la fruta.

1.4.2.7 Naranja

En cuanto al origen del naranjo amargo existen distintas opiniones entre los expertos. Algunos autores afirman que el naranjo amargo pasó de Libia a Europa, otros, que los árabes lo trajeron de la India en el siglo X y lo aclimataron a todos los países, otros autores que en 1150 adornaba los jardines de Sicilia. Según otro autor, el naranjo amargo procede de las regiones orientales de las Indias. La primera descripción del naranjo amargo que se conoce es la de Alberto Magno. En cuanto a la procedencia del

naranja dulce también es poco clara para muchos. Unos dicen que pasó de Arabia a Grecia, desde Grecia a Italia, a España, a Francia, a Portugal, etc. [33]

Estados Unidos había sido el líder de la producción mundial hasta ahora, pero Brasil ha tomado el relevo y está a la cabeza. La producción de estos dos países supone el 42% de la producción mundial. La mayor parte de la cosecha de naranjas en estos países, el 52% en Brasil y el 66% en Estados Unidos, se destina principalmente a zumo concentrado congelado. Países como España, Marruecos, Israel, Cuba y Sudáfrica destinan gran parte de sus cosechas a la exportación para dar salida a su enorme producción. [34]

La producción de los países mediterráneos se destina en gran parte a abastecer el comercio en fresco del hemisferio norte, más concretamente de la Europa Occidental. La producción de Estados Unidos va dirigida a Canadá y el Lejano Oriente, en particular a Japón y Hong-Kong. La producción de la naranja deshidratada radica. El principal exportador en el hemisferio sur es Sudáfrica.

1.5 HIPÓTESIS

Un secador por inmersión en CO₂ líquido subcrítico podrá extraer agua a diversos productos alimenticios.

1.6 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

1.6.1 Variables Independientes

Productos alimenticios seleccionados (aguacate, mora, fresa, mango, manzana, sandía, naranja, carne)

1.6.2 Variables Dependientes

Nivel de secado por CO₂ subcrítico (reducción de masa de agua)

1.6.3 Término de la Relación

PODRÁ.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

2.1.1 Exploratoria

Se utiliza el método exploratorio para esta investigación, construyendo un prototipo de secador con CO₂ subcrítico, para poder probar su correcto funcionamiento y su incidencia en el secado de los productos alimenticios elegidos.

2.1.2 Descriptiva

Con la ayuda de este método se llegó a describir el procedimiento para poner en funcionamiento el secador, para posteriormente describir el nivel de secado.

2.1.3 Explicativa

Lo que se logra con la utilización de este método es, dar a conocer de mejor manera el funcionamiento de la máquina de secado, sus componentes y además, el efecto que tiene en los productos alimenticios sometidos a pruebas.

2.1.4 Cuantitativa

Mediante este método se va a medir el nivel de secado, gracias a la relación de su masa inicial y su masa final. Así se obtendrá la pérdida de masa de agua de los alimentos en cuestión. Estos resultados luego podrán ser analizados y tabulados mediante alguna herramienta estadística.

2.1.5 Experimental

Gracias a este método investigativo, se pudo realizar los ensayos con diferentes productos alimenticios, para determinar la reducción de masa de agua y ver si los niveles de secado son los deseados.

2.1.6 Bibliográfico

En este trabajo experimental se utilizó fuentes de investigación como normas, tesis, artículos científicos, libros, revistas y páginas web, gracias a las cuales se logra obtener

una base científica, para poder desarrollar el diseño de la máquina y ejecutar los ensayos de manera correcta y eficaz.

2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

2.2.1 POBLACIÓN

Se utilizaron siete productos alimenticios diferentes para los cuales va a existir un solo caso para cada uno con una cantidad de 4L de CO₂

Tabla 5. Población

Descripción	
Caso	Producto Alimenticio
1	Aguacate
2	Mora
3	Fresa
4	Mango
5	Manzana
6	Sandía
7	Naranja
Temperatura de los tanques de secado	
15 °C	
Tiempo de secado	
7 horas	
Presión interna de los tanques	
50 bar	

Fuente: Autor

2.2.2 Muestra

Como se puede observar en la tabla 5 existen 7 productos alimenticios, los cuales van a ser sometidos a la prueba de secado bajo las condiciones establecidas de tiempo, presión y temperatura, además, se realizarán 2 pruebas a cada alimento. En la primera se extraerá una masa de agua total al final del proceso y en la segunda se procederá a extraer una masa de agua cada hora. Por consiguiente, se van a tener 14 casos en total, de los cuales se obtendrá la masa de agua extraída durante dichas pruebas.

2.3 OPERACIÓN DE VARIABLES

2.3.1 Variable Independiente

Productos alimenticios seleccionados (aguacate, mora, fresa, mango, manzana, sandia, naranja)

Tabla 6. Variable Independiente

VARIABLE	DEFINICION DE LA VARIABLE	CATEGORIA	INDICADOR	TÉCNICAS E INSTRUMENTACION	INDICE
Aguacate	Los productos alimenticios pueden ser obtenidos directamente del suelo, o procesados en empresas físico-químicas, las variables utilizadas son de origen agrícola de los agricultores de Ecuador.	Parámetros	Masa Temperatura Tiempo Presión	Observación directa Balanza	1
Mora				Observación directa Balanza	2
Fresa				Observación directa Balanza	3
Mango				Observación directa Balanza	4
Manzana				Observación directa Balanza	5
Sandia				Observación directa Balanza	6
Naranja				Observación directa Balanza	7

Fuente: Autor

2.3.2 Variable Dependiente

Nivel de secado por CO₂ subcrítico (reducción de masa de agua)

Tabla 7. Variable Dependiente

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIÓN	CATEGORIA	INDICADOR	INDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTACION
Al nivel de secado se lo conoce cuando el alimento en cuestión es sometido a al CO ₂ subcrítico por exposición directa, para luego comparar su masa antes y después del ensayo.	Propiedades Físicas	Ensayo de secado por contacto directo con CO ₂ subcrítico.	Pérdida de masa	Masa de agua extraída en relación a la masa seca	Observación directa Balanza Manómetro tipo Bourdon

Fuente: Autor

2.4 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LA MÁQUINA

2.4.1 Esquema del prototipo

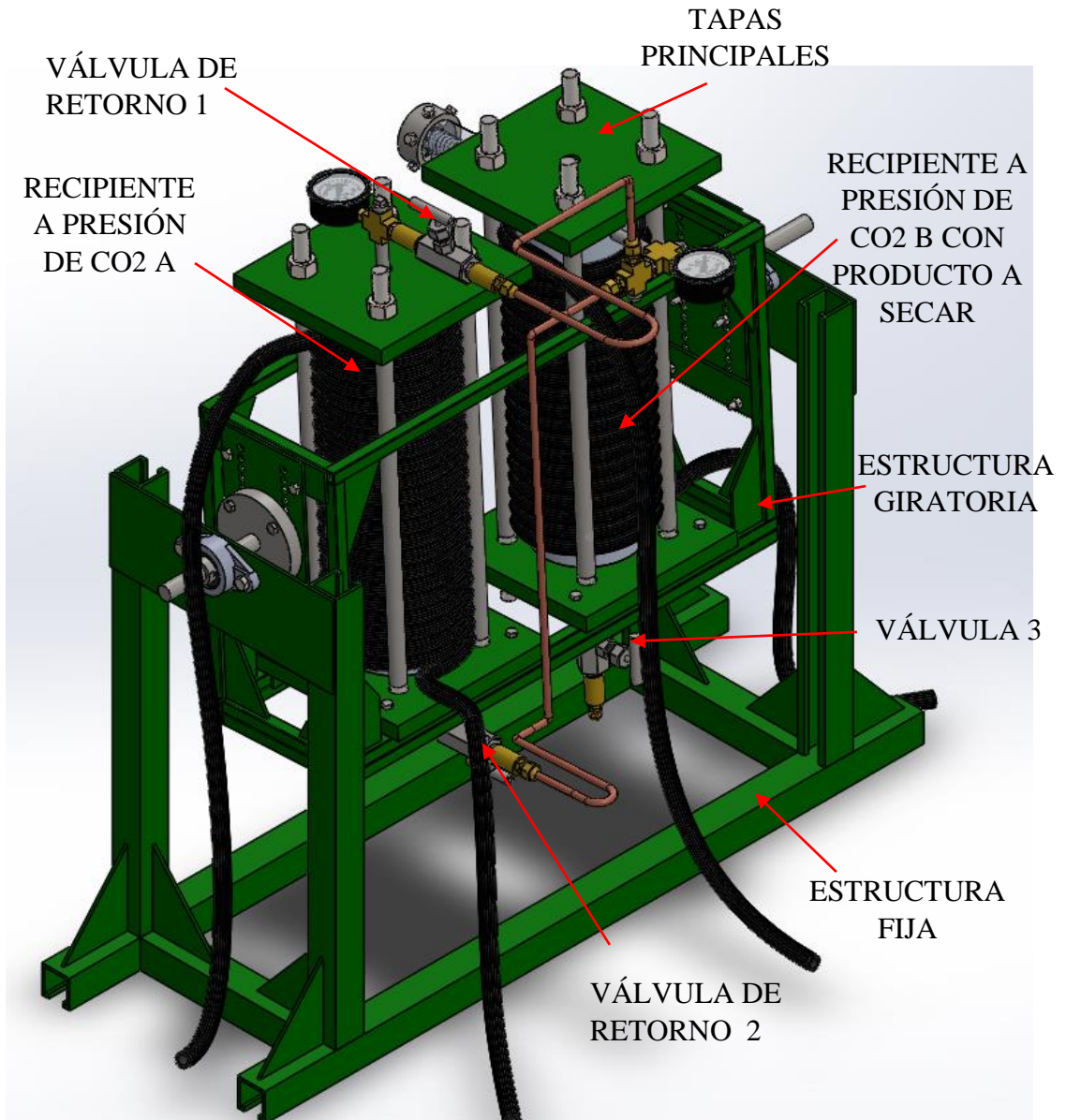
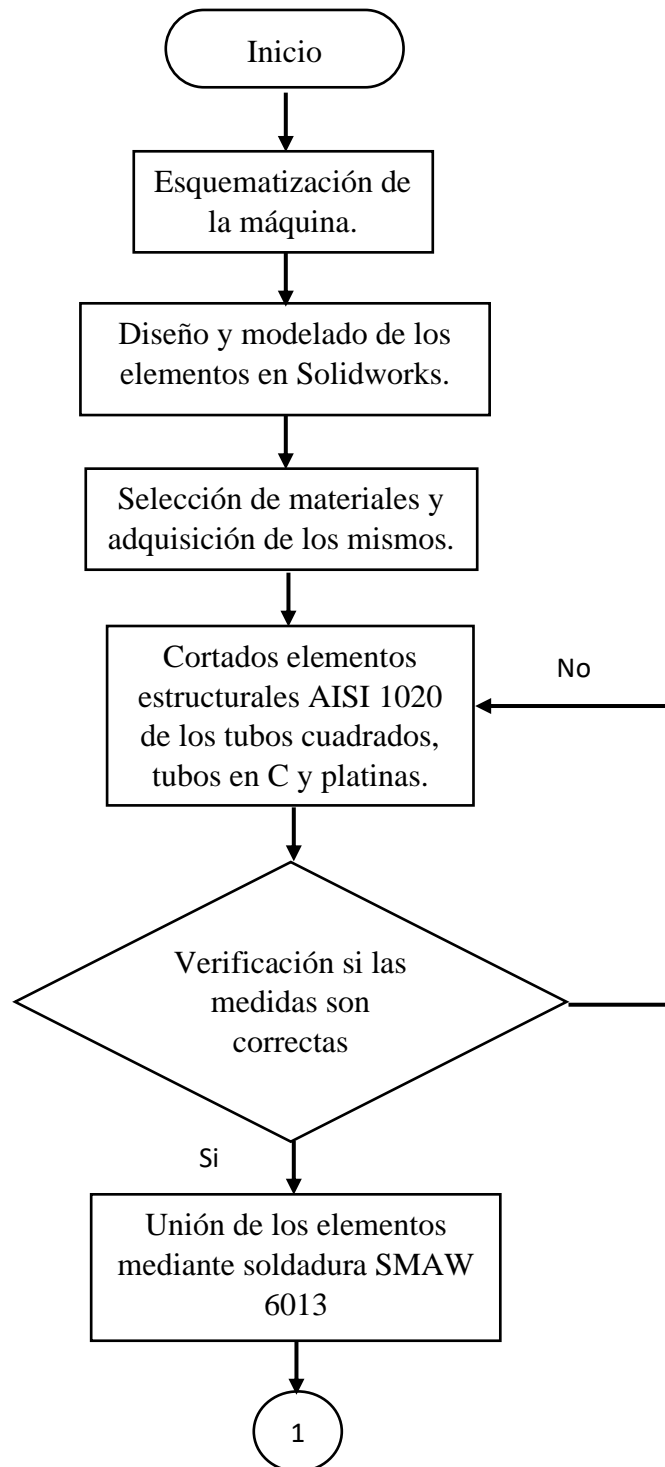
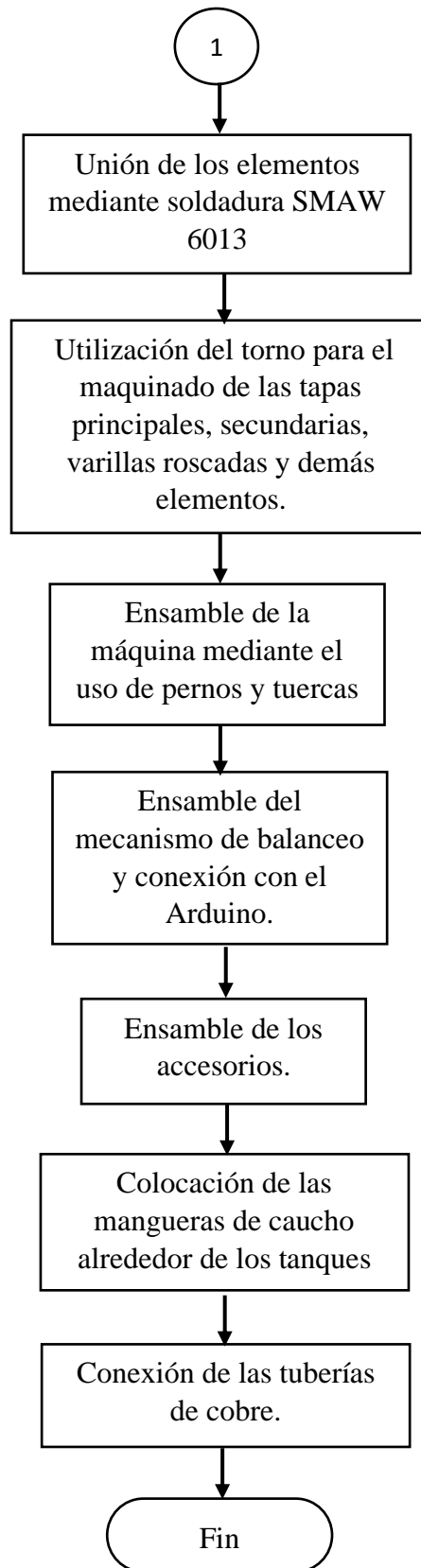


Figura 7. Prototipo a escala de laboratorio de un Secador por CO₂ subcrítico, con control de temperatura

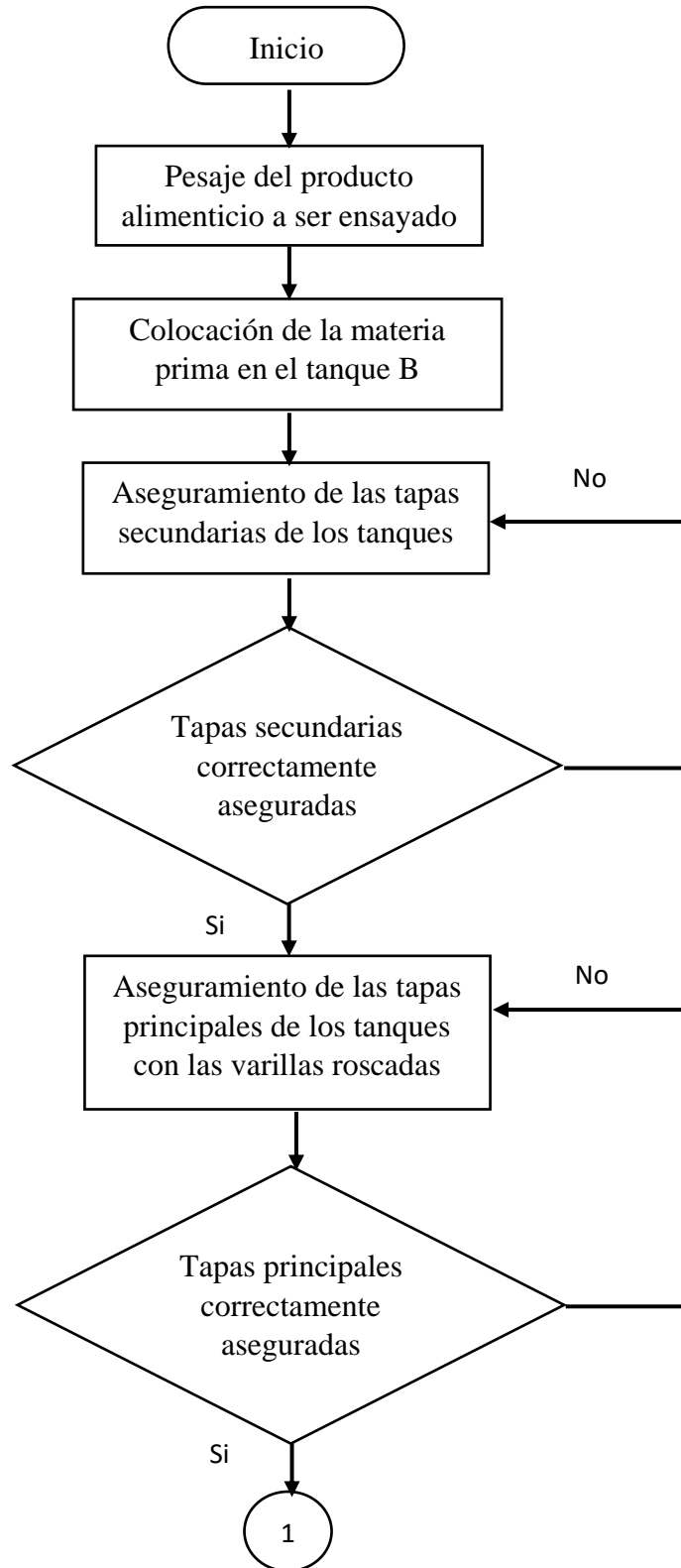
Fuente: Autor

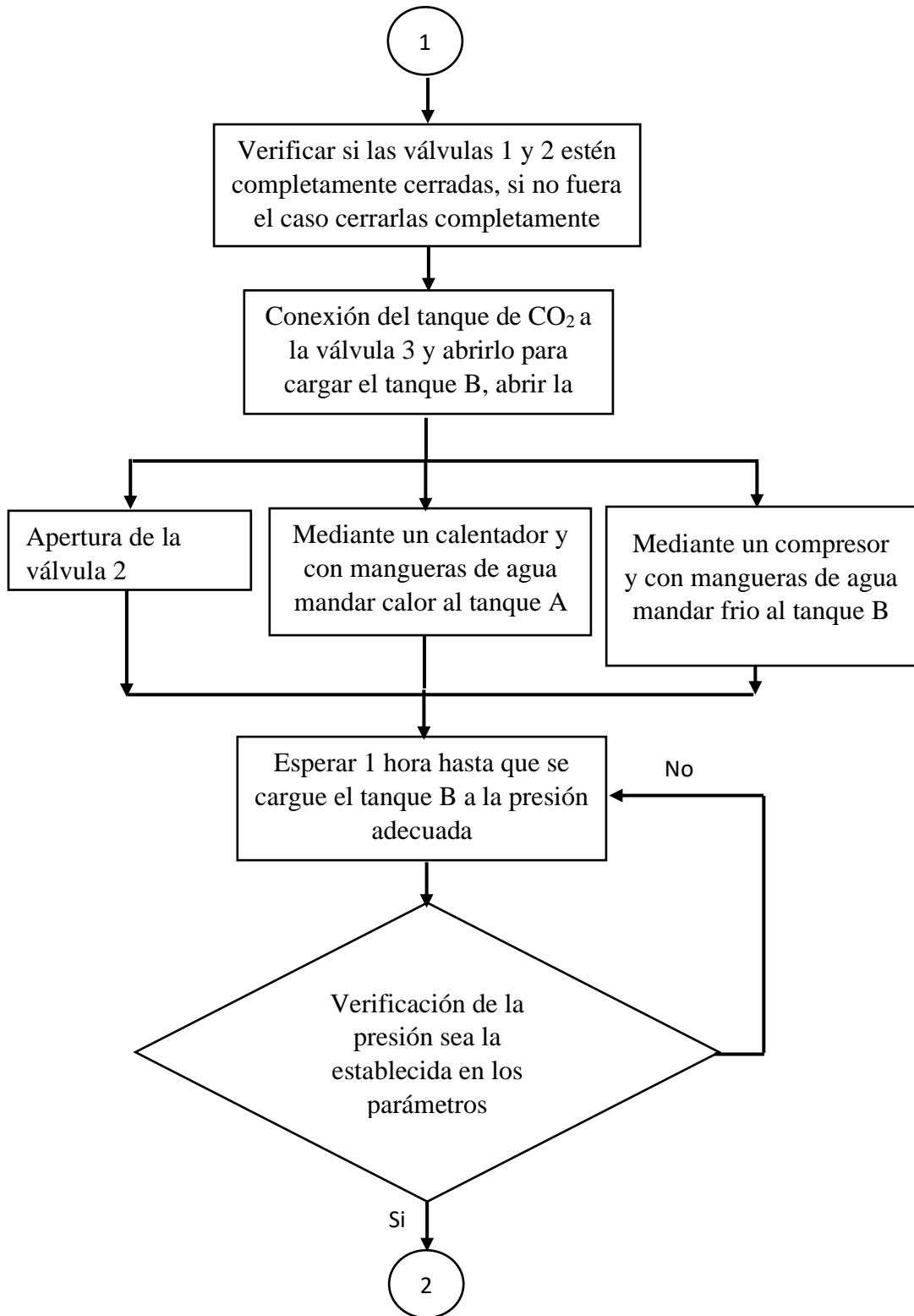
2.4.2 Diagrama de flujo para la construcción de la máquina

