

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Optimización de una máquina dispensadora de medicamentos
e integración de un sistema de enfriamiento para su
climatización**

Dispositivos Tecnológicos

Dennis Alejandro Llangarí Peña

Ingeniería Mecánica

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Quito, 20 de Diciembre de 2017

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERIA

HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Optimización y Construcción de una Máquina dispensadora inteligente de
entrega de medicamentos

Dennis Llangarí

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Michel Vargas, Ph.D.

Firma del profesor

Quito, 20 de Diciembre de 2017

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Dennis Alejandro Llangarí Peña

Código: 00126998

Cédula de Identidad: 1716453608

Lugar y fecha: Quito, 20 de Diciembre de 2017

RESUMEN

En la industria farmacéutica, la distribución y entrega de medicamentos se puede optimizar mediante la utilización de una máquina dispensadora inteligente. Este tipo de máquinas son una herramienta y mecanismo de entregar productos a un bajo costo y brindando un mayor y fácil acceso al consumidor. Sin embargo, varios medicamentos que estas máquinas almacenan, necesitan mantener una temperatura baja y estable para conservarse adecuadamente. Por esta razón, este proyecto busca la optimización del uso de espacio, la reducción de tamaño y costo, y la implementación de un sistema de climatización de una máquina inteligente que permita almacenar entre 50 a 60 medicamentos.

La elaboración de este proyecto consistió primero en especificar y determinar las características de la máquina dispensadora: dimensiones máximas (800x550x400 mm), el tipo y la cantidad de los medicamentos a almacenar (termolábiles y un aumento de al menos el 40% en la capacidad de almacenamiento), y el rango de temperatura de almacenamiento (5°C – 10°C). Luego, se optimizó el diseño anterior¹ de espacio físico de la farmacia robot Farmabot, manteniéndose el uso de un sistema de estanterías con una distribución de 4 columnas y 4 filas, pero con capacidades modulares ajustables en ángulo de inclinación y distribución con materiales de bajo peso. Se aumentó la funcionalidad del actuador del brazo mecánico para mejorar la forma de recoger y entregar medicinas al compartimento de entrega de producto de la puerta exterior (en comparación con el modelo anterior). Finalmente, se diseñó e implementó un sistema de climatización capaz de mantener la temperatura interna a 10°C. Este sistema se lo desarrolló tomando en cuenta una reducción de peso y de espacio físico requerido, a un bajo costo.

¹ Tesis Esteban Egüez: diseño y construcción de una Farmacia Automatizada. Revisar en el repositorio digital de la USFQ

ABSTRACT

In the pharmaceutical industry, the distribution and delivery of medicines can be optimized by the use of an intelligent dispensing machine. This type of machine is a tool and mechanism for delivering products at a low cost while providing greater and easier access to the consumer. However, several drugs that these machines store, need to maintain a low and stable temperature to be properly preserved. For this reason, this project seeks to optimize the use of space, the reduction of size and cost, and the implementation of an air conditioning system in an intelligent dispensing machine that allows to store 50 to 60 medical products. This project consisted first of specifying and determining the characteristics of the dispensing machine: maximum dimensions (800x550x400 mm), the type and quantity of the medicines to be stored (heat-labile and at least a 40% increase in the storage capacity), and a storage temperature range between 5°C to 10°C. The interior design of the previous model of Farmabot (robot pharmacy) was optimized while maintaining the use of a shelf-system with a distribution of 4 columns and 4 rows, but with modular capacity, adjustable shelf-angle of inclination and space distribution, using low-weight materials. The functionality of the actuator in the mechanical arm was increased to improve the way of collecting and delivering medicines to the outer door compartment (in comparison with the previous model.) Finally, an air conditioning system capable of maintaining the internal temperature to 10 ° C was designed and implemented. This system was developed taking into account a reduction in weight and physical space required, at a low cost.

Tabla de Contenido

RESUMEN.....	4
ABSTRACT	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
INTRODUCCIÓN	9
Máquinas dispensadoras	10
Sistemas de refrigeración	11
Aislantes térmicos	16
DESARROLLO.....	19
Estructura Interna.....	19
Perfiles de estantería (Racks)	19
Travesaños.....	21
Estructura Externa	24
Columnas y bastidores.....	24
Rieles y sistema de sujeción	25
Mecanismo de Movimiento	27
Brazo mecánico.....	28
Actuador	31
Diseño de Sistema térmico.....	32
Proceso de Manufactura	50
Ensamble estructura interna y externa	50
Ensamble sistema térmico.....	52
RESULTADOS.....	55
Funcionamiento sistema térmico	56
Costos	59
DISCUSIÓN	62
CONCLUSIONES.....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de medicamentos y fármacos.....	19
Tabla 2: Características de los medicamentos almacenados.....	34
Tabla 3: Propiedades del acero galvanizado.....	34
Tabla 4: Propiedades del aluminio 6061.....	35
Tabla 5: Proporción de calor sensible por infiltración de puertas.....	38
Tabla 6: Factores que intervienen en carga de transmisión.....	40
Tabla 7: Valores de cálculo para transferencia de calor.....	41
Tabla 8: Cálculos para transmisión de calor.....	41
Tabla 9: Ganancia de calor en ventiladores comunes.....	42
Tabla 10: Valoración total de cargas de refrigeración.....	43
Tabla 11: Propiedades del módulo Peltier.....	47
Tabla 12: Propiedades de aislantes.....	49
Tabla 13: Espesor de poliestireno expandido.....	50
Tabla 14: Características de la máquina dispensadora de medicamentos actual.....	55
Tabla 15: Comparación entre PVC y aluminio.....	55
Tabla 16: Propiedades del acero galvanizado y aluminio 6061.....	56
Tabla 17: Condiciones del sistema térmico.....	56
Tabla 18: Propiedades del Aire a 20°C.....	57
Tabla 19: Resultados experimentales del sistema térmico.....	59
Tabla 20: Costo de estructura interna.....	59
Tabla 21: Costo de estructura externa.....	60
Tabla 22: Costo del sistema térmico.....	60
Tabla 23: Costo total de la máquina dispensadora de medicamentos.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: ciclo de refrigeración (Berg, 2014).	12
Figura 2: Ciclo invertido de Carnot (Cosme, 2014).	13
Figura 3: Ciclo de refrigeración por compresión (Correa, 2015).	14
Figura 4: Ciclo de refrigeración por gas (López, 2013).	14
Figura 5: Ciclo de refrigeración por absorción (Cosme, 2014).	15
Figura 6: Composición de las celdas Peltier (Hermes, 2012).	16
Figura 7: Tipos de aislantes térmicos (Merlin, 2016).	16
Figura 8: Poliuretano en viviendas (Merlin, 2016).	17
Figura 9: Poliestireno expandible (Merlín, 2016).	18
Figura 10: Lanás minerales (Merlin, 2016).	18
Figura 11: Perfiles (racks) de PVC.	20
Figura 12: medidas de perfiles PVC.	21
Figura 13: Módulo de estantería (diseño CAD).	22
Figura 14: Análisis de travesaños (desplazamiento).	23
Figura 15: Análisis travesaños (esfuerzos normales).	23
Figura 16: Estructura externa (diseño CAD).	25
Figura 17: Riel perforada y horquilla.	26
Figura 18: Inclinación de estanterías a 30°.	26
Figura 19: Inclinación de soportes perfiles de aluminio.	27
Figura 20: Mecanismo robot cartesiano.	28
Figura 21: Sistema de poleas para bandas.	29
Figura 22: Acople mecanismo horizontal.	29
Figura 23: Soportes para motores.	30
Figura 24: Mecanismo de movimiento vertical.	31
Figura 25: Pinzas plásticas y su servomotor.	32
Figura 26: Pérdida de calor por infiltración de aire (Ashrae, 2010).	37
Figura 27: Especificación y denominación estandarizada de las placas Peltier (Hermes, 2014).	45
Figura 28: Ensamble módulo Peltier (diseño CAD).	46
Figura 29: Modelado en Solidworks estructura de la máquina.	47
Figura 30: Modelado para rango de temperatura interna.	48
Figura 31: Modelado para velocidades de flujo de aire.	49
Figura 32: Estructura de máquina dispensadora y rieles reguladoras.	51
Figura 33: Rieles de movimiento y sistema de sujeción.	51
Figura 34: Poliuretano de 50 mm espesor y estructura principal.	52
Figura 35: Celdas Peltier conectadas. Disipadores de calor en la estructura.	53
Figura 36: sensor de temperatura y termocupla.	53
Figura 37: Ensamble de la máquina.	54
Figura 38: Medición de temperaturas de la máquina dispensadora.	59

INTRODUCCIÓN

Las máquinas dispensadoras se caracterizan por vender artículos de fácil acceso y venta libre para el usuario, donde el artículo es recibido una vez que el cliente lo paga, depositando directamente el dinero o insertando su tarjeta de crédito. Estas máquinas están en una transformación digital y tecnológica, por lo que se proyecta que en el año 2020 se comercialice unos 2,7 millones de unidades en todo el mundo. Estados Unidos es el principal y más grande mercado para dichas máquinas. Una de las principales ventajas que ofrecen es la disponibilidad del producto que expenden en cualquier momento del día, todos los días. Normalmente, estas máquinas se pueden localizar en diferentes ámbitos o entornos, tanto públicos como privados, bares, restaurantes. etc. Las máquinas dispensadoras dependen de distintos parámetros relacionados principalmente con el tipo de producto que ofrecen. Por tanto, el tamaño, cantidad, y características del producto resultan muy importantes. Además, el sistema e interfase de interacción con el consumidor es otro punto importante a considerar, al igual que el ambiente en el que va a operar. Sin embargo, su costo es un factor determinante para implementar estas máquinas cuando sus requerimientos de sistema de interacción, funciones y accesorios sean más complejos.

La industria farmacéutica es uno de los sectores productivos con un alto dinamismo, en especial a lo que se refiere a la cadena de suministro. Actualmente, la distribución de sus productos a través de máquinas dispensadoras ha alcanzado una buena aceptación en el mercado. Por ello, desean expandir la oferta de productos que se puedan distribuir a través de estas máquinas, viabilizando la reducción de los costos de distribución.

En Ecuador, existe una oferta limitada de máquinas dispensadoras de productos por el bajo consumo y la falta de confianza que puede generar en el consumidor y/o vendedor. Además, son escasas las empresas que fabrican máquinas dispensadoras a medida de los requerimientos del producto y la necesidad del usuario. La importación desde mercados internacionales ha sido la forma usual en que se han podido implementar estas máquinas localmente, con costos elevados y con una limitada variedad de accesorios adicionales. Estas máquinas se han implementado en su mayoría sólo para ofrecer productos básicos

alimenticios, bebidas, anticonceptivos y juguetes pequeños; sin tomar en cuenta otros productos como: libros, periódicos, cigarrillos, medicamentos, etc.

Motivación

Dada la necesidad e interés de desarrollar una máquina dispensadora de medicamentos, un primer prototipo fue desarrollado en el 2015 en la Universidad San Francisco de Quito por Esteban Egüez². Este prototipo de farmacia robot con un brazo mecánico fue capaz de entregar y almacenar diferentes medicamentos de una forma adecuada (para mayor información acerca de su desarrollo y funcionalidad referirse al trabajo mencionado). Sin embargo, para efectos de masificar su producción, se requiere mejorar los costos asociados e incrementar su funcionalidad. Gracias a esta motivación, el presente proyecto se ha desarrollado para optimizar este prototipo en lo referente a peso y costo, así como incrementar su capacidad de almacenamiento, funcionalidad y versatilidad de aplicaciones de almacenamiento.

Por solicitud de los posibles clientes que potencialmente adquirirán este producto, se ha definido el reducir las dimensiones de la máquina dispensadora (aproximadamente a un tercio del tamaño del primer prototipo) y brindar una solución de bajo costo para mantener medicamentos termolábiles a una temperatura entre 10°C y 12°C.

Máquinas dispensadoras

Los atributos de estas máquinas han evolucionado para simplificar su uso, mejorar la eficiencia operativa y energética, y entregar una experiencia más fácil y atractiva al consumidor. Estas máquinas pueden ser del tipo mecánico o electrónico y proporcionan una diferente funcionalidad para el cliente. Generalmente, las máquinas dispensadoras se caracterizan por vender productos de fácil manejo y acceso. El producto es recibido una vez que el cliente lo paga depositando el dinero o insertando su tarjeta de crédito. El momento que el producto es pagado, el usuario está autorizado para recibir el producto y un mecanismo

² Tesis Esteban Egüez: diseño y construcción de una Farmacia Automatizada. Revisar tesis en el repositorio digital de la USFQ

lo dispensa. En el caso de productos empaquetados delicados (como medicamentos), un brazo mecanizado puede implementarse. Este brazo se traslada al compartimiento para recoger el producto y lo coloca en un depósito para retirarlo. Sin embargo, si el sistema no es calibrado adecuadamente, el producto puede quedar atrapado o no puede ser entregado. Esta es la razón, por la que hay que establecer una funcionalidad correcta del brazo mecánico para esta aplicación.

Medicamentos termolábiles

Los medicamentos termolábiles (incluyen: antibióticos, insulinas, vacunas y colirios) son sensibles a la variación de su temperatura y por cuánto se los debe mantener climatizados adecuadamente. La elaboración de estos fármacos consiste en un cuidado desde su proceso y tratamiento que requiere una refrigeración constante. Por lo que desde su elaboración hasta el consumo final en el cliente debe mantener una refrigeración constante.

Sistemas de refrigeración

Los sistemas de refrigeración tradicionales contienen cuatro etapas fundamentales de funcionamiento y aprovechan las propiedades de los fluidos utilizados. Los principales componentes de un sistema de refrigeración son: condensador, compresor, evaporador y una válvula de expansión. Para el control de consumo de energía y potencia, se utiliza un sistema de control integrado y un receptor como depósito temporal para el tipo de refrigerante usado. A continuación, en la figura 1 se ilustra el proceso general de un sistema de refrigeración:

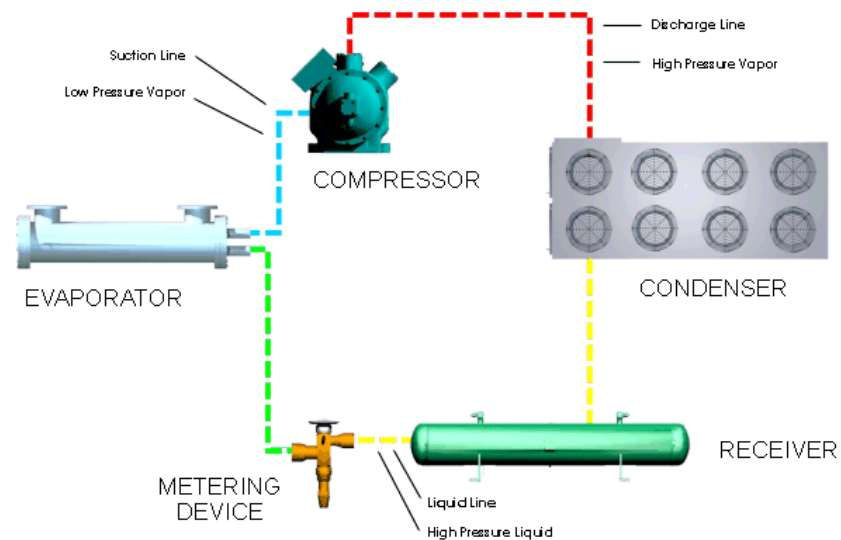


Figura 1: ciclo de refrigeración (Berg, 2014).

Ciclos de refrigeración

- Ciclo invertido de Carnot: es un ciclo totalmente reversible que contiene dos procesos isotérmicos y dos isentrópicos. Cada uno de estos procesos pueden invertirse en las direcciones de transferencia de calor y trabajo. El funcionamiento del ciclo es ideal y diverge del ciclo real por diferentes causas que pueden consultarse en la literatura.³ Este ciclo tiene como fin ser la base de comparación para los ciclos reales de refrigeración. Si se desea extraer calor de una cabina, el sistema es una máquina frigorífica o refrigerador; y, si es al contrario se denomina una bomba de calor (ver figura 2).

³ Boles, M. (2015). Thermodynamics an engineering approach. Mc Graw-Hill

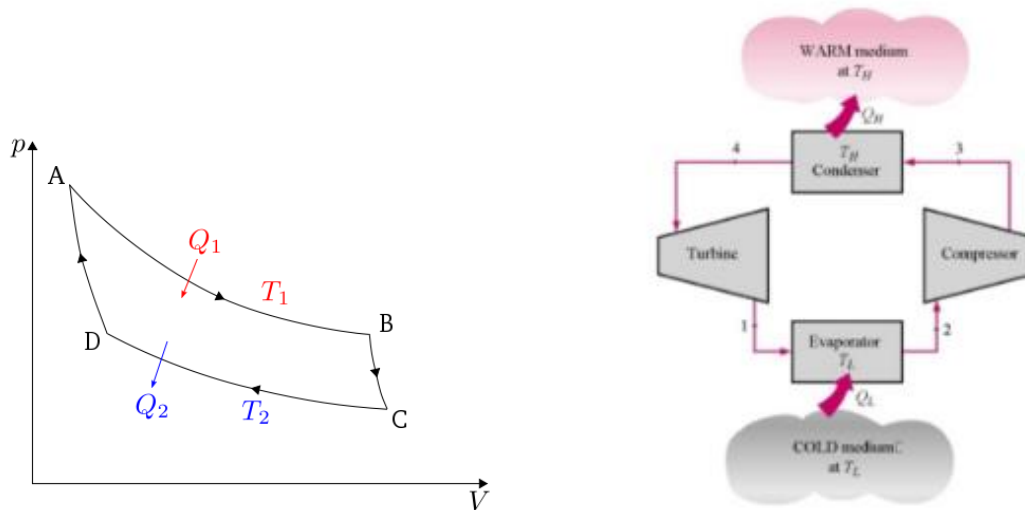


Figura 2: Ciclo invertido de Carnot (Cosme, 2014).

- Ciclo de compresión de vapor: este ciclo termodinámico está caracterizado por tener cuatro procesos principales. Éstos son: compresión, expulsión de calor, estrangulamiento y absorción de calor. Durante este proceso, se eleva la temperatura y presión del fluido mediante el compresor, hasta que el fluido se condense. Posteriormente, ingresa en el condensador donde intercambia calor hacia el exterior, por lo que el fluido avanza hasta la válvula de expansión y está en estado totalmente líquido. Finalmente, éste va hacia el evaporador donde absorbe el calor de la cabina interna de la máquina. En la figura 3 se observa un esquema de este ciclo.

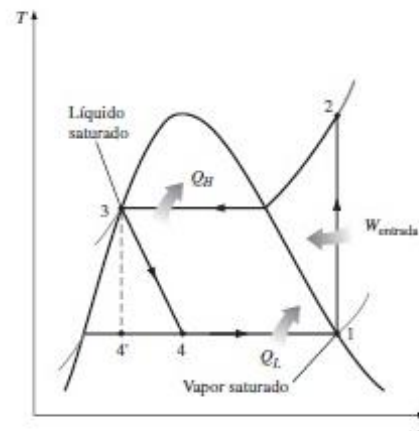
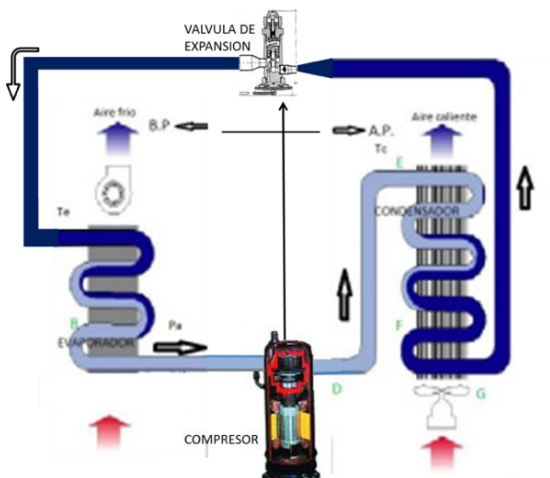


Figura 3: Ciclo de refrigeración por compresión (Correa, 2015).

- Ciclo de refrigeración de gas: este sistema se caracteriza por tener los cuatro procesos principales: compresión, absorción, expansión y rechazo de gas. Sin embargo, la expansión se la realiza mediante una turbina. En la figura 4, se aprecia este sistema de refrigeración de gas.

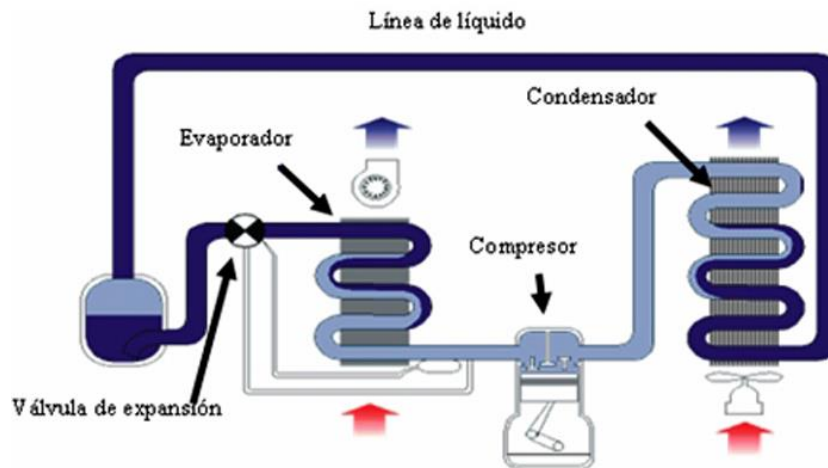


Figura 4: Ciclo de refrigeración por gas (López, 2013).

- Ciclo de refrigeración por absorción: este ciclo tiene un funcionamiento similar al sistema de refrigeración por compresión, con sus cuatro fases termodinámicas. Sin embargo, no se utiliza el compresor para elevar la presión y temperatura del fluido. Sino, se aprovecha las propiedades de distintas sustancias como: bromuro de litio o amoníaco. Además, se necesita de un generador y bomba como principales componentes del sistema para un adecuado funcionamiento, como se ilustra en la figura 5.

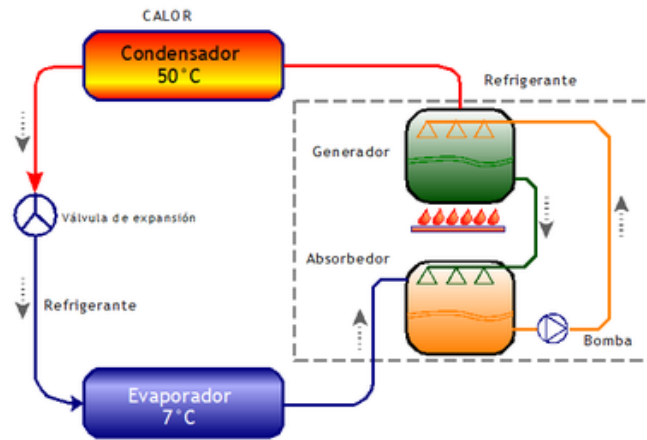


Figura 5: Ciclo de refrigeración por absorción (Cosme, 2014).

- **Refrigeración termoeléctrica:** este sistema de refrigeración utiliza el efecto Peltier-Seebeck. Éste es un proceso físico, en el que existe una conversión directa entre temperatura y electricidad. El efecto Peltier-Seebeck sucede cuando hay un flujo de electrones (corriente), a través de dos metales diferentes o semiconductores (tipo-p y tipo-n) que están conectados en dos puntos. La corriente genera la transferencia de calor de un punto al otro; es decir, en un punto de unión se enfría, mientras el otro se calienta. La eficiencia de este sistema se optimiza mediante la inclusión de disipadores de calor en ambos lados de los puntos de unión (físicamente, placas). En la figura 6, se observa la configuración que tiene una celda termoeléctrica.

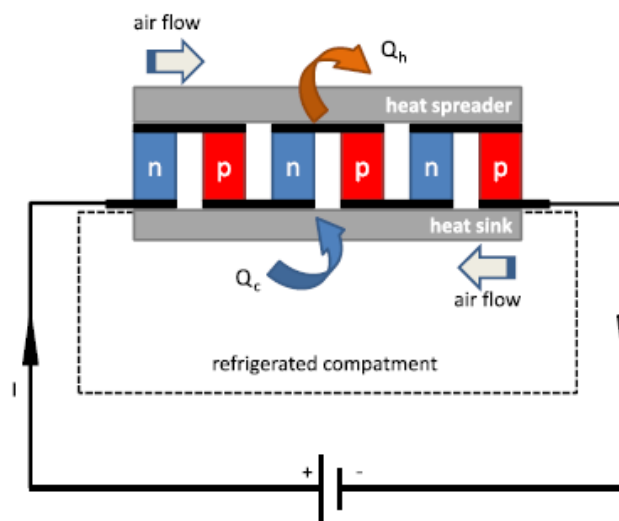


Figura 6: Composición de las celdas Peltier (Hermes, 2012).

La efectividad del sistema de refrigeración termoeléctrica comparada con un sistema de refrigeración convencional se reduce a un 10% y comparado con un ciclo de compresión tradicional baja a un 50%. Sin embargo, las aplicaciones de este sistema de refrigeración se han incrementado, debido al bajo costo, bajo ruido y la facilidad de transportar sus elementos.

Aislantes térmicos

Los aislamientos térmicos son materiales caracterizados por su alta resistencia térmica. Es decir, impiden o reducen el paso de calor entre dos elementos o medios de transmisión. Estos materiales también pueden ser una barrera para la humedad y ruido, dependiendo del tipo de material que se aplique. Las principales propiedades que afectan el rendimiento de los aislantes son: conductividad térmica, emisividad superficial, densidad y capacidad de calor específico. Existen diferentes tipos de aislantes, por lo que se pueden clasificar en naturales y artificiales. Entre los más comunes dentro de los naturales se encuentran la madera, lanas minerales y la fibra de vidrio. Mientras que para aislantes artificiales están el poliuretano, poliestireno expandido, extruido y lanas de vidrio. En la figura 7, se aprecian diferentes tipos de aislantes que se usan en la industria y en la construcción.



Figura 7: Tipos de aislantes térmicos (Merlin, 2016).

- Poliuretano: es uno de los aislantes con mayor capacidad de resistencia térmica. El tipo de poliuretano usado para aplicaciones de aislamiento es el termoestable⁴. El

⁴ Industria poliuretano rígido. (2017). Ventajas del poliuretano como aislante térmico

precio varía dependiendo de la presentación. Normalmente, se pueden encontrar en forma de planchas o paneles. En la figura 8 se aprecia la instalación de este material.



Figura 8: Poliuretano en viviendas (Merlin, 2016).

Este aislante posee propiedades especiales dadas por sus estructuras pequeñas de celdas que forman la espuma y la composición del gas aislante que contiene en su interior. Para este tipo de material, la conductividad térmica depende de características como: el porcentaje de celda cerrada, tamaño de celda, y el gas aislante.

El espesor en este tipo de material es determinante para una mayor resistencia térmica y mayor ahorro energético, lo que resulta en un bajo gasto energético para el consumidor.

