



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño de una cámara de
condicionamiento operante, su
sistema de control e interfaz gráfica**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecatrónico

P R E S E N T A N

Diana Paula Vázquez Lezama

Paola del Rocío Reyes Botello

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Leopoldo Adrián González González



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por su apoyo, por nunca soltar mi mano y guíarme en cada paso del camino. Nada que haga será suficiente para agradecer sus sacrificios, desvelos, preocupaciones y su amor. Los amo.

A mi hermana. Cual elijas que sea tu sueño, lucha siempre por cumplirlo. Recuerda que te amo, y te apoyaré siempre.

A mi familia, pues cerca o lejos, siempre me he sentido acompañada y apoyada por todos y cada uno de ustedes. Gracias.

A mis amigas, mis hermanas, Mariana e Isaura. Comenzamos juntas y juntas terminamos; gracias por estar para mí siempre y nunca dejarme caer.

Diana Paula Vázquez Lezama

A mi pequeño hijo, la razón por la que no perdí ni un minuto de mi tiempo en cosas banales, con la intención de llegar lo antes posible a sus brazos. El que me enseñó a observar y reflexionar sobre cosas que hemos dejado de ver. A mi amado esposo, el que siempre ha estado allí, apoyándome e impulsándome a ser mejor. Por ser uno en un millón, un padre responsable, siempre buscando dar más de lo que recibió. Son la familia que siempre desea formar, sin más ni menos, están hechos a la medida.

A mis queridos padres que me dieron todo su apoyo aun cuando pasaron por tiempos difíciles, me enseñaron a amar y a ver por mi. Me dieron a mis compañeros de vida sin pedirlos, un regalo que no cualquiera puede dar. A mi hermano, del cual estoy muy orgullosa porque persigue sus sueños sin titubear. Gracias por empujar mi carrito cuando éramos niños, ahora cada quien llevará el control del propio, a sabiendas de que estaremos allí para darnos un empujón cuando lo necesitemos.

A mis amigos que llegaron para quedarse.

Y por supuesto, a mi maravillosa universidad que me brindó más de lo que podría esperar de un centro de estudios, siempre te estaré agradecida por los conocimientos que adquirí, la gente que conocí y las experiencias que viví. No me despido de ti, volveré.

Paola del Rocío Reyes Botello

CONTENIDO

CONTENIDO	4
TABLA DE FIGURAS	6
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	10
1.1 Introducción	12
1.2 Antecedentes.....	12
1.3 Planteamiento del problema	13
1.4 Objetivos del proyecto	14
Objetivo general.....	14
Objetivos específicos	14
1.5 Metas del proyecto	14
1.6 Estado del arte	15
¿Qué es el condicionamiento operante?	15
Cámara de condicionamiento operante.....	15
CAPÍTULO 2: DISEÑO CONCEPTUAL.....	20
2.1 Requerimientos y especificaciones.....	22
2.2 Definición de los sistemas a desarrollar.....	24
2.3 Definición de las funciones por sistema	27
2.4 Generación de conceptos.....	29
Sistema de palanca (SP).....	29
Subsistema de actuador lineal para palanca (SSALP)	30
Sistema de iluminación (SI).....	32
Sistema de estructura (SE)	32
Sistema de sensado head (SH).....	34

Sistema de control (SC)	35
Sistema de sensado lick (SL).....	36
Sistema de alimentación (SA)	37
Sistema de interfaz (SIN)	40
2.5 Selección de conceptos.....	40
CAPÍTULO 3: DISEÑO DE DETALLE	45
3.1 Diseño de detalle para el prototipo 1	47
Sistema de estructura	47
Sistema de palanca.....	48
Sistema de lick y sistema head	50
3.2 Resumen de las pruebas con los primeros prototipos.....	52
3.3 Diseño de detalle para el prototipo 2	53
Sistema de estructura (SE)	53
Sistema de palanca (SP).....	56
Sistema de lick y sistema de head (SL) (SH)	59
Sistema de alimentación	63
CAPÍTULO 4: PROTOTÍPOS Y PRUEBAS	74
4.1 Sistema de palanca (SP)	76
4.2 Sistema de alimentación (SA).....	79
4.3 Sistema head (SH) y sistema de iluminación (SI)	80
4.4 Sistema de control (SC).....	82
4.5 Sistema de estructura (SE).....	84
CONCLUSIONES.....	90
TRABAJO FUTURO.....	92
REFERENCIAS	94

TABLA DE FIGURAS

Figura 1 Cámara de condicionamiento operante para ratas y monos pequeños de la compañía Grason-Stanled (Primeros modelos). <i>Recuperado de: G. S. Reynolds, «Compendio de condicionamiento operante,» Universidad de California, California, 1968</i>	16
Figura 2 Cámara de condicionamiento operante para ratones. Modelo moderno de la marca BioSEB. <i>Recuperado de: BioSEB, «BioSEB In vivo Reaserch Instruments,» BioSEB, [En línea] en http://www.bioseb.com/bioseb/anglais/default/item.php?mode=imprimable&id=41</i>	17
Figura 3 Registrador acumulativo de la compañía Ralph-Gerbrands. <i>Recuperado de: G. S. Reynolds, «Compendio de condicionamiento operante,» Universidad de California, California, 1968</i>	18
Figura 4 Diagrama de caja negra	24
Figura 5 Diagrama funcional donde se muestran las entradas y salidas de cada uno y la relación entre ellos.	26
Figura 6 Esquema de integración de sistemas dentro de la cámara Skinner. <i>Recuperado de: https://levelskip.com/misc/Skinners-Box-and-Video-Games</i>	27
Figura 7 SP C1 Palanca con muelle.	30
Figura 8 SP C2 Palanca con contrapeso	30
Figura 9 SSALP C1 Piñón-cremallera	31
Figura 10 SSALP C2 Tornillo sin fin	31
Figura 11 SSALP C3 Biela – manivela	32
Figura 12 SE Estructura principal	33
Figura 13 SE C1 Placas apilables con sistemas integrados	33
Figura 14 SE C2 Placas completas con orificios y tapas	34
Figura 15 SH C1 Sensor infrarrojo colector – emisor	35
Figura 16 SH C2 Sensado por cámara	35
Figura 17 SC Microcontroladores propuestos	36
Figura 18 SL Circuito por resistencia galvánica	37
Figura 19 SDP C1 Distribución por embudo.	38

Figura 20 SDP C2 Distribución por disco.....	38
Figura 21 SDP C1 Distribución por embudo.	39
Figura 22 SDP C2 Distribución por disco.....	39
Figura 23 Matriz de comparación por pares.....	41
Figura 24 Matriz de decisión SP	42
Figura 25 Matriz de decisión SSALP.....	42
Figura 26 Matriz de decisión SH	42
Figura 27 Matriz de decisión SDP	42
Figura 28 Matriz de decisión SE	43
Figura 29 Matriz de decisión SC	43
Figura 30 Matriz de decisión SDA.....	43
Figura 31 Dibujo isométrico del SE	47
Figura 32 Dibujo isométrico del SP	48
Figura 33 Isométrico del sensor H21A1 y esquema interno. <i>Recuperado de: winavr.scienceprog.com</i>	49
Figura 34 LED infrarrojo y fotodiodo con su diagrama de conexión. <i>Recuperado de: www.circuitoselectronicos.org y www.forosdeelectronica.com</i>	49
Figura 35 Prototipo 1 SP.....	50
Figura 36 Prototipo 1 SL y SH. a) Vista frontal. b) Vista trasera.....	51
Figura 37 Dibujo del sensor CNY70 y esquema interno. <i>Recuperado de: Jmnlab.com</i>	52
Figura 38 Dibujo isométrico del SE	54
Figura 39 Dibujo isométrico de la rejilla para el SE	55
Figura 40 Dibujo isométrico de poste maquinado para SE.....	56
Figura 41 Dibujo isométrico del yugo escocés para SP	57
Figura 42 Microswitch D2HW-22 OMROM.....	57
Figura 43 Modelo isométrico de SP	58
Figura 44 Imagen del ensamble de SP	59
Figura 45 Microfotosensor EE-SX95 OMROM. <i>Recuperad de: www.digikey.com</i>	59

Figura 46 Dibujo del SL y SH. a) Isométrico. b) Vista trasera.....	60
Figura 47 Espectro de detección de un sensor difuso.....	60
Figura 48 Detalle de la partes del sistema que componen SI y SH	61
Figura 49 Detalle de la parte trasera del comedero donde se encuentran los sensores de SL	62
Figura 50 Modelo por computadora de comedero para el SL.....	62
Figura 51 Dibujo isométrico del servo motor (a) y la base (b) para el SDP	63
Figura 52 Dibujo isométrico del disco distribuidor (a) y el del cilindro contenedor (b) para SDP	64
Figura 53 Dibujo por computadora del SDP	65
Figura 54 Bomba peristáltica a 12 V de Analytical Laboratories. Imagen <i>recuperada de:</i> <i>www.banggood.com</i>	66
Figura 55 Dibujos isométricos de señaladores (a1 y a2) y House Light (b) de SI.....	67
Figura 56 Dibujo Isométrico del ensamble de la CCO.....	68
Figura 57 Ventana principal del SI.	69
Figura 58 Ventana de visualización de datos obtenidos por la cco.	71
Figura 59 Fotografía de la vista isométrica del prototipo de SP	76
Figura 60 Fotografía de la vista frontal de prototipo de SP	77
Figura 61 Fotografía de la vista trasera del prototipo de SP	77
Figura 62 Fotografía de la vista lateral derecha del prototipo de SP	78
Figura 63 Fotografía de la vista isométrica del prototipo de SDP	79
Figura 64 Fotografía de la vista lateral derecha del prototipo de SDP.....	80
Figura 65 Fotografía del prototipo del SH (ubicado en el comedero del ratón).....	81
Figura 66 Fotografía del prototipo de SI.....	82
Figura 67 Fotografía de la tarjeta de conexión para SC	83
Figura 68 Fotografía de la vista isométrica del prototipo de la CCO.....	85
Figura 69 Fotografía del prototipo de la CCO con puerta abierta	86
Figura 70 Fotografía de la vista interior del prototipo de la CCO	87
Figura 71 Fotografía de una toma superior del prototipo de la CCO	88

Figura 72 Fotografía del prototipo del SP y el SI montados sobre el SE. Vista frontal (A) y vista trasera (B)..... 89

Figura 73 Fotografía de la vista isométrica del prototipo de la rejilla del SE..... 89

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Preámbulo

En este capítulo se abordan algunos antecedentes básicos acerca de lo que es el condicionamiento operante y las cámaras de condicionamiento. Se incluyen también los objetivos y metas a alcanzar en el proyecto, así como el planteamiento del problema.

Objetivo del capítulo

Situar al lector en el contexto del proyecto, y la ciencia del condicionamiento operante, así como presentar las metas y objetivos que se pretenden alcanzar a través del mismo.

Alcances del capítulo

Se presenta un breve estado del arte sobre las cámaras de condicionamiento operante y su origen. Se expone el planteamiento del problema, metas y objetivos para el proyecto.

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo muestra un caso de ingeniería de diseño, aplicada a la generación de un primer prototipo funcional de una cámara de condicionamiento operante (CCO), para el Instituto de Fisiología Celular (IFC) de la UNAM. El diseño está dividido en cuatro etapas: búsqueda de información, diseño conceptual, diseño de detalle, prototipos y pruebas, las cuales están descritas a lo largo de este trabajo.

La expectativa con la que se realiza este proyecto es obtener un prototipo de una CCO que sea útil para los experimentos realizados en el Anexo de neurociencias del IFC. El diseño es realizado considerando las necesidades específicas de los experimentos que se realizan en el IFC.

Al final de este trabajo se anexa una sección de trabajo a futuro, en la cual se describen detalladamente las limitaciones surgidas en el proyecto y se anotan las mejoras a considerar que requiere el proyecto para optimar su desempeño final. A continuación se presenta una pequeña sección de antecedentes, explicando en que consiste el condicionamiento operante para ubicar al lector en el contexto del diseño de la CCO.

1.2 ANTECEDENTES

El condicionamiento operante es una rama de la ciencia de la psicología, cuyas bases principales se deben en gran parte al psicólogo y filósofo social B.F. Skinner. Hacia finales del siglo XIX, antes de que esta ciencia basara gran parte de su estudio en el condicionamiento operante, la psicología erigía sus principios de una doctrina filosófica llamada *mentalismo*, la cual afirma la existencia de una realidad mental sustantiva, diferente de la corpórea.

De esta forma la psicología en un inicio está relegada de las ciencias naturales, al trabajar bajo el supuesto de que la mente solo podía ser estudiada a través de la mente, negando la influencia del mundo físico e incluso negándose a aprender de la neurociencia. Fue hasta el desarrollo del *conductismo*, poco antes de que diera inicio la primera guerra mundial, que la psicología toma su lugar como parte de la ciencia natural, al introducir la experimentación como parte de su estudio [1].

B. F. Skinner formó parte de estos *psicólogos conductistas*. Para él, como para muchos otros psicólogos que continuarían su trabajo, la idea de la *mente* era irrelevante para el estudio de la psicología; para Skinner ni siquiera existía. Gran parte de sus estudios los dedicó a perfeccionar lo que llamaría *condicionamiento operante*, un medio por el cual humanos pueden entrenar humanos, o

cualquier otra clase de animal, para llevar a cabo toda serie de tareas y habilidades a través del llamado *refuerzo positivo** [2].

El psicólogo comenzó entonces a necesitar para sus experimentos un sistema en el cual pudiera ejecutarlos de forma más efectiva y precisa, que pudiera ser transportado y que le permitiera continuar su estudio en otro lugar. Es cuando comienza un negocio con la compañía Grason-Stadler para generar una *cámara de Skinner*, también conocida como *cámara de condicionamiento operante* (CCO).

El ingeniero Paul Whiteside Dippolito, quien se unió al proyecto en 1949, agregaría al diseño de la cámara de Skinner algunos de los instrumentos que la caracterizan hasta la actualidad [3]. Hoy en día las cámaras de Skinner son de uso muy común en diferentes laboratorios que estudian alguna rama de la ciencia relacionada con el comportamiento. Desde la ya mencionada psicología a la biología, como son las neurociencias y la medicina, e incluso en algunas ramas de la química, donde se pretende conocer la reacción en la conducta de un sujeto sometido a algunos tipos de sustancias experimentales.

En México existe también la necesidad de utilizar este tipo de instrumental de laboratorio, no sólo para la investigación que se realiza en las ramas de la ciencia ya mencionadas, sino en instituciones educativas como son las escuelas de psicología, medicina y biología. Sin embargo, este tipo de instrumental solamente es adquirible en México a través de la importación.

Es de esa falta de un producto nacional y el alto costo de los productos importados lo que lleva a la creación de este proyecto para el Instituto de Fisiología Celular (IFC). Al tener un anexo especializado en el área de neurociencias el uso de las cámaras de comportamiento operante es común y primordial para gran parte de los estudios que realizan. Esto lleva a algunos miembros del instituto a buscar una alternativa que les permita obtener un producto funcional, con iguales beneficios y de menor precio.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad México es un país que enfoca gran parte de sus esfuerzos en la exportación de materia prima, y basa gran parte de su economía en dicho sistema. Es por ello que al momento de importar la materia prima ya trabajada, estos recursos secundarios se adquieren a un costo más elevado.

* “Es una técnica| en la cual un comportamiento aumenta su probabilidad de ocurrencia a raíz de un suceso que le sigue, y que es valorado positivamente por la persona. Muchas conductas se mantienen porque conducen a resultados positivos” [17]

Los productos de uso común no son los únicos afectados en esta situación. Aunque no sea perceptible para todos, la vida académica también sufre de forma directa. Muchas investigaciones deben frenarse o no se llevan a cabo, debido a falta de presupuesto, esto no solo porque sea limitado, sino porque gran parte de los recursos se destinan al gasto de inversión en instrumental importado, pues en México se produce poco instrumental y muchas veces no de tipo especializado; entre ellos se encuentra el sistema de condicionamiento operante planteado en este proyecto.

¿Es entonces posible diseñar, a través de la ingeniería mexicana, un sistema de condicionamiento operante, el cual permita a los investigadores realizar sus estudios sin depender de una importación costosa y qué además entregue de igual forma resultados confiables?

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo general

Diseñar e un prototipo funcional de un sistema de comportamiento operante, el cual abarcará el diseño y construcción de una cámara de Skinner para ratones y un software desde el cual, el usuario pueda controlar el sistema completo y obtener los resultados arrojados durante la rutina de condicionamiento.

Objetivos específicos

- Realizar un diseño para la cámara de Skinner que sea realmente funcional para el usuario, de forma que los sistemas adaptables a la cámara, utilizados para el condicionamiento operante, sean precisos y confiables.
- Generar un software que no sólo sirva para programar las rutinas de condicionamiento y desplegar los resultados, sino que posea también una interfaz gráfica que permita un manejo más intuitivo de la programación del sistema.

1.5 METAS DEL PROYECTO

Para el proyecto del diseño de una cámara de condicionamiento operante se plantearon una serie de metas desde el inicio del proyecto, las cuales fueron acordadas con el cliente acorde a los que se pretendía alcanzar al finalizar dicho proyecto.

- Obtener un prototipo funcional de una cámara de condicionamiento operante, con las características descritas en la sección de objetivos.
- El costo total de los materiales a utilizar para realizar el prototipo no debe rebasar la cantidad de \$3000.00 MXN.

1.6 ESTADO DEL ARTE

¿Qué es el condicionamiento operante?

Es una ciencia experimental de la conducta. En otras palabras es un proceso en el cual la frecuencia con que está ocurriendo una conducta, se modifica o se altera debido a las consecuencias que esa conducta produce. Con el tiempo el condicionamiento operante ha pasado a ser una verdadera aproximación a la psicología científica. Lo que en general caracteriza a esta aproximación es, por una parte, un determinismo en el comportamiento, y por la otra un análisis experimental de la conducta. Así mismo, se distingue por su interés en el estudio de la conducta operante o instrumental, sin descuidar el estudio de la conducta refleja.

Como aproximación al estudio de la conducta, el condicionamiento operante consiste en: un conjunto de principios acerca de la conducta y del medio ambiente, los cuales pueden ser usados para dar una descripción científica y objetiva de la conducta y del medio ambiente dentro del cual se manifiesta; un grupo de técnicas y procedimientos destinados al estudio experimental de la conducta dentro del laboratorio; y en un abundante conjunto de hechos y principios que han sido demostrados experimentalmente.

El interés del condicionamiento operante se encuentra en la relación de la conducta de un organismo con el medio en el que habita, y a los efectos que se producen a cuando se le modifica sistemáticamente su medio ambiente. Pretende entender la conducta mediante el conocimiento de los factores que modifican su conducta.

Cámara de condicionamiento operante

Fue en el año de 1949 cuando se obtuvo el primer prototipo de la cámara de condicionamiento operante a manos del ingeniero Paul Whiteside Dippolito. Él trabajó de la mano con B. F. Skinner para el desarrollo de la primera cámara de comportamiento operante.

En este primer prototipo, se ubican algunos de los principales sistemas que hasta la fecha se siguen utilizando en las cámaras de condicionamiento operante, como es un interruptor silencioso, que en la jerga se le denomina *manipulandum*, uno de los sistemas más importantes contenidos en una cámara de condicionamiento operante. Dippolito también agregó a la cámara de Skinner un motor para controlar el *manipulandum*, una bocina controlada en frecuencia y potencia sonora y un osciloscopio de cuatro canales en el que era posible observar las señales de activación del sujeto de estudio.

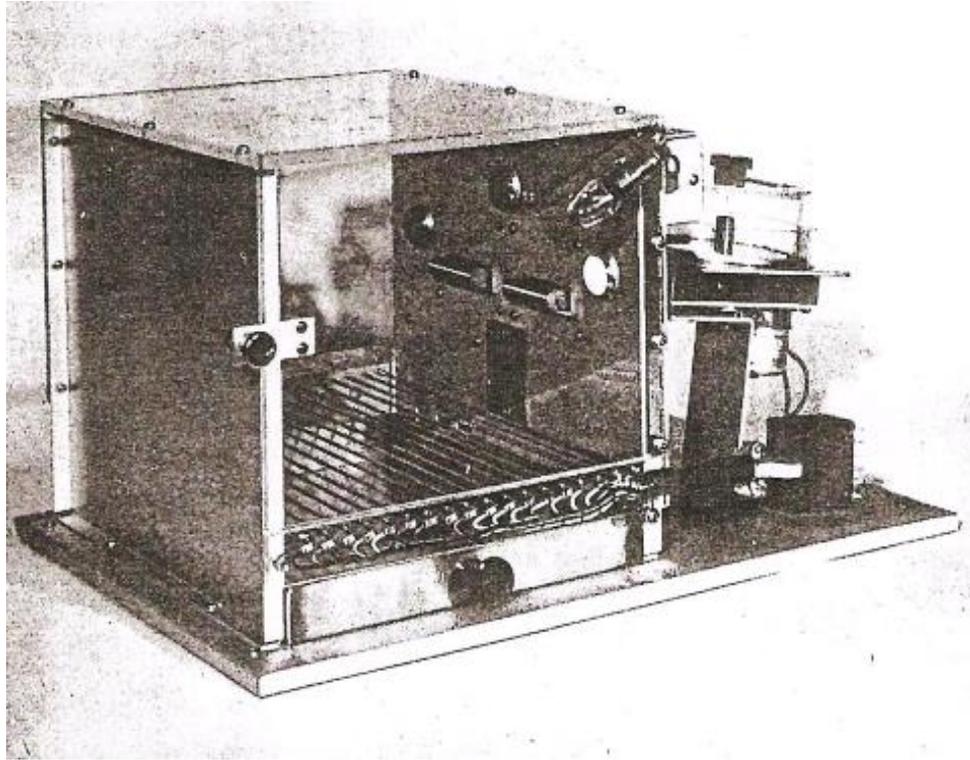


FIGURA 1 CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE PARA RATAS Y MONOS PEQUEÑOS DE LA COMPAÑÍA GRASON-STANLED (PRIMEROS MODELOS). RECUPERADO DE: G. S. REYNOLDS, «COMPENDIO DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE,» UNIVERSIDAD DE CALIFORNIA, CALIFORNIA, 1968

Si bien se ha dicho que la cámara de Skinner fue estandarizada a partir de ese momento, la estandarización sólo define los tipos de aditamentos que contiene, así como la forma del *manipulandum* dependiendo de si el sujeto de estudios es un ratón, una rata, un mono, un pichón, etcétera. Las medidas para las cámaras de condicionamiento operante no están definidas, más bien se busca que el sujeto tenga un espacio suficiente para poder caminar alrededor de la cámara mientras se lleva a cabo el estudio [4].

El aislamiento en la cámara es también un factor básico, para poder reducir las influencias externas que puedan alterar el experimento. Está también aislada de fuentes externas de luz y además cuenta con un sistema de ventilación para que la temperatura se mantenga constante.



FIGURA 2 CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE PARA RATONES. MODELO MODERNO DE LA MARCA BIOSEB. RECUPERADO DE: *BIOSEB*, «*BIOSEB IN VIVO REASERCH INSTRUMENTS*,» *BIOSEB*, [EN LÍNEA] EN [HTTP://WWW.BIOSEB.COM/BIOSEB/ANGLAIS/DEFAULT/ITEM.PHP?MODE=IMPRIMABLE&ID=41](http://www.bioseb.com/bioseb/anglais/default/item.php?mode=imprimable&id=41)

Los aditamentos de las cámaras de Skinner si bien se han vuelto más sofisticados no han cambiado su función principal realmente. Por ejemplo el registro de pulsaciones del *manipulandum*, en un inicio se llevaba a cabo en el osciloscopio de cuatro canales mencionado anteriormente, después se optó por la tecnología del sismógrafo, como se muestra en la Figura 3, que permitía el registro constante de los pulsos sobre el papel y era posible hacer una buena aproximación del tiempo entre pulsos.

Actualmente los registros acumulativos se llevan a cabo de forma digital, donde el investigador puede elegir entre observar un gráfico u observar datos más simples como el número de pulsaciones en una sesión, el número de equívocos, la cantidad de alimento suministrada, entre otros datos relevantes.