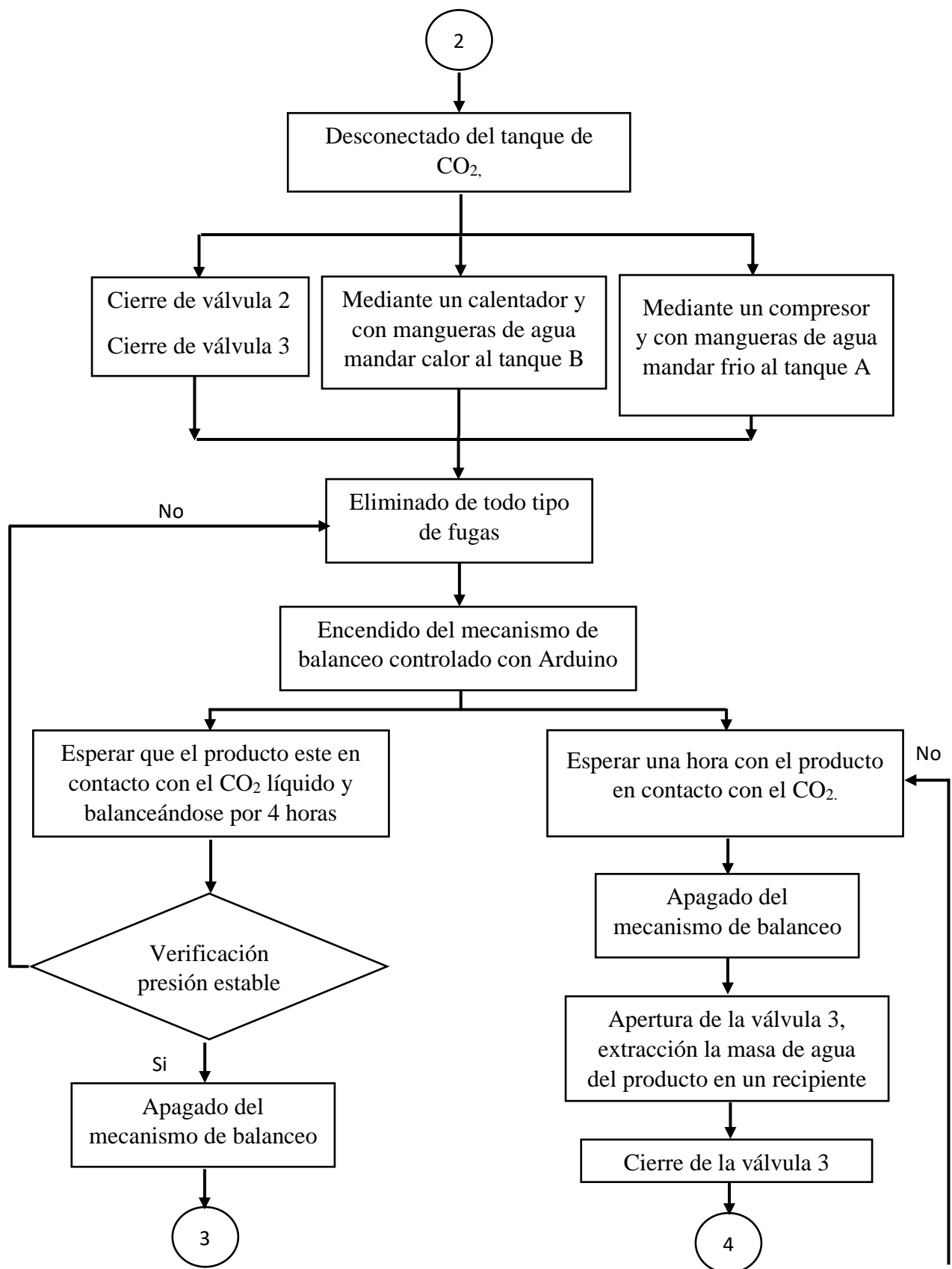


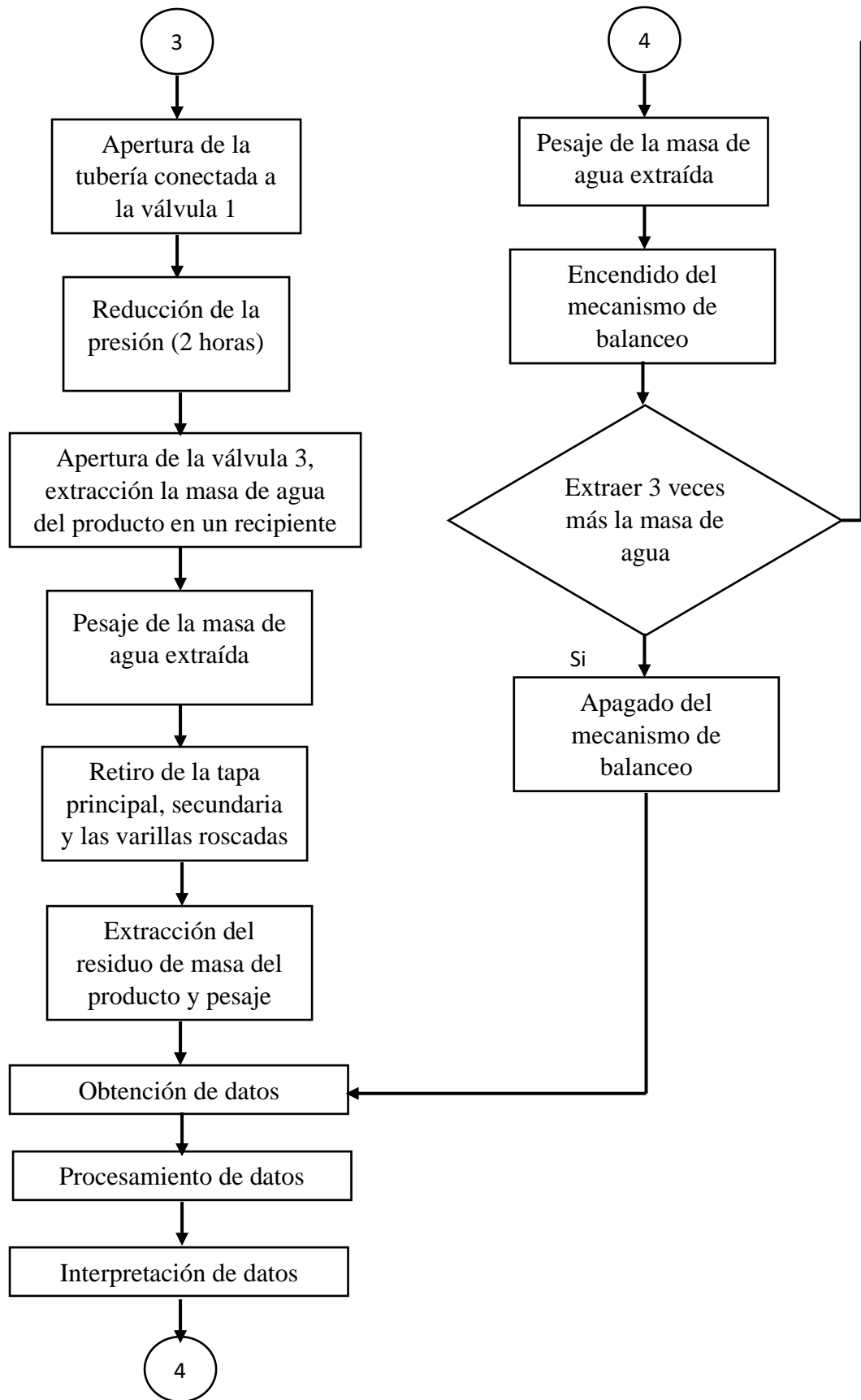


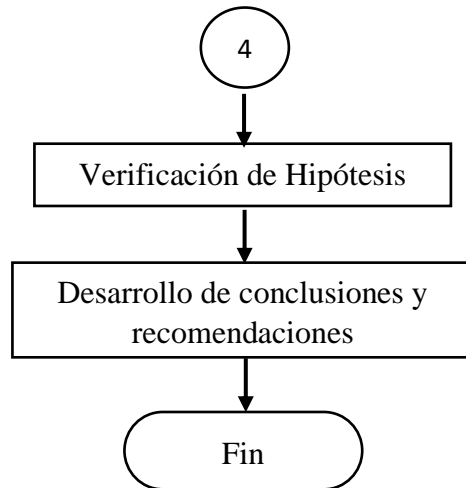
2.4.3 Diagrama de flujo para la puesta en marcha de la máquina












2.5 PROCEDIMIENTOS

2.5.1 Procedimiento para la puesta en marcha y obtención de la masa de agua de los productos alimenticios

Tabla 8. Procedimiento para la puesta en marcha y obtención de masa de agua de los productos alimenticios

ACTIVIDAD	GRÁFICO
<p>1) Pesaje del producto alimenticio</p> <p>El producto utilizado varía según las pruebas realizadas para la investigación. Los productos a evaluarse son aguacate, mora, fresa, mango, manzana, sandía y cáscara de naranja.</p> <p>Posteriormente se coloca el producto a ensayar en un recipiente y se lo pesa.</p>	

2) Colocación del producto en el tanque B

Para esta parte se coloca el producto ya pesado en el tanque B, este proceso se lo realiza con cuidado para evitar el desperdicio de producto y que así no se vean afectados los resultados finales.



3) Cierre de las tapas secundarias

Se procede primeramente a colocar las tapas secundarias las cuales cuentan con un horrin, estas se colocan a presión y aísla el contenido interior de los tanques.



4) Cierre de las tapas principales



En el proceso de asegurar las tapas, en este punto se colocan las tapas cuadradas superiores (tapas principales) justo por encima de las tapas secundarias. Posteriormente se colocan las varillas roscadas y se las aseguran con tornillos de métrica 18.



5) Carga de CO₂

Se conecta la tubería de cobre a la salida de la válvula 3, posteriormente se ubica el tanque de CO₂ en posición horizontal, para que el líquido sea inyectado directamente en el tanque B.



<p>Tanto la válvula 2 como la 3 deben estar abiertas completamente, sin embargo, la válvula 1 debe estar cerrada.</p>	
<p>6) Colocación de calor y frío</p> <p>Mediante el uso de un calentador de agua y un compresor se realizará el proceso de control de temperatura en los tanques A y B.</p> <p>Estos dispositivos están conectados previamente mediante tuberías de agua de caucho como se aprecia en la figura.</p> <p>Entre el punto 5 y 6 se la denomina etapa de carga y toma una hora.</p>	
<p>7) Desconexión del tanque de CO₂</p> <p>Esta etapa inicia con la desconexión del tanque de CO₂, después de retirarlo es necesario ubicarlo de manera segura para evitar accidentes posteriores.</p>	
<p>8) Pre etapa de procesado</p> <p>En esta etapa se debe tomar en cuenta varios aspectos:</p>	

Primero se debe cerrar las válvulas 2 y 3.
Segundo se debe conectar el calentador a las mangueras conectadas al tanque B y el compresor al tanque A.



9) Etapa de procesado

Esta etapa inicia con una verificación de las fugas para asegurar que no se pierda la presión.

Se procede a encender el mecanismo de balanceo, conectándolo a la corriente de 110 V, mediante el uso de un cargador común.

Esta etapa va a durar por cuatro horas.

Primera prueba

En esta prueba se realiza una sola extracción de la masa de agua, al final de las cuatro horas.

Segunda prueba

A diferencia de la primera, en esta prueba se realiza un stop del mecanismo de balanceo y una extracción de la masa de agua cada hora.



10) Etapa de descarga





Primera prueba

Esta etapa inicia con la desconexión del mecanismo de balanceo y la apertura de la válvula 1.

Se debe esperar por dos horas, hasta que los tanques tengan una presión segura.

Segunda prueba



<p>En este caso se debido a que se extrae producto cada hora, no es necesario esperar las 2 horas al final debido a que al realizar la cuarta extracción la presión ya es segura.</p>	
<p>11) Extracción de la masa de agua Se debe colocar un recipiente por debajo de la válvula 3 y abrirla. Después de recolectar la masa de agua extraída del producto se la procede a pesar.</p>	
<p>12) Apertura de las tapas Para retirar las tapas primeramente se debe quitar las tuercas y las varillas roscadas. Posteriormente se deben retirar las tapas cuadradas y ya que las tapas secundarias están metidas a presión se las debe retirar con la utilización de destornilladores y palancas.</p>	
<p>13) Extracción del producto Finalmente se retirar el producto procesado para colocarlo en un recipiente y posteriormente pesarlo, limpiar el tanque B y recolectar los datos obtenidos.</p>	

Fuente: Autor

En el paso uno se obtuvieron los pesos de los diferentes productos alimenticios y se resumen a la siguiente tabla:

Tabla 9. Pesos de los productos alimenticios

PRODUCTO ALIMENTICIO	PESO INICIAL DE PRODUCTO (g)	PORCENTAJE DE HUMEDAD MÁXIMO TEÓRICO (%)	PESO INICIAL X PORCENTAJE DE HUMEDAD (g)
Aguacate	694.5	74.27	515.81
	696.7		517.44
Mora	342.1	85.6	318.67
	468.5		401.23
Fresa	380.2	91.5	348.67
	403.7		369.67
Mango	771.9	81.5	630.72
	599.6		489.93
Manzana	382.4	83	320.95
	376.5		316
Sandia	540.4	91.5	494.47
	457.3		418.43
Naranja	717.1	83.93	566.51
	690.1		545.18

Fuente: Autor

2.5.2 Diseño de recipientes a presión

Se tienen dos cilindros que van a estar sometidos a una presión de diseño de 120bar (12 MPa), y un diámetro de 0.125m, se requiere calcular el espesor requerido para que los cilindros verticales soporten la presión necesitada. La presión de trabajo del prototipo es de 60 bar, con la cual se realizaron las pruebas entre los meses de mayo hasta septiembre del 2019.

Los datos que se tienen son los siguientes, para tener un punto de partida se seleccionó previamente el material de Aluminio aleado, por su facilidad de adquisición y su

conocida resistencia en medios corrosivos. Además, la altura estimada va a estar entre 0 y 0.45m.

NOMENCLATURA:

D: Diametro mayor

t: Espesor

H₀: Altura inicial

H_f: Altura final

R: Radio

S: Esfuerzo máximo permisible del material

E: Eficiencia de las soldaduras

Datos:

$$D = 0.125m$$

$$P = 120 \text{ bar} \rightarrow 12 \text{ MPa}$$

$$H_0 = 0m$$

$$H_f = 0.45m$$

$$S = 200\text{MPa}$$

Para determinar el espesor utilizamos la siguiente formula:

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0.6 * P} \quad [1]$$

Debido a que no contamos con el radio, se procede a poner en función del espesor y así poderlo calcular:

$$t = \frac{P * \frac{D}{2} - t}{S * E - 0.6 * P}$$

$$t * (S * E - 0.6 * P) = \frac{P * D}{2} - P * t$$

$$P * t + t * S * E - t * 0.6 * P = \frac{P * D}{2}$$

$$t = \frac{\frac{P * D}{2}}{P + S * E - 0.6 * P}$$

Entonces:

$$t = \frac{\frac{12x10^6 * 0.125}{2}}{12x10^6 + (190x10^6 * 1) - (0.6 * 12x10^6)}$$

$$t = 3.85x10^{-3}m$$

$$t = 3.85mm$$

El espesor recomendado es de 3.85mm, pero al usarse un factor de seguridad de 2:

$$t = 3.85mm * 2$$

$$t = 7.7mm$$

Como resultado se obtiene que el espesor debe ser **7.7mm** con una presión de diseño de **12 MPa**.

Obtenido el espesor del cilindro se considera la siguiente relación para determinar si esta es delgada o gruesa.

$$\frac{D}{t} > 10 \quad \text{Cilindro de Pared delgada}$$

$$\frac{D}{t} < 10 \quad \text{Cilindro de pared gruesa}$$

$$\frac{125mm}{7.7mm} = 16.23$$

$$16.23 > 10$$

Al tener un valor mayor que 10 se establece que el cilindro es de pared delgada.

A continuación, se desarrolla el cálculo de los espesores de las tapas, en el fondo del cilindro se tiene una presión de diseño utilizada será **12 MPa**.

Se seleccionan tapas planas debido a que son utilizadas con mayor frecuencia. Y su cálculo viene dado por:

$$t = d \sqrt{\frac{C'P}{SE}} \quad [2]$$

Datos:

$$d = D - \frac{t}{2} = 125\text{mm} - \frac{7.7}{2}\text{mm} = 121.15\text{mm}$$

$C' = 0.33$ ver anexo 2

$$t = 0.12115 \sqrt{\frac{0.33 * 12 \times 10^6}{190 \times 10^6 * 1}}$$

$$t = 0.01749 \text{ m}$$

$$t = \mathbf{17.49 \text{ mm}}$$

El espesor obtenido es el mínimo por lo que en la construcción se aumentará el espesor de las tapas para aumentar la tolerancia a la corrosión y además aumentar la seguridad. Ya que al trabajar con presiones tan altas es necesario tomar las debidas precauciones.

Siguiendo con los cálculos, a continuación, se determinarán los esfuerzos circunferencial y longitudinal:

Dato:

$$D = 125\text{mm} \rightarrow 0.125\text{m}$$

$$t = 7.7\text{mm} \rightarrow 7.7 \times 10^{-3}\text{m}$$

$$P = 120\text{bar} \rightarrow 12\text{MPa}$$

$$r = \frac{d}{2} - t \quad [3]$$

$$r = \frac{0.125}{2} - 7.7 \times 10^{-3}$$

$$r = 0.0548 \text{ m}$$

Esfuerzo circunferencial:

$$\sigma_{circ} = \frac{P * r}{t} \quad [4]$$

$$\sigma_{circ} = \frac{12 * 0.0548}{7.7 \times 10^{-3} m}$$

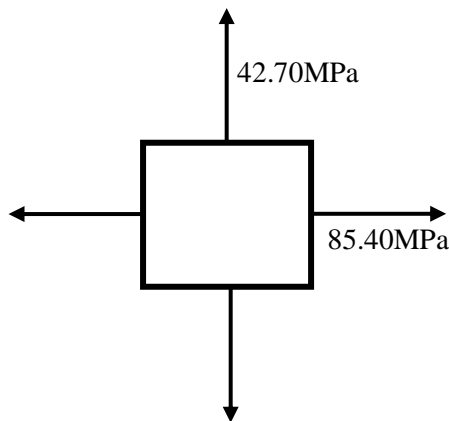
$$\sigma_{circ} = \mathbf{85.40MPa}$$

Esfuerzo Longitudinal:

$$\sigma_{long} = \frac{P * r}{2 * t} \quad [5]$$

$$\sigma_{long} = \frac{12 * 0.0548}{2 * 7.7 \times 10^{-3} m}$$

$$\sigma_{long} = \mathbf{42.70MPa}$$



El esfuerzo en “x” es 76MPa, El esfuerzo en “y” es 38.12MPa y debido a que no existe ningún tipo de inclinación, el esfuerzo cortante es 0.

2.5.3 Ensayos de Rotura

Con el fin de determinar si el aluminio adquirido cumple con los estándares de presión deseados, se realizó un ensayo de rotura con el uso de la maquina universal.

Este ensayo se lo realizo gracias a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, los parámetros utilizados fueron:

Datos:

Carga de rotura = 60 KN

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad [6]$$

$$\sigma = \frac{60 \times 10^3}{2 * 0.006 * 0.01}$$

$$\sigma = 500 \text{ MPa}$$



Figura 8. Probeta de Aluminio - Ensayo de rotura
Fuente: Autor

Con el valor obtenido de **500MPa** se asegura la fiabilidad del material, el cual va a soportar los 120 bar (12MPa) a los cuales va a estar sometido en las pruebas a realizarse.

2.5.4 Varillas roscadas

Para el presente proyecto se mecanizaron 8 varillas roscadas de 600mm x $\frac{3}{4}$ ". Las cuales tienen 82.70mm de roscado en sus extremos.

Se determina la fuerza de tensión, que se produce en las tapas circulares, es la que deben soportar las varillas para que no salgan disparados los elementos que están a presión.

Datos:

$$D = 93.20\text{mm} \rightarrow 0.0932\text{m}$$

$$P = 120\text{bar}$$

$$P = 120\cancel{\text{bar}} * \frac{100000\text{Pa}}{1\cancel{\text{bar}}}$$

$$P = 12\text{MPa}$$

Cálculo del área:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad [7]$$

$$A = \frac{\pi * 0.0932^2}{4}$$

$$A = 6.82 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Cálculo de la fuerza (F):

$$P = \frac{F}{A} \quad [8]$$

$$F = P * A$$

$$F = (12\text{MPa}) * (6.82 * 10^{-3} \text{ m}^2)$$

$$\mathbf{F = 81840 N}$$

A pesar de que la fuerza calculada va a ser soportada por 4 varillas roscadas, la selección se la realiza para el caso más crítico que sería cuando esta soportada solo por 2, por motivo de seguridad.

$$F = \frac{81840\text{N}}{2} = \mathbf{40920 N}$$

Mediante la siguiente tabla se obtiene el valor de la carga de prueba para una rosca métrica ISO de paso grueso.

La clase de calidad seleccionada es 5.6 debido a que es la calidad que generalmente se usa para este tipo de varillas. El primer número representa 1/100 de la resistencia nominal a la tracción, el segundo por 10 representa la relación entre el límite inferior a la fluencia Rel. [35]

Tabla 10. Cargas de prueba. Rosca métrica ISO de paso grueso

Rosca ^a (d)	Área de esfuerzo nominal $A_{s, nom}$ ^b mm ²	Clase de Calidad									
		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9
		Carga de prueba ($A_{s, nom} \times S_y$), N									
M3	5,03	910	1 130	1 560	1 410	1 910	2 210	2 920	3 270	4 180	4 880
M3,5	6,78	1 220	1 530	2 100	1 900	2 580	2 980	3 940	4 410	5 630	6 580
M4	8,78	1 580	1 980	2 720	2 460	3 340	3 860	5 100	5 710	7 290	8 520
M5	14,2	2 560	3 200	4 400	3 980	5 400	6 250	8 230	9 230	11 800	13 800
M6	20,1	3 620	4 520	6 230	5 630	7 640	8 840	11 600	13 100	16 700	19 500
M7	28,9	5 200	6 500	8 960	8 090	11 000	12 700	16 800	18 800	24 000	28 000
M8	36,6	6 590	8 240	11 400	10 200	13 900	16 100	21 200	23 800	30 400	35 500
M10	58	10 400	13 000	18 000	16 200	22 000	25 500	33 700	37 700	48 100	56 300
M12	84,3	15 200	19 000	26 100	23 600	32 000	37 100	48 900 ^c	54 800	70 000	81 800
M14	115	20 700	25 900	35 600	32 200	43 700	50 600	66 700 ^c	74 800	95 500	112 000
M16	157	28 300	35 300	48 700	44 000	59 700	69 100	91 000 ^c	102 000	130 000	152 000
M18	192	34 800	43 200	59 500	53 800	73 000	84 500	115 000	--	159 000	186 000
M20	245	44 100	55 100	76 000	68 800	93 100	108 000	147 000	--	203 000	238 000
M22	303	54 500	68 200	93 900	84 800	115 000	133 000	182 000	--	252 000	294 000
M24	353	63 500	79 400	109 000	98 800	134 000	155 000	212 000	--	293 000	342 000
M27	459	82 600	103 000	142 000	128 000	174 000	202 000	275 000	--	381 000	445 000
M30	561	101 000	126 000	174 000	157 000	213 000	247 000	337 000	--	466 000	544 000
M33	694	125 000	156 000	215 000	194 000	264 000	305 000	416 000	--	576 000	673 000
M36	817	147 000	184 000	253 000	229 000	310 000	359 000	490 000	--	678 000	792 000
M39	976	176 000	220 000	303 000	273 000	371 000	429 000	586 000	--	810 000	947 000

a Cuando en una designación de rosca no se indica el paso de la misma, se especifica el paso grueso. Este paso se da en las Normas ISO 261 e ISO 262.

b Para calcular A_s , véase el apartado 8.2.

c Para los elementos de fijación de construcciones metálicas, 50 700N, 68 800 N y 94 500 N, respectivamente.

Fuente: [35]

Ingresando con el valor de la clase de calidad escogemos una rosca **M18** ya que la carga es **53800 N**, el cual es un valor que sobrepasa el que necesitamos y a su vez no produce un diseño sobredimensionado.

2.5.4 Regulador de presión

Debido a que se está trabajando con equipos a presión y siendo la presión del CO2 función de la temperatura, y estando ésta no controlada cuando el equipo está parado, se hace necesario la instalación de una válvula de seguridad para garantizar la seguridad del equipo y de las personas en caso de que existiese una subida de presión por cualquier motivo externo. Al no encontrar en el mercado una válvula de seguridad

con las especificaciones requeridas, se procedió al diseño y construcción de una válvula de seguridad. Los detalles de fabricación de la misma se encuentran en el Anexo 6.

El cierre se realiza mediante un vástago de 4 mm de diámetro que asienta sobre una junta de PTFE. A la presión de prueba de 120 bar, equivale a una fuerza de 150 N para realizar el cierre. Dicha fuerza se regula mediante un resorte cuya tensión se fija por un muelle.

El conjunto de válvula de seguridad y recipientes fueron probados a la presión de 120 bar introduciendo agua en los recipientes mediante la adaptación de una gata hidráulica de acuerdo se muestra en la Figura 9.



Figura 9. Gata hidráulica
Fuente: Autor

2.5.5 Mecanismo de balancín

Como se comentó en la fundamentación teórica, la idea de secado por inmersión en CO₂ líquido es someter a la fruta a un medio con cero concentración de agua. La idea es que para que esta agua se elimine de la pared del producto, circular el CO₂ a través del mismo.

Una manera de realizar esto es mediante el bombeo de líquido o el volteo de los tanques. Se decidió esta última opción por ser la más económica. Los recipientes se instalaron en una estructura que podía oscilar al ser soportada por dos rulimanes. El giro se realizó mediante un reductor que gira alternativamente a izquierda y derecha. El comando se realizó por medio de un Arduino, dos finales de carrera y un puente H

realizados mediante relays, de acuerdo se muestra al esquema mostrado en la Figura 10. La frecuencia de oscilación es de 0.5 Hz.

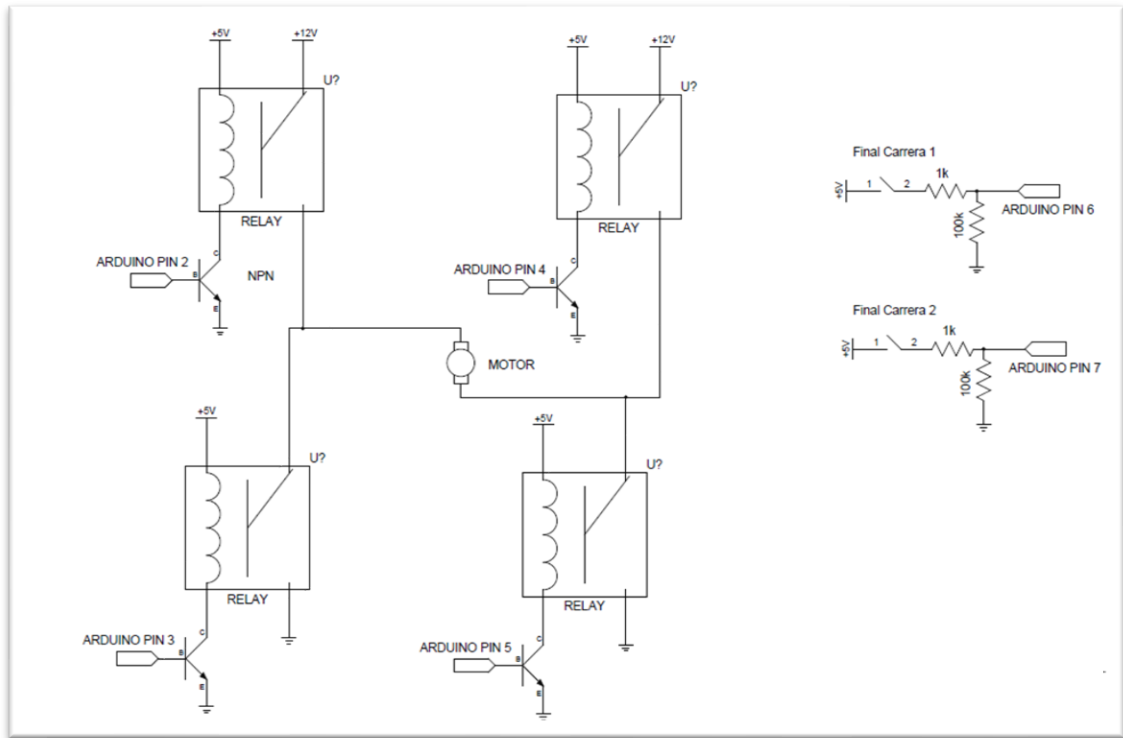


Figura 10. Esquema Arduino
Fuente: Autor

2.5.6 Baño termostático caliente

El proceso de bombeo de CO₂ del tanque reservorio al tanque donde se encuentra el producto y viceversa se realiza por medio de presiones diferenciales al calentar y enfriar los recipientes. Existen dos modos de operación.