- El poliestireno expandible: este tipo de aislante existe tanto en forma expandible como extruido. Este tipo de material es denso y por su baja conductividad térmica puede tener una alta resistencia térmica. Es uno de los aislantes más empleados en la construcción de viviendas y edificios.



Figura 9: Poliestireno expandible (Merlín, 2016).

Sus aplicaciones son diversas, debido a sus propiedades (5% contiene gas aislante y el resto es poliestireno puro). La densidad de este material puede variar entre 10 y 25 kg/m³ y puede tener una conductividad térmica que oscila entre 0,05 y 0,03 W/mK.

- **Lanas minerales:** son aislantes de origen natural y tienen buena resistencia térmica. Son usados comúnmente para aislamientos de construcción de pequeñas viviendas. Existen diferentes adherentes para aumentar su resistencia térmica, ya que es menor a la del poliestireno o poliuretano. En la figura 10 se puede observar la lana mineral que es un material compuesto de la fusión de aglomerantes y arenas como: sílice, fibra de vidrio o roca.



Figura 10: Lanas minerales (Merlín, 2016).

Existen diferentes tipos de lanas minerales. Entre las comunes se encuentran: lana de roca o mineral (SW) y las lanas de vidrio. Sus principales usos son en cubiertas, suelos, techos, fachadas, etc.

DESARROLLO

Para la optimización del prototipo previo de la máquina dispensadora inteligente, se empezó por el análisis y optimización del espacio de almacenamiento interior de acuerdo a la restricción de las medidas solicitadas por parte de los potenciales clientes. Por lo que las dimensiones a desarrollar de este proyecto son: 800 mm de alto, 550 mm de ancho y 400 mm de profundidad. Luego, se modificó la estructura interna (estanterías, travesaños, soportes, etc.), de acuerdo al requerimiento de bajar costos y peso de la máquina prototipo. Una vez determinada la capacidad total de almacenamiento de la máquina, se examinó el sistema de refrigeración que necesita para mantener una adecuada temperatura para los distintos fármacos.

Estructura Interna:

Perfiles de estantería (Racks)

La estructura interna de la farmacia inteligente consiste en la estantería, perfiles y soportes para los medicamentos. Los perfiles internos son los que soportarán el peso de las cajas y tendrán una inclinación variable y modificable. Esto se define por la variabilidad de tamaños y presentaciones de los medicamentos a almacenar. Después de haber conversado con los potenciales clientes, se definió el tipo y propiedades de los fármacos que se almacenará como se muestran en la tabla 1:

Tabla 1: Características de medicamentos y fármacos.

Características medicamentos (por cada caja):	
Peso máximo:	11,2 gr
Peso mínimo:	4,5 gr
Dimensiones máximas:	120x50x30 mm
Dimensiones mínimas:	80x35x15 mm
Tipo de medicamento:	Píldoras encapsuladas y otros

Bajo esta condición, se procedió a analizar el material de los perfiles internos que soportarán la carga en las peores condiciones. Dado el bajo peso a resistir y por las propiedades

inherentes de la aplicación, se definió utilizar polímero PVC. El PVC tiene adecuadas propiedades como: buena rigidez, dureza y resistencia mecánica. Además, es posible adquirirlos en el mercado local a un costo aproximado de la mitad de los perfiles de aluminio previamente utilizados. Cabe destacar que éste es un material no conductor térmico, lo que permite aislar térmicamente de mejor manera a los medicamentos del ambiente exterior. De igual manera, es un material que permite fácilmente ser modificado o maquinado como se lo requiera. Los perfiles mostrados en la figura 11 serán los encargados de sostener las cajas de medicamentos. Estos estarán sujetos a los travesaños o tubos cuadrados de PVC que serán móviles, ya que estarán sujetos con un soporte de adhesión.

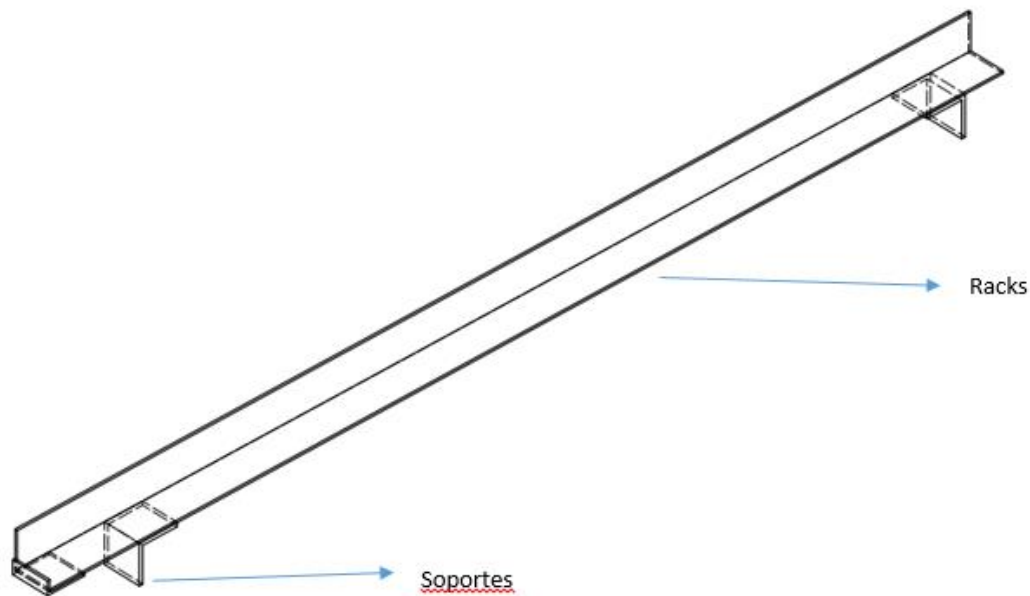


Figura 11: Perfiles (racks) de PVC.

Estos perfiles serán adquiridos en Ecuador y tienen una dimensión de 31 mm de alto, 31 mm de ancho, y una profundidad de 41 cm, como se puede observar en la figura 12.



Figura 12: medidas de perfiles PVC

Travesaños

Para soportar los perfiles de PVC será necesario unos travesaños fabricados de tubo cuadrado de PVC. Estos tubos son flexibles para modificar de acuerdo a la distancia del producto. Por lo general una caja en promedio posee entre 10 cm y 12 cm de largo, en base a estas distancias se cambiarán de posición los perfiles. En la figura 13 se puede observar el elemento y el ensamble con los perfiles de plástico.

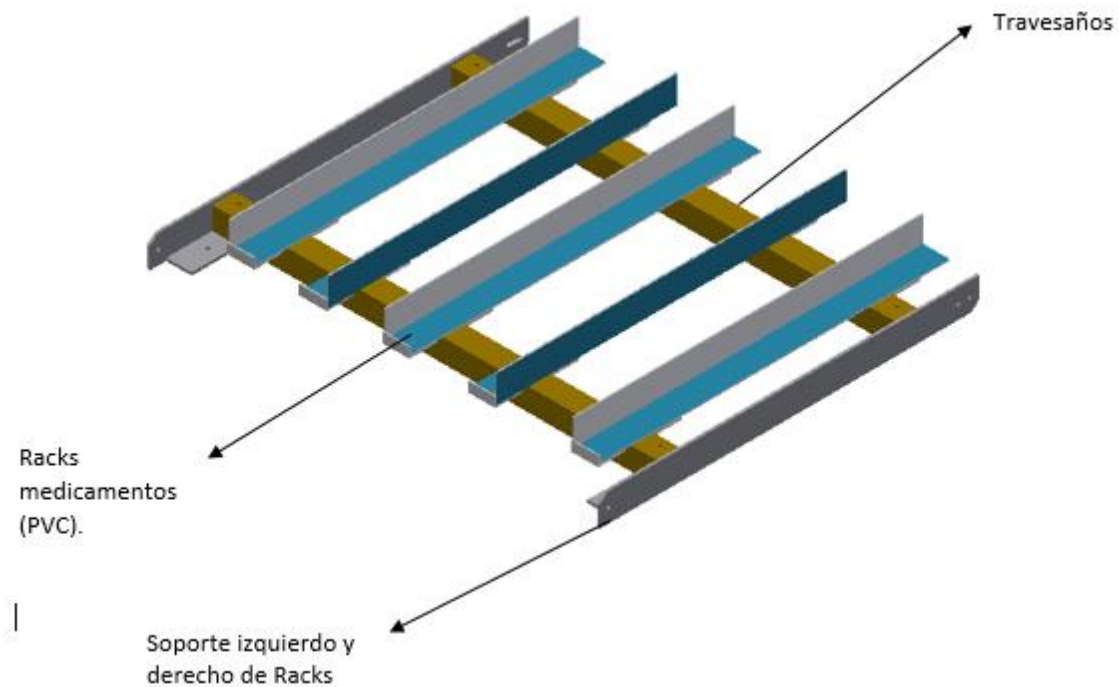


Figura 13: Módulo de estantería (diseño CAD).

Este será el sistema de estantería para los medicamentos en cajas, regulable en una inclinación entre 20 y 30 grados. Esto dependerá del peso de los productos, ya que mientras mayor peso se tenga, se necesitará una inclinación menor para que por acción de la gravedad puedan ser dispensados con facilidad. Mientras que si las cajas son de menor peso, se necesitará el máximo ángulo posible de 30° para que éstas puedan deslizarse hacia la parte frontal para ser dispensadas al cliente con ayuda del brazo mecánico.

Sin embargo, es importante analizar las cargas y pesos que soportarán estos travesaños, por lo que una simulación en Autocad Inventor se muestra en la figura 14:

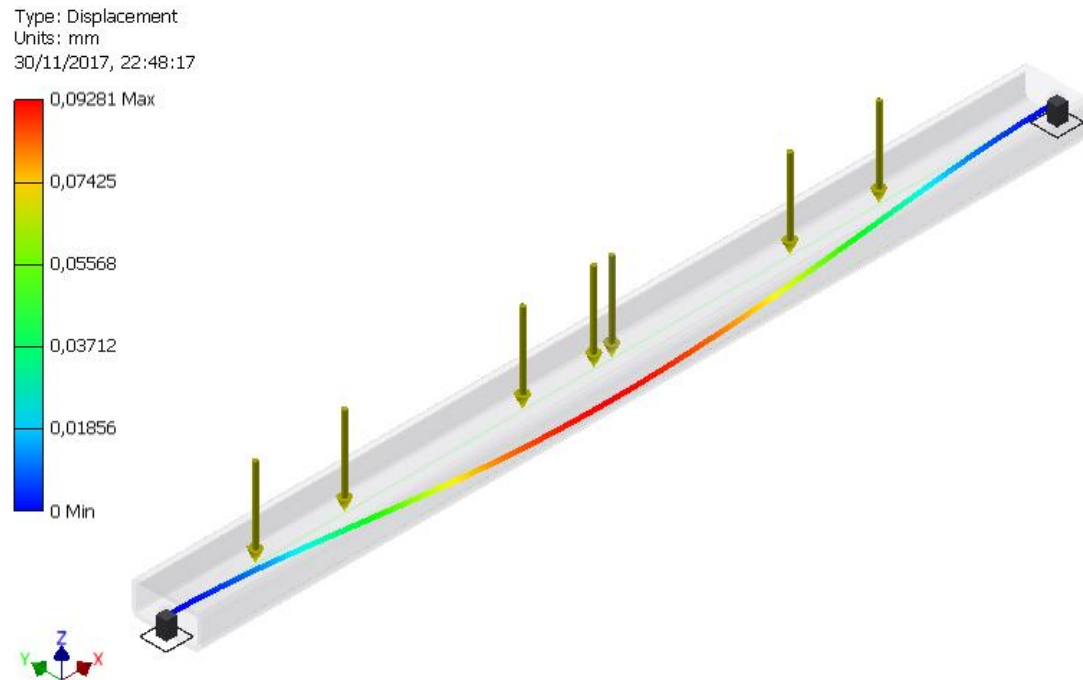


Figura 14: Análisis de travesaños (desplazamiento).

Se estableció todos los parámetros necesarios como material, gravedad, distancias y una carga distribuida de $0,02352 \text{ N/mm}^2$, debido a los 6 perfiles de PVC que soportará. En la figura 15 se aprecia los esfuerzos normales que sufre la estructura:

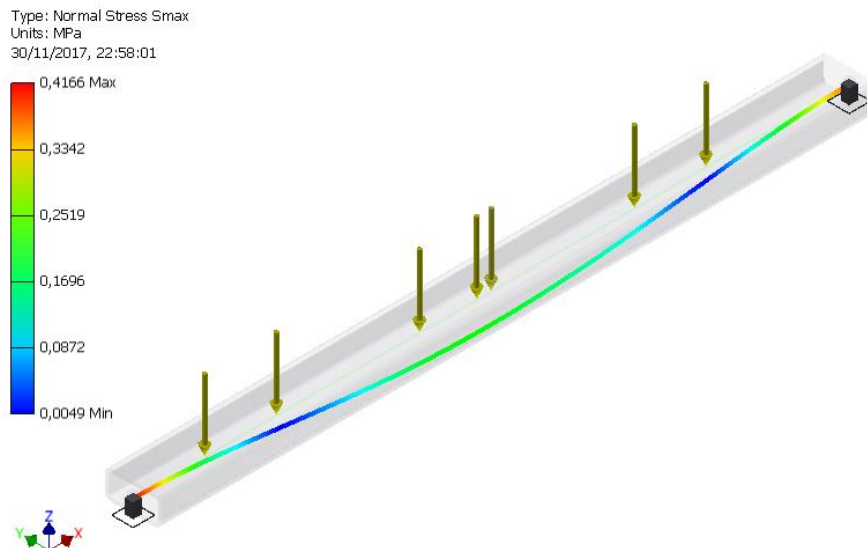


Figura 15: Análisis travesaños (esfuerzos normales).

El PVC flexible posee un módulo de elasticidad de 2,14 GPa, por lo que en el análisis de esfuerzo normal no ocurre ninguna deformación crítica, indicándonos que el material seleccionado es adecuado para nuestra aplicación.

Estructura Externa:

Por características del sistema de despacho de los medicamentos, se decidió mantener una distribución matricial de 4 x 3; es decir, 4 filas y 3 columnas. Bajo estas condiciones y utilizando las dimensiones más pequeñas de las cajas de medicamentos, se logró calcular una capacidad de almacenamiento de 60 medicamentos. Dado que las dimensiones externas finales de la máquina fueron estipuladas a priori, simplemente se especificó el tamaño de la estructura principal de 800 x 550 x 400 mm.

Por motivos de la carga total soportada y por facilidad de transición en el montaje, se propuso soportar los módulos de estantería (compuestos de perfiles y travesaños) con ángulos de aluminio a la estructura externa. De esta manera, se predefine que la forma de unión de las partes se realizaría a través de sujetadores mecánicos (tornillos y pernos).

Columnas y bastidores

Para la estructura principal se analizó diferentes materiales que puedan dar seguridad, resistencia y un buen mantenimiento. Por lo que el aluminio, hierro negro y el acero galvanizado estuvieron en consideración por sus propiedades mecánicas y la disponibilidad en el mercado. Después de una evaluación de costo/beneficio, evaluando las propiedades de los materiales, se seleccionó al acero galvanizado como el material de fabricación.

La estructura principal está compuesta por 4 elementos básicos:

- Perfil altura de estructura de 800 mm.
- Perfil ancho de estructura de 550 mm.
- Perfil profundidad de estructura de 400 mm.
- Ensamblaje perfil (4): para soportes y rieles de movimiento.

En la figura 16 se puede observar el diseño CAD de la estructura externa:

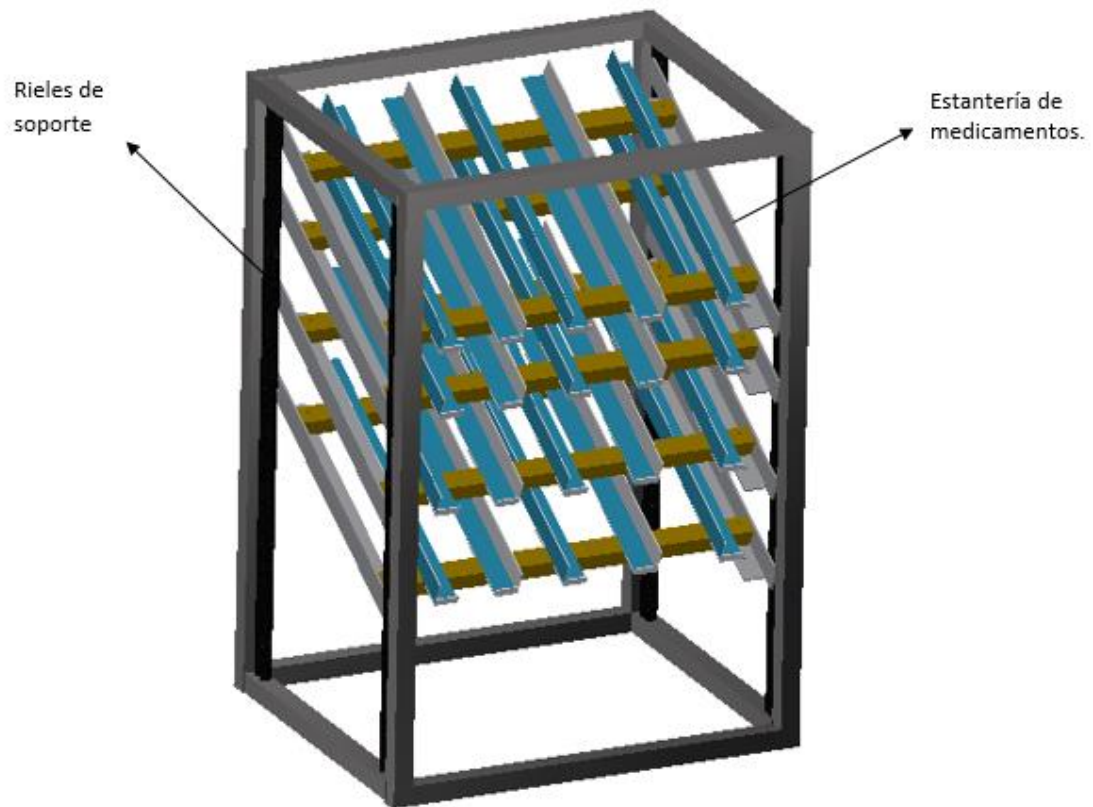


Figura 16: Estructura externa (diseño CAD).

Hay que señalar que en la parte inferior de la estructura se necesita un compartimento para colocar los elementos electrónicos y de control de los diferentes sistemas de refrigeración y despacho de medicamentos.

Rieles y sistema de sujeción

Para lograr la variación en la inclinación de la estantería de medicamentos se necesita un sistema de regulación apropiado. Por lo que se instaló una riel metálica perforada en las columnas de la estructura principal para poder realizar esta operación. Este sistema de regulación utilizará un perno perforado y pasador tipo horquilla como medio de sujeción. En la figura 17 se puede observar la riel perforada y el sistema de sujeción.

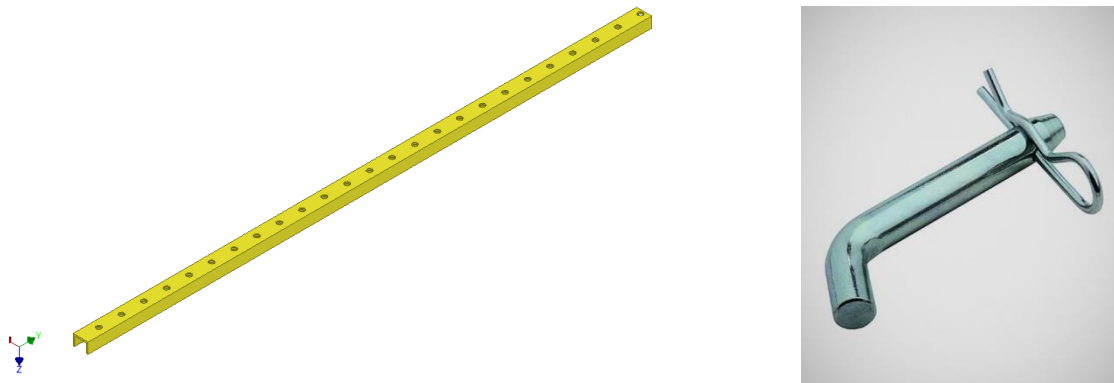


Figura 17: Riel perforada y horquilla

Este sistema permitirá modificar la inclinación de las estanterías de medicamentos según se lo requiera sin necesidad de herramienta alguna. En la figura 18 se puede observar las estanterías a 30° de inclinación.

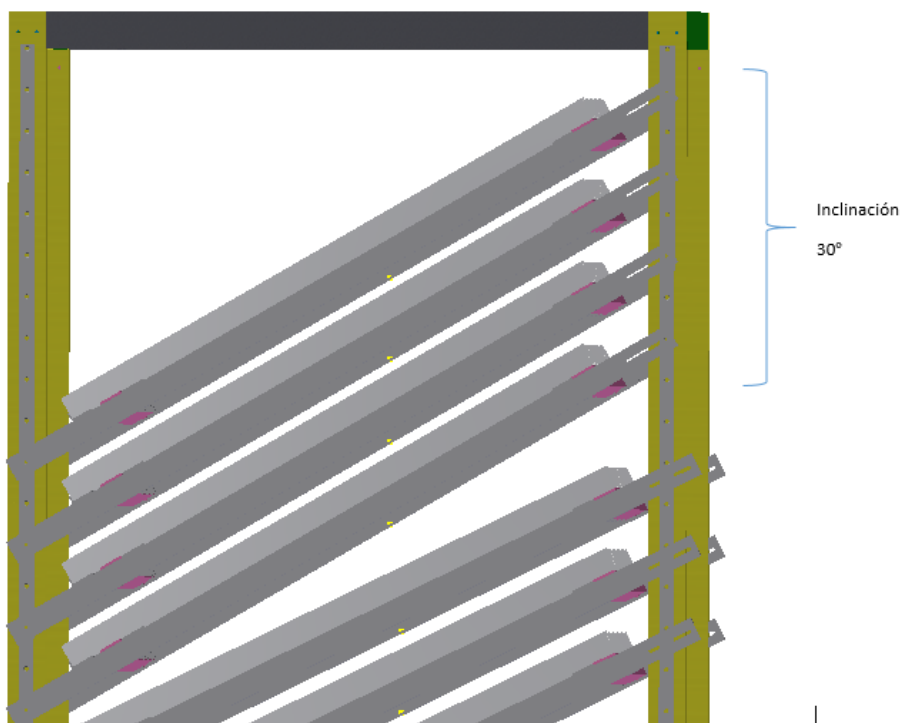


Figura 18: Inclinación de estanterías a 30°

En esta sección, por ejemplo, se deberían colocar los medicamentos de menor peso que necesitan una mayor inclinación para promover su deslizamiento hacia la parte frontal para que pueda estar al alcance del actuador del brazo mecánico de la máquina para poder ser

despachado. Para evitar interferencia entre cajas de medicamentos y diferentes regulaciones de inclinación, se definió que la inclinación sea regulable en pasos de 3.8° . En la figura 19 se puede observar la inclinación de distintos perfiles de la estantería y su sistema regulable:

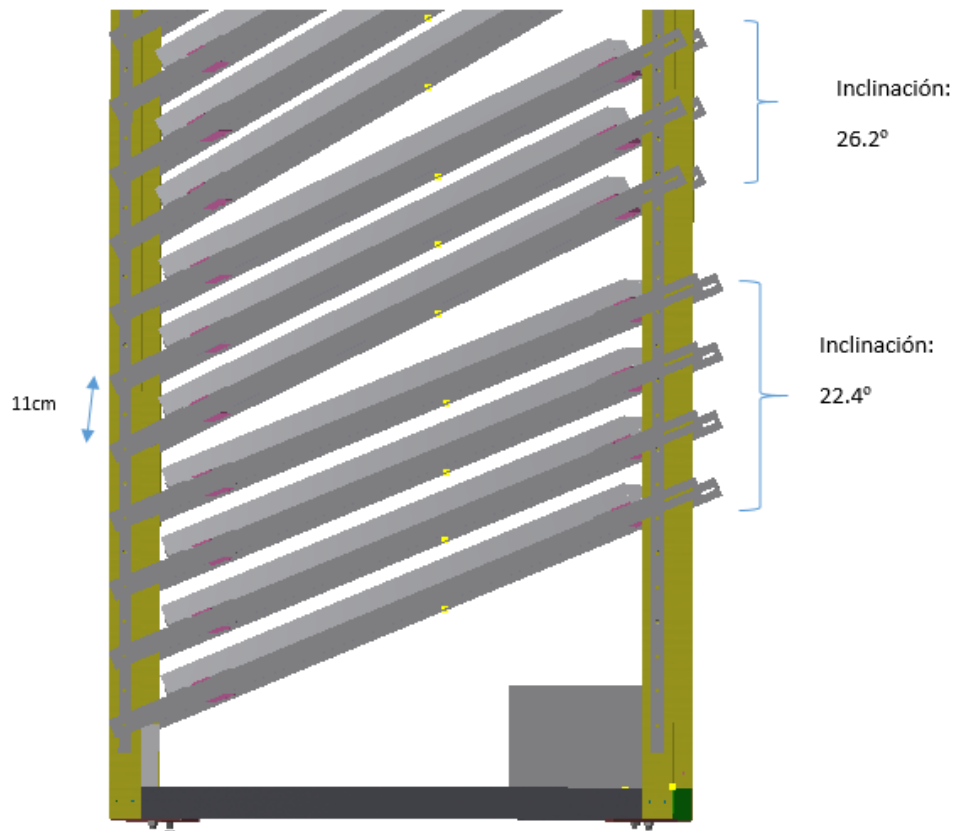


Figura 19: Inclinación de soportes perfiles de aluminio.

La separación de altura para cada estantería es de 11 cm para que no haya interferencia entre cada una de ellas. Además está calibrada en base a la altura máxima que alcanza una caja de medicamentos.

Mecanismo de Movimiento

Las máquinas dispensadoras se caracterizan por tener un mecanismo de movimiento capaz de entregar el producto o artículo seleccionado al consumidor. Dado que el sistema de control, monitoreo y despacho de medicamentos del prototipo anterior se encuentra en proceso de optimización y mejoramiento, se utilizará el mismo sistema. Este sistema se compone de un brazo mecánico, basado en el mecanismo del robot cartesiano que permite el

posicionamiento sobre el plano X e Y utilizando servomotores. En la figura 20 se observa el movimiento y accionamiento de este mecanismo.

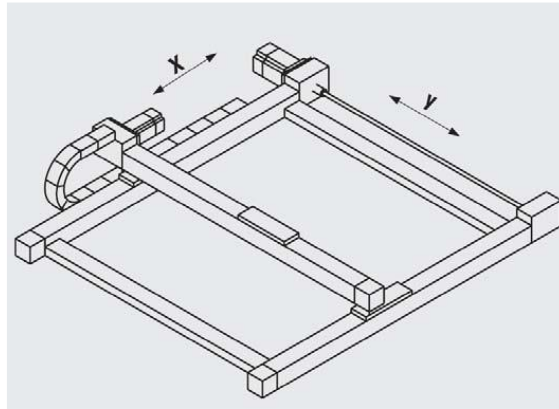


Figura 20: Mecanismo robot cartesiano

Hay que señalar que para este trabajo sólo se adquirieron los componentes básicos del brazo mecánico para luego adicionar los elementos y accesorios optimizados. Por esta razón, la operatividad del brazo mecánico dispensador no es objeto de implementación ni de pruebas de funcionamiento en este trabajo.

