



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Experiencia Profesional como
Ingeniero de Automatización
de Pruebas Mecánicas en
Grupo Chamberlain**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecatrónico

P R E S E N T A

Carlos Mauricio Mendoza Reyes

ASESOR DE INFORME

Dr. Adrián Espinosa Bautista



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023

Índice

Introducción	3
Objetivos	3
Perfil de la empresa	3
Historia de la empresa	3
Perfil del puesto	4
Antecedentes	6
Contexto de la participación profesional	6
Alcances y Limitaciones	7
Fixture 1 - RJOA Temperature Chamber	7
Arquitectura del RJO	8
Recursos disponibles del laboratorio GTMS	10
Necesidades del proyecto RJOA	12
Descripción del fixture	13
Fixture 2 - Ichabod Redesign for Yeti/VDrive	13
Arquitectura del YETI y del VDrive	15
Necesidades del proyecto Ichabod	15
Descripción del fixture modular	16
Fixture 3 - GH303 Mounting Bracket	18
Necesidades del proyecto	18
Descripción del fixture	21
Metodología	21
Proceso de desarrollo de productos	22
o. Planeación	22
1. Desarrollo del concepto	22
2. Diseño a nivel sistema	23
3. Diseño de detalle	23
4. Pruebas y refinamiento	24
5. Inicio de producción	26
Enfoque del equipo MTAG	26

Resultados	27
Fixture 1 - RJOA Temperature Chamber	27
Elección de la cámara de temperatura	28
Framing del fixture	28
Transmisión y montaje del RJO	31
Fixture 2 - Ichabod Redesign for Yeti/VDrive	35
Desarrollo de la base butcher	35
Diseño de los soportes	37
Ensamble de YETI	38
Ensamble de VDrive	39
Fixture 3 - GH303 Mounting Bracket	40
Dimensionamiento	40
Diseño de la transmisión	41
Diseño del bracket	43
Análisis de tolerancias	44
Conclusiones	47
Bibliografía	48
Anexos	49

Introducción

Para crear y construir sistemas de control de procesos y de productos, el campo de la mecatrónica integra la ingeniería mecánica, eléctrica, informática y de control de manera sinérgica. Otra forma de decirlo es que la mecatrónica es una colección de métodos de control digital basados en computadoras que se utilizan para resolver problemas de ingeniería mecánica utilizando interfaces electrónicas y eléctricas. Entonces, la mecatrónica no es un campo nuevo de la ingeniería, sino una concepción reciente, desarrollada para enfatizar la necesidad de integración y estrecha interacción entre muchas disciplinas de ingeniería. [1]

El presente informe describe las actividades profesionales realizadas durante el periodo del 31 de enero al 22 de julio de 2022 en la empresa Grupo Chamberlain®, donde presté mis servicios desempeñando el puesto de *Test Automation Engineer I*, haciendo uso de distintas herramientas y aplicando diversos conocimientos del diseño mecatrónico que he adquirido a lo largo de mi carrera profesional.

Objetivo

La finalidad del reporte es mostrar los proyectos más importantes que desarrollé o en los que participé durante mi estancia en Grupo Chamberlain. Proyectos de diseño cuyo objetivo en general es entregar una solución mecatrónica que permita, primero, validar el rendimiento de los productos comerciales, o segundo, recabar datos con técnicas ingenieriles en beneficio del desarrollo de la empresa y el mercado de sus productos.

Perfil de la empresa

Chamberlain Group Incorporated® (CGI) diseña y produce abridores de puertas de garaje residenciales, así como operadores de puertas comerciales y sistemas de entrada de portones. Actualmente, es líder mundial en soluciones de control de acceso y productos que lideran el mercado de integración de hogares inteligentes. Tiene su sede en Illinois, Estados Unidos, sin embargo, su equipo tiene presencia global en México, Canadá, Alemania, Australia, Nueva Zelanda, China, Hong Kong y Taiwán.

Historia de la empresa

Fundada en 1954, Chamberlain Group Inc. Fue pionera en la conectividad del vehículo con el hogar a través de tecnología patentada. Comercializó en este año el primer abridor de puertas de garaje residencial producido en masa llamado “Genie”, que era controlado por radio.



Figura 1. Gama de productos Chamberlain

Inicialmente orientada a la manufactura de artículos de consumo de línea blanca durante la Gran Depresión, la compañía paulatinamente enfocó su producción hacia la automatización de puertas de garaje. Lográndolo gracias al poder adquisitivo de la familia Duchossois, del Grupo Duchossois® (TDG), quien, en la década de los 1980 adquirió Chamberlain y pasó a formar parte del abanico de productos de consumo de la familia Duchossois, además de denominarlo formalmente como Chamberlain Group, Inc. Más tarde en el año 2021, TDG vendió Grupo Chamberlain a Blackstone®. [2].

En la actualidad, CGI tiene una participación del 65% en el mercado de automatización de puertas de garaje. La empresa ofrece varias líneas de productos para puertas de garaje:

- Chamberlain: la línea de abridores para hacerlo usted mismo de la compañía.
- LiftMaster®: línea de abridores para instaladores profesionales.
- Raynor®: línea para instaladores profesionales un poco menos común que LiftMaster.
- Craftsman®: modelos de Chamberlain renombrados vendidos en Sears.
- Clicker®: una línea de controles remotos universales. [3]

Perfil del puesto

Una parte considerable de los productos que produce CGI, así como las actividades de manufactura relacionadas que van desde estampado, pintado, prensado, inyección de plásticos, hasta ensamblaje y empaquetado, se realizan en la planta de fabricación de Nogales, Sonora.

En la organización de la empresa, la división de ingeniería tiene un departamento de pruebas tanto en software como en hardware, enfocadas a la validación de productos y desarrollos de los ingenieros de Chamberlain. Estas comprobaciones toman lugar en laboratorios de pruebas distribuidas entre Nogales y Elmhurst, ciudad de Illinois.



Figura 2. Planta manufacturera de Chamberlain Group en Nogales, Sonora

Dentro de la planta de manufactura de Nogales, se encuentra el laboratorio de pruebas GTMS (*Global Test & Measurement Services*), donde desempeñé actividades de ingeniería bajo el puesto de *Test Automation Engineer I*, que corresponde al equipo de *Mechanical Test Automation Group (MTAG)*.

MTAG está coordinado por el corporativo en Oakbrook (Illinois) directamente, por lo que la asignación de proyectos, juntas, documentación, y las interacciones en general con la empresa se llevan a cabo en idioma inglés. Los miembros de MTAG (a excepción del líder), sin embargo, residen en México y son de habla hispana.

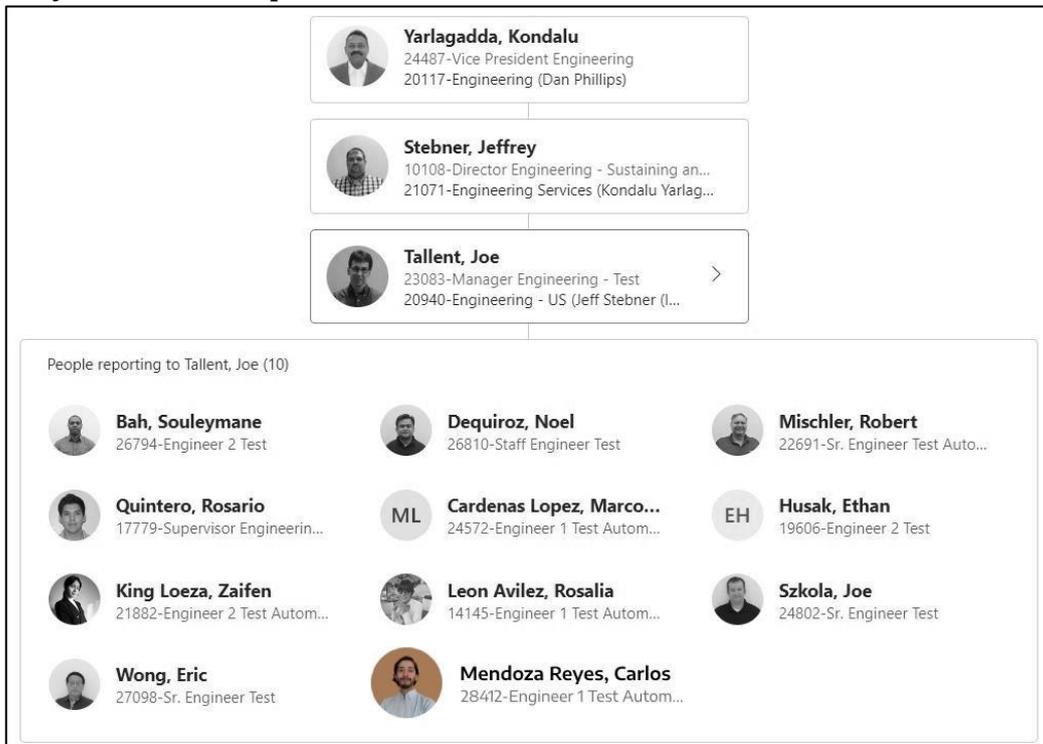


Figura 3. Diagrama organizacional 2021

Dentro de las actividades que desarrolla el equipo MTAG se encuentran:

- Diseñar (o rediseñar) soluciones de montaje y mantenimiento para bancos de prueba de productos, llamados *fixture*.
- Crear modelos 3D de fixtures mecánicos y electrónicos, utilizando software CAD.
- Validar la correcta aplicación y funcionamiento del fixture previo a su entrega al laboratorio/adquirente.
- Elaborar dibujos, esquemas e instrucciones de trabajo adecuado (llamadas *work instruction*) relacionadas a la utilización y mantenimiento de los fixtures.
- Desarrollar código, interfaces de usuario y configuraciones para las aplicaciones enfocadas a las pruebas de productos.
- Ensamblar, configurar, conectar y calibrar fixtures para habilitar su uso adecuado en pruebas.
- Cotizar, comprar y recolectar componentes necesarios para la fabricación de fixtures.

Antecedentes

Para un despliegue adecuado de cada proyecto solicitado a MTAG, el ingeniero de automatización de pruebas requiere de conocimientos orientados al diseño mecánico y electromecánico, de dibujo técnico y de software CAD; programación e instrumentación; de procesos de manufactura y de medición, y utilización general de herramientas para el seguimiento y la gestión de proyectos.

Las actividades que desarrolla el profesional mayoritariamente en este puesto son:

1. Crear modelos 3D y dibujar planos de componentes en PTC CREO®.
2. Realizar cálculos, mediciones y análisis necesarios para la implementación de los componentes en un fixture.
3. Utilizar herramientas de ingeniería para realizar análisis de fallos, de validación y simulaciones necesarias para el despliegue seguro del fixture.
4. Elaborar instrucciones de trabajo y esquemas de ensamble de cada despliegue.
5. Dar mantenimiento y ejecutar acciones correctivas y preventivas de riesgos para cada fixture.

Estas actividades fueron llevadas a cabo personalmente durante mi estancia y resumen los requerimientos que la empresa solicita para este puesto de trabajo.

Contexto de la participación profesional

Se abordarán tres proyectos de diseño en este documento. Cada uno será descrito con su contexto desde la asignación de ese proyecto al equipo de trabajo, es decir, la razón de nuestra participación, así como las decisiones que fueron tomadas dentro del marco de la ingeniería y los resultados.

Alcances y Limitaciones

Con el objetivo de describir el resultado final que se espera de los proyectos desarrollados, se enlistan los siguientes alcances:

- Cada proyecto se enfocará en el diseño y la implementación, abarcando las áreas de validación, maquinado, ensamble y mantenimiento.
- Se realizará una descripción de los productos sujetos a probarse a modo de definición en donde se establecerán las condiciones de la prueba a la que serán sometidos y las necesidades derivadas que serán atendidas.
- Se describirá de manera general la metodología de diseño y las decisiones tomadas por el diseñador.
- Se mostrarán los resultados obtenidos con la implementación de cada proyecto en la prueba para la que fue planificada.

A continuación, se describen los aspectos que quedan fuera de cobertura y de discusión en este documento, pues le corresponde a otra área de la empresa abordar estas restricciones:

- No se discutirá la calidad ni la interpretación de los resultados de las pruebas.
- Se utilizarán las especificaciones otorgadas por los ingenieros de pruebas para cada una de las pruebas planteadas, más no se definirán o modificarán dichas especificaciones.

Fixture 1 - RJOA Temperature Chamber

Dentro del catálogo de productos que ofrece la marca Liftmaster se encuentra el RJO[®]. Un abridor de puertas cuyo montaje se realiza en la pared y se conecta a cualquiera de los extremos de la puerta de garaje. Este popular modelo se ofrece como una alternativa que libera más espacio en el techo que otros anteriores, que además opera silenciosamente y que permite el monitoreo y control de la puerta desde cualquier lugar con una aplicación móvil. En el 2022, pueden encontrarse los modelos RJO20 y RJO70 en tiendas de retail.



Figura 4. RJO70 con accesorios incluidos

La gran popularidad del abridor incentivó a Chamberlain a posicionar la línea RJO para servir a múltiples segmentos del mercado. Esto suscitó el desarrollo del plan “RJO Architecture”, en el que se proyectó la adición de dos nuevos modelos de la línea para el 2023-2024.

Las nuevas versiones de RJO: MD (*Mid Tier*) y HD (*Heavy Door*) cuentan con cambios a nivel de hardware, firmware, empaquetado y un tiempo de instalación mejorado, entre otros cambios estéticos o de menor nivel. Todos los demás elementos del diseño siguen siendo comunes al modelo previo (conocido simplemente como RJO o como 8500W).

RJO Mid Tier (MD)	RJO Heavy Door (HD)
	
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad máxima de 850 [lb] • Velocidad de levantamiento 11.5 [in/s] 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad máxima de 1100 [lb] • Velocidad de levantamiento 8.5 [in/s]
<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: 6.74 X 22 X 7.64 [in] • Peso 37.6 [lb] 	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: 6.74 X 23.81 X 8.06 [in] • Peso 41 [lb]
<ul style="list-style-type: none"> • Par de salida 33.2 [ft-lb] • Velocidad de salida 39 rpm 	<ul style="list-style-type: none"> • Par de salida 44.7 [ft-lb] • Velocidad de salida 45 rpm

Tabla 1. Comparativa de modelos RJO *Mid Tier* y *Heavy Door*

Arquitectura del RJO

El abrepuertas requiere de un área de instalación que es propuesta por el manual de usuario ofrecido al momento de adquirir el producto en una tienda. El equipo se puede instalar del lado izquierdo o derecho de la puerta, siempre que se cumplan los requisitos indicados a continuación:

- Debe tener un mínimo de 2.5 [in] entre la pared y el centro de la barra de torsión.
- Debe tener un mínimo de 3 [in] entre el techo y el centro de la barra de torsión.
- Debe tener un mínimo de 8.5 [in] entre la pared lateral (u obstrucción) y el extremo de la barra de torsión.
- La barra de torsión se debe extender al menos 1.5 [in] por sobre el cojinete.

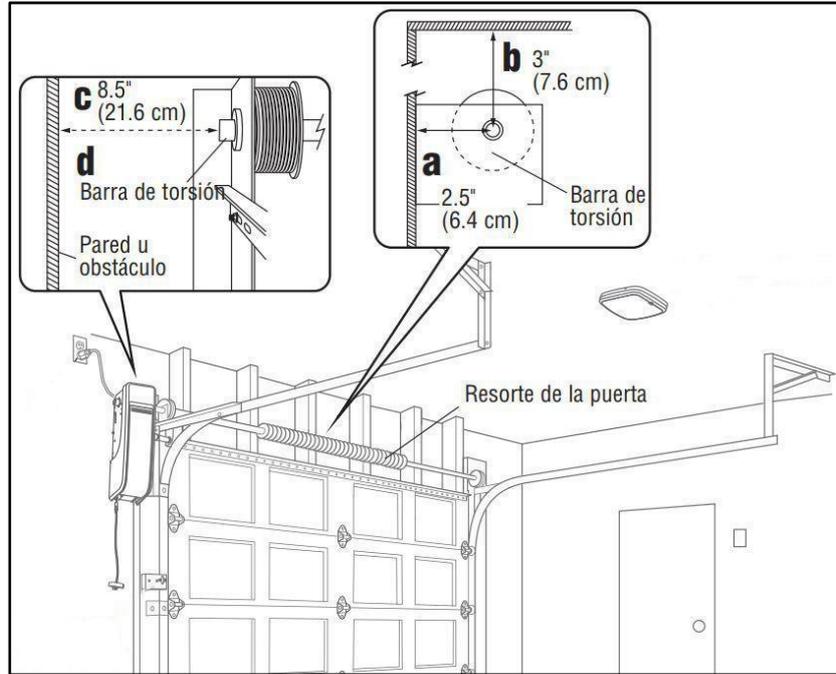


Figura 5. Requisitos de instalación del RJO de acuerdo con el manual del usuario

Para ensamblar la unidad a la puerta, primero debe fijarse el collarín al eje del motor del abridor. El eje del motor es un eje hueco de 1.1 [in] de diámetro. Al acoplar el collarín se conectan la unidad con la barra de torsión de la puerta.

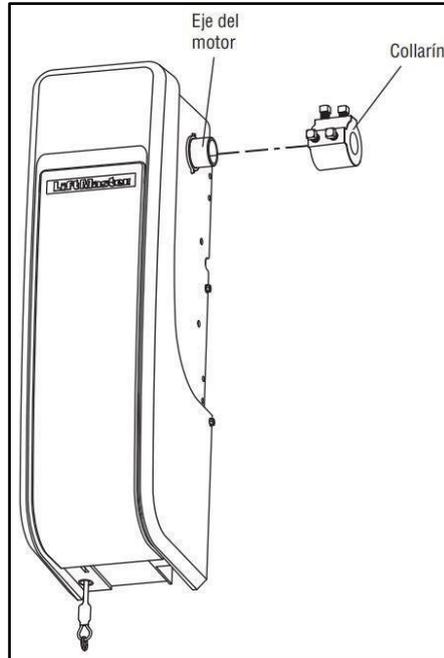


Figura 6. Ensamble del collarín en el modelo RJO

Después, se fija el soporte de montaje al abrepuertas, dejándolo un poco flojo para permitir ajustarlo después.