En el primero se calienta el tanque reservorio y se enfría el tanque de producto, extrayéndose fase líquida del primero. De esta forma se consigue simplemente traspasar líquido CO₂.

En el segundo modo de operación se calienta el tanque de producto y se enfría el tanque reservorio, extrayéndose fase gaseosa del primero, con lo que se consigue el destilado de CO₂, quedando únicamente el líquido extraído del producto y el producto en sí.

Este sistema de calentamiento/enfriamiento cuenta con dos sistemas. En ambos casos se calienta/enfría agua la cual circula por tubería flexible arrollada alrededor de los

tanques, bien de almacenamiento o bien de producto ver la figura 10. El intercambio entre enfriamiento y calentamiento para uno u otro tanque se realiza de manera manual.

El sistema de calentamiento consta de un tanque de 4 litros de acero inoxidable, con una resistencia eléctrica de 1.2 kW controlada por termostato y una bomba centrífuga, de acuerdo se muestra en el esquema de la Figura 11. La temperatura de consigna del agua caliente es de 40 °C.



Figura 11. Tubo flexible enrollado en tanques
Fuente: Autor

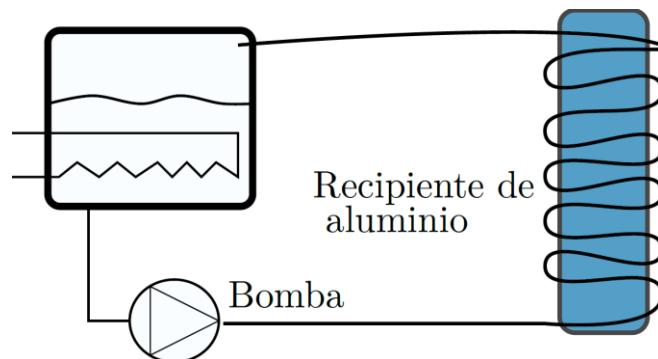


Figura 12. Esquema calentador de agua
Fuente: Autor

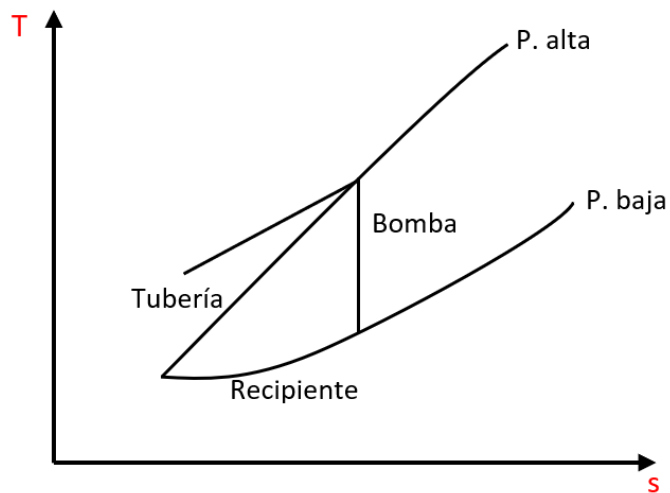


Figura 13. Diagrama T-s
Fuente: Autor

2.5.7 Sistema de enfriamiento de los tanques

El sistema frigorífico consta de un compresor de ¼ hp trabajando con R12. Se ha introducido un serpentín de 12 metros de longitud y 6.35 mm de diámetro en un tanque de agua de 25 lt. Al igual que en el caso de calentamiento, existe una bomba que impulsa al agua fría a través de tubo flexible hacia el recipiente correspondiente. El esquema del sistema de enfriamiento se puede ver en la Figura 13.

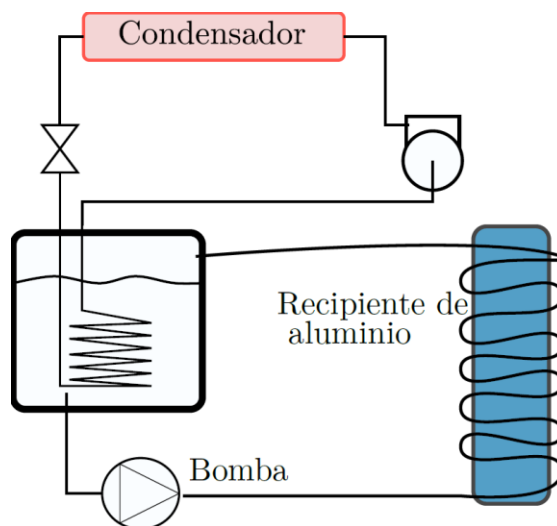


Figura 14. Esquema sistema de enfriamiento
Fuente: Autor

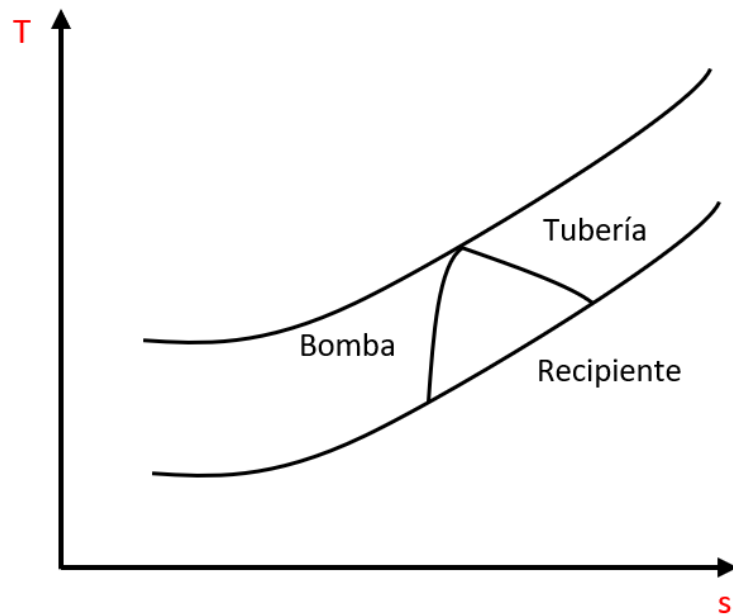


Figura 15. Diagrama T-s
Fuente: Autor

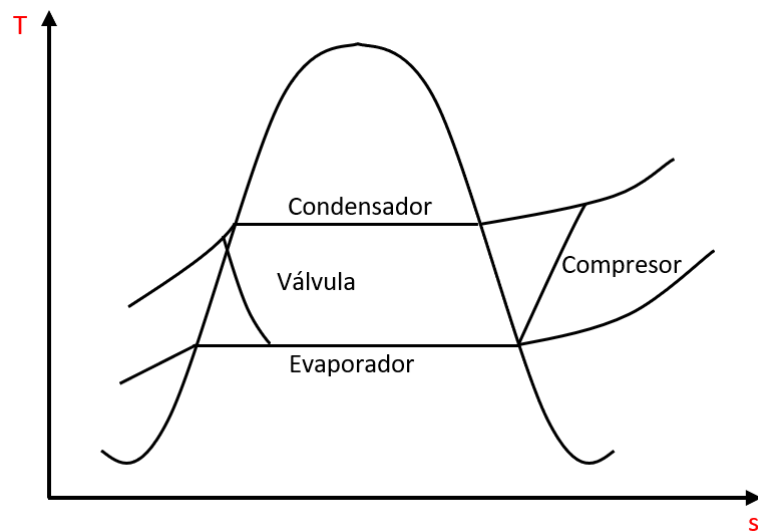


Figura 16. Diagrama T-s
Fuente: Autor

2.5.8 Resistencia de las tuberías de cobre

Para poder conectar los tanques a presión y hacer posible el paso del CO₂ se utilizaron tubería de cobre de ¼ tipo K. El espesor de pared es de 0.89mm, tiene un diámetro de 9.53mm exterior y 7.75mm interior. Con estas características la presión de trabajo que soporta la tubería es de 11.004 MPa (11bar). Como se especifica en la tabla 11.

Tabla 11. Datos de tubo de cobre

U.S. Nominal Size, in.	Wall Thickness Type	Wall Thickness t, mm	Diameter		Surface Area		Cross Section		Mass		Working Pressure ^{a,b,c} ASTM B88 to 120°C	
			Outside D, mm	Inside d, mm	Outside, m ² /m	Inside, m ² /m	Metal Area, mm ²	Flow Area, mm ²	Tube, kg/m	Water, kg/m	MPa (gage) Annealed	MPa (gage) Drawn
1/4	K	0.89	9.53	7.75	0.030	0.0244	24	47	0.216	0.047	5.868	11.004
	L	0.76	9.53	8.00	0.030	0.0230	21	30	0.188	0.030	5.033	9.432
3/8	K	1.24	12.70	10.21	0.040	0.0320	45	82	0.400	0.082	6.164	11.556
	L	0.89	12.70	10.92	0.040	0.0344	33	94	0.295	0.094	4.399	8.253
	M	0.64	12.70	11.43	0.040	0.0360	24	103	0.216	0.103	3.144	5.895
1/2	K	1.24	15.88	13.39	0.050	0.0421	57	141	0.512	0.141	4.930	9.246
	L	1.02	15.88	13.84	0.050	0.0436	48	151	0.424	0.151	4.027	7.543
	M	0.71	15.88	14.45	0.050	0.0454	34	164	0.302	0.164	2.820	5.282
5/8	K	1.24	19.05	16.56	0.060	0.0521	70	215	0.622	0.215	4.109	7.702
	L	1.07	19.05	16.92	0.060	0.0530	60	225	0.539	0.225	3.523	6.605

Fuente: [36]

2.5.9 Tolerancias de planos

Es necesario determinar una tolerancia general para el diseño de la máquina. La selección se la realiza con la utilización de la Tabla 12, obtenida del Prontuario de Maquinas de Larburu, se considera una tolerancia media:

El valor nominal de la máquina es 980mm, por lo que:

Tabla 12. Tabla de tolerancias generales

Clase de tolerancia		Desviaciones admisibles respecto al valor nominal							
Designación	Descripción	0,5 hasta 3	más de 3 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400 hasta 1000	más de 1000 hasta 2000	más de 2000 hasta 4000
		f	fina	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3
m	media	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
c	grosera	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4
v	muy grosera	-	±0,5	±1	±1,15	±2,5	±4	±6	±8

Fuente: [37]

La tolerancia seleccionada es de ± 0.8 .

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Tabla 13. Resultados de la prueba 1

FRUTA	PESO TOTAL (gr)	PESO LÍQUIDO EXTRAÍDO (gr)	PESO FINAL (gr)	PORCENTAJE DE HUMEDAD MÁXIMO TEÓRICO (%)	PESO INICIAL LÍQUIDO CONTENIDO (gr)	PORCENTAJE DE LÍQUIDO EXTRAÍDO (%)	TIEMPO (h)
AGUACATE 1	694,50	20,00	674,50	74,27	515,81	3,88	4
AGUACATE 2	696,70	24,00	672,70	74,24	517,23	4,64	4
MORA	372,10	94,30	277,80	85,64	318,67	29,59	4
FRESA	380,20	12,70	367,50	91,57	348,15	3,65	4
MANGO	771,90	183,50	588,40	81,71	630,72	29,09	4
MANZANA	382,40	39,30	343,10	83,93	320,95	12,24	4
SANDIA	540,40	229,30	311,10	91,50	494,47	46,37	4
NARANJA	717,10	5,50	711,60	79,00	566,51	0,97	4

Fuente: Autor

Tabla 14. Resultados de la prueba 2

FRUTA	PESO TOTAL (gr)	PESO EXTRAÍDO (gr)	PESO FINAL (gr)	PORCENTAJE DE HUMEDAD MÁXIMO TEÓRICO (%)	PESO PRODUCTO SIN HUMEDAD (gr)	PESO INICIAL LÍQUIDO CONTENIDO (gr)	PORCENTAJE DE LÍQUIDO EXTRAÍDO (%)	TIEMPO (h)	COCIENTE DE HUMEDAD	DIFUSIVIDAD (1/s)
MANGO	599,60	0	584,30	81,71	109,67	489,93	3,12	0	1,00	-
		15,30						1	0,96877	
		-						-	-	
		-						-	-	
		-						-	-	
MORA	468,50	0,00	285,60	85,64	67,28	401,22	45,59	0	1,00	-0,127
		52,60						1	0,86890	
		65,90						2	0,83575	
		71,20						3	0,82254	
		182,90						4	0,54414	
FRESA	403,70	0,00	370,50	91,57	34,03	369,67	8,98	0	1,00	-0,019
		1,00						1	0,99729	
		1,00						2	0,99729	
		1,70						3	0,99540	
		33,20						4	0,91019	
SANDIA	457,30	0,00	179,50	91,50	38,87	418,43	66,39	0	1,00	-0,230
		183,30						1	0,56193	
		200,30						2	0,52131	
		209,70						3	0,49884	
		277,80						4	0,33609	
MANZANA	376,50	0,00	363,70	83,93	60,50	316,00	4,05	0	1,00	-0,008
		0,20						1	0,99937	
		0,30						2	0,99905	
		0,40						3	0,99873	
		12,80						4	0,95949	
CASCARA DE NARANJA	690,10	0,00	685,30	79,00	144,92	545,18	0,88	0	1,00	-0,002
		1,20						1	0,99780	
		2,90						2	0,99468	
		3,70						3	0,99321	
		4,80						4	0,99120	

Fuente: Autor

Para poder entender mejor la tabla se establece:

Peso total: Se refiere al peso de producto medido antes de iniciar el ensayo.

Peso extraído: Se refiere a la cantidad de masa de líquido extraída del producto en cuestión, en el caso 1 se extrajo una sola masa al final de la prueba y en el caso 2 se extrajo una masa cada hora por 4 horas.

Peso final: Es la diferencia entre el peso total y el peso final extraído.

Porcentaje de humedad máxima teórica: Es el valor obtenido de [36] que se refiere al porcentaje máximo de humedad que tienen diferentes alimentos.

Peso producto sin humedad: Se refiere a la cantidad de masa libre de humedad del producto estudiado, se obtiene multiplicando el porcentaje de humedad menos 1 por el peso total del producto.

Peso inicial de líquido contenido: Se obtiene restando el peso del producto total menos el peso del producto sin humedad.

Porcentaje de líquido extraído: Este valor es una relación entre el peso de producto extraído por 100, dividido para el peso inicial de líquido contenido.

Tiempo: Es el tiempo transcurrido desde el inicio de la prueba, en la tabla 14, las extracciones fueron 4, extrayéndose una muestra cada hora.

Cociente de humedad: El modelo de secado esté en función del cociente de humedad, de acuerdo a la definición de la Eq. 9, $X = \frac{m_t - m_s}{m_T - m_s}$. El cociente de humedad x inicialmente es 1 y al final del proceso de secado debería converger a 0

Difusividad: La ecuación desarrollada por Crank es tipo exponencial de acuerdo a la Eq. 11, $X = 1 * e^{a*t}$, donde a es un término llamado habitualmente difusividad del producto.

Estando esta última relacionada con la facilidad con la que se puede establecer un flujo masico de agua dentro de la matriz del producto debido a diferencias en las concentraciones de agua dentro del producto.

En la Tabla 13 y 14 se resumen los resultados de las dos pruebas de secado efectuadas. La primera tabla se corresponde con los resultados en los que únicamente se realizó una extracción. La Tabla 13 se corresponde con los resultados en que se realizaron

extracciones múltiples. Dado que el CO₂ es menos denso que el agua, permite que la extracción se realice abriendo una llave instalada en la tapa inferior del tanque de producto. El realizar extracciones múltiples permite obtener la evolución de la cantidad de agua extraída en función del tiempo. Ello permite implementar modelo de secado existentes en la literatura para el caso particular de secado con CO₂.

De todos los productos estudiados, los tres que representan una extracción de agua considerable mostrados en la tabla 13, son la mora, el mango y la sandía, con porcentajes de extracción en masa del orden o superiores al 30%. Por el contrario, la cascara de naranja presenta la menor extracción, en torno al 1%.

Es importante mencionar que el producto de la extracción en todos los casos no es agua transparente, sino que, junto con el agua, el CO₂ extrae otros compuestos del producto. Un área de interés tanto científico como industrial es el estudio de los compuestos adicionales que arrastra el CO₂. Las frutas estudiadas, aparte de agua, contienen aceites esenciales y otros compuestos minoritarios como son antioxidantes y polifenoles. Estas sustancias son sensibles a la temperatura, degradándose por medios de secado los cuales aumenten la temperatura, que, según lo visto en la introducción, son la mayoría de los usados a nivel industrial.

Los resultados de la tabla 14 se grafican en las figuras 14, 15, 16, 17 y 18

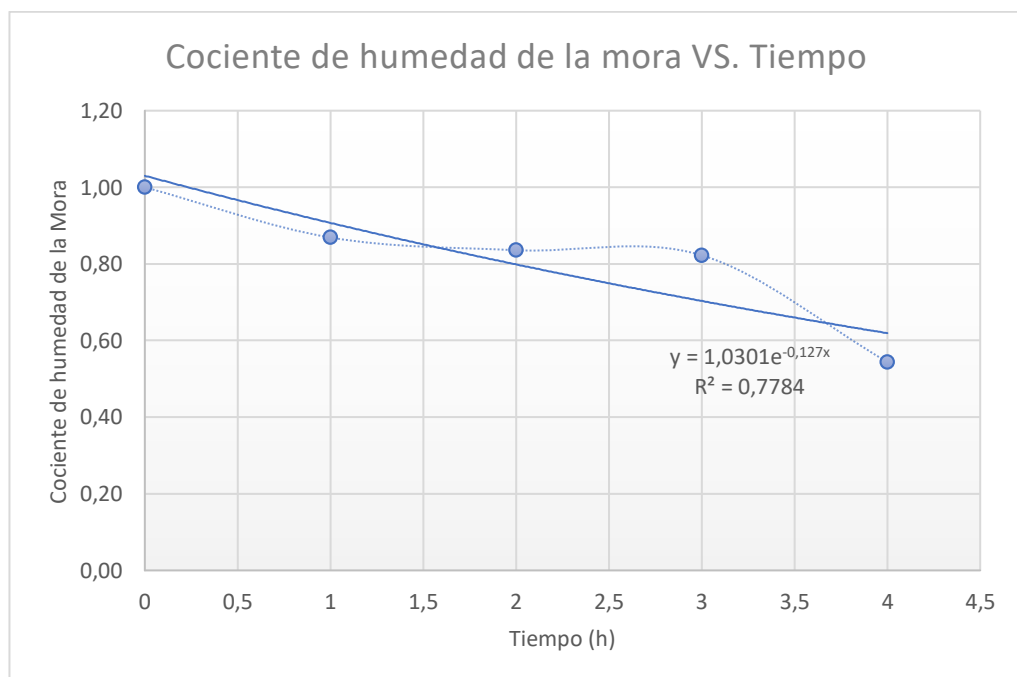


Figura 17. Cociente de humedad de la Mora vs. Tiempo

Fuente: Autor

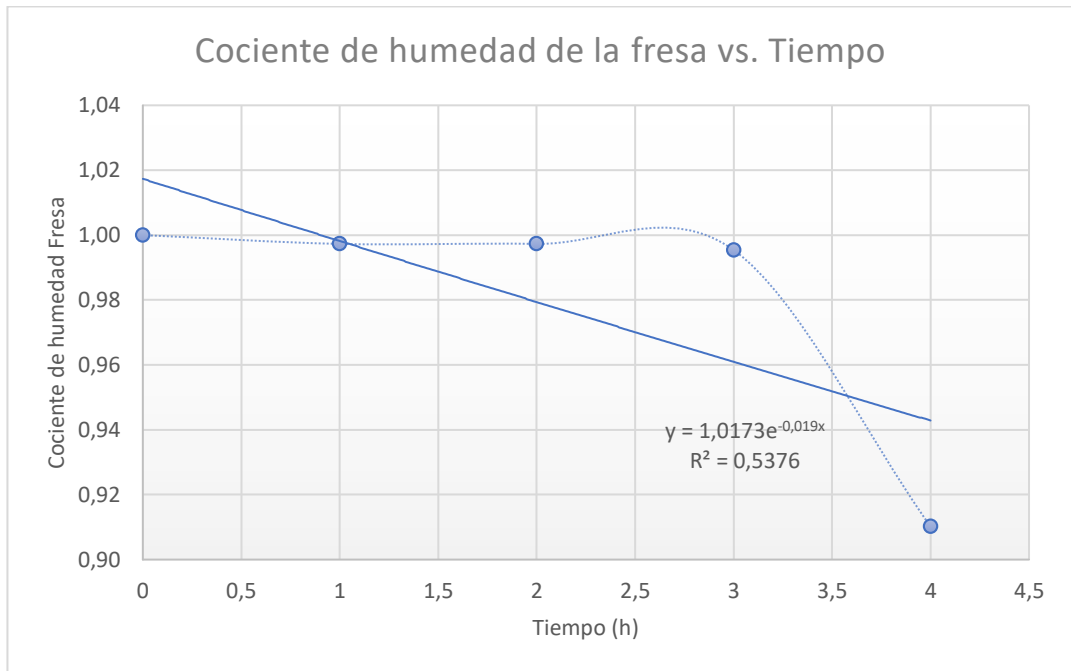


Figura 18. Cociente de humedad de la Fresa vs. Tiempo
Fuente: Autor

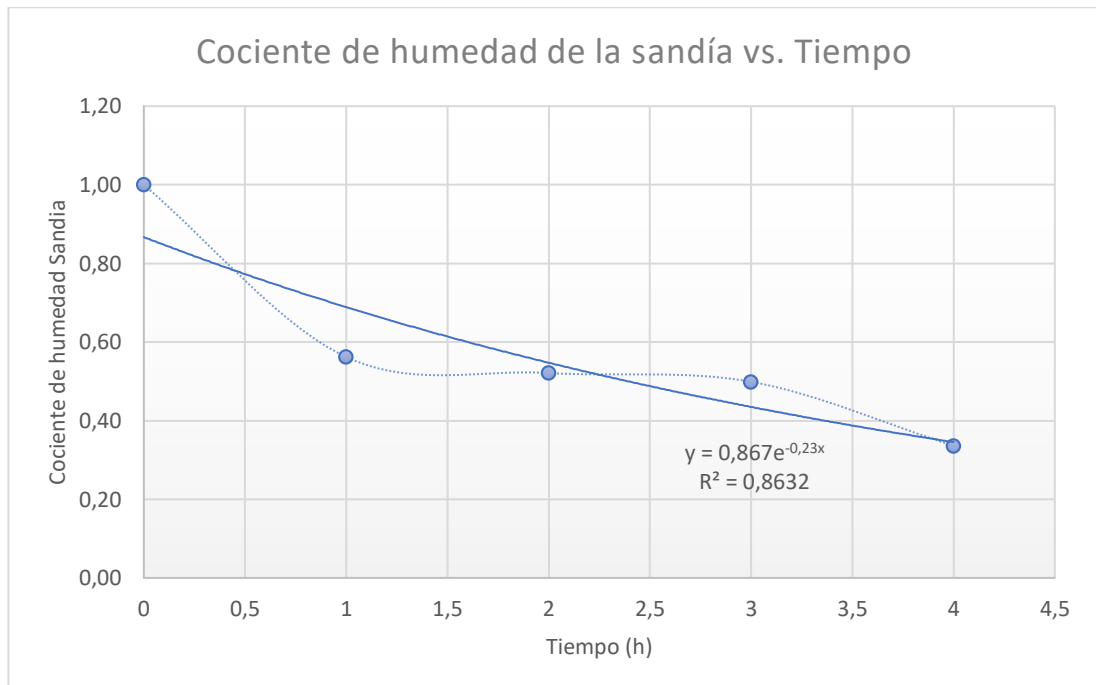


Figura 19. Cociente de humedad de la Sandía vs. Tiempo
Fuente: Autor

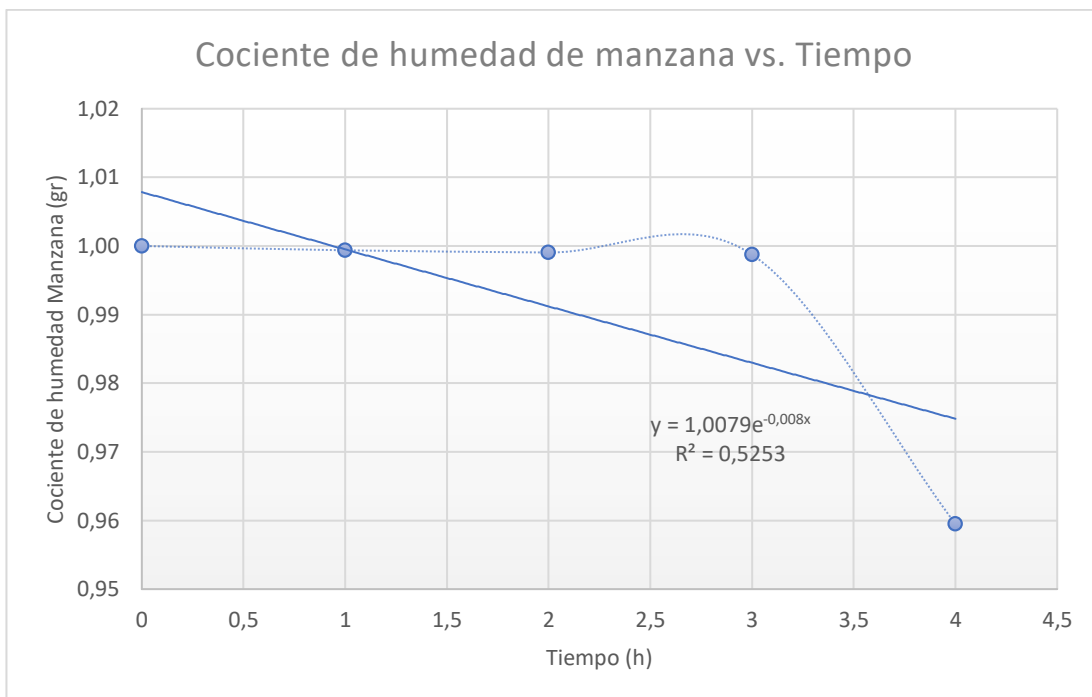


Figura 20. Cociente de humedad de la Manzana vs. Tiempo
Fuente: Autor

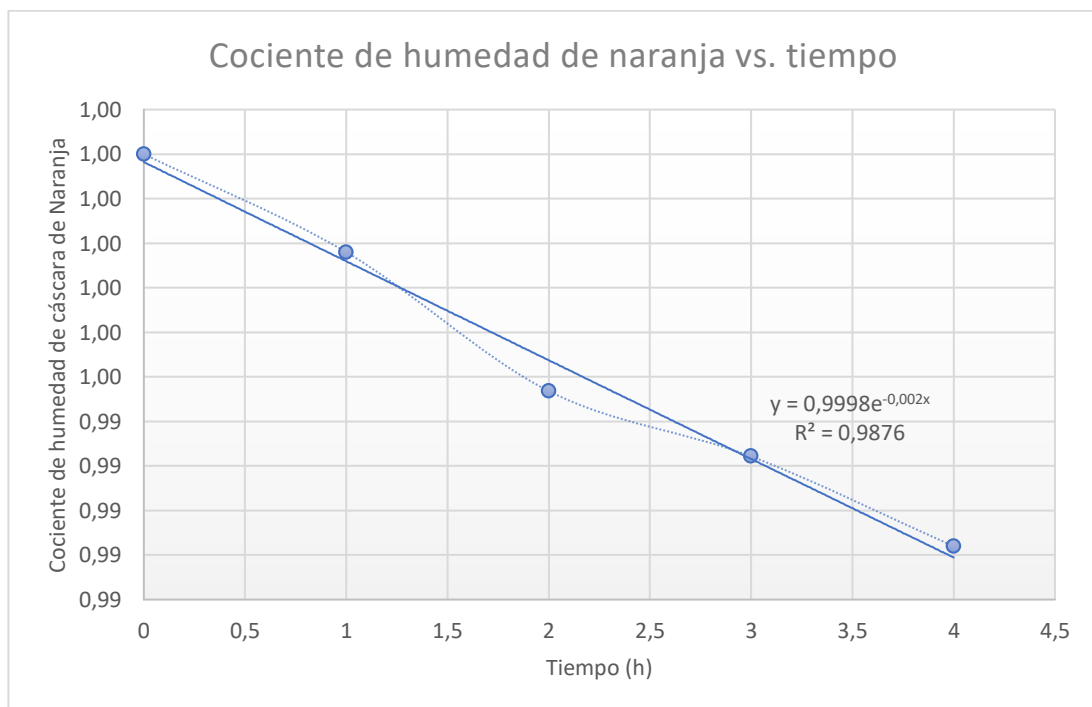


Figura 21. Cociente de humedad de la cáscara la Naranja vs. Tiempo
Fuente: Autor

En relación a los datos de secado con extracciones parciales en el tiempo, de nuevo se encuentra que para la sandía y la mora se encuentra la mayor tasa de extracción. Para el caso del mango, hubo una fuga en las tuberías del equipo durante el proceso de carga