Brazo mecánico

En el robot cartesiano se emplea los motores denominados paso a paso que son los encargados de generar el movimiento de potencia hacia los ejes mediante bandas y poleas. Para mejorar el sistema previo se empleará una mayor potencia en los motores. Así, estos serán los NEMA 23 CNC de 1.9 Nm y 3 Nm. El posicionamiento del sistema de bandas será tanto en el eje X para el movimiento horizontal y el eje Y para el vertical. Así, se realizó la construcción de poleas con rodamientos para un buen funcionamiento de las bandas. En la figura 21 se observa la estructura de las poleas y rodamientos.

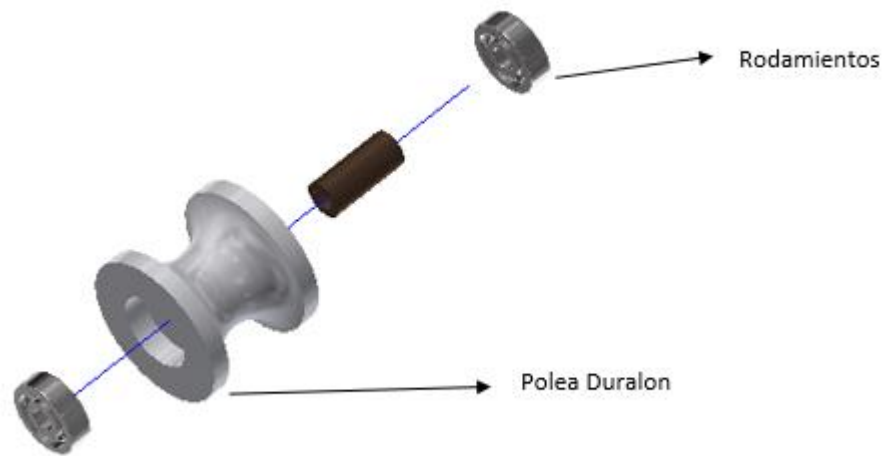


Figura 21: Sistema de poleas para bandas

Estas poleas de duralón ayudan a mantener un eficaz funcionamiento y transmisión de movimiento. Posteriormente, estas poleas se acoplan con unas cubiertas capaces de sostener y proteger al material de la banda como se muestra en la figura 22.

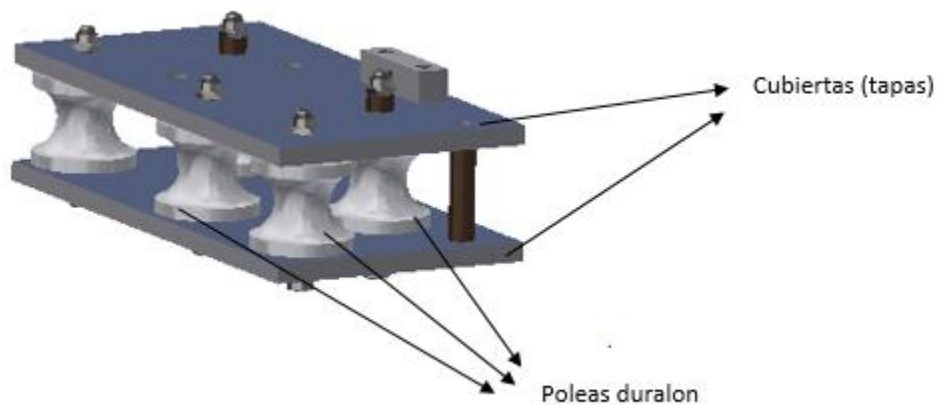


Figura 22: Acople mecanismo horizontal

Este mecanismo horizontal va ensamblado en una riel de tubo de aluminio que le permitirá desplazarse en toda su longitud. En tanto, los motores van ensamblados a la estructura

principal de la máquina (fabricada con tubos de acero galvanizado), por lo que se elaboró unos soportes emperrados como se muestran en la figura 23.

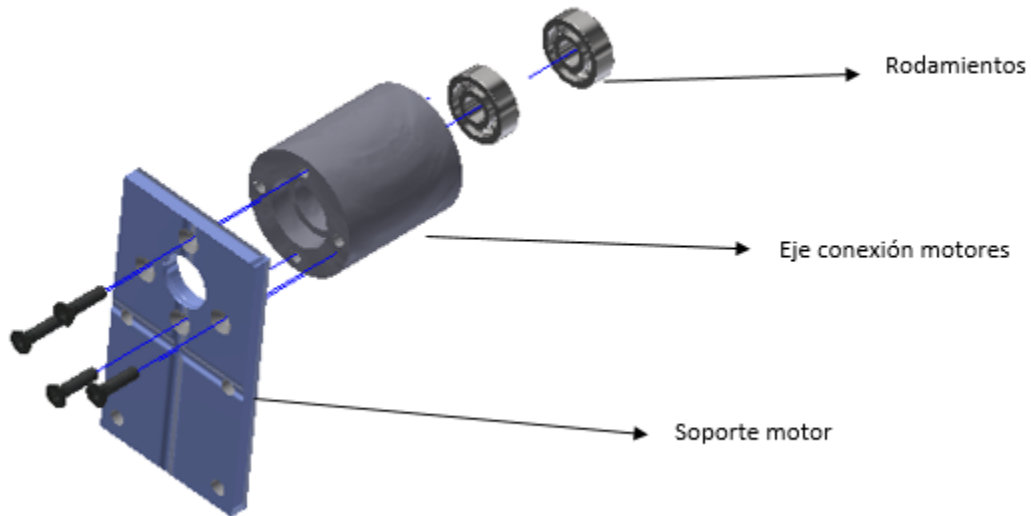


Figura 23: Soportes para motores

De igual manera, aquí se colocaron unas pequeñas poleas para conectar el sistema de bandas y poder generar el movimiento. El mecanismo de motores y bandas están adheridos a rieles de movimiento tanto para el eje vertical y horizontal. Sin embargo, para el movimiento vertical se implementaron unas ruedas de duralón para que pueda restringirse de mejor manera su movimiento lineal y soportar de mejor manera el peso y movimientos. En la figura 24 se observa el mecanismo del movimiento vertical.

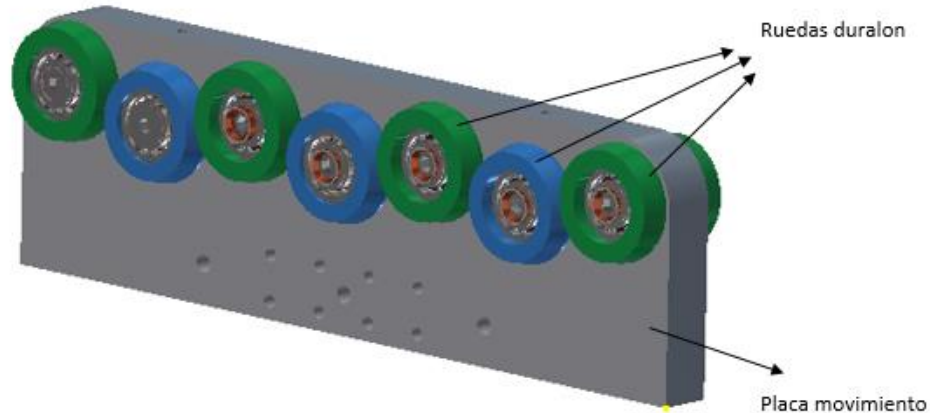


Figura 24: Mecanismo de movimiento vertical

Actuador

El actuador es el elemento encargado de recoger y entregar la medicina mediante el brazo mecánico. Al no tener el brazo mecánico un movimiento en el eje Z, el actuador tendrá un movimiento adecuado que permita levantar y empujar la caja de medicamento fuera de los compartimentos de almacenamiento. Al estar conectado mediante servomotores hay que definir una distancia adecuada para su funcionamiento. Desde el actuador hasta los perfiles (racks) de la estantería se tendrá una separación de 43 mm.

Existen diferentes tipos de actuadores. Uno de los principales son las pinzas metálicas o de plástico capaces de generar dos movimientos principales: rotativo y el de enganchar los objetos. Este tipo de actuador será el implementado en esta máquina. En la figura 25 se aprecia este componente y su respectivo servomotor capaz de generar el movimiento:

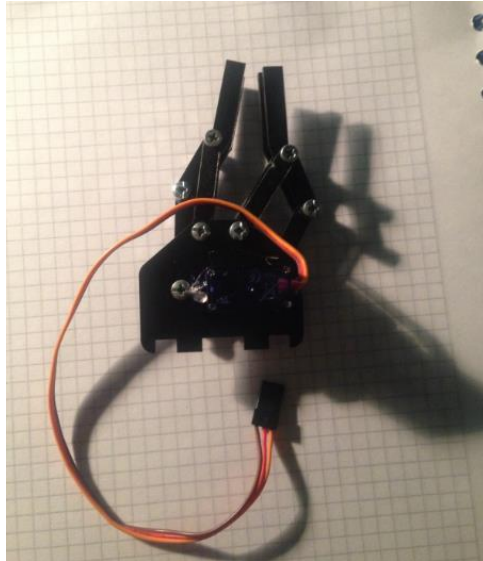


Figura 25: Pinzas plásticas y su servomotor.

Diseño de Sistema térmico:

Una vez analizadas y determinadas las características y propiedades de la máquina dispensadora de medicamentos, se procedió a diseñar el sistema de climatización necesario para cumplir con los requerimientos del cliente. Existen varios tipos de sistemas de climatización. Dependiendo de las necesidades y parámetros de trabajo se los puede construir o comprar y adecuar a los requerimientos deseados. El implementar un sistema de refrigeración convencional elevará sustancialmente el costo de producción y de venta de esta máquina, además de incluir las dificultades asociadas al espacio de incluir estos elementos. Por cuanto, se evaluó el uso de un sistema termoeléctrico Peltier⁵.

Sin embargo, antes de una selección de sistema térmico es importante analizar las cargas de refrigeración disponibles.

La carga principal de refrigeración está caracterizada por el volumen interno de aire y la carga de fármacos almacenados. Por lo que el análisis comienza con el flujo de aire interno con la siguiente ecuación:

⁵ Efecto Peltier: La corriente genera la transferencia de calor de un punto al otro; es decir, en un punto de unión se enfría, mientras el otro se calienta.

$$Q = mC_p(T_f - T_i)$$

Donde

$m = 0,2384$ kg masa de aire interior de la máquina

$C_p = 1012$ J/kg-K Calor específico de aire a 25°C

$T_f = 8$ °C Temperatura final que tendrá el interior de la máquina

$T_i = 25$ °C Temperatura inicial al cual entra el aire a condiciones normales.

De esta manera se puede calcular la capacidad de refrigeración para el volumen interno de aire.

$$Q_{air} = 0,2384(1012)(25 - 8)$$

$$Q_{air} = 4101,43 J$$

Se decide que esta cantidad de carga de refrigeración se necesitará enfriar en un tiempo de 20 minutos, determinándose que:

$$q = \frac{Q_{air}}{n}$$

$$q_{air} = \frac{4101,43J}{20(60)} = 3,42W$$

En la ecuación previa n es el número de minutos que se necesitará para tener la diferencia de temperatura antes establecida. Estos 3,42 W corresponden sólo al volumen de la máquina con el aire interior.

Sin embargo, toda la máquina no solo estará llena de un volumen de aire sino también con una masa interior de medicamentos de uso común. Por lo que hay que establecer algunas propiedades de los fármacos para obtener la carga de refrigeración.

Tabla 2: Características de los medicamentos almacenados.⁶

Características de los fármacos	
Temperatura inicial	25°C
Temperatura final	10°C
Calor específico (Cp)	$C_p = 326,08 \text{ J/K mol}$
Masa fármacos	576 gramos

De esta manera se puede establecer la carga de refrigeración necesaria para estos elementos que se almacenarán:

$$Q_{pills} = mC_{p_{pills}}(T_f - T_i)$$

$$Q_{pills} = 0,576(1850)(25 - 8)$$

$$Q_{pills} = 18115,2 \text{ J}$$

Por lo que ahora:

$$q_{pills} = \frac{18115,2 \text{ J}}{20(60)}$$

$$q_{pills} = 15,096 \text{ W}$$

No obstante, otro factor a incluir es la estructura de acero galvanizado que se encuentra en el interior que también aumentará la carga de refrigeración. En la tabla 5 se puede observar las principales propiedades del acero galvanizado.

Tabla 3: Propiedades del acero galvanizado.⁷

Características del acero galvanizado	
Densidad	7850 kg/m ³
Calor específico (Cp)	460 J/kg K

⁶ Heath S. (2014). *Temperature management of Medicines storage and transport*.

⁷ Groover, M. (2007). *Trabajo Metálico de Láminas fundamentos de Manufactura Moderna*

Conductividad térmica	47 – 58 (W/ mK)
Volumen seccional	162.54 cm ³

Primero se debe obtener la masa de toda la estructura mediante la densidad y volumen, dando un total de 4,81 kg. De esta manera se puede aplicar la siguiente ecuación para obtener la carga necesaria:

$$Q_{estructura} = mCp_{galvanizado}(T_f - T_i)$$

$$Q_{estructura} = 4,81(460)(25 - 8)$$

$$Q_{estructura} = 37598,56 J$$

Para obtener la potencia necesaria se aplica la siguiente ecuación:

$$q_{estructura} = \frac{37598,56 J}{20(60)}$$

$$q = 31,33 W$$

Igualmente se procede a realizar el cálculo para los perfiles de aluminio que intervienen en el interior de la máquina que son los soportes para los medicamentos. En la tabla 6 se muestra las propiedades del aluminio 6063 para su respectivo procedimiento:

Tabla 4: Propiedades del aluminio 6061.⁸

Características del aluminio 6061	
Densidad	2840 kg/m ³
Calor específico (Cp)	920 J/kg K
Conductividad térmica	47 – 58 (W/ mK)
Volumen seccional	8.26 x 10 ⁻⁵ m ³

⁸ Groover, M. (2007). *Trabajo Metálico de Láminas fundamentos de Manufactura Moderna*

$$Q_{perfiles} = mCp_{perfiles}(T_f - T_i)$$

$$Q_{estructura} = 2,34(920)(25 - 8)$$

$$Q_{perfiles} = 36597,6 J$$

$$q_{perfiles} = \frac{36597,6 J}{20(60)}$$

$$q = 30,49 W$$

Otro de los factores que intervienen en la carga de refrigeración es la infiltración que ocurre en la máquina durante varios lapsos del día o a ciertas horas. A pesar que la máquina dispensadora de medicamentos estará aislada y tendrá un buen sistema de convección interior forzada. Se necesita establecer una carga de infiltración que se produce por la siguiente ecuación:

$$q_t = qD_tD_f(1 - E)$$

Donde:

q_t = ganancia de calor promedio para 24 horas u otro periodo (W).

q = carga de refrigeración sensible para un flujo establecido (kW).

D_t = puerta de entrada, factor de tiempo abierto

D_f = factor de flujo de entrada

E = efectividad del dispositivo de protección de entrada.

Por lo que esta ganancia de calor se sumará a la carga total que se necesitará para la máquina. De esta manera el primer factor a analizar es q , y se calcula con la ecuación (6):

$$q = 0,577WH^{1.5}\left(\frac{Q_s}{A}\right)\left(\frac{1}{R_s}\right)$$

Donde:

Q_s/A = carga de calor sensible de aire de infiltración por metro cuadrado (kW/m^2)

W = ancho de la puerta (m)

H = altura (m)

R_s = relación de calor sensible de la ganancia de calor de aire de infiltración.

Para el factor de Q_s/A se necesita revisar la figura 26 proporcionado en el manual de refrigeración (ASHRAE, 2010) como se muestra en la figura:

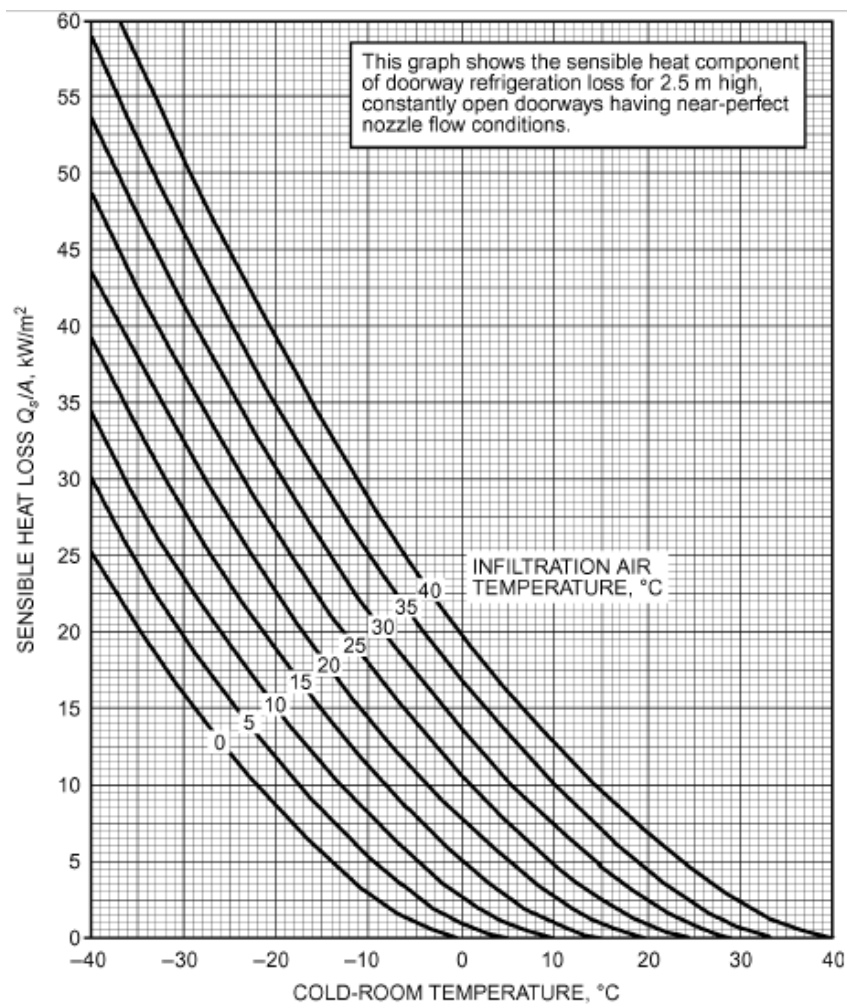


Figura 26: Pérdida de calor por infiltración de aire (Ashrae, 2010).

La máquina se encuentra en un rango de 5°C y una infiltración de aire a temperatura ambiente de 25 °C. Por lo que el calor perdido de sensibilidad es 7,5kW/m².

Para el factor Rs es necesario observar la tabla proporcionada por el mismo manual. Ésta es basada en la temperatura refrigerada y las condiciones de humedad, como se muestra en la tabla 7:

Tabla 5: Proporción de calor sensible por infiltración de puertas.

Outdoor Cond.			Cold Space at 90% rh Dry-Bulb Temperature, °C									
DB °C	WB °C	rh, %	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
30	19.7	30	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.72	0.73	0.77	0.87	—
	21.8	40	0.71	0.69	0.68	0.66	0.65	0.63	0.63	0.64	0.68	0.83
	23.9	50	0.66	0.64	0.62	0.60	0.59	0.57	0.56	0.55	0.56	0.62
	25.8	60	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48	0.48	0.49
35	19.0	20	0.80	0.79	0.78	0.77	0.77	0.77	0.79	0.84	0.96	—
	21.6	30	0.72	0.71	0.69	0.68	0.67	0.66	0.67	0.68	0.72	0.86
	24.0	40	0.66	0.64	0.63	0.61	0.59	0.58	0.57	0.57	0.58	0.63
	26.3	50	0.61	0.59	0.57	0.55	0.53	0.52	0.50	0.49	0.48	0.50
	28.3	60	0.56	0.54	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.43	0.42	0.41
40	20.7	20	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.72	0.73	0.75	0.82	0.98
	23.6	30	0.68	0.66	0.65	0.63	0.62	0.61	0.60	0.61	0.62	0.68
	26.2	40	0.61	0.59	0.58	0.56	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.52
	28.6	50	0.55	0.54	0.52	0.50	0.48	0.47	0.45	0.43	0.42	0.42

Con una temperatura de 10°C y la peor condición de diseño de ambiente exterior se obtiene un valor de 0,42. De esta manera, ahora si es posible calcular la infiltración total que se produce en la máquina, con la ecuación anterior:

$$q = 0,577(0.4865)(0.7365)^{1.5}(7,5)\left(\frac{1}{0,42}\right)$$

$$q = 3.17kW$$

Ahora se determinara el factor D_t como se muestra a continuación:

$$D_t = \frac{(P \times \theta_p + 60\theta_o)}{3600\theta_d}$$

Donde:

$P = 1$	Cantidad de aberturas puerta
$\theta_p = 20$ segundos	Tiempo de apertura, cierre de puertas.
$\theta_o = 10$ min	El tiempo que puerta está abierta.
$\theta_d = 1$ h	Tiempo diario (u otro).

$$D_t = 0.08611$$

El tiempo de apertura θ_p , en el manual de refrigeración recomienda que este valor esta entre 15 y 25 segundos donde dura este tramo de apertura de la puerta. Mientras que los otros dos factores de θ_o y θ_d son proporcionados por el usuario.

El otro factor a considerar en la carga de infiltración es D_f , al ser el factor de flujo de entrada cuando no existe una mayor diferencia de 16 °C se establece un valor de 0,8. Por otro lado, si la diferencia de temperatura es mayor es de 1.

De igual manera el factor E, de efectividad del dispositivo de la puerta tiene un alto porcentaje desde 95% para arriba. Con el paso del tiempo, estos pueden ir desgastándose hasta llegar un 80%. Por lo que de manera inicial se tomara el 95%.

Con los factores correcciones, y volviendo a la ecuación (4) se puede establecer la carga de infiltración total:

$$q_t = 1.53 \times 0,08611 \times 0,8 \times (1 - 0,95)$$

$$q = 5.27 \text{ W}$$

La última carga de refrigeración se lo conoce como carga de transmisión, el cual es la ganancia de calor sensible a través de paredes, piso y techo de la máquina en estado estable.

Para determinar y calcular se necesita la siguiente ecuación:

$$q_{transmission} = UA\Delta t$$

Donde:

q= calor ganado (W)

A= área seccional exterior (m²)

Δt = diferencia de temperatura entre la parte exterior y la interior refrigerada (K).

Para obtener U, el coeficiente global de transferencia de calor de las paredes, piso y techo se emplea la siguiente ecuación:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_o}}$$

Donde:

hi = conductancia superficial interna

ho = conductancia superficial externa

x = espesor de la pared

k = conductividad térmica del material de la pared.

En la tabla se especifica los valores de cada factor de las ecuaciones anteriores para su respectivo cálculo.

Tabla 6: Factores que intervienen en carga de transmisión.

Carga de transmisión	
Temperatura interna	8 °C
Temperatura externa	25 °C
Espesor de poliestireno	50 mm
Conductividad térmica poliestireno	0.025 W/m K

Sin embargo, hay que determinar el coeficiente global de transferencia de calor en cada pared de la máquina para establecer una carga total de refrigeración. En la tabla 9 se especifica los valores para cada caso y sus respectivos resultados.

Tabla 7: Valores de cálculo para transferencia de calor.

	Alto (m)	Ancho (m)	Largo(m)	Área (m ²)	Conductancia superficial externa (ho) W/(m ² -K)
Techo	0	0.55	0.45	0.245	1,6
Piso	0	0.55	0.45	0.245	1,6
Pared: izquierda	0.8	0	0.45	0.36	1,6
Derecha	0.8	0	0.45	0.36	1,6
Frontal	0.8	0	0.55	0.44	1,6
Posterior	0.8	0	0.55	0.44	1,6

Ahora se procede a calcular el coeficiente global de transferencia de calor con la ecuación anterior. En la siguiente tabla se establece los resultados para calcular una carga de refrigeración total:

Tabla 8: Cálculos para transmisión de calor.

Transmisión de calor				
	Área (m ²)	U (W/m ² -K)	Δt (K)	Carga (W)
Piso	0.245	0.323	17	1,34
Techo	0.245	0.323	17	1,34
Pared (izquierda)	0.36	0.323	17	1,97

Derecha	0.36	0.323	17	1,97
Frontal	0.44	0.323	17	2.42
Posterior	0.44	0.323	17	2.42
Total				11.46

Como factor final se debe analizar la cantidad de calor que operan tanto los ventiladores y motores interiores de la máquina dispensadora de medicamentos. En la tabla 11 se analiza la ganancia de calor para ventiladores comunes:

Tabla 9: Ganancia de calor en ventiladores comunes.

Motor Rated, kW	Motor Type	Nominal rpm	Full Load Motor Effi- ciency, %	Location of Motor and Driven Equipment with Respect to Conditioned Space or Airstream		
				A	B	C
				Motor in, Driven Equip- ment in, W	Motor out, Driven Equip- ment in, W	Motor in, Driven Equip- ment out, W
0.04	Shaded pole	1500	35	105	35	70
0.06			35	170	59	110
0.09			35	264	94	173
0.12			35	340	117	223
0.19	Split phase	1750	54	346	188	158
0.25			56	439	246	194
0.37			60	621	372	249
0.56	3-Phase	1750	72	776	557	217
0.75			75	993	747	249
1.1			77	1453	1119	334
1.5			79	1887	1491	396
2.2			81	2763	2238	525
3.7			82	4541	3721	817
5.6			84	6651	5596	1066
7.5			85	8760	7178	1315
11.2			86	13 009	11 192	1820
14.9			87	17 140	14 913	2230
18.6	88	21 184	18 635	2545		
22.4	89	25 110	22 370	2765		
30	89	33 401	29 885	3690		
37	89	41 900	37 210	4600		
45	89	50 395	44 829	5538		
56	90	62 115	55 962	6210		
75	90	82 918	74 719	8290		
93	90	103 430	93 172	10 342		
110	91	123 060	111 925	11 075		
150	91	163 785	149 135	14 738		
190	91	204 805	186 346	18 430		

Por lo que en la siguiente ecuación se calcula la carga necesitada por los ventiladores:

$$q_{fan} = n \times P_{fan}$$

De acuerdo a la tabla se obtiene un valor de $P_{fan} = 35$ W y n es el número de ventiladores internos, que son 2. Por lo que el valor de la carga ganada es de 70 W.

Finalmente se debe hacer una totalidad de las cargas de refrigeración necesarias y aplicar un factor de seguridad como se presenta en la tabla:

Tabla 10: Valoración total de cargas de refrigeración.