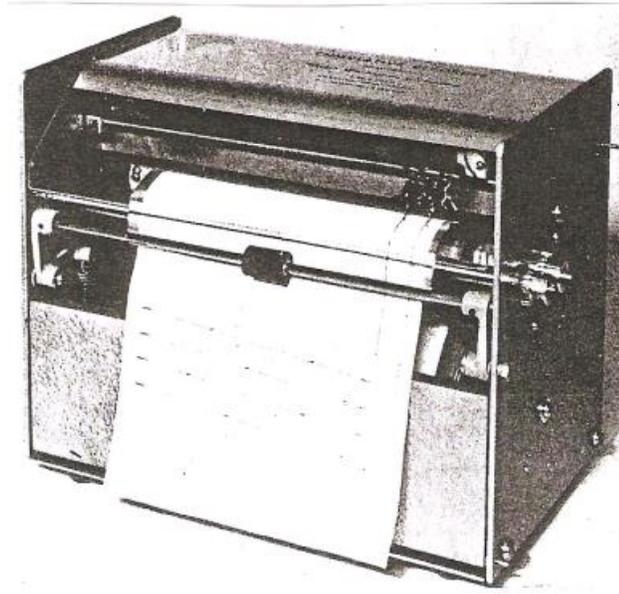


FIGURA 3 REGISTRADOR ACUMULATIVO DE LA COMPAÑÍA RALPH-GERBRANDS. RECUPERADO DE: G. S. REYNOLS, «COMPENDIO DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE,» UNIVERSIDAD DE CALIFORNIA, CALIFORNIA, 1968

Incluso ahora están en desarrollo algunos aditamentos hechos a través de pantallas táctiles que permitirán conocer las trayectorias que el sujeto genera al caminar durante su entrenamiento, y podrá apreciarse de mejor forma como el sujeto acota sus trayectorias hacia el *manipulandum* al descubrir que este le proporciona el alimento.

CAPÍTULO 2

DISEÑO CONCEPTUAL

Preámbulo

Se presentan los requerimientos y especificaciones obtenidos para el proyecto, posteriormente se realiza un análisis del producto completo haciendo su descomposición en sistemas, generando diferentes conceptos de solución para cada sistema, de acuerdo a lo solicitado en las especificaciones. Se presentan bocetos de las diferentes propuestas para cada sistema y se describe la selección del mejor concepto en cada caso.

Objetivo del capítulo

Presentar el proceso de generación de conceptos, y explicar el porqué de la selección de cada concepto en particular.

Alcances del capítulo

Presentación de los requerimientos planteados por el cliente y exposición de las diferentes propuestas de diseño con su correspondiente bosquejo.

2.1 REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES

Como ya se ha mencionado en los apartados anteriores, este proyecto es realizado para el Instituto de Fisiología Celular de la UNAM. Comenzado el proyecto, se realiza una entrevista con el cliente acerca del uso que se le da a la CCO en el laboratorio; de tal forma quedan establecidas las necesidades que se deben cubrir con el proyecto. Si bien el proyecto en esencia abarca la construcción de una cámara de Skinner, ésta debe cumplir con ciertos requisitos, los cuales son necesarios para que sea un equipo útil para los proyectos que realizados en el laboratorio del instituto.

TABLA 1 REQUERIMIENTOS Y SU NIVEL DE IMPORTANCIA

No.	Requerimiento	Imp.
1	Estructura de material resistente a la oxidación, así como una estructura resistente y transparente para poder observar el comportamiento del roedor.	1
2	La estructura debe contar con apertura de puerta frontal y superior.	3
3	La estructura debe poseer elementos que obliguen al ratón a realizar un movimiento que no es natural en él, como presionar, para obtener una recompensa a cambio.	1
4	El sistema debe tener una manera de despachar agua.	2
5	Debe ser capaz de agregar o quitar aditamentos o componentes al sistema según requiera el experimento	2
6	Cada aditamento de recompensa debe contar con su propio indicador de luz, que indique si el aditamento está activo o no.	1
7	Los aditamentos de recompensa deben tener la capacidad de ocultarse y mostrarse, según lo indique el usuario.	1
8	La caja de comportamiento debe despachar pellets según lo programe el usuario	2
9	Si el ratón acciona los aditamentos de recompensa en la secuencia indicada por el usuario, debe entregar al roedor un cierto número de pellets indicados por el usuario en recompensa.	1
10	Captura de video con alta definición.	3
11	Un aditamento de sensado que detecte si el animal ha buscado comida en el plato de alimento.	1
12	Todo el sistema de captura de datos debe ser independiente del CPU para evitar la pérdida de datos y adquisición de datos continuamente.	1
13	Que la caja se pueda limpiar fácilmente.	4
14	Tener una interfaz para controlar la caja y programar rutinas.	2
15	Costo menor al producto comercial.	1
16	Rapidez para capturar los datos.	1

Después de un par de entrevistas al personal, se depuró la información obtenida, de tal forma que se obtiene una lista concreta con los principales requerimientos que debía cubrir la cámara. En la Tabla 1 se muestran los resultados, así como el nivel de importancia que le fue asignado a cada

requerimiento; el valor de 1 califica el requerimiento con máxima importancia y el valor de 5 con la menor importancia.

TABLA 2 ESPECIFICACIONES CON SU NIVEL DE IMPORTANCIA Y LAS UNIDADES CORRESPONDIENTES.

No.	No. Requerimiento	Métrica	Imp.
a)	1	Materiales resistentes a la oxidación	1
b)	2	Contará con apertura de puerta frontal y superior.	4
c)	3	La estructura contará con un manipulandum (palanca).	1
d)	5	El sistema de la estructura debe ser modular	2
e)	6	El sistema de sensado debe de ser acompañado de un sistema indicador luminoso, con luminosidad apropiada para el roedor.	1
f)	7	Ocultar la palanca después de que el ratón cumpla con los pulsos que se hayan programado	1
g)	4, 8	La estructura contendrá un sistema despachador de alimentos que permita regular la cantidad de alimento que se debe dar al sujeto de estudio.	1
h)	8, 9	Incluir un sistema de control que permita al usuario manipular al sistema de sensores, el sistema de alimentación y dispensador de líquidos, así como las funciones que desempeñe cada uno	1
i)	10	Diseñar un sistema de circuito cerrado que esté ligado al sistema de control del equipo	3
j)	11	Detectar la presencia del ratón cuando introduzca su cabeza para buscar comida en el plato	1
k)	12	Implementar un sistema que permita adquirir los datos de forma continua y evitar las pérdidas de estos.	1
m)	13	Implementar un sistema de limpieza que permita la remoción de heces y orina del ratón de forma higiénica y rápida	4
n)	14	Generar una interfaz gráfica	2
o)	15	Costo menor al producto comercial (\$10,000 USD)	2
p)	16	Rapidez mínima de captura de datos de los sensores de 10 ms	1

El nivel de importancia tiene la utilidad de establecer para cada requerimiento, la cantidad de atención que requiere prestársele, así como el nivel de precisión con el que se requiere captar señales u obtener datos, según sea el caso. Cabe mencionar que el nivel de importancia asignado tanto en la Tabla 1 Requerimientos y su nivel de importancia como en la Tabla 2 Especificaciones con su nivel de importancia y las unidades correspondientes fueron proporcionados por los investigadores del IFC.

Continuando con el proceso de diseño, los requerimientos planteados en la Tabla 1 Requerimientos y su nivel de importancia se analizan para obtener, a partir de ellos, una serie de especificaciones, las cuales al asignarles una métrica y una unidad de medición como lo indica el

proceso de diseño planteado por Ulrich [5], ponen en términos técnicos las necesidades del cliente, de tal forma que éstos puedan ser más claros para materializarlos a través de métodos de ingeniería. Como muestra la teoría, a cada requerimiento se le asigna por lo menos una especificación. En la Tabla 2 se muestran las especificaciones de diseño para el proyecto.

2.2 DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS A DESARROLLAR

Para continuar con el proceso de diseño y definir de forma más clara las funciones que debe desempeñar el producto, se realiza un *diagrama de caja negra* (DCN). Este diagrama, el cual se muestra en la Figura 4, consta de indicar todos los materiales físicos y señales que entran al producto completo, así como indicar las salidas que se obtienen al procesar dichas entradas.

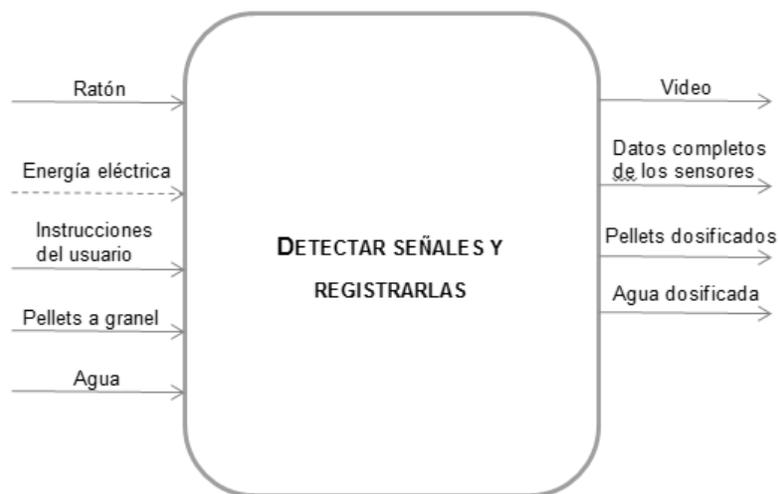


FIGURA 4 DIAGRAMA DE CAJA NEGRA

En el DCN también se discrimina el tipo de entradas y salidas; las entradas y salidas que son algún tipo de señal, se indican con flechas de línea discontinua, mientras que las entradas y salidas que son de tipo físico (material tangible) se indican a través de flechas con líneas continuas. De ésta forma se comienza a estructurar qué es lo que el producto recibe, y lo que el producto debe entregar como salida.

Una vez definidas las entradas y salidas principales, con el fin de facilitar el diseño del producto, se presenta una división en sistemas. Esta división sistemática tiene como fin reducir la función total del sistema a funciones más básicas y más fáciles de comprender que la función total que realiza el producto

completo; la división en sistemas se realiza de forma iterada², hasta considerar que la función que desempeña cada sistema es lo suficientemente simple para comprender su funcionamiento de forma clara.

De la división resultan un total de 10 sistemas, nueve de ellos se decide que pertenecen a un sistema llamado *sistema de estructura*, de tal forma que queda explícito que los sistemas contenidos dentro de él, son sistemas que poseen una estructura física (hardware), pues el décimo sistema, llamado *sistema de interfaz* (SIN), es de tipo software, por lo tanto un sistema intangible.

Con la división en sistemas, se procede a estudiar las entradas y salidas que tiene cada sistema y como se relacionan entre sí, de esta manera se genera el diagrama funcional que se presenta en la Figura 5.

² Cada sistema resultante se dividió una vez tras otra en funciones más simples.

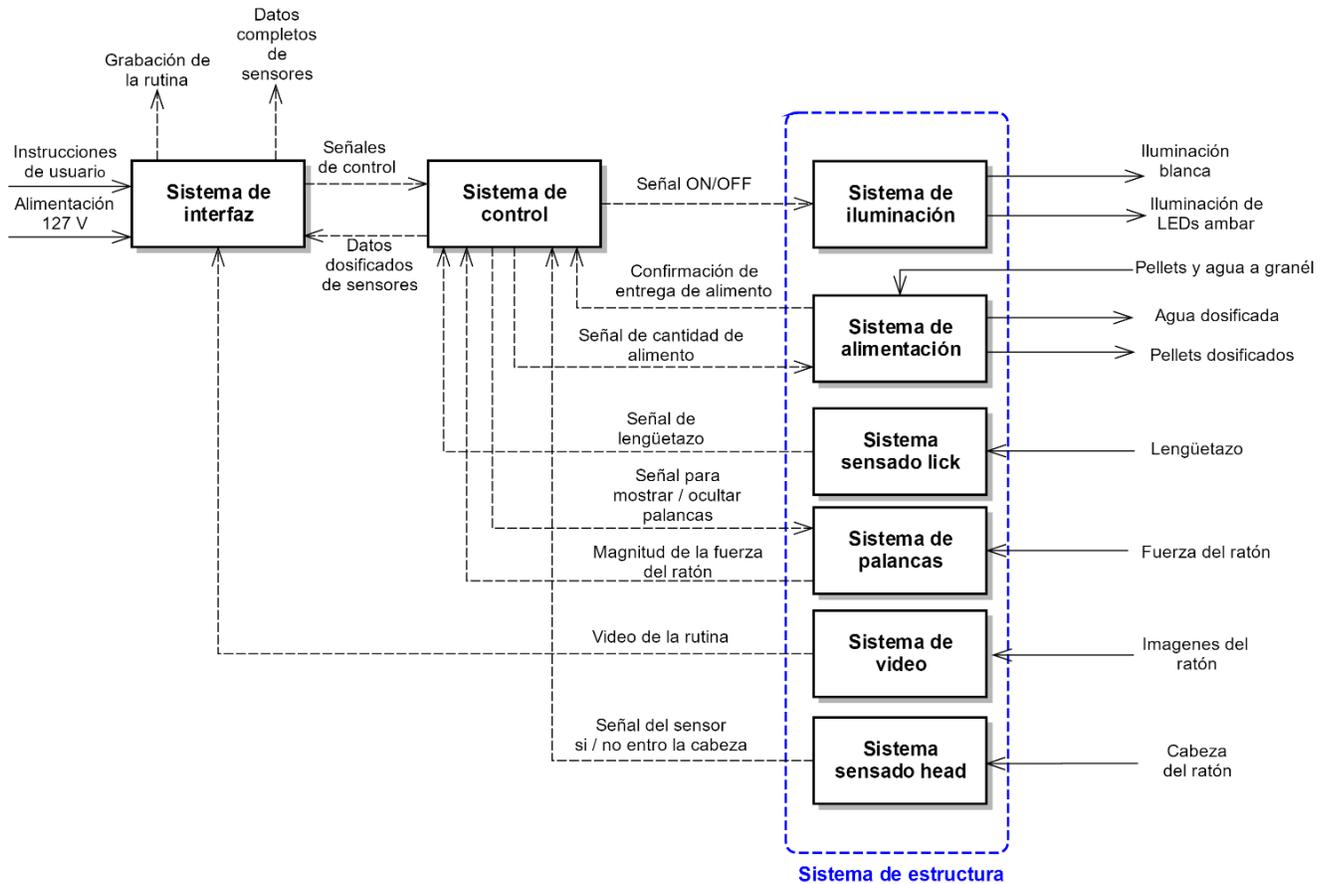


FIGURA 5 DIAGRAMA FUNCIONAL DONDE SE MUESTRAN LAS ENTRADAS Y SALIDAS DE CADA UNO Y LA RELACIÓN ENTRE ELLOS.

Este diagrama tiene la importancia, no solo de formar una idea más clara de la relación entre sistemas, sino que indica las salidas y entradas que tiene cada uno, así como el tipo que es (señal o física), de tal manera que la forma en la que esa salida se presenta, debe ser congruente con el sistema donde entrará, además el diagrama funcional permite visualizar si la relación entre sistemas es adecuada dependiendo de la interacción entre entradas y salidas.

En la Figura 5 puede observarse que varios de los sistemas están contenidos en el *sistema de estructura* (SE), esto es debido a que, en el prototipo físico, los demás sistemas estarán soportados por el SE.

2.3 DEFINICIÓN DE LAS FUNCIONES POR SISTEMA

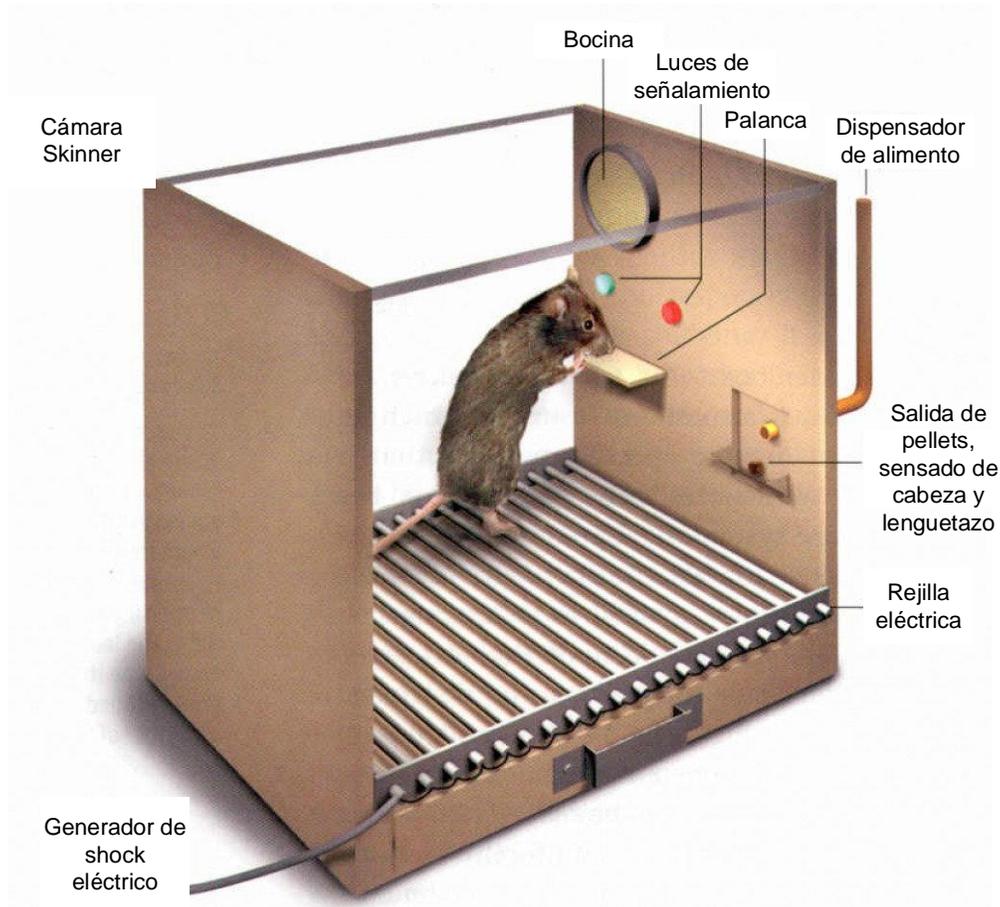


FIGURA 6 ESQUEMA DE INTEGRACIÓN DE SISTEMAS DENTRO DE LA CÁMARA SKINNER.
 RECUPERADO DE: [HTTPS://LEVELSKIP.COM/MISC/SKINNERS-BOX-AND-VIDEO-GAMES](https://levelskip.com/misc/skinners-box-and-video-games)

Como se ha venido mencionando, el fin de la división en sistemas es segmentar hasta obtener funciones simples, cuyo desempeño sea fácil de comprender. A continuación se explica la función que realiza cada de los sistemas mostrados en el diagrama funciola (Figura 5). En la Figura 6 puede verse una imagen que ejemplifica la interacción básica entre algunos de los sistemas a tratar; en la imagen los sistemas se colocan en una de las muchas configuraciones posibles y no es precisamente ni la configuración ni forma obligatoria que deben tener los sistemas.

- a. **Sistema de Estructura (SE).** Brinda soporte a todos los sistemas contenidos en el mismo. La estructura en si es fija, sin embargo permite que los sistemas puedan ser posicionados en distintos segmentos de sus paredes. La estructura deberá ser resistente a la corrosión que pudiera generarse por los desechos del ratón.

- b. Sistema de palancas (SP).** Sensor que tiene forma de una palanca y que activa el ratón durante el proceso de condicionamiento operante. Es un sistema que requiere diseño muy detallado, debido a que la fuerza del ratón es muy pequeña y se debe diseñar a modo que el ratón sea capaz de activarla; además debe contar con la función de mostrarse o no dentro de la cámara. Son sensores que van colocados en las paredes del sistema de estructura de la cámara de Skinner y son modulares, es decir, el usuario puede agregar o quitar palancas según sea su necesidad. Cada palanca cuenta con un LED en la parte superior de la misma, de modo que sea una señal indicadora para el roedor de que se encuentra activa; el color de los LEDs, para el caso de estudio, debe ser de color ámbar.
- c. Sistema de iluminación (SI).** Mantiene iluminada la parte interior de la cámara de Skinner. Debe ser controlado su encendido y apagado a través del *sistema de control* (SC), debido a que el usuario utiliza el apagado de la luz principal (House light) como castigo durante el programa de condicionamiento operante. A través de este sistema también se encienden las luces indicadoras (LEDs ámbar), las cuales indican si el SP está activo. En la Figura 6 las luces indicadoras (de color rojo y azul) están dispuestas debajo de la luz blanca (o House light).
- d. Sistema de alimentación (SA).** Contiene dos subsistemas: el distribuidor de agua y el distribuidor de pellets. A través de señales del sistema de control, los pellets y el agua son dosificados gracias al SA. La dosificación depende del ratón que se esté entrenando, del peso del animal y el programa de condicionamiento establecido por el usuario.
- e. Sistema de sensado lick (SL).** Permite saber cuándo el ratón ha lengüeteado el plato de alimento donde se depositan los pellets dosificados. Este sistema no debe necesitar pasar una corriente a través del ratón para funcionar preferentemente, o en caso de hacerlo debe ser menor a 100mA.
- f. Sistema de video (SV).** Graba todo el comportamiento del ratón mientras se esté ejecutando el programa de condicionamiento operante y despliega el video en el sistema de la interfaz gráfica. Además tiene la capacidad de sensor movimiento en zonas específicas que desee el usuario.
- g. Sistema de sensado head (SH).** Detecta cuando el ratón introduce la cabeza en la cabina donde se encuentra el plato de alimento, en busca de comida, esto sin la necesidad de que el ratón lengüeteé el plato. Nótese que en la Figura 6 el SV y SH están indicados en el mismo lugar, que es comedero del ratón, esto es porque ambas señales son sensadas en ese sitio, pero de forma independiente.
- h. Sistema de control (SC).** Recibe las instrucciones del usuario, así como mandar y recibir señales de los sistemas integrados al SE.

- i. **Sistema de interfaz (SIN).** Permite al usuario programar las rutinas para la cámara de condicionamiento operante. El usuario puede observar al ratón mientras está siendo entrenado y visualizar los resultados provenientes de las señales obtenidas.

2.4 GENERACIÓN DE CONCEPTOS

Una vez definidas las funciones de cada sistema, con sus correspondientes entradas y salidas, se continúa con la etapa del diseño de generación de conceptos. Para algunos de los sistemas se propone una o más soluciones de cómo podrían realizar la función que les corresponde, considerando las entradas que tiene, así como las salidas que se deben entregar.

Para plasmar estas ideas se generan una serie de bocetos que representan la idea general del concepto. Al solo ser bocetos no se especifican medidas ni componentes exactos, sin embargo el plasmar la idea en un bosquejo ayuda a visualizar las consideraciones que deben tomarse para materializar cada concepto de solución. Cabe mencionar también, que algunos de los sistemas, debido a la simplicidad de la función que desempeñan, sólo contaron con un concepto de solución. Se muestran a continuación los bocetos de los conceptos de solución presentados para cada sistema.

Sistema de palanca (SP)

Para todos los conceptos concebidos en esta etapa de diseño se utilizaron sensores de tipo infrarrojo, se cocidera de esta manera para que el sensor no sea una resistencia a la fuerza que debe aplicar el ratón al momento de palanquear. También porque la respuesta del sensor es de tipo digital (*High o Low*) lo que es conveniente para hacer el conteo o detección de palanqueo en el SC.

Concepto 1: Palanca con muelle (SP C1). La palanca ofrece resistencia a ser jalada debido a un resorte que se encuentra adherido a ella por su parte inferior. Si el ratón jala la palanca o no, lo determina un par de sensores emisor receptor a los costados de la palanca. Véase el dibujo del concepto en la Figura 7.