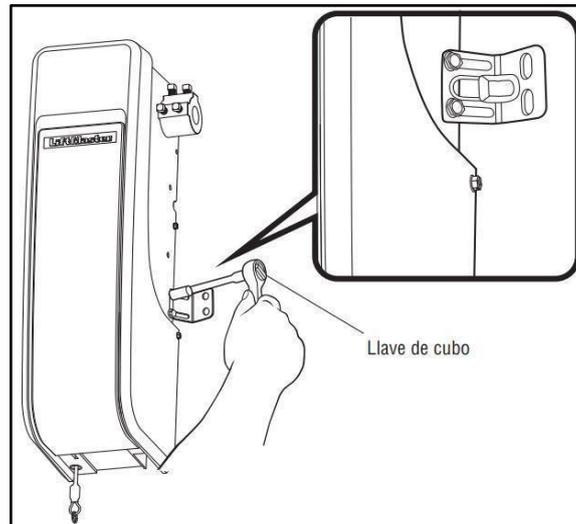


Figura 7. Ensamble del soporte de montaje (llamado bracket comercialmente) en el modelo RJO

Finalmente, el abridor se coloca en posición y se monta alineando los ejes y nivelando el equipo al fijarlo en la pared.

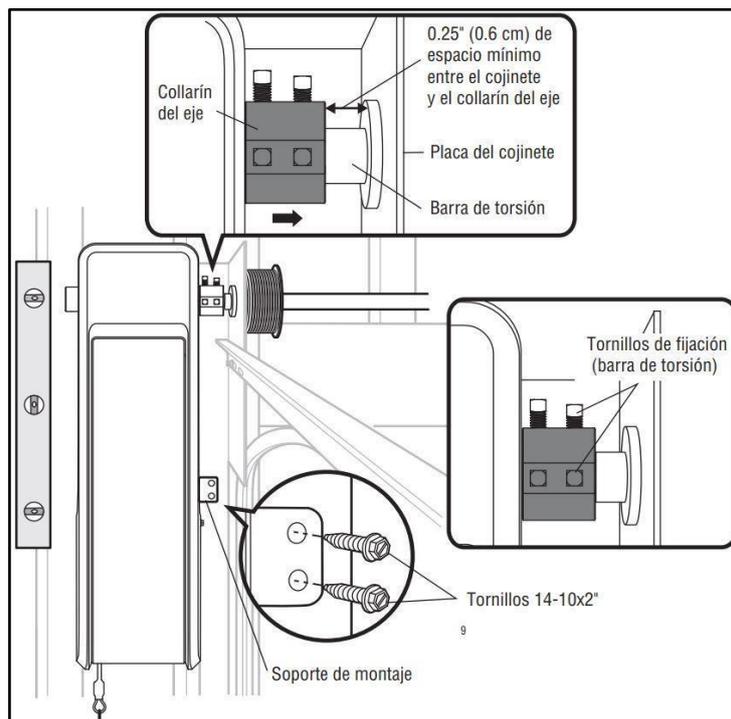


Figura 8. Ensamblaje general del abridor RJO a la puerta

Recursos disponibles del laboratorio GTMS

El laboratorio GTMS de la empresa cuenta con diversos dispositivos para su uso en pruebas según las aplicaciones que los ingenieros consideren adecuadas. En Nogales pueden encontrarse puertas comerciales y de garaje de distintos tamaños y con pesos ajustables, que sirven como bancos de prueba para determinados abridores compatibles. Además, hay salas de pruebas climáticas y

ambientales para pruebas de verificación del grado de protección de los envoltentes, niebla salina, y chorro de agua.

Las condiciones climáticas a las que se exponen los abridores en pruebas de temperatura/humedad son replicadas con cámaras de temperatura (*temperature chamber*) programables de distintos tamaños. La cámara utilizada en este proyecto es la Thermotron[®] SM-32 (Ver Figura 10).

Es necesario mencionar que los ciclos (abre-cierra) de cualquier abridor difieren de una simple activación del motor de la unidad. En realidad, en el uso común, las puertas ofrecen una resistencia de par al abridor, en otras palabras, un perfil de par correspondiente al tamaño y peso de la puerta es aplicado en sentido contrario al eje del abridor que abre la propia puerta.

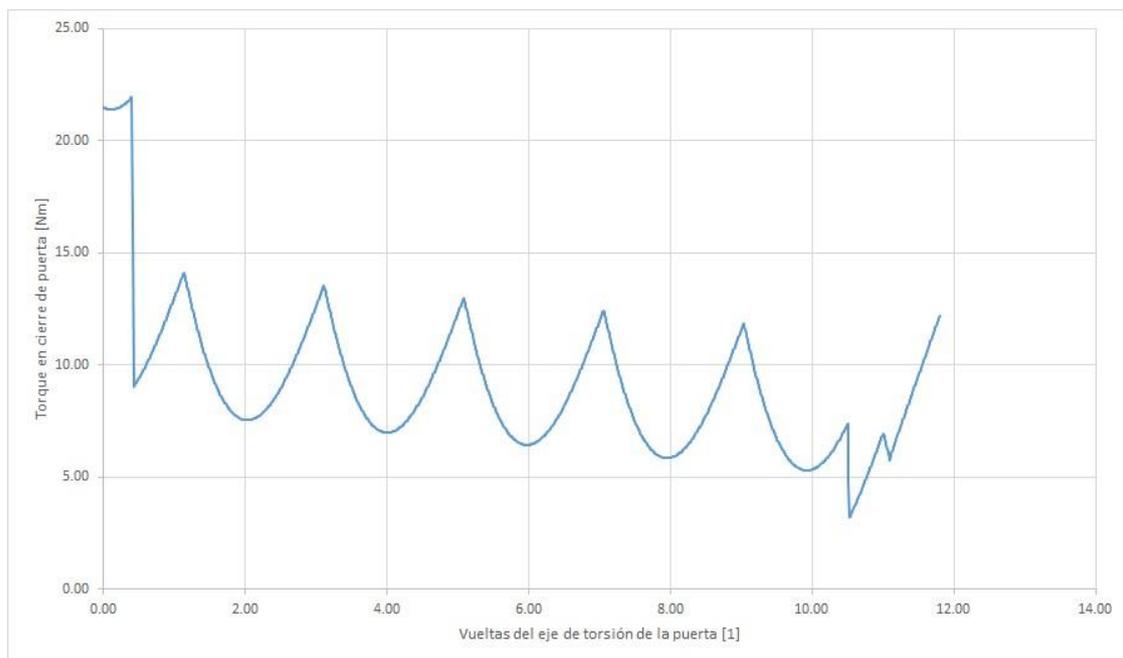


Figura 9. Perfil de par de un abridor en cierre de puerta. Par [Nm] vs Vueltas eje de torsión [1]

El perfil de par de ciertos modelos de puertas es simulado en las pruebas del laboratorio por sistemas de freno magnético controlados por corriente (*mag-brake*). En Nogales se utiliza el *magnetic particle brake* POB-200F[®] generalmente, y el software que controla estos frenos es programado y calibrado por el equipo MTAG. Una computadora con el software cargado debe ser conectada a los magbrakes y colocada cerca del setup de pruebas. Desde ahí, el técnico configura y corre una determinada prueba de temperatura/humedad en los equipos.

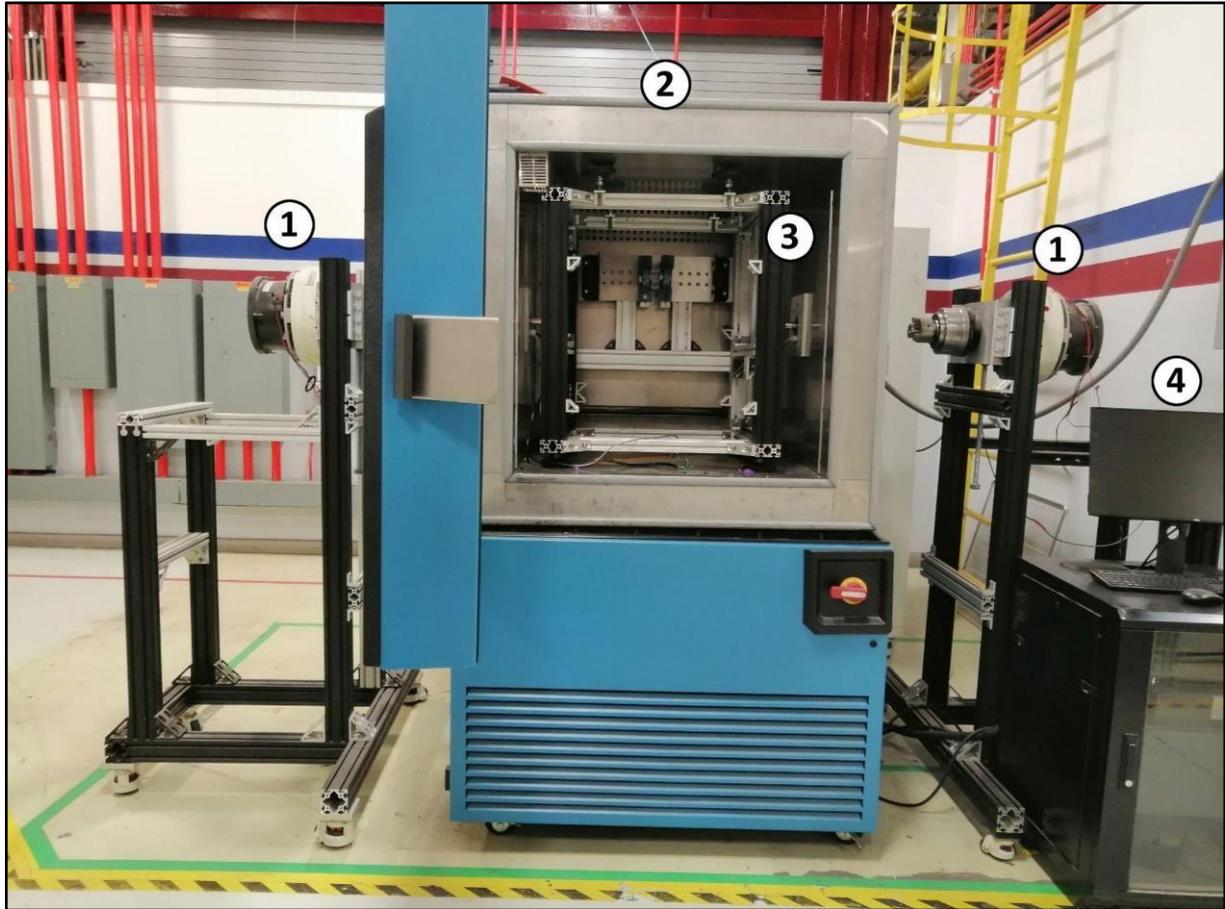


Figura 10. Setup de pruebas de temperatura y humedad: 1) Magbrakes POB-200F; 2) Cámara de temperatura Thermotron SM-32; 3) Fixture de aluminio en el interior de la cámara (abridores no están montados); 4) Equipo de cómputo para pruebas

Necesidades del proyecto RJOA

El rendimiento y la vida útil de los nuevos abridores RJO han de ser validados mediante distintas pruebas electromecánicas. La prueba de la que se desarrolla este proyecto es una de ciclo de vida del abridor a diferentes temperaturas y/o condiciones de humedad. Las condiciones de la prueba fueron definidas por los ingenieros de pruebas.

Cuando los ingenieros de pruebas del laboratorio requieren de un fixture, extienden una serie de especificaciones bajo las que el equipo MTAG puede basarse para desarrollar el banco de pruebas. Las siguientes fueron las indicadas para esta prueba de temperatura y humedad en particular:

- 14000 ciclos (abrir-cerrar) - aproximadamente 100 horas de uso continuo
- -10 [°C] a 50 [°C]
- 30% de humedad relativa

Además de dichas especificaciones, en esta prueba se requiere de un fixture que pueda introducirse en la cámara de temperatura, y que albergue en su interior dos unidades de RJO HD o MD (intercambiabilidad). Además, el fixture debe ser lo más seguro y fácil de instalar para dos técnicos del laboratorio como máximo. Así mismo, es necesario que los abridores al interior de la cámara

estén acoplados con los magbrakes del exterior de la cámara. Esto implica que, tanto los componentes de potencia del fixture como los de los magbrakes deben estar alineados de forma precisa para una aplicación exacta del perfil de par de los magbrakes hacia los abridores.

Descripción del fixture

El espacio contenido por la cámara de temperatura delimita las dimensiones y el factor de forma del fixture en cierta medida. Las condiciones ambientales de la prueba disminuyen las opciones de elementos mecánicos eliminando los que son sensibles a la humedad y a la temperatura para su correcto funcionamiento. Por último, las necesidades de los técnicos del laboratorio, quienes ensamblan las unidades y corren las pruebas, orientan el diseño del fixture a uno en favor de la seguridad de los técnicos y la practicidad del ensamble.

En general, puede describirse el fixture desde este momento pues sus capacidades ya han sido definidas. La siguiente lista abarca todos los requerimientos del banco de pruebas mencionados anteriormente, así como otros relacionados a la operación de los abridores que serán utilizados en la prueba:

1. Tiempo de vida del producto: 100 horas uso continuo
2. Temperatura de operación: -10 [°C] a 50 [°C]
3. Humedad de operación: 30% relativa
4. Intercambiabilidad de las unidades de prueba dentro del fixture
5. Par máximo: 44.7 [ft-lb] (59.66 [N-m])
6. Velocidad angular máxima: 49 rpm
7. Dimensiones máximas: las mismas del interior de la cámara
8. Capacidad de desalineación: angular $>1^\circ$; paralela <0.4 [mm]; axial <4 [mm]
9. Juego entre acoplamientos: $<0,1^\circ$
10. Seguridad de los técnicos durante el ensamble
11. Ensamble fácil

Posteriormente, se comenzó el desarrollo del banco de pruebas, así como se definieron los componentes que lo conforman. Para ello, se siguió una metodología de diseño de la que se hablará posteriormente en este documento.

Fixture 2 - Ichabod Redesign for Yeti/VDrive

Como se mencionó anteriormente, Grupo Chamberlain ha logrado posicionarse como líder en el mercado global con muchos de sus productos de soluciones de acceso. Sin embargo, es menester para la empresa ajustar la gama de productos que ofrece a los diferentes sectores del mercado que constantemente requieren de productos nuevos e innovadores que satisfagan sus necesidades actuales. En este sentido, la línea de soluciones de acceso comercial fue extendida con dos productos que ofrecen distintas capacidades a los usuarios, el “YETI” y el VDrive[®].

El llamado internamente “YETI” (dado que es un producto en desarrollo), está planeado para lanzarse al mercado a finales del 2023-2024, y a diferencia de los modelos competidores, este ofrece un peso y tamaño considerablemente reducidos y una potencia incrementada, así como actualizaciones de firmware en la electrónica de control. Como requisito para su lanzamiento es necesario que el nuevo abridor pase por una serie de pruebas tanto mecánicas como de software y firmware.



Figura 11. Comparación de tamaño de un YETI y un modelo DHJ 1/4 HP

Por otro lado, el VDrive es un abrepuertas comercial diseñado para aplicaciones industriales, comerciales y de estacionamientos. La principal diferencia es que el producto está diseñado para los mercados de Australia y Nueva Zelanda. Está orientado a cumplir con los requisitos de puertas de persianas enrollables de acero de tamaño pequeño a mediano, rejillas y puertas contrapesadas, y ofrece un rendimiento de alto nivel a través de una función de velocidad variable.

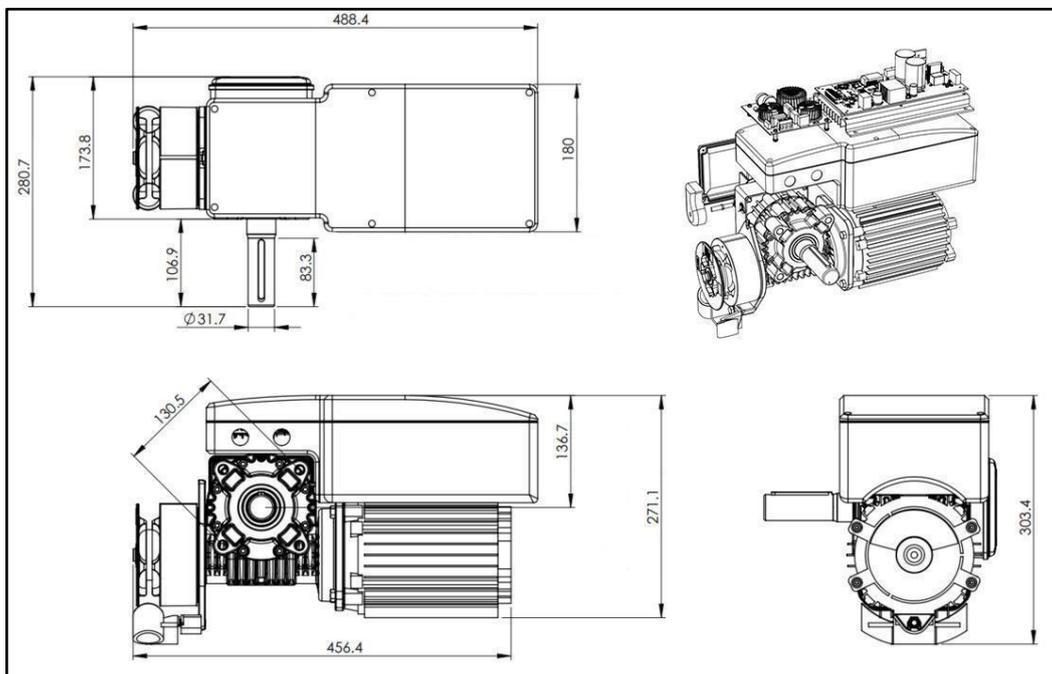


Figura 12. Vista preliminar y dimensiones del abridor VDrive

Arquitectura del YETI y del VDrive

Contrario al modelo RJO, las unidades VDrive y sobre todo el YETI no cuentan con requerimientos establecidos para la instalación ni de un manual del usuario que se pueda usar como referencia. Sin embargo, pueden hacerse algunas suposiciones basadas en el uso común de abrepuertas con factores de forma y potencia similares a las unidades de estudio. En otras palabras, puede asumirse que:

- A. La instalación requiere de un acoplamiento entre el eje de salida del motor y la barra de torsión (de la puerta).
- B. El cople mencionado debe tener una separación mínima de 0.5 [in] entre la pared del abrepuertas o de cualquier elemento del fixture.
- C. El abridor debe reposar sobre una mesa plana o soporte de forma horizontal, empalmando la cara del *footprint* (orificios definidos para el montaje) con la cara amplia de la mesa sin juego relativo; aplicando las mismas condiciones para una pared vertical.
- D. El disco de freno y la cadena del disco de freno deben quedar en libre movimiento y por lo menos a 1.5 [in] de cualquier obstrucción del fixture.