del CO₂ que impidieron tener lecturas fiables del proceso. Los porcentajes extraídos son similares en ambos casos, lo que permite validar el proceso experimental empleado.

En procesos de sacado con aire caliente es común utilizar la expresión desarrollada por Crank [38] para el proceso de secado de un producto con coeficiente de convección de masa constante y difusividad de masa interna constante. El modelo de secado esté en función del cociente de humedad, de acuerdo a la definición de la Eq. 10, $X = \frac{m_t - m_s}{m_T - m_s}$.

El cociente de humedad x inicialmente es 1 y al final del proceso de secado debería converger a 0. La ecuación desarrollada por Crank es tipo exponencial de acuerdo a la Eq. 11 $X = 1 * e^{a*t}$, donde a es un término llamado habitualmente difusividad del producto.

Los datos medidos se han expresado en función de X y se han ploteado en función del tiempo en las Figuras 14 a la 18. Se ha ajustado la curva correspondiente por una exponencial, siendo el valor del exponente (difusividad) mostrado en la Tabla 14.

Dos comentarios se pueden realizar de este proceso de ajuste. Como era de esperar, la sandía y la mora presentan las mayores difusividades, pues fueron los casos en que la cantidad de agua extraída fue mayor. También se puede observar si bien las curvas de X empiezan en 1 y tiene un carácter descendente, el ajuste de una exponencial produce un coeficiente de determinación moderado, lo que sugiere que la transferencia de calor y masa en un medio poroso con CO₂ líquido difiere en las hipótesis del modelo de empleado por Crank. [38]

3.2 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Para verificar la Hipótesis “Un secador por inmersión en CO₂ líquido subcrítico, podrá extraer agua a diversos productos alimenticios.”, es necesario verificar el porcentaje de masa de agua extraído del total de masa de agua que tiene cada producto alimenticio, acotados en la tabla 15.

Tabla 15. Porcentaje de masa de agua extraída del producto alimenticio

ENSAYO	PRODUCTO ALIMENTICIO	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PORCENTAJE DE MASA EXTRAIDA (%)
1	AGUACATE	694,50	674,50	3,88

2		696,70	672,70	4,64
1	MORA	372,10	277,80	29,59
2		468,50	285,60	45,59
1	FRESA	380,20	367,50	3,65
2		403,70	370,50	8,98
1	MANGO	771,90	588,40	29,09
2		599,60	584,30	3,12
1	MANZANA	382,40	343,10	12,24
2		376,50	363,70	4,05
1	SANDIA	540,40	311,10	46,37
2		457,30	179,50	66,39
1	CASCARA DE NARANJA	717,10	711,60	0,97
2		690,10	685,30	0,88

Fuente: Autor

Después de verificar los porcentajes obtenidos la hipótesis es aceptada, ya que se llega a un 66.39% de masa de agua extraída en el caso de la sandía, lo que es satisfactorio, pero se sugiere que el método puede ser mejorado mediante la variación de las condiciones de operación.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Para el desarrollo de la investigación se construyó un prototipo a escala de laboratorio de secador por CO₂ subcrítico, gracias al cual se realizaron ensayos de extracción de masa de agua de productos regionales como la mora, fresa, sandía, mango, aguacate, manzana y cascara de naranja, lo que permitió en el mejor caso, la extracción del 66.39% de la masa húmeda total en el caso de la sandía y en el peor el 0.88% en el caso de la cascara de naranja.
- El diseño tanto de la estructura como de los recipientes a presión en donde se coloca el producto alimenticio y el CO₂, se realizó con éxito, obteniendo un espesor de pared del tanque de 7.7mm, con la cual el mismo soporta un esfuerzo circunferencial de 85.40 MPa, un esfuerzo longitudinal de 42.70 MPa y una resistencia hasta 12 MPa de presión, con la que se asegura la seguridad del operador de la maquina ya que la presión de trabajo es de hasta 60 psi (6 MPa).
- El uso de CO₂ subcrítico para la extracción de masa de agua de productos alimenticios posibilita el estudio de la composición del líquido extraído, debido a que mediante las pruebas realizadas se identificó que el mismo no era solo agua, sino que consigo trae sustancias de los alimentos, los cuales en el mercado son muy valiosos. Sería del mayor interés posible el estudio de la composición del líquido extraído. Actualmente en la UTA, Facultad de Ciencia E Ingeniería en Alimentos, existe el equipo necesario para la caracterización de dichas sustancias (aceites, antioxidantes y polifenoles). Siendo el estudio de extractos en CO₂ subcrítico una rama de investigación a penas tratada en revistas especializadas.
- Se comprobó que mecánicamente el diseño propuesto cumple con las exigencias del proceso de secado con CO₂ subcrítico.
- El modelo de Crank permite describir de manera cualitativa el proceso de secado mediante inmersión por CO₂ subcrítico. Sin embargo, es necesario el desarrollo de

un modelo matemático más complejo, para dar un significado físico a las difusividades encontradas.

4.2 RECOMENDACIONES

- De acuerdo con el estudio realizado es necesario realizar el estudio de más productos alimenticios con diferentes características y de otros sectores del Ecuador, además, realizar pruebas adicionales con variaciones en las condiciones operacionales.
- Con el fin de llevar a cabo una caracterización de las sustancias extraídas de los productos alimenticios, es necesaria una colaboración con la FCIAL, ya que el campo de estudio sería un tema muy interesante para sus estudiantes.
- Modelar el proceso de transferencia de calor y masa en un medio poroso con CO₂.
- Debido a que la extracción del producto secado al final del proceso, se lo realizaba de manera manual, existe un error de ± 10 gr de producto.

4.3 BIBLIOGRAFÍA:

[1] C. X. Tan, G. H. Chong, H. Hamzah, H. M. Ghazali, "Comparison of subcritical CO₂ and ultrasound-assisted aqueous methods with the conventional solvent method in the extraction of avocado oil," *Journal of Supercritical Fluids*, 2018, 45-51.

[2] P.K. Rout, S.N. Naik, Y.R. Rao, "Subcritical CO₂ extraction of floral fragrance from *Quisqualis indica*," *Journal of Supercritical Fluids*. 2018, 200-205.

[3] R. Zagorscak, H. R. Thomas. "Effects of subcritical and supercritical CO₂ sorption on deformation and failure of high-rank coals," *International Journal of Coal Geology*. 2018. 113-123.

[4] O. Babova, A. Occhipinti, A. Capuzzo, M. E. Maffei, "Extraction of bilberry (*Vaccinium myrtillus*) Antioxidants using supercritical/subcritical CO₂ and ethanol as co-solvent," 2016, 358-363.

[5] V. Illes, H.G Daood, S. Perneczki, L. Szokonya, M. Then, "Extraction of coriander seed oil by CO₂ and propane at super- and subcritical conditions," *Journal of Supercritical Fluids*, 2000, 177-186.

- [6] H. M. Powell, O. Ayodeji, T. L. Summerfield, D. M. Powell, D. A. Kniss, D. L. Tomasko, J. J. Lannutti, “Chemotherapeutic implants via subcritical CO₂ modification,” *Biomaterials*, 2007, 5562-5569.
- [7] P.K. Rout, S.N. Naik, Y.R. Rao, G. Jadeja, R.C. Maheshwari, “Extraction and composition of volatiles from *Zanthoxylum rhesa*: Comparison of subcritical CO₂ and traditional processes,” *Journal of Supercritical Fluids*, 2007, 334-341.
- [8] J. Aguado, J. A. Calles, P. Cañizares, B. López, A. Santos, D. Serrano. *Ingeniería de la industria alimenticia - Operaciones de conservación de alimentos*, Ed. Síntesis, vol. III, España, 1999.
- [9] T. Sagua, “Actividad de Agua (a_w) en Alimentos,” 2017. Recuperado el 30 de octubre de 2019. [En línea]. Disponible en: <http://laenciclopediagalactica.info/2017/11/28/actividad-de-agua-aw-en-alimentos/>
- [10] Datta, A., 2007. Porous media approaches to studying simultaneous heat and mass transfer in food processes. i: problem formulations. *J. Food Eng.* 80, 80e95
- [11] A. Cabrera, “El efecto de la temperatura de operación sobre el proceso de secado en un lecho fluidizado a vacío empleando vapor sobrecalentado para diferentes tipos de partículas,” Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Universidad de las Américas Puebla, Puebla, México, 2004.
- [12] UNAM, “Procesos de separación II,” 2013. Recuperado el 31 de octubre del 2019. [En línea]. Disponible en: <http://depa.fquim.unam.mx/procesos/PDF/Procesos%20II.pdf>
- [13] P. Maupoey, A. Andrés, J. Barat, A. Albors, “*Introducción al secado de alimentos por aire caliente*,” Ed. Universitat Politècnica de Valencia, España, 2001.
- [14] D. Mazariegos, “Secado de Arroz con Cascara en un lecho fluidizado al vacío, empleado vapor sobrecalentado,” Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Universidad de las Américas Puebla, Puebla, México, 2006.
- [15] M. Parzanese, “Tecnologías para Industria Alimentaria Liofilización de alimentos,” 2012. Recuperado el 01 de noviembre, [En línea]. Disponible en: http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_03_Liofilizados.pdf

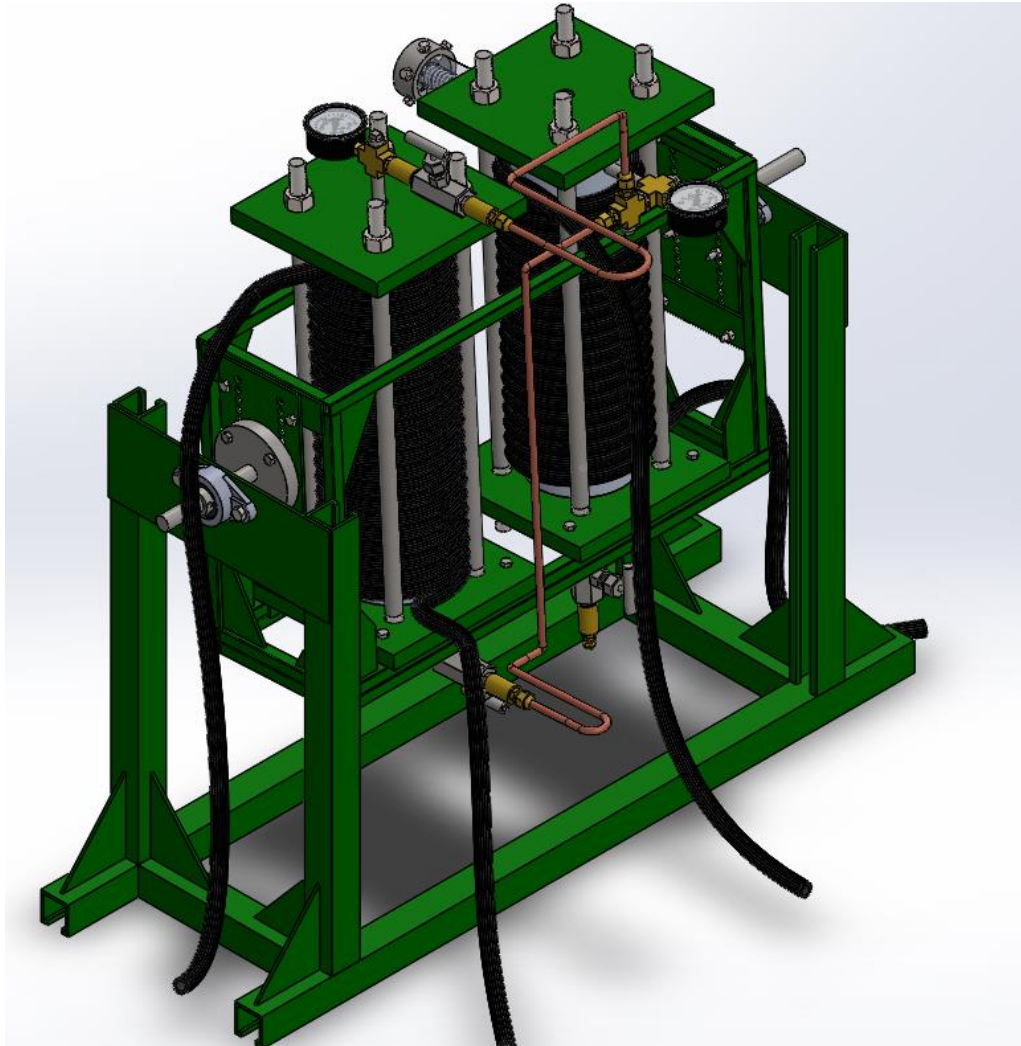
- [16] L. W. Diamond, N. N. Akinfiyev, “Solubility of CO₂ in water from – 1.5 to 100 °C and from 0.1 to 100 MPa: evaluation of literature data and thermodynamic modelling,” *Fluid Phase Equilibria*, 2003, 265-290.
- [17] CAMACHO B., S. Y D. RIOS-CASTAÑO. 1972, “Variedades de aguacate para el trópico. *Revista ICVS* 7(1): 11-3,” 2003. Recuperado el 02 de noviembre de 2019. [En línea]. Disponible en: http://www.avocadosource.com/wac5/papers/wac5_p143.pdf
- [18] Ripley Believes, “Los países productores de aguacate más grandes del mundo,” 2019. Recuperado el 02 de noviembre de 2019. [En línea]. Disponible en: <https://es.ripleybelieves.com/biggest-avocado-producing-countries-in-world-1901>
- [19] Y. Y. Cárdenas, “Evaluación agronómica y fenología de dos clones de mora sin espinas (*Rubus glactus* Benth) para determinar su potencial comercial. Tumbaco, Ecuador,” Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2013.
- [20] G. R. Villareal, “Investigación de la mora y propuesta gastronómica,” Tesis de grado, Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador, 2014.
- [21] Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, “El cultivo de la mora en el Ecuador,” 2016. Recuperado el 03 de diciembre de 2019. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/4052/1/iniapscCD104p27.pdf>
- [22] D. G. Salinas, “Evaluación de dos fosfitos en la incidencia de Mildiu Velloso (*Peronospora sp*) en el cultivo de mora de castilla (*Rubus glaucus* B),” Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2014.
- [23] SIPSA, “El cultivo de mora de Castilla (*Rubus glucus* Benth) frutal de clima frío moderado, con propiedades curativas para la salud humana,” 2013. Recuperado el 03 de noviembre del 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_nov_2013.pdf
- [24] cereArt, “Mora Deshidratada,” 2019. Recuperado el 03 de noviembre del 2019. [En línea]. Disponible en: <https://cereart.com/tienda/mora-deshidratada/>

- [25] Trichodex, “Cultivo de la fresa en España: Variedades y ciclo de producción,” 2016. Recuperado el 03 de noviembre de 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.trichodex.com/cultivo-de-la-fresa-en-espana-variedades-y-ciclo-de-produccion/>
- [26] Froitasxeitosina, “Fresa deshidratada,” Recuperado el 03 de noviembre de 2019. [En línea]. Disponible en: <http://www.froitasxeitosina.com/tienda/productos/fresa-deshidratada>
- [27] Frutas y Hortalizas, “Mango, magnifera indica / anacardiaceae,” 2019. Recuperado el 03 de noviembre de 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Origen-produccion-Mango.html>
- [28] Frutireyes, “Mango deshidratado,” 2018. Recuperado el 03 de noviembre de 2019. [En línea]. Disponible en: <http://www.frutireyes.com/esp/product/mango-deshidratado/>
- [29] M. A. Flores, Producción de Manzana, Sucre, Bolivia, 2014.
- [30] El Comercio, “La producción local de manzanas no puede cubrir la demanda todo el año. Recuperado el 04 de noviembre del 2019,” 2015. Recuperado el 03 de noviembre del 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/manzanas-produccion-local-salvaguardias-ecuador.html>
- [31] P. Abarca., INIAN Rayentué, Manual de manejo agronómico para cultivo de sandía, Santiago, Chile, 2017.
- [32] Anuario FAO de Comercio. “Sandia, citrullus lanatus / cucurbitaceae,” 2000. Recuperado el 04 de noviembre del 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Origen-produccion-Sandia.html>
- [33] Frutas consumer, “Naranja,” 2011. Recuperado el 03 de noviembre de 2019. [En línea], Disponible en: [https://www.ecured.cu/Naranja_\(fruta\)](https://www.ecured.cu/Naranja_(fruta))
- [34] Frutas y Hortalizas, “Naranja, citrus sinensis / rutaceae,” 2018. Recuperado el 03 de noviembre de 2019. [En línea], Disponible en: <https://frutas.consumer.es/naranja/propiedades>

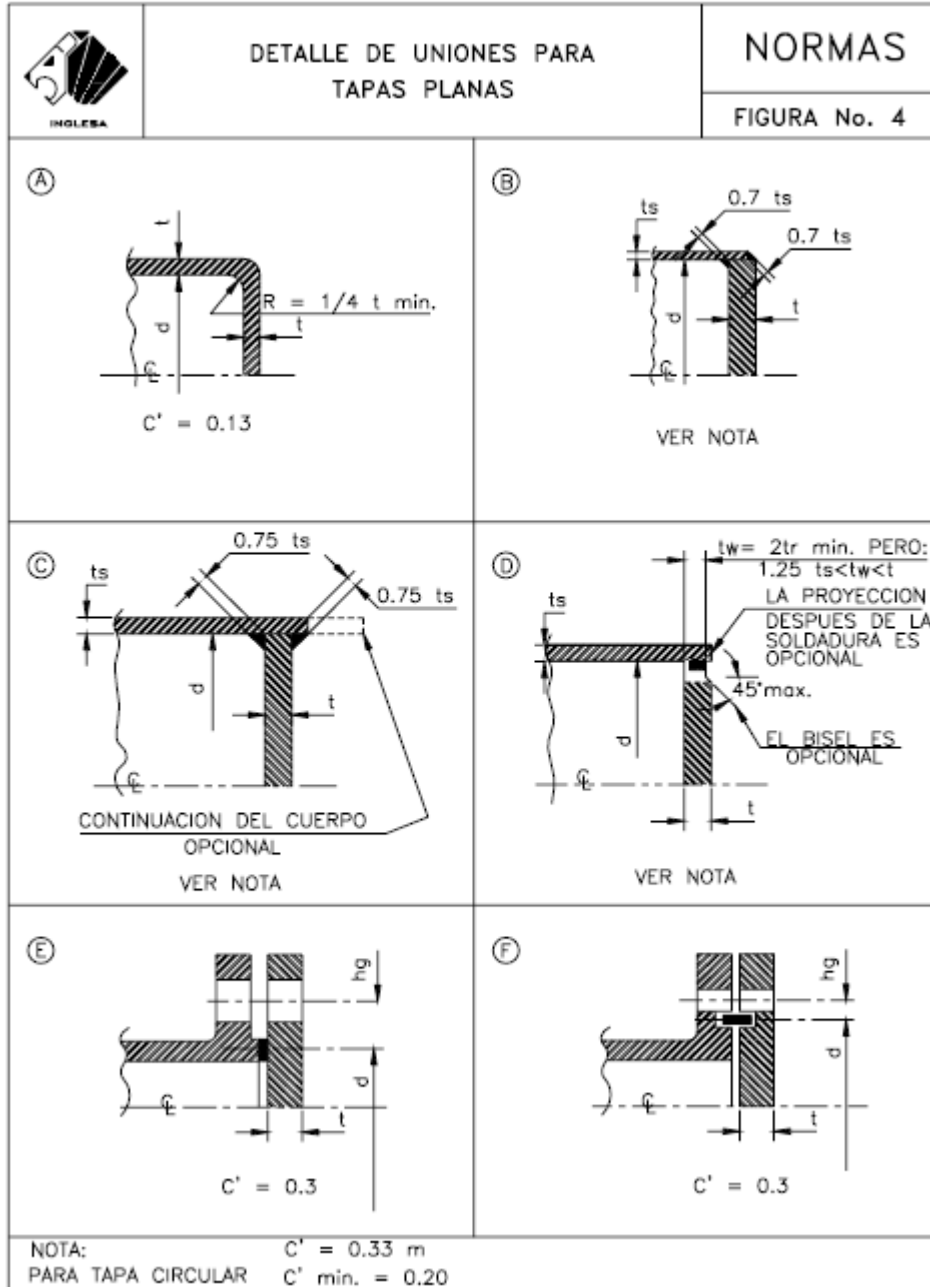
- [35] Tormetal, “Propiedades Mecánicas de Bulones, Tornillos y Espárragos,” Apartado técnico, Dexter Fastener Technologies, Inc. USA, 2012.
- [36] ASHRAE Handbook Staff, “HVAC Systems and Equipment (SI),” 2008. pp. 291.
- [37] N. Larburu, “Maquinas prontuario. Técnicas, maquinas, herramientas,” España: Paraninfo, 2003.
- [38] Crank, J., 1975. The Mathematics of Diffusion, 2 ed. Clarendon Press, Oxford, United Kingdom.