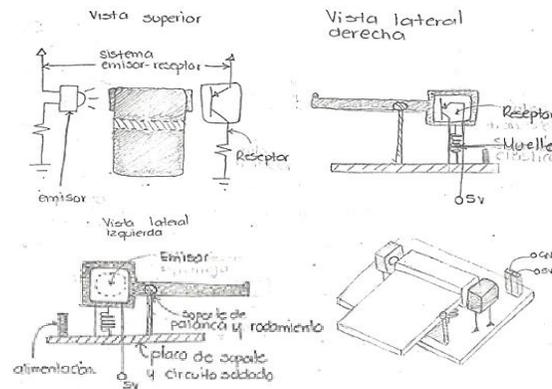


FIGURA 7 SP C1 PALANCA CON MUELLE.

Concepto 2: Palanca con contrapeso (SP C2). La palanca ofrece resistencia a la fuerza del ratón debido a un contrapeso en su parte posterior. Dicho contrapeso sirve a su vez como interferencia en un sensor emisor-receptor, el cual se activa si el ratón jala la palanca y con ellos eleva el contrapeso, retirando la interferencia entre los sensores. Véase el dibujo del concepto en la Figura 8.

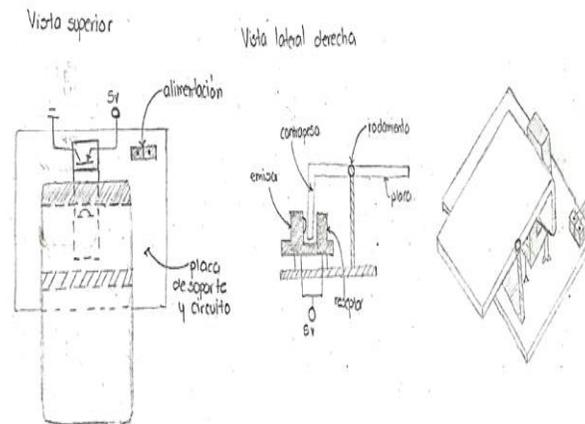


FIGURA 8 SP C2 PALANCA CON CONTRAPESO

Subsistema de actuador lineal para palanca (SSALP)

Al diseñar el sistema de palanca se considera necesario agregar al diseño un subsistema. Uno de los requerimientos mostrados en la Tabla 1, es que las palancas (*manipulandum*) deben ocultarse o mostrarse dentro de la cámara según lo programa el usuario.

Para lograr esta función se decide diseñar un subsistema interno al SP, de tal forma que este subsistema se encargue de mostrar u ocultar la palanca según se requiriera. Los conceptos de solución propuestos son los siguientes.

Concepto 1: Piñón-cremallera (SSALP C1). Cuenta con una base donde se apoya el SP, la cual puede correr a través de unos rieles. En la parte inferior de esta base se encuentra colocada una cremallera, la cual está en contacto con un piñón adaptado a un motor, de tal forma que cuando el motor se activa desplaza la cremallera, deslizando así a la base y a la palanca que se encuentra soportada sobre ella. Puede verse el dibujo del concepto en la Figura 9.

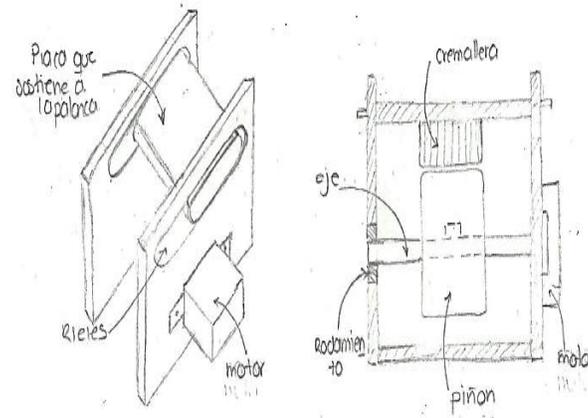


FIGURA 9 SSALP C1 PIÑÓN-CREBALLERA

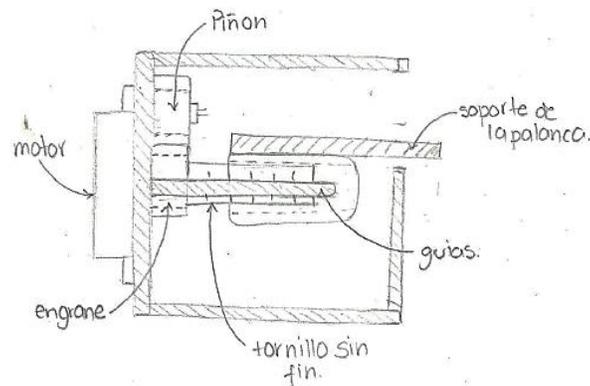


FIGURA 10 SSALP C2 TORNILLO SIN FIN

Concepto 2: Tornillo sin fin (SSALP C2). Se adapta un tornillo a un motor de tal forma que al girar éste desplaza una tuerca, a la cual esta acoplada la base donde se soporta el SP. Una característica importante a resaltar en este sistema es que el movimiento producido es relativamente lento, comparado con la velocidad que ofrecen las cámaras de Skinner comerciales con esta función. Véase el dibujo del concepto en la Figura 10.

Concepto 3: Biela – manivela (SSALP C3). Este sistema actúa de forma similar al de un pistón en un automóvil. La longitud de la biela es la principal determinante en poder ocultar la palanca. La manivela está conectada un servo motor, que al variar su posición, mueve la base en la que se apoyaría la palanca. Véase el dibujo del concepto en la Figura 11.

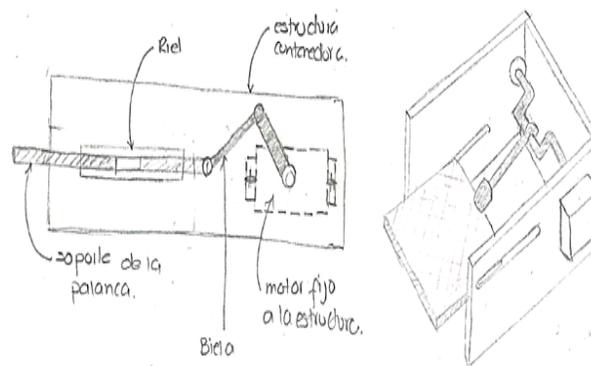


FIGURA 11 SSALP C3 BIELA – MANIVELA

Sistema de iluminación (SI)

De este sistema se requiere que en todo momento brinde iluminación a la cámara, así como la señal de que ciertos sensores se encuentran activados. Se decide utilizar LEDs por su alta eficiencia energética, su vida útil y bajo costo.

Sistema de estructura (SE)

Estructura principal. Es un marco compuesto por una base y pilares. Para cumplir con el requerimiento de que el sistema sea modular se desarrollan dos conceptos de paredes de la caja diferentes pero ambos ocupando esta estructura principal mostrada en la Figura 12.

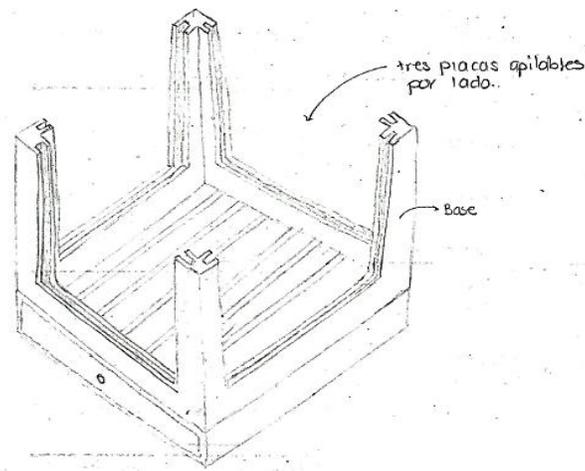


 FIGURA 12 SE ESTRUCTURA PRINCIPAL

Concepto 1: Placas apilables con sistemas integrados (SE C1). Las placas se apilan sobre los rieles de la estructura principal. Contienen fijos a ellas los diferentes sistemas como son SP, SL, SH, etcétera. Véase Figura 13.

Concepto 2: Placas completas con orificios y tapas (SE C2). Se utilizan cuatro placas, donde el tamaño de cada placa equivale a una pared completa de la estructura principal, mientras que los sistemas (SP, SH, SL, etcétera) se acoplan o desacoplan a través de uniones mecánicas en orificios pre fabricados en las paredes (véase Figura 14).

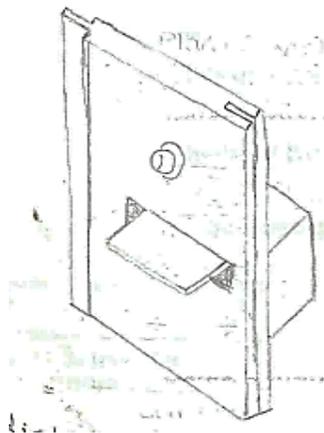


 FIGURA 13 SE C1 PLACAS APILABLES CON SISTEMAS INTEGRADOS

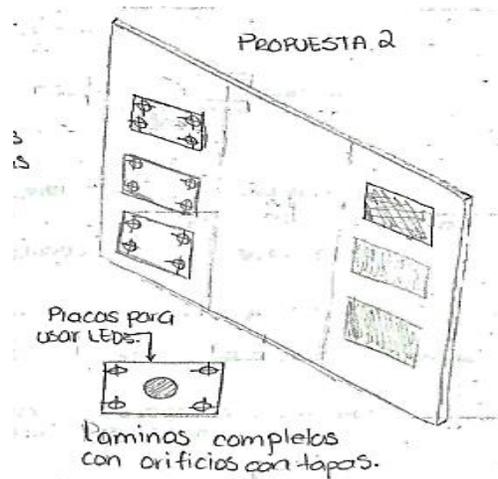


FIGURA 14 SE C2 PLACAS COMPLETAS CON ORIFICIOS Y TAPAS

Sistema de sensado head (SH)

Este sistema debe sensar cuando el ratón busca comida en el comedero, y debe poder estar a una profundidad adecuada de tal forma que pueda saberse si el ratón introdujo la cabeza hasta el fondo o apenas la introdujo en el comedero. Para este sistema se generaran dos conceptos.

Concepto 1: Sensor infrarrojo colector-emisor (SH C1). Las ventajas de este sistema son que es económico, fácil de instalar y programar. Su desventaja es que no es muy preciso debido a que no detecta si el ratón mete la cabeza por completo o solo una porción de ella, o bien, si está entrando o saliendo de la cabina. Esto se debe a que el sensor es digital y con solo detectar que la señal infrarroja ha sido bloqueada en parte, puede mandar una señal falso positivo. Cabe mencionar que el sensor podría ser conectado de tal manera que obtengamos un valor analógico y especificar rangos para saber a qué profundidad introdujo la cabeza el ratón. El dibujo del concepto se muestra en la Figura 15.

Concepto 2: Sensado por cámara (SH C2). Su principal ventaja es su mayor precisión, pues se puede definir perfectamente la profundidad al poder definir la zona de sensado y restringir el área de detección según se requiera para que el error en el sensado sea mínimo. Sin embargo es un sistema más costoso y requiere de visión artificial. El dibujo que representa la idea del concepto se muestra en la Figura 16.

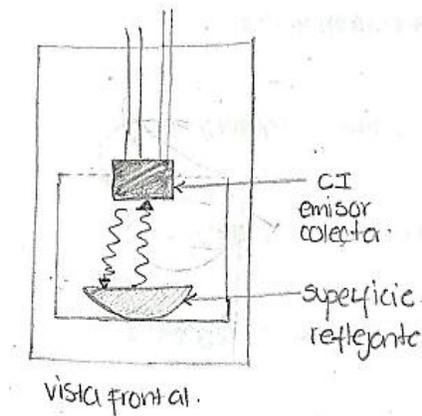


 FIGURA 15 SH C1 SENSOR INFRARROJO COLECTOR – EMISOR

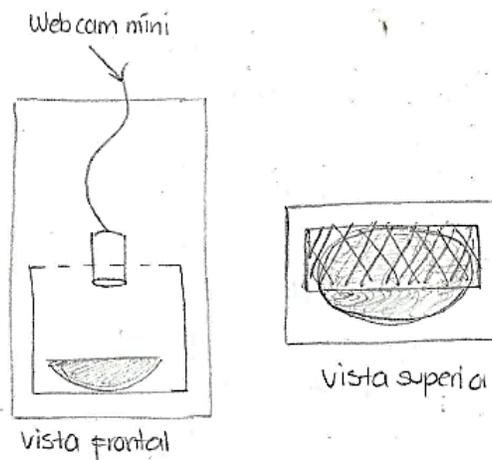


 FIGURA 16 SH C2 SENSADO POR CÁMARA

Sistema de control (SC)

Para este sistema se ejecuta a través de un microcontrolador. Las siguientes propuestas, mostradas en la Figura 17, son los microcontroladores que se consideran para el proyecto.

Cada uno presenta ventajas y desventajas. Arduino por ejemplo, utiliza un microcontrolador AT MEGA, y su lenguaje es de fácil programación, sin embargo, debido a que es un lenguaje de alto nivel, las instrucciones tardan en ejecutarse, y eso se deriva en que los bucles de programación podrían durar demasiado tiempo, teniendo como consecuencia la pérdida de datos proveniente de los sensores.

En el caso del microcontrolador PIC, al ser un lenguaje de programación de nivel medio, cada instrucción tarda menos tiempo en ejecutarse, haciendo que cada bucle se ejecute en un menor tiempo,

además de que es un microcontrolador mucho más económico que el que posee Arduino. Sin embargo el lenguaje de programación no es tan amable y se requiere de una inversión de tiempo mayor.

Finalmente, NoMADA es muy parecido al funcionamiento de Arduino. La ventaja que podría tener sobre este último es que algunas funciones, como los retardos, son ejecutadas con mayor precisión. Sin embargo adolece del resto de las ventajas de Arduino y su costo es mayor al de Arduino.

Propuesta 1: Arduino

Propuesta 2: PIC

Propuesta 2: Nomada

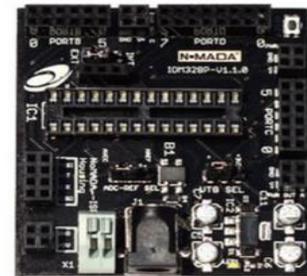
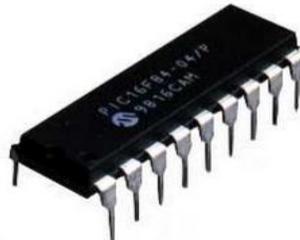


FIGURA 17 SC MICROCONTROLADORES PROPUESTOS

Sistema de sensado lick (SL)

Se decide optar por un circuito hecho a través de transistores, los cuales, utilizan la propiedad de resistencia galvánica que posee el cuerpo del ratón. Al hacer contacto el ratón con su lengua entre los puntos A y B que se observan en la Figura 18, el circuito se cierra. La corriente resultante entra por la base del transistor Q1, y es amplificada por éste. La corriente sale por el emisor de Q1 hacia la base del transistor Q2, el cual actúa como interruptor, al recibir la señal en su base entra en saturación cerrando el circuito del LED D1 y encendiendo éste último; la señal puede entonces ser registrada entre la terminal de la resistencia R2 y el LED D1. Debe considerarse que de la resistencia galvánica del ratón dependerá la corriente que pase a través de él.

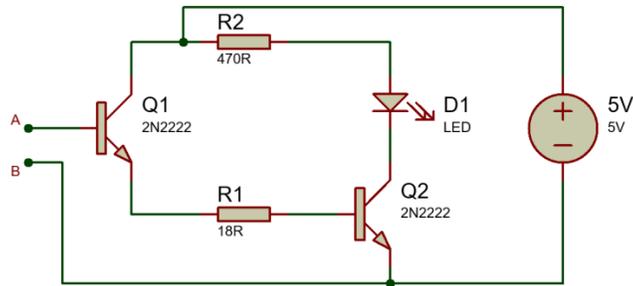


FIGURA 18 SL CIRCUITO POR RESISTENCIA GALVÁNICA

Sistema de alimentación (SA)

Para facilitar el diseño se generan dos subsistemas para SA: *Sistema dosificador de pellets (SDP)* y *Sistema dosificador de agua (SDA)*; como lo indican sus nombres, uno se encarga de dosificar los alimentos sólidos y el otro los líquidos.

Sistema dosificador de pellets (SDP)

Para el SAP se consideran dos conceptos diferentes. El problema principal de este diseño es generar un sistema capaz de alinear y dosificar los pellets de tal forma que se puedan dispensar de uno en uno. Se debe considerar que los pellets utilizados en las rutinas del IFC son los F05684 de la marca Bio Serv; el diámetro de los mismos es de 3 mm [6]. A continuación se describen con mayor detalle los conceptos generados.

Concepto 1: Distribución por embudo (SDP C1). Para este concepto se propone utilizar un embudo el cual reciba los pellets a granel y a través del cuello del mismo, los pellets caigan y se alineen. Posteriormente un disco actuado por un motor permanece bloqueando el cuello del embudo hasta que el SC (dependiendo de la rutina programada) mande la señal de dispensar uno o más pellets, en cuyo caso el motor hace girar el disco y éste, a través de una apertura, permite el paso de un pellet.

Debe tenerse en cuenta que el punto clave de este concepto está en lograr una velocidad adecuada en el giro del disco para que éste permita el paso de un solo pellet a la vez. El dibujo del concepto se muestra en la Figura 19.

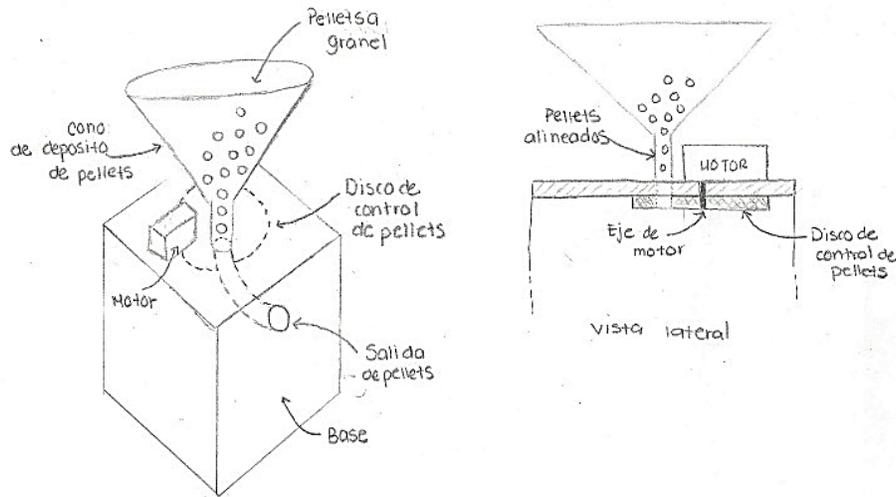


FIGURA 19 SDP C1 DISTRIBUCIÓN POR EMBUDO.

Concepto 2: Distribución por disco (SDP C2). En este caso la distribución de los pellets se logra a través de un disco en cuyo perímetro se encuentran distribuidos cuatro orificios cuyo diámetro es de 4 mm, de tal forma que en cada orificio solo pueda entrar un pellet a la vez. El disco gira con un servomotor y eleva el pellet hasta un orificio, el cual lleva al pellet a través de un conducto y este finaliza en el comedero del ratón. El punto clave de este concepto es que los orificios del disco sean capaces de sostener un solo pellet a la vez. El dibujo que representa la idea del concepto se muestra en la Figura 20.

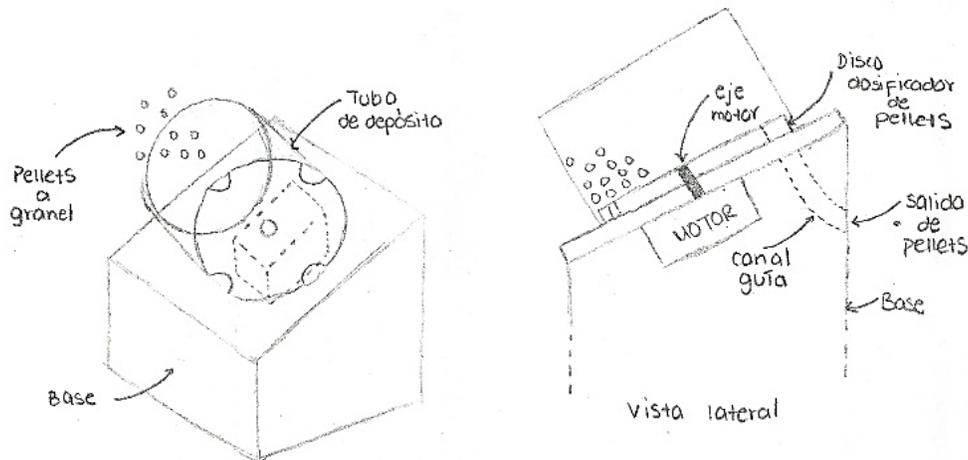


FIGURA 20 SDP C2 DISTRIBUCIÓN POR DISCO

Sistema dosificador de agua (SDA)

Este subsistema dosifica el alimento líquido (comúnmente agua) en forma de gotas, a continuación se exponen los dos conceptos propuestos para el subsistema.

Concepto 1: Distribución por tornillo sin fin (SDA C1). Se propone utilizar un tornillo sin fin para desplazar el émbolo de una jeringa, la cual funge como contenedor del fluido a dosificar. El volumen de fluido dosificado está en función de las vueltas dadas por el tornillo sin fin, por tanto es un sistema altamente preciso. El dibujo del concepto se muestra en la Figura 19.



FIGURA 21 SDP C1 DISTRIBUCIÓN POR EMBUDO.

Concepto 2: Distribución por bomba peristáltica (SDA C2). En este caso la distribución del fluido se plantea a través de la utilización de una bomba peristáltica, la cual está constituida por un motor de DC acoplado a un rotor con cierta cantidad de rodillos, dichos rodillos desplazarán el fluido mediante su avance. Cabe mencionar que para lograr la dosificación de fluido en gotas se requiere de un buen control y bajas velocidades. Al utilizar este sistema se requieren menor cantidad de piezas, a comparación del SDA C1. El dibujo que representa la idea del concepto se muestra en la Figura 22.

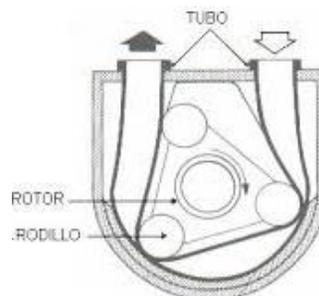


FIGURA 22 SDP C2 DISTRIBUCIÓN POR DISCO.

Sistema de interfaz (SIN)

Se decide utilizar Visual Studio para la programación de la interfaz por ser un entorno de desarrollo integrado, lo cual facilita al programador el desarrollo de aplicaciones, así como su compatibilidad con distintos lenguajes de programación y su capacidad de comunicación con una gran gama de microcontroladores.

2.5 SELECCIÓN DE CONCEPTOS

Una vez generados los conceptos para resolver la función que debe desempeñar cada sistema en que fue dividido el producto a diseñar, se prosigue con la selección del concepto que da la solución más adecuada para cada sistema y subsistema. Para realizar esta selección, se aplica el método de matrices expuesto por el autor Ulrich en la sección *Selección de concepto* de su libro *Diseño del producto* [5].

Como dicta la metodología expuesta por el autor, se seleccionan criterios de diseño a evaluar en cada concepto. Cabe mencionar que sólo se realizan estas tablas para los sistemas que tienen más de un concepto, para los que se tiene sólo un concepto no es necesario, ya que no hay contra que comparar. A continuación se mencionan los criterios de diseño a utilizar para los sistemas SDP, SDA, SE, SP, SSALP y SH.