Resumen		Carga (W)
Producto (fármacos)		212.3
Volumen interior		65.24
Transmisión		11.46
Infiltración		5.27
Ventiladores y motores		70
	Subtotal	317,2
	Factor de seguridad	20%
	Total	396,5

De esta manera, se puede especificar que se requiere un sistema de capacidad de 400W para climatizar el interior de la máquina. Dado que los sistemas termoeléctricos que se encuentran en el mercado pueden alcanzar la temperatura de operación (rango de 8°C a 10°C) y la carga de refrigeración, se decide seleccionar este sistema que resulta costo efectivo. Con la carga total de refrigeración, ahora es posible determinar la cantidad de celdas necesarias para la máquina dispensadora de medicamentos. Cada celda puede tener una capacidad de refrigeración de 98,5 W⁹. Ahora se aplica la siguiente relación:

$$\#celdas = \frac{Q_{maquina}}{Q_{celda}}$$

$$\#celdas = \frac{396,5}{98,5}$$

$$\#celdas = 4$$

⁹ Pietrzyk, K. (2016). Thermoelectric module design strategy for solid state refrigeration.

Las celdas peltier se caracterizan por crear un flujo de calor entre la unión de dos diferentes tipos de materiales. El principio de este efecto parte por la aplicación de un voltaje a través de los conductores de esta placa y en el que se crea una corriente eléctrica. Cuando la corriente fluye por los dos conductores, el calor es removido de una unión, mientras que el otro lado lo recibe. Existen diferentes tipos de celdas Peltier, de acuerdo al voltaje, amperaje y diferencial de temperatura. Por lo que en la figura 27, se especifica un poco más la denominación que se encuentra en las diferentes placas de especificaciones.

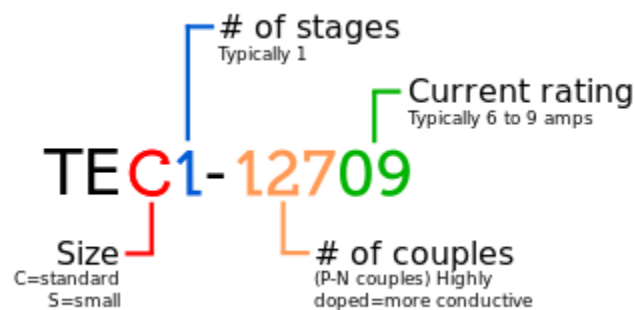


Figura 27: Especificación y denominación estandarizada de las placas Peltier (Hermes, 2014).

A medida que se incremente el voltaje aplicado, existirá un diferencial de temperatura mayor entre el lado positivo y negativo de la placa.

Existen varias ventajas para este sistema de refrigeración:

- Control rápido para el voltaje y amperaje aplicado.
- Puede ser aplicado en cualquier volumen de control como los sistemas de refrigeración convencional.
- Largo tiempo de vida de las placas.
- No contaminan el ambiente, porque no producen clorofluorocarbonos (CFC).
- No requieren un constante mantenimiento.

Este sistema depende del número de celdas Peltier utilizadas y el arreglo en que se disipe el calor tanto para la parte fría y caliente. Por lo que para mantener un ambiente a una temperatura de 2°C a 8°C, se necesitará conectar 4 celdas en forma de serie de acuerdo a lo

arriba calculado. Para que el sistema requerido funcione se debe adquirir los siguientes elementos:

- Celda peltier TEC1- 12710 (6A).
- Ventiladores de 12V.
- Disipadores de calor.
- Adaptadores de corriente
- Fuente de poder 12 V, 5A.
- Placa de modulación de ancho por pulsos.

En la figura 28 se puede apreciar el conjunto y ensamble de esta placa que se aplicará en distintas partes de la máquina.

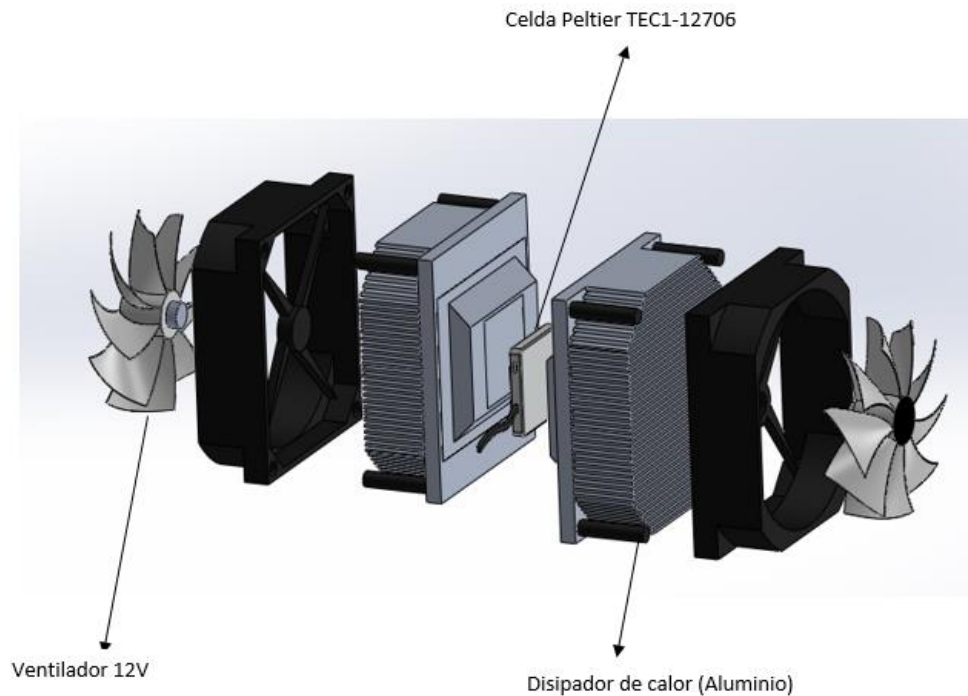


Figura 28: Ensamble módulo Peltier (diseño CAD).

Los disipadores de calor son de aluminio y se deben pegar mediante una pasta térmica que posee una gran capacidad para conducir calor. Así el calor generado en ambos lados de la placa se podrá disipar de manera más eficiente.

Dentro de un sistema termoeléctrico es importante analizar la transferencia de calor entre los distintos medios y fluidos. Para ello se requiere establecer las características principales de las celdas Peltier como se puede ver en la tabla 13:

Tabla 11: Propiedades del módulo Peltier.¹⁰

Propiedades TEC1-12715	
Voltaje máximo	17,2 V
Corriente máxima	15 A
Capacidad de enfriamiento	98,5 W
Diferencia de temperatura	70 °C

Para tener un mejor dimensionamiento del sistema de celdas en la máquina es importante realizar un modelado térmico en el programa SolidWorks. De esta manera, se podrá evaluar la parte interna de los flujos de aire y los distintos factores como velocidad, temperaturas y cargas de refrigeración. En la figura 29 se observa el modelado de esta máquina.

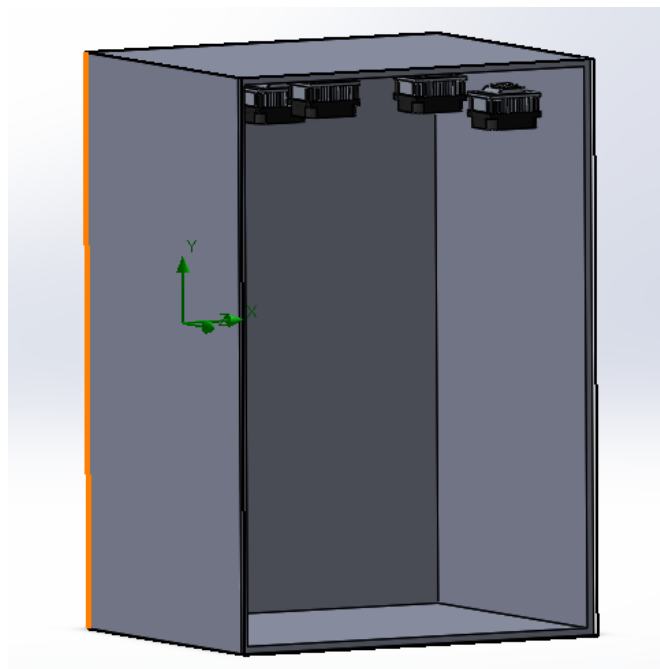


Figura 29: Modelado en Solidworks estructura de la máquina.

¹⁰ Pietrzyk, K. (2016). Thermoelectric module design strategy for solid state refrigeration.

Posteriormente, se determinó las cargas y velocidades iniciales que tendrán los ventiladores y se observa el flujo de aire interno. En la figura 30 se observa la temperatura interna del flujo que varía entre 7.81°C y 11.58°C .

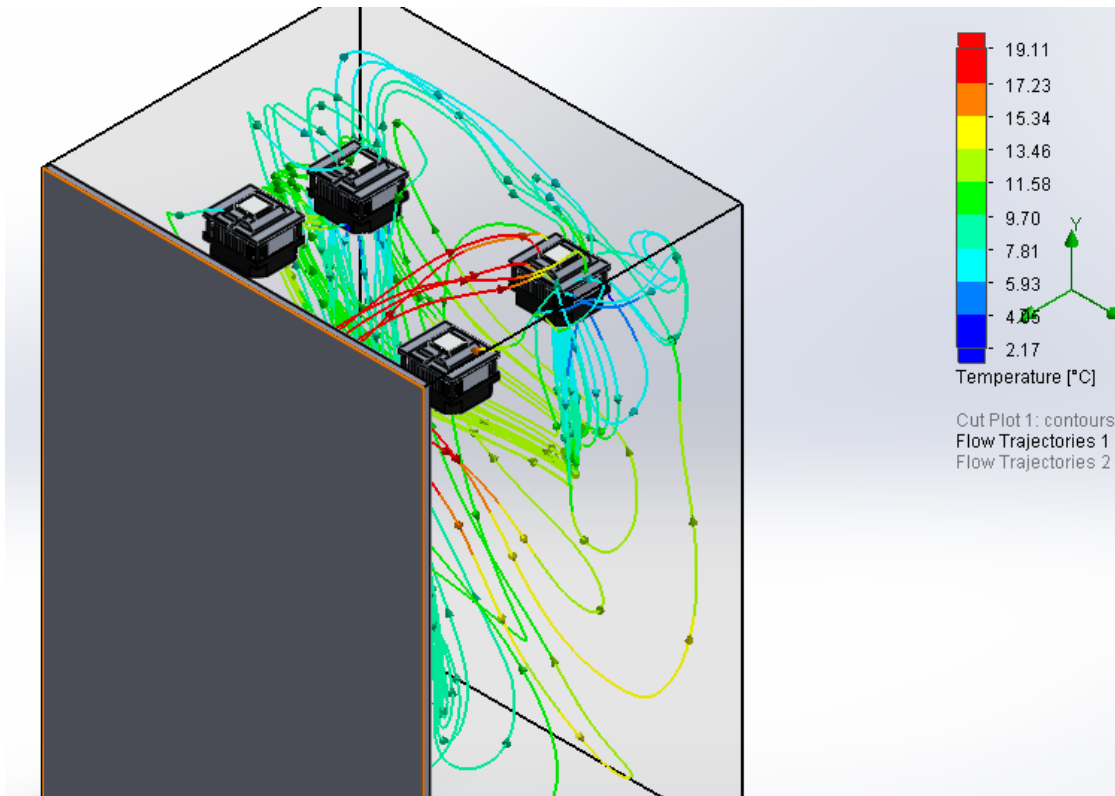


Figura 30: Modelado para rango de temperatura interna.

Es importante definir el flujo de aire y las velocidades que puedan tener para observar el comportamiento interno que tendrá la máquina. Por lo que en la figura 31 se aprecia el rango de estas velocidades.

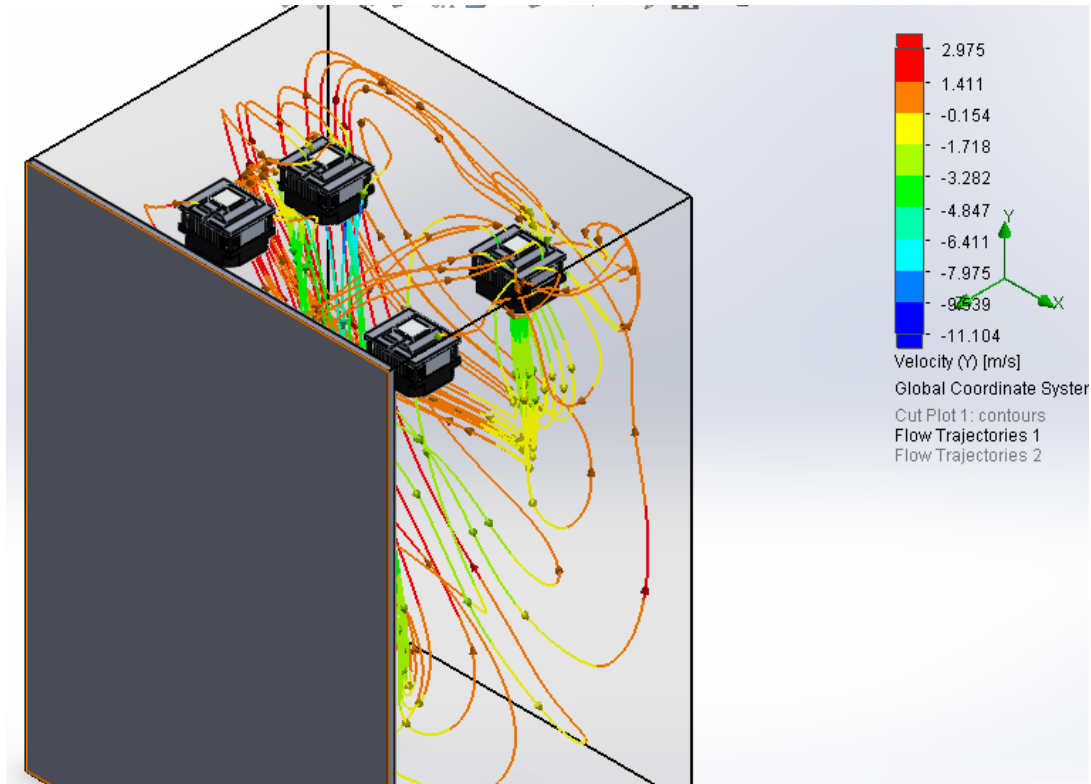


Figura 31: Modelado para velocidades de flujo de aire.

Además del sistema térmico, es importante el análisis con el tipo de aislante aplicado en la máquina. El poliestireno y poliuretano son materiales semejantes que se encuentran en lo alto de la tabla 14, que son los tipos de aislantes más recomendables para sistemas de refrigeración.

Tabla 12: Propiedades de aislantes.

Aislantes térmicos	Conductividad térmica (W/m K)
Poliuretano	0.023 a 0.026
Poliestireno (expandible)	0.027
Poliestireno (extruido)	0.035
Planchas de corcho	0.043
Vidrio de espuma	0.044

No obstante, también hay que tomar en cuenta la disponibilidad en el mercado, y su costo. En la empresa Verton, se dispone de estos dos aislantes. Por presentación y facilidad de montaje, se selecciona el poliuretano para ser utilizado en esta aplicación.

De acuerdo al manual de ASHRAE, se recomienda diferentes espesores de poliuretano expandido para los sistemas de refrigeración. Estos varían de acuerdo a la temperatura interna de la máquina. Como se muestra en la tabla 15 se observa esta clasificación:

Tabla 13: Espesor de poliestireno expandido

Temperatura de almacenamiento (°C)	Espesor (mm)
10 a 16	50
4 a 10	50
-4 a 4	75
-9 a -4	75
-18 a -9	100
-26 a -18	100

Estos espesores son recomendaciones por parte de la industria de refrigeración de Estados Unidos, para incrementar la eficiencia del sistema. La temperatura interna de la máquina dispensadora de medicamentos esta entre las dos primeras clasificaciones por lo que se implementará un espesor de 50 mm.

Proceso de Manufactura

Ensamble estructura interna y externa

Se fabrica primero las estructuras externa e interna conjuntamente, para luego realizar el ensamble del sistema térmico. En la figura 29 se puede observar la estructura ya ensamblada utilizando sujetadores mecánicos (tornillos y pernos).



Figura 32: Estructura de máquina dispensadora y rieles reguladoras.

De igual manera, se ensambló la riel de movimiento para las bandejas de racks. Una vez ensamblada la parte externa, se aplicó pintura esmalte en las rieles y uniones.



Figura 33: Rieles de movimiento y sistema de sujeción.

Luego, se realizó los cortes en los soportes de aluminio que sostendrán el sistema de racks, al igual que la ranura que permitirá la movilidad de ángulo. En la figura 33 se muestra los

cortes realizados y la ranura realizado mediante una fresadora CNC. Mientras que las perforaciones para los distintos acoples tuvieron una medida de M5 en el taladro de banco.

La siguiente etapa de construcción es el aislamiento térmico y la carcasa de la máquina. El tipo de panel utilizado es sánduche. El tol interior y exterior es de acero galvanizado de un espesor de 1,1 mm y en el interior se tiene una plancha de poliuretano expandido de 50 mm de espesor. Se lo colocó empernado en las columnas de la estructura, como se muestra en la figura 34.



Figura 34: Poliuretano de 50 mm espesor y estructura principal.

De esta manera, se colocaron en las seis paredes de la máquina, para un buen aislamiento y sellado. En la parte frontal de la máquina se colocó un vidrio de 6mm de espesor.

Ensamble sistema térmico

Para la implementación del sistema térmico se determinó el número de celdas a utilizar. En base a esto se obtuvo los disipadores de calor necesarios y sus respectivos ventiladores. Además, se consideró su respectivo aislamiento térmico para que la eficiencia del sistema

pueda aumentar. En la figura 35 se puede apreciar las celdas Peltier conectadas y los disipadores de calor en la estructura de la máquina.

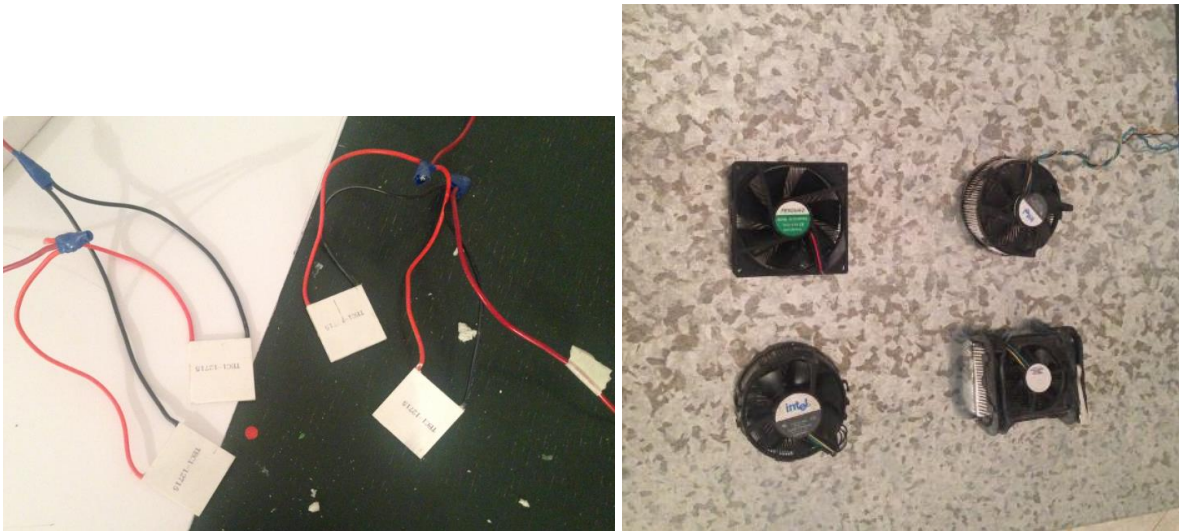


Figura 35: Celdas Peltier conectadas. Disipadores de calor en la estructura. Este sistema estará conectado y se controlará utilizando un sensor de temperatura y termocupla. En la figura 36 se puede apreciar el dispositivo aplicado:

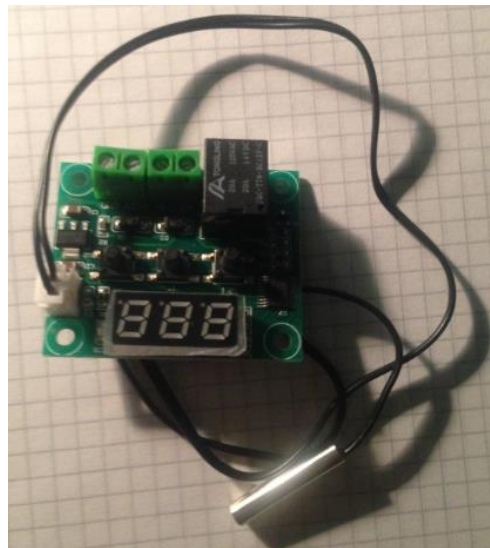


Figura 36: sensor de temperatura y termocupla.

El sistema térmico junto con la estructura de la máquina ensamblada se puede observar en la figura 37.



Figura 37: Ensamble de la máquina.

RESULTADOS

La máquina dispensadora de medicamentos inteligente se ha logrado optimizar en varias áreas: el sistema de almacenamiento, el aumento de funcionalidad del brazo mecánico y la implementación de un sistema térmico. Para efecto de realizar un análisis adecuado, es importante estipular las características y propiedades de misma:

Tabla 14: Características de la máquina dispensadora de medicamentos actual

Características de la máquina	
Dimensiones	800 x 550 x 400 mm
Capacidad máxima de almacenamiento	60 medicamentos
Peso máximo de medicamentos	5,24 kg
Peso máximo de estructura	23,4 kg

Dentro de la optimización de esta máquina dispensadora de medicamentos es importante establecer relaciones con el prototipo anterior ya desarrollado. Este primer prototipo fue desarrollado con aluminio tanto para la parte exterior e interior. Mientras que para esta optimización se logró cambiar el sistema de estanterías interno a plástico PVC y en el externo a acero inoxidable de acuerdo a la solicitud de los potenciales clientes (de rebajar costos y peso). En la siguiente tabla se puede apreciar una comparación en peso y costos.

Tabla 15: Comparación entre PVC y aluminio.

	Densidad (kg/m ³)	Costo unitario*	Reducción en peso	Rango de temperatura de trabajo
PVC flexible (racks)	1240	\$ 3.45	45,92 %	-15°C a 60 °C
Aluminio 6061	2698,4	\$ 7.02		-120°C a 90°C
PVC rígido (tubo cuadrado)	1420	\$ 8.73	45,74 %	-15°C a 60 °C

De igual manera se pudo mejorar la parte exterior o el sistema de soportes principal de la máquina, ya que en el primer prototipo fue desarrollado con aluminio. Mientras que en la actual se logró realizar con acero galvanizado. Este material tiene un recubrimiento que le

otorga una buena presentación para los medicamentos requeridos. En la siguiente tabla, se compara los materiales aplicados entre el prototipo anterior y el actual.

Tabla 16: Propiedades del acero galvanizado y aluminio 6061.

	Densidad (kg/m ³)	Costo unitario	Esfuerzo de Fluencia
Acero galvanizado	7850	\$ 3.42	230 MPa
Aluminio 6061	2698,4	\$ 1.67	55 MPa

A pesar de que el acero galvanizado tiene una mayor densidad, las propiedades como el esfuerzo de fluencia lo hace un material más rígido y que pueda soportar mayores cargas para las bandejas de medicamentos con un menor espesor. De manera similar, el costo se abarata y se lo puede conseguir localmente.

Funcionamiento sistema térmico

De igual manera es importante presentar las características y propiedades del sistema térmico empleado en la máquina. Es importante señalar las condiciones operacionales que se empleó para su diseño y así calcular la eficiencia total. En la tabla 20 se puede apreciar las condiciones y propiedades.

Tabla 17: Condiciones del sistema térmico.

Condiciones operacionales	
Corriente (I)	5 A
Voltaje	12 V
Temperatura placa caliente (T_h)	343 K
Temperatura placa fría (T_c)	282.9 K
Diámetro de ventiladores	0.09 m
Área de disipadores de calor	0.0045 m ²

Es importante analizar la parte superior de la máquina, donde se instalarán las celdas peltier, junto con los disipadores de calor y sus respectivos ventiladores.

Por lo que ahora es importante analizar el flujo de aire que se obtendrá del ventilador, con un diámetro de 0.09m.

$$A_{aspas} = \frac{\pi D_{aspas}^2}{4}$$

$$A_{aspas} = 0.006362m^2$$

El ventilador tiene una velocidad de giro de 2300 rpm y de esta manera se puede calcular la velocidad del motor.

$$v_{motor} = 0.1047v_{giro} \frac{D_{aspas}}{2}$$

$$v_{motor} = 10.83 \text{ m/s}$$

La potencia necesaria del ventilador se obtuvo del catálogo, para determinar la fuerza neta aplicada:

$$P_{motor} = 4.11 \text{ W.}$$

$$F_{motor} = \frac{P_{motor}}{v_{motor}}$$

$$F_{motor} = 0.38 \text{ N}$$

Una vez determinada esta fuerza se procede a calcular la velocidad del aire que se emplea:

$$v_{aire} = \sqrt{\frac{F_{motor}}{\frac{1}{2}\rho_{aire} * A_{aspas}}}$$

$$v_{aire} = 9.96 \text{ m/s}$$

Sin embargo, ahora es importante determinar otras propiedades como el número de Reynolds, la ecuación de Nusselt y el coeficiente de convección de aire. Por lo que las características del aire se presentan en la tabla 21:

Tabla 18: Propiedades del Aire a 20°C

Propiedades del aire a 20 °C	
Densidad (ρ_{aire})	1.204 kg/m ³
Viscosidad (μ_{aire})	1.825 x 10 ⁻⁵ kg/m-s
Calor específico ($c_{p_{aire}}$)	1.0041 kJ/kg-K
Conductividad térmica (k_{aire})	0.02514 W/m-K
Prandtl (Pr_{aire})	0.7294

El número de Reynolds se obtiene:

$$Re_{aire} = \frac{\rho_{aire} * v_{aire} * D_{aspas}}{\mu_{aire}}$$

$$Re_{aire} = 68341$$

Ecuación de número de Nusselt:

$$Nu_{aire} = 0.3 + 0.62 Re_{aire}^{0.5} \frac{Pr_{aire}^{1/3}}{[1 + (\frac{0.4}{Pr_{aire}})^{2/3}]^{0.25}} [1 + (\frac{Re_{aire}}{282000})^{5/8}]^{4/5}$$

$$Nu_{aire} = 190.7$$

Coefficiente de convección de aire:

$$h_{aire} = Nu_{aire} \frac{k_{aire}}{D_{ext}}$$

$$h_{aire} = 37.4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Por lo que ahora se establece la ecuación del circuito para despejar el coeficiente global de transferencia de calor (U):

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{L_A}{k_A} + \frac{1}{h_2}$$

$$U = 3.93 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$Q = UA_{disipador \text{ de calor}} \Delta t$$

$$Q = 34,95 \text{ W}$$

Este valor corresponde por cada celda aplicada y se debe calcular para las 4. Una vez determinada se puede aplicar para la obtención del COP.

$$COP = \frac{Q_c}{W_{in}} = 2,33$$

De esta manera es posible tener las propiedades del sistema térmico en la máquina dispensadora de medicamentos. Por lo que en la tabla 22 se muestran los resultados del sistema termoeléctrico.