ANEXOS

Anexo 1: Esquema secador de alimentos



Anexo 2: Detalle de uniones para tapas planas



Anexo 3: Datos de los tubos de cobre

Table 3 Copper Tube Data

U.S. Nominal Size, in.	Wall Thickness t , mm	Type	Diameter		Surface Area		Cross Section		Mass		Working Pressure ^{a,b,c} ASTM B88 to 120°C	
			Outside D , mm	Inside d , mm	Outside, m ² /m	Inside, m ² /m	Metal Area, mm ²	Flow Area, mm ²	Tube, kg/m	Water, kg/m	MPa (gage) Annealed	Drawn
1/4	0.89	K	9.53	7.75	0.030	0.0244	24	47	0.216	0.047	5.868	11.004
	0.76	L	9.53	8.00	0.030	0.0250	21	50	0.188	0.050	5.033	9.432
3/8	1.24	K	12.70	10.21	0.040	0.0320	45	82	0.400	0.082	6.164	11.556
	0.89	L	12.70	10.92	0.040	0.0344	33	94	0.295	0.094	4.399	8.253
	0.64	M	12.70	11.43	0.040	0.0360	24	103	0.216	0.103	3.144	5.895
1/2	1.24	K	15.88	13.39	0.050	0.0421	57	141	0.512	0.141	4.930	9.246
	1.02	L	15.88	13.84	0.050	0.0436	48	151	0.424	0.151	4.027	7.543
	0.71	M	15.88	14.45	0.050	0.0454	34	164	0.302	0.164	2.820	5.282
5/8	1.24	K	19.05	16.56	0.060	0.0521	70	215	0.622	0.215	4.109	7.702
	1.07	L	19.05	16.92	0.060	0.0530	60	225	0.539	0.225	3.523	6.605
3/4	1.65	K	22.23	18.92	0.070	0.0594	106	281	0.954	0.281	4.668	8.757
	1.14	L	22.23	19.94	0.070	0.0628	75	312	0.677	0.312	3.234	6.061
	0.81	M	22.23	20.60	0.070	0.0646	55	333	0.488	0.333	2.303	4.309
1	1.65	K	28.58	25.27	0.090	0.0792	139	502	1.249	0.502	3.634	6.812
	1.27	L	28.58	26.04	0.090	0.0817	109	532	0.973	0.532	2.792	5.240
	0.89	M	28.58	26.80	0.090	0.0841	77	564	0.691	0.564	1.958	3.668
1-1/4	1.65	K	34.93	31.62	0.110	0.0994	173	785	1.543	0.785	2.972	5.571
	1.40	L	34.93	32.13	0.110	0.1009	147	811	1.316	0.811	2.517	4.716
	1.07	M	34.93	32.79	0.110	0.1030	114	845	1.015	0.845	1.924	3.599
1-1/2	1.02	DWV	34.93	32.89	0.110	0.1033	108	850	0.967	0.850	1.827	3.427
	1.83	K	41.28	37.62	0.130	0.1183	226	1 111	2.025	1.111	2.786	5.226
	1.52	L	41.28	38.23	0.130	0.1201	190	1 148	1.701	1.148	2.324	4.351
2	1.24	M	41.28	38.79	0.130	0.1219	157	1 181	1.399	1.182	1.896	3.558
	1.07	DWV	41.28	39.14	0.130	0.1228	135	1 203	1.204	1.203	1.627	3.048
	2.11	K	53.98	49.76	0.170	0.1564	343	1 945	3.070	1.945	2.455	4.606
2-1/2	1.78	L	53.98	50.42	0.170	0.1585	292	1 997	2.606	1.997	2.069	3.951
	1.47	M	53.98	51.03	0.170	0.1603	243	2 045	2.171	2.045	1.717	3.220
	1.07	DWV	53.98	51.84	0.170	0.1628	177	2 111	1.585	2.111	1.241	2.331
3	2.41	K	66.68	61.85	0.209	0.1942	487	3 004	4.35	3.004	2.275	4.268
	2.03	L	66.68	62.61	0.209	0.1966	413	3 079	3.69	3.079	1.917	3.592
	1.65	M	66.68	63.37	0.209	0.1990	337	3 154	3.02	3.154	1.558	2.917
3-1/2	2.77	K	79.38	73.84	0.249	0.2320	666	4 282	5.96	4.282	2.193	4.109
	2.29	L	79.38	74.80	0.249	0.2350	554	4 395	4.95	4.395	1.813	3.392
	1.83	M	79.38	75.72	0.249	0.2378	446	4 503	3.98	4.503	1.448	2.717
4	1.14	DWV	79.38	77.09	0.249	0.2423	281	4 667	2.51	4.667	0.903	1.696
	3.05	K	92.08	85.98	0.289	0.2701	852	5 806	7.62	5.806	2.082	3.903
	2.54	L	92.08	87.00	0.289	0.2733	714	5 944	6.39	5.944	1.738	3.254
5	2.11	M	92.08	87.86	0.289	0.2761	596	6 063	5.33	6.063	1.441	2.703
	3.40	K	104.78	97.97	0.329	0.3078	1084	7 538	9.69	7.538	2.041	3.827
	2.79	L	104.78	99.19	0.329	0.3115	895	7 727	8.00	7.727	1.675	3.144
6	2.41	M	104.78	99.95	0.329	0.3139	776	7 846	6.94	7.846	1.448	2.717
	1.47	DWV	104.78	101.83	0.329	0.3200	478	8 144	4.27	8.144	0.883	1.655
	4.06	K	130.18	122.05	0.409	0.3834	1610	11 699	14.39	11.70	1.965	3.682
7	3.18	L	130.18	123.83	0.409	0.3889	1266	12 042	11.32	12.04	1.531	2.875
	2.77	M	130.18	124.64	0.409	0.3917	1108	12 201	9.91	12.20	1.338	2.510
	1.83	DWV	130.18	126.52	0.409	0.3975	737	12 572	6.59	12.57	0.883	1.655
8	4.88	K	155.58	145.82	0.489	0.4581	2309	16 701	20.64	16.70	1.972	3.696
	3.56	L	155.58	148.46	0.489	0.4663	1698	17 311	15.18	17.31	1.434	2.696
	3.10	M	155.58	149.38	0.489	0.4694	1484	17 525	13.27	17.53	1.255	2.351
9	2.11	DWV	155.58	151.36	0.489	0.4755	1016	17 993	9.09	17.99	0.855	1.600
	6.88	K	206.38	192.61	0.648	0.6050	4314	29 137	38.56	29.14	2.096	3.930
	5.08	L	206.38	196.22	0.648	0.6163	3212	30 238	28.71	30.24	1.544	2.903
10	4.32	M	206.38	197.74	0.648	0.6212	2741	30 710	24.50	30.71	1.317	2.468
	2.77	DWV	206.38	200.84	0.648	0.6309	1771	31 680	15.83	31.62	0.841	1.579
	8.59	K	257.18	240.00	0.808	0.7541	6705	45 241	59.93	45.15	2.096	3.937
11	6.35	L	257.18	244.48	0.808	0.7681	5004	46 942	44.73	46.94	1.551	2.910
	5.38	M	257.18	246.41	0.808	0.7742	4259	47 686	38.07	47.69	1.317	2.468
	10.29	K	307.98	287.40	0.968	0.9028	9621	64 873	85.99	64.87	2.103	3.937
12	7.11	L	307.98	293.75	0.968	0.9229	6722	67 771	60.09	67.77	1.455	2.724
	6.45	M	307.98	295.07	0.968	0.9269	6112	68 382	54.63	68.38	1.317	2.468

^aWhen using soldered or brazed fittings, the joint determines the limiting pressure. ^bIf soldered or brazed fittings are used on hard drawn tubing, use the annealed ratings. ^cWorking pressures were calculated using ASME Standard B31.9 allowable stresses. A Full-tube allowable pressures can be used with suitably rated flare or compression-type fittings. 5% mill tolerance has been used on the wall thickness. Higher tube ratings can be calculated using the allowable stress for lower temperatures.

Anexo 4: Ruptura de la tubería de cobre en la prueba 2 del mango



Anexo 5: Porcentaje de humedad del producto alimenticio a ensayarse

Thermal Properties of Foods

19.3

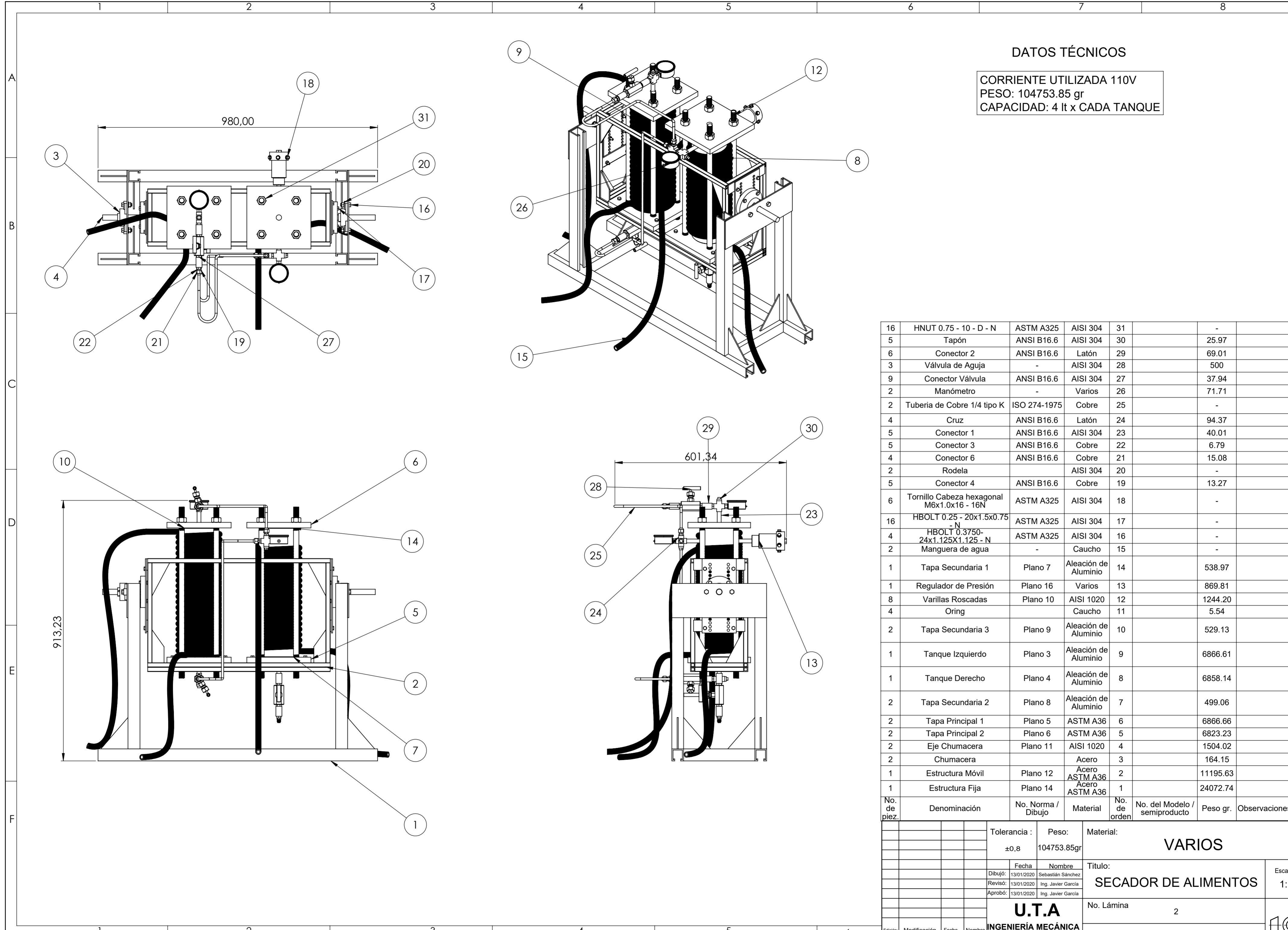
Table 3 Unfrozen Composition Data, Initial Freezing Point, and Specific Heats of Foods*

Food Item	Moisture Content, Protein, Fat, %			Carbohydrate			Initial Freezing Point, °C	Specific Heat Above Freezing, kJ/(kg·K)	Specific Heat Below Freezing, kJ/(kg·K)	Latent Heat of Fusion, kJ/kg
	x_{wo}	x_p	x_f	Total, % x_c	Fiber, % x_{β}	Ash, % x_a				
Vegetables										
Artichokes, globe	84.94	3.27	0.15	10.51	5.40	1.13	-1.2	3.90	2.02	284
Jerusalem	78.01	2.00	0.01	17.44	1.60	2.54	-2.5	3.63	2.25	261
Asparagus	92.40	2.28	0.20	4.54	2.10	0.57	-0.6	4.03	1.79	309
Beans, snap	90.27	1.82	0.12	7.14	3.40	0.66	-0.7	3.99	1.85	302
lima	70.24	6.84	0.86	20.16	4.90	1.89	-0.6	3.52	2.07	235
Beets	87.58	1.61	0.17	9.56	2.80	1.08	-1.1	3.91	1.94	293
Broccoli	90.69	2.98	0.35	5.24	3.00	0.92	-0.6	4.01	1.82	303
Brussels sprouts	86.00	3.38	0.30	8.96	3.80	1.37	-0.8	3.90	1.91	287
Cabbage	92.15	1.44	0.27	5.43	2.30	0.71	-0.9	4.02	1.85	308
Carrots	87.79	1.03	0.19	10.14	3.00	0.87	-1.4	3.92	2.00	293
Cauliflower	91.91	1.98	0.21	5.20	2.50	0.71	-0.8	4.02	1.84	307
Celeriac	88.00	1.50	0.30	9.20	1.80	1.00	-0.9	3.90	1.89	294
Celery	94.64	0.75	0.14	3.65	1.70	0.82	-0.5	4.07	1.74	316
Collards	90.55	1.57	0.22	7.11	3.60	0.55	-0.8	4.01	1.86	302
Corn, sweet, yellow	75.96	3.22	1.18	19.02	2.70	0.62	-0.6	3.62	1.98	254
Cucumbers	96.01	0.69	0.13	2.76	0.80	0.41	-0.5	4.09	1.71	321
Eggplant	92.03	1.02	0.18	6.07	2.50	0.71	-0.8	4.02	1.83	307
Endive	93.79	1.25	0.20	3.35	3.10	1.41	-0.1	4.07	1.69	313
Garlic	58.58	6.36	0.50	33.07	2.10	1.50	-0.8	3.17	2.19	196
Ginger, root	81.67	1.74	0.73	15.09	2.00	0.77	—	3.75	1.94	273
Horseradish	78.66	9.40	1.40	8.28	2.00	2.26	-1.8	3.70	2.12	263
Kale	84.46	3.30	0.70	10.01	2.00	1.53	-0.5	3.82	1.86	282
Kohlrabi	91.00	1.70	0.10	6.20	3.60	1.00	-1.0	4.02	1.90	304
Leeks	83.00	1.50	0.30	14.15	1.80	1.05	-0.7	3.77	1.91	277
Lettuce, iceberg	95.89	1.01	0.19	2.09	1.40	0.48	-0.2	4.09	1.65	320
Mushrooms	91.81	2.09	0.42	4.65	1.20	0.89	-0.9	3.99	1.84	307
Okra	89.58	2.00	0.10	7.63	3.20	0.70	-1.8	3.97	2.05	299
Onions	89.68	1.16	0.16	8.63	1.80	0.37	-0.9	3.95	1.87	300
dehydrated flakes	3.93	8.95	0.46	83.28	9.20	3.38	—	—	—	13
Parsley	87.71	2.97	0.79	6.33	3.30	2.20	-1.1	3.93	1.94	293
Parasnips	79.53	1.20	0.30	17.99	4.90	0.98	-0.9	3.74	2.02	266
Peas, green	78.86	5.42	0.40	14.46	5.10	0.87	-0.6	3.75	1.98	263
Peppers, freeze-dried	2.00	17.90	3.00	68.70	21.30	8.40	—	—	—	7
sweet, green	92.19	0.89	0.19	6.43	1.80	0.30	-0.7	4.01	1.80	308
Potatoes, main crop	78.96	2.07	0.10	17.98	1.60	0.89	-0.6	3.67	1.93	264
sweet	72.84	1.65	0.30	24.28	3.00	0.95	-1.3	3.48	2.09	243
Pumpkins	91.60	1.00	0.10	6.50	0.50	0.80	-0.8	3.97	1.81	306
Radishes	94.84	0.60	0.54	3.59	1.60	0.54	-0.7	4.08	1.77	317
Rhubarb	93.61	0.90	0.20	4.54	1.80	0.76	-0.9	4.05	1.83	313
Rutabaga	89.66	1.20	0.20	8.13	2.50	0.81	-1.1	3.96	1.92	299
Salsify (vegetable oyster)	77.00	3.30	0.20	18.60	3.30	0.90	-1.1	3.65	2.05	257
Spinach	91.58	2.86	0.35	3.50	2.70	1.72	-0.3	4.02	1.75	306
Squash, summer	94.20	0.94	0.24	4.04	1.90	0.58	-0.5	4.07	1.74	315
winter	87.78	0.80	0.10	10.42	1.50	0.90	-0.8	3.89	1.87	293
Tomatoes, mature green	93.00	1.20	0.20	5.10	1.10	0.50	-0.6	4.02	1.77	311
ripe	93.76	0.85	0.33	4.64	1.10	0.42	-0.5	4.08	1.79	313
Turnip	91.87	0.90	0.10	6.23	1.80	0.70	-1.1	4.00	1.88	307
greens	91.07	1.50	0.30	5.73	3.20	1.40	-0.2	4.01	1.74	304
Watercress	95.11	2.30	0.10	1.29	1.50	1.20	-0.3	4.08	1.69	318
Yams	69.60	1.53	0.17	27.89	4.10	0.82	—	3.47	2.06	232
Fruits										
Apples, fresh	83.93	0.19	0.36	15.25	2.70	0.26	-1.1	3.81	1.98	280
dried	31.76	0.93	0.32	65.89	8.70	1.10	—	2.57	2.84	106
Apricots	86.35	1.40	0.39	11.12	2.40	0.75	-1.1	3.87	1.95	288
Avocados	74.27	1.98	15.32	7.39	5.00	1.04	-0.3	3.67	1.98	248
Bananas	74.26	1.03	0.48	23.43	2.40	0.80	-0.8	3.56	2.03	248
Blackberries	85.64	0.72	0.39	12.76	5.30	0.48	-0.8	3.91	1.94	286
Blueberries	84.61	0.67	0.38	14.13	2.70	0.21	-1.6	3.83	2.06	283
Cantaloupes	89.78	0.88	0.28	8.36	0.80	0.71	-1.2	3.93	1.91	300
Cherries, sour	86.13	1.00	0.30	12.18	1.60	0.40	-1.7	3.85	2.05	288
sweet	80.76	1.20	0.96	16.55	2.30	0.53	-1.8	3.73	2.12	270
Cranberries	86.54	0.39	0.20	12.68	4.20	0.19	-0.9	3.91	1.93	289

Table 3 Unfrozen Composition Data, Initial Freezing Point, and Specific Heats of Foods* (Continued)

Food Item	Moisture	Protein,	Fat, %	Carbohydrate			Initial	Specific Heat	Specific Heat	Latent
	Content,	%		Total, %	Fiber, %	Ash, %				
	%	%	%	%	%	%	Point,	Freezing,	Freezing,	Fusion,
	x_{wo}	x_p	x_f	x_c	x_{β}	x_a	°C	kJ/(kg·K)	kJ/(kg·K)	kJ/kg
Currants, European black	81.96	1.40	0.41	15.38	0.00	0.86	-1.0	3.71	1.95	274
red and white	83.95	1.40	0.20	13.80	4.30	0.66	-1.0	3.85	1.98	280
Dates, cured	22.50	1.97	0.45	73.51	7.50	1.58	-15.7	2.31	2.30	75
Figs, fresh	79.11	0.75	0.30	19.18	3.30	0.66	-2.4	3.70	2.25	264
dried	28.43	3.05	1.17	65.35	9.30	2.01	—	2.51	4.13	95
Gooseberries	87.87	0.88	0.58	10.18	4.30	0.49	-1.1	3.95	1.96	293
Grapefruit	90.89	0.63	0.10	8.08	1.10	0.31	-1.1	3.96	1.89	304
Grapes, American	81.30	0.63	0.35	17.15	1.00	0.57	-1.6	3.71	2.07	272
European type	80.56	0.66	0.58	17.77	1.00	0.44	-2.1	3.70	2.16	269
Lemons	87.40	1.20	0.30	10.70	4.70	0.40	-1.4	3.94	2.02	292
Limes	88.26	0.70	0.20	10.54	2.80	0.30	-1.6	3.93	2.03	295
Mangos	81.71	0.51	0.27	17.00	1.80	0.50	-0.9	3.74	1.95	273
Melons, casaba	92.00	0.90	0.10	6.20	0.80	0.80	-1.1	3.99	1.87	307
honeydew	89.66	0.46	0.10	9.18	0.60	0.60	-0.9	3.92	1.86	299
watermelon	91.51	0.62	0.43	7.18	0.50	0.26	-0.4	3.97	1.74	306
Nectarines	86.28	0.94	0.46	11.78	1.60	0.54	-0.9	3.86	1.90	288
Olives	79.99	0.84	10.68	6.26	3.20	2.23	-1.4	3.76	2.07	267
Oranges	82.30	1.30	0.30	15.50	4.50	0.60	-0.8	3.81	1.96	275
Peaches, fresh	87.66	0.70	0.90	11.10	2.00	0.46	-0.9	3.91	1.90	293
dried	31.80	3.61	0.76	61.33	8.20	2.50	—	2.57	3.49	106
Pears	83.81	0.39	0.40	15.11	2.40	0.28	-1.6	3.80	2.06	280
Persimmons	64.40	0.80	0.40	33.50	0.00	0.90	-2.2	3.26	2.29	215
Pineapples	86.50	0.39	0.43	12.39	1.20	0.29	-1.0	3.85	1.91	289
Plums	85.20	0.79	0.62	13.01	1.50	0.39	-0.8	3.83	1.90	285
Pomegranates	80.97	0.95	0.30	17.17	0.60	0.61	-3.0	3.70	2.30	270
Prunes, dried	32.39	2.61	0.52	62.73	7.10	1.76	—	2.56	3.50	108
Quinces	83.80	0.40	0.10	15.30	1.90	0.40	-2.0	3.79	2.13	280
Raisins, seedless	15.42	3.22	0.46	79.13	4.00	1.77	—	2.07	2.04	52
Raspberries	86.57	0.91	0.55	11.57	6.80	0.40	-0.6	3.96	1.91	289
Strawberries	91.57	0.61	0.37	7.02	2.30	0.43	-0.8	4.00	1.84	306
Tangerines	87.60	0.63	0.19	11.19	2.30	0.39	-1.1	3.90	1.93	293
Whole Fish										
Cod	81.22	17.81	0.67	0.0	0.0	1.16	-2.2	3.78	2.14	271
Haddock	79.92	18.91	0.72	0.0	0.0	1.21	-2.2	3.75	2.14	267
Halibut	77.92	20.81	2.29	0.0	0.0	1.36	-2.2	3.74	2.18	260
Herring, kippered	59.70	24.58	12.37	0.0	0.0	1.94	-2.2	3.26	2.27	199
Mackerel, Atlantic	63.55	18.60	13.89	0.0	0.0	1.35	-2.2	3.33	2.23	212
Perch	78.70	18.62	1.63	0.0	0.0	1.20	-2.2	3.71	2.15	263
Pollock, Atlantic	78.18	19.44	0.98	0.0	0.0	1.41	-2.2	3.70	2.15	261
Salmon, pink	76.35	19.94	3.45	0.0	0.0	1.22	-2.2	3.68	2.17	255
Tuna, bluefin	68.09	23.33	4.90	0.0	0.0	1.18	-2.2	3.43	2.19	227
Whiting	80.27	18.31	1.31	0.0	0.0	1.30	-2.2	3.77	2.15	268
Shellfish										
Clams	81.82	12.77	0.97	2.57	0.0	1.87	-2.2	3.76	2.13	273
Lobster, American	76.76	18.80	0.90	0.50	0.0	2.20	-2.2	3.64	2.15	256
Oysters	85.16	7.05	2.46	3.91	0.0	1.42	-2.2	3.83	2.12	284
Scallop, meat	78.57	16.78	0.76	2.36	0.0	1.53	-2.2	3.71	2.15	262
Shrimp	75.86	20.31	1.73	0.91	0.0	1.20	-2.2	3.65	2.16	253
Beef										
Brisket	55.18	16.94	26.54	0.0	0.0	0.80	—	3.19	2.33	184
Carcass, choice	57.26	17.32	24.05	0.0	0.0	0.81	-2.2	3.24	2.31	191
select	58.21	17.48	22.55	0.0	0.0	0.82	-1.7	3.25	2.24	194
Liver	68.99	20.00	3.85	5.82	0.0	1.34	-1.7	3.47	2.16	230
Ribs, whole (ribs 6-12)	54.54	16.37	26.98	0.0	0.0	0.77	—	3.16	2.32	182
Round, full cut, lean and fat	64.75	20.37	12.81	0.0	0.0	0.97	—	3.39	2.18	216
full cut, lean	70.83	22.03	4.89	0.0	0.0	1.07	—	3.52	2.12	237