- **Costo (A):** Costo de los materiales y métodos de manufactura necesarios para realizar el concepto.
- **Manufactura (B):** Facilidad para poder llevar a cabo la manufactura del concepto, la cual considera los métodos de manufactura disponibles y la velocidad con la cual pueden realizarse. Para el caso del SC este criterio de diseño significa la facilidad de programación del microcontrolador.
- **Asequibilidad (C):** Facilidad de obtención de los materiales que requiere el concepto, así como el costo de los mismos.
- **Mantenimiento (D):** Capacidad del sistema de no requerir mayores ajustes después de ser instalado, como cambio de piezas, limpieza, alineación, lubricación, etcétera.
- **Eficiencia de respuesta (E):** Alcanzar su función objetivo en el menor tiempo posible y con el mínimo uso de recursos, considerando posibilidad de que el sistema falle, se bloquee, o tenga problemas de respuesta. Para el caso de SE se considera con el número de pasos necesarios para montar y desmontar un sistema en el SE.
- **Tiempo de respuesta (F):** Velocidad en que el sistema es capaz de llevar a cabo su función objetivo, ya sea sensar, actuar, moverse, etcétera. Para SE se califica con el tiempo necesario para montar y desmontar un sistema en el SE.

- **Tiempo de vida (G):** Duración del sistema considerando sus componentes y la posibilidad de que al fallar alguno, el sistema completo deba ser remplazado.

Para determinar el valor que adquiere cada rubro al momento de la evaluación se presenta la *matriz de comparación por pares* mostrada en la Figura 23 Matriz de comparación por pares. En este método se enfrentan en una tabla los rubros, es decir cada rubro se compara con los rubros restantes, y se asigna el valor de 0 si el rubro que está siendo evaluado es menos importante que el rubro contra el que está siendo evaluado; en caso contrario se coloca el valor de 1.

	A	B	C	D	E	F	G	Suma	Factor
A		0	0	0	1	0	0	1	0.04
B	1		1	0	1	0	1	4	0.17
C	1	0		1	1	1	1	5	0.22
D	0	1	0		0	0	1	2	0.09
E	1	1	1	1		1	1	6	0.26
F	1	1	0	1	0		1	4	0.17
G	1	0	0	0	0	0		1	0.04
								23	1

FIGURA 23 MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES

El factor de peso obtenido de cada renglón de la matriz es la relevancia que posee en la evaluación de los conceptos que son sometidos selección de conceptos. Una vez obtenido este factor de peso de las características a evaluar en cada concepto, se procede a realizar las tablas de evaluación. Dependiendo del desempeño del sistema en cada rubro, éste se evalúa del cero al 10, y la calificación obtenida se multiplica por el factor del peso correspondiente al rubro evaluado. De esta forma, al final, el concepto que tenga mayor calificación, es la mejor opción para aplicar al sistema que se esté evaluando. Las *matrices de selección* de los sistemas evaluados se muestran de la Figura 24a la Figura 30.

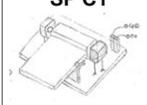
Alternativas					
		SP C1		SP C2	
					
Criterios	Peso	Calf.	Puntos	Calf.	Puntos
A	0.04	5	0.2	9	0.36
B	0.17	6	1.02	9	1.53
C	0.22	7	1.54	8	1.76
D	0.09	9	0.81	9	0.81
E	0.26	8	2.08	9	2.34
F	0.17	7	1.19	8	1.36
G	0.04	6	0.24	8	0.32
			7.13	8.57	

FIGURA 24 MATRIZ DE DECISIÓN SP

Alternativas					
		SH C1		SH C2	
					
Criterios	Peso	Calf.	Puntos	Calf.	Puntos
A	0.04	9	0.36	2	0.08
B	0.17	8	1.36	3	0.51
C	0.22	10	2.2	7	1.54
D	0.09	8	0.72	8	0.72
E	0.26	10	2.6	9	2.34
F	0.17	10	1.7	7	1.19
G	0.04	8	0.32	9	0.36
			9.35	6.78	

FIGURA 26 MATRIZ DE DECISIÓN SH

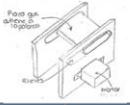
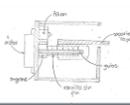
Alternativas							
		SSALP C1		SSALP C2		SSALP C3	
							
Criterios	Peso	Calf.	Puntos	Calf.	Puntos	Calf.	Puntos
A	0.04	6	0.36	6	0.24	8	0.32
B	0.17	6	1.02	6	1.02	8	1.36
C	0.22	6	1.32	5	1.1	8	1.76
D	0.09	7	0.63	8	0.72	9	0.81
E	0.26	7	1.82	7	1.82	9	2.34
F	0.17	7	1.19	8	1.36	9	1.53
G	0.04	7	0.28	8	0.32	9	0.36
			6.57	6.65		8.57	

FIGURA 25 MATRIZ DE DECISIÓN SSALP

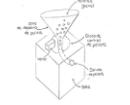
Alternativas					
		SA C1		SA C2	
					
Criterios	Peso	Calf.	Puntos	Calf.	Puntos
A	0.04	8	0.32	8	0.32
B	0.17	8	1.36	7	1.19
C	0.22	7	1.54	9	1.98
D	0.09	9	0.81	9	0.81
E	0.26	8	2.08	7	1.82
F	0.17	9	1.53	9	1.53
G	0.04	9	0.36	9	0.36
			8	8.01	

FIGURA 27 MATRIZ DE DECISIÓN SDP

		Alternativas			
		SE C1		SE C2	
Criterios	Peso	Calf.	Puntos	Calf.	Puntos
A	0.04	9	0.36	7	0.28
B	0.17	9	1.56	7	1.19
C	0.22	8	1.76	8	1.76
D	0.09	9	0.81	9	0.81
E	0.26	9	2.34	5	1.3
F	0.17	10	1.7	3	0.51
G	0.04	8	0.32	9	0.36
		8.85		6.21	

FIGURA 28 MATRIZ DE DECISIÓN SE

		Alternativas					
		SC C1		SC C2		SC C3	
Criterios	Peso	Calf.	Puntos	Calf.	Puntos	Calf.	Puntos
A	0.04	8	0.32	9	0.36	8	0.32
B	0.17	10	1.7	6	1.02	10	1.7
C	0.22	10	2.2	10	2.2	9	1.98
D	0.09	10	0.9	10	0.9	10	0.9
E	0.26	9	2.34	10	2.6	9	2.34
F	0.17	8	1.36	9	1.53	8	1.36
G	0.04	9	0.36	8	0.32	9	0.36
		9.26		9		9.04	

FIGURA 29 MATRIZ DE DECISIÓN SC

		Alternativas			
		SDA C1		SDA C2	
Criterios	Peso	Calf.	Puntos	Calf.	Puntos
A	0.04	4	0.16	4	0.16
B	0.17	5	0.85	10	1.7
C	0.22	6	1.32	10	2.2
D	0.09	9	0.81	8	0.72
E	0.26	10	2.6	10	2.6
F	0.17	10	1.7	10	1.7
G	0.04	10	0.4	9	0.36
		7.84		9.44	

FIGURA 30 MATRIZ DE DECISIÓN SDA

Se destacan sombreados, en cada una de las matrices, las calificaciones de los conceptos que, a través de este método, resultaron ser los más aptos para ser implementados en cada uno de los sistemas evaluados. Se aprecia que los sistemas SL, SI, y el SIN no se incluyen en esta evaluación, debido a que solo se genera un concepto para la solución de su funcionabilidad (expuestos en la sección anterior).

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE DETALLE

Preámbulo

Partiendo de las propuestas de solución generadas en el capítulo dos, se realiza un análisis de las diferentes estructuras, con el fin de corregir cualquier falla de diseño, obteniendo medidas para cada sistema y materiales a utilizar, así como una propuesta final de diseño para hacer la primera prueba en prototipo.

Objetivo del capítulo

Exponer de forma detallada cada uno de los sistemas realizados para el proyecto y describir las diferentes alteraciones realizadas a los conceptos primeramente propuestos.

Alcances del capítulo

Análisis mecánicos realizados, resumen de simulaciones de las secciones mecánicas y electrónicas que verifiquen el buen funcionamiento de los sistemas.

3.1 DISEÑO DE DETALLE PARA EL PROTOTIPO 1

Una vez considerados los conceptos obtenidos con anterioridad se prosigue a seleccionar materiales y asignar una configuración a cada sistema. En esta primera creación de prototipos, se centra la atención en los sistemas SL, SH, SP y SE, por considerarlos de mayor relevancia, esto debido a que éstos sistemas son los encargados de cumplir con la mayoría de las necesidades expuestas en la Tabla 1 Requerimientos y su nivel de importancia cuyo nivel de importancia está marcado como de tipo 1.

Sistema de estructura

Se decide generar este sistema primero debido a que gran parte del resto de los sistemas se monta sobre esta estructura. Con base en el MAI [7] se decide que las medidas de la estructura que soporta el resto de los sistemas, debe ser de 230 mm x 230 mm aproximadamente.

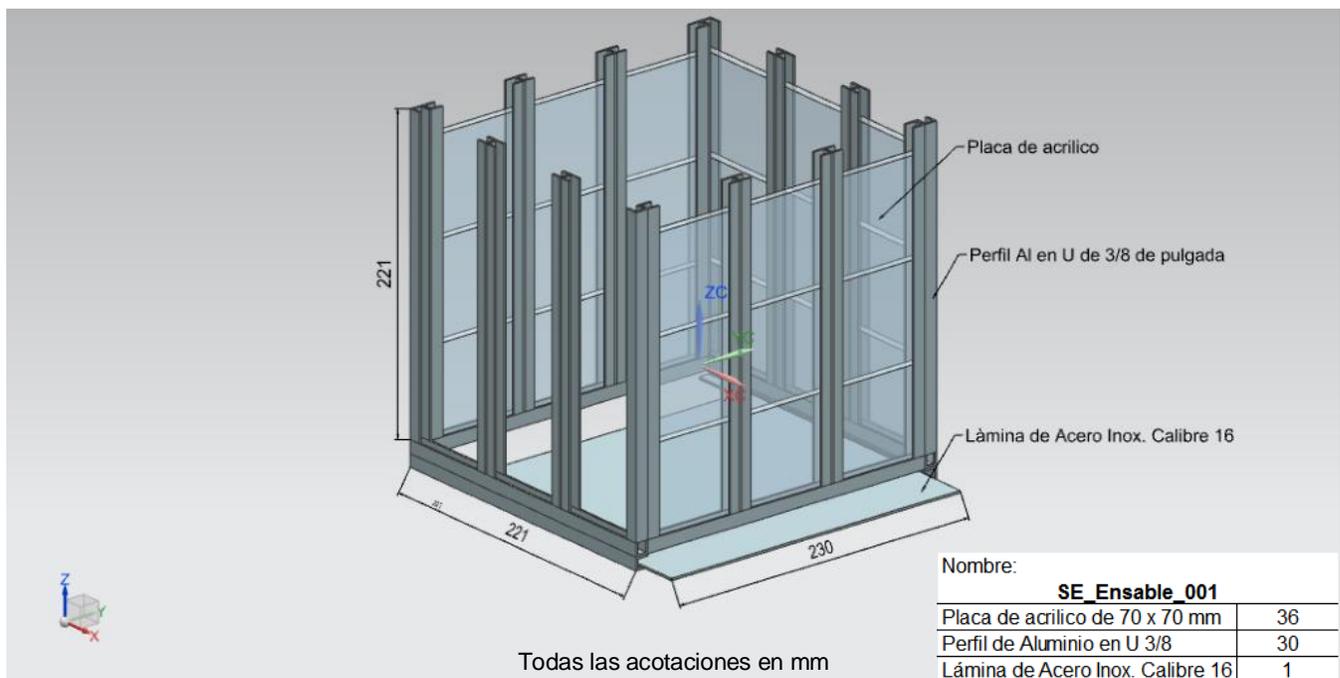


FIGURA 31 DIBUJO ISOMÉTRICO DEL SE

Con la finalidad de evitar la manufactura de partes en la medida de lo posible, se decide utilizar perfiles comerciales. Debido al sistema de rieles que se proponen para el concepto (véase Figura 12), el tipo utilizado es en U y el material es aluminio 6061.

El perfil comercial es en U cuadrado de 9.525mm (3/8 de pulgada) de lado. Considerando sus medidas se realiza el dibujo por computadora de la estructura que se muestra en la Figura 31, esto con

el fin de asignar medidas detalladas, disposición de los perfiles y el número de piezas a utilizar, para adquirir la cantidad de material a utilizar.

Debido al diseño de configuración elegido, se decide que la forma más sencilla de fijar los perfiles entre si es a través de unión adhesiva. Como parte adicional al sistema de estructura se decide agregar una tapa que cierra de forma completa el sistema.

También puede observarse en la Figura 31 que el concepto de las paredes modulares de la estructura es modificado descartando los dos conceptos generados con anterioridad y sustituyéndolos por un sistema de paredes deslizables de acrílico, las cuales pueden entrar y salir entre los rieles de los perfiles, para cambiar la disposición de las mismas conforme a la configuración que el usuario requiera. Esta modificación facilita la manufactura de las piezas y la manipulación de las mismas por parte del usuario. Las placas de acrílico a utilizar tienen una medida de 70 x 70 x 6 mm.

Sistema de palanca

Se propone que la palanca se fabrique por medio de impresión 3D, el resto de la estructura de la palanca se propone que sea de acrílico de 2 mm de espesor.

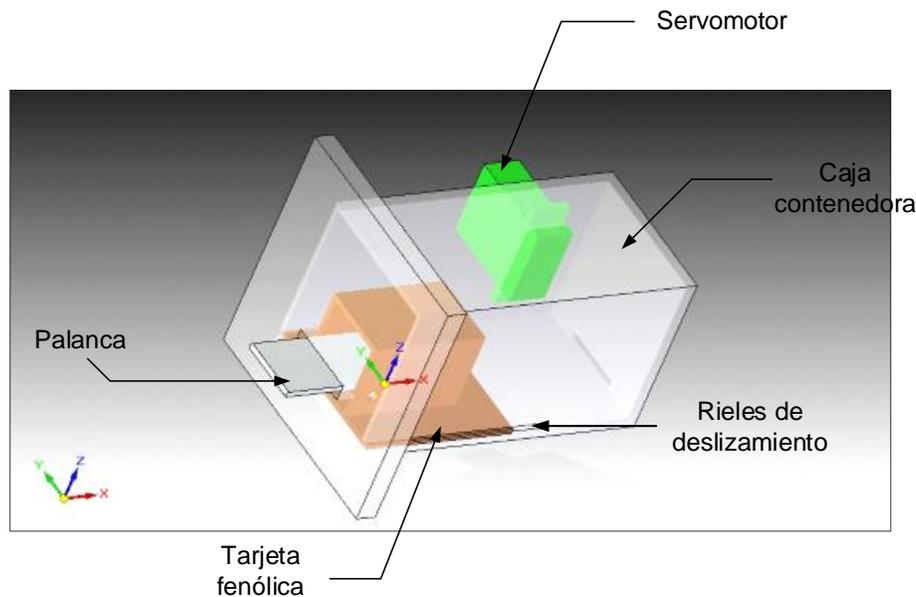


FIGURA 32 DIBUJO ISOMÉTRICO DEL SP

Para este primer prototipo se utiliza como actuador un servomotor MG990 con un par de magnitud de 17.652 N•cm, el cual se encarga de mover la manivela para sacar y meter la palanca. La palanca

misma es montada sobre un balancín acoplado a una tarjeta fenólica, donde se suelda el circuito de control del sensor encargado de detectar si la palanca es activada.

Para este primer prototipo se decide utilizar en un inicio como sensor de activación de la palanca un sensor de herradura H21A1, de tal forma que la palanca corta el as del sensor con la sección que hace de contra peso (ver Figura 8).

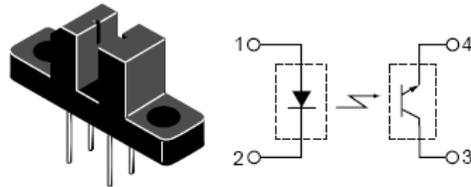


FIGURA 33 ISOMÉTRICO DEL SENSOR H21A1 Y ESQUEMA INTERNO. RECUPERADO DE: WINAVR.SCIENCEPROG.COM

Sin embargo la forma en L de la palanca y la estreches entre el emisor y receptor del sensor (3 mm) impiden que la palanca salga con facilidad, por ello se decide utilizar una configuración distinta, utilizando de forma separada el emisor y el receptor. Para el emisor se utiliza un LED infrarrojo de propósito común y como receptor se utiliza un fotodiodo (Figura 34) debido a su velocidad de respuesta.



EMISOR

RECEPTOR

FIGURA 34 LED INFRARROJO Y FOTODIODO CON SU DIAGRAMA DE CONEXIÓN. RECUPERADO DE: WWW.CIRCUITOSELECTRONICOS.ORG Y WWW.FOROSDEELECTRONICA.COM

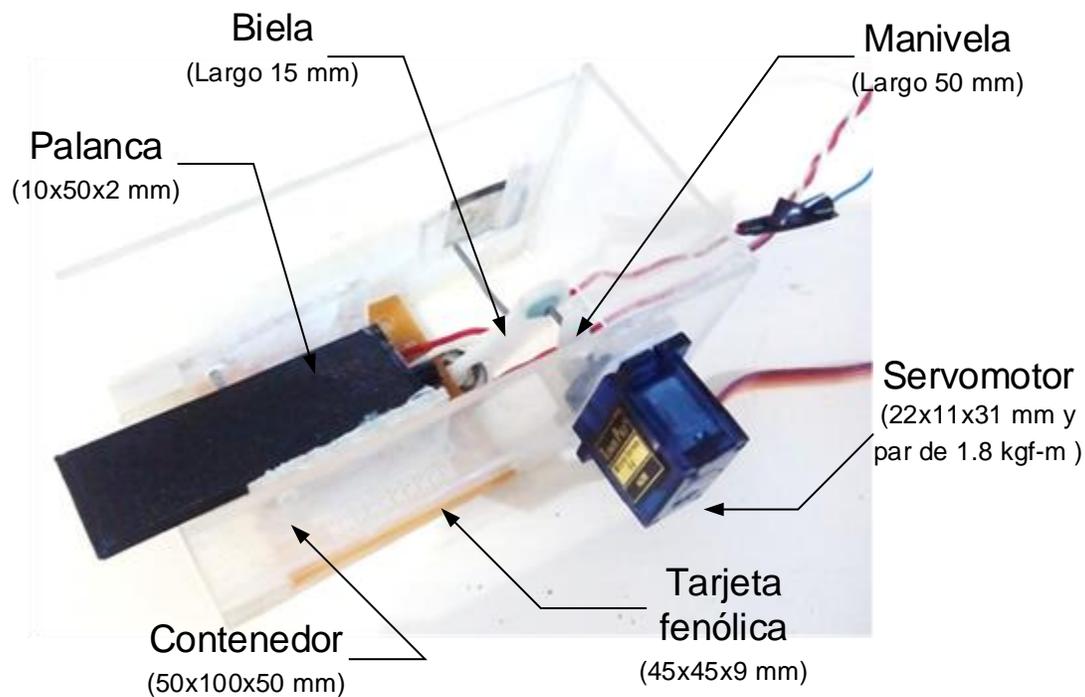


FIGURA 35 PROTOTIPO 1 SP

En la Figura 35 puede observarse el primer prototipo físico realizado, donde se ve aplicada la configuración de la palanca y su montaje en la tarjeta fenólica, así como el sistema de biela-manivela utilizado para su actuación.

Sistema de lick y sistema head

Aunque el SL y el SH son considerados para la tarea de diseño como sistemas independientes, es necesario aclarar que en el diseño de configuración deben ir juntos, pues el SH sensa cuando el ratón busca alimento y el SL va montado al comedero del animal. En la Figura 36 se muestran fotografías correspondientes al primero prototipo del SL y SH.

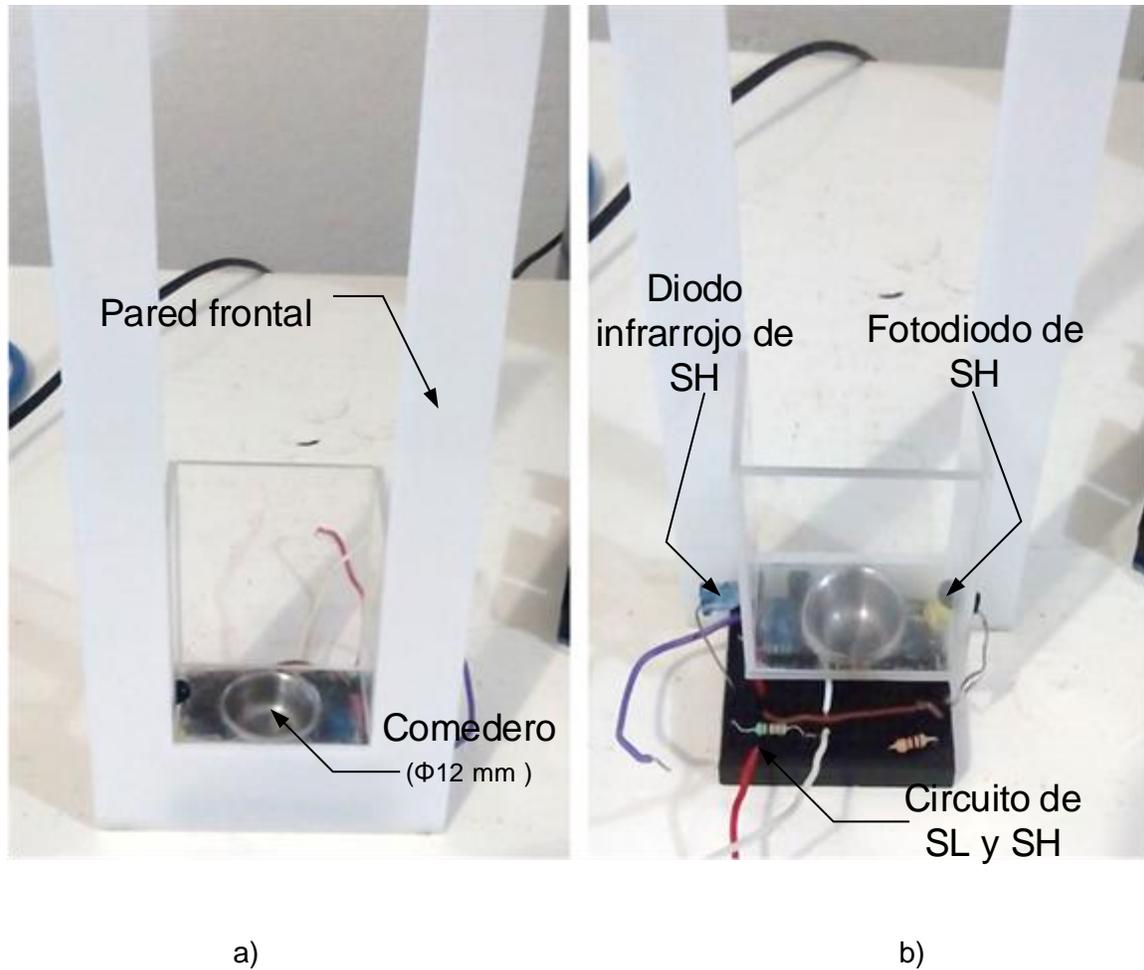


FIGURA 36 PROTOTIPO 1 SL Y SH. A) VISTA FRONTAL. B) VISTA TRASERA.

Para este primer prototipo, conforme a la selección de conceptos se realiza el circuito mostrado en la Figura 18 SL Circuito por resistencia galvánica, montado sobre una protoboard de forma provisional. Para el concepto del SH, en un inicio se pretende utilizar el sensor infrarrojo de tipo emisor-receptor CNY70 (Figura 37), sin embargo este tipo de sensor, es para distancias cortas (3mm). A menos que el ratón prácticamente rozara el sensor con la cabeza, no habría detección adecuada de la señal.

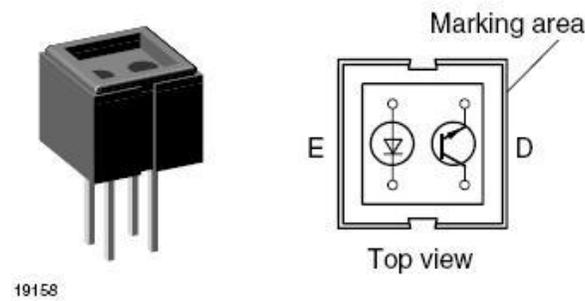


FIGURA 37 DIBUJO DEL SENSOR CNY70 Y ESQUEMA INTERNO. RECUPERADO DE: *JMNLAB.COM*

Debido a lo anterior se mantiene el concepto seleccionado, sin embargo se decide utilizar un LED infrarrojo y un fotodiodo alineados (mismos de la Figura 34), cada uno a cada lado del comedero, con el fin de formar un sensor de barrera cuya señal se interrumpe cuando el ratón se interpone entre el emisor y receptor.