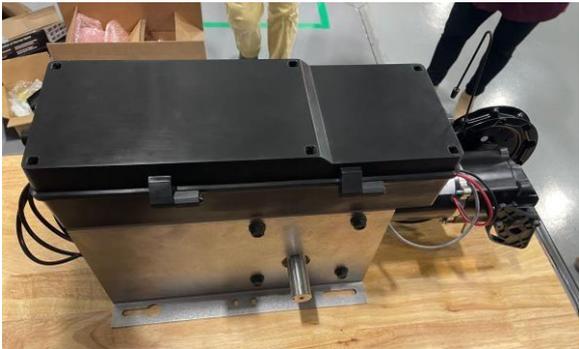
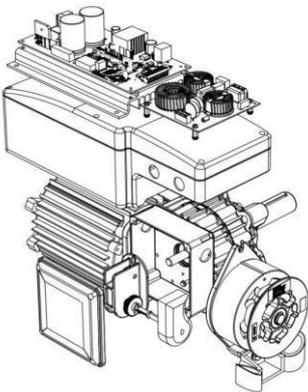
YETI	VDrive (1 HP)
	
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad máxima de 544 [kg] • Velocidad de levantamiento 11.4 [in/s] 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad máxima de 540 [kg] • Ciclos por hora 36 (60 [s] c/u)
<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: 171 X 559 X 194 [mm] • Peso 17 [kg] 	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: 180 X 488.4 X 271.1 [mm] • Peso 25.8 [kg]
<ul style="list-style-type: none"> • Par de salida 62 [N-m] • Velocidad de salida 65 RPM 	<ul style="list-style-type: none"> • Par de salida 140 [N-m] • Velocidad de salida 55 RPM

Tabla 2. Comparativa de modelos YETI y VDrive

Necesidades del proyecto Ichabod

El proyecto “Ichabod” surgió en el 2022 como un nuevo hardware de automatización que resuelve la necesidad de realizar pruebas de campo en el laboratorio, que sean repetibles y cuyo diseño pueda perfeccionarse antes de la producción. Este hardware cuenta con un probador de características de firmware HIL (*hardware-in-the-loop*) para validación de productos de laboratorio con el que se logra

reducir significativamente el tiempo de pruebas, y que además es capaz de probar todos los accesorios de radiofrecuencia (RF) y cableados correspondientes.

El Ichabod está conformado por:

- Un sistema de corriente de aire termal (*thermal controller*)
- Un gabinete con accesorios de RF, accesorios inalámbricos, y conexiones DAQ y DUT.
- Una caja con blindaje RF (*screen box*)
- Un fixture con diseño modular para montar los abridores de prueba.

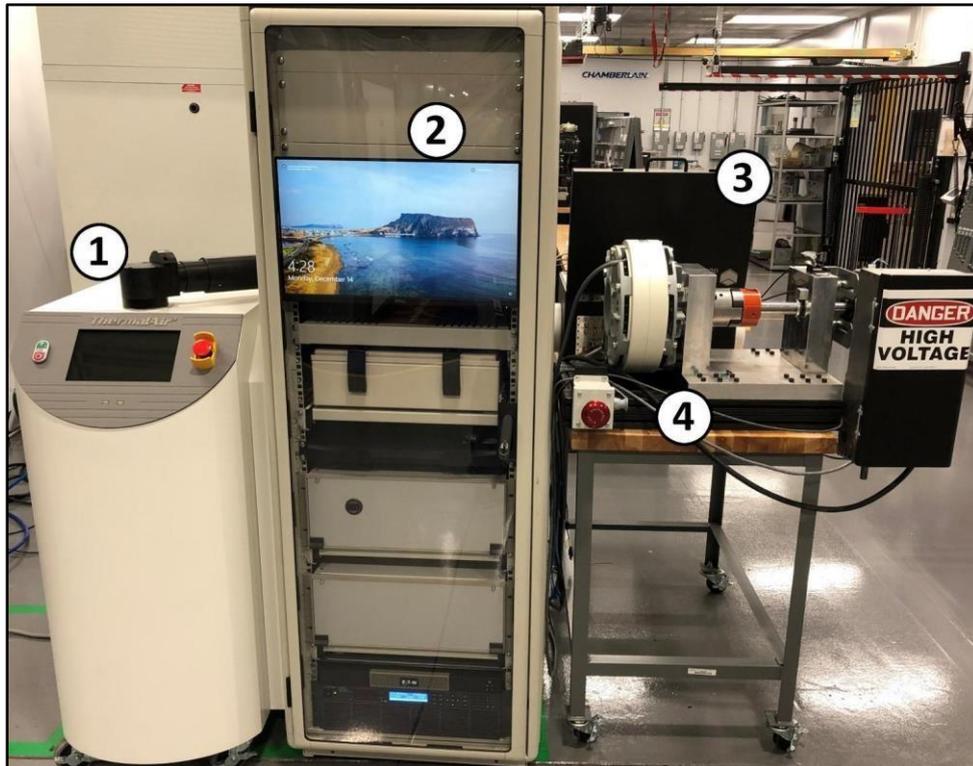


Figura 13. Setup del Ichabod: 1) Thermal controller; 2) Gabinete de accesorios y conexiones; 3) RF Screen Box; 4) Fixture modular

En el fixture de diseño modular pueden realizarse pruebas de carga mecánica simuladas de la vida real (llamadas reversiones de fuerza). Está planeado para ser utilizado por abridores *Standard Duty* (H/J) y *Standard* (T), sin embargo, dentro de estas categorías no entran el YETI ni el VDrive. En otras palabras, estas dos unidades no son compatibles con el Ichabod y se convierten en el motivo de un rediseño del fixture modular.

Descripción del fixture modular

La disposición de los componentes en el fixture original es muy simple. Sobre una mesa de acero del laboratorio se montan perfiles de aluminio que funcionan como rieles para ajustar la posición del fixture completo desde la base, una placa de 1.5 [in] de aluminio y llamada "*butcher*" por su parecido a una tabla de cortar. Sobre la *butcher* se encuentran dos bloques o soportes que cargan al magbrake y al abridor respectivamente. Por último, la unidad y el magbrake son ensamblados por un acoplamiento de acero.

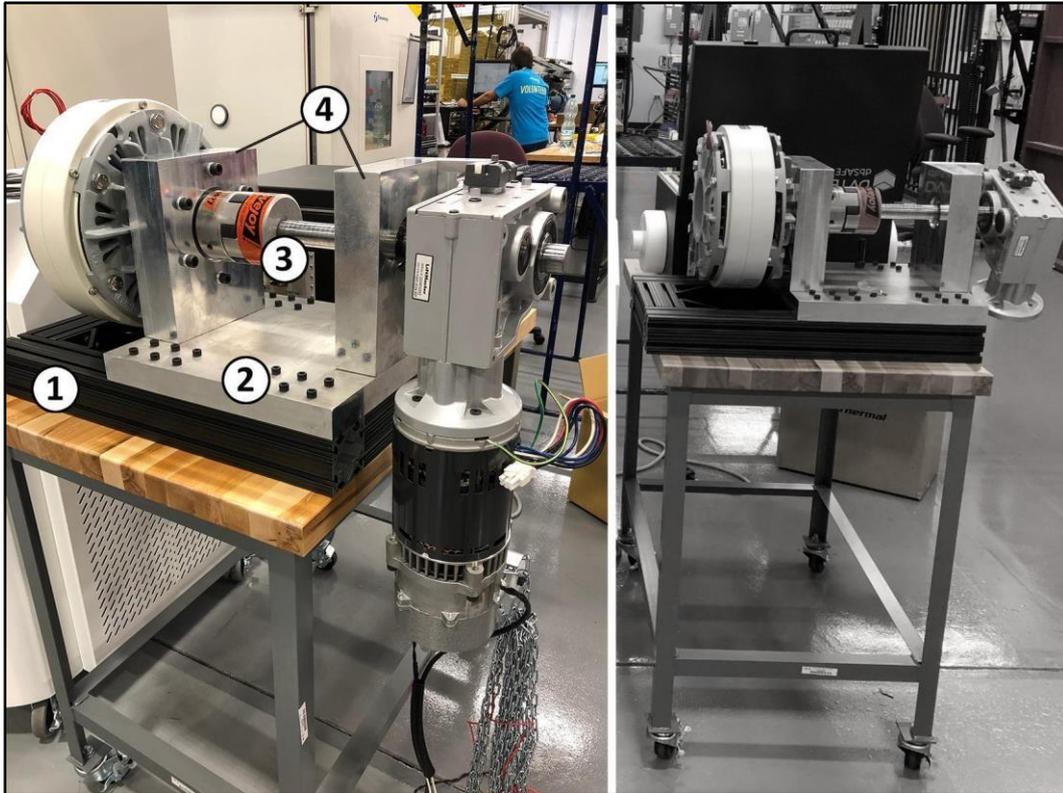


Figura 14. Fixture modular: 1) Perfiles de aluminio fijos a la mesa de trabajo; 2) Base butcher; 3) Acoplamiento de acero; 4) Bloques de montaje para magbrake y abridor

El ensamble final junto con la mesa de trabajo tiene de dimensiones 90 X 70 X 138 [cm]. El espacio del laboratorio es reducido por lo que los abridores y el magbrake deben montarse directamente sobre el fixture y este debe utilizar el menor espacio posible. Los abridores tienen orientaciones determinadas (i.e. de uso común) y el diseño debe basarse en ellas, es decir, debe evitarse montar una unidad boca abajo o en ángulo, lo correcto sería colocarla sobre la mesa o posicionarla de forma completamente vertical.

De la misma forma en que anteriormente se describió el fixture para el proyecto RJOA, la siguiente lista enumera los requerimientos que el equipo de ingeniería de pruebas y el equipo MTAG reunieron para orientar el rediseño del fixture:

1. Tiempo de vida del producto: infinito/no definido
2. Uso de la base butcher del fixture
3. Sujeción directa de las unidades y del magbrake al fixture
4. Orientación correcta de los abridores
5. Posición fija del magbrake
6. Par máximo de operación: 140 [N·m]
7. Velocidad angular máxima: 65 rpm (YETI)
8. Dimensiones máximas: 71 X 40 X 30 [cm]
9. Capacidad de desalineación: angular $>0.5^\circ$; paralela <0.4 [mm]; axial <5 [mm]
10. Juego entre acoplamientos: $<0.1^\circ$

La selección de componentes, el desarrollo del fixture y en general el proceso de diseño que se siguió en este proyecto serán abordados de una forma detallada más adelante en el presente documento.

Fixture 3 - GH303 Mounting Bracket

El catálogo de la marca Liftmaster ofrece abridores para puertas comerciales industriales para diferentes aplicaciones:

- Serie J (Jackshaft): operador de contra eje o *jackshaft* para uso en puertas seccionales más pequeñas.
- Serie DJ (Door Lock Jackshaft): operador de contra eje con bloqueo de puerta para centros comerciales y cafeterías. El polipasto de cadena a nivel del piso para la elevación manual de rejas o puertas más pequeñas o livianas.
- Serie T (Trolley): operador de carro para uso en puertas seccionales de techo de elevación estándar.
- Serie SD (Slide Door): operador de puerta corrediza para uso con puertas corredizas en entornos industriales.
- Serie H (Hoist): operador de polipasto para aplicaciones generales con puertas de techo seccionales más grandes.

Todas las series de esta línea industrial tienen una alternativa de mayor potencia llamadas *gearhead* dado que contienen una etapa de potencia adicional, una caja reductora de engranajes. Estos modelos se pueden identificar por el prefijo “G” en las unidades, e. g. GJ, GT, GSD, GH, etc.

Necesidades del proyecto

El modelo GH303[®] corresponde al abridor de mayor potencia dentro de la serie *Hoist*, que son unidades operadas por polipastos dirigidas a las puertas de techo seccionales más pesadas/grandes. Este modelo tiene un motor de 3 HP operado por corriente trifásica, con un ciclo de servicio de 25/hora, que acciona un reductor de velocidad 42:1. Además, el abridor tiene un eje de salida de 1.1 [in] con un sprocket que se conecta al engrane de la puerta con cadena para su operación.



Figura 15. GH303 L5 - Operador con caja reductora de engranajes LiftMaster de 3 HP trifásico

Muchos de los operadores pueden montarse en la pared, estante o soporte (*bracket*) pero básicamente requieren un montaje lateral a la puerta para puertas verticales o de gran elevación. Este modelo no es la excepción. La distancia óptima entre el eje de la puerta y el eje impulsor del operador es de 12-15 [in].

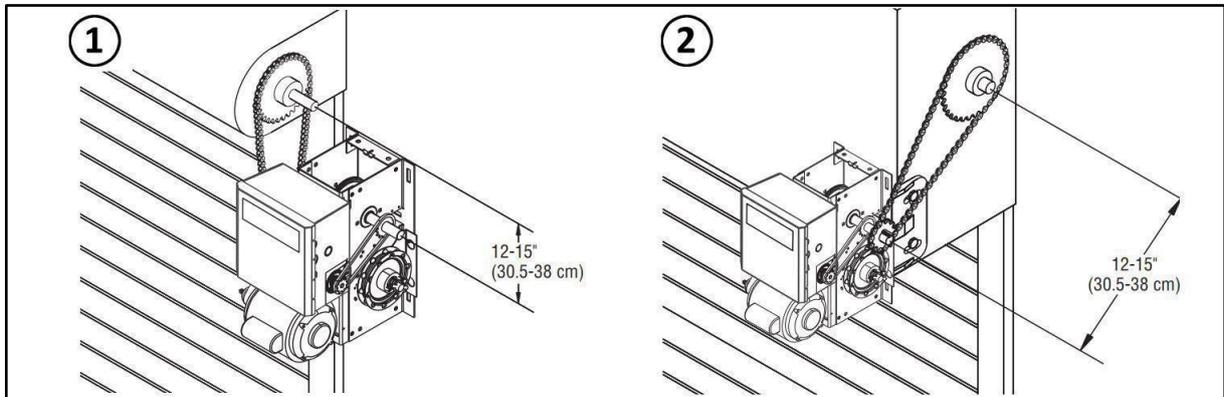


Figura 16. Ubicación de montaje del GH101 L5: 1) Montado en pared; 2) Montado en estante o bracket

La prueba de la que se desarrolla este proyecto es una de ciclo de vida del abridor de puertas. Se requiere usar en la prueba una puerta específica dentro del laboratorio GTMS, debido a sus dimensiones y peso. La puerta es de láminas entrelazadas de acero galvanizado, mide 2.7 X 3.1 [m], y es un modelo enrollable frecuentemente usado en almacenes y bodegas en la industria.



Figura 17. Vista frontal de puerta enrollable (izquierda) y abridor actual GH101 L5

Sin embargo, en configuración actual para el GH101, encontramos que el bracket que soporta la unidad no sirve para la GH303. El ensamble tradicional del GH303 tampoco es compatible con las dimensiones actuales de la puerta dentro del laboratorio, pues el espacio de la pared (a un lado de la puerta) es insuficiente para colocar la unidad.



Figura 18. Bracket de montaje del abridor GH101[®] actual

Dado que el bracket actual no es compatible con el nuevo abridor GH303 y tampoco está diseñado para su peso, se requiere de un nuevo bracket personalizado.

Por otro lado, al montar el abridor en la parte superior de la puerta, tal como el ensamble actual, nos encontramos con una viga del techo que obstaculiza el montaje (Ver Figura 17).

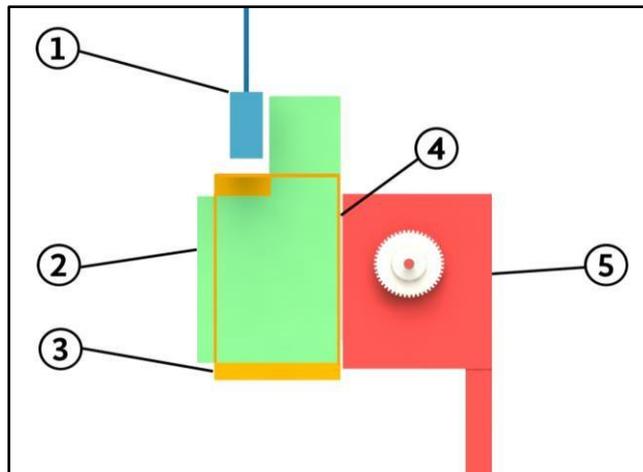


Figura 19. Ensamble de puerta enrollable: 1) Viga en el techo (obstáculo); 2) Dimensiones del abridor GH303 (volumen en verde); 3) Dimensiones del abridor actual GH101 (volumen naranja); 4) Bracket para montaje; 5) Placa de montaje de puerta enrollable

Para lograr una realización exitosa de las pruebas, se solicitó apoyo a MTAG para montar el GH303 en la puerta enrollable antes mencionada, con un bracket personalizado. La puerta posee una gran placa de acero que soporta a ambos, al eje de entrada de la puerta y la caja que envuelve a la puerta una vez enrollada (Ver Figura 20). Dicha placa se utiliza para soportar al bracket del abridor actual como lo precisa el manual para una instalación típica.

Por último, los recursos de manufactura de la planta y de la ciudad de Nogales son limitados, por lo que un diseño de bracket con el doblado de lámina de acero convencional es inviable, suponiendo que

el espesor de la lámina sea similar al de los brackets convencionales que manufactura Chamberlain de 0.25 [in].



Figura 20. Placa de montaje de la puerta enrollable (resaltada en color amarillo)

Descripción del fixture

Los requisitos que el equipo de MTAG e ingeniería de pruebas reunieron para establecer el diseño del nuevo accesorio se enumeran a continuación:

1. Tiempo de vida del producto: infinito/no definido
2. Uso de la placa de montaje de la puerta
3. Imposible doblado de lámina
4. Ubicación fija de los orificios para montaje del abridor (*footprint*)
5. Distancia entre ejes: 30.48-38.1 [cm] (12-15 [in])
6. Peso del abridor: 63.5 [kg] (140 [lb])
7. Par de operación: 240.7 [N-m] (177 [ft-lbs])
8. Velocidad angular máxima de operación: 39 rpm
9. Dimensiones máximas: 30 X 50 X 20 [cm]

Finalmente, se inició la construcción del bracket y se identificaron los componentes necesarios. Para ello se utilizó una metodología de diseño que se tratará con más detalle en este escrito.