Anexo 6: Planos

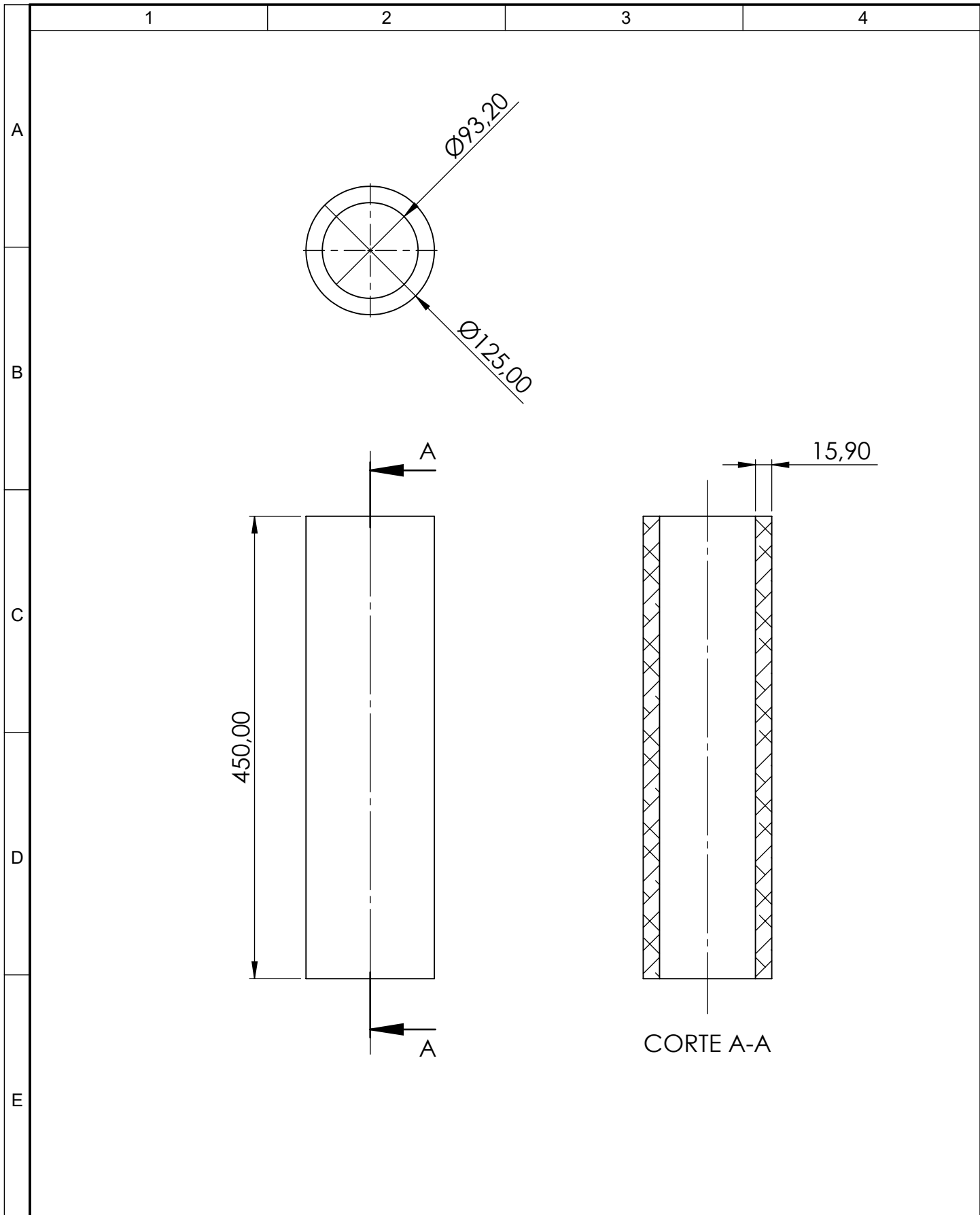


DATOS TÉCNICOS

CORRIENTE UTILIZADA 110V
 PESO: 104753.85 gr
 CAPACIDAD: 4 lt x CADA TANQUE

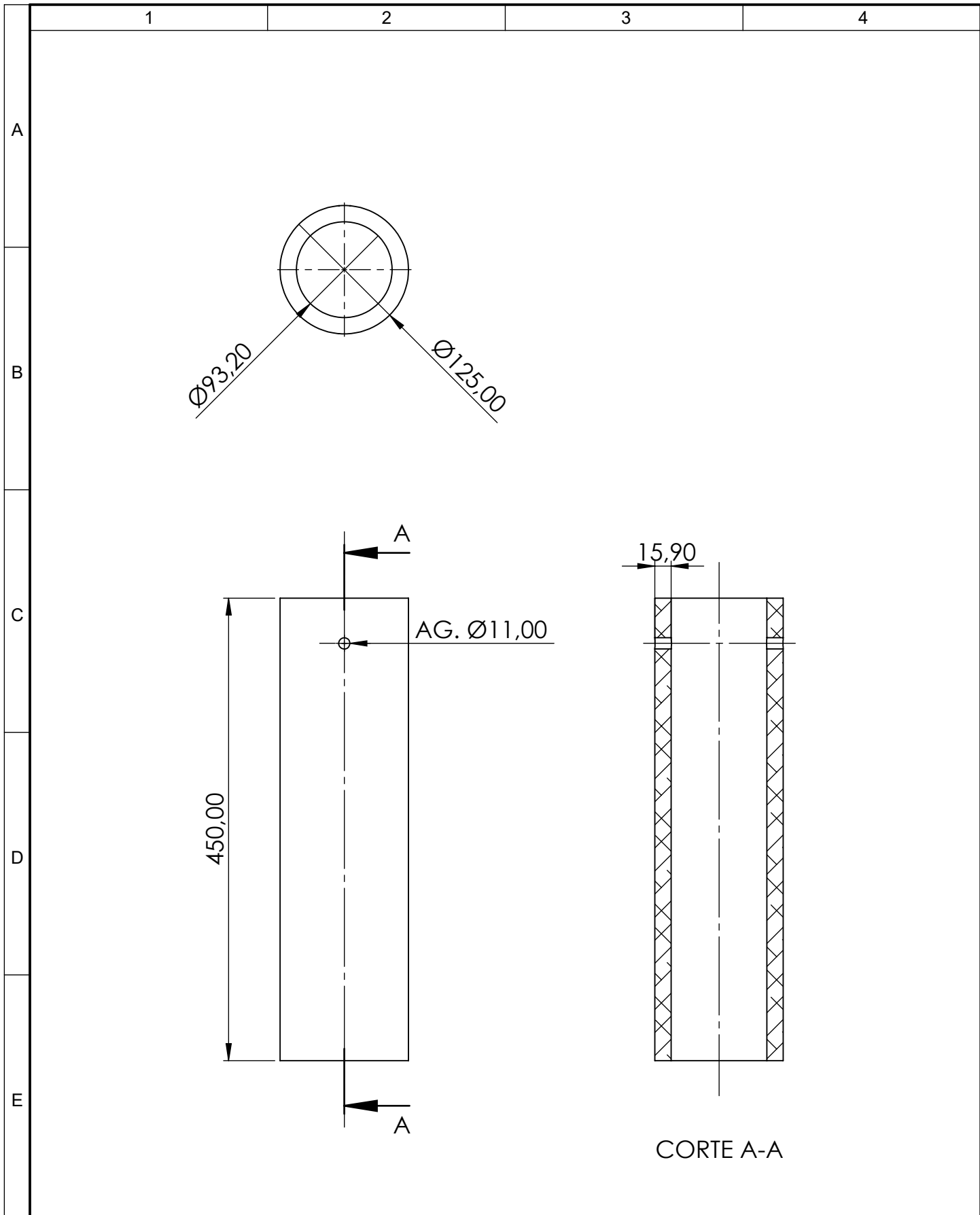
16	HNUT 0.75 - 10 - D - N	ASTM A325	AISI 304	31	-	-
5	Tapón	ANSI B16.6	AISI 304	30	25.97	-
6	Conector 2	ANSI B16.6	Latón	29	69.01	-
3	Válvula de Aguja	-	AISI 304	28	500	-
9	Conector Válvula	ANSI B16.6	AISI 304	27	37.94	-
2	Manómetro	-	Varios	26	71.71	-
2	Tubería de Cobre 1/4 tipo K	ISO 274-1975	Cobre	25	-	-
4	Cruz	ANSI B16.6	Latón	24	94.37	-
5	Conector 1	ANSI B16.6	AISI 304	23	40.01	-
5	Conector 3	ANSI B16.6	Cobre	22	6.79	-
4	Conector 6	ANSI B16.6	Cobre	21	15.08	-
2	Rodela	-	AISI 304	20	-	-
5	Conector 4	ANSI B16.6	Cobre	19	13.27	-
6	Tornillo Cabeza hexagonal M6x1.0x16 - 16N	ASTM A325	AISI 304	18	-	-
16	HBOLT 0.25 - 20x1.5x0.75 - N	ASTM A325	AISI 304	17	-	-
4	HBOLT 0.3750-24x1.125X1.125 - N	ASTM A325	AISI 304	16	-	-
2	Manguera de agua	-	Caucho	15	-	-
1	Tapa Secundaria 1	Plano 7	Aleación de Aluminio	14	538.97	-
1	Regulador de Presión	Plano 16	Varios	13	869.81	-
8	Varillas Roscadas	Plano 10	AISI 1020	12	1244.20	-
4	Oring	-	Caucho	11	5.54	-
2	Tapa Secundaria 3	Plano 9	Aleación de Aluminio	10	529.13	-
1	Tanque Izquierdo	Plano 3	Aleación de Aluminio	9	6866.61	-
1	Tanque Derecho	Plano 4	Aleación de Aluminio	8	6858.14	-
2	Tapa Secundaria 2	Plano 8	Aleación de Aluminio	7	499.06	-
2	Tapa Principal 1	Plano 5	ASTM A36	6	6866.66	-
2	Tapa Principal 2	Plano 6	ASTM A36	5	6823.23	-
2	Eje Chumacera	Plano 11	AISI 1020	4	1504.02	-
2	Chumacera	-	Acero	3	164.15	-
1	Estructura Móvil	Plano 12	Acero ASTM A36	2	11195.63	-
1	Estructura Fija	Plano 14	Acero ASTM A36	1	24072.74	-
No. de piez.	Denominación	No. Norma / Dibujo	Material	No. de orden	No. del Modelo / semiproducto	Peso gr. Observaciones

Tolerancia :	±0,8	Peso:	104753.85gr	Material:	VARIOS	
Fecha	13/01/2020	Nombre	Sebastián Sánchez	Título:	SECADOR DE ALIMENTOS	
Revisó:	13/01/2020	Ing. Javier García		No. Lámina	2	
Aprobó:	13/01/2020	Ing. Javier García		Escala:	1:10	
U.T.A						
INGENIERÍA MECÁNICA						

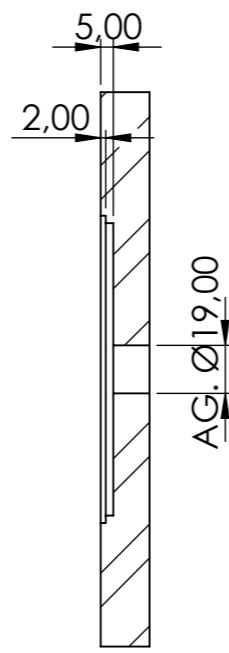
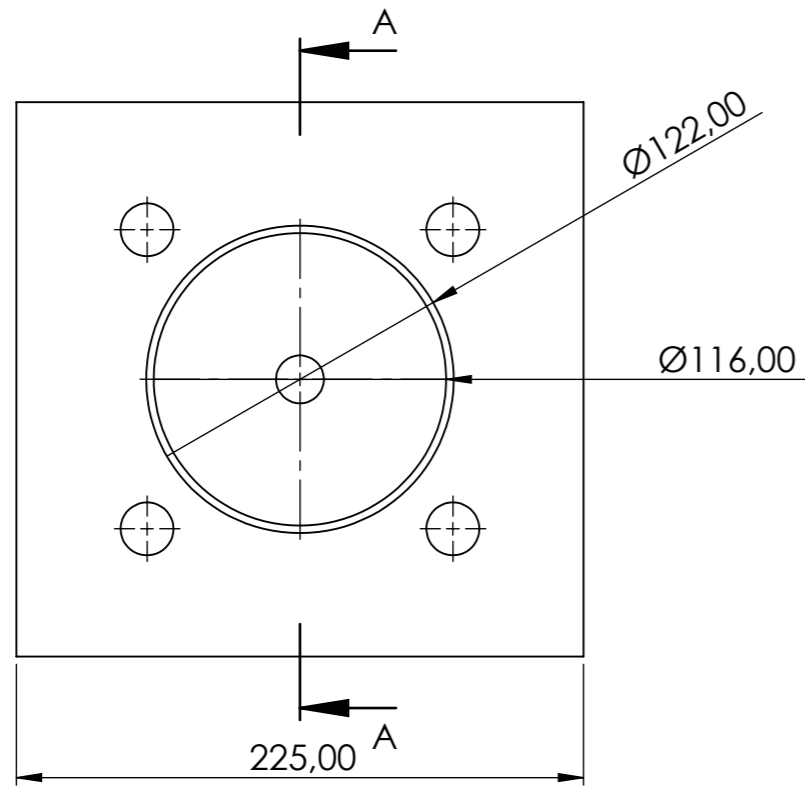


				Tolerancia	Peso	Material:	
				±0.8	6866.61 gr	Aleación de Aluminio 2014	
				Fecha	Nombre	Titulo:	
				Dibujó: 08/01/2020	Sebastián Sánchez	TANQUE DE PRESIÓN A	
				Revisó: 08/01/2020	Ing. Javier García	Escala:	
				Aprobó: 08/01/2020	Ing. Javier García	1:5	
				U.T.A		Número de lámina:	
						3	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	INGENIERÍA MECÁNICA		Sustitución	

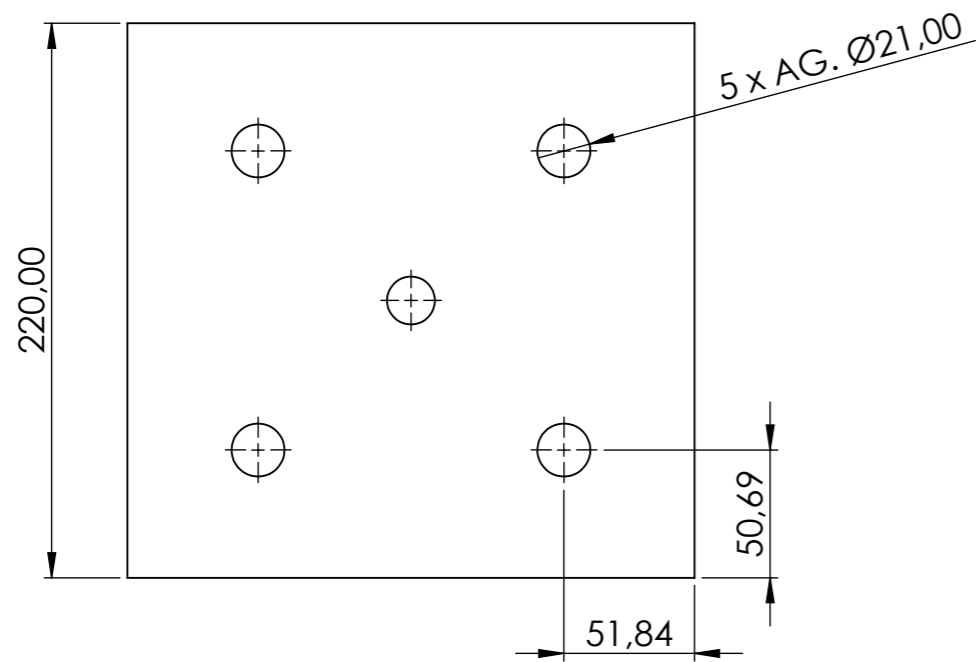
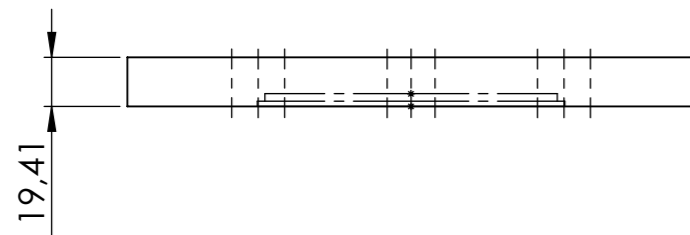
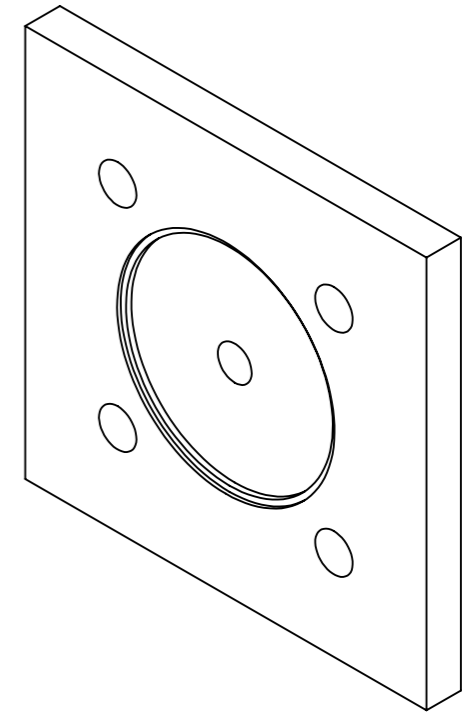




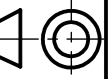
				Tolerancia	Peso	Material:	
				±0.8	6858.14 gr	Aleación de Aluminio 2014	
				Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó: 08/01/2020	Sebastián Sánchez	TANQUE DE PRESIÓN B	
				Revisó: 08/01/2020	Ing. Javier García	Escala:	
				Aprobó: 08/01/2020	Ing. Javier García	1:5	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina:	Registro:
						4	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución			

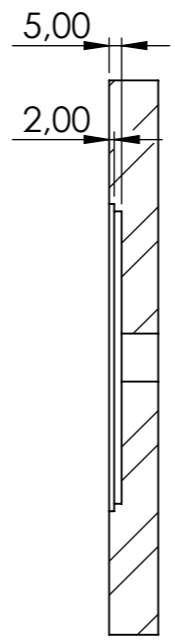
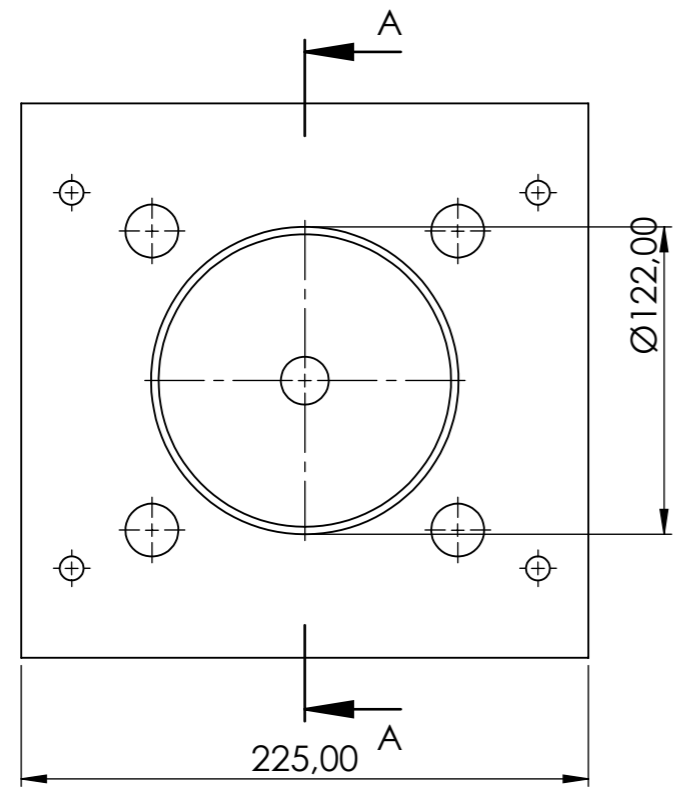


CORTE A-A

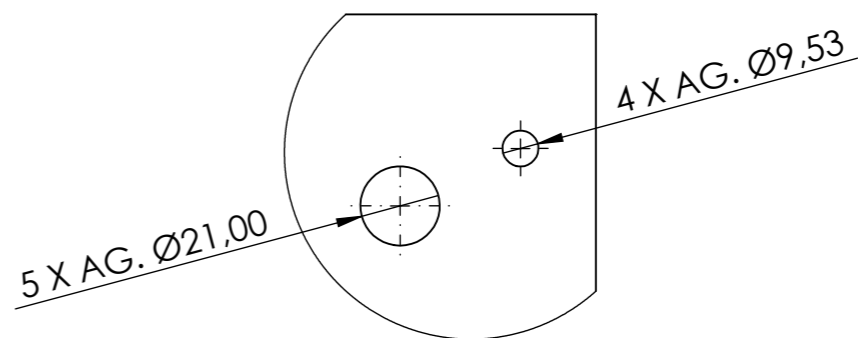
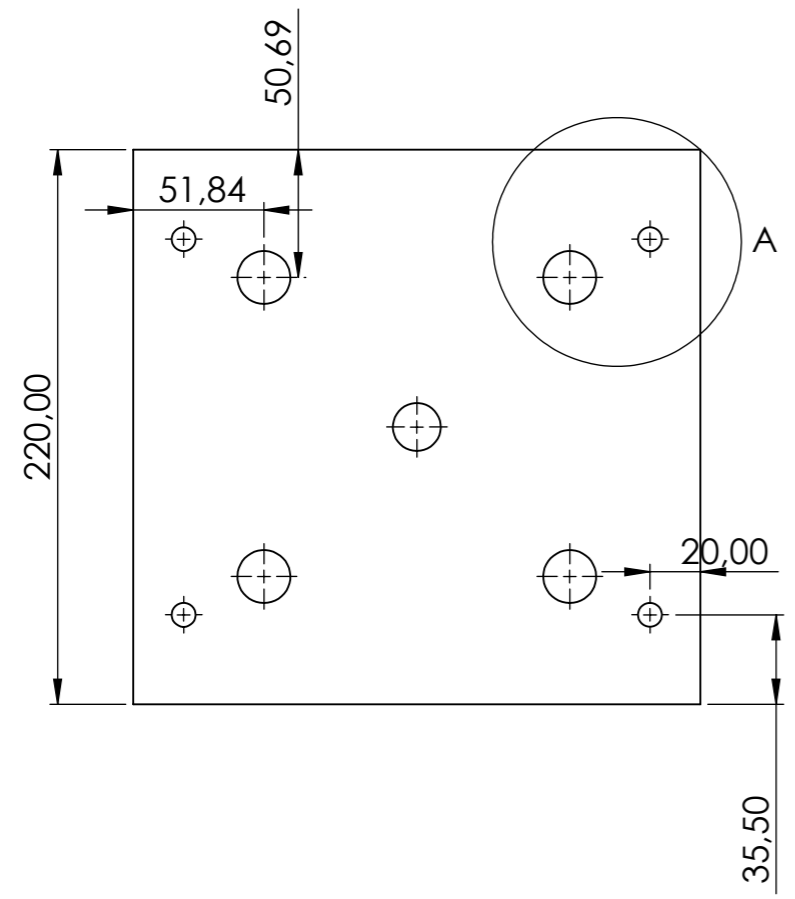
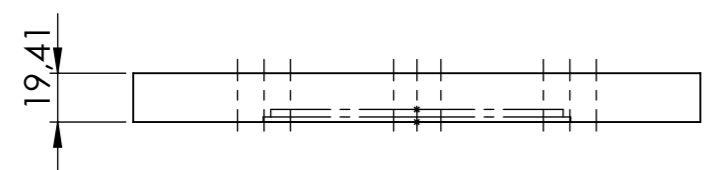
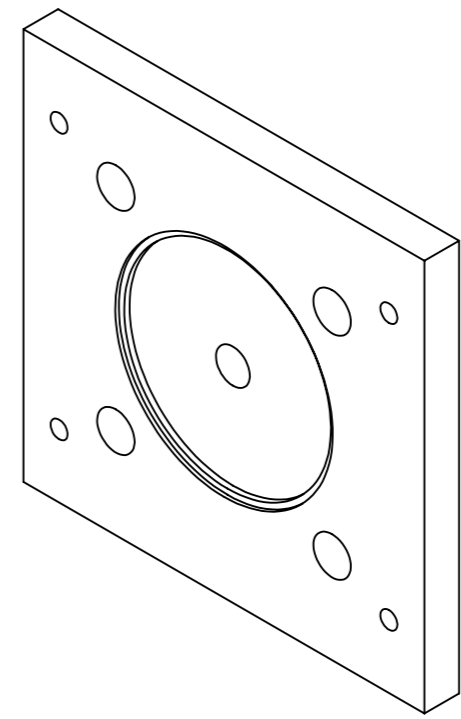


				Tolerancia	Peso	Materiales:	
				±0.8	6866.66 gr	ASTM A131	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dib.	08/01/2020	Sebastián Sánchez	TAPA PRINCIPAL 1
				Rev.	08/01/2020	Ing. Javier Garcia	
				Apro.	08/01/2020	Ing. Javier Garcia	
				U.T.A		Número del dibujo:	5
				INGENIERÍA MECÁNICA		Sustitución	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Escala:
							1:3