Ambos circuitos son montados en la misma protoboard de forma provisional con el fin de probar el funcionamiento de los mismos. El material del plato se considera de acero inoxidable con el fin de garantizar durabilidad, ya que es una zona en constante contacto con los dientes del ratón, que son capaces de producir abrasiones graves en los materiales y corrosión debido al pH de su saliva.

Las dimensiones del plato se asignan según el MAI [7]; la medida final de la profundidad del plato varía 3 mm por encima del valor ideal debido a que la pieza fue comprada buscando medidas aproximadas a las adecuadas, y no manufacturada a medida. Las medidas de la cabina son de 40x70x 20 mm. La distancia entre el LED infrarrojo y el fotodiodo es de 40 mm aproximadamente, esto a una altura de 10 mm.

3.2 RESUMEN DE LAS PRUEBAS CON LOS PRIMEROS PROTOTIPOS

Al mostrar los primeros prototipos al cliente del IFC, se encuentran diversas fallas a corregir respecto a la funcionalidad de los sistemas para ser utilizados como equipo dentro de un experimento real en el instituto.

Para el SE se encontrará que la forma de los perfiles permite la acumulación de suciedad y excremento en las ranuras de los mismos, lo cual dificulta la limpieza adecuada del equipo y contribuye

a la corrosión del material. La placa en la cual deben caer los excrementos o desechos no puede extraerse de forma simple y no se capta la suciedad de forma adecuada, lo que permite que la suciedad quede acumulada debajo de toda la estructura. Finalmente el hecho de que la ranura del perfil es de 6 mm afecta en el costo del material, ya que el grosor de las placas de acrílico para las paredes debe ser de esa magnitud, lo que incrementa los costos del prototipo. Otro inconveniente es el método de unión utilizado, ya que se utiliza adhesivo lo que contribuye a la inestabilidad del SE.

Como inconvenientes del SL se tiene que la corriente final de 198 mA que pasa a través del ratón por medio del lengüetazo es demasiado grande, y muestra perturbaciones en las señales adquiridas por la fibra óptica en el cerebro del ratón, además la profundidad del plato puede impedir la fácil adquisición del alimento por parte del ratón, generando estrés y una posible alteración en los resultados del estudio de condicionamiento operante.

Mientras tanto, para el SH no se garantiza un sensado preciso de la introducción de la cabeza del animal, esto se debe a que el ángulo de emisión del LED infrarrojo varía en 20°, lo que provoca que el diámetro al final del as fuera de 10 mm, lo cual no garantiza que el animal haya metido la cabeza hasta la posición donde estaba el centrado el LED infrarrojo, sino unos milímetros antes, lo cual también repercute en los resultados del estudio.

En cuanto al SP hay fallas mecánicas, pues la manivela se atora al no deslizar de forma adecuada por los rieles, además de existir una singularidad en el mecanismo: cuando la manivela forma un ángulo de 90° con la biela el sistema se atasca, forzando al servo. Otra de las fallas encontradas es que el sistema de palanca está montada sobre el la tarjeta del circuito utilizado para el sensado del palanqueo, esto arriesga al sistema al existir la posibilidad de que el ratón acumule agua en la palanca y ésta moje el circuito. Por otra parte la respuesta de fotodiodo no es lo suficientemente rápida (es mayor a 10 ms) y pudiendo contribuir a la pérdida de datos.

3.3 DISEÑO DE DETALLE PARA EL PROTOTIPO 2

Considerando las fallas de los primeros prototipos de realiza una segunda iteración en el diseño de los sistemas SE, SP, SH y SL. Se muestra a detalle cada una a continuación.

Sistema de estructura (SE)

Como primera modificación al diseño, se decide que para mejorar tanto la estética como la funcionalidad de los postes que sostienen las paredes, se propone utilizar perfiles cuadrados de 12.7 mm (1/2 pulgada) de lado, a los cuales se les maquina un riel de 3.175 mm (1/8 pulgada) por el cual se

deslizan las paredes (véase Figura 40); esto permite el uso de acrílico de 3 mm para las paredes, el cual es una medida comercial y permite disminuir el costo del SE.

Para facilitar la manufactura, así como disminuir el peso de la estructura (la cual es constantemente transportada) y el costo, se propone utilizar perfiles cuadrados de aluminio, y para unirlos a la caja de acero inoxidable se opta por una unión mecánica permanente a través de remache ciego (remache pop). Esto le proporciona estabilidad a los perfiles encargados de sujetar las placas donde están contenidos los diferentes sistemas y asegura una separación idónea entre perfiles logrando un correcto deslizamiento de las placas. Cabe mencionar que la caja es armada a partir de una placa de acero inoxidable calibre 18 AISI 316, posteriormente doblada y unida mediante soldadura eléctrica. El acero AISI 316 se elige debido a sus propiedades anticorrosivas superiores, y su ductilidad la cual es útil en el proceso de doblado que es requerido y la soldadura utilizada para cerrar las aristas de la caja.

En este caso se omitió la colocación de una tapa en el modelo, puesto que es un obstáculo para realizar un experimento adecuado (en opinión del cliente), cabe mencionar que el modelo permite la adición posterior de una por superposición sobre las caras superiores de los perfiles.

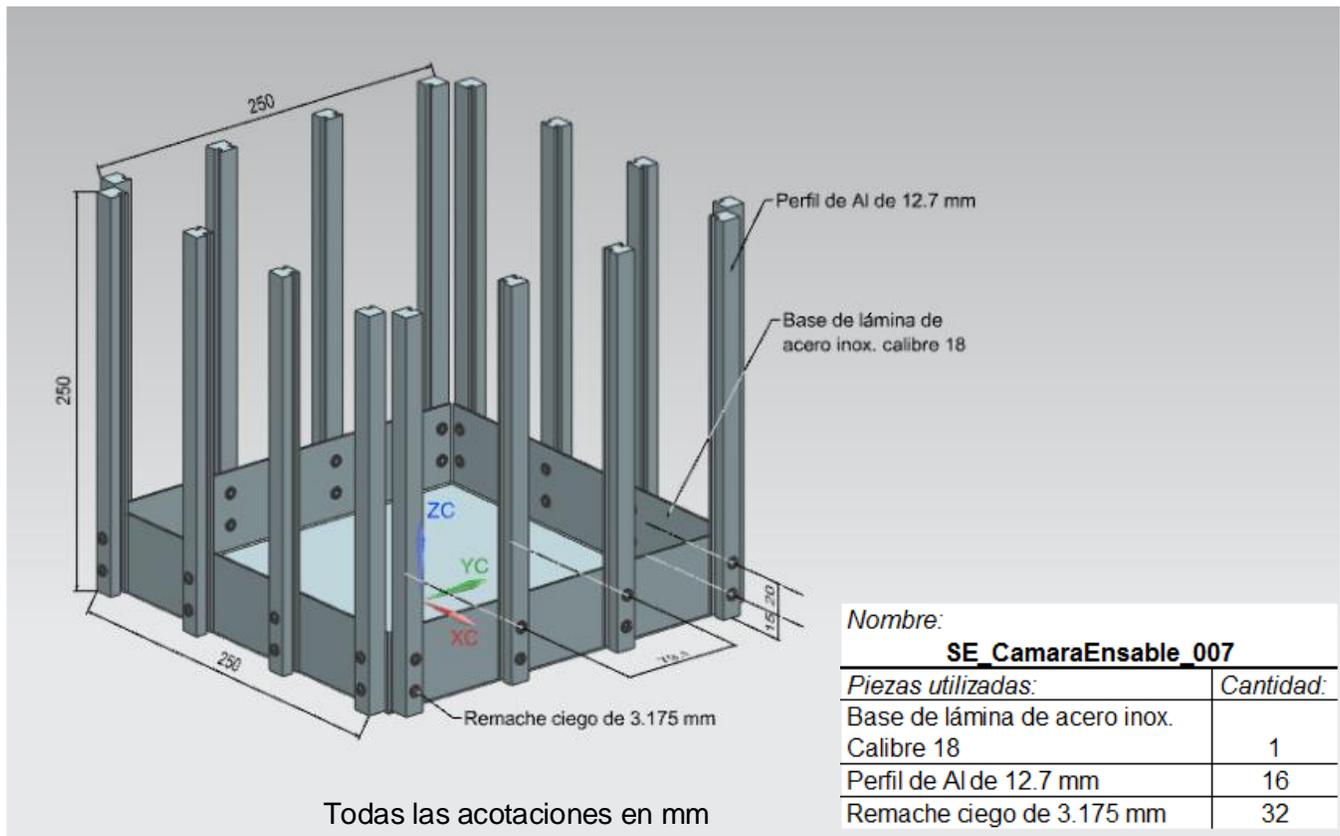


FIGURA 38 DIBUJO ISOMÉTRICO DEL SE

Para evitar la acumulación de suciedad en los rieles maquinados se decide colocar los perfiles en el exterior de la caja hecha de acero inoxidable cuyas medidas son de 250 x 250 x 50 mm. Para compensar los 50 mm que ocupa la pared de la caja de acero inoxidable en el perfil, la longitud de este último se extiende hasta 250 mm (50 mm más que la longitud de los perfiles del prototipo 1).

Las dimensiones de las placas de acrílico para las paredes se modifican .Las paredes de 70x70x6 mm del prototipo 1 se cambian por paredes de tres dimensiones distintas:

- Pared simple: 70x50x3 mm
- Pared doble: 70x100x3 mm
- Pared completa:70x250x3 mm

De esta forma pueden apilarse hasta cinco placas simples por espacio entre rieles. Las placas simples se utilizarían para sistemas pequeños (como SI), las dobles para sistemas de tamaño mediano (como SP) y las completas para sistemas que requieran todo el largo del espacio (como SH y SL).

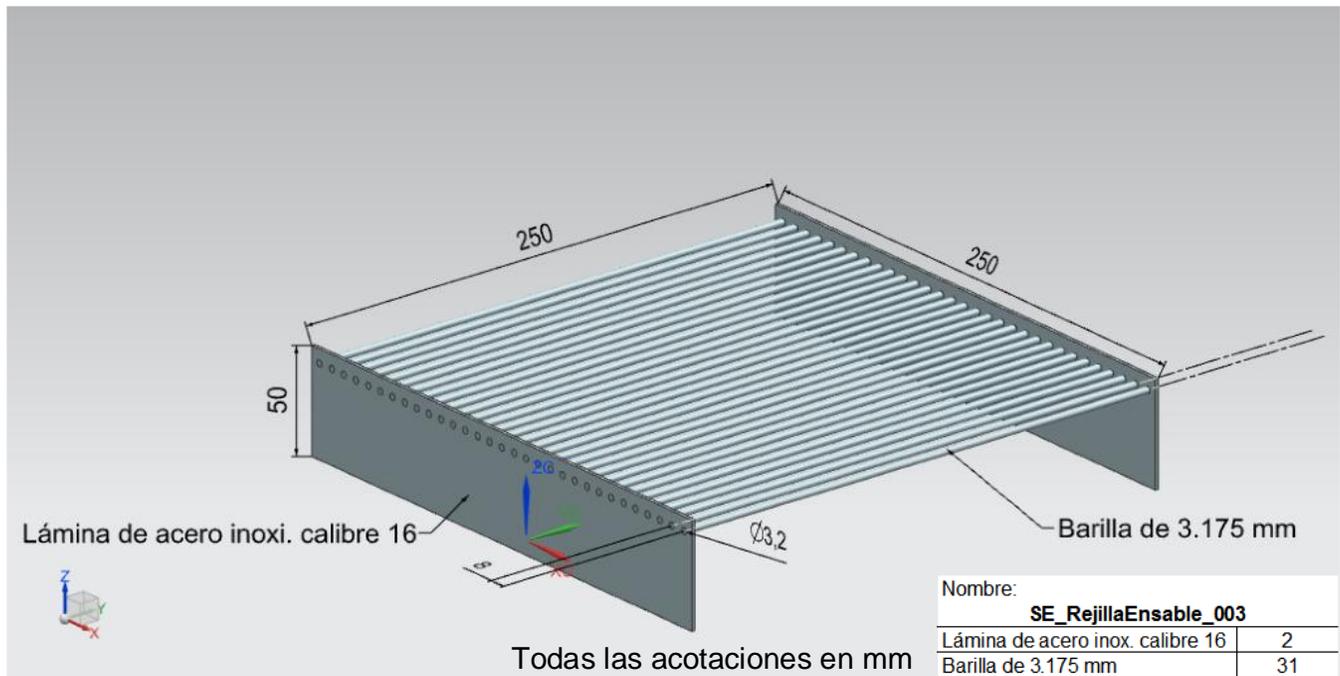


FIGURA 39 DIBUJO ISOMÉTRICO DE LA REJILLA PARA EL SE

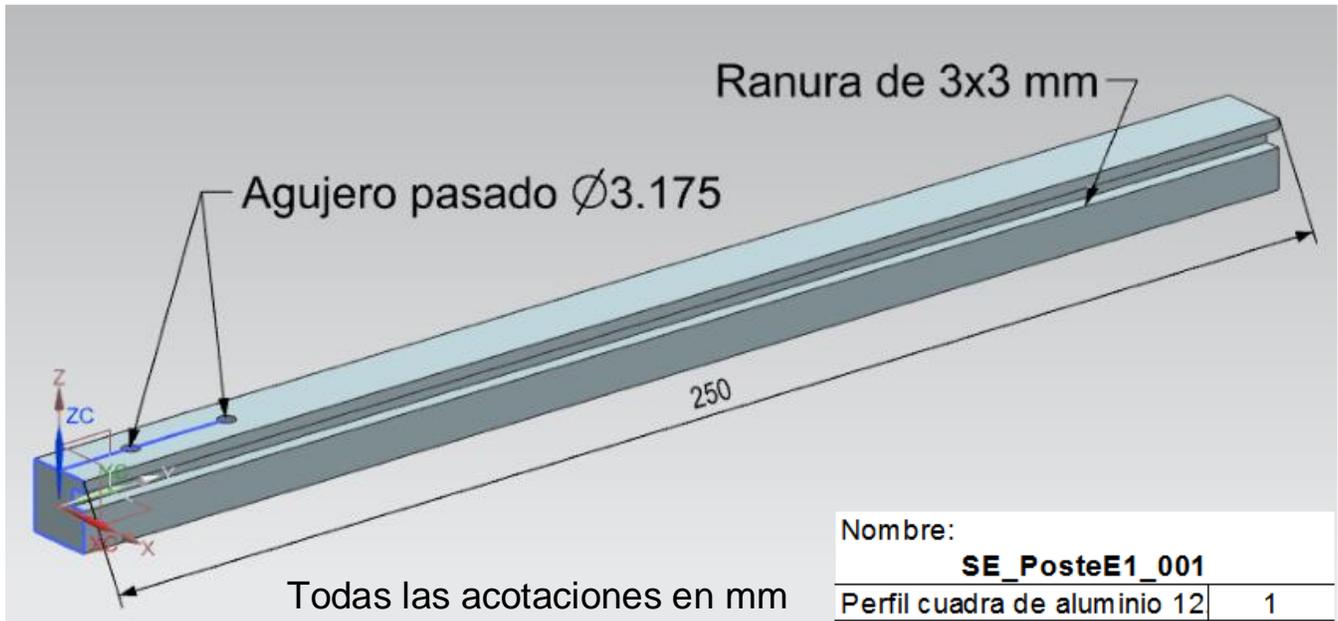


FIGURA 40 DIBUJO ISOMÉTRICO DE POSTE MAQUINADO PARA SE

Adicional a ello se anexa una puerta que permite la fácil limpieza al interior de la caja de acero inoxidable y una rejilla de acero inoxidable AISI 316 (Figura 39) que eleva al ratón fuera de la caja de acero inoxidable y permite que los desechos del animal caigan dentro de la misma; posteriormente la rejilla puede retirarse para limpiar la caja de acero inoxidable. En la Figura 38 puede observarse el dibujo por computadora del ensamble entero de la estructura.

Sistema de palanca (SP)

Para este caso el concepto de sensado de accionamiento de la palanca y el actuador lineal para mostrarla y ocultarla, se modifican. Con respecto al SSALP, se considera más apropiado el uso de un mecanismo de yugo escocés, el cual convierte la rotación del servomotor en traslación de la palanca; el yugo escoces desliza sobre unos rieles que permiten el deslizamiento adecuado del SP montado sobre el SSALP, los cuales también brindan soporte al sistema.

El desarrollo del concepto resulta en la generación de un mecanismo completo el cual sirve a su vez de actuador lineal, soporte para el circuito de sensado de activación de la palanca y de balancín para la misma. El dibujo isométrico se muestra en la Figura 41.

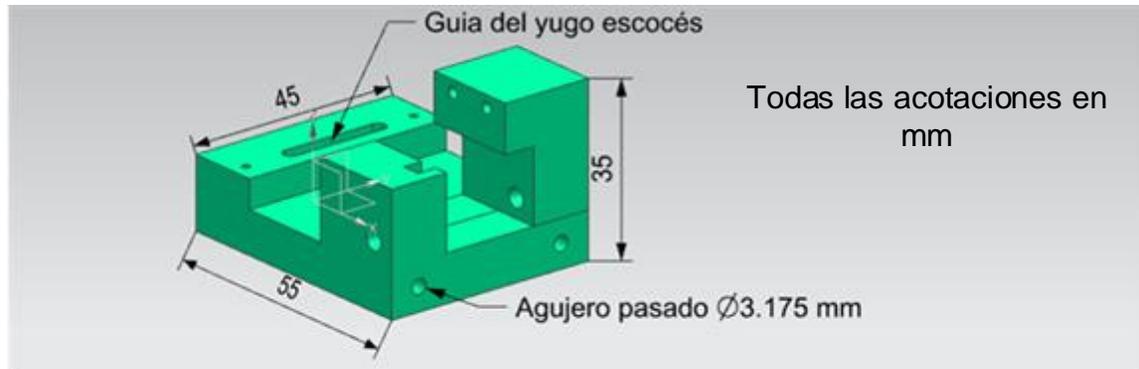


FIGURA 41 DIBUJO ISOMÉTRICO DEL YUGO ESCOCÉS PARA SP

El material que se utiliza es nylamid verde (MR), debido a que la carga de aceite que contiene reduce su fricción, lo cual permite aplicarlo al SSALP sin el uso de rodamientos lineales para los rieles sobre los que corre, y su alta resistencia al desgaste previene el daño en el ojo de la pieza para el yugo escocés [8]. El nylamid verde es usado en la creación de rodamientos que no pueden ser fácilmente lubricados como en el caso del SP, que no puede ser constantemente manipulado en su interior para evitar daños al circuito.



FIGURA 42 MICROSWITCH D2HW-22 OMROM

Como sensor de activación de la palanca se propone un microswitch de palanca lisa D2HW-22 mostrado en la Figura 42, el cual opera a 5 a 12 V y de 1 mA a 2 A, para ser activado requiere una fuerza de 0.5 N, o bien 50 gf [9]. El peso de los ratones manejados dentro de los experimentos del IFC está entre el rango de 20 a los 25 gramos [10]. Un ratón que goza de buena salud y sin ninguna atrofia muscular es capaz de producir 78.5 mN por cada gramo de su peso [11], por lo tanto:

$$\left(78.5 \times 10^{-3} \left[\frac{N}{g}\right]\right) (20[g]) = 1.57[N] = 152.96 [g.f]$$

De esta forma se concluye que el ratón es capaz de activar el microswitch al momento de jalar la palanca. La palanca se manufactura en lámina de acero inoxidable calibre 18 AISI 316 con la dimensiones según el MAI [7]; adicional a lo acordado con anterioridad y a petición del cliente se adiciona a la palanca un sensor de fuerza para conocer la diferencia entre cada activación de palanca realizada por el ratón. Para el sistema de yugo escoces se utiliza un servomotor MG996R [12] con un par de 10kg.cm, y engranes de plástico, los cuales permiten prolongar la durabilidad del motor. En la Figura 43 se muestra el ensamble de los mecanismos que conforman el SP. Adicional a ellos se incluye una caja para cubrir el mecanismo y la placa frontal para introducir dentro de los rieles de la cámara; estas piezas se aprecian en la imagen del ensamble de SP de la Figura 44.

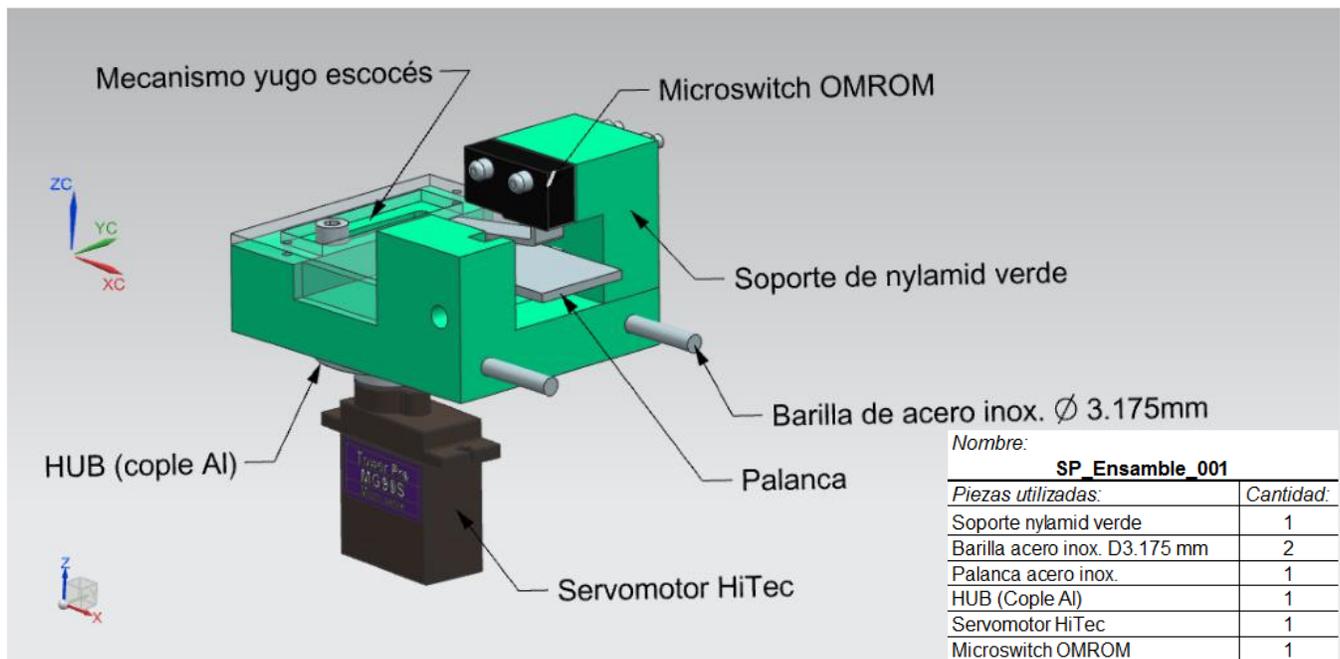


FIGURA 43 MODELO ISOMÉTRICO DE SP

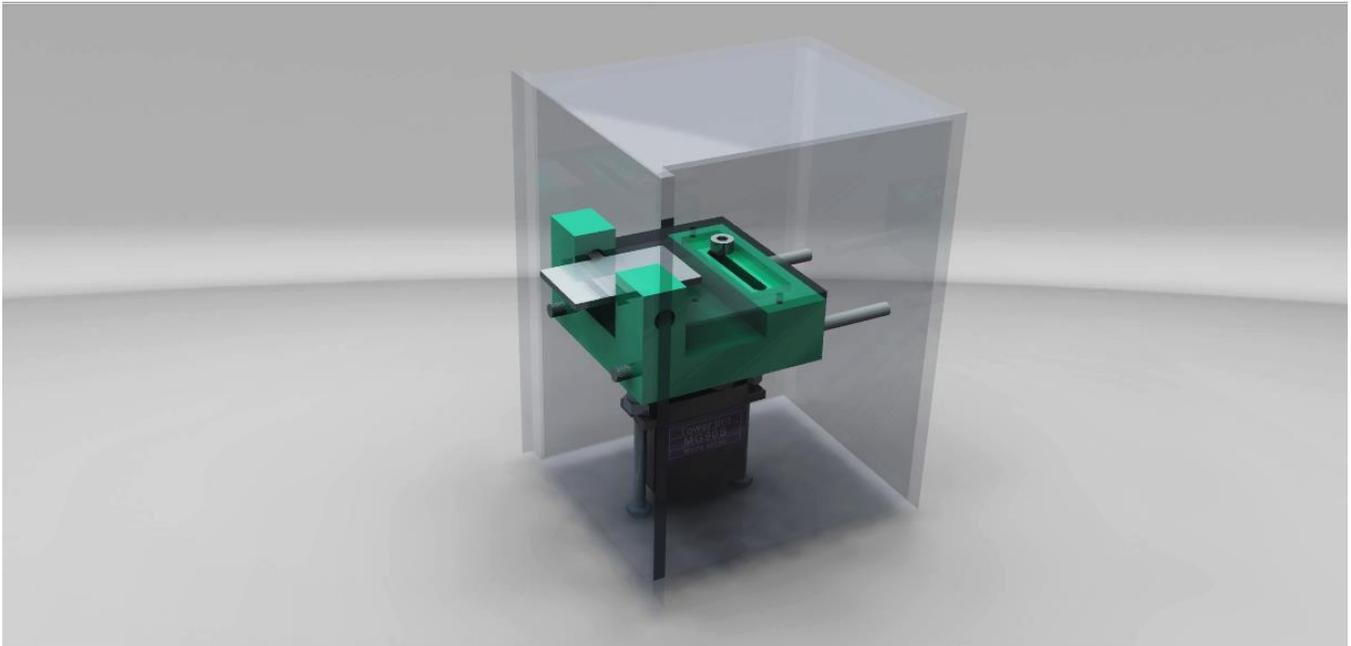


FIGURA 44 IMAGEN DEL ENSAMBLE DE SP

Sistema de lick y sistema de head (SL) (SH)

Para evitar el paso de corriente a través del animal se decide modificar la forma de sensor el lengüetazo. Se decide utilizar un microfotodetector, capaz de detectar objetos desde 1.8 mm de diámetro, y dado que la lengua del ratón alcanza los 2 mm [13] es posible detectarla a través de este método.