Metodología

El proceso de desarrollo de productos (PDP) comprende un conjunto de pasos que van desde la generación de ideas hasta la revisión posterior al lanzamiento y ayuda a las empresas a analizar los diversos aspectos del lanzamiento de nuevos productos para llevarlos al mercado. Estas etapas en la

creación del producto son descritas de manera distinta por varios autores a pesar de que todos comparten muchos puntos en común. Incluso en la industria, las empresas tienen sus propias opiniones sobre cómo se debe ejecutar el proceso.

La metodología para el diseño de los proyectos de esta estancia en Grupo Chamberlain se describirá brevemente en esta sección. Está basada principalmente en la investigación de Ulrich y Eppinger (2012), y fue utilizada porque se considera como un método ilustrativo, fácil de entender y de aplicar. [4]

Proceso de desarrollo de productos

Definir una metodología para desarrollar un proyecto o producto permite, además de innovar continuamente, programar tiempos fijos y actividades para cada participante del equipo, de esta manera y al apegarse al proceso de desarrollo se garantiza la calidad del producto en plazos óptimos.

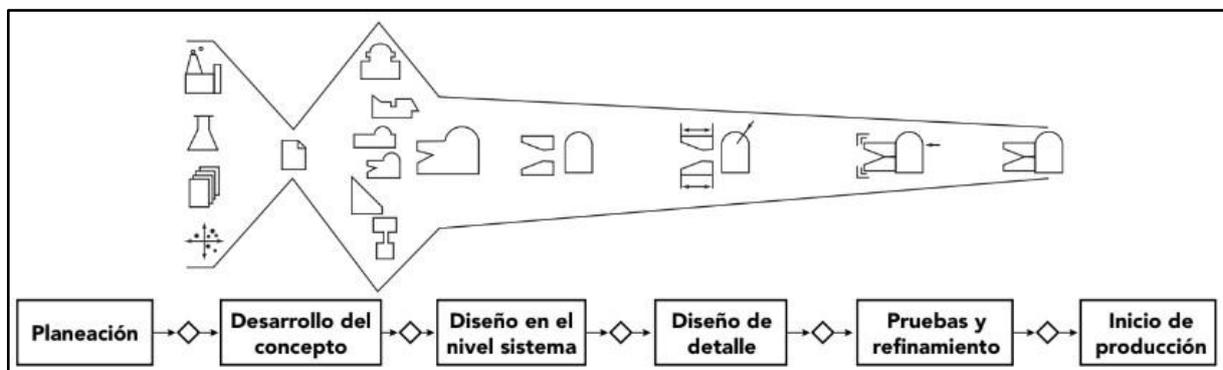


Figura 21. Las seis fases del proceso genérico de diseño

Existe un proceso genérico para el desarrollo de un producto que fue propuesto por Ulrich y Eppinger (2012) y que es ilustrado en la Figura 21. Consta de seis etapas descritas a continuación.

o. Planeación

La “fase cero” abarca la evaluación de las necesidades del cliente o mercado y la estrategia de la organización para el desarrollo del producto. Aquí, distintos equipos dentro de la empresa (generalmente *testing* y *sustaining*) asignan a MTAG un proyecto y se especifica su objetivo, y se definen suposiciones básicas y restricciones del producto.

En esta etapa deben recopilarse las limitaciones de manufactura y asignarse recursos al proyecto, pero, sobre todo, procurarse la transmisión clara y eficaz para reunir toda la información mínima necesaria para los diseños, generalmente otorgada por los empleados y equipos de ingeniería dentro de Chamberlain.

1. Desarrollo del concepto

En la fase de desarrollo del concepto se generan distintas soluciones de alternativas al producto. Se evalúan y se eligen algunas para desarrollarse. Comúnmente, se investiga el estado del arte y productos de la competencia para evaluar la factibilidad de conceptos del producto. De igual manera

es muy útil construir y explorar prototipos experimentales dado que cada concepto contiene diferentes características y especificaciones. Las especificaciones son justificadas por los análisis de productos similares o por motivos de economía y manufactura.

Utilizando diversos métodos es fácil desarrollar muchos conceptos en la fase de desarrollo del concepto. El equipo MTAG emplea una combinación de lluvia de ideas y matrices morfológicas para lograr generar nuevas ideas de productos.

2. Diseño a nivel sistema

La fase de diseño a nivel sistema se emplea para definir subsistemas, componentes e interfaces principales, en otras palabras, generar la arquitectura del producto. Aquí, se efectúan análisis de fabrica contra compra, ingeniería preliminar de componentes como cálculos y diagramas de flujo, y esquemas de ensamble.

La herramienta que fue más utilizada durante los proyectos desarrollados es la descomposición funcional, una forma de análisis que examina procesos complicados al separarlos en los elementos que lo componen. De esta forma, es posible explorar las diversas soluciones propuestas para una función en concreto de un sistema determinado del diseño y su factibilidad y compatibilidad con los demás componentes.

Un ejemplo de aplicación, que será retomado más adelante con mayor profundidad, es la descomposición funcional que fue realizada para el proyecto 'RJOA Temperature Chamber' (ver Figura 25), en el que se lograron identificar las funciones principales que deben desempeñar tanto la cámara de temperatura como el propio fixture que será introducido en el interior de la cámara una vez los abridores se monten en él.

3. Diseño de detalle

En diseño de detalle se hace la especificación completa de la geometría, materiales y tolerancias de todas las partes únicas del producto. También se calculan costos de producción y el desempeño robusto del producto. Se asignan tolerancias y se definen los procesos de producción de las piezas, diseñar el herramental y definir procesos de aseguramiento de la calidad.

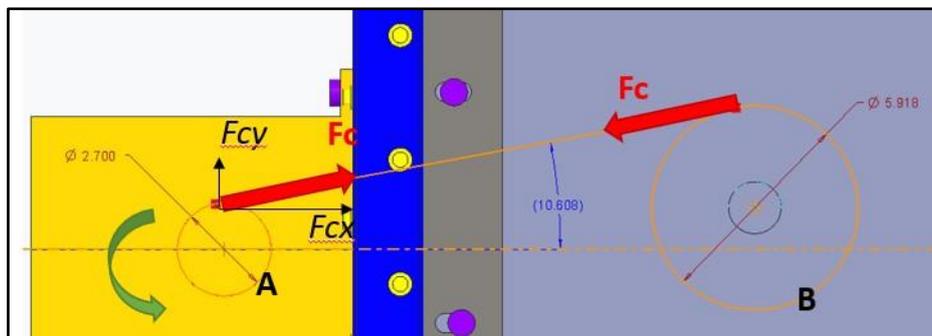


Figura 22. Fragmento del libro de cálculos para el diseño del bracket GH303

4. Pruebas y refinamiento

En la etapa de pruebas y refinamiento se construyen y se prueban las diferentes propuestas del producto. Los prototipos utilizan piezas con la misma geometría y propiedades que la versión de producción sin que sean fabricadas necesariamente con los procesos reales a usarse en la producción final. El objetivo es evaluar la confiabilidad y la operación del producto para identificar cambios de ingeniería para el producto final, por lo que también se ejecutan simulaciones y análisis de ingeniería (estructural, térmico, fluidos, etc.) en esta fase. También se generan costos de producción y planos o esquemas para la manufactura de los componentes que son fabricados dentro de las instalaciones, es decir, piezas personalizadas.

Un método común y muy eficaz para evaluar, al menos de forma estructural la respuesta de los componentes diseñados dentro de Chamberlain es el análisis estático (o dinámico) lineal realizado con el método de elemento finito. Con este análisis podemos estimar desplazamientos, tensiones y otras cantidades relevantes bajo cargas aplicadas y condiciones de fronteras. El software utilizado es *Creo Simulation*®, que es la paquetería de PTC orientada a la simulación y que permite validar el rendimiento de sus prototipos virtuales 3D antes de fabricar la pieza.

Un ejemplo de esta etapa es una de las actividades realizadas para el diseño del fixture Ichabod, en donde se ejecutó un análisis por elemento finito de la pared para montar el VDrive. Se simularon las cargas como el peso de la unidad y la tensión de los tornillos en la base con el fin de encontrar una combinación de dimensiones y materiales que soportaran a la unidad sin sufrir una deformación plástica. Este objetivo fue planteado debido a las limitaciones de espacio en el fixture del Ichabod.

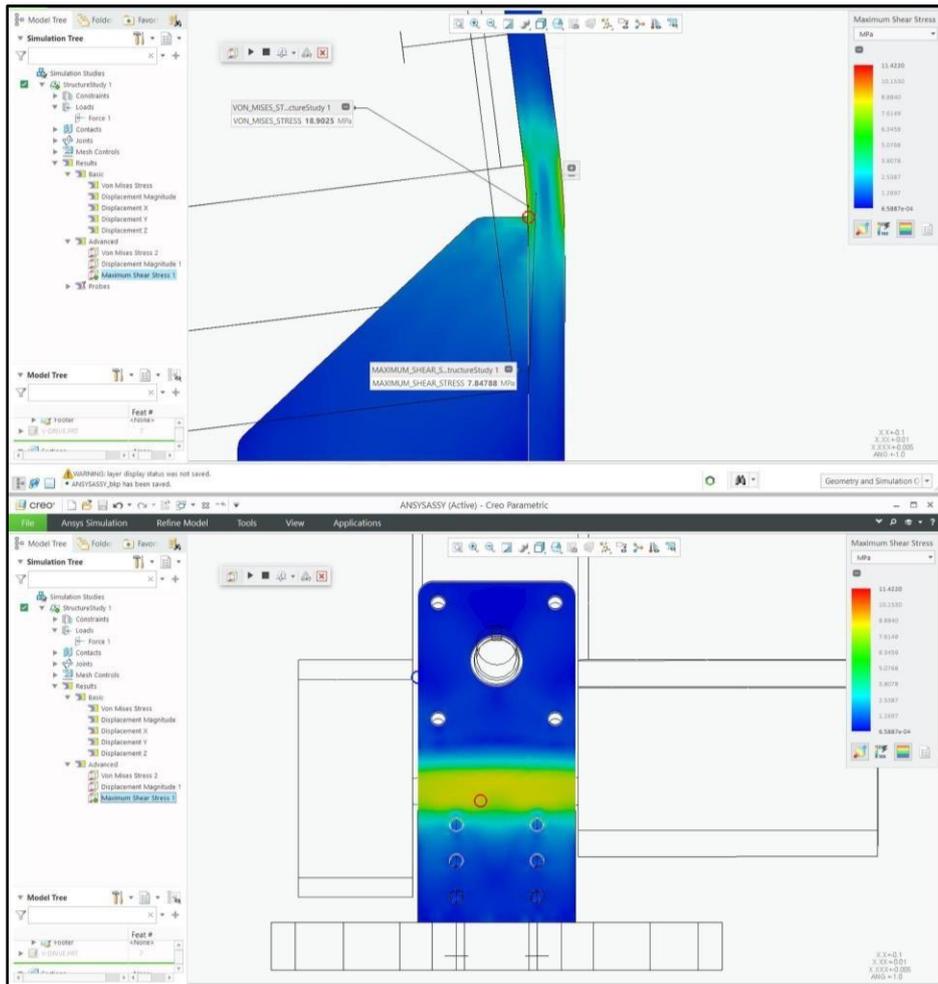


Figura 23. Distribución de esfuerzos en la pared de montaje del VDrive; resultado de un análisis estático lineal

En el estudio, se ejecutaron varias iteraciones, cambiando el espesor de la placa sometida a la flexión del abridor a espesores con valores comunes en el mercado y, gracias a la simulación se eligió un espesor de 0.5 pulgadas para la producción de la pieza, cuya magnitud resulta en una pieza rígida y sin deformaciones considerables ante la flexión. Finalmente, los planos de manufactura también se generaron en esta fase de diseño de detalle.

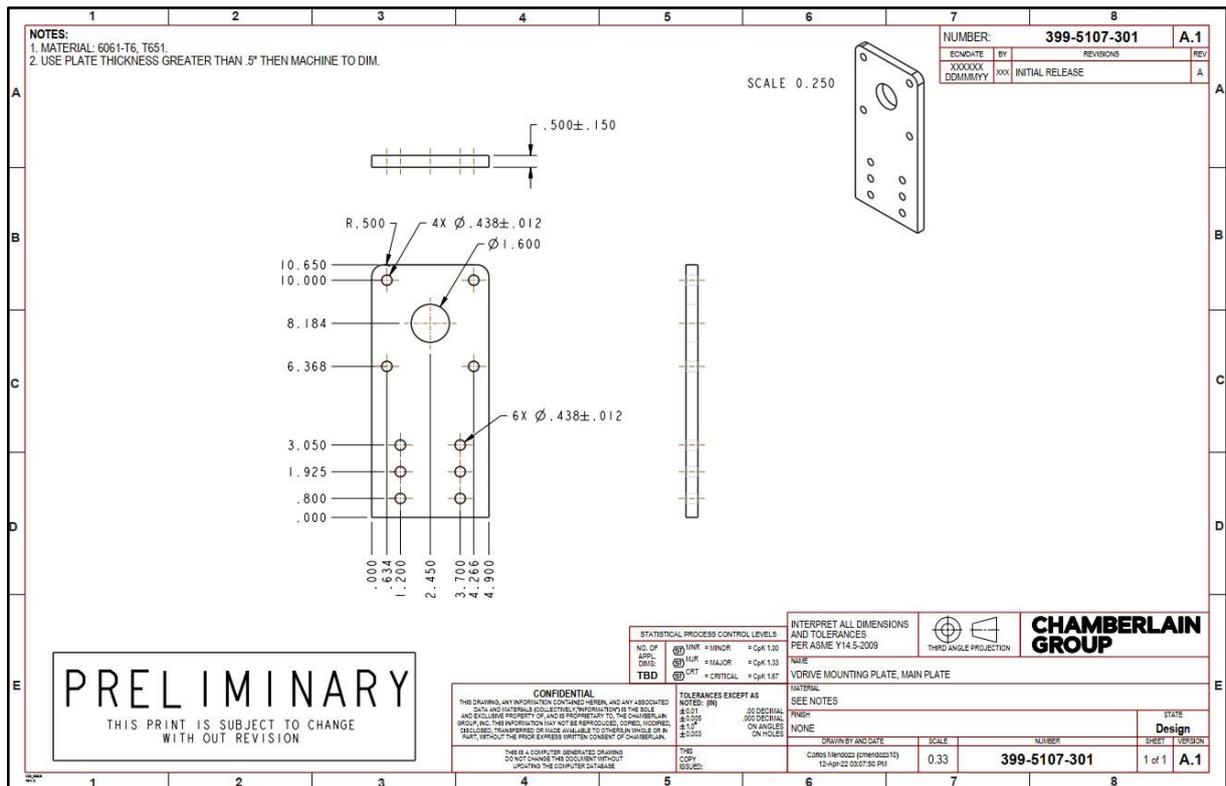


Figura 24. Plano de manufactura preliminar de la pared de montaje para VDrive

5. Inicio de producción

La fase de inicio de producción comprende la evaluación de los resultados de las primeras producciones, iniciar la operación del sistema de producción capacitando personal y resolviendo problemas en los procesos de producción, y en general, hacer el producto utilizando el sistema propuesto de producción.

Dentro de la planta de Chamberlain en Nogales, se encuentra un espacio asignado al maquinado y producción de piezas metálicas y plásticas en donde pueden realizarse una gran variedad de componentes en máquinas herramienta, y es la forma más práctica, costeable y rápida en la que los ingenieros del departamento de pruebas producen sus bancos de pruebas y componentes relacionados.

El diseño es implementado por MTAG acompañados de técnicos quienes ensamblan los fixtures con las piezas producidas y los componentes comprados, y se completa el proyecto cuando finalizan las pruebas de funcionalidad o cuando el cliente/solicitante haya otorgado una satisfacción por el producto.

Enfoque del equipo MTAG

De acuerdo con Ulrich y Eppinger (2012) hay dos formas de organizar a los miembros de un equipo de diseño para el desarrollo del producto: por función o por proyectos. Las funciones implican educación especializada, capacitación o experiencia, mientras que por proyectos es el conjunto de actividades en el proceso de desarrollo para un producto en particular. En Grupo Chamberlain, el

equipo MTAG utiliza un enfoque por proyectos por la naturaleza distinta que cada diseño requiere para desarrollarse.

Las actividades que cada miembro de Test Automation puede realizar dependen generalmente de su área de conocimiento y disponibilidad. Cada tarea es generada a partir de las fases del proceso genérico. Una vez que se completan todas las actividades de una fase la siguiente inicia y así sucesivamente hasta finalizar la producción.

Resultados

En esta sección, compartiré algunas de las dificultades que afronté durante mi participación en los proyectos de CGI. Describiré el proceso de toma de decisiones que seguí basadas en mis conocimientos como ingeniero y la magnitud de cuánto impactaron en el proyecto. También hablaré acerca de la manera en que manejamos la información y cómo se mejoraron determinados procesos para desarrollar los proyectos. Por último, describiré cuál fue el reto más complicado que enfrenté y cómo lo superé. En resumen, este capítulo ofrece una visión más práctica de mi experiencia laboral y cómo aporté al éxito del proyecto.

Fixture 1 - RJOA Temperature Chamber

El desarrollo del proyecto para las pruebas de temperatura comienza con dos pasos importantes para la planeación: el primero, determinar un modelo de cámara de temperatura que cumpla con los requerimientos del producto a diseñarse; y el segundo, elaborar un *framing* o esqueleto donde se monten los abridores. Las tareas que desempeñan los componentes del fixture se analizaron en una descomposición funcional.