Tabla 19: Resultados experimentales del sistema térmico

Sistema térmico	
Temperatura máxima	25 °C
Temperatura mínima	9,01 °C
COP	2,33

La temperatura se obtuvo mediante la termocupla aplicada internamente. En la figura 38 se observa la medición de temperaturas.



Figura 38: Medición de temperaturas de la máquina dispensadora.

Para evaluar esta máquina es importante determinar el costo de cada una de las partes que la componen y su funcionamiento. Estos costos pueden variar dependiendo de la mano de obra y ensamblaje que se aplique. Si esta máquina se empezara a producir en masa en una línea de producción se puede reducir el costo de producción, así como el precio por unidad.

Costos

La construcción de la estructura principal e interna de la máquina se desarrolló con diferentes partes de plástico PVC, acero galvanizado y aluminio. Se analizó diferentes proveedores para tener un costo bajo y pueda ser implementado en otras máquinas similares. Por lo que en las tablas a continuación se podrá observar este detalle:

Tabla 20: Costo de estructura interna

Producto	Cantidad	Proveedor	Valor Unitario	Total
Perfiles PVC	2	Maconsa	\$20.00	\$40.00
Travesaños (tubos PVC)	2	Kywi	\$6.34	\$12.68
Pernos	25	Casa del perno	\$0.08	\$2.00
Soportes estanterías	1	Cedal	\$23.39	\$23.39
Tuercas de seguridad	25	Casa del perno	\$0.05	\$1.25
Total				\$79.32

Tabla 21: Costo de estructura externa

Producto	Cantidad	Proveedor	Valor Unitario	Total
Tubo cuadrados galvanizado (1 pulgada)	2	Proviaceros	\$14.95	\$14.95
Tol de acero galvanizado	1	Proviaceros	\$26.78	\$26.78
Pernos M5	20	Casa del perno	\$0.02	\$0.40
Rieles / Regleta	8	Kywi	\$2.65	\$15.90
Vidrio laminado	1	Cedal	\$11.54	\$11.54
Total				\$69.17

Tabla 22: Costo del sistema térmico.

Producto	Cantidad	Proveedor	Valor Unitario	Total
Celdas Peltier	4	Amazon	\$12.25	\$49.00

Poliestireno	2	Verton	\$13.00	\$26.00
Disipadores de calor	4	Megatronica	\$5.00	\$20.00
Sensor de temperatura	1	APM	\$15.00	\$15.00
Fuente de poder	1	Computron	\$20.00	\$20.00
Total				\$115.00

Tabla 23: Costo total de la máquina dispensadora de medicamentos

Presupuesto	
Estanterías medicina	\$79.32
Estructura principal	\$69.17
Sistema térmico	\$115.00
Mecanismo de movimiento	\$258.60
Total	\$522.08

DISCUSIÓN

Después de un análisis profundo y minucioso, se ha logrado optimizar esta máquina, reduciendo el costo y peso de la misma, incluyendo un sistema de climatización para los medicamentos almacenados. Se ha aumentado la versatilidad de almacenamiento a través de inclinación variable de estanterías en un rango de 30° hasta 22.8° (en pasos de 3.8°). Si bien la inclinación de las estanterías de medicamentos se calculó dependiendo del peso y coeficiente de fricción entre las superficies. Estas pueden variar con el desgaste del PVC de las estanterías y puede que se necesite menor inclinación dependiendo del peso del medicamento con el tiempo.

El sistema de sujeción de perno y horquilla, es el adecuado para mover la inclinación de las estanterías con facilidad y agilidad. No se necesitará estar destornillando o ajustando, ya que la horquilla es segura y se adecúa al sistema de la estructura principal.

La simulación de cargas y fuerzas en la estructura principal fue fundamental para tener una seguridad y estabilidad en las estanterías y el producto. El peso de las estanterías y perfiles de plástico PVC es bajo lo que facilitó tener un factor de seguridad alto para la estructura.

El mecanismo de movimiento del brazo mecánico se adecuó y aumentó la funcionalidad para alcanzar una mayor velocidad y rapidez. Si bien se tenía la posibilidad de trabajar sólo con dos motores para el eje Y, se debió readecuar el espacio para tener la posibilidad de colocar un tercero. Además se tuvo que aplicar una doble banda para sujetar a los motores con el eje para que el actuador sea el encargado de moverse a mayor velocidad en menor tiempo y tener una entrega eficiente.

El sistema de refrigeración consistió en tres etapas fundamentales: el análisis de la carga de refrigeración necesaria, la implementación del sistema termoeléctrico y la evaluación o pruebas. Las cuatro celdas Peltier fueron necesarias para mantener la refrigeración de la máquina en un rango de 9.01°C a 10°C . Los disipadores de calor juegan un papel fundamental al tener que captar la mayor cantidad de carga de refrigeración para ser disipada internamente. De igual manera, los ventiladores ayudan a aumentar la eficiencia de este sistema.

CONCLUSIONES

- La máquina dispensadora de medicamentos fue optimizada con reducción de peso y costo; mientras que se aumentó la capacidad y versatilidad de almacenamiento.
- La estructura externa principal de la máquina se construyó con las dimensiones solicitadas de: 800 x 550 x 400 mm.
- En la parte interna se logró colocar rieles de movimiento capaces de variar la altura de los racks y su ángulo de inclinación, dándole versatilidad, mayor funcionalidad y capacidad de almacenamiento. De igual manera, estos racks son movibles con gran facilidad, ya que son livianos y resistentes.
- Se logró mejorar la funcionalidad del brazo mecánico, al aplicar diferentes motores paso a paso, alcanzando una mayor velocidad. De esta manera, se requirió mejorar el sistema de bandas para darle mayor versatilidad al proceso de entrega.
- Se implementó un sistema de refrigeración termoeléctrico para los medicamentos termolábiles (que trabaja correctamente y es de bajo costo) que evita que pierdan la cadena de frío.
- El sistema termoeléctrico se seleccionó en base a las cargas de refrigeración que se presentan en la máquina como: fármacos, la estructura y bandejas de medicamentos. Asimismo, se evaluó otros factores que afectan a la carga de refrigeración como: infiltración, y transmisión de motores y ventiladores. Dando como resultado una carga de 396,5 W y aplicándose 4 celdas Peltier de 98.5 W con un COP de 2,33.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boles, M. (2015). *Thermodynamics an engineering approach*. Mc Graw-Hill: New York. Eight Edition.
- Clare, R. (2016). Global intelligent vending machine market 2017 -2021. Cision Newswire. New York. Recuperado el 23 de junio de 2017 desde <http://www.prnewswire.com/news-releases/global-intelligent-vending-machine-market-2017-2021-300401611.html>
- Crane, C. (2015). Intelligent vending machines, a global strategic business report. Recuperado el 22 de junio de 2017 desde <http://www.strategyr.com/pressMCP-7036.asp>
- Cosme, R. (2014). Ciclos de refrigeración. Recuperado el 28 de septiembre de 2017 desde <https://es.slideshare.net/irisyaninacamposjime/ciclos-de-refrigeracintermodinamica>.
- Correa, L. (2015). Ciclos de Refrigeración: por compresión. Recuperado el 28 de septiembre de 2017 desde <http://rsilvera-utp-fim-refrigeracion.blogspot.com/2015/07/ciclo-ideal-de-refrigeracion-por.html>.
- Extrusiones. (2015). Sellos, perfiles o empaques de caucho para ventanas, puertas y fachadas. Recuperado el 5 de junio de 2017 desde <https://www.extrusiones.com.co/lineas-de-productos/linea-construccion/sellos-para-ventanas-puertas-y-fachadas>
- Groover, M. (2007). *Trabajo Metálico de Láminas fundamentos de Manufactura Moderno*. Quinta Edición. Mc Graw Hill.
- Heath S. (2014). Temperature management of Medicines storage and transport. Version 4: Foundation Trust.
- Hermes, C. (2012). Thermodynamic comparison of Peltier, Stirling, and vapor compression portable coolers. *Elsevier Ltd*. 0306-2619.
- Industria poliuretano rígido. (2017). Ventajas del poliuretano como aislante térmico. Recuperado el 2 de noviembre de 2017 desde <http://aislaconpoliuretano.com/ventajas-poliuretano-aislante-termico.htm>
- López, D. (2013). Ciclo de Brayton invertido. Recuperado el 28 de septiembre de 2017 desde <http://termo2-1mi131.blogspot.com/2013/11/ciclo-brayton-invertido.html>.
- Merlin, L. (2016). Tipos de aislamientos térmicos. Recuperado el 17 de Noviembre de 2017

desde <http://www.leroymerlin.es/ideas-y-consejos/comoHacerlo/tipos-de-aislamientos-termicos-cual-necesitas.html>

Nortebagua. (2014). Catálogo propiedades de PVC. Recuperado el 20 de junio de 2017 desde <http://www.nortebagua.com/pdf/pvc.pdf>

Plasticbages. (2014). Características técnicas de PVC. Recuperado el 21 de junio de 2017 desde <http://www.plasticbages.com/caracteristicaspvc.html>

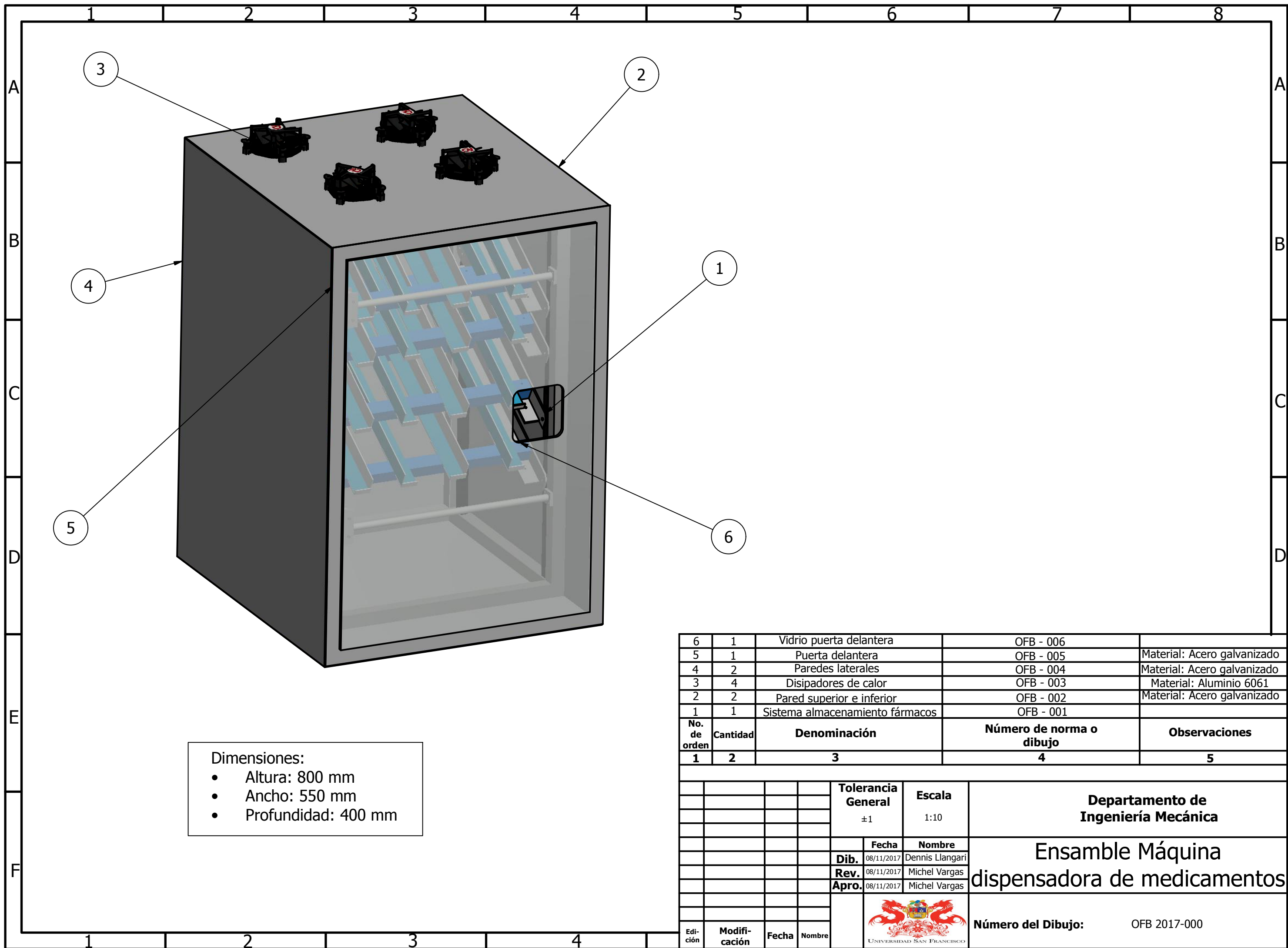
Pietrzyk, K. (2016). Thermoelectric module design strategy for solid state refrigeration. Elsevier Ltd. 0360 - 5442.

Roberts, F. (2001). Vending Machine. Recuperado el 1 de junio de 2017 desde <http://www.madehow.com/Volume-7/Vending-Machine.html>

Schneider, E. (2008). Guía aplicativa robot cartesiano X Y. Recuperado el 20 de junio de 2017 desde http://www.equiposdidacticos.com/pdf/catalogos/MESAXY_WEB.pdf

Uniperfiles. (2016). Perfiles plásticos en PVC. Recuperado el 1 de junio de 2017 desde http://www.uniperfilesltda.com/productos_construccion-liviana_dilataciones.html

Yildiz, S. (2011). Design and simulation of a vapor compression refrigeration cycle for a micro refrigeration. Recuperado el 10 de junio de 2017 desde <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id>

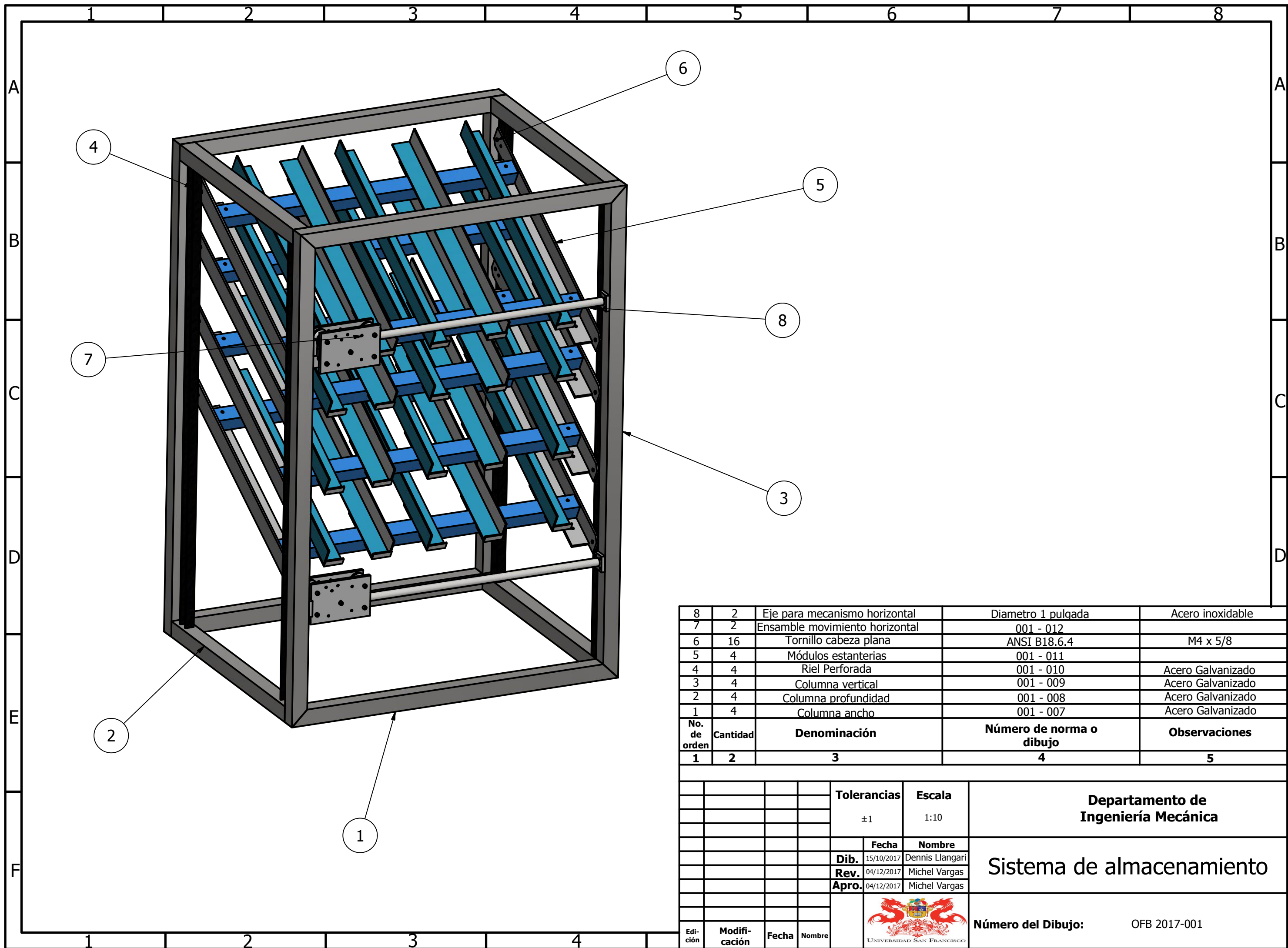


Dimensiones:

- Altura: 800 mm
- Ancho: 550 mm
- Profundidad: 400 mm

6	1	Vidrio puerta delantera	OFB - 006	
5	1	Puerta delantera	OFB - 005	Material: Acero galvanizado
4	2	Paredes laterales	OFB - 004	Material: Acero galvanizado
3	4	Disipadores de calor	OFB - 003	Material: Aluminio 6061
2	2	Pared superior e inferior	OFB - 002	Material: Acero galvanizado
1	1	Sistema almacenamiento fármacos	OFB - 001	
No. de orden	Cantidad	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones
1	2	3	4	5

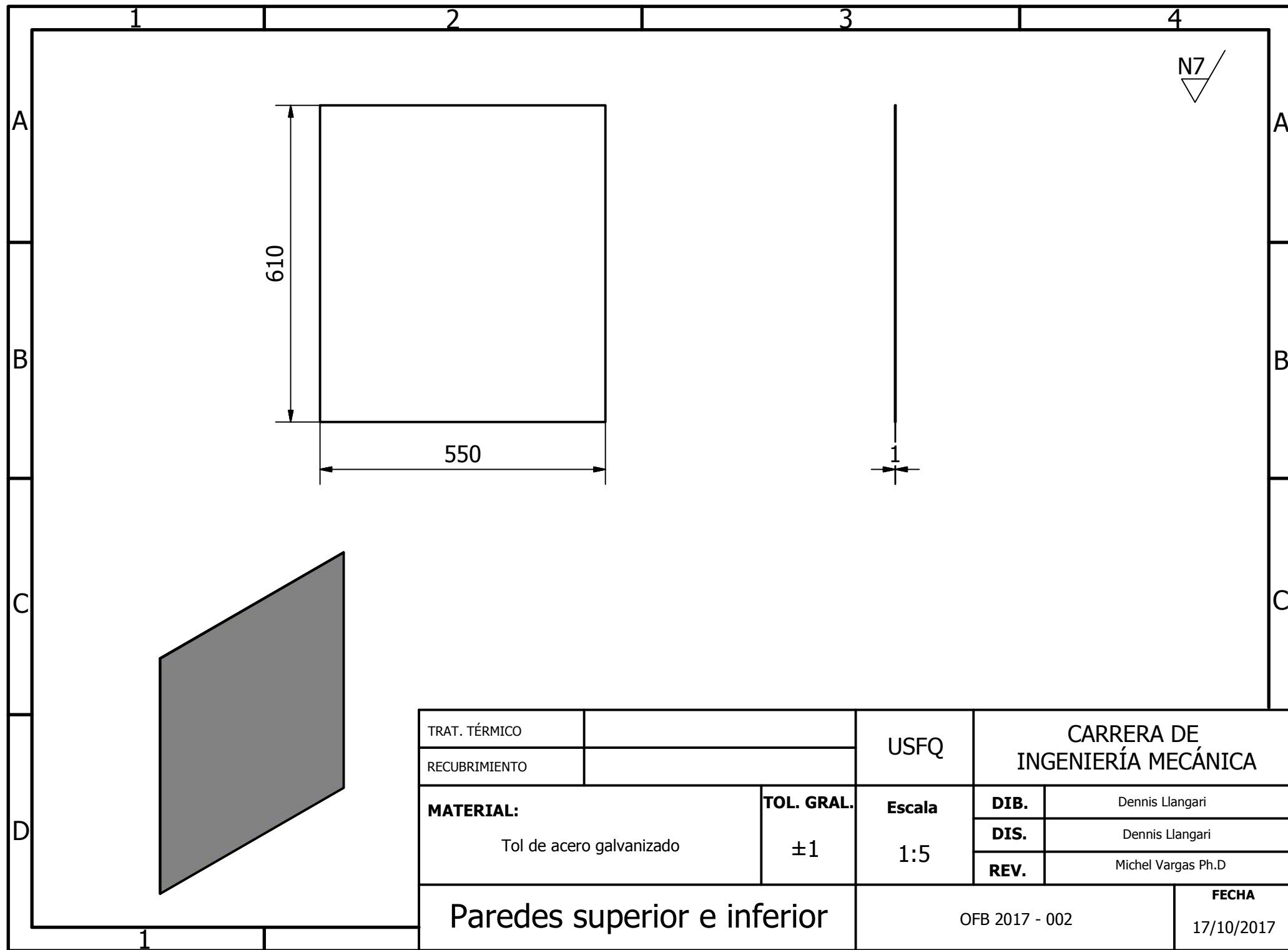
		Tolerancia General		Escala		Departamento de Ingeniería Mecánica	
		±1		1:10			
				Fecha	Nombre	Ensamble Máquina dispensadora de medicamentos	
				Dib. 08/11/2017	Dennis Llangari		
				Rev. 08/11/2017	Michel Vargas		
				Apro. 08/11/2017	Michel Vargas		
						Número del Dibujo: OFB 2017-000	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



8	2	Eje para mecanismo horizontal	Diametro 1 pulgada	Acero inoxidable
7	2	Ensamble movimiento horizontal	001 - 012	
6	16	Tornillo cabeza plana	ANSI B18.6.4	M4 x 5/8
5	4	Módulos estanterías	001 - 011	
4	4	Riel Perforada	001 - 010	Acero Galvanizado
3	4	Columna vertical	001 - 009	Acero Galvanizado
2	4	Columna profundidad	001 - 008	Acero Galvanizado
1	4	Columna ancho	001 - 007	Acero Galvanizado
No. de orden	Cantidad	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones
1	2	3	4	5

		Tolerancias	Escala	Departamento de Ingeniería Mecánica	
		±1	1:10		
		Fecha	Nombre	Sistema de almacenamiento	
		Dib. 15/10/2017	Dennis Llangari		
		Rev. 04/12/2017	Michel Vargas		
		Apro. 04/12/2017	Michel Vargas	Número del Dibujo: OFB 2017-001	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre		





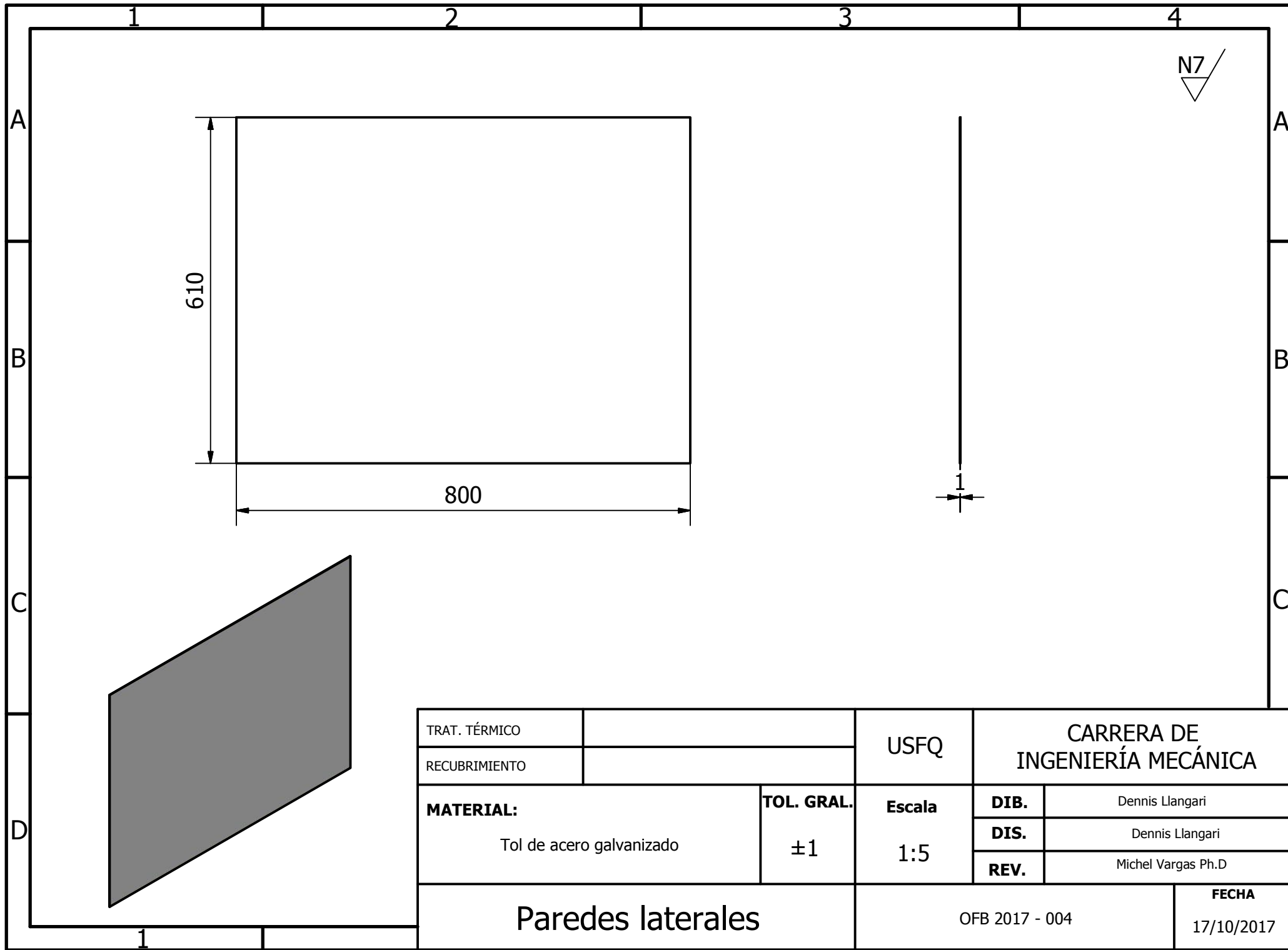
N7

610

550

1

TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO				
MATERIAL: Tol de acero galvanizado	TOL. GRAL. ±1	Escala 1:5	DIB.	Dennis Llangari
			DIS.	Dennis Llangari
			REV.	Michel Vargas Ph.D
Paredes superior e inferior		OFB 2017 - 002		FECHA 17/10/2017