FIGURA 45 MICROFOTODETECTOR EE-SX95 OMROM. RECUPERAD DE: WWW.DIGIKEY.COM

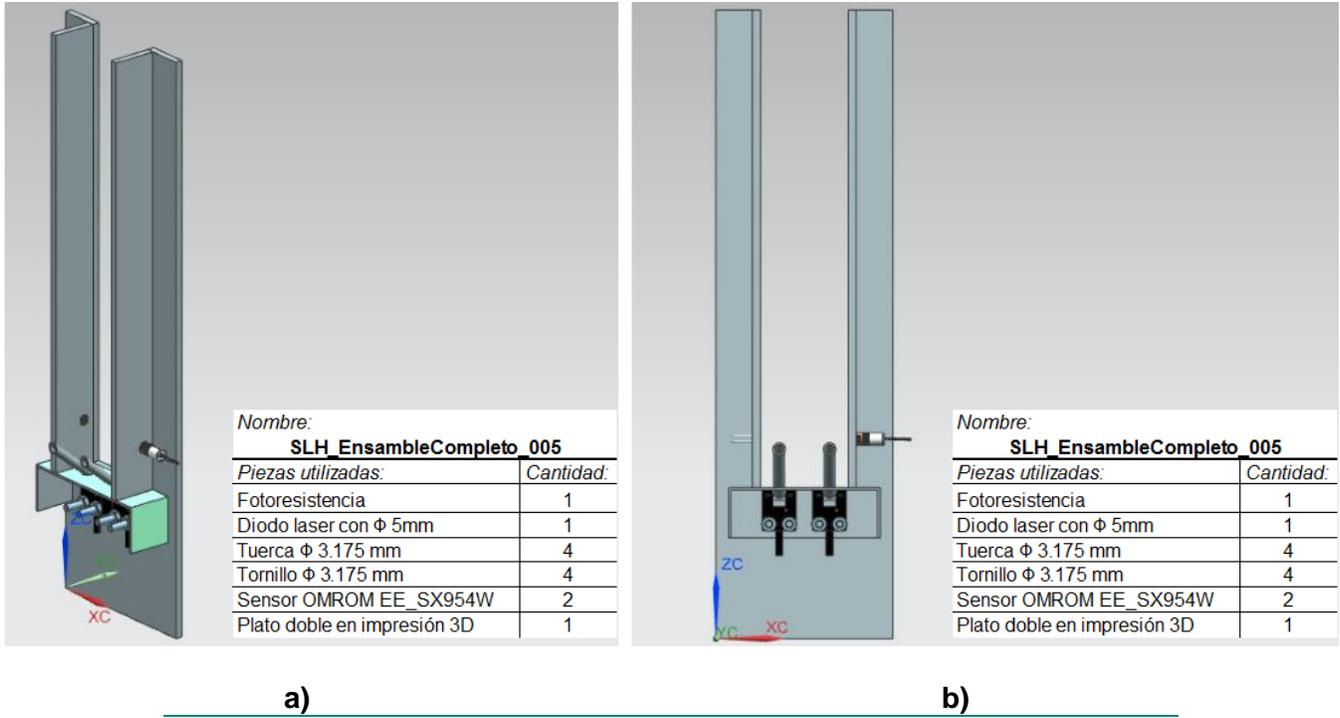


FIGURA 46 DIBUJO DEL SL Y SH. A) ISOMÉTRICO. B) VISTA TRASERA

El microfotossensor a utilizar es el EE-SX95 [14] de la compañía OMRON mostrado en la Figura 45, debido a la capacidad de medición que tiene (objetos de 1.8mm), la rapidez de respuesta de 1 kHz y las dimensiones, las cuales ayudan al diseño de configuración de todo el sistema. El arreglo se puede ver en la Figura 48 y Figura 49.

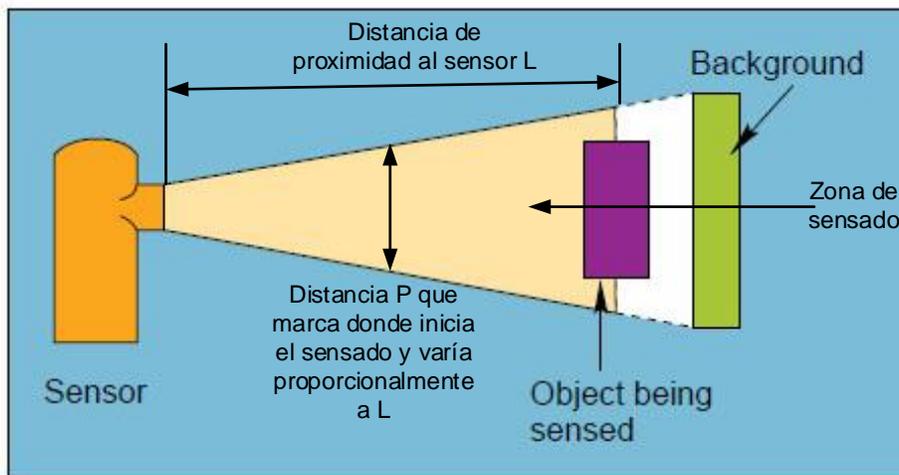


FIGURA 47 ESPECTRO DE DETECCIÓN DE UN SENSOR DIFUSO

Para SH se omite utilizar cualquier tipo de sensor infrarrojo de tipo difuso, pues sus ángulos de espectro de sensado varían conforme la distancia a la que esté posicionado el sensor; puede observarse este efecto en la Figura 47. Esto implica que el sensado de la cabeza del ratón cambia dependiendo de cuán lejos del sensor introduzca la cabeza. Al considerar lo anteriormente explicado, se opta por el uso de un diodo laser, el cual emite un as de luz que es detectado por un LDR. Si bien del LDR se obtiene una señal analógica, es posible calibrarla considerando la luz que emite el SI. En la elección del tipo de LDR debe considerarse uno que responda en un tiempo igual o menor de 10 ms; se recomiendan los tipos PGM5616D, PGM5626D o similar pues su tiempo de respuesta es de 10 ms [15].

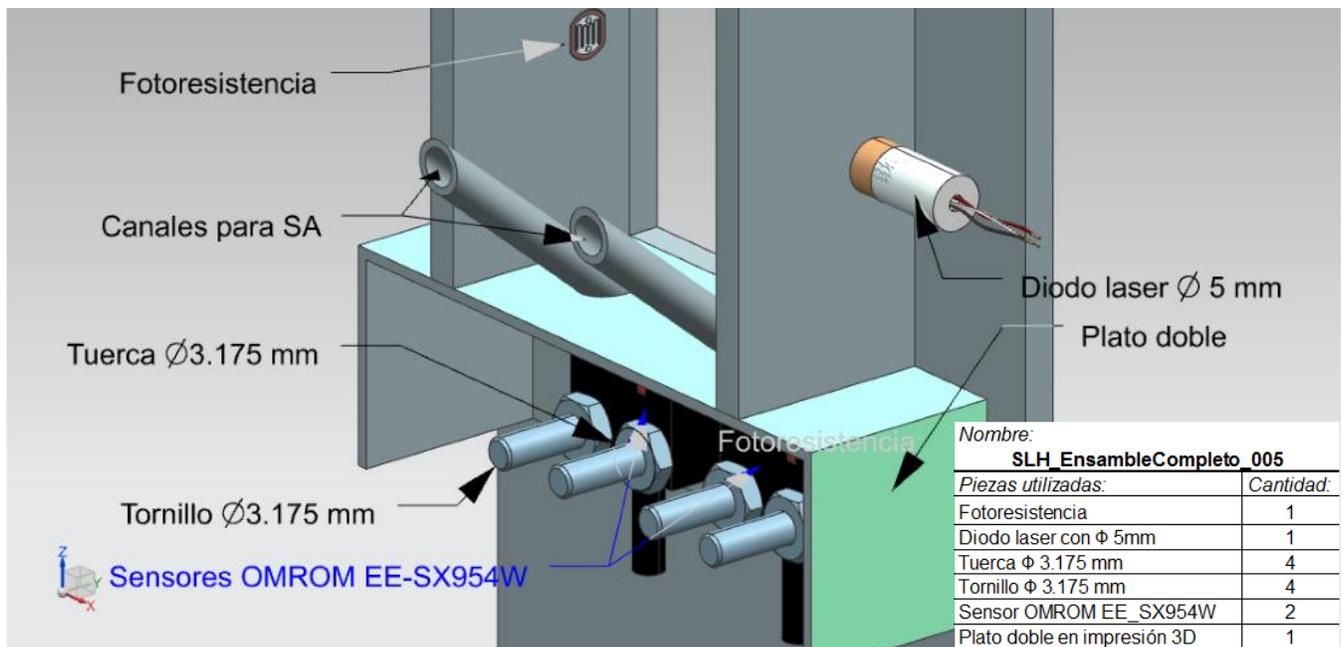


FIGURA 48 DETALLE DE LA PARTES DEL SISTEMA QUE COMPONEN SL Y SH

Para el comedero, debido a las medidas pequeñas que el plato debe tener por el sensor EE-SX95 del SL, se decide utilizar la técnica de impresión 3D para su manufactura. El diseño incluye dos canales, uno para cada plato, que se conecten a SA para que a través de ellos se vacíen los pellets y el agua (por medio de SDP y SDA) a los platos respectivamente. Puede verse el comedero en la Figura 48, en la Figura 49 y en la Figura 50.

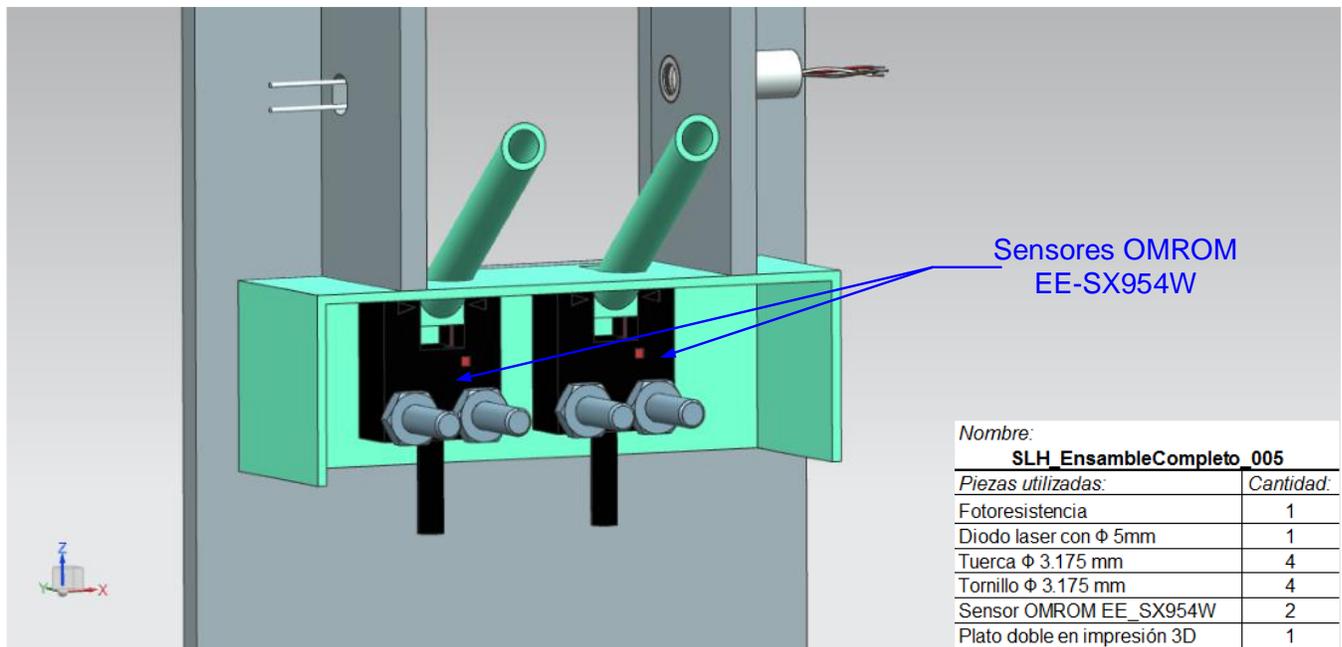


FIGURA 49 DETALLE DE LA PARTE TRASERA DEL COMEDERO DONDE SE ENCUENTRAN LOS SENSORES DE SL

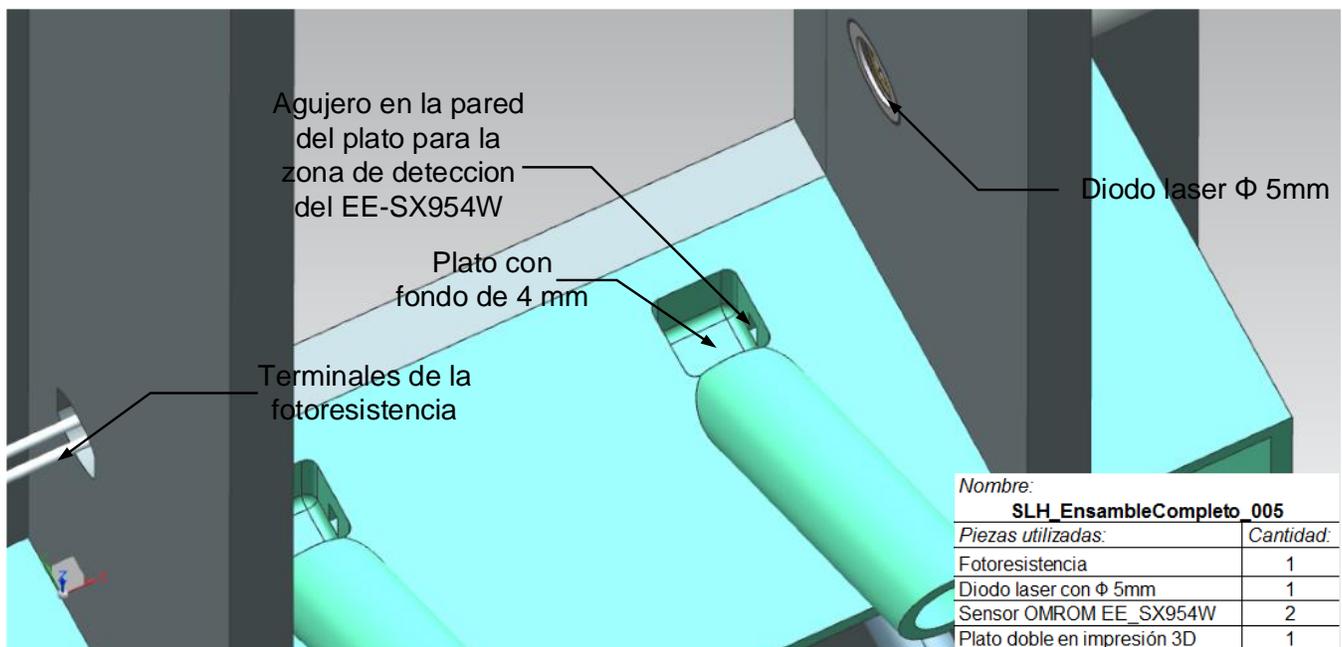


FIGURA 50 MODELO POR COMPUTADORA DE COMEDERO PARA EL SL

Sistema de alimentación

Al ser un sistema compuesto por dos subsistemas, se explica a continuación de forma independiente el diseño de detalle de los dos subsistemas (SDP y SAP).

Sistema de dosificador de pellets (SDP)

El dispensador de pellets es un aparato automatizado. Si dispensa o no, depende completamente de las instrucciones dadas por el encargado del experimento. En caso de que se encuentre habilitado el dispensador, cada vez que el sujeto presiona la palanca del SP (según la configuración del usuario), el dispensador de pellets comienza a funcionar y deja caer en el comedero un solo pellet, al hacer girar un disco el cual trasporta el pellet por un agujero con una cierta profundidad llevándolo al orificio de salida.

Este modelo no tiene indicación de *suministro vacío* como algunos modelos comerciales, lo que indica que el dispensador no tiene más pellets para suministrar, por lo que el usuario tiene que revisar continuamente si es necesario suministrar más pellets al SDP. El dispensador de pellets funciona también cada vez que el investigador presiona el interruptor de dispensar en el panel de control del SI. El micro servo SG90S [16] (Figura 51 a)) se utiliza para poder girar el disco y poder transportar los pellets.

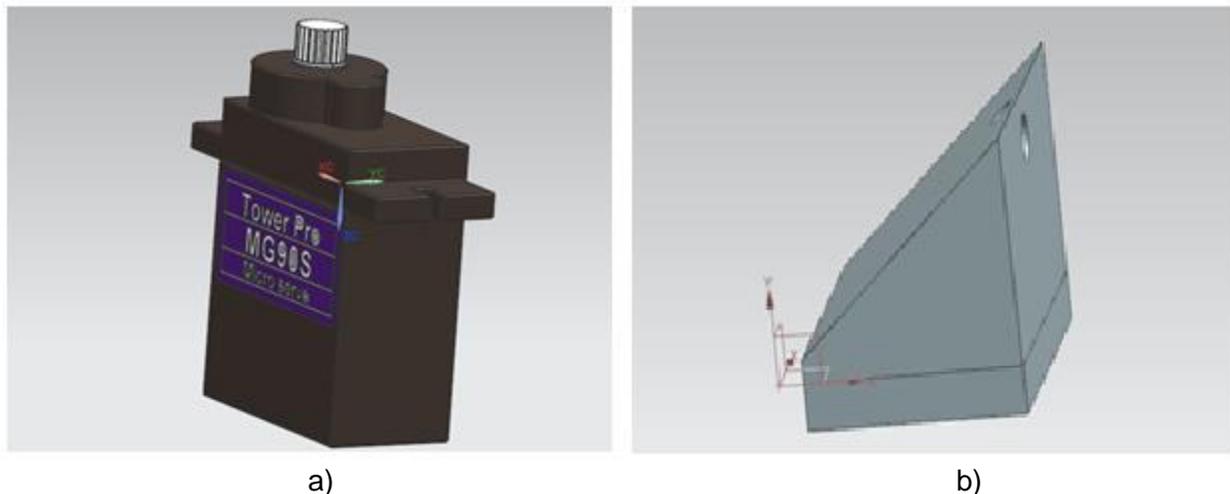


FIGURA 51 DIBUJO ISOMÉTRICO DEL SERVO MOTOR (a) Y LA BASE (b) PARA EL SDP

La base (Figura 51 b)) tiene un ángulo de 45° para poder sostener los demás componentes con orificio para poder guiar a los pellets y poder alimentar al ratón. El disco con un diámetro de 60 mm

ayuda a trasportar los pellets en las muescas de 4 mm, esto con el apoyo del servomotor transporta los pellets al comedero.

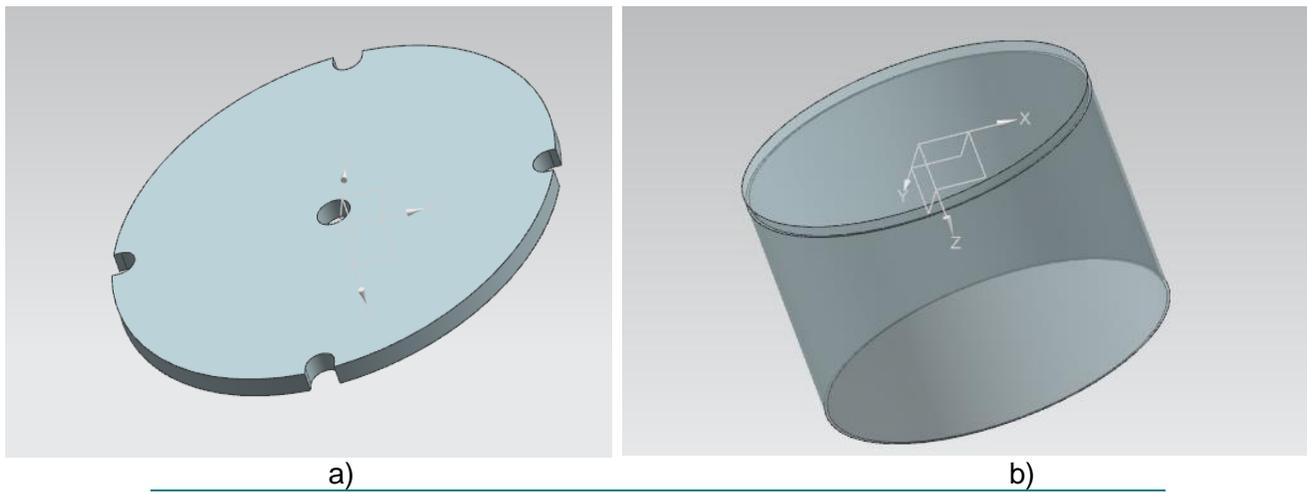


FIGURA 52 DIBUJO ISOMÉTRICO DEL DISCO DISTRIBUIDOR (a) Y EL DEL CILINDRO CONTENEDOR (b) PARA SDP

Cabe mencionar que él disco mostrado en la Figura 52 a) permite que el sistema sea modular y adaptable, pues si se coloca otro disco en el cual se mantenga el diámetro de 60 mm pero se modifique el diámetro de los orificios donde cae el pellet, es posible distribuir pellets de diferente gramaje. El cilindro que se muestra en la Figura 52 b), sirve para poder contener los pellets y hacer que el disco encuentre cada uno de ellos y se coloquen en los orificios para transportarlos.

En la Figura 53 se muestra el dispensador armado completamente. Es importante mencionar que el contenedor no se debe encontrar lleno debido a que podrían caer los pellets al barreno de la base y por tanto alimentar al sujeto sin desearlo.