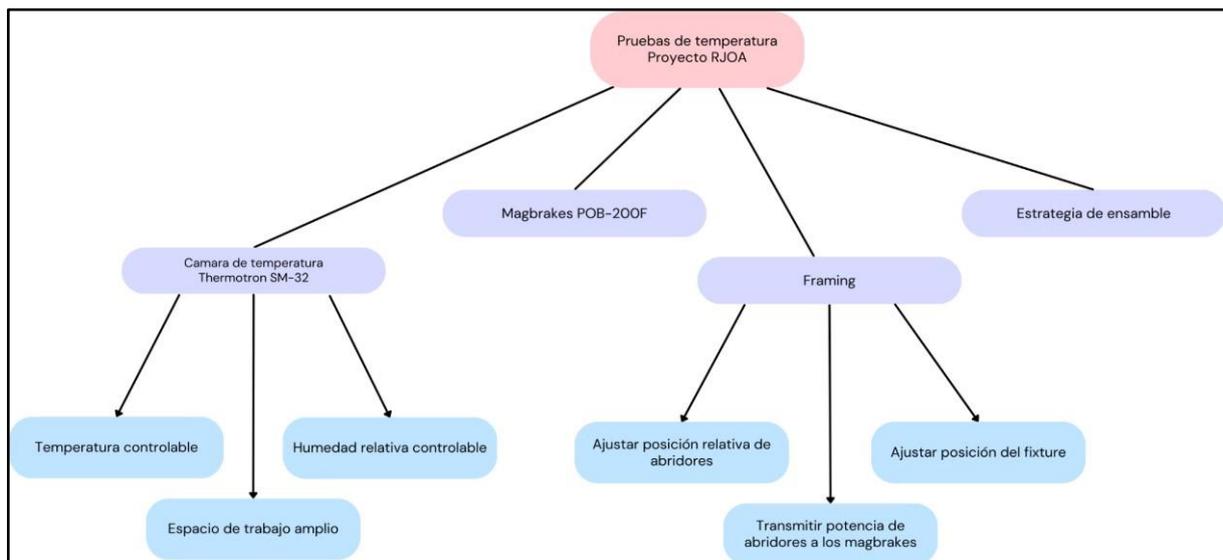


Figura 25. Descomposición funcional del proyecto RJOA Temperature chamber

Elección de la cámara de temperatura

Se buscaron distintas opciones de cámaras de temperatura y humedad controlables, y con ellas se realizó una tabla comparativa con la que se facilitó la toma de la decisión. Finalmente, se optó por la Thermotron SM-32. Esta cámara cumple con las condiciones de operación al tener un rango de temperatura controlable de -68 [°C] a 180 [°C] (con una tolerancia del control de temperatura de ± 0.3 [°C]), además, cumple con las condiciones de tamaño al tener un espacio de trabajo (interior) de 97 X 97 X 97 [cm], y con las condiciones de humedad relativa al contar con un rango de control del 10% hasta 98% RH (con una tolerancia del control de humedad $\pm 2.5\%$ RH).

Una vez elegido el modelo de cámara y fijando dimensiones máximas de 97 X 97 X 97 [cm], tales como las del interior de la cámara, se generaron ideas para el diseño del framing considerando tres de los requerimientos del fixture: 1) la intercambiabilidad de las unidades de prueba dentro del fixture; 2) la seguridad de los técnicos durante la operación de ensamble; 3) un ensamble fácil. Una herramienta útil para esta etapa fue la lluvia de ideas con la que se consideraron las posibles aplicaciones de estos tres requerimientos en el diseño del framing. En la siguiente matriz morfológica se incluyen las soluciones posibles.

	Intercambiabilidad de las unidades de prueba dentro del fixture	Seguridad de los técnicos durante el ensamble	Ensamble fácil
Ejemplos aplicados al fixture	a) Empotrar el abridor a una pieza compatible con todos los modelos a usarse. b) Estandarizar tornillos y componentes fabricados. c) Capacidad de ajustar la posición de los elementos mecánicos.	a) Elementos giratorios alejados del área de manipulación del usuario. b) Uso de metales no oxidables u otros materiales duros. c) Componentes con poco peso. d) Eliminar filos y/o puntas afiladas.	a) Componentes pequeños. Piezas intercambiables. b) Fácil identificación de piezas. c) Repuestos baratos. d) Capacidad de ajustar posición del fixture. e)

Tabla 3. Matriz morfológica de intercambiabilidad, seguridad y facilidad de ensamble

Framing del fixture

Considerando algunas características técnicas necesarias para el fixture, fueron identificadas tres funciones principales que debe realizar: 1) ajustar la posición relativa de los abridores; 2) transmitir la potencia que generan los abridores a los magbrakes; 3) ajustar la posición del fixture respecto de la cámara de temperatura. De esta forma, se fue delimitando cada iteración del diseño con la siguiente matriz morfológica hasta llegar a una alternativa ganadora. Adicionalmente, en este punto se supone que los abridores se montarán con el soporte de montaje incluido en el producto comercial (Ver Figura 7) y únicamente de esa manera, dado que el manual del usuario lo indica así.

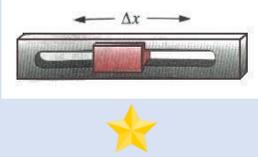
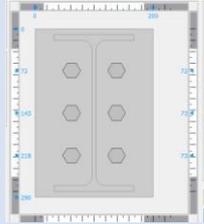
Funciones parciales	Portadores de funciones		
1. Ajustar posición de abridores	<p data-bbox="539 315 737 376">Corredera/Junta prismática</p> 	<p data-bbox="826 315 1075 376">Placa con posiciones predeterminadas</p> 	<p data-bbox="1139 315 1372 342">Elevador de husillo</p> 
2. Transmitir potencia de abridores a magbrakes	<p data-bbox="539 649 737 676">Polea con banda</p> 	<p data-bbox="826 649 1075 676">Sprockets y cadena</p> 	<p data-bbox="1171 649 1347 676">Tornillo sin fin</p> 
3. Ajustar posición de fixture	<p data-bbox="523 918 756 945">Elevador de husillo</p> 	<p data-bbox="852 918 1043 945">Gato neumático</p> 	<p data-bbox="1193 918 1315 945">Poka yoke</p> 

Tabla 4. Matriz morfológica del framing para fixture cámara de temperatura RJOA

La alternativa ganadora consiste en un framing de perfiles de aluminio que, al unirse con distintos accesorios, pueden funcionar como junta prismática (es la solución a la función #1 - Ajustar posición de abridores).

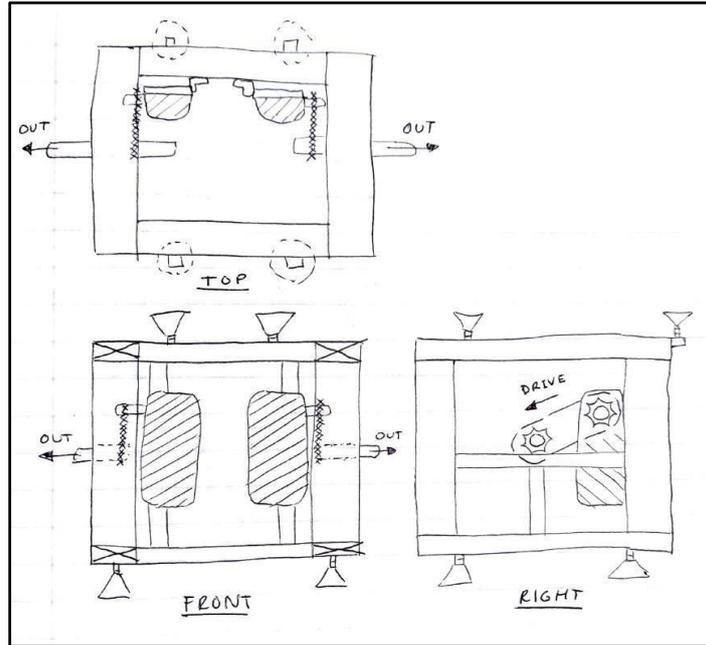


Figura 26. Diseño conceptual del fixture con accesorios colocados

La estructura es muy similar a la de un cubo sin caras, es decir, los perfiles forman los vértices, y sobre los perfiles se montan rodamientos sobre los que reposan ejes para montar sprockets y cadenas de acero (solución de la función #2 - Transmitir potencia de abridores a magbrakes), así como también patas niveladoras (función #3 - Ajustar posición de fixture) que sirven para nivelar el fixture completo una vez insertado en la cámara.

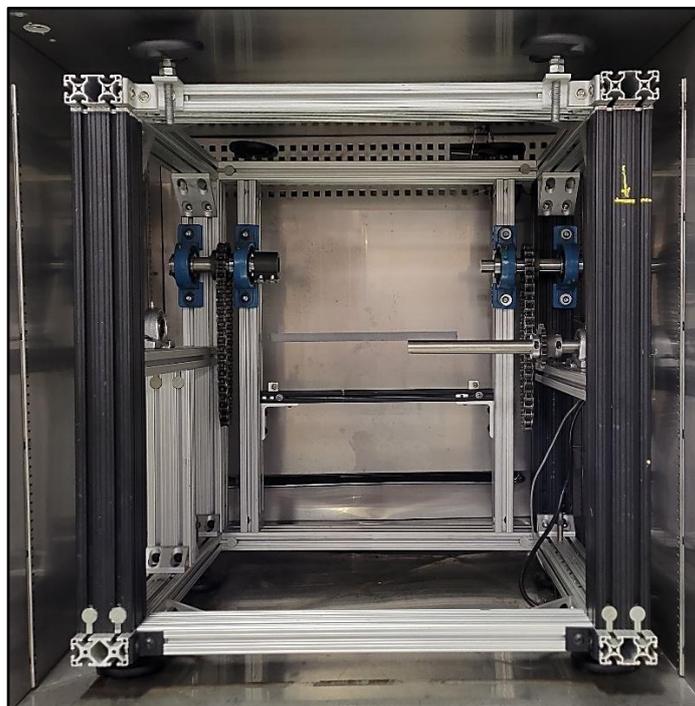


Figura 27. Fixture manufacturado y colocado en el interior de la cámara de temperatura (los abridores no han sido montados aún)

Transmisión y montaje del RJO

El sistema de transmisión del fixture consiste en un juego de sprockets con cadena para servicio pesado sostenidos en dos ejes paralelos de 1 [in] de diámetro. A su vez, se eligieron productos comerciales como rodamientos resistentes a la temperatura y a la humedad, sprockets 1:1 y cadena ANSI 50 de acero, y ejes de acero inoxidable 304 con chaveta (Ver Anexo 1).

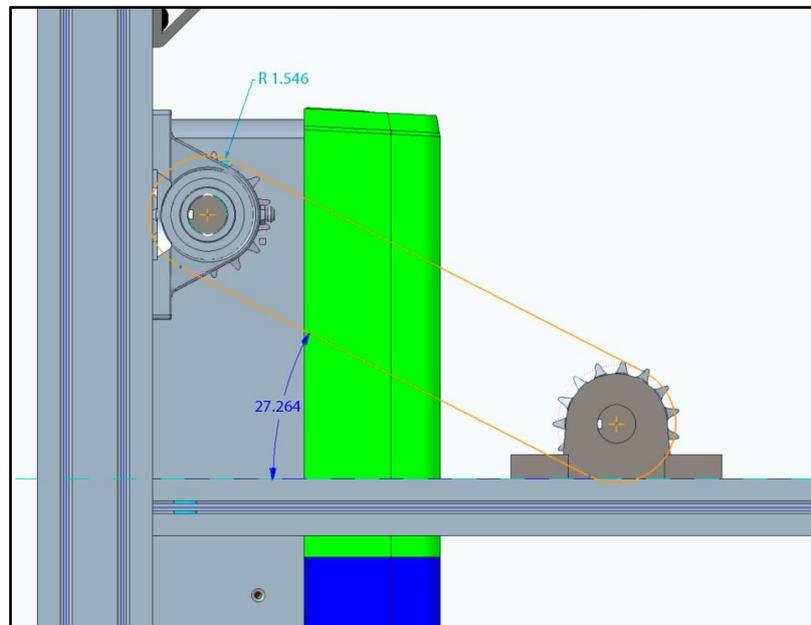


Figura 28. Dimensionamiento de la cadena con sprocket antes de ser elegida

El motivo por el cual se seleccionó una transmisión de cadena para este proyecto es, tanto por la disposición de los ejes conductor (abridor) y conducido (magbrake) que están desalineados de forma paralela, como por el reducido espacio que ofrece la cámara de temperatura para colocar piezas de mayor volumen.

Adicionalmente se requirieron dos acoplamientos (uno para cada lado) para transmitir la potencia del abridor hacia el magbrake a través del fixture. Estos coples fueron elegidos para permitir las desalineaciones existentes en los tres grados: angular, paralelo, y axial, así como el juego entre acoplamientos, y basado en los requerimientos del fixture mencionados anteriormente en la sección “Contexto de la participación profesional”.

Los acoplamientos elegidos, conocidos como ‘de tres piezas’, admiten hasta 5000 rpm, un par máximo de 790 [in-lbs], y desalineación paralela de 0.015 [in] y angular de hasta 1°.

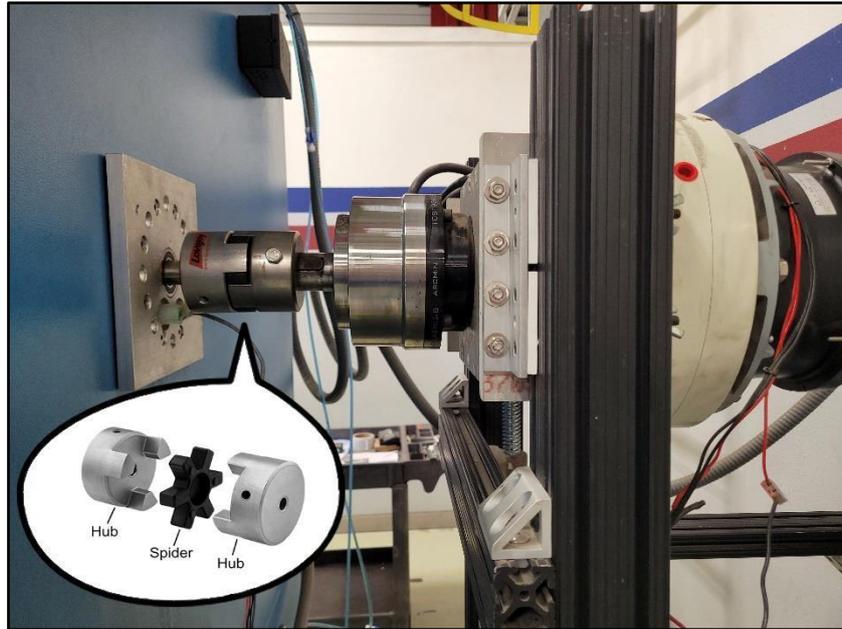


Figura 29. Acoplamiento de acero inoxidable 303 flexible en tres piezas

Por otro lado, y como se mencionó anteriormente, será necesario fabricar dos ejes donde serán montados los sprockets del sistema de transmisión. Para ello, se obtuvieron algunos requerimientos de potencia para los ejes como el par máximo de 59.66 [N-m] y, de forma analítica, se determinaron sus dimensiones y posición preliminares siguiendo el método ASME para el diseño de ejes con flexión y torsión fluctuantes [5].

Finalmente, se fabricaron cuatro ejes de acero al carbón 1045: dos ejes intermedios de 1.25 [in] diámetro X 7.5 [in] de largo que están directamente acoplados con el abridor, y dos ejes de salida de 1 [in] diámetro X 24 [in] de largo que son conducidos por la cadena y mandan la potencia hacia los magbrakes a través de la cámara (Ver Anexo 2).

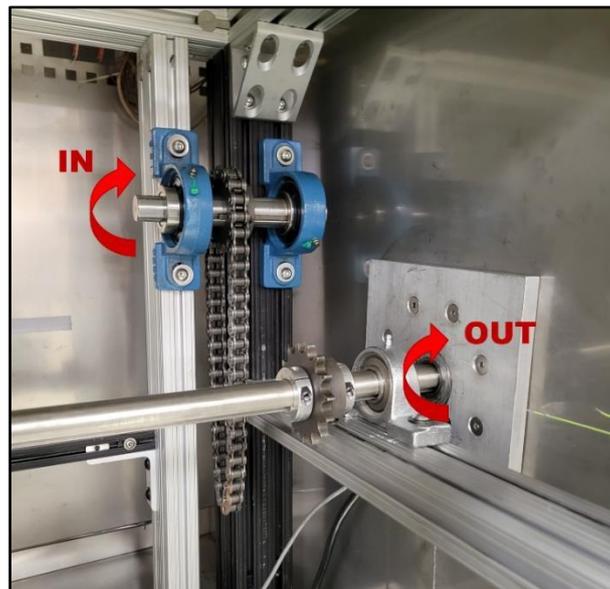


Figura 30. Transmisión de cadena con sprocket momentos antes de ser tensionada

De esta manera, el diseño del fixture para las pruebas del RJO Mid Tier (MD) y Heavy Door (HD) está casi concluido y lo siguiente en la lista es la planeación de las operaciones de ensamble. Estas serán discutidas con los técnicos del laboratorio, quienes brindan retroalimentación y sugerencias acerca del orden de las tareas, uso de herramientas y orientación de los componentes.

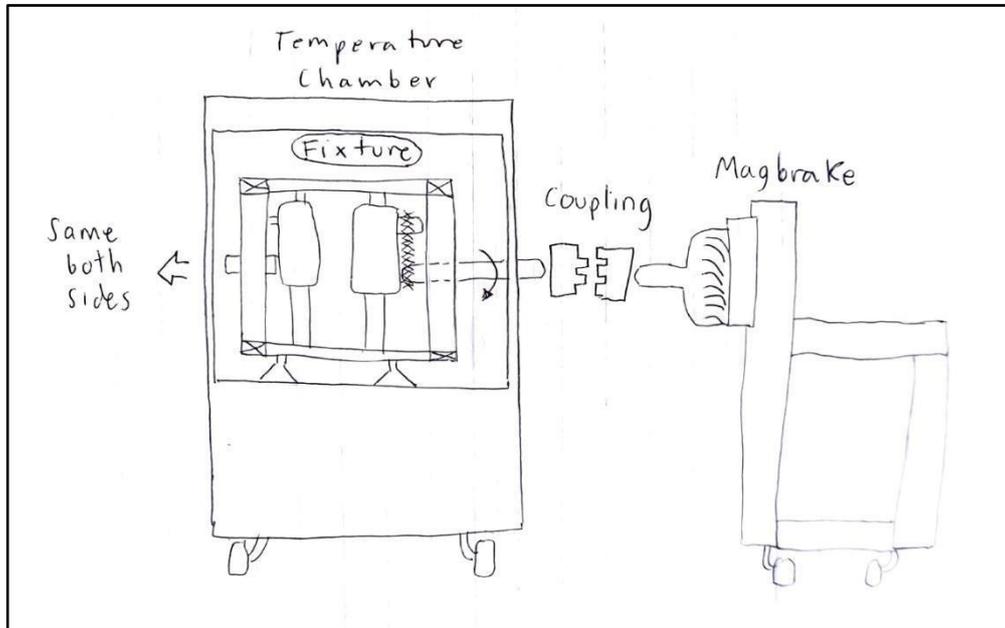


Figura 31. Diseño conceptual de ensamble de fixture RJOA en la cámara de temperatura

En general, el montaje de un abridor de puerta de garaje es un procedimiento genérico y, aunque modelo con modelo cambian algunos pasos, el procedimiento puede resumirse de la siguiente manera:

- 1) Medir y verificar que las dimensiones del espacio de trabajo sean suficientes y adecuadas para la instalación;
- 2) Colocar collares o coples de transmisión requeridos en el abridor y/o en la barra de torsión de la puerta;
- 3) Instalar brackets (de ser necesario) en el abridor y en la pared o superficie de montaje; 4) Posicionar y fijar el abridor a su lugar asignado.
- 5) Los siguientes pasos están relacionados con el sistema de paro de emergencia y conexiones eléctricas por lo que serán omitidos.