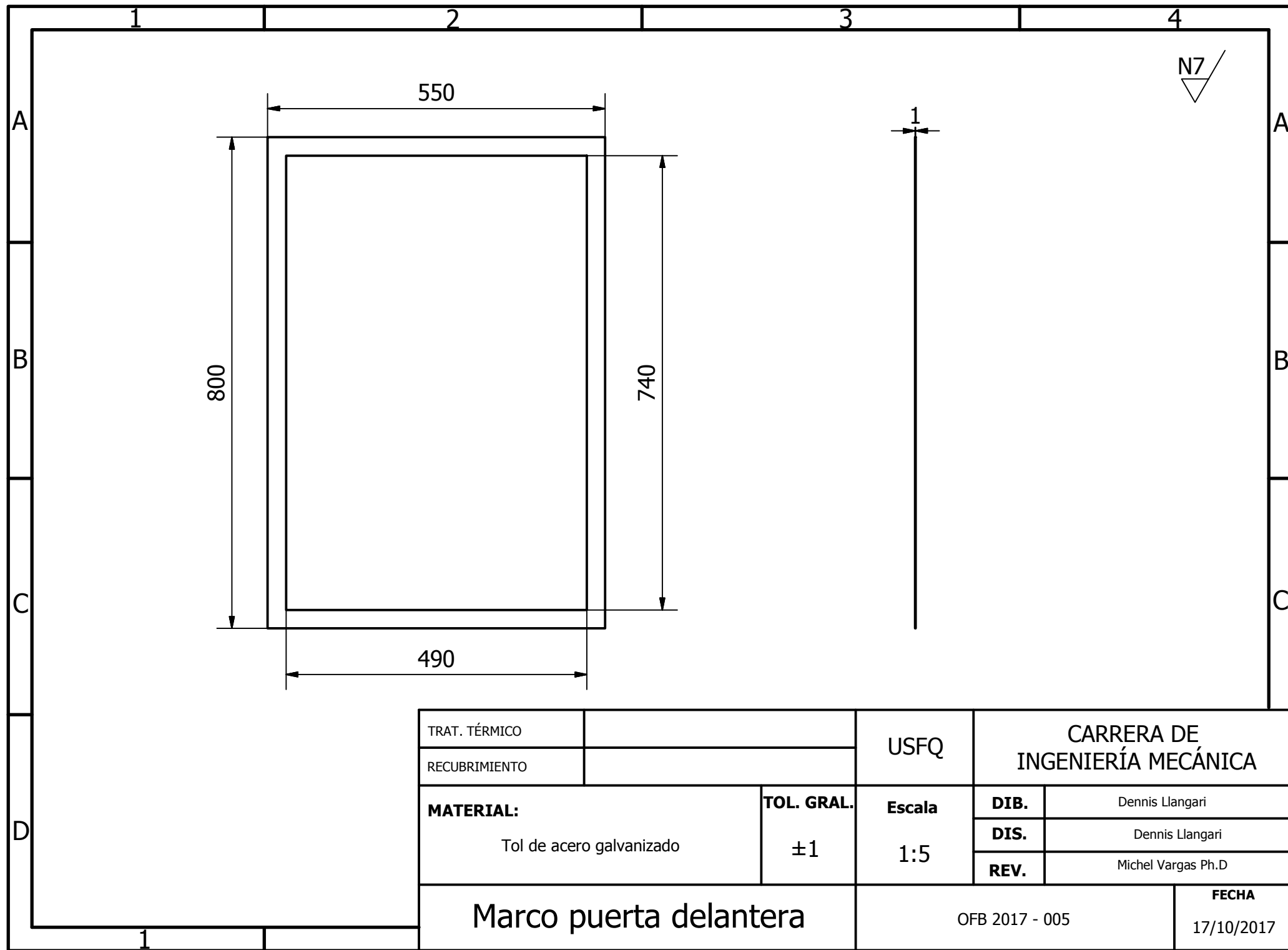
N7

610

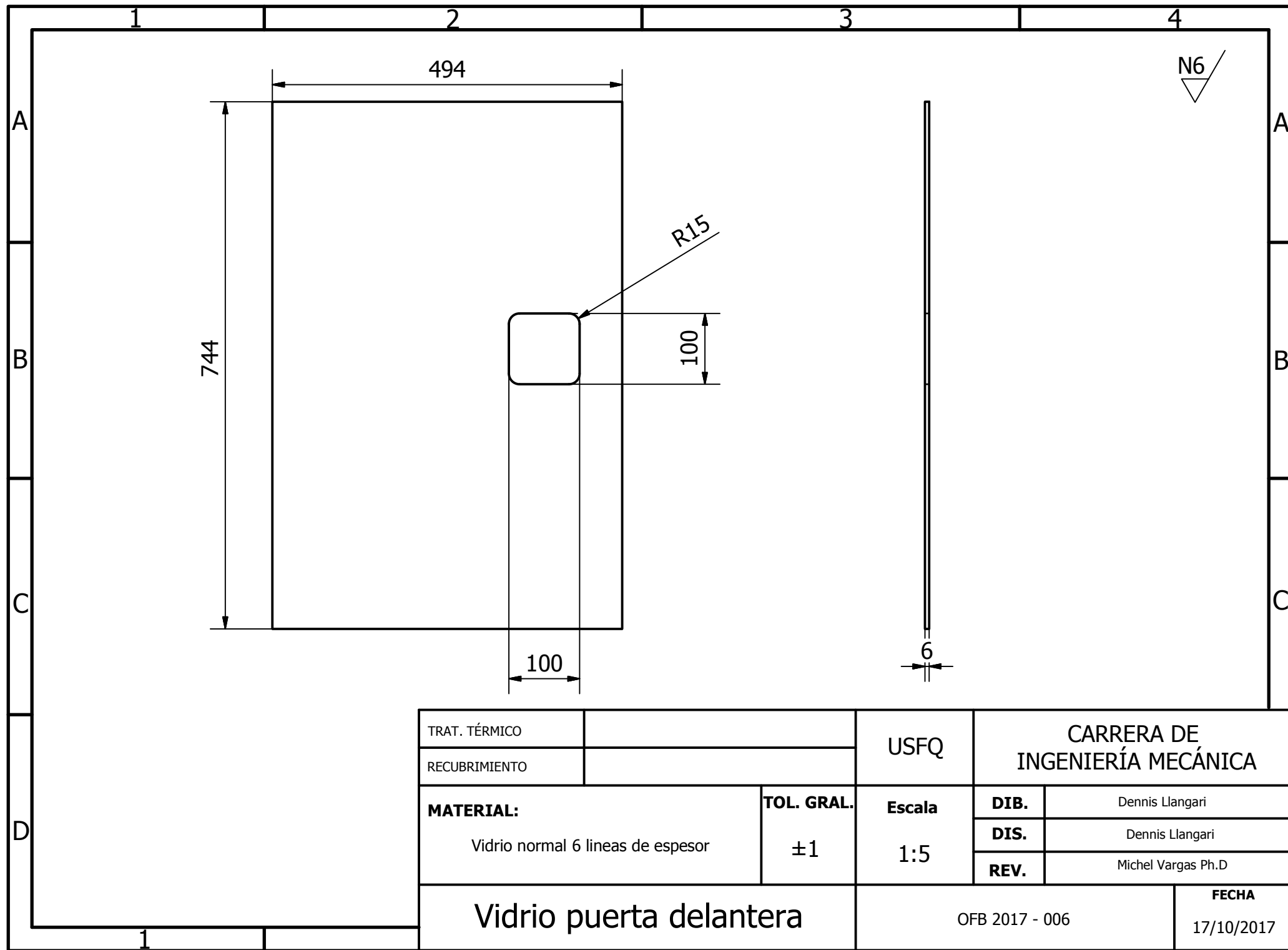
800

1

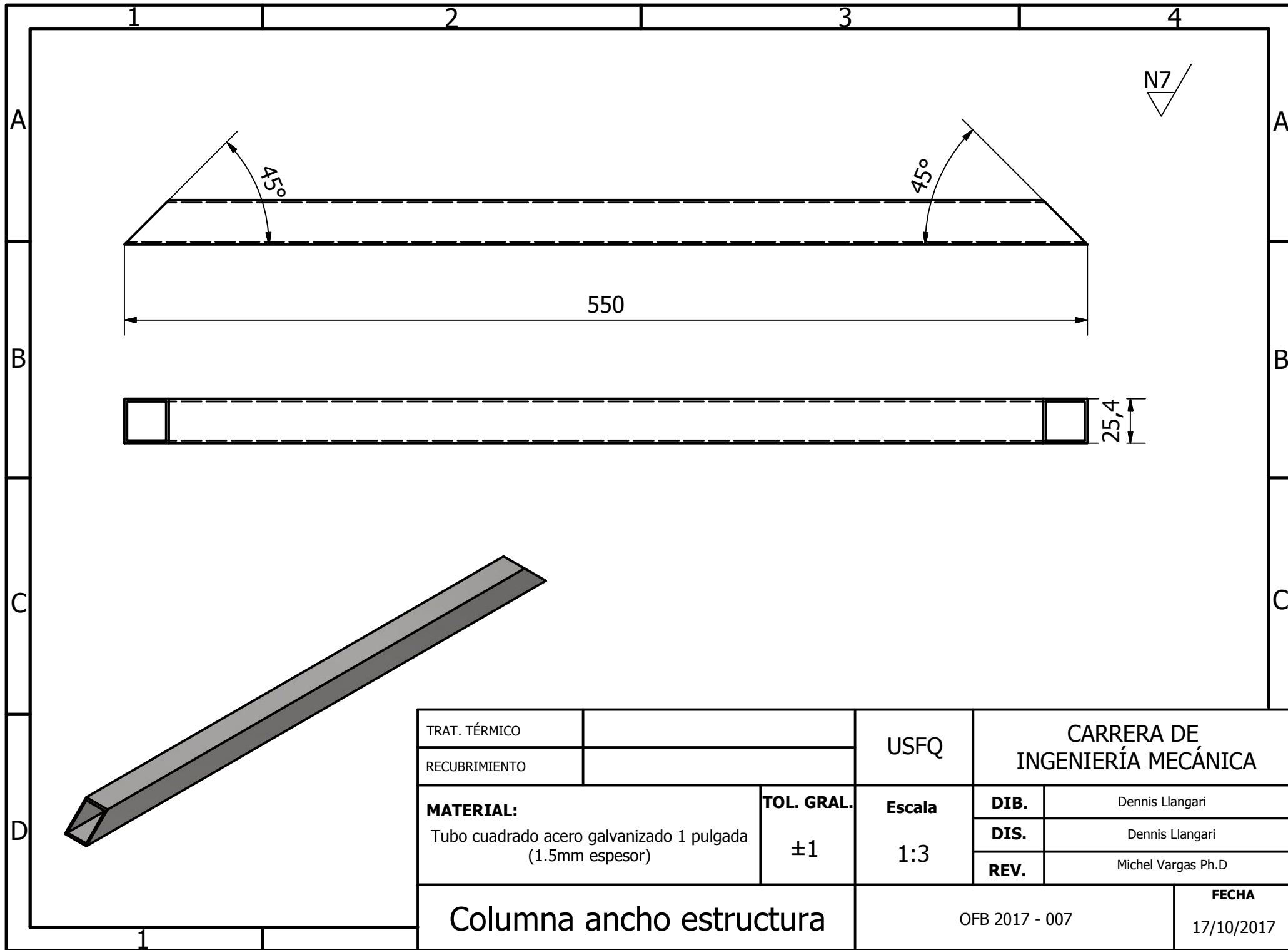
TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO				
MATERIAL: Tol de acero galvanizado	TOL. GRAL. ±1	Escala 1:5	DIB.	Dennis Llangari
			DIS.	Dennis Llangari
			REV.	Michel Vargas Ph.D
Paredes laterales		OFB 2017 - 004		FECHA 17/10/2017



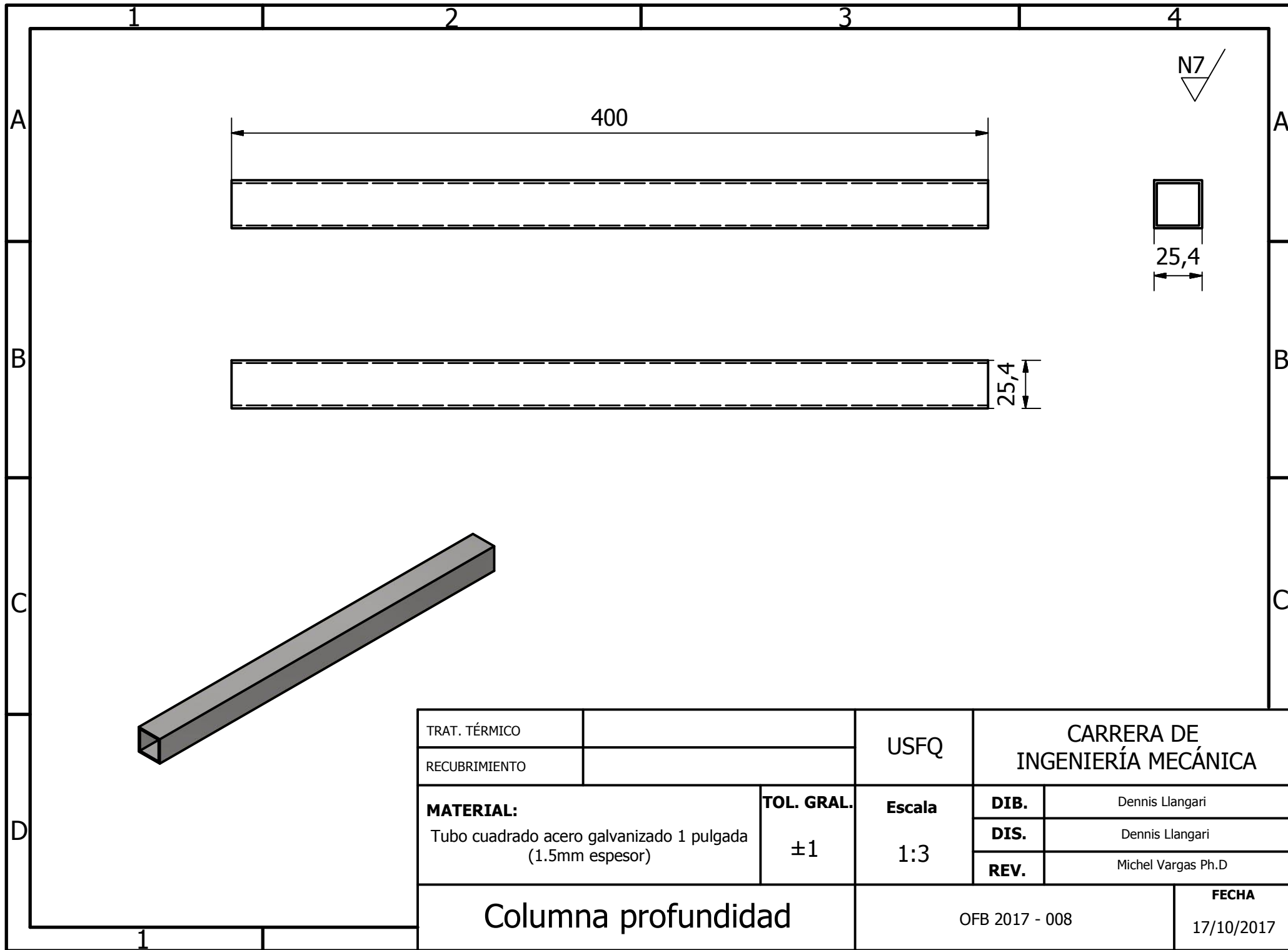
TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO			DIB.	Dennis Llangari
MATERIAL: Tol de acero galvanizado	TOL. GRAL. ±1	Escala 1:5	DIS.	Dennis Llangari
			REV.	Michel Vargas Ph.D
			Marco puerta delantera	
		OFB 2017 - 005	FECHA 17/10/2017	



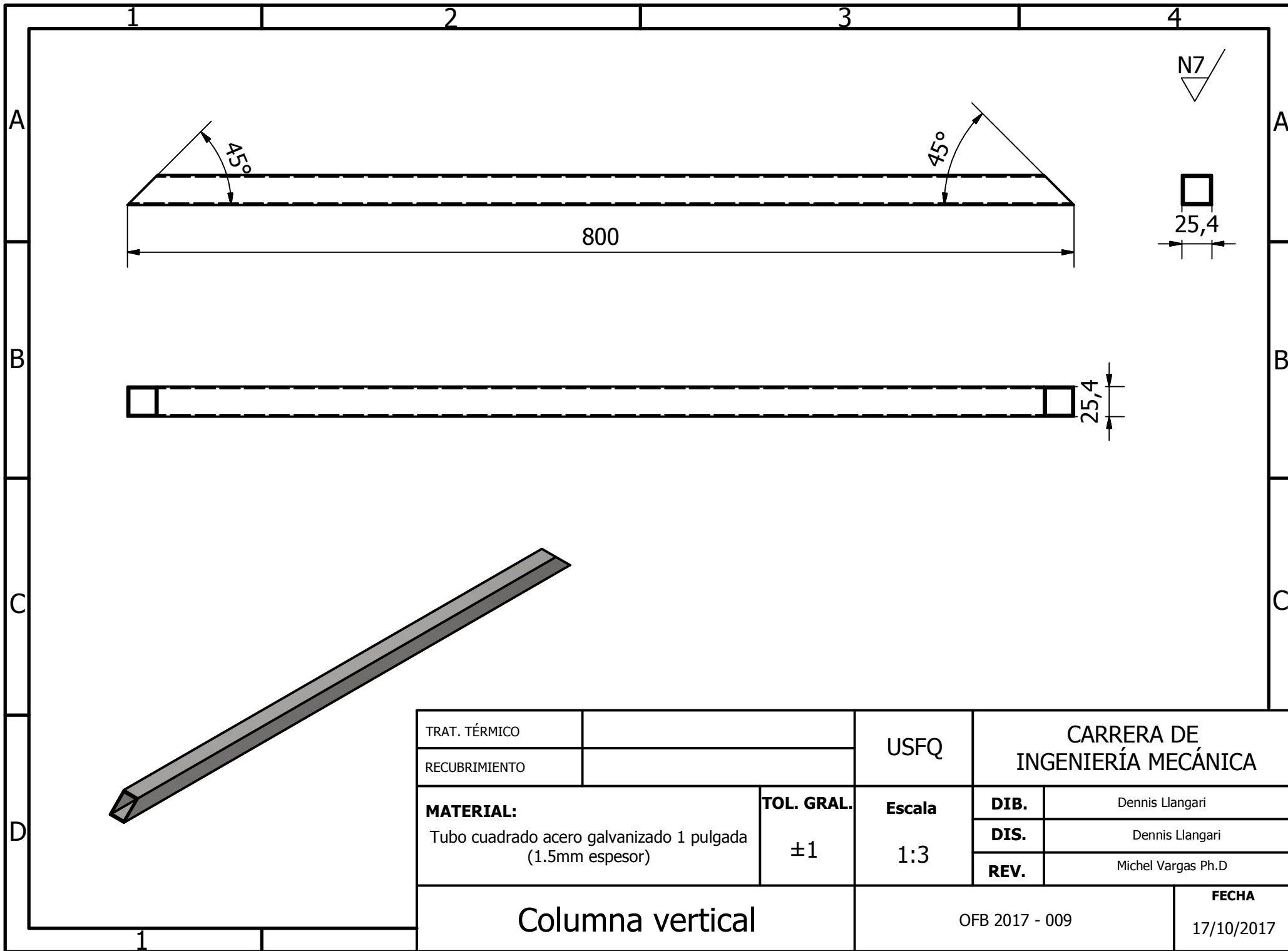
TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO				
MATERIAL: Vidrio normal 6 líneas de espesor	TOL. GRAL. ±1	Escala 1:5	DIB.	Dennis Llangari
			DIS.	Dennis Llangari
			REV.	Michel Vargas Ph.D
Vidrio puerta delantera		OFB 2017 - 006		FECHA 17/10/2017



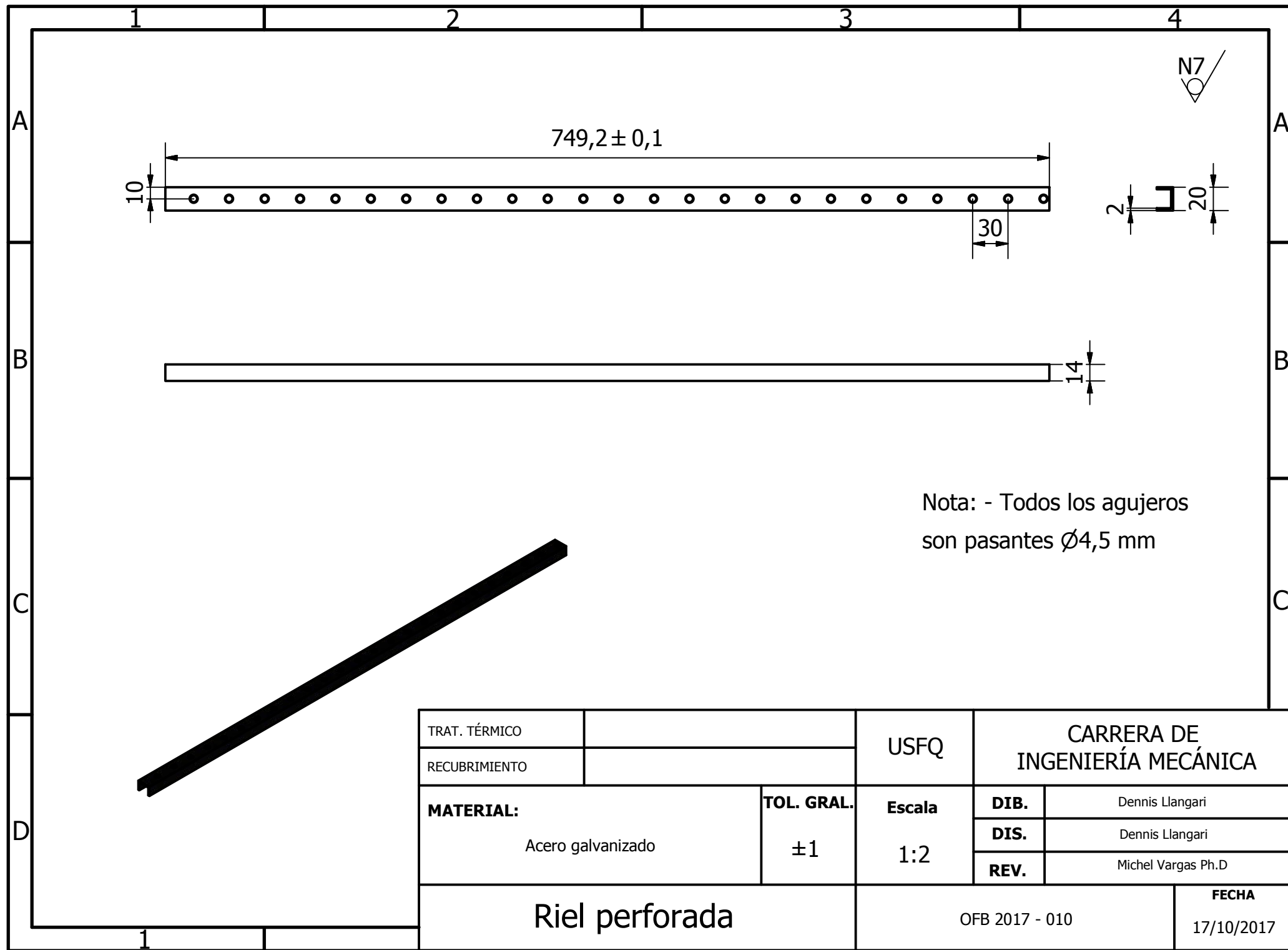
TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO			DIB.	Dennis Llangari
MATERIAL: Tubo cuadrado acero galvanizado 1 pulgada (1.5mm espesor)	TOL. GRAL. ± 1	Escala 1:3	DIS.	Dennis Llangari
			REV.	Michel Vargas Ph.D
			FECHA 17/10/2017	
Columna ancho estructura		OFB 2017 - 007		



TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO				
MATERIAL: Tubo cuadrado acero galvanizado 1 pulgada (1.5mm espesor)	TOL. GRAL. ± 1	Escala 1:3	DIB.	Dennis Llangari
			DIS.	Dennis Llangari
			REV.	Michel Vargas Ph.D
Columna profundidad		OFB 2017 - 008		FECHA 17/10/2017

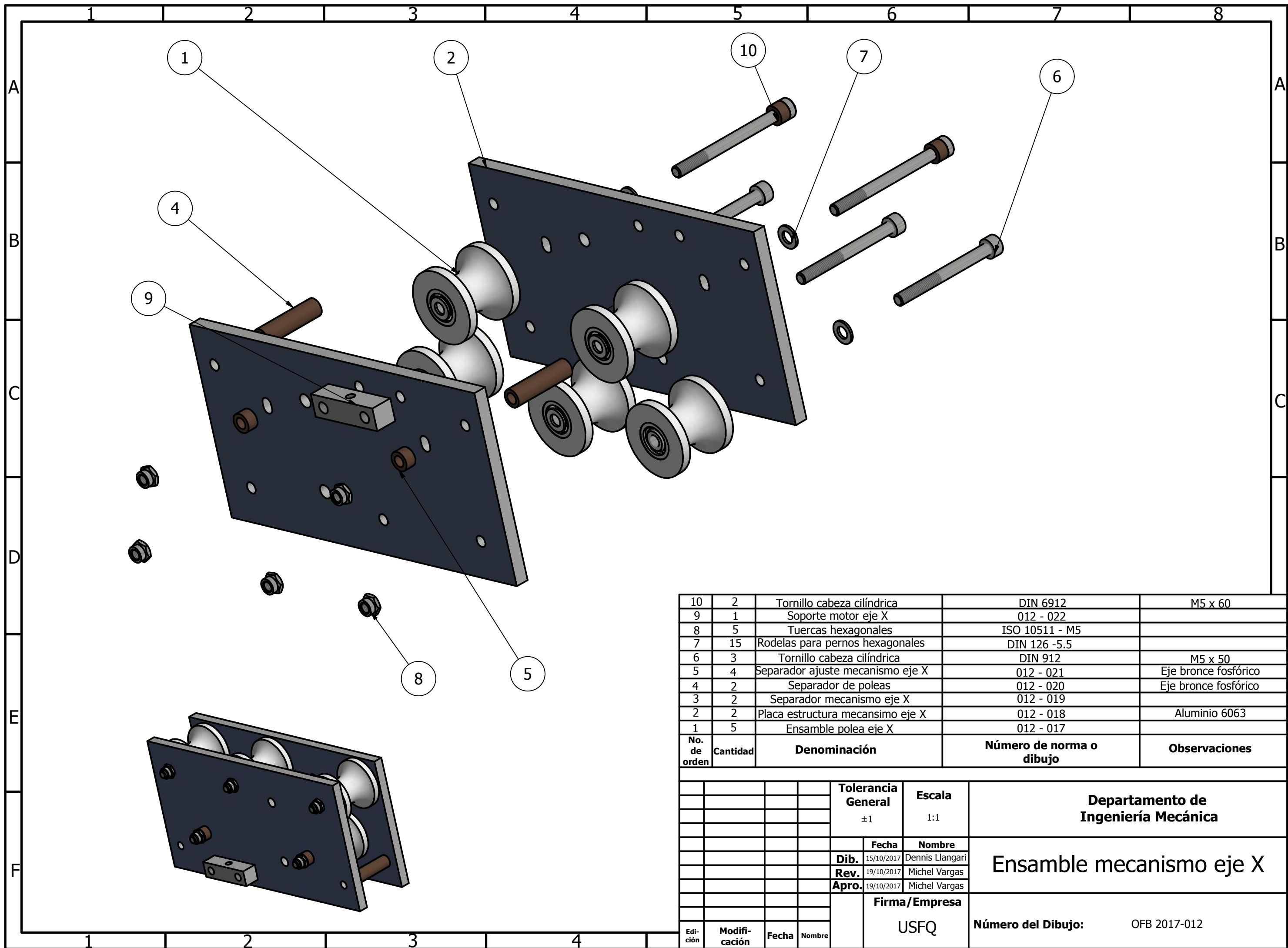


TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO			DIB.	Dennis Llangari
MATERIAL: Tubo cuadrado acero galvanizado 1 pulgada (1.5mm espesor)	TOL. GRAL. ± 1	Escala 1:3	DIS.	Dennis Llangari
			REV.	Michel Vargas Ph.D
			FECHA 17/10/2017	
Columna vertical		OFB 2017 - 009		