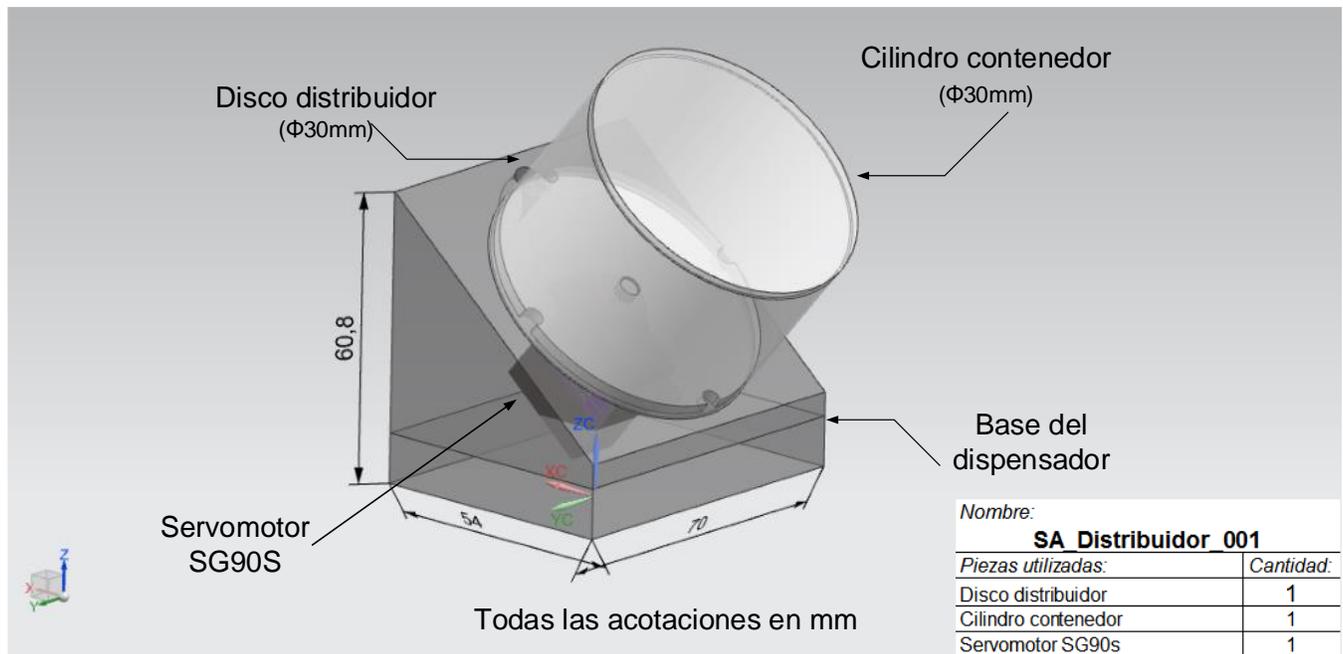


FIGURA 53 DIBUJO POR COMPUTADORA DEL SDP

Sistema de dosificador de agua (SDA)

Para este sistema se propone una bomba peristáltica a 12 V con manguera de silicón; la bomba se muestra en la Figura 54. La cual tiene la capacidad de dispensar desde 0.5 ml [17], lo cual es justo el volumen que la cámara debe entregar cada vez que el SC indique que debe entregar agua.



FIGURA 54 BOMBA PERISTÁLTICA A 12 V DE ANALYTICAL LABORATORIES. IMAGEN RECUPERADA DE: WWW.BANGGOOD.COM

La bomba trabaja con un motor de corriente directa, el mecanismo completo de la bomba entrega de 0 a 100 ml por minuto [17], lo cual implica que debe estar activada por 300 ms para dispensar 0.5 ml; dicho tiempo se programa en el SC.

Sistema de iluminación (SI)

En este caso se diseñan dos tipos de señaladores, uno con un solo LED ámbar y un segundo con tres LEDs de colores rojo, verde y ámbar; este último como ejemplo de una configuración diferente. En el caso del LED para House Light se implementa el mismo diseño que para los señaladores. Cada diseño se muestra en los dibujos de la Figura 55.

El diseño implica una placa de acrílico de 70x50mm con 3mm de espesor, en las cuales se perforan barrenos pasados con el diámetro adecuado para insertar el tipo de LED deseado (de 5mm para los señaladores y de 10mm para el caso del House Light). Adicional se utiliza un LED Holder acorde al tipo de LED a insertar.

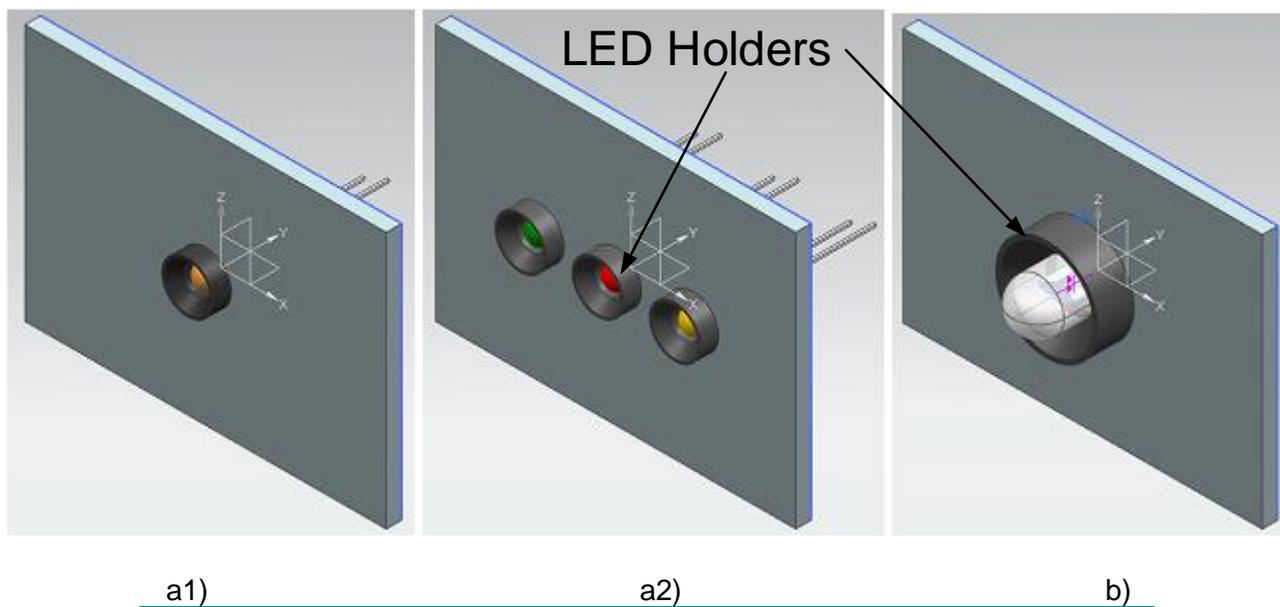


FIGURA 55 DIBUJOS ISOMÉTRICOS DE SEÑALADORES (a1 y a2) Y HOUSE LIGHT (b) DE SI

En la Figura 56 se presenta un dibujo isométrico del ensamble completo de la CCO, donde aparecen los sistemas SH, SL, SI y SP montados sobre el sistema SE

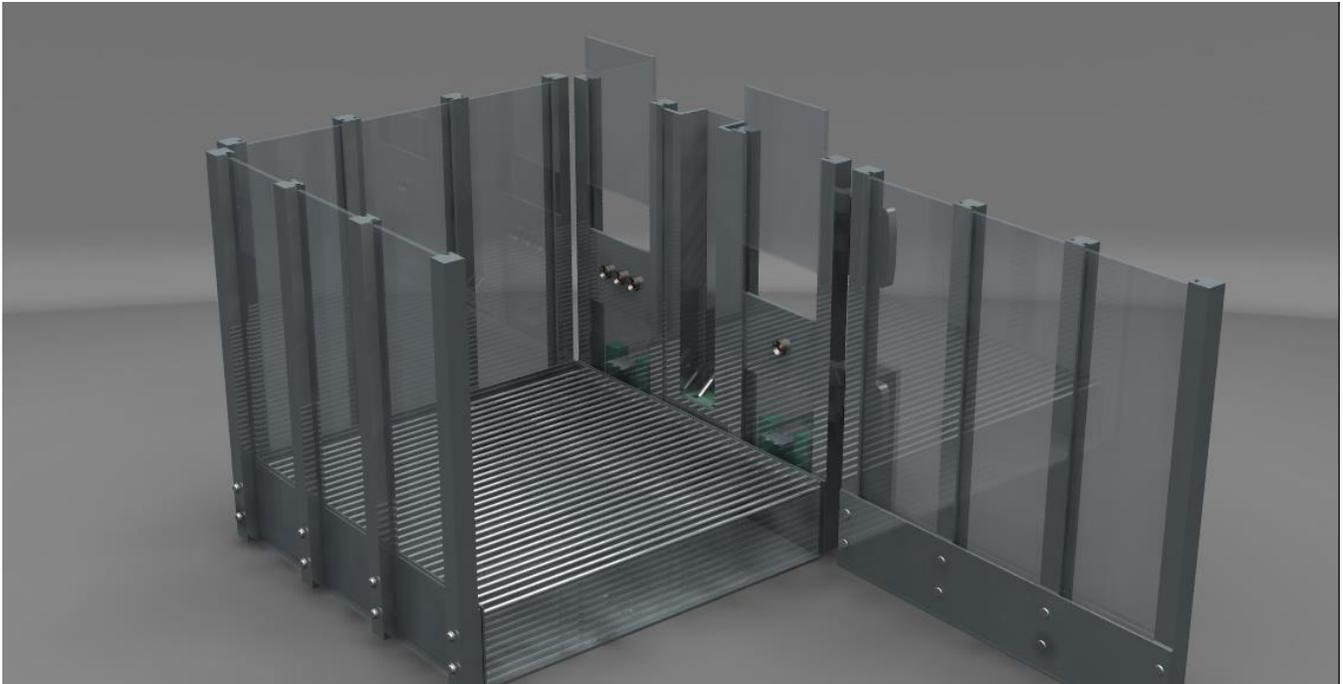


FIGURA 56 DIBUJO ISOMÉTRICO DEL ENSAMBLE DE LA CCO

Sistema de Interfaz (SI)

El SI es un sistema, el cual sólo es tangible para el usuario a través de la pantalla que interpreta la configuración que el mismo ingresa. Sin embargo la instrumentación aplicada a la CCO no podría ser leída, analizada y desplegada si no se contara con el SI.

El SI cuenta con la lógica requerida para interpretar lo que el SC detecta por medio de los sensores dentro de la CCO. También se encarga de almacenar los datos sustraídos por el SC en un archivo digital, asegurando así un posterior análisis de datos, siendo capaz de mostrar el tiempo real en que sucedieron las acciones del sujeto estudiado.

En este caso se utilizó Visual Studio como software de desarrollo y C# como lenguaje de programación.

FIGURA 57 VENTANA PRINCIPAL DEL SI.

- a) *Guardar resultados en.* Carpeta en donde se guardan los resultados obtenidos durante la prueba.
- b) *Archivo de configuración.* Se puede buscar en el equipo las distintas configuraciones creadas por el usuario para así reutilizarlas.
- c) *Comunicación serial.* Se selecciona el puerto utilizado por el microcontrolador.
 - i. *Actualizar.* En caso de que se cambie de puerto o que no sea encontrado el microcontrolador.
 - ii. *Test.* Utilizado para verificar la conexión entre el computador y el microcontrolador.
- d) *Nombre del experimento.* Nombre del archivo en que se guardan los datos obtenidos durante el experimento.
- e) *Archivo de configuración.* Nombre con que se guarda la configuración creada por el experimentador; pueden ser utilizadas nuevamente en caso de ser necesario. En caso de que se ingrese información en este campo, b) no debe contener datos.

- f) *Iluminación en la cámara.* Si se selecciona "Si" la luz de la cámara permanece encendida durante el experimento. En caso de que se seleccione "No" se desactiva el campo "Refuerzo negativo" y el subcampo "Tiempo apagado" debido a que la luz se encuentra previamente desactivada.
- g) *Tiempo del experimento.* Se refiere a la duración del experimento, dado en minutos llegando hasta "60" min.
- h) *Palanca.* Se desea introducir la palanca a la CCO.
- i) *¿Cuántos palancazos debe dar?* En caso de seleccionar "No" en h), este campo no aplica. Se refiere a la cantidad de palancazos que debe dar el ratón antes de que sea dosificado el alimento.
- j) *Refuerzo negativo.* El refuerzo negativo consiste en apagar la luz de la cámara o houselight de la CCO debido a que el ratón no realiza la tarea deseada por el experimentador (accionar la cantidad de palancazos requeridos en un tiempo dado). El tiempo se cuantifica en segundos.
 - I. *Tiempo encendido.* Tiempo en el cual el ratón debe realizar los palancazos requeridos.
 - II. *Tiempo apagado.* En caso de no cumplir la tarea durante el tiempo encendido, se programa un tiempo de apagado como refuerzo negativo, esto sin superar la duración total del experimento.
- k) *Sensor de fuerza.* En caso de que en el campo h) se seleccione la opción "No", este campo se desactiva. Si se selecciona "Si" en este campo, se detectará la fuerza ejercida sobre dicho sensor sólo si se detecta un palancazo.
- l) *Encender el LED con palanca activa.* El usuario puede decidir entre las opciones "Si" / "No". El LED sirve para indicarle al ratón que la palanca se encuentra disponible.
- m) *Pellets a dispensar.* Pueden dosificarse hasta 3 pellets en caso de que el ratón haya cumplido la rutina o la cantidad de palancazos seleccionados en el campo i).
- n) *Mililitros a dispensar.* Pueden dosificarse los mililitros seleccionados por el usuario, en caso de que el ratón haya cumplido la rutina o la cantidad de palancazos seleccionados en el campo i).
- o) *Sensar lengüetazos.* Contabiliza cualquier intervención en el sensor. Detecta si la lengua del ratón ingresa al plato (en caso de no haber pellet). En caso de que haya un pellet en el plato, cuenta desde el momento en que cae al plato hasta el momento en el que es retirado.
- p) *Sensar los ingresos al plato.* Contabiliza cualquier intervención del sensor. Detecta si la cabeza del ratón ingresa a la cabina y su tiempo de permanencia en la misma.

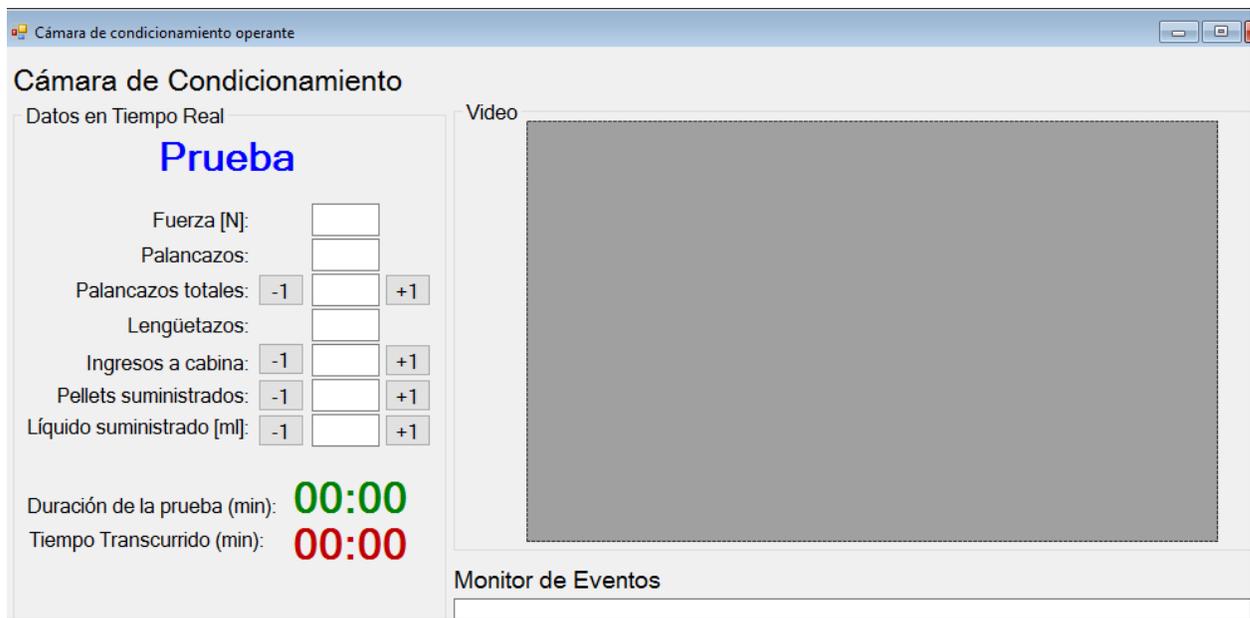


FIGURA 58 VENTANA DE VISUALIZACIÓN DE DATOS OBTENIDOS POR LA CCO.

- A. *Fuerza*. Dato obtenido al presionar el sensor de fuerza adherido a la palanca.
- B. *Palancazos*. Cantidad de palancazos realizados de *zero* hasta *n* ingresado en el campo i).
- C. *Palancazos totales*. Muestra los palancazos realizados durante todo el experimento. El usuario puede aumentar o disminuir con resolución de uno el valor mostrado en caso de que lo considere necesario. Al modificar este campo, se modifica el campo B) aumentandolo o disminuyendo en uno.
- D. *Lengüetazos*. Hace un conteo de las intervenciones detectadas por el sensor. Al no ser verificable por el usuario, este campo no se puede modificar.
- E. *Ingresos a cabina*. Hace un conteo de las intervenciones detectadas por el sensor. El usuario puede aumentar o disminuir con resolución de uno el valor mostrado en caso de que lo considere necesario.
- F. *Pellets suministrados*. El usuario puede aumentar o disminuir con resolución de uno el valor mostrado en caso de que lo considere necesario, esto debido a que el sistema de dosificador de pellets no cuenta con un sensor que detecta la cantidad de pellets dosificados. El disco del dosificador debe realizar un giro completo (360°) hasta entregar los pellets programados por el usuario.

- G. *Líquido suministrado en mililitros*. El usuario puede aumentar o disminuir con resolución de uno el valor mostrado en caso de que lo considere necesario, esto debido a que el sistema de dosificador de líquido no cuenta con un sensor que detecta la cantidad de gotas dosificadas.
- H. *Duración de la prueba*. Tiempo en minutos, establecido por el usuario (véase punto *g*) en página 67).
- I. *Tiempo transcurrido*. Tiempo transcurrido desde que se inicia el experimento, medido en minutos.
- J. *Video*. Mostrada la secuencia de imágenes en tiempo real de la CCO.
- K. *Monitor de eventos*. Despliega la actividad detectada por los sensores, así como el tiempo en la rutina en que se realiza la acción hasta llegar a milisegundos.

CAPÍTULO 4

Prototipos y pruebas

Preámbulo

En este capítulo se presentan imágenes y resultados de las pruebas de los prototipos finales de los sistemas del proyecto, así como observaciones del desempeño de los mismos y problemas presentados durante la manufactura.

Objetivo del capítulo

Describir el funcionamiento de los prototipos, así como explicar diferencias entre el diseño esperado y el prototipo físico obtenido.

Alcances del capítulo

Presentación de fotografías del prototipo funcional así como un resumen del desempeño observado durante las pruebas.

A continuación se muestran fotografías de los prototipos manufacturados por sistema (SH, SE, SP, SDA y SC), así como fotografías del ensamble completo de los sistemas.

4.1 SISTEMA DE PALANCA (SP)

En la Figura 59 se observa una fotografía en vista isométrica del prototipo final para SP, en la cual se puede mirar la palanca que será activada, el yugo escoces manufacturado en nylamid negro, el cople de aluminio y el motor que actual para desplazar la palanca a través del yugo.

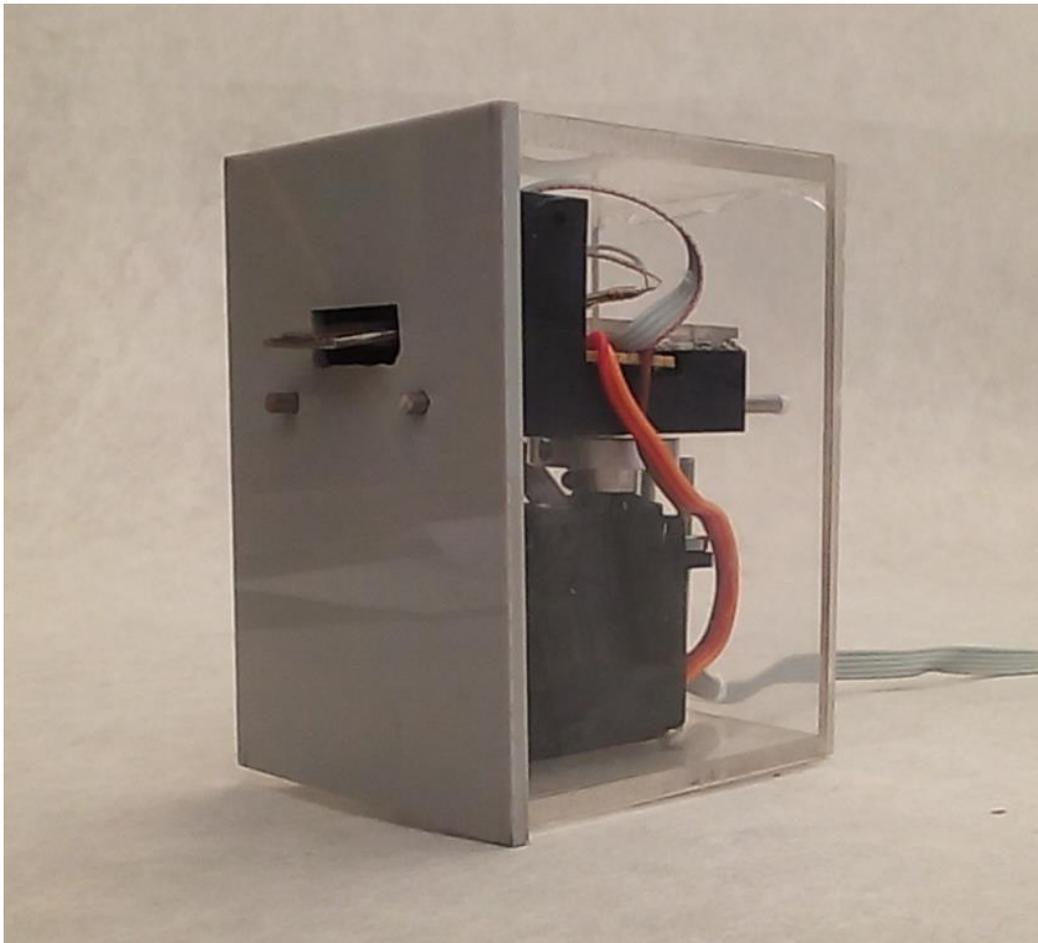


FIGURA 59 FOTOGRAFÍA DE LA VISTA ISOMÉTRICA DEL PROTOTIPO DE SP

De la Figura 60 a la Figura 62 se muestran fotografías del prototipo SP con diferentes vistas donde se acotan diferentes partes que lo componen.