Para el caso de las unidades RJO de este proyecto, y en general el ensamble del fixture, se organizaron los pasos a seguir en un diagrama de ensamble (Ver Anexo 3). Al seguir el procedimiento de ensamble descrito y suponiendo que todas las operaciones fueron realizadas exitosamente se entrega el producto final a la empresa y el diseño del fixture queda finalizado.

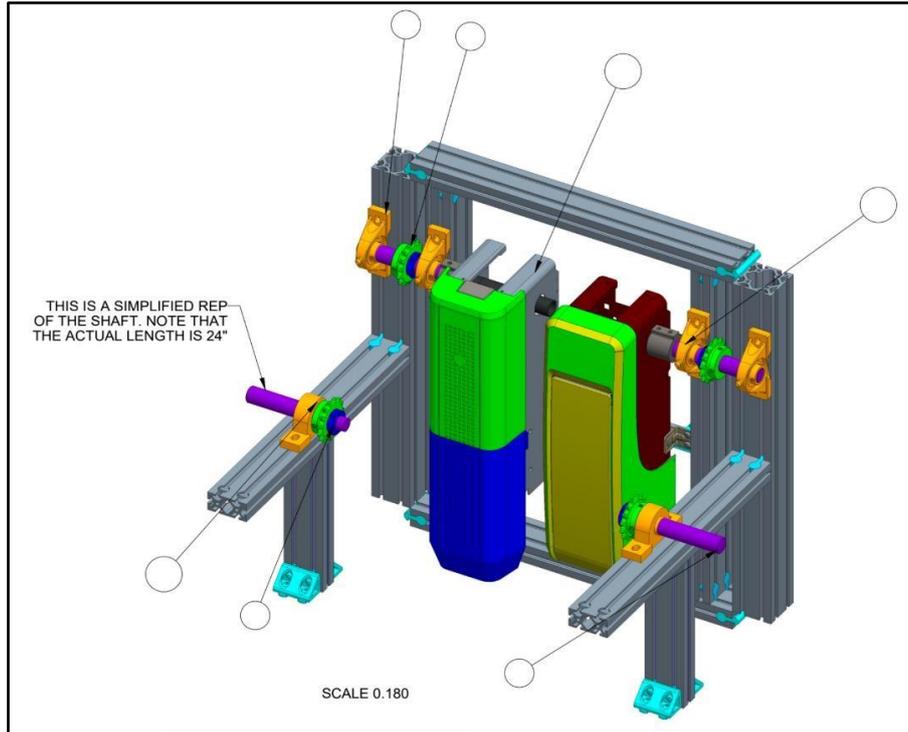


Figura 32. Captura de plano de ensamble del fixture (se muestran los abridores colocados en la ubicación diseñada)

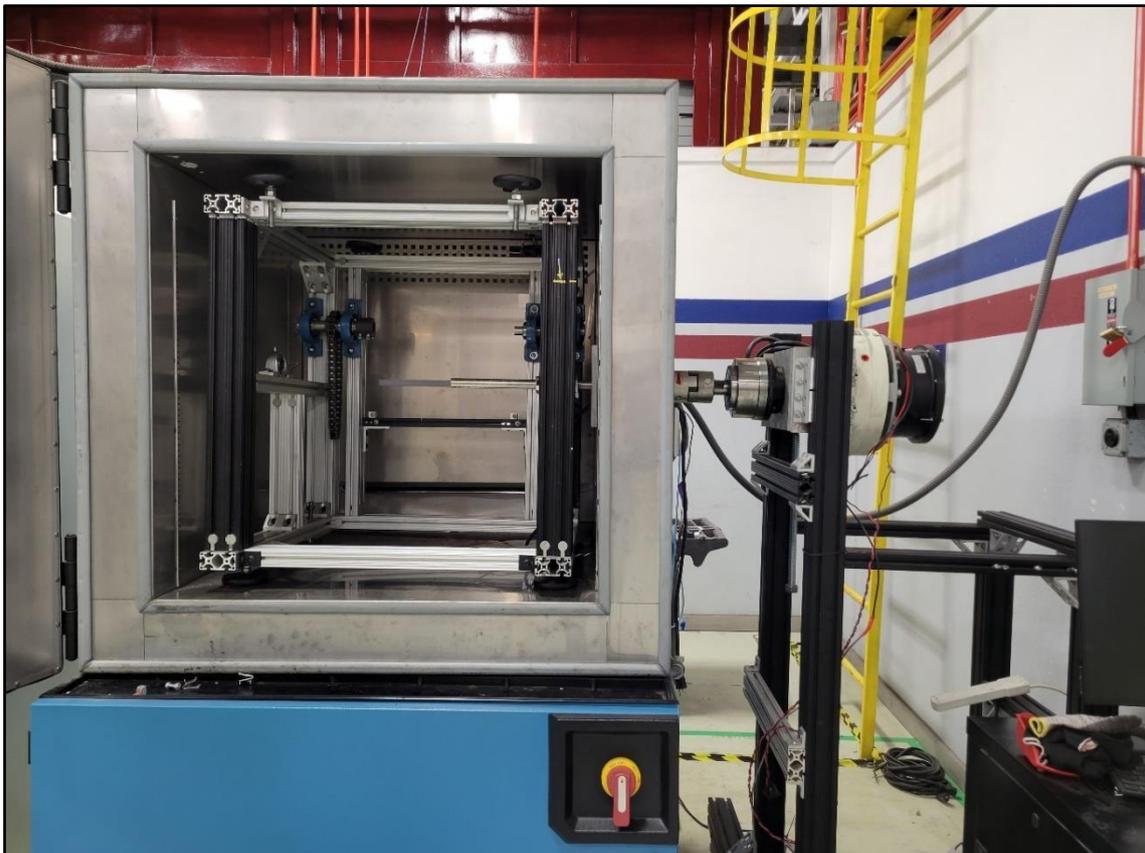


Figura 33. Fixture completado para pruebas de temperatura y humedad en cámara de temperatura (los abridores no se muestran en la foto)

Fixture 2 - Ichabod Redesign for Yeti/VDrive

El proyecto Ichabod se centra en el rediseño del fixture modular actual que carece de compatibilidad con las unidades de prueba: los abridores VDrive y YETI, lo que lo hace inútil para el propósito previsto que son pruebas de rendimiento o ciclo de vida del producto. En las siguientes secciones se discutirán las decisiones para el diseño del fixture que fueron tomadas y cómo se desarrolló la solución.

Desarrollo de la base butcher

En primer lugar, la base “butcher” actual, que consiste en un bloque de aluminio 6061-T6 de 14 X 14 X 1.5 [in], es demasiado robusta, esto es una dificultad para transportarla y para manipularla. Por otro lado, manufacturar una nueva sería caro por lo que es necesaria una solución económica que no comprometa el rendimiento.



Figura 34. Base butcher actual con todos los soportes y accesorios montados

En el diseño de la butcher en particular, se deben colocar dos bloques (o soportes de ensamble), uno en cada extremo de la placa, los cuales soportan uno al magbrake y otro al abridor respectivamente. La disposición de los tornillos con los que se unen ambos soportes con la base butcher se conoce como *footprint*, y la butcher actual tiene los siguientes footprints.

Utilizar footprints asegura resultados precisos y consistentes al ensamblar los soportes, quienes asumen un papel fundamental en mantener la orientación correcta de los abridores y del magbrake durante las pruebas. De esta forma, reutilizar los footprints resulta una alternativa atractiva en el rediseño, o en su caso, añadir más barrenos a la base butcher para fijar nuevos soportes.

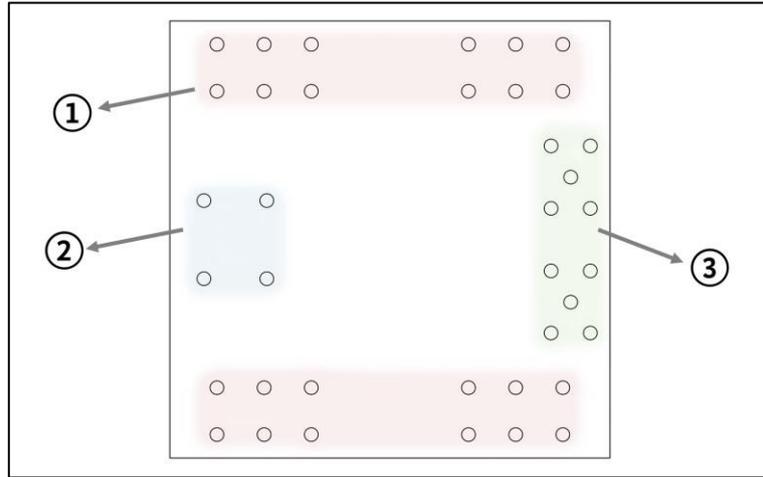


Figura 35. Disposición de los barrenos o “footprint” de la butcher antes del rediseño: 1) Para fijar la placa a la mesa de trabajo; 2) Para el soporte del abridor; 3) Para el soporte del magbrake

Además, la posición fija del freno magnético debe tenerse en cuenta diligentemente en el proceso de rediseño. En otras palabras, si bien se permiten ajustes menores en la altura del magbrake, el objetivo principal sigue siendo establecer un acoplamiento directo entre el freno y el abridor con una pérdida de energía mínima, y esto únicamente puede lograrse con un acoplamiento preciso o que, como mínimo, compense los desalineamientos entre los ejes de ambos componentes. Esto requiere ingeniería de precisión para lograr una integración limpia y, sobre todo, una adquisición de datos confiable.

BILL OF MATERIAL (GENERAL VIEW)			
ITEM	PN	QTY	NAME
1	316-1627155A115	4	ION COUPLER LOCKING 3/8-16 MCMMASTER #07155A115
2	316-16271	4	ROCKET HEAD SCREW 3/8-16 X 1.18 LONG MCMMASTER #07155A115
3	316-16271	4	FLAT SPCL BLOCK BUTYRUM
4	316-16271	1	WORM GEAR BLOCK BUTYRUM
5	316-16271	1	WORM GEAR BLOCK BUTYRUM
6	316-16271	2	WORM GEAR BLOCK BUTYRUM
7	316-16271	1	WORM GEAR BLOCK BUTYRUM
8	316-16271	1	WORM GEAR BLOCK BUTYRUM
9	316-16271	1	WORM GEAR BLOCK BUTYRUM
10	316-16271	1	WORM GEAR BLOCK BUTYRUM
11	316-16271	1	WORM GEAR BLOCK BUTYRUM
12	316-16271	1	WORM GEAR BLOCK BUTYRUM
13	316-16271	1	WORM GEAR BLOCK BUTYRUM
14	316-16271	1	WORM GEAR BLOCK BUTYRUM
15	316-16271	1	WORM GEAR BLOCK BUTYRUM
16	316-16271	1	WORM GEAR BLOCK BUTYRUM
17	316-16271	1	WORM GEAR BLOCK BUTYRUM
18	316-16271	1	WORM GEAR BLOCK BUTYRUM
19	316-16271	1	WORM GEAR BLOCK BUTYRUM
20	316-16271	1	WORM GEAR BLOCK BUTYRUM
21	316-16271	1	WORM GEAR BLOCK BUTYRUM

Figura 36. Diseño conceptual de uso del acoplamiento en tres piezas en el ensamble del VDrive

Fueron seleccionados acoplamientos de acero inoxidable 303 flexibles en tres piezas, similares a los utilizados en el diseño del fixture de la cámara de temperatura (Ver Figura 29). Estos acoplamientos admiten tres grados de desalineamiento, lo que permite la precisa alineación de los ejes tanto del abridor como del magbrake, por supuesto, si están debidamente montados en los soportes de los que se hablará a continuación.

Diseño de los soportes

Como se mencionó anteriormente, para asegurar que los componentes del fixture tengan la posición y orientación correcta de manera consistente, se diseñaron soportes de ensamble fabricados con bloques de aluminio 6061 y maquinados con fresadora CNC.

Cada abridor, el VDrive y el YETI, requiere de su propio soporte pues la forma en la que la unidad debe montarse para lograr el acoplamiento directo con el eje del magbrake es diferente. Las diferencias entre ambos son, en primera instancia, la disposición de los barrenos de la superficie donde se montan los abridores, y segundo, un factor de forma completamente diferente entre ambos soportes.

Por otro lado, el soporte para el magbrake tiene una footprint que se compartirá entre las configuraciones (la del YETI y la del VDrive) pues este componente no requiere moverse de ninguna manera. Simplemente se enroscan los tornillos para el ensamble en la cara frontal del magbrake, pasándolos a través del soporte diseñado.

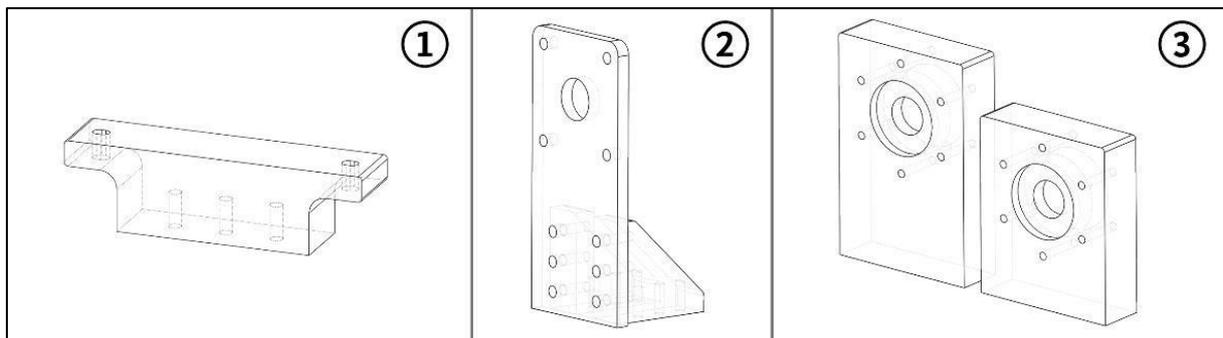


Figura 37. Soportes de ensamble: 1) Para abridor VDrive; 2) Para abridor YETI; 3) Para magbrake (dos diferentes alturas)

Algo que destacar es que se busca que los abridores sean montados de manera que utilicen el menor espacio posible por esta razón existe una diferencia entre las alturas de los soportes. Cada abridor requiere de una solución diferente de soporte para montarse, pero manteniendo el espacio suficiente dentro del fixture para colocar y ajustar el cople.

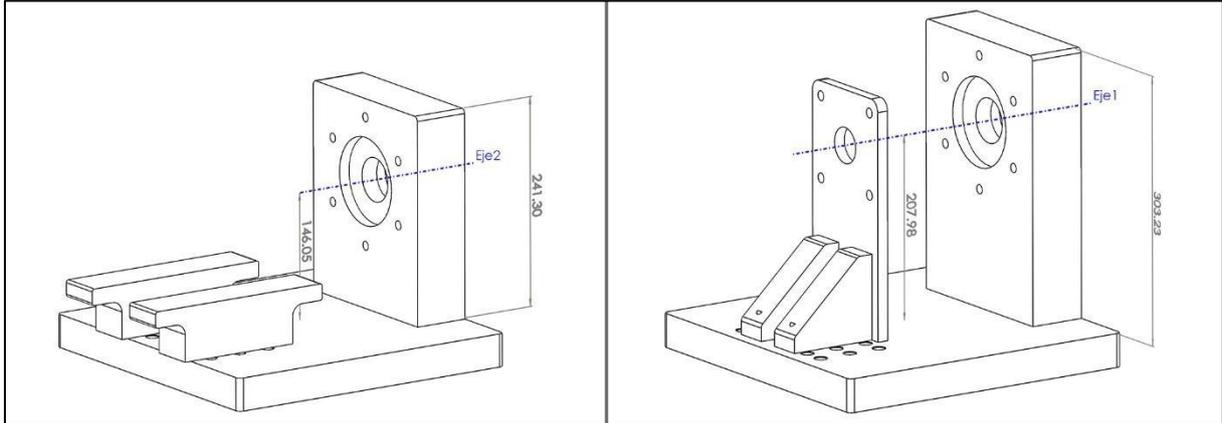


Figura 38. Diferencia dimensional en el diseño de los soportes: YETI (izquierda) contra VDrive (derecha)

Ensamble de YETI

Se diseñó una pieza con forma de sombrero invertido que será manufacturada dos veces para formar una especie de pedestal sobre el que se posa el abridor y se ajusta de acuerdo con su footprint. Dado que uno de los requerimientos del fixture es usar el menor volumen de trabajo, se optó por montar el abridor lo más cercano posible al magbrake al que se conectara, en la orientación por defecto de ensamble.

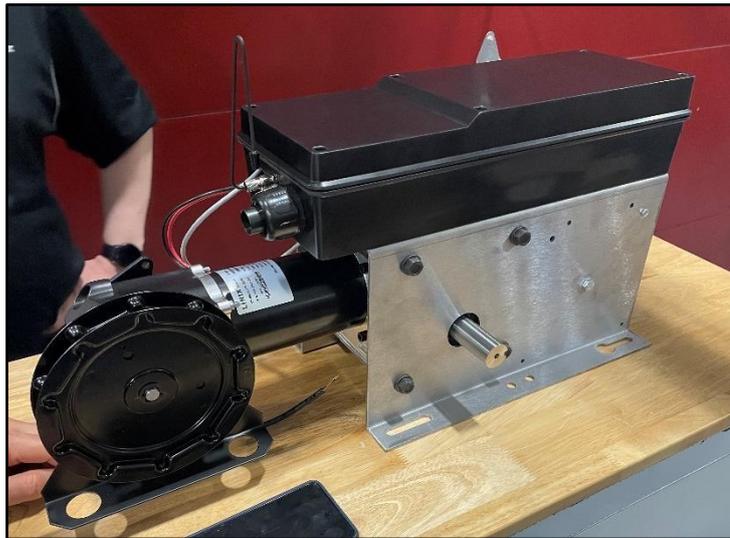


Figura 39. Orientación de montaje por defecto del YETI

El ensamble final del fixture modular para el YETI concluyó con el siguiente diseño. Donde se observa el abridor posado en sus soportes correspondientes, en la orientación correcta de montaje, y un acoplamiento conectando los ejes conductores de la unidad con el conducido del magbrake.