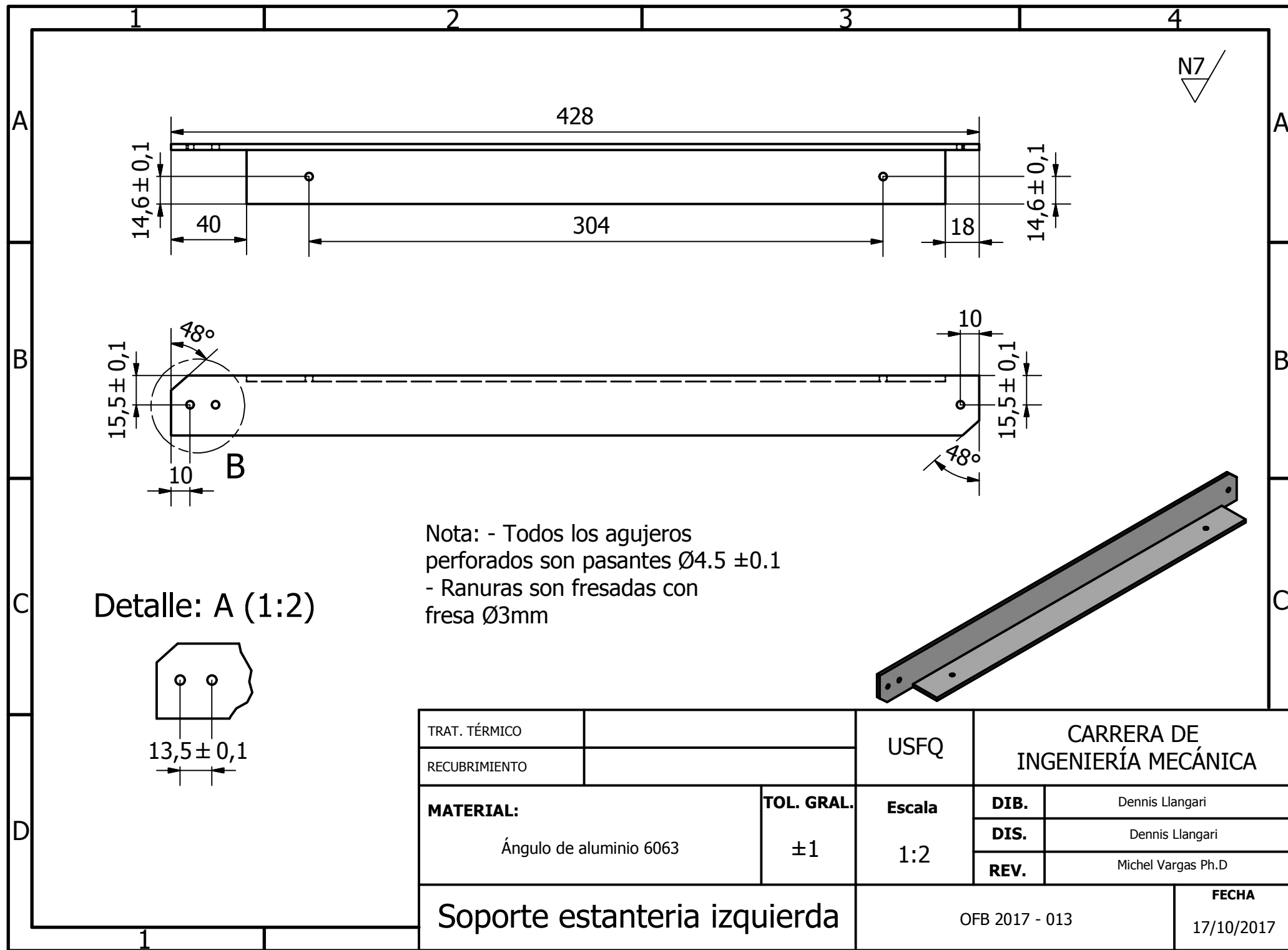
Nota: - Todos los agujeros son pasantes Ø4,5 mm

TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO				
MATERIAL: Acero galvanizado	TOL. GRAL. ±1	Escala 1:2	DIB.	Dennis Llangari
			DIS.	Dennis Llangari
			REV.	Michel Vargas Ph.D
Riel perforada		OFB 2017 - 010		FECHA 17/10/2017

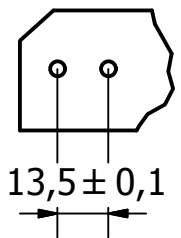


10	2	Tornillo cabeza cilíndrica	DIN 6912	M5 x 60
9	1	Soporte motor eje X	012 - 022	
8	5	Tuercas hexagonales	ISO 10511 - M5	
7	15	Rodelas para pernos hexagonales	DIN 126 -5.5	
6	3	Tornillo cabeza cilíndrica	DIN 912	M5 x 50
5	4	Separador ajuste mecanismo eje X	012 - 021	Eje bronce fosfórico
4	2	Separador de poleas	012 - 020	Eje bronce fosfórico
3	2	Separador mecanismo eje X	012 - 019	
2	2	Placa estructura mecansimo eje X	012 - 018	Aluminio 6063
1	5	Ensamble polea eje X	012 - 017	
No. de orden	Cantidad	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones

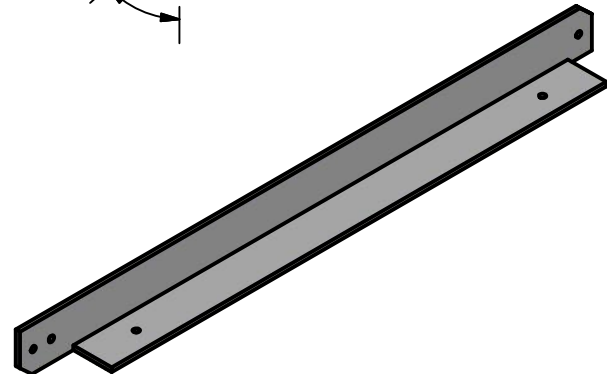
		Tolerancia General	Escala	Departamento de Ingeniería Mecánica
		±1	1:1	
		Fecha	Nombre	
		Dib. 15/10/2017	Dennis Llangari	
		Rev. 19/10/2017	Michel Vargas	Ensamble mecanismo eje X
		Apro. 19/10/2017	Michel Vargas	
		Firma/Empresa		
		USFQ		Número del Dibujo: OFB 2017-012
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	



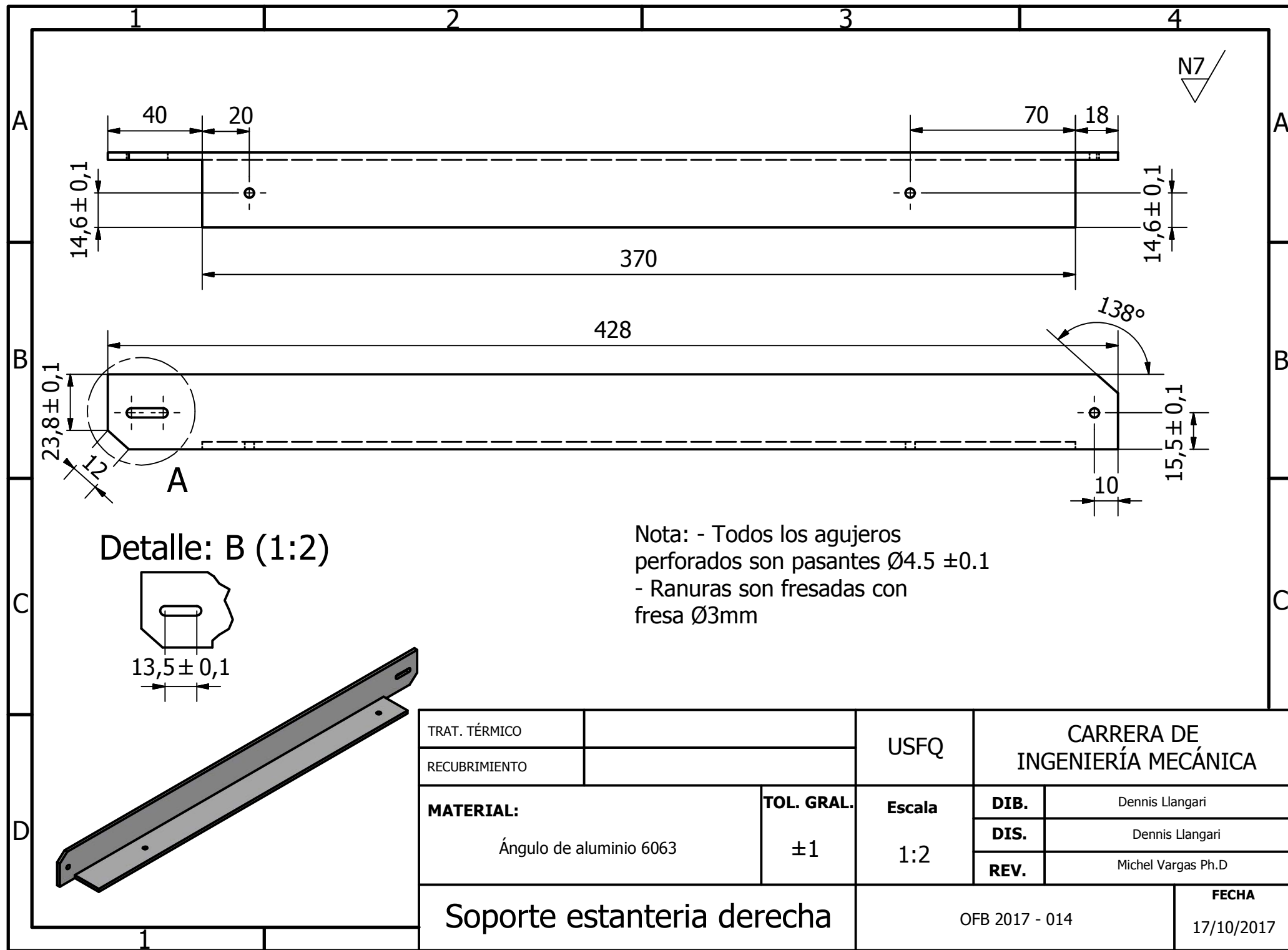
Detalle: A (1:2)



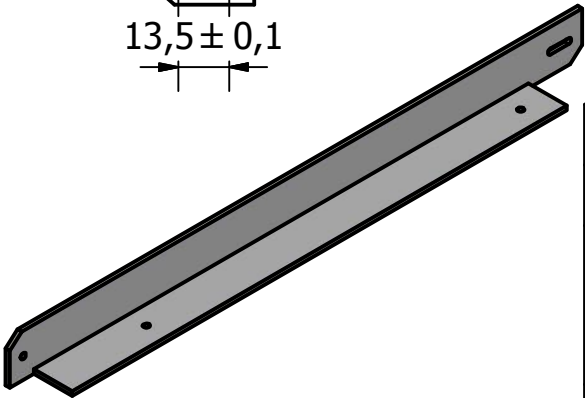
Nota: - Todos los agujeros perforados son pasantes $\varnothing 4.5 \pm 0.1$
 - Ranuras son fresadas con fresa $\varnothing 3\text{mm}$



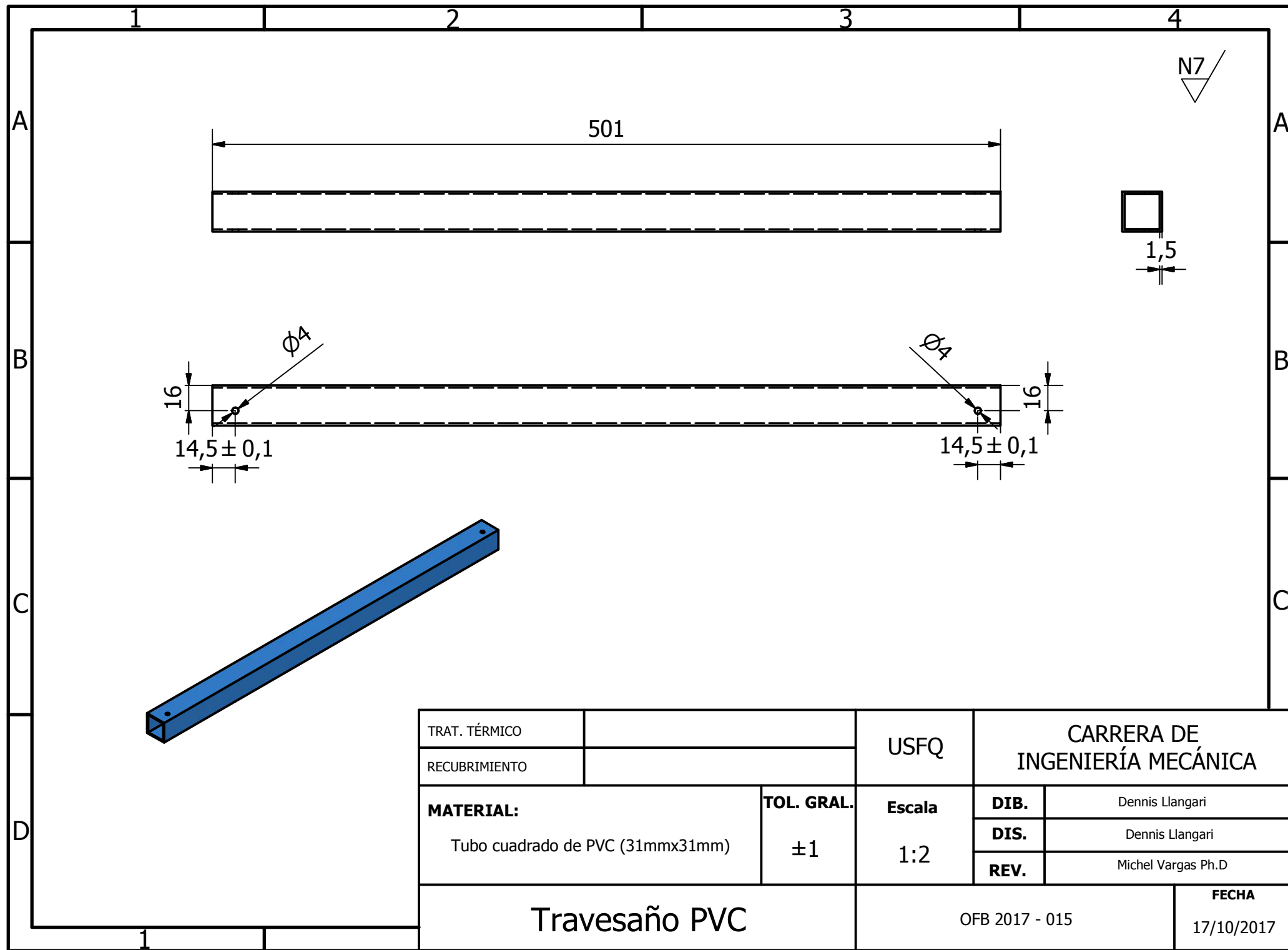
TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO				
MATERIAL: Ángulo de aluminio 6063	TOL. GRAL. ± 1	Escala 1:2	DIB.	Dennis Llangari
			DIS.	Dennis Llangari
			REV.	Michel Vargas Ph.D
Soporte estanteria izquierda		OFB 2017 - 013		FECHA 17/10/2017



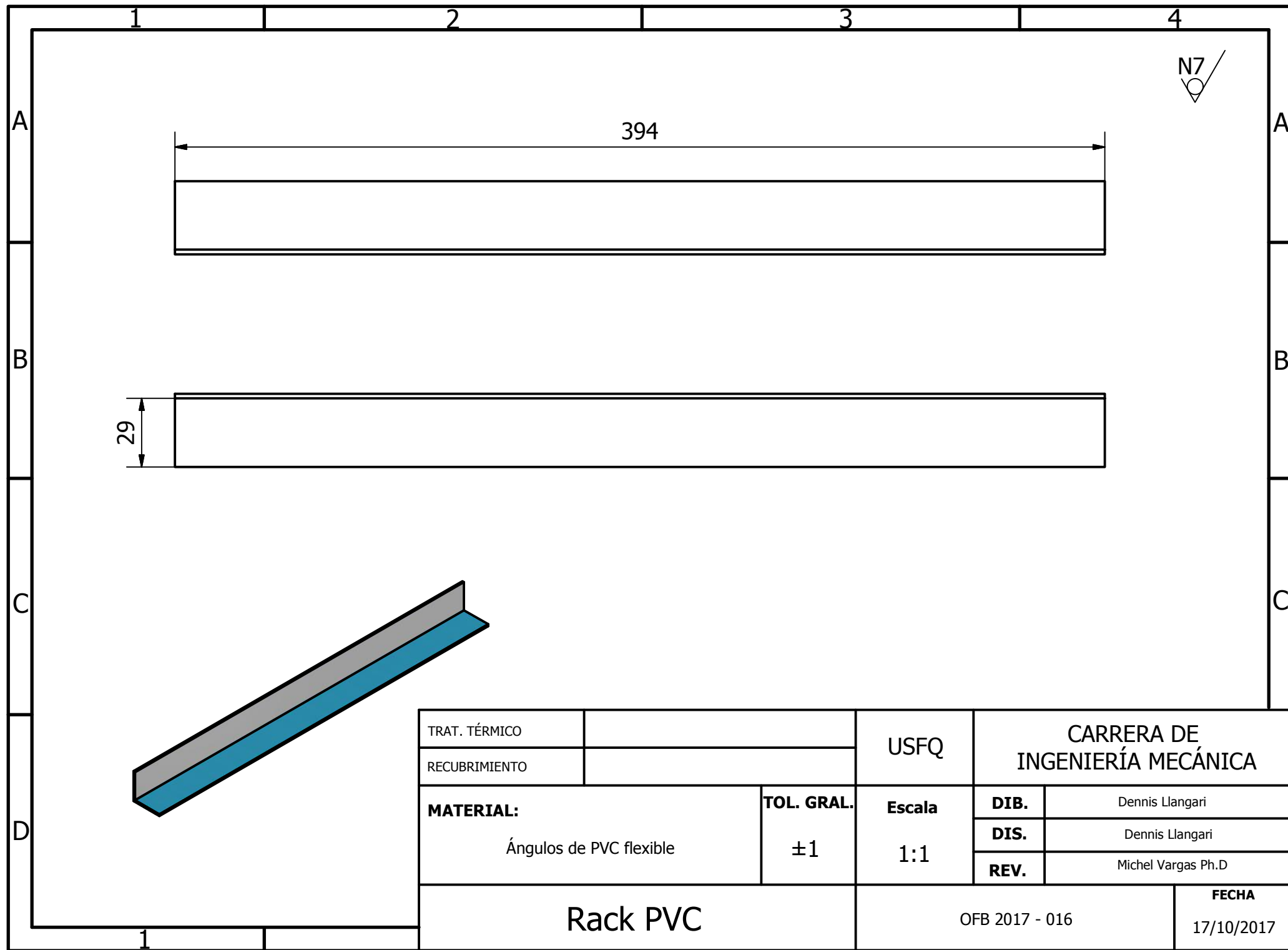
Nota: - Todos los agujeros perforados son pasantes $\varnothing 4.5 \pm 0.1$
 - Ranuras son fresadas con fresa $\varnothing 3\text{mm}$



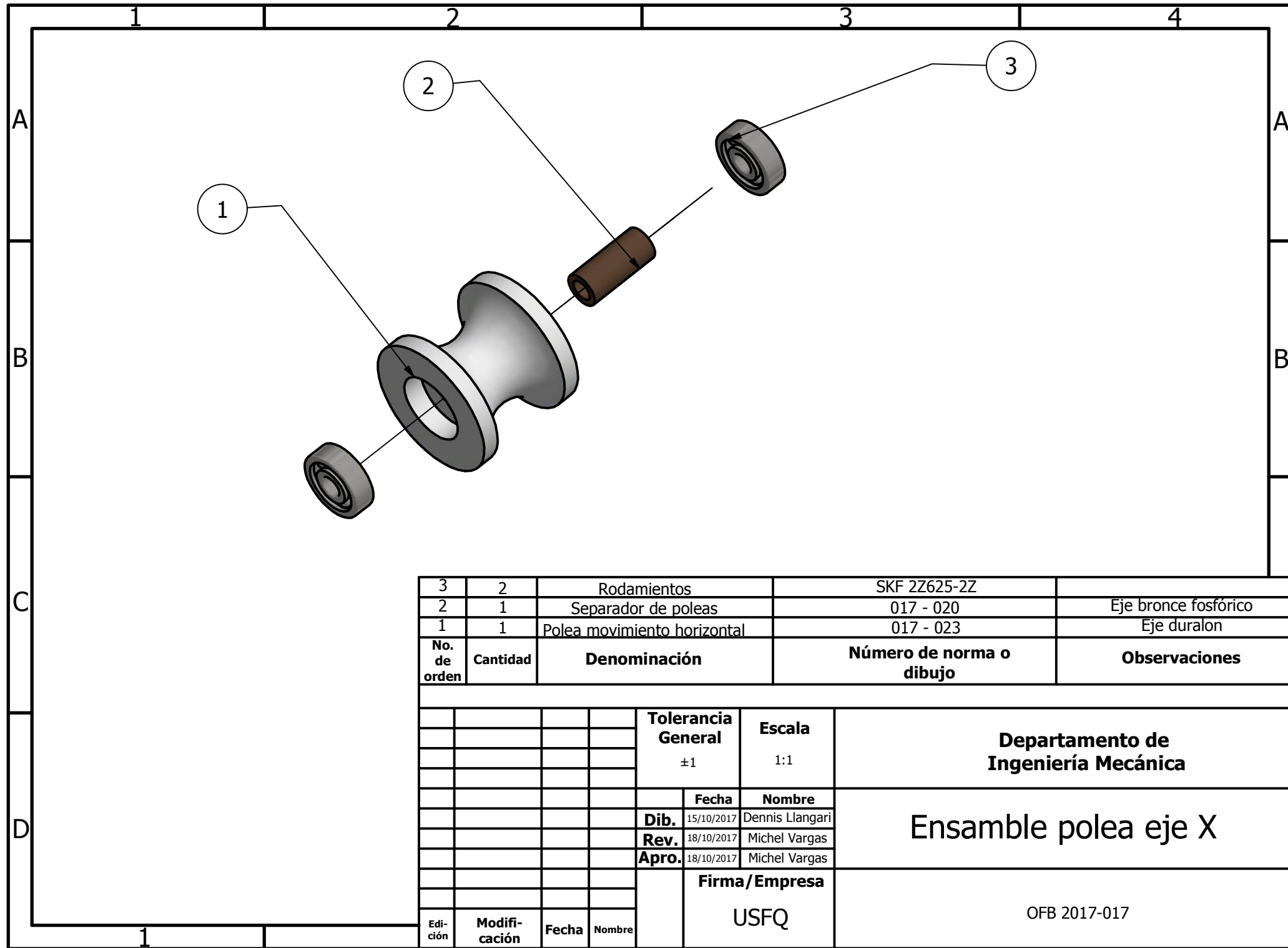
TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO			DIB.	Dennis Llangari
MATERIAL: Ángulo de aluminio 6063	TOL. GRAL. ±1	Escala 1:2	DIS.	Dennis Llangari
			REV.	Michel Vargas Ph.D
			FECHA 17/10/2017	
Soporte estanteria derecha		OFB 2017 - 014		



TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO				
MATERIAL: Tubo cuadrado de PVC (31mmx31mm)	TOL. GRAL. ± 1	Escala 1:2	DIB.	Dennis Llangari
			DIS.	Dennis Llangari
			REV.	Michel Vargas Ph.D
Travesaño PVC		OFB 2017 - 015		FECHA 17/10/2017