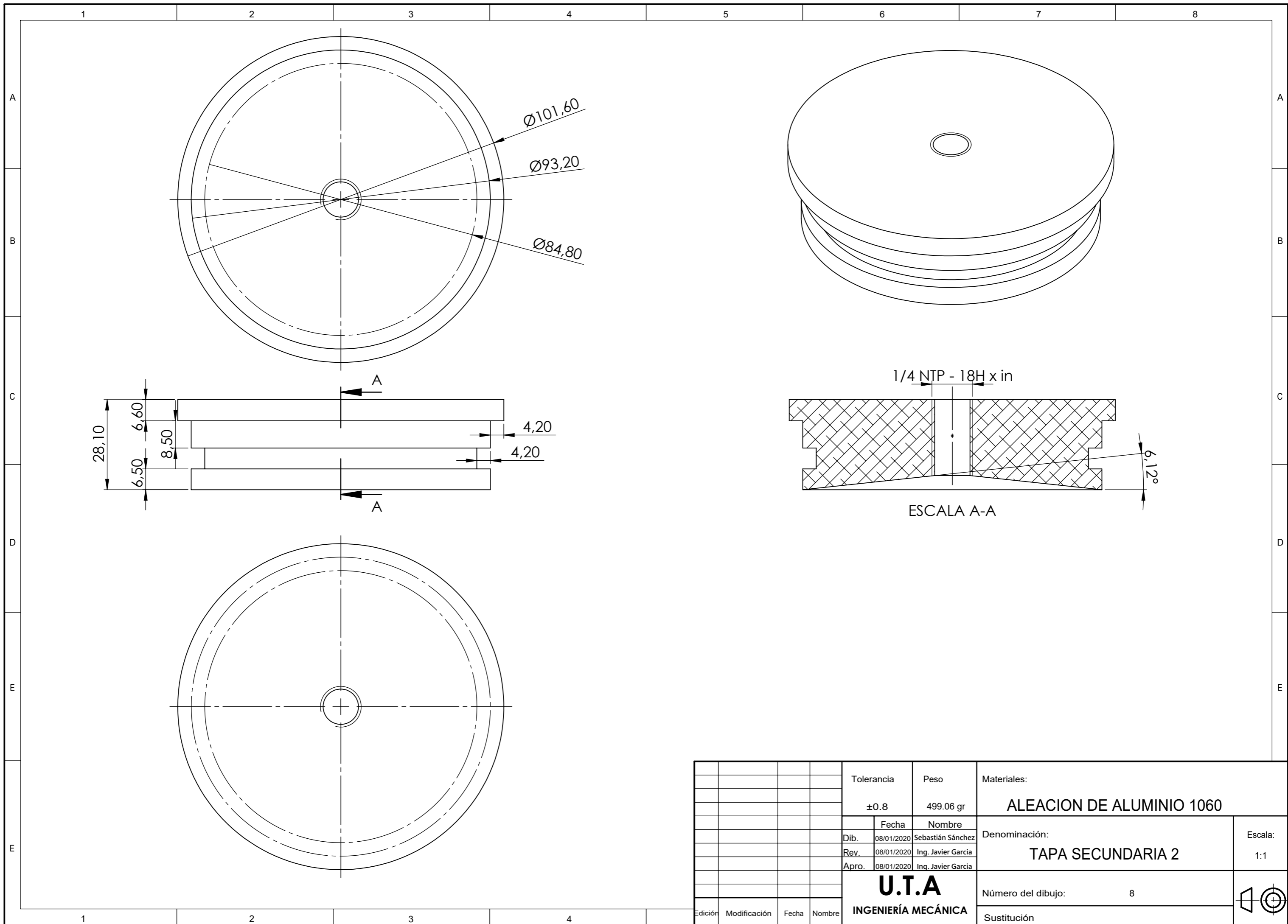


CORTE A-A

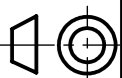


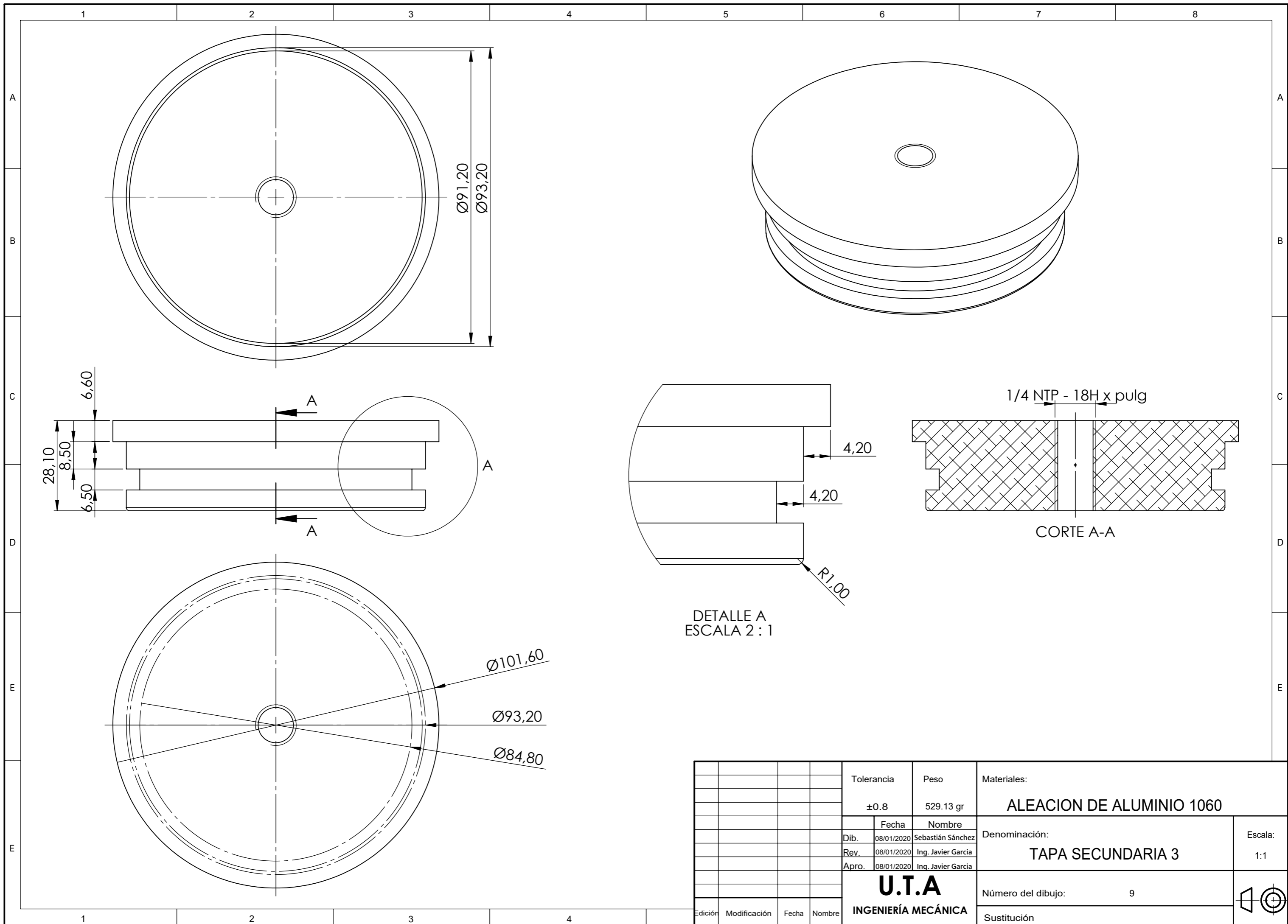
DETALLE A

				Tolerancia	Peso	Materiales:			
				±0.8	6823.23 gr	ASTM A131			
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:		
			Dib.	08/01/2020	Sebastián Sánchez			TAPA PRINCIPAL 2	1:3
			Rev.	08/01/2020	Ing. Javier Garcia				
			Apro.	08/01/2020	Ing. Javier Garcia				
				U.T.A		Número del dibujo:	6		
				INGENIERÍA MECÁNICA		Sustitución			

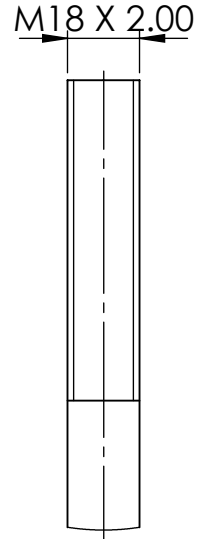
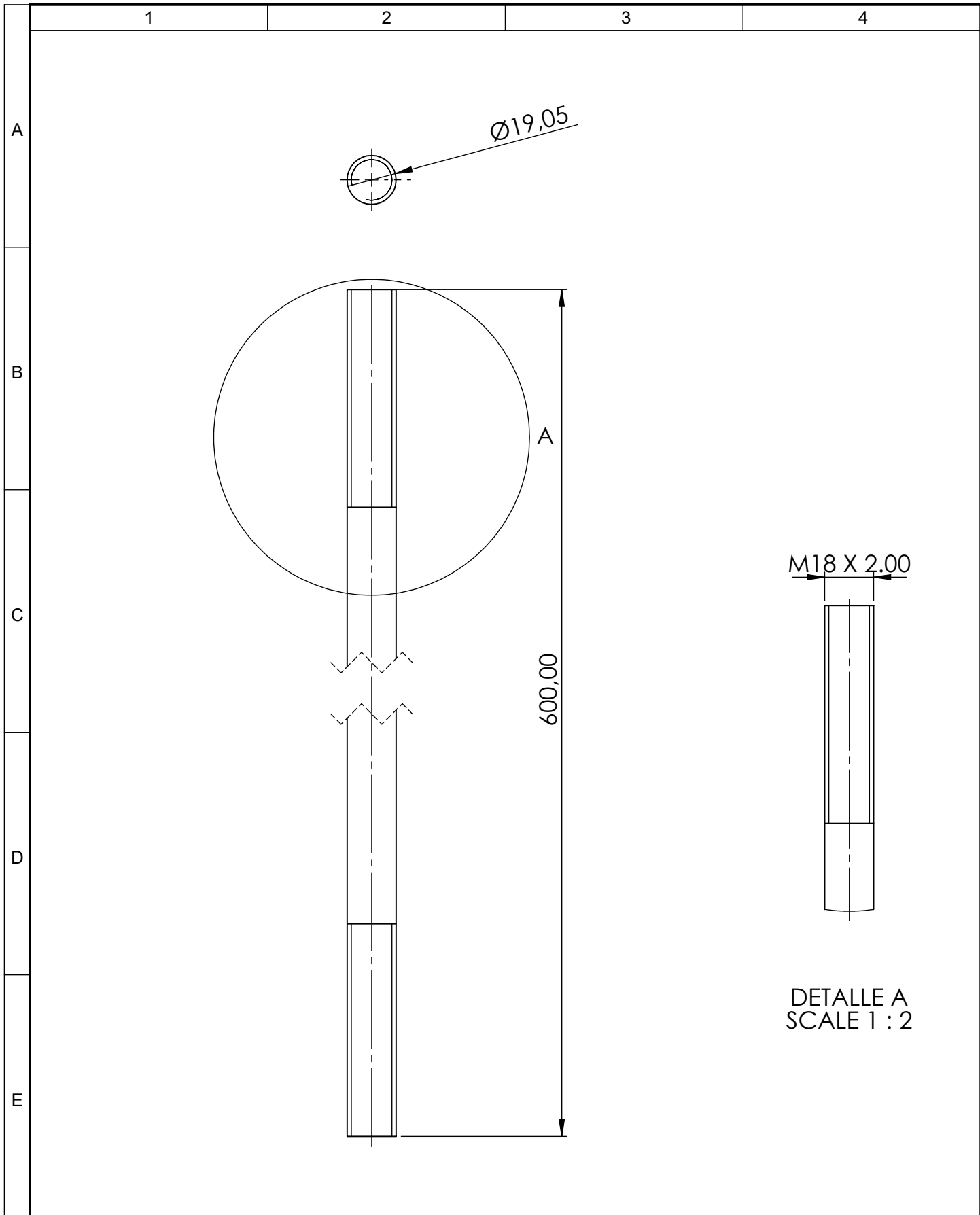


				Tolerancia	Peso	Materiales:		
				± 0.8	499.06 gr	ALEACION DE ALUMINIO 1060		
					Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dib.	08/01/2020	Sebastián Sánchez	TAPA SECUNDARIA 2	
				Rev.	08/01/2020	Ing. Javier Garcia		
				Apro.	08/01/2020	Ing. Javier Garcia		
				U.T.A			Número del dibujo:	8
				INGENIERÍA MECÁNICA			Sustitución	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					



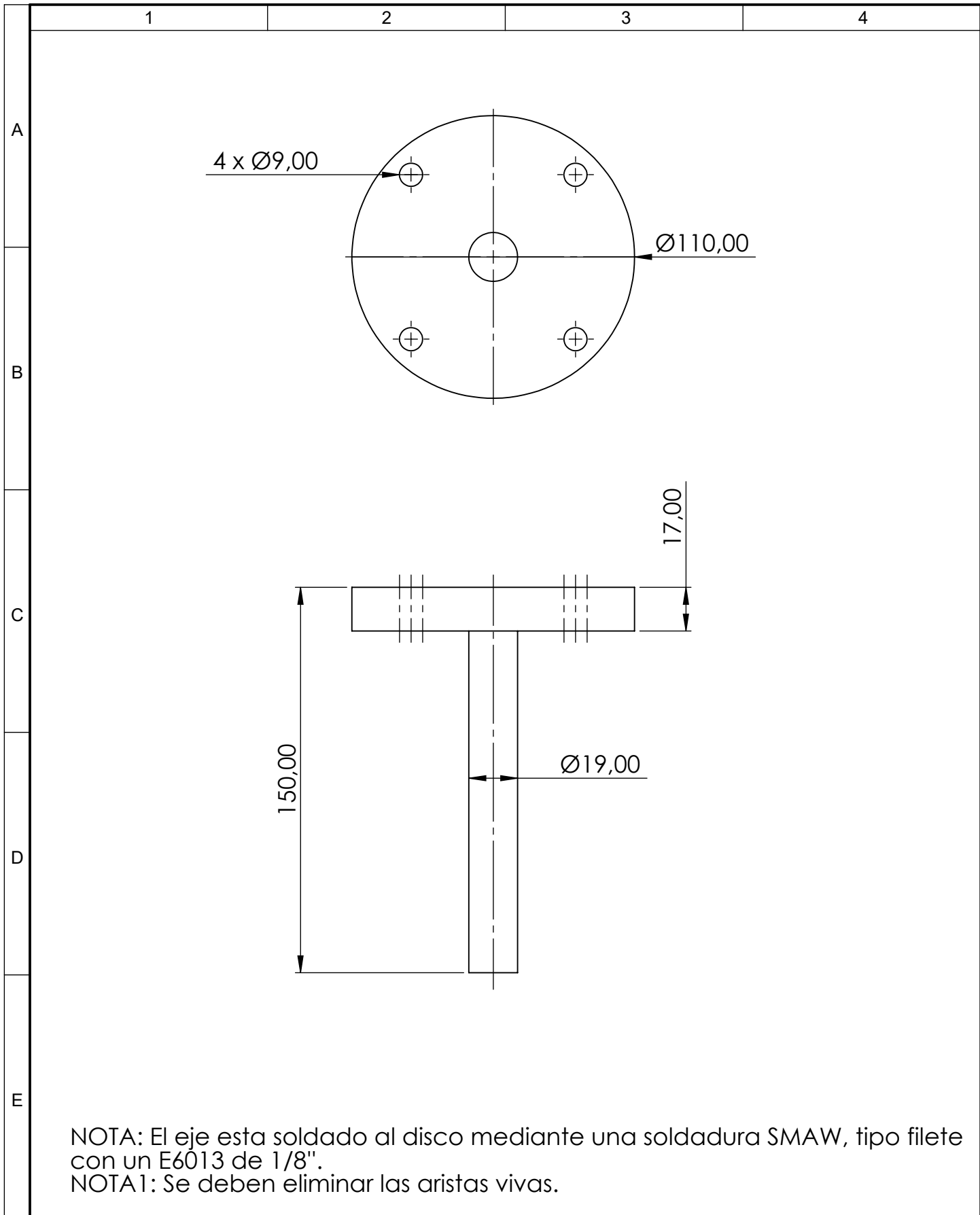


				Tolerancia	Peso	Materiales:			
				± 0.8	529.13 gr	ALEACION DE ALUMINIO 1060			
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:		
			Dib.	08/01/2020	Sebastián Sánchez			TAPA SECUNDARIA 3	1:1
			Rev.	08/01/2020	Ing. Javier Garcia				
			Apro.	08/01/2020	Ing. Javier Garcia				
				U.T.A		Número del dibujo: 9			
				INGENIERÍA MECÁNICA					
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución			



DETALLE A
SCALE 1 : 2

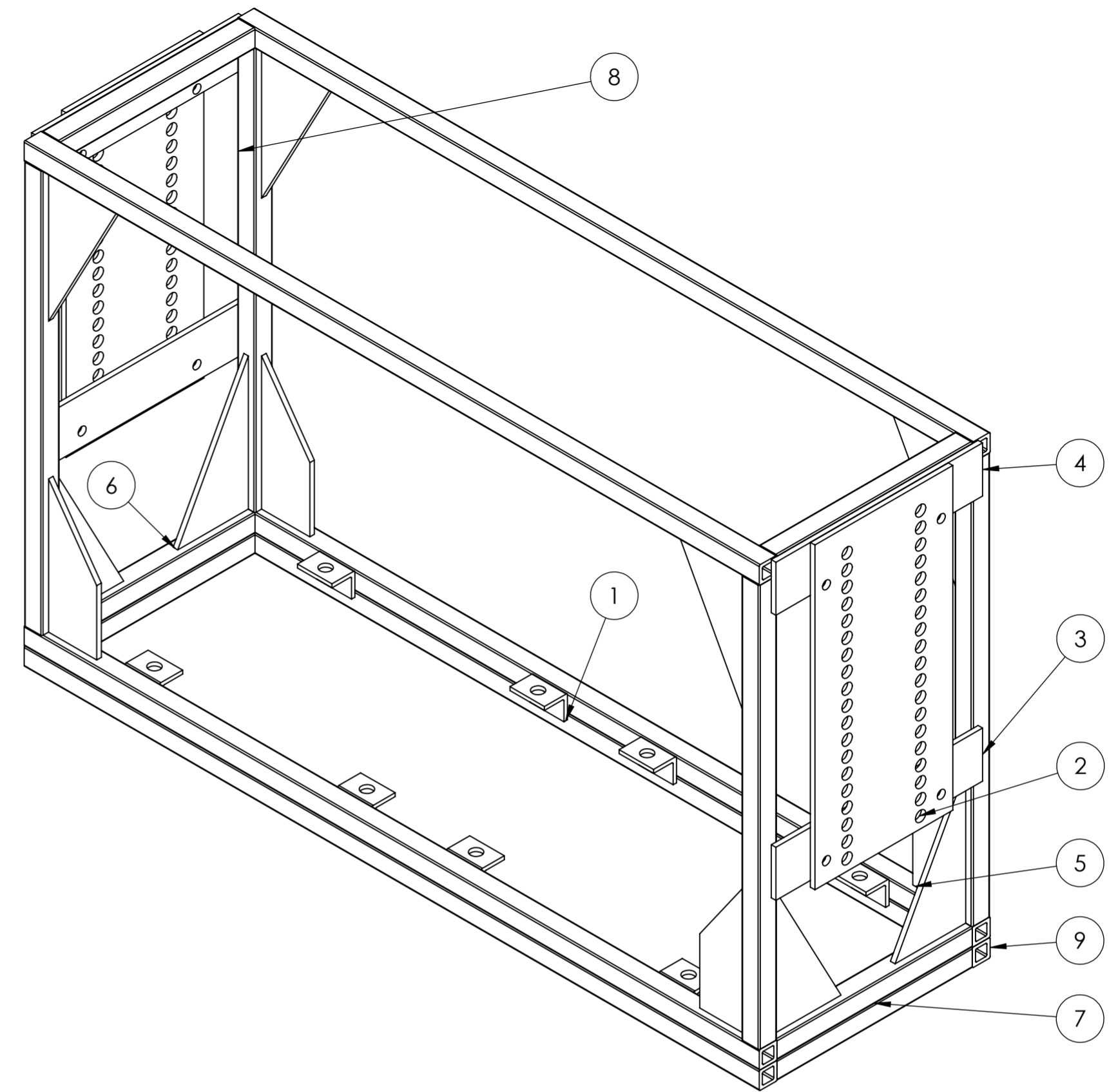
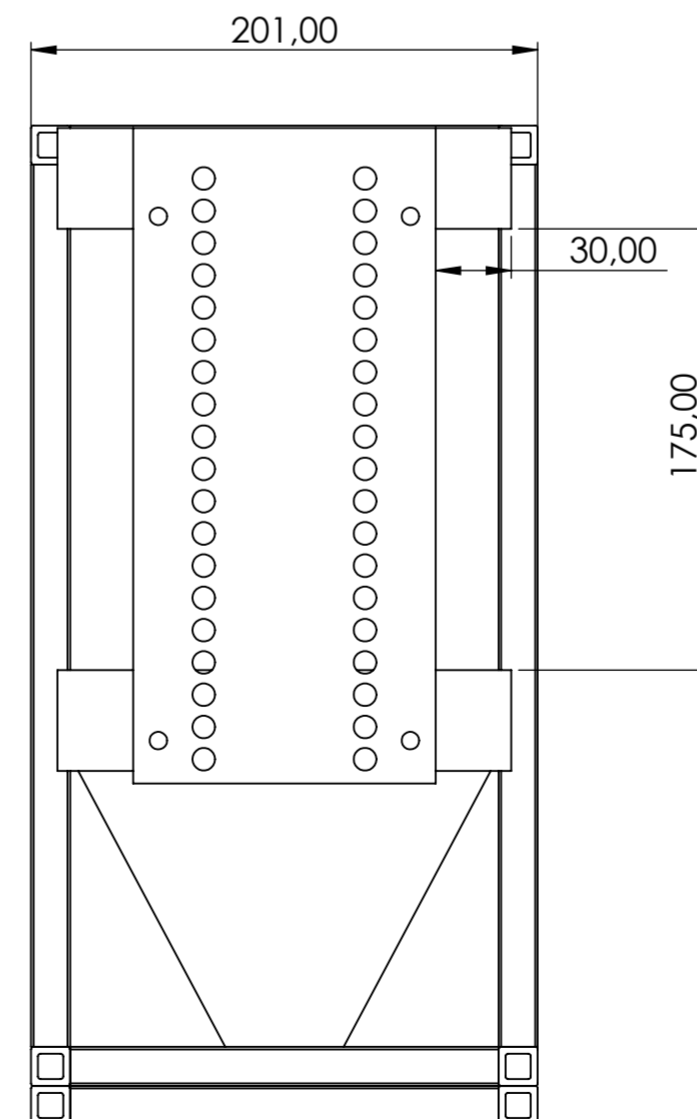
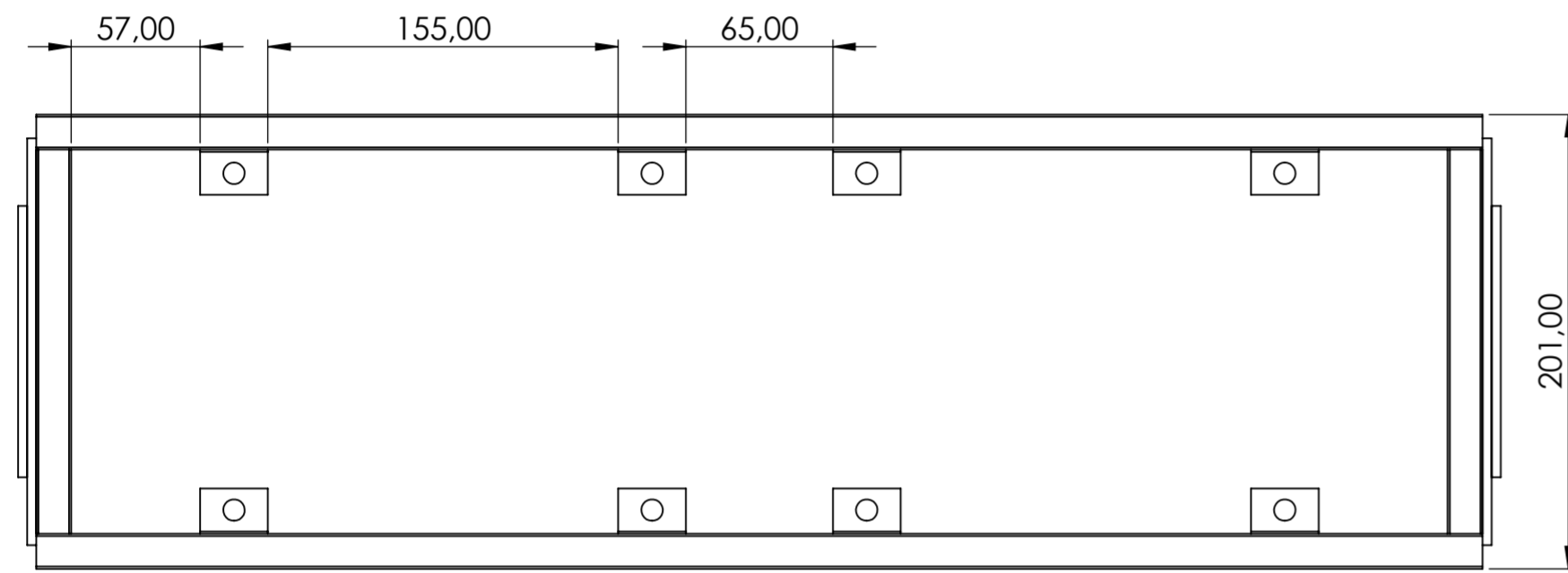
				Tolerancia	Peso	Material:	
				±0.8	1244.20 gr	ACERO ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Titulo:	
				Dibujó: 08/01/2020	Sebastián Sánchez	VARILLA ROSCADA	
				Revisó: 08/01/2020	Ing. Javier García	Escala:	
				Aprobó: 08/01/2020	Ing. Javier García	1:4	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina:	
						10	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución		Registro:	



NOTA: El eje esta soldado al disco mediante una soldadura SMAW, tipo filete con un E6013 de 1/8".
 NOTA1: Se deben eliminar las aristas vivas.