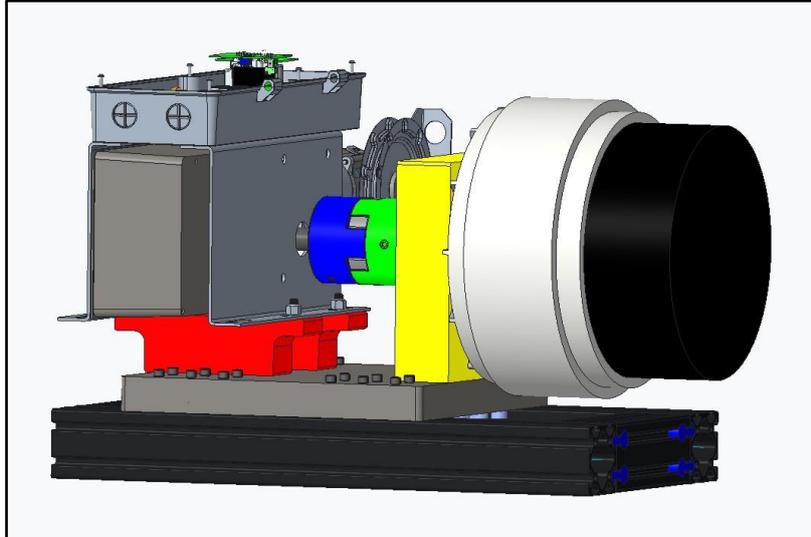


Figura 40. Diseño final del fixture modular para YETI

Ensamble de VDrive

Se diseñó una placa erguida que reposa sobre dos bloques de mayor espesor que la primera, y que funcionan también para posicionarla. El abridor se coloca en cantiléver orientando la cara con el footprint (donde se enroscan los tornillos para el ensamble) directamente sobre la placa erguida, que posee el mismo patrón de barrenos para el acople.

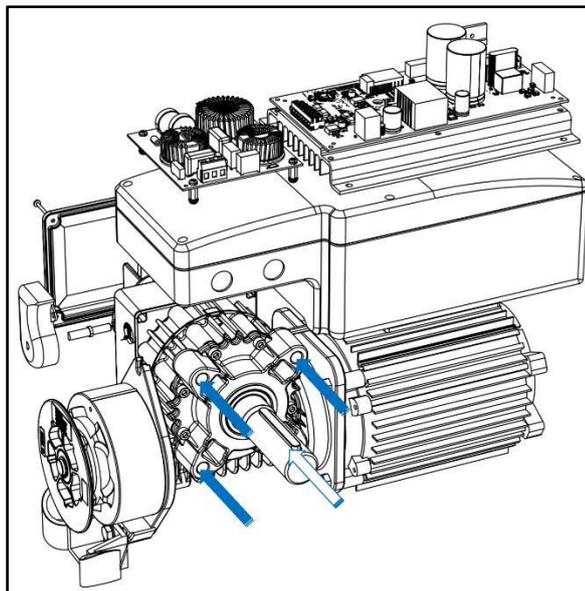


Figura 41. Visualización del montaje por defecto del VDrive

Sin embargo, los bloques generan en la placa un concentrador de esfuerzos que deberá ser analizado con cautela para impedir un fallo mecánico. Para ello, se realizó un análisis estático lineal con el método de elemento finito para validar que la placa de montaje tuviera el material y las dimensiones suficientes para resistir la flexión del abridor. Y, en segundo plano, para identificar el área crítica y establecer un factor de diseño para el soporte (Ver Anexos 4 y 5).

Finalmente, el ensamble final del fixture modular para el VDrive concluyó con el siguiente diseño. Donde se observa una representación 3D del abridor montado en la placa erguida, que a su vez esta sostenida por dos bloques ubicados debajo del abridor, y finalmente, un acoplamiento conectando a la unidad con el magbrake.

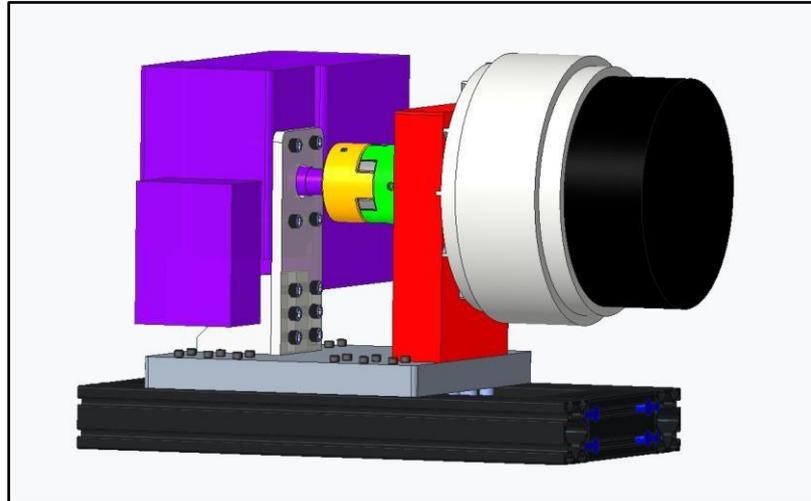


Figura 42. Diseño final del fixture modular para VDrive

Fixture 3 - GH303 Mounting Bracket

Como bien se mencionó anteriormente, se requiere de un componente específicamente diseñado para soportar el gran peso del abridor GH303 y que, además, ubique la unidad en el espacio libre del laboratorio, que posee un obstáculo para el ensamble (una viga del techo). El primer paso para abordar el diseño es entonces identificar y delimitar el espacio libre con las mediciones correspondientes.

Dimensionamiento

Se tomaron las medidas de los componentes involucrados en el ensamble:

1. Abridor de puertas GH303 con footprint.
2. Abridor de puertas (actual) GH con footprint.
3. Bracket actual para GH
4. Placa de la puerta enrollable para montaje de unidades
5. Ubicación del eje impulsado de la puerta
6. Ubicación de la viga obstructora relativa a la puerta enrollable

Las dimensiones de estos componentes se utilizaron para realizar un modelo 3D de la puerta y del abridor actual para poder simular la posición de la unidad GH303 y comprobar que cabe y puede montarse en el espacio de trabajo disponible.



Figura 43. Vista frontal de puerta enrollable: modelo en el laboratorio y modelo diseñado en CAD

Se validó que el espacio disponible en la parte superior de la puerta es suficiente para montar el abridor GH303, sin embargo, existe una variable de diseño que puede limitar el posicionamiento de la unidad, que es la distancia recomendada entre los centros de los ejes conducido y conductor, es decir, los ejes del abridor y de la puerta. Esta distancia, como ha sido mencionada anteriormente, debe estar entre las 12-15 [in] para que la cadena tenga una conducción apropiada de potencia.

Diseño de la transmisión

Con una distancia entre centros de los ejes establecida, se procedió a caracterizar los componentes del sistema de transmisión, que serán dos sprockets y una cadena. Cabe señalar que el abridor GH303, que será montado, ya posee un sprocket diseñado para conducir el par de la unidad y viene incluido en el empaque de la unidad. Este sprocket de salida tiene un diámetro de paso de 2.92 [in] que fue calculado a partir del paso del engrane ($P=1$ [in]) y el número de dientes ($N=9$).

Con el diámetro de paso calculado del primer engrane se procedió a calcular la fuerza de tensión en la cadena a partir de la geometría preliminar que tendrá el ensamble del abridor en la puerta una vez que sea montada en el nuevo bracket. Para ello se supuso par máximo de 177 [ft-lbs] ejercida por el abridor hacia la cadena (en el punto de contacto del sprocket con la cadena). Este par es conocido pues se encuentra en la documentación del laboratorio relacionada al abridor. Por otro lado, el sprocket de la unidad está diseñado para usarse con una cadena ANSI #80 con paso de 1 [in], y al comparar el par que ejerce la puerta de 180.56 [ft-lbs] con el de la unidad, será necesaria una relación de transmisión mayor que 1:1.



Figura 44. Abridor gearhead GH303 L5 con sprocket por defecto montado en el eje de salida

Conocer la tensión de la cadena y sus componentes en los ejes permite realizar una primera aproximación e incluso una simulación estática en el bracket y analizar el comportamiento del componente próximamente a fabricarse. Pero, sobre todo, será una referencia para determinar las dimensiones del soporte.

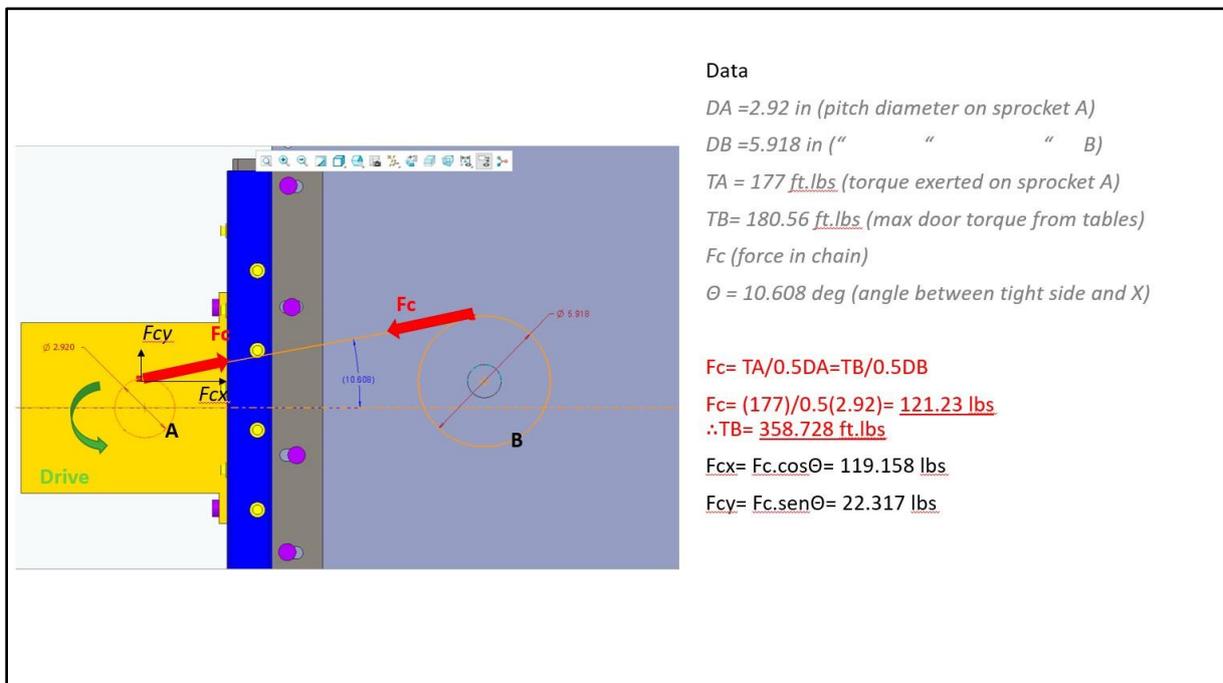


Figura 45. Captura del libro de cálculos para el diseño del bracket para el GH303-L5

Diseño del bracket

Usando como referencia el bracket actual que se utiliza para montar la unidad GH101, se diseñó un nuevo soporte que mantuviera únicamente dos caras, una frontal con cuatro ranuras que coincidan con el footprint del abridor GH303, y otra cara perpendicular a la frontal y de menor tamaño, con cuatro ranuras que coincidan con los barrenos en la placa de montaje de la puerta enrollable. Con una diferencia sustancial entre los brackets actual y nuevo: el nuevo soporte no puede manufacturarse con el doblado de placa característico del actual, es decir, será necesario unir las caras frontales y lateral con un método de unión rígida (e. g. soldadura, tornillos con tuerca, pasadores, ranuras). Esta limitación fue explicada anteriormente en la sección “Contexto de la participación profesional - Fixture 3”, pero puede resumirse a que la ciudad de Nogales y la planta de manufactura de Chamberlain en Nogales no tienen la maquinaria requerida para realizar un doblado personalizado como este.

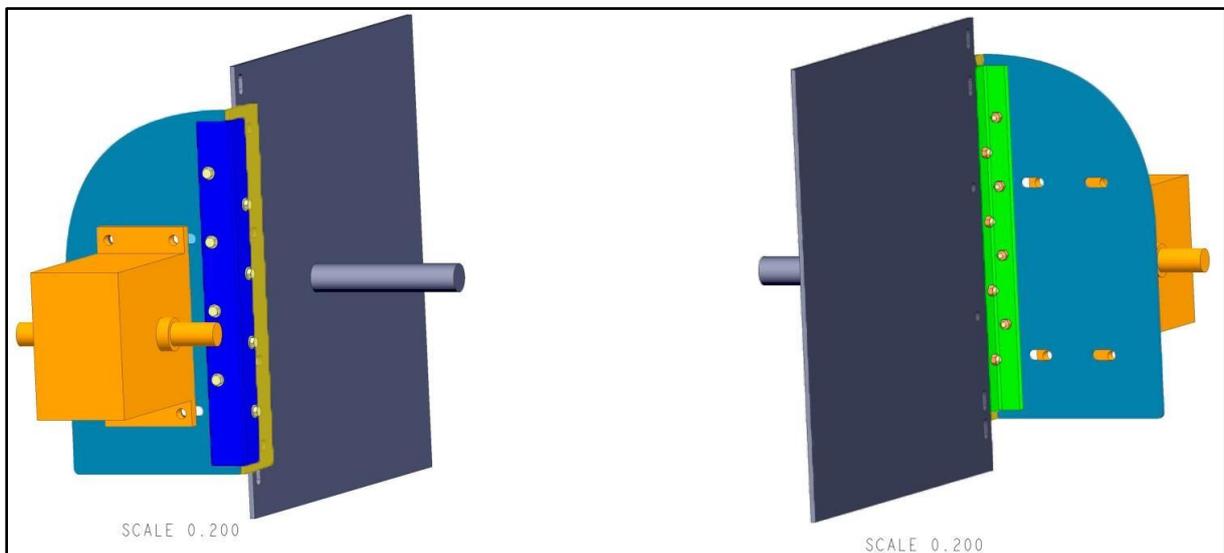


Figura 46. Modelo 3D de bracket para GH303 montado en la placa de puerta enrollable (el abridor está representado en color naranja)

Se optó finalmente por la utilización de tornillos y tuercas en el ensamble por dos principales razones: la primera, el bajo costo de producción al compararlo con el servicio de soldadura; y el segundo, el montaje relativamente sencillo al utilizar tornillos estandarizados. Por supuesto, también es importante resaltar que este bracket será utilizado por única ocasión en una prueba de ciclo de vida para el abridor nuevo, por lo que un componente extremadamente duradero no es requisito de diseño.

El diseño consiste en dos perfiles con forma de “L”, ambos del mismo espesor, pero con distinto ancho, que empalman ambas caras frontal y lateral, y forman una esquina reforzada. Ambos juegos de perfiles y de caras tienen barrenos que se ubican de forma concéntrica y logran que todos los componentes de dispongan en el sitio exacto que se diseñó.

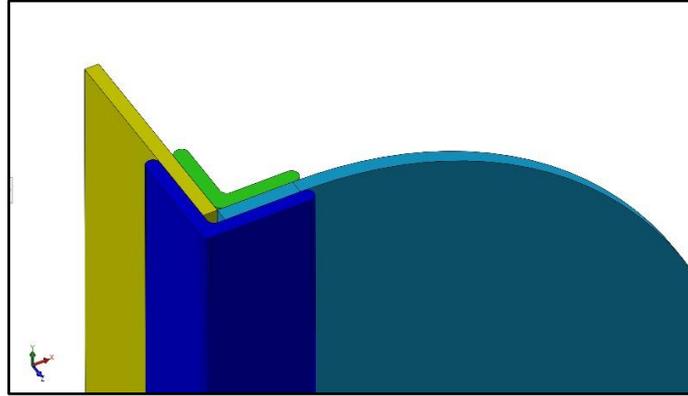


Figura 47. Perfiles de acero empalmados en el bracket diseñado

Adicionalmente, se identificó un posible peligro en el diseño del bracket. Al montar el abridor en el bracket ya fijado en posición, es decir, montado a su vez sobre la placa de la puerta enrollable, sería posible que la cadena de acero roce al propio bracket, pues la distancia que existe entre el sprocket de la unidad y la cara del bracket más cercana a este en realidad es muy corta (Ver Figura 48). Por lo que se realizó un análisis de tolerancias o *stack-up analysis* para determinar la viabilidad de fabricar el bracket con esta específica configuración.

Análisis de tolerancias

Para entender el problema, analicemos la siguiente imagen. Al montar los sprockets en los ejes conductor y conducido, y alinearlos de forma que la cadena se monte y marche en un plano (ideal), nos encontramos con un pequeño hueco que se forma entre los tornillos que sujetan los perfiles del bracket y la cara más próxima de ambos sprockets (coinciden). Más aún, al momento de colocar la cadena de acero en los sprockets, este hueco será aún más estrecho pues el grosor de los eslabones de la cadena y la porción del pin que sobresale de la cadena ocuparán ese pequeño espacio.