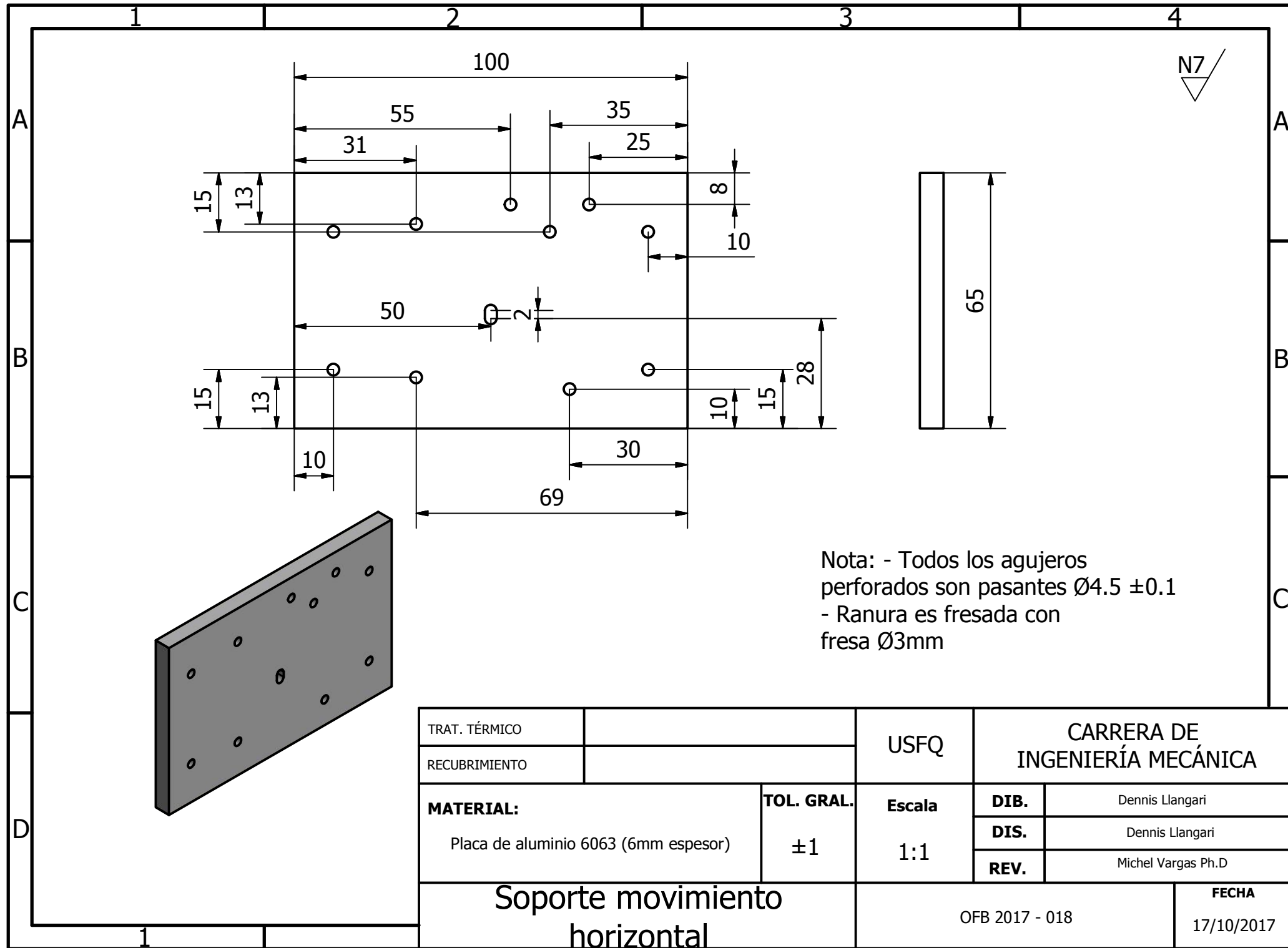
TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO			DIB.	Dennis Llangari
MATERIAL: Ángulos de PVC flexible	TOL. GRAL. ±1	Escala 1:1	DIS.	Dennis Llangari
			REV.	Michel Vargas Ph.D
			Rack PVC	



3	2	Rodamientos	SKF 2Z625-2Z	
2	1	Separador de poleas	017 - 020	Eje bronce fosfórico
1	1	Polea movimiento horizontal	017 - 023	Eje duralon
No. de orden	Cantidad	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones

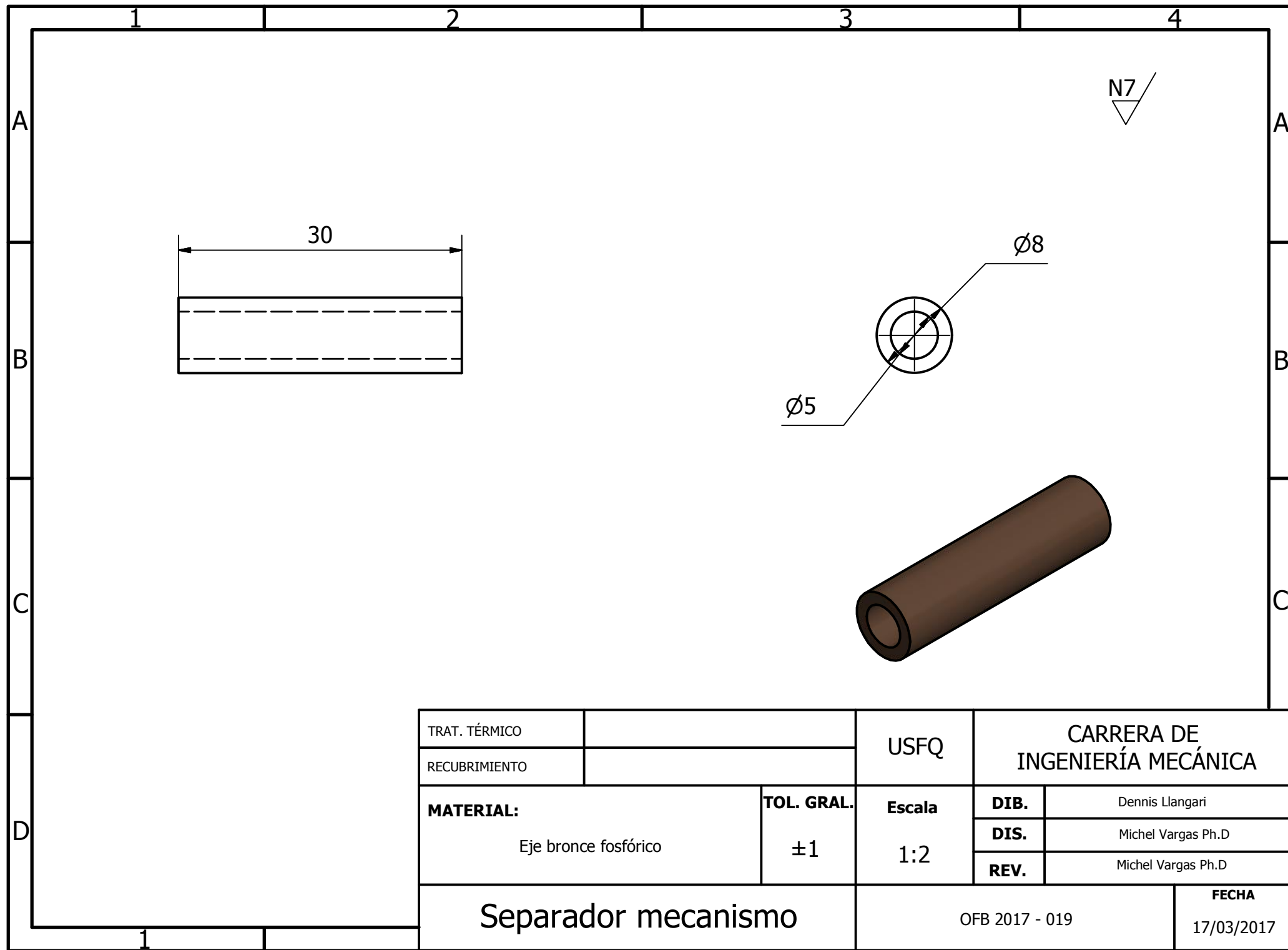
				Tolerancia General	Escala
				±1	1:1
				Fecha	Nombre
				Dib. 15/10/2017	Dennis Llangari
				Rev. 18/10/2017	Michel Vargas
				Apro. 18/10/2017	Michel Vargas
				Firma/ Empresa	
				USFQ	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre		

Departamento de Ingeniería Mecánica	
Ensamble polea eje X	
OFB 2017-017	

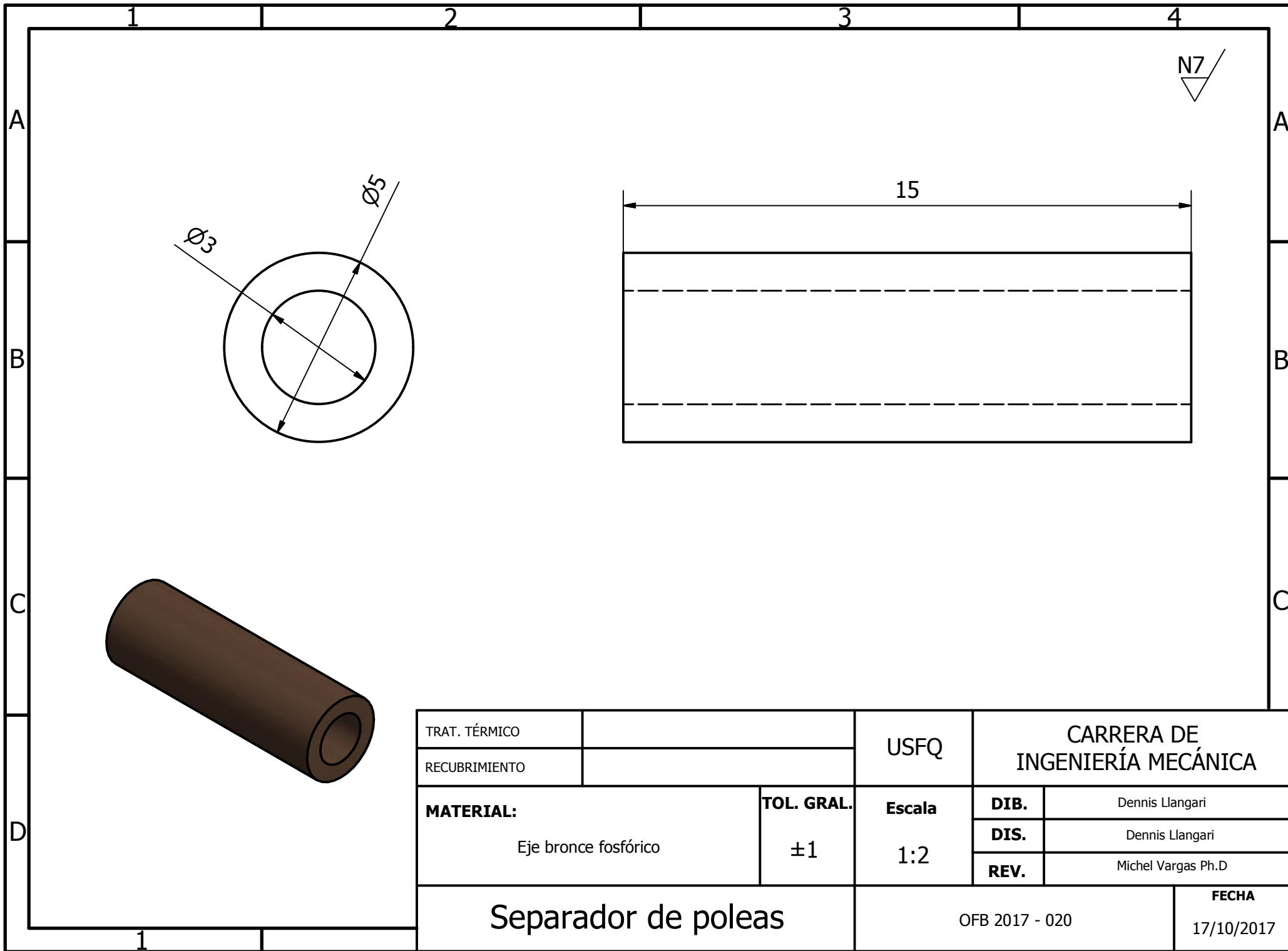


Nota: - Todos los agujeros perforados son pasantes $\varnothing 4.5 \pm 0.1$
 - Ranura es fresada con fresa $\varnothing 3\text{mm}$

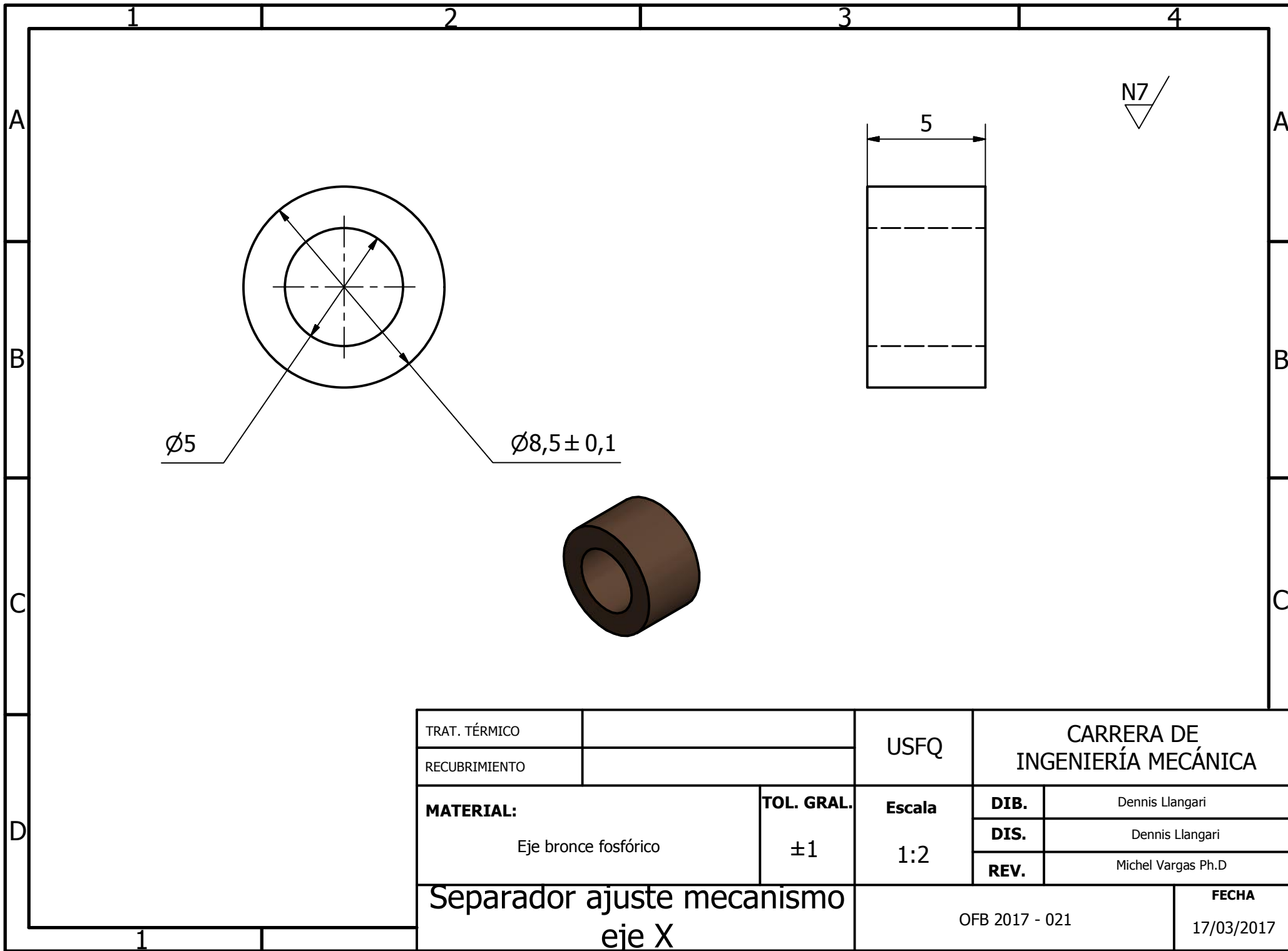
TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO			DIB.	Dennis Llangari
MATERIAL: Placa de aluminio 6063 (6mm espesor)	TOL. GRAL. ± 1	Escala 1:1	DIS.	Dennis Llangari
			REV.	Michel Vargas Ph.D
			Soporte movimiento horizontal	
		OFB 2017 - 018	FECHA 17/10/2017	



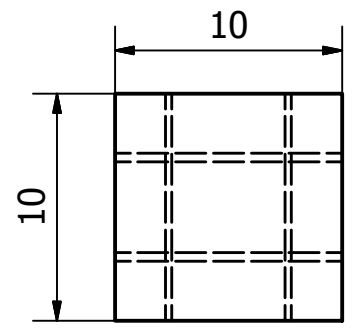
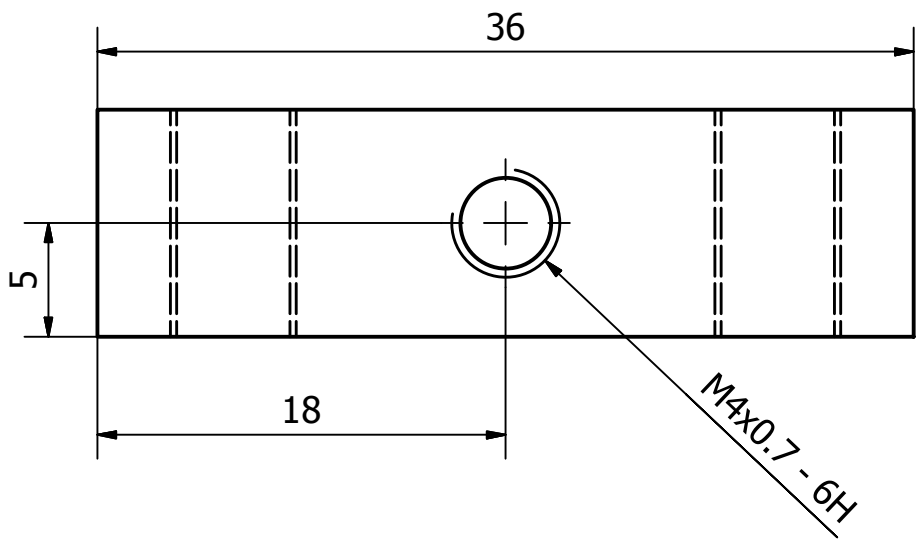
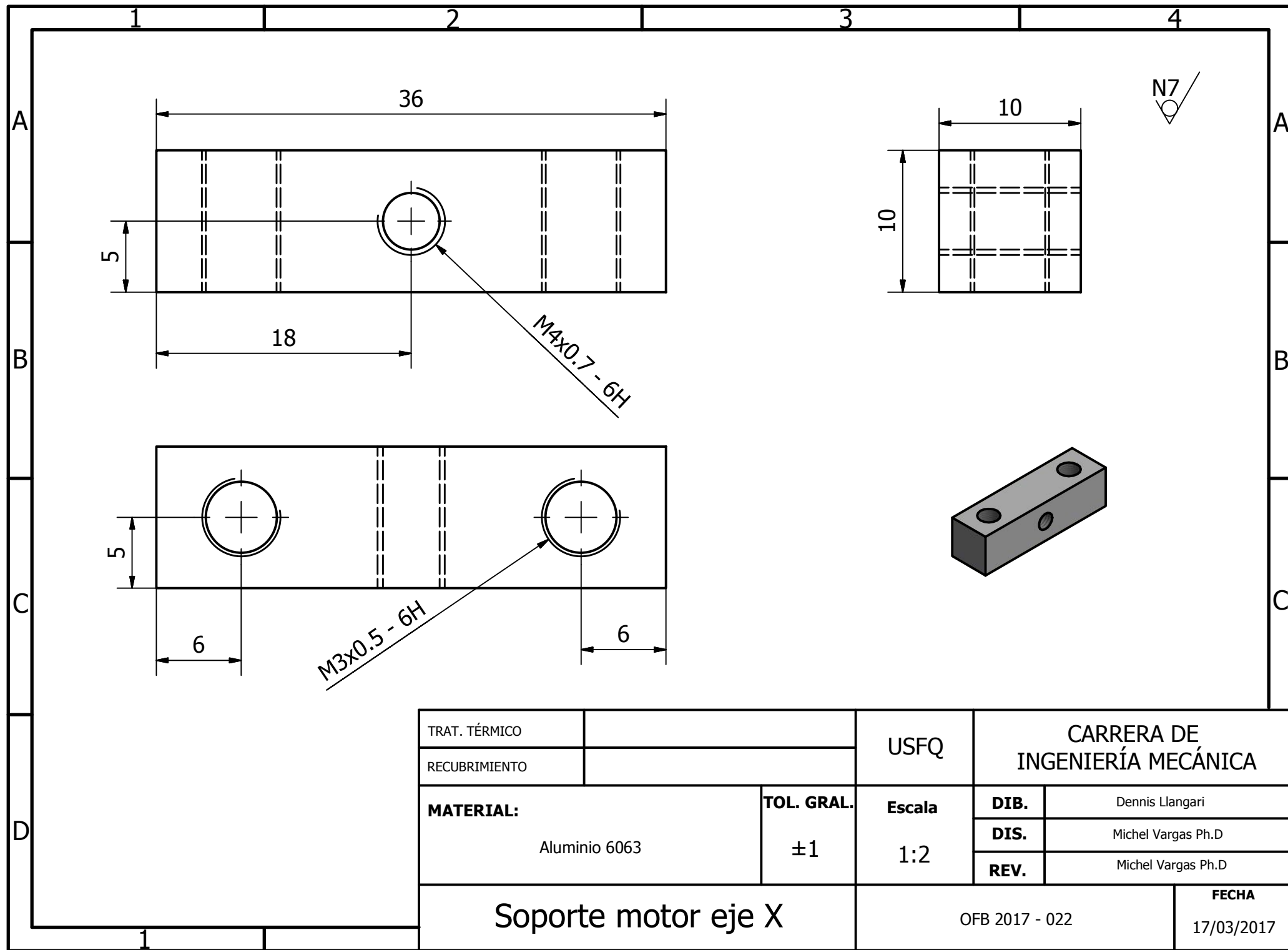
TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO				
MATERIAL: Eje bronce fosfórico	TOL. GRAL. ±1	Escala 1:2	DIB.	Dennis Llangari
			DIS.	Michel Vargas Ph.D
			REV.	Michel Vargas Ph.D
Separador mecanismo		OFB 2017 - 019	FECHA 17/03/2017	



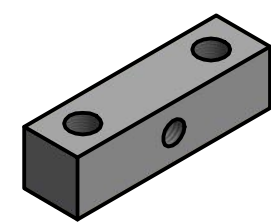
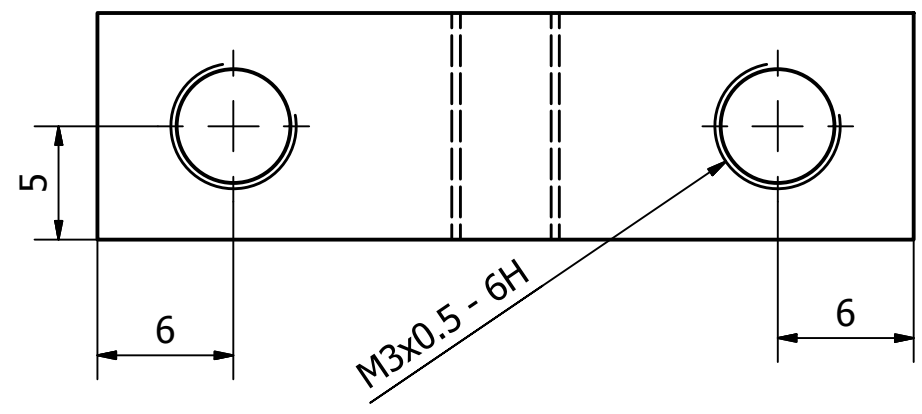
TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO				
MATERIAL: Eje bronce fosfórico	TOL. GRAL. ±1	Escala 1:2	DIB.	Dennis Llangari
			DIS.	Dennis Llangari
			REV.	Michel Vargas Ph.D
Separador de poleas		OFB 2017 - 020		FECHA 17/10/2017



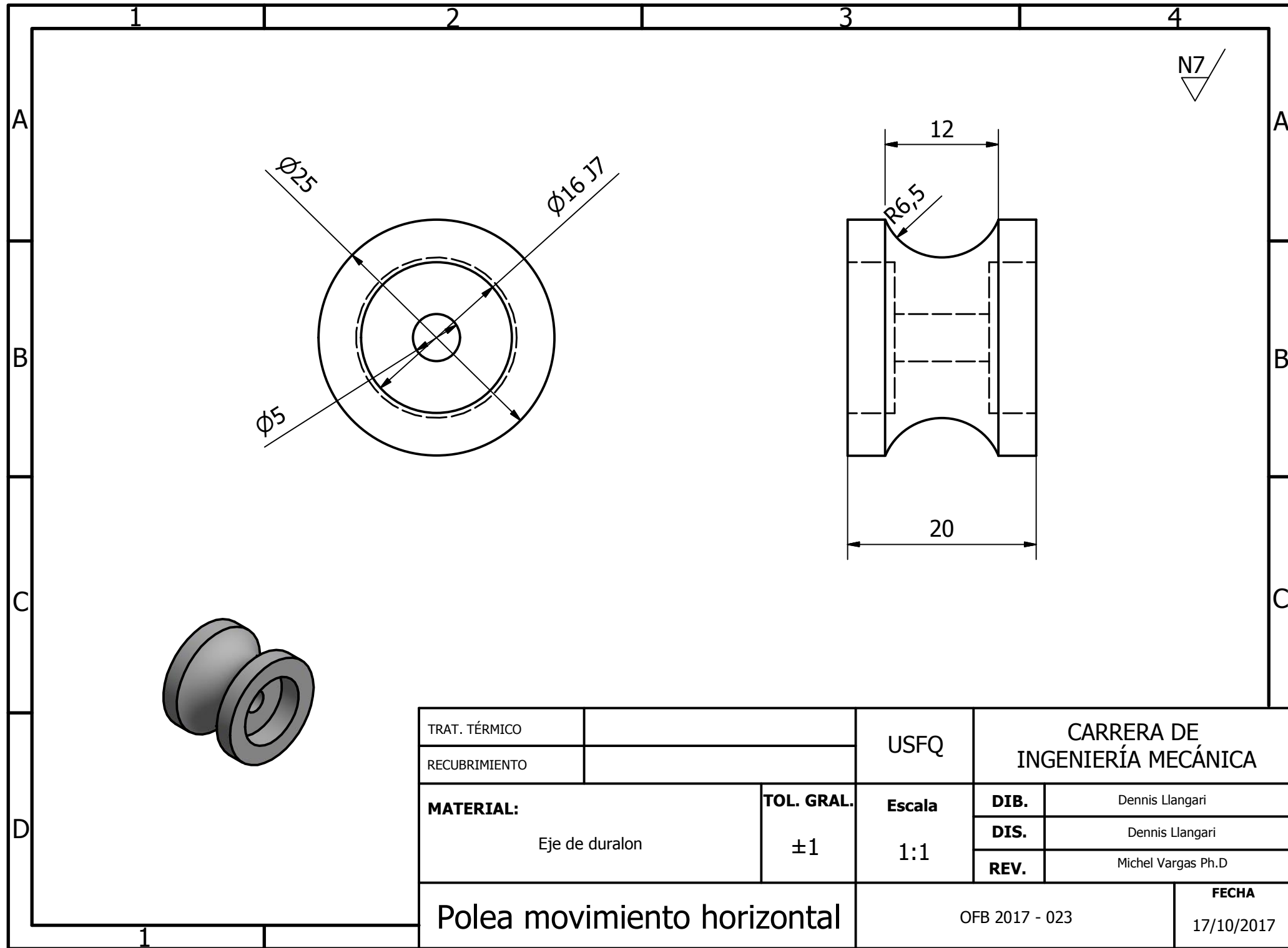
TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO				
MATERIAL: Eje bronce fosfórico	TOL. GRAL. ±1	Escala 1:2	DIB.	Dennis Llangari
			DIS.	Dennis Llangari
			REV.	Michel Vargas Ph.D
Separador ajuste mecanismo eje X		OFB 2017 - 021		FECHA 17/03/2017



N7



TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO				
MATERIAL: Aluminio 6063	TOL. GRAL. ±1	Escala 1:2	DIB.	Dennis Llangari
			DIS.	Michel Vargas Ph.D
			REV.	Michel Vargas Ph.D
Soporte motor eje X		OFB 2017 - 022		FECHA 17/03/2017



TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO				
MATERIAL: Eje de duralon	TOL. GRAL. ±1	Escala 1:1	DIB.	Dennis Llangari
			DIS.	Dennis Llangari
			REV.	Michel Vargas Ph.D
Polea movimiento horizontal		OFB 2017 - 023		FECHA 17/10/2017