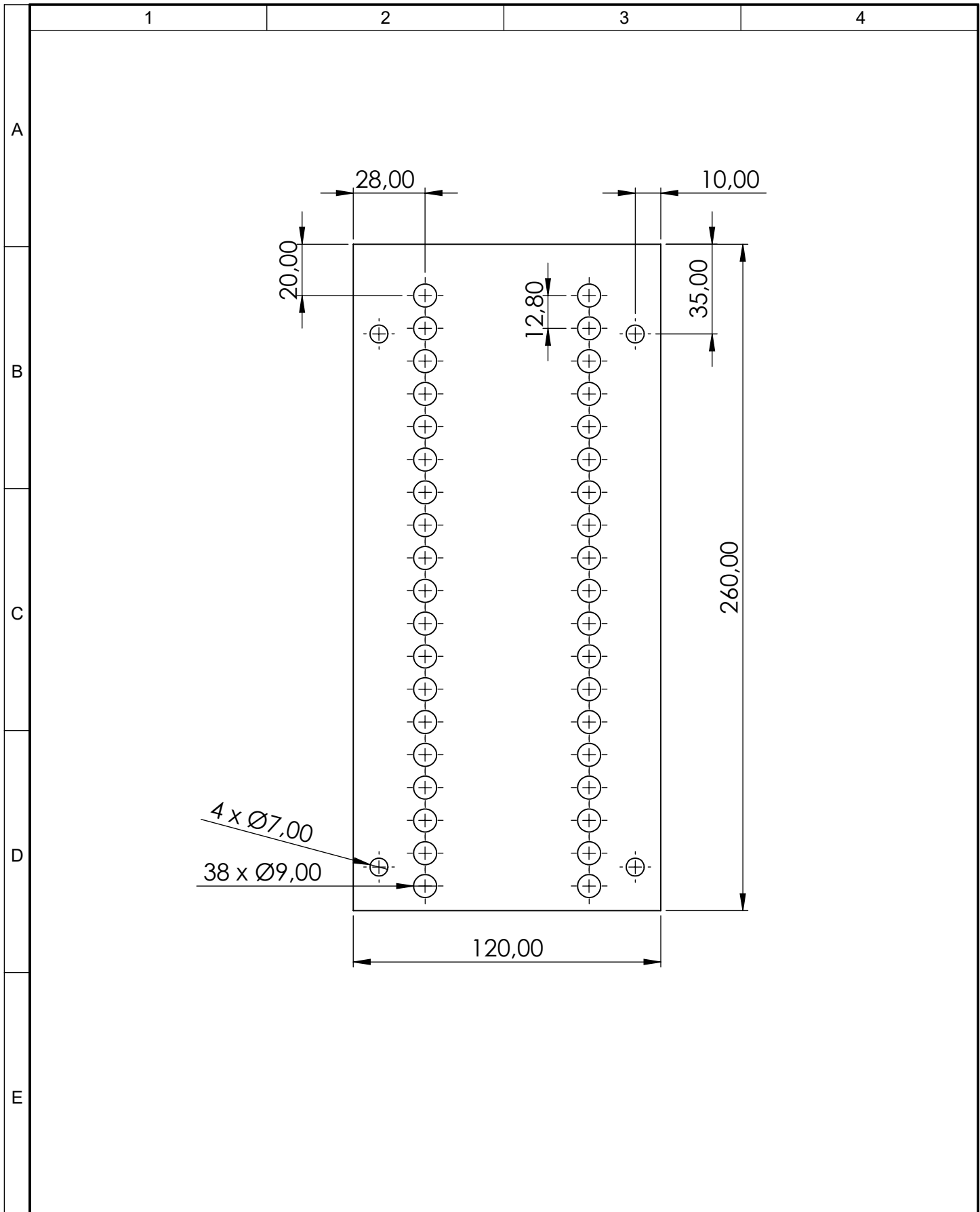
				Tolerancia	Peso	Material:	
				±0.8	1540.02 gr	AIS1 1018	
				Fecha	Nombre	Titulo:	
				Dibujó: 08/01/2020	Sebastián Sánchez	EJE CHUMACERA DER.	
				Revisó: 08/01/2020	Ing. Javier García	Escala:	
				Aprobó: 08/01/2020	Ing. Javier García	1:2	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina:	Registro:
						11	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución			

Ubicación	Soldadura	Electrodo
Tubo cuadrado 3 - Tubo cuadrado 3	SMAW	6013 1/8"
Tubo cuadrado 1 - Tubo cuadrado 1	SMAW	6013 1/8"
Tubo cuadrado 2 - Tubo cuadrado 3	SMAW	6013 1/8"
Tubo cuadrado 3 - Tubo cuadrado 1	SMAW	6013 1/8"
Placa Triangular - Tubo cuadrado 2 y 3	SMAW	6013 1/8"
Placa Triangular - Tubo cuadrado 1 y 2	SMAW	6013 1/8"
Placa Trapezoidal - Tubo cuadrado 2 y 3	SMAW	6013 1/8"
Placa - Tubo cuadrado 1 y 2	SMAW	6013 1/8"
Placa - Tubo cuadrado 2	SMAW	6013 1/8"
Placa 2 - Placa	SMAW	6013 1/8"
Plaqueta - Tubo cuadrado 3	SMAW	6013 1/8"



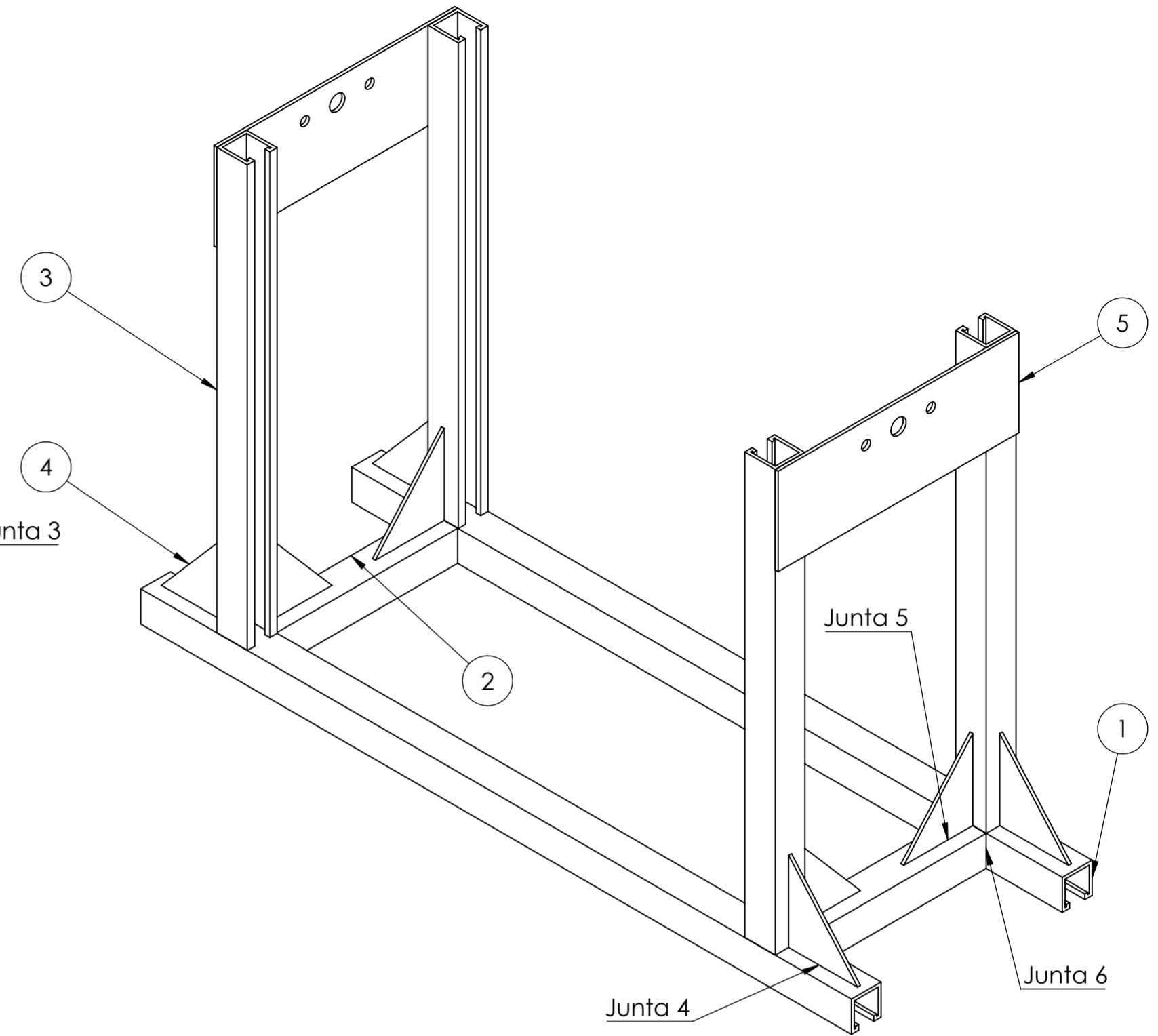
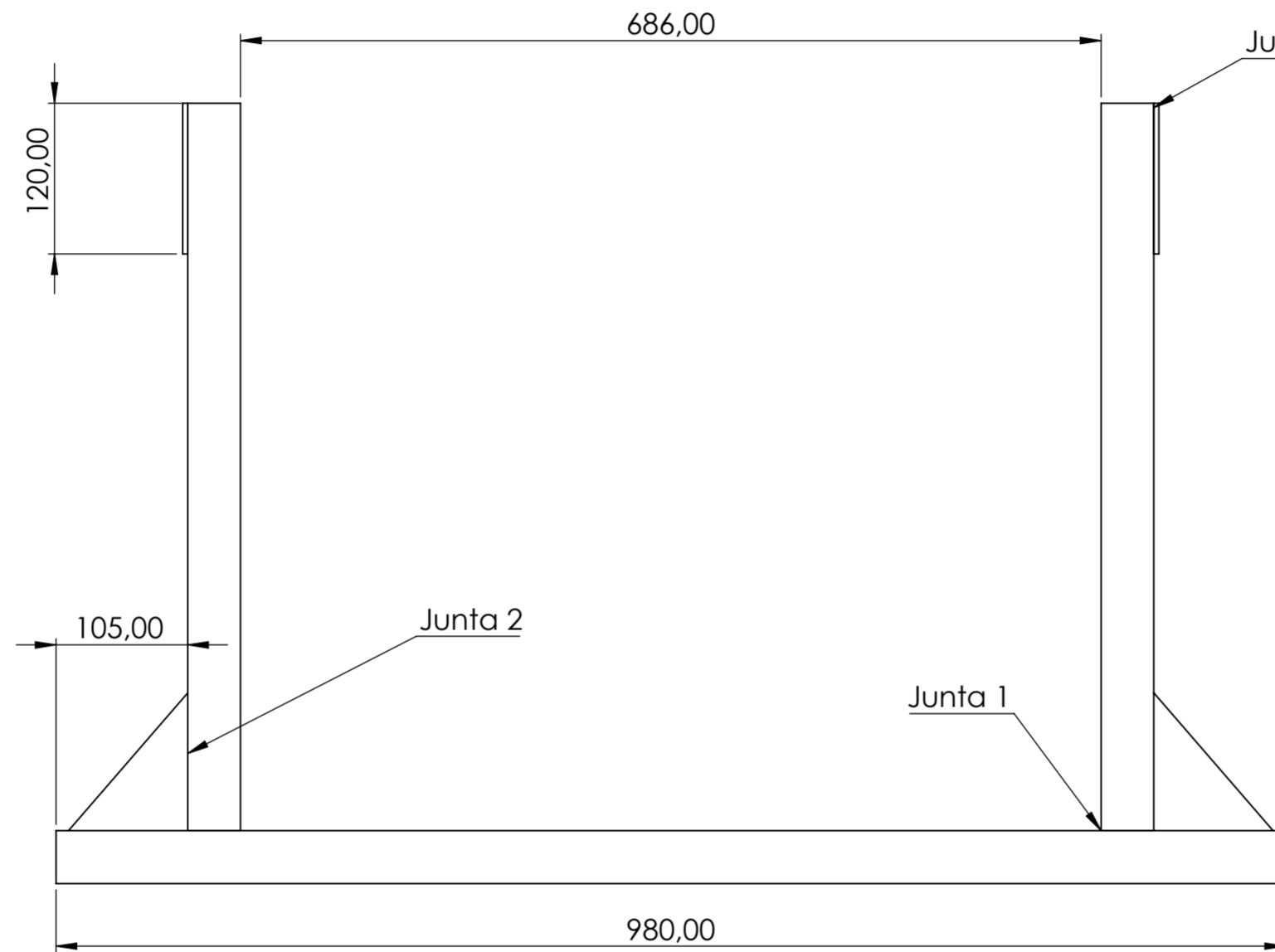
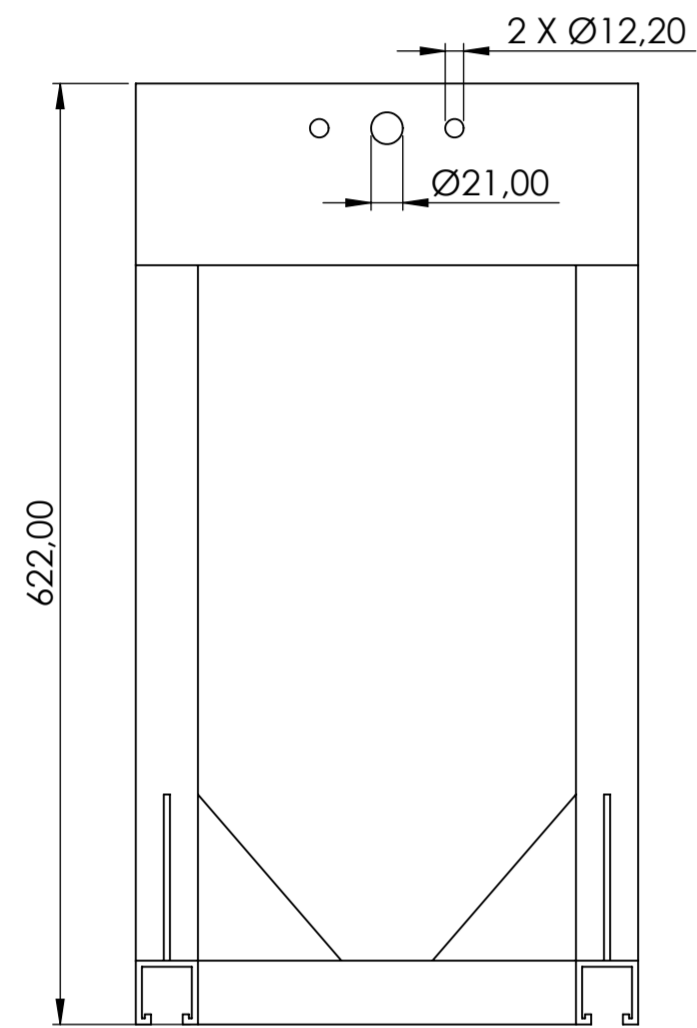
No. de orden	Denominación	No. Norma/Dibujo	Material	No. de piez.	No. del Modelo / semiproducto	Peso gr.	Observaciones
6	TUBO CUADRADO 3		ASTM A36	9	15.5x10x640	709.10	
4	TUBO CUADRADO VERTICAL 2		ASTM A36	8	15.5x10x350	387.79	
6	TUBO CUADRADO 1		ASTM A36	7	15.5x10x70	188.36	
8	PLACA TRIANGULAR		ASTM A36	6	115.50x61.50x4	112.23	
4	PLACA TRAPEZOIDAL		ASTM A36	5	115.50x42x56x7 2.83x4	113.81	
2	PLACA		ASTM A36	4	180x40x4	225.09	
2	PLACA 2	PLANO 13	ASTM A36	3	180x40x4	225.09	
2	PLACA UNION		ASTM A36	2	120x260x4	904.66	
2	PLAQUETA		ASTM A36	1	30x20x3	24.62	

Tolerancia : ±0,8		Peso: 11195.63gr		Material: ACERO ASTM A36	
Fecha: 08/01/2020		Nombre: Sebastián Sánchez		Título: ESTRUCTURA MOVIL	
Revisó: 08/01/2020		Ing. Javier García		Escala: 1:3	
Aprobó: 08/01/2020		Ing. Javier García		No. Lámina: 12	
Edición:		Modificación:		Fecha:	
Nombre:		U.T.A		INGENIERÍA MECÁNICA	



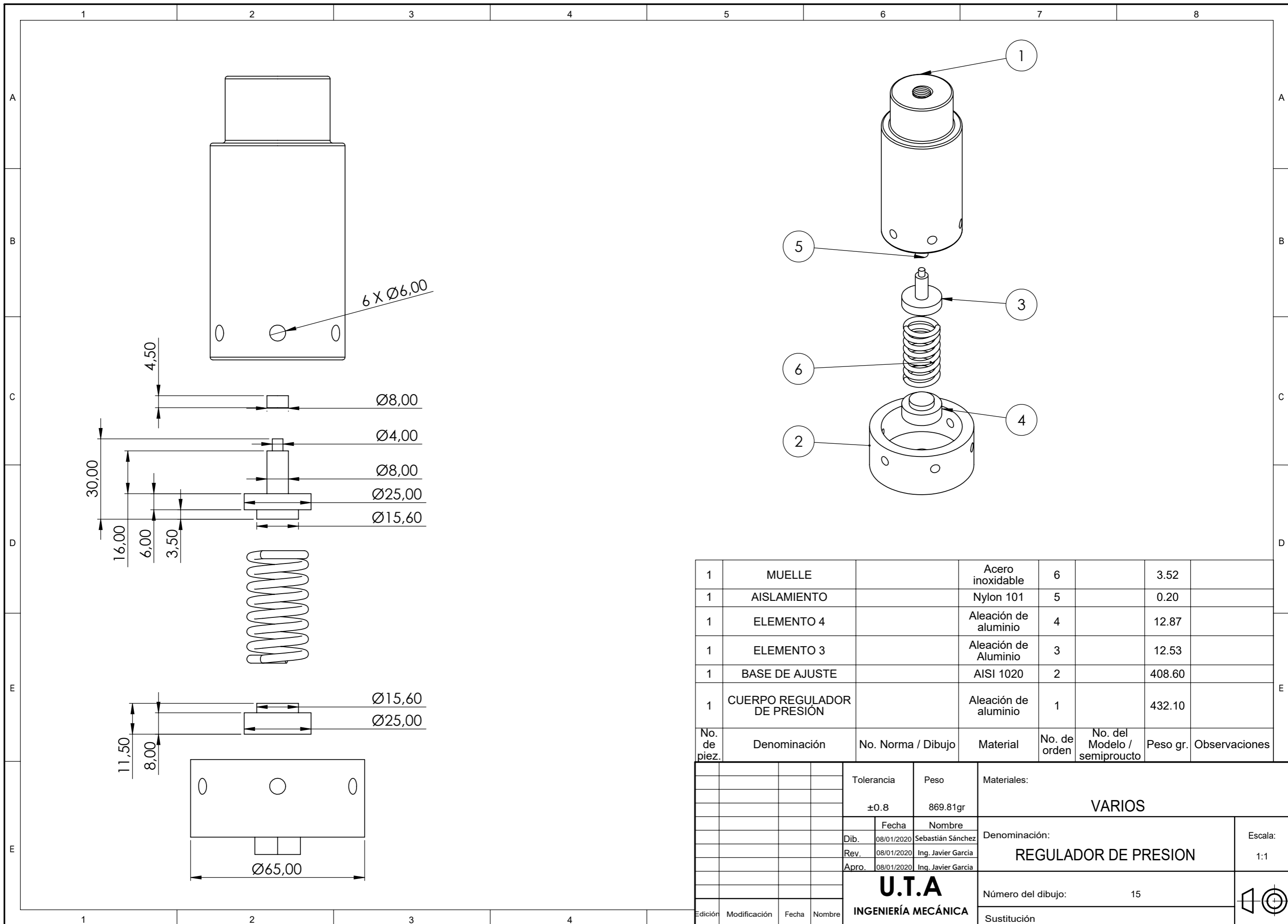
				Tolerancia	Peso	Material:	
				±0.8	904.66 gr	ACERO ASTM A36 e=4mm	
				Fecha	Nombre	Titulo:	Escala:
			Dibujó:	08/01/2020	Sebastián Sánchez		
			Revisó:	08/01/2020	Ing. Javier García		
				Aprobó:	08/01/2020	Ing. Javier García	Registro:
				U.T.A		Número de lámina:	
				INGENIERÍA MECÁNICA		13	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución			

JUNTA	PARTES	SOLDADURA	ELECTRODO
1	Tubo en U 1 - Tubo en U 2	SMAW - a filete	6013 1/8"
2	Placa triangular 2 - Tubo en U 2	SMAW - a filete	6013 1/8"
3	Placa Unión - Tubo en U 2	SMAW - a filete	6013 1/8"
4	Placa triangular 2 - Tubo en U 1	SMAW - a filete	6013 1/8"
5	Placa triangular 2 - Tubo cuadrado 4	SMAW - a filete	6013 1/8"
6	Tubo en U 1 - Tubo cuadrado 4	SMAW - a filete	6013 1/8"



No. de pieza.	Denominación	No. Norma/Dibujo	Material	No. de orden	No. del Modelo/ semiproducto	Peso gr.	Observaciones
2	PLACA UNIÓN		ASTM A36	5	332x120	1240.61	
8	PLACA TRIANGULAR 2		ASTM A36	4	95x110x4	165.11	
4	TUBO EN U 2		ASTM A36	3	41x42x10x6.6x580	2459.62	
2	TUBO CUADRADO 4		ASTM A36	2	41x42x10x6.6x250	1060.18	
2	TUBO EN U 1		ASTM A36	1	41x42x10x6.6x980	4155.91	

Tolerancia : ±0,8		Peso: 24072.74 gr		Material: ACERO ASTM A36			
Fecha: 08/01/2020		Nombre: Sebastián Sánchez		Título: ESTRUCTURA FIJA			Escala: 1:5
Revisó: 08/01/2020		Ing. Javier García		No. Lámina: 14			
Aprobó: 08/01/2020		Ing. Javier García		U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA			
Edición:	Modificación	Fecha	Nombre				



1	MUELLE		Acero inoxidable	6		3.52	
1	AISLAMIENTO		Nylon 101	5		0.20	
1	ELEMENTO 4		Aleación de aluminio	4		12.87	
1	ELEMENTO 3		Aleación de Aluminio	3		12.53	
1	BASE DE AJUSTE		AISI 1020	2		408.60	
1	CUERPO REGULADOR DE PRESIÓN		Aleación de aluminio	1		432.10	
No. de piez.	Denominación	No. Norma / Dibujo	Material	No. de orden	No. del Modelo / semiproducto	Peso gr.	Observaciones

Tolerancia		Peso		Materiales:			
±0.8		869.81gr		VARIOS			
Fecha		Nombre		Denominación: REGULADOR DE PRESION			Escala: 1:1
Dib. 08/01/2020		Sebastián Sánchez					
Rev. 08/01/2020		Ing. Javier Garcia					
Apro. 08/01/2020		Ing. Javier Garcia					
U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA				Número del dibujo:		15	
				Sustitución			

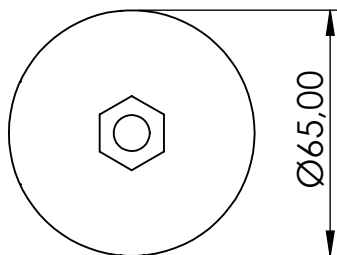
1

2

3

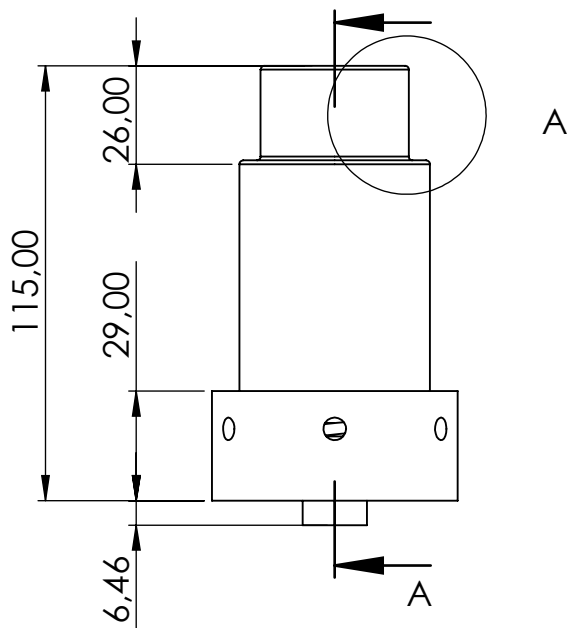
4

A



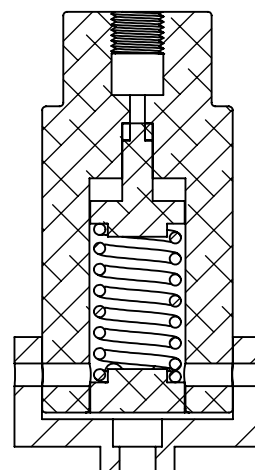
A

B

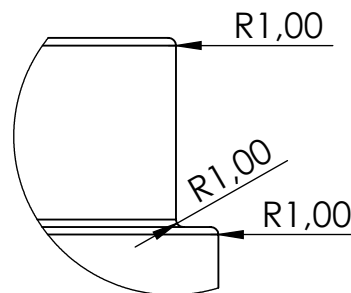
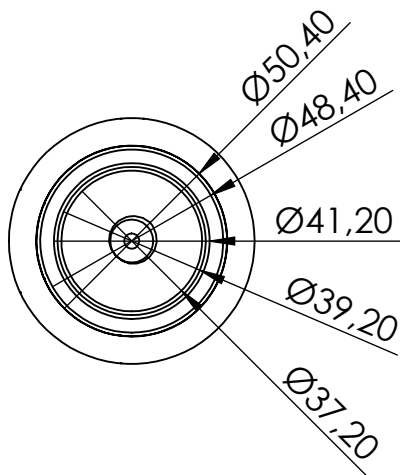


A

A

SECTION A-A
SCALE 1 : 2

D

DETAIL A
SCALE 1 : 1

E

				Tolerancia ± 0.8	Peso 869.81 gr	Material: VARIOS	
						Título: REGULADOR DE PRESIÓN	
						Escala: 1:2	
						Registro: 	
						Número de lámina: 16	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Sustitución	
				Dibujó:	08/01/2020	Sebastián Sánchez	
				Revisó:	08/01/2020	Ing. Javier García	
				Aprobó:	08/01/2020	Ing. Javier García	