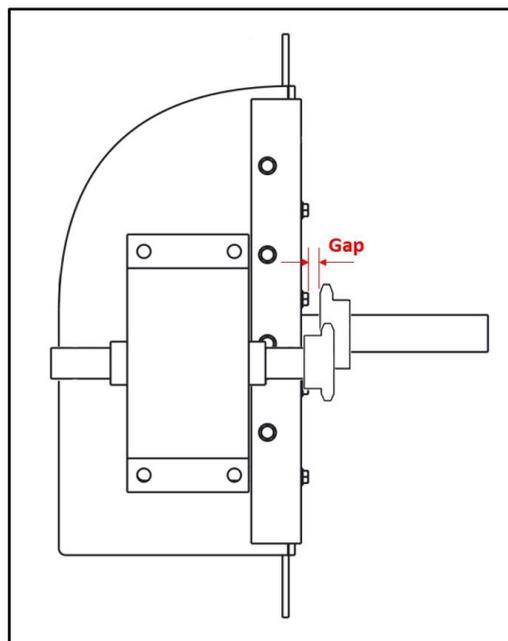


Figura 48. Hueco identificado para el análisis de tolerancias

Para determinar si esta configuración es viable, en el análisis de tolerancias se declararon diversos casos y magnitudes:

1. Se tomaron cinco diferentes opciones de cabezas de tornillos que pudieran aumentar la magnitud del hueco, i.e. si se usa un tornillo con cabeza muy corta habrá mayor espacio disponible. Las opciones fueron cabeza tipo socket, tipo botón, tipo perfil corto, tipo perfil ultracorto, y cabeza plana.
2. Se tomaron tres diferentes longitudes del pin que sostiene los eslabones de la cadena: la longitud nominal (que viene en la hoja de especificación), la longitud medida de la cadena real, y un promedio entre ambas.
3. Se consideró el uso y el no-uso de arandelas entre la cabeza del tornillo y la superficie de apriete del bracket.
4. Se midió el juego que ofrece la cadena (en la dirección normal a los eslabones) al estar en movimiento.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	bolts	head length		long size pin			averaging			measured pin			
2	socket head	0.308	max gap (no play)	-0.1665	-0.1665	max gap	-0.12	-0.073	max gap	-0.1405	-0.0365		
3			min gap	-0.1095	-0.1095	min gap	-0.177	-0.13	min gap	-0.1405	-0.0935		
4													
5	button head	0.166	max gap	0.0325	0.0325	max gap	0.022	0.069	max gap	0.0585	0.1055		
6			min gap	-0.0245	-0.0245	min gap	-0.035	0.012	min gap	0.0015	0.0485		
7													
8	low prof	0.156	max gap	0.04225	-0.00475	max gap	-0.02525	-0.07875	max gap	0.06825	0.11525		
9			min gap	-0.01475	-0.01475	min gap	0.03175	0.02175	min gap	0.01125	0.05825		
10													
11	ultra low prof	0.109	max gap	0.0425	0.0895	max gap	0.079	0.126	max gap	0.1155	0.1625		
12			min gap	-0.0145	0.0325	min gap	0.022	0.069	min gap	0.0585	0.1055		
13													
14	flat head	0	max gap	0.1515	0.1985	max gap	0.188	0.235	max gap	0.2245	0.2715		
15			min gap	0.0945	0.1415	min gap	0.131	0.178	min gap	0.1675	0.2145		
16													
17	long ping	1.432				w/o washer		w/o washer				w/o washer	
18	averaging	1.359											
19	measured	1.286											
20													
21	sprocket face	0.596											
22	washer	0.047											
23													
24	chain play	0.057											
25													

Figura 49. Análisis de tolerancias del bracket para GH303

El análisis consistió en iterar todas las posibles combinaciones de estos elementos que variaban la magnitud del hueco o *gap* y determinar qué tipo de cabeza utilizar y si usar arandela o no, dependiendo de la combinación. El resultado del análisis arrojó que al utilizar tornillos con cabeza plana (fila en color azul) no existe ningún caso en que los elementos del ensamble tengan interferencia alguna, y, por el contrario, siempre existirá una distancia de por lo menos 0.0945 [cm] o 0.9 [mm]. Caso muy similar con el tornillo de cabeza tipo perfil ultracorto, que tiene un solo caso de interferencia, pero la desventaja de utilizar este tipo de cabeza es una menor fuerza de apriete utilizable.



Figura 50. Tornillos de cabeza plana en la región de riesgo

Finalmente, se eligió utilizar tornillos de cabeza plana en la región crítica o de riesgo, y mantener tornillos de cabeza tipo socket con arandelas en el resto del ensamble para aprovechar la fuerza de apriete mayor que ofrece (comparado con las de cabeza plana). Se manufacturaron las piezas del bracket y se ensambló para presentar el nuevo componente en la puerta enrollable.

De esta forma se concluye el diseño del componente personalizado que cumple con los requerimientos identificados para la prueba. Además, se desempeña de forma segura al poner en marcha la cadena, es decir, no hay interferencias de ningún tipo, y la totalidad de la unidad se encuentra dentro del espacio de trabajo del laboratorio.



Figura 51. Bracket diseñado con abridor GH303 montado (cadena aún no ha sido tensada)

Conclusiones

Tras haber tenido la oportunidad de trabajar en la prestigiosa empresa Chamberlain durante el periodo de seis meses, he adquirido un conjunto valioso de conocimientos y habilidades que han dejado una impresión en mi desarrollo como estudiante de ingeniería. Puedo decir que fue una experiencia enriquecedora en varios aspectos: primero, porque la empresa demostró tener una organización y una cultura laboral sólida. Durante mi tiempo allí, pude observar cómo se aplican métodos de planificación y control de calidad en el desarrollo y pruebas de productos. Este enfoque de ingeniería me ayudó a adoptar una mentalidad más centrada en la excelencia.

En segundo plano, aprendí a valorar la importancia de la seguridad en el proceso de producción, lo que contribuye a la felicidad y la calidad de vida de los empleados. Esta experiencia me ha preparado para cuidar y aplicar estos estándares en futuros proyectos, pues en la industria existen y nos exponemos como ingenieros frecuentemente a peligros potenciales por la maquinaria con la que trabajamos como empleados. Ello me ha otorgado una perspectiva valiosa sobre cómo se llevan a cabo las operaciones en una empresa de ingeniería y los métodos que utilizan para llevarlas a cabo de la forma más segura posible.

En cuanto a mi formación en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, considero que la base teórica brindada en las aulas ha sido esencial. Sin embargo, he notado una diferencia (aunque no significativa) entre la teoría y la práctica, que se hizo evidente durante mi estancia en la empresa.

Aunque la universidad me proporcionó un sólido conocimiento académico, la verdadera formación de un ingeniero se logra en el mundo laboral. En otras palabras, mi grado de satisfacción con la formación universitaria es positivo, pero veo oportunidades de mejora. Creo que la incorporación de un mayor número de ejercicios prácticos y proyectos cercanos a la realidad (del campo industrial) podría ser muy beneficiosa. Esto permitiría a los estudiantes comprender de una manera profunda cómo aplicar los conceptos teóricos en situaciones reales y fomentaría una mayor curiosidad y profesionalismo. Incluso, considero que se podría establecer una colaboración más estrecha entre la universidad y empresas del sector ingenieril para que los estudiantes tengamos la oportunidad de trabajar en proyectos reales y desarrollar una visión más grande y compleja en una etapa más pronta de nuestra formación, y más aún, brindar además una ventaja competitiva como graduado al completar dichas experiencias.

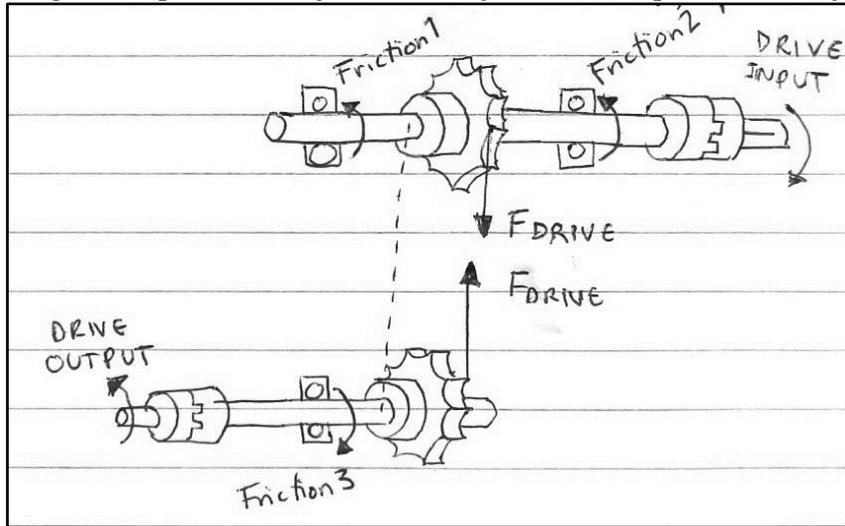
En resumen, mis prácticas en la empresa me han permitido apreciar la importancia de aplicar estándares industriales en el mundo real y ha transformado mi enfoque de estudiante a uno más orientado al ingeniero profesionalista. Por otro lado, aunque valoro mi formación universitaria, creo que se puede mejorar mediante una mayor integración entre la teoría y la práctica, lo que prepararía a los estudiantes de manera más efectiva para enfrentar los desafíos del mundo real.

Bibliografía

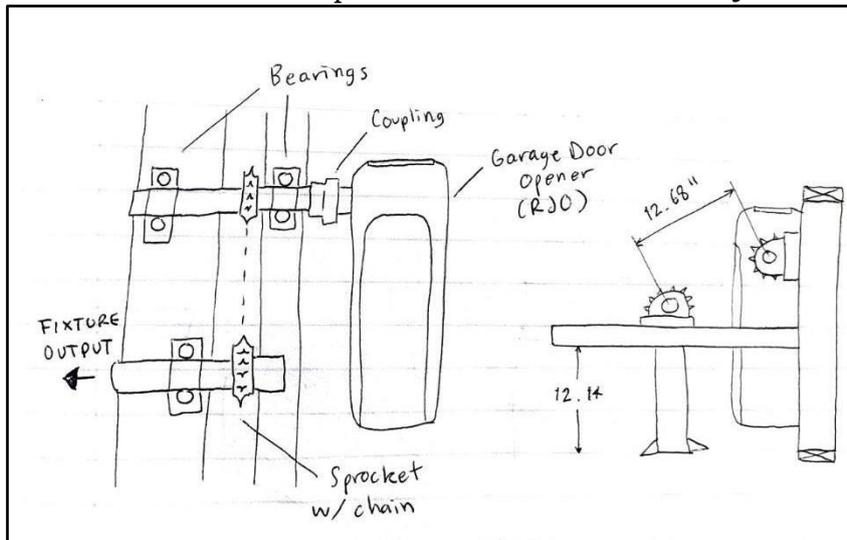
- [1] Bolton, W. (2013). "Mecatrónica. Sistemas de Control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica", 5a Edición. Capítulo 1.
- [2] Downs, J. (2021). "The History of Garage Door Opener", visitado el 14/03/2023 en <https://www.lakewoodgaragedoor.biz/blog/the-history-of-garage-door-openers>
- [3] Contribuyentes de Wikipedia. (2023). "Chamberlain Group", visitado el 14/03/2023 en https://en.wikipedia.org/wiki/Chamberlain_Group
- [4] Sundin, Erik. (2004). "Product and Process Design for Successful Remanufacturing", 1ª Edición. Pág. 41.
- [5] Norton, Robert L. (2011). "Diseño de máquinas: Un enfoque integrado", 4ª Edición. Pág. 421.

Anexos

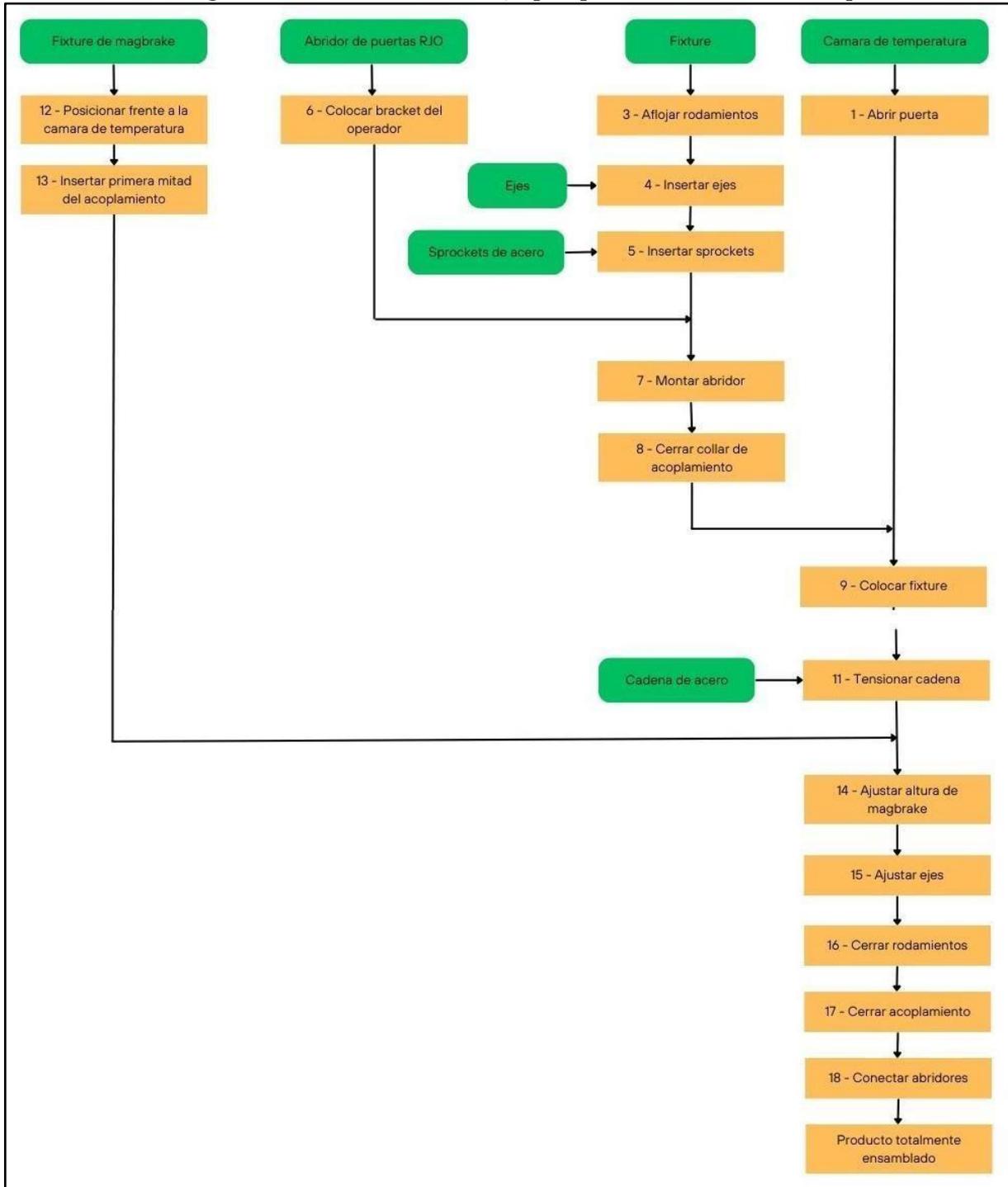
Anexo 1. Diagrama esquemático de ejes de entrada y salida unidos por una cadena y sprockets



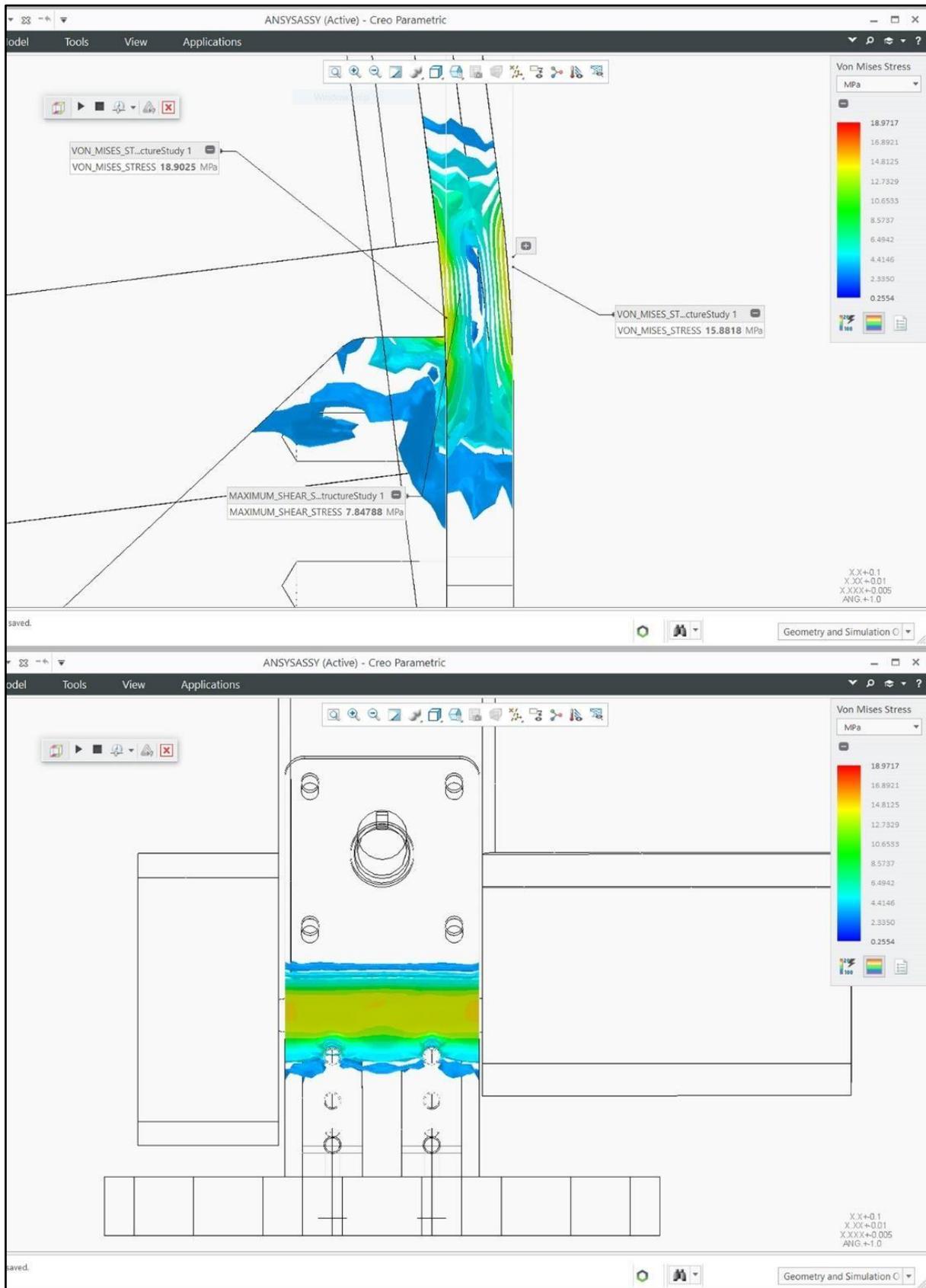
Anexo 2. Diseño conceptual de la transmisión del fixture RJOA



Anexo 3. Diagrama de ensamble del fixture RJO para pruebas en la cámara de temperatura



Anexo 4. Resultados del análisis estático lineal: Esfuerzos de Von Mises [MPa] en el soporte de ensamblaje para abridor VDrive.



Anexo 5. Resultados del análisis estático lineal: Desplazamiento estimado en soporte de ensamble para VDrive.