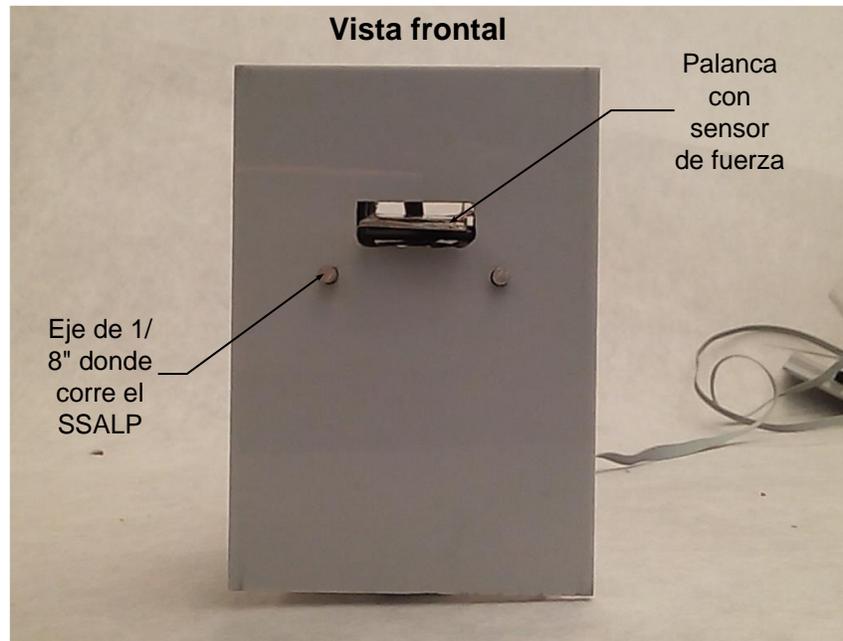


FIGURA 60 FOTOGRAFÍA DE LA VISTA FRONTAL DE PROTOTIPO DE SP

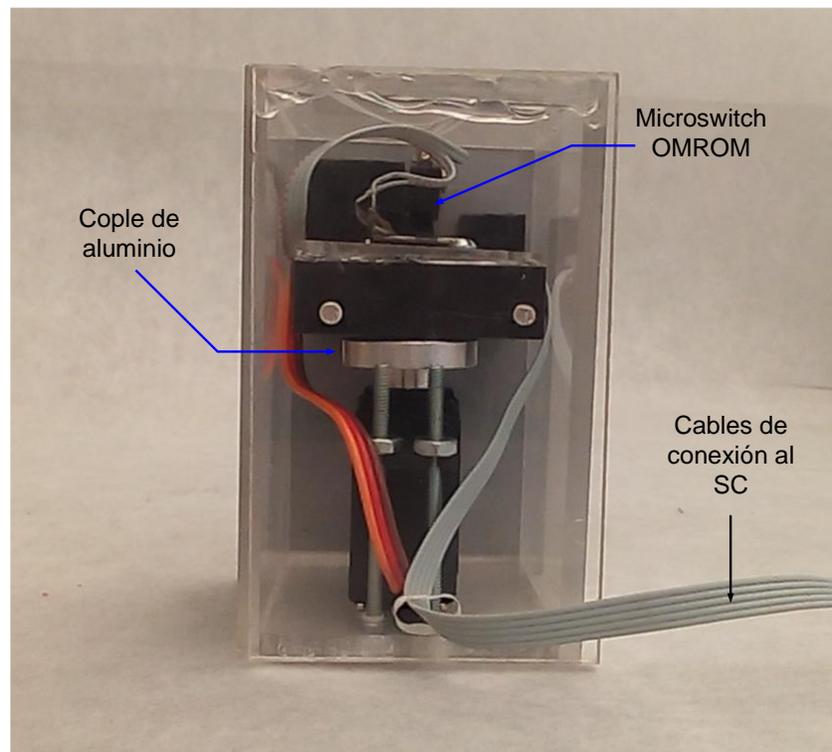


FIGURA 61 FOTOGRAFÍA DE LA VISTA TRASERA DEL PROTOTIPO DE SP

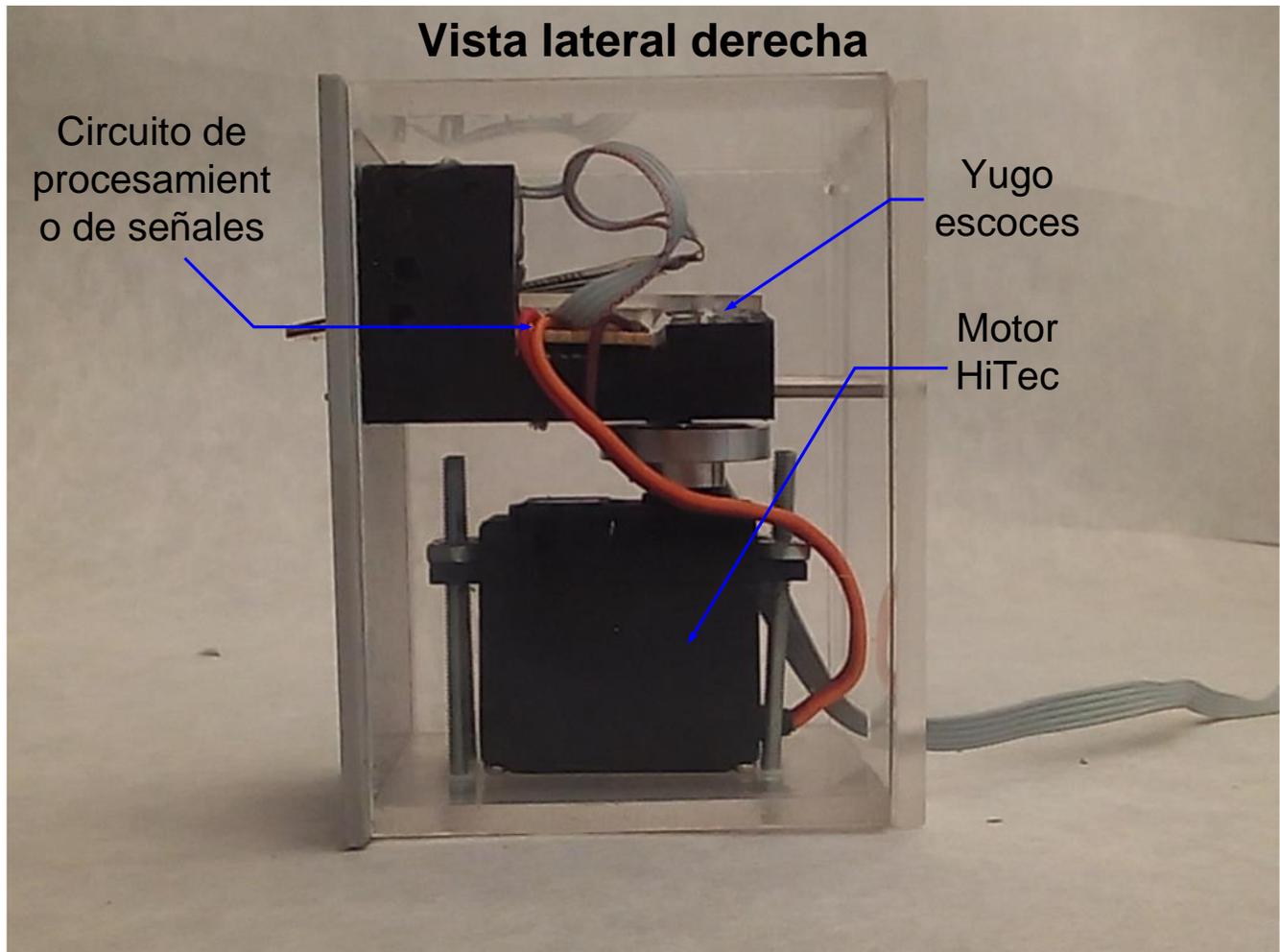


FIGURA 62 FOTOGRAFÍA DE LA VISTA LATERAL DERECHA DEL PROTOTIPO DE SP

Como una primera observación al prototipo es posible decir que su desempeño es adecuado, pues no muestra ningún tipo de vibración o atasco al ser activada, y su respuesta para mover la palanca es inmediata. Una anotación importante de realizar es que el prototipo de la pieza del yugo escoces está manufacturada en nylamid negro, no en nylamid verde como se propone en el capítulo 3. Esto es debido a que el nylamid negro era un material que se encontraba disponible para su uso sin costo extra; al utilizar este nylamid, no es necesario invertir en este material, reduciendo los costos finales del prototipo.

Las propiedades del nylamid negro son también adecuadas para el desempeño de esta pieza, pues es superlubricado, y además presenta otra propiedad que compensa su menor lubricación comparado con el nylamid verde, pues en su composición contiene disulfuro de molibdeno (MoS_2), lo cual lo hace resistente al desgaste y mejora su maquinabilidad [8].

En cuanto a la palanca, se percibe al momento de activarla, que la placa de acero que la compone no está en contacto con el microswitch, lo cual produce que la activación de la palanca se realice en dos movimientos: primero se debe aplicar una fuerza que haga que entre en contacto con el microswitch y una segunda fuerza que active este último.

4.2 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN (SA)

Para este sistema se presenta el prototipo físico del subsistema SDP; en la Figura 63 y Figura 64 se muestran las fotografías de las vistas isométrica y lateral derecha del mismo.

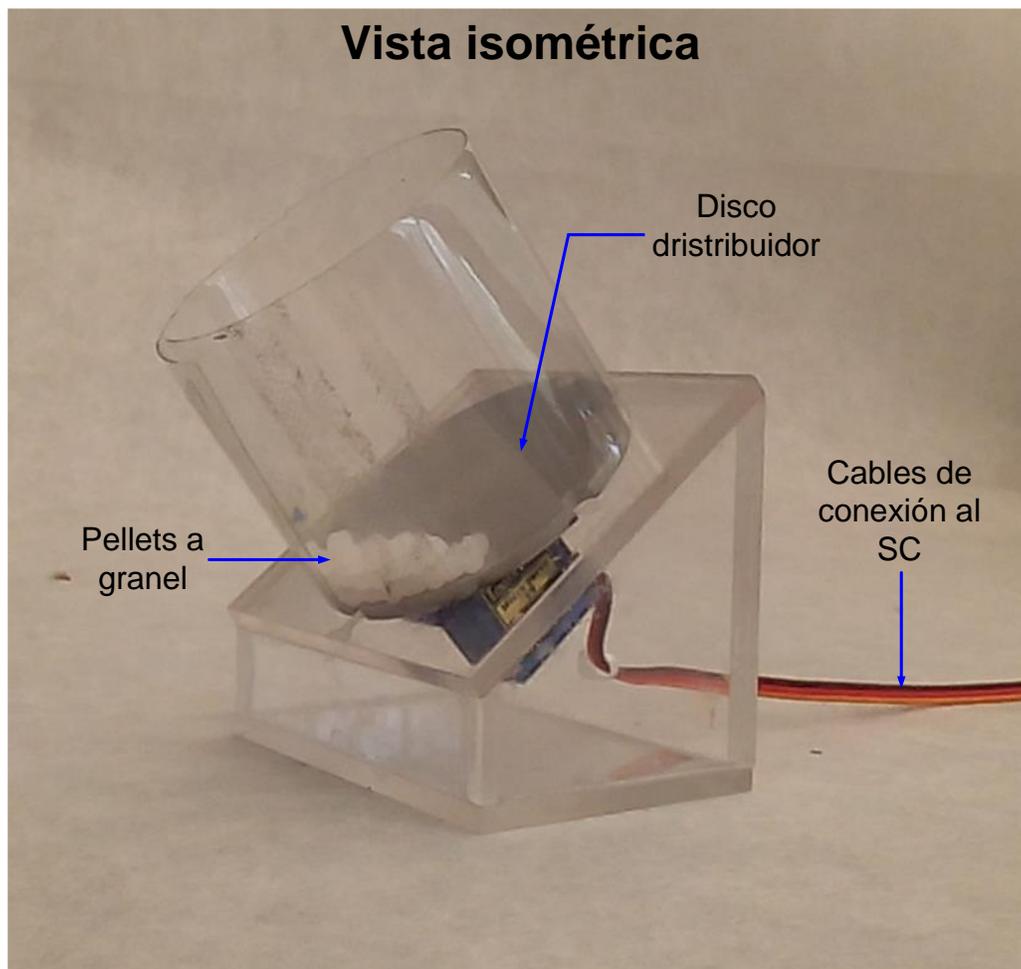


FIGURA 63 FOTOGRAFÍA DE LA VISTA ISOMÉTRICA DEL PROTOTIPO DE SDP

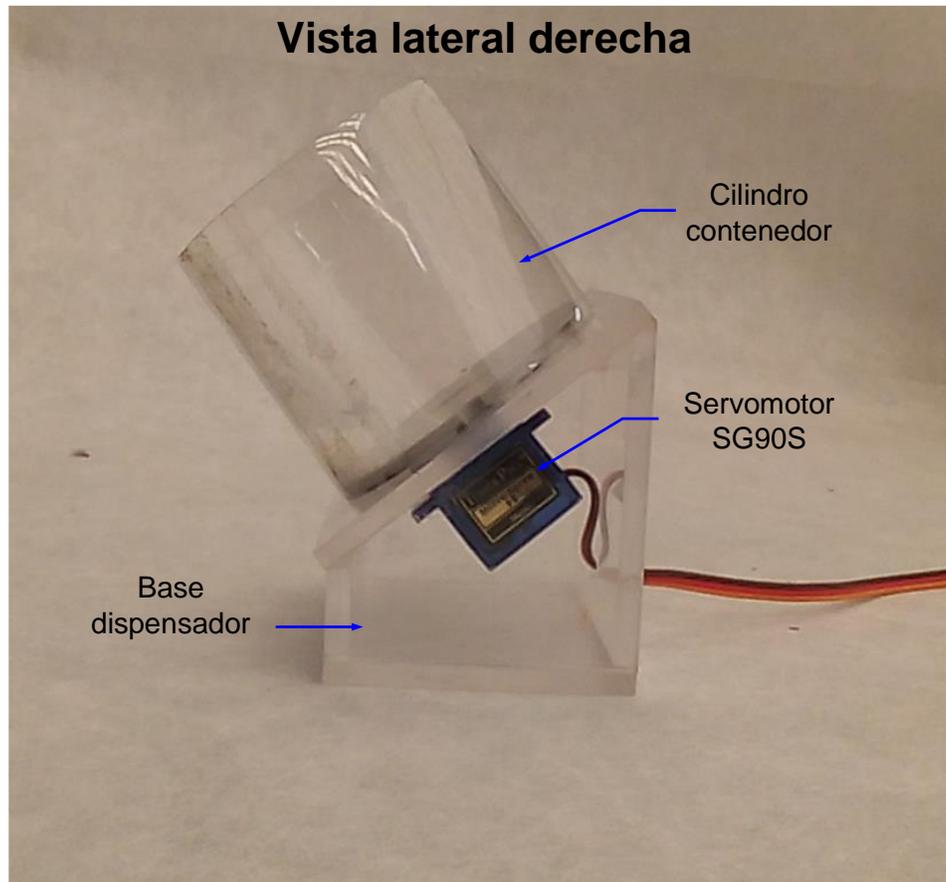


FIGURA 64 FOTOGRAFÍA DE LA VISTA LATERAL DERECHA DEL PROTOTIPO DE SDP

En cuanto al desempeño del prototipo de SDP puede clasificarse como bueno. Con cada señal proveniente de SC, distribuye la cantidad de pellets que se le es solicitada, sin embargo si la cantidad de pellets en el deposito excede la cantidad de 10 mm de altura, el sistema presenta atascos debido al disco distribuidor y los residuos de migajas de los mismos pellets. Sin embargo, debajo de ese nivel de cantidad de pellets, el sistema funciona adecuadamente.

4.3 SISTEMA HEAD (SH) Y SISTEMA DE ILUMINACIÓN (SI)

Sistema head (SH)

En la Figura 65 se muestra una fotografía superior del comedero del ratón donde, localizado a los costados del mismo comedero, se encuentra el sistema head, es decir, la fotorresistencia y el LED laser. Durante la manufactura, para garantizar su alineación, se hicieron los orificios para ambas piezas a

través de corte laser, de tal forma que no quedaran desfasadas y la fotorresistencia captara en as de luz del LED en su totalidad.

Al producir la interrupción de la señal con un objeto opaco, la fotorresistencia marca una disminución en su voltaje (el cual es registrado en la entrada A0 analógica de la tarjeta Arduino); dicha disminución depende de la luminosidad del ambiente, pero al calibrarse el SC, esto no representa obstáculo para que SH sense de forma adecuada y SC procese la señal.

En la Figura 65 también puede observarse la anotación de *comedero provisional*. Esto es debido a que el comedero propuesto en el capítulo 3 por impresión 3D no se manufacturó.

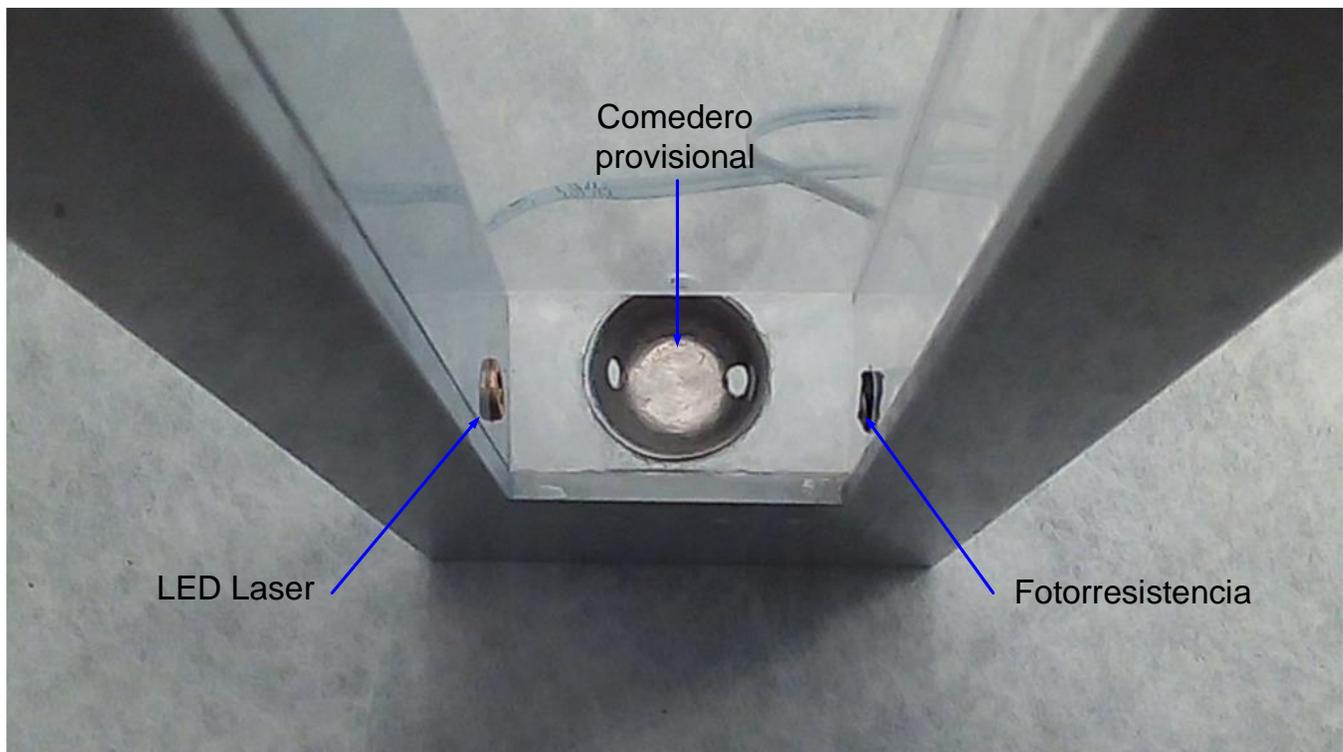


FIGURA 65 FOTOGRAFÍA DEL PROTOTIPO DEL SH (UBICADO EN EL COMEDERO DEL RATÓN)

Sistema de iluminación (SI)

En la Figura 66 se muestra los LEDs de 5 mm y 10 mm montados sobre placas simples tal como se propone en el capítulo 3. Al conectarlos al SC su funcionamiento es el esperado y explicado en el capítulo 2.

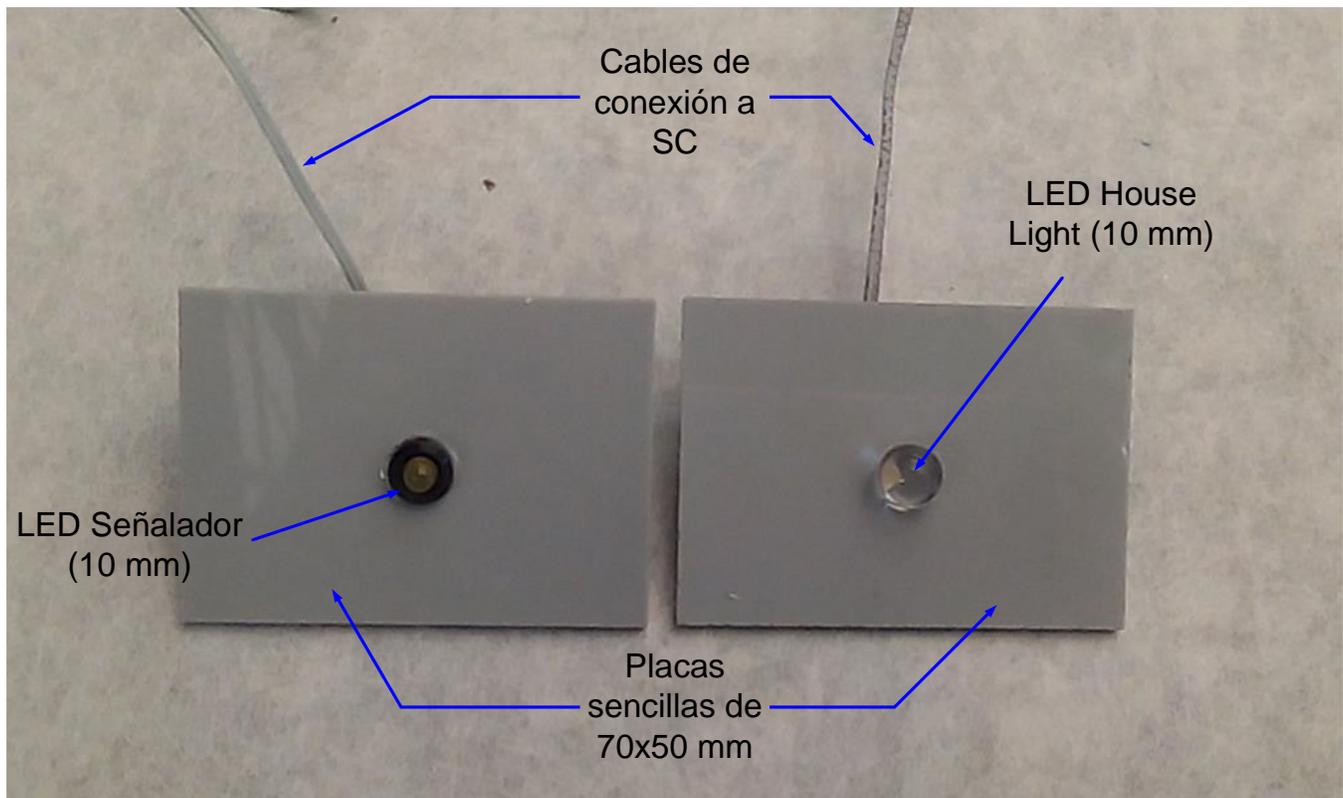


FIGURA 66 FOTOGRAFÍA DEL PROTOTIPO DE SI

4.4 SISTEMA DE CONTROL (SC)

Como se explica en el capítulo 2 este sistema es llevado a cabo a través un microcontrolador, el cual es el utilizado por el sistema Arduino. Sin embargo, los diferentes sensores ocupados en la CCO, no pueden conectarse de forma directa al sistema Arduino para ser controlados. Muchos requieren piezas electrónicas extras como resistencias, diodos, etcétera, para poder funcionar, además de que en total el sistema maneja tres motores diferentes: los servomotores de SP y de SDP, además del motor de

corriente directa de la bomba peristáltica utilizada para SDA, y la corriente que exigen en conjunto no puede ser proporcionada por la tarjeta Arduino en sí misma.

Debido a lo anterior, se adiciona a SC una tarjeta electrónica, donde se conectan los sistemas, con los electrónicos necesarios para su funcionamiento. La tarjeta se alimenta a través de una fuente de 12 V de CD y 1 A. Únicamente el motor de la bomba peristáltica funciona con 12 V, es por ello que se utiliza un regulador LM7805 para obtener un voltaje de 5 V para el resto de los sensores utilizados, incluyendo los servomotores. En la Figura 67 se muestra una fotografía del prototipo de esta tarjeta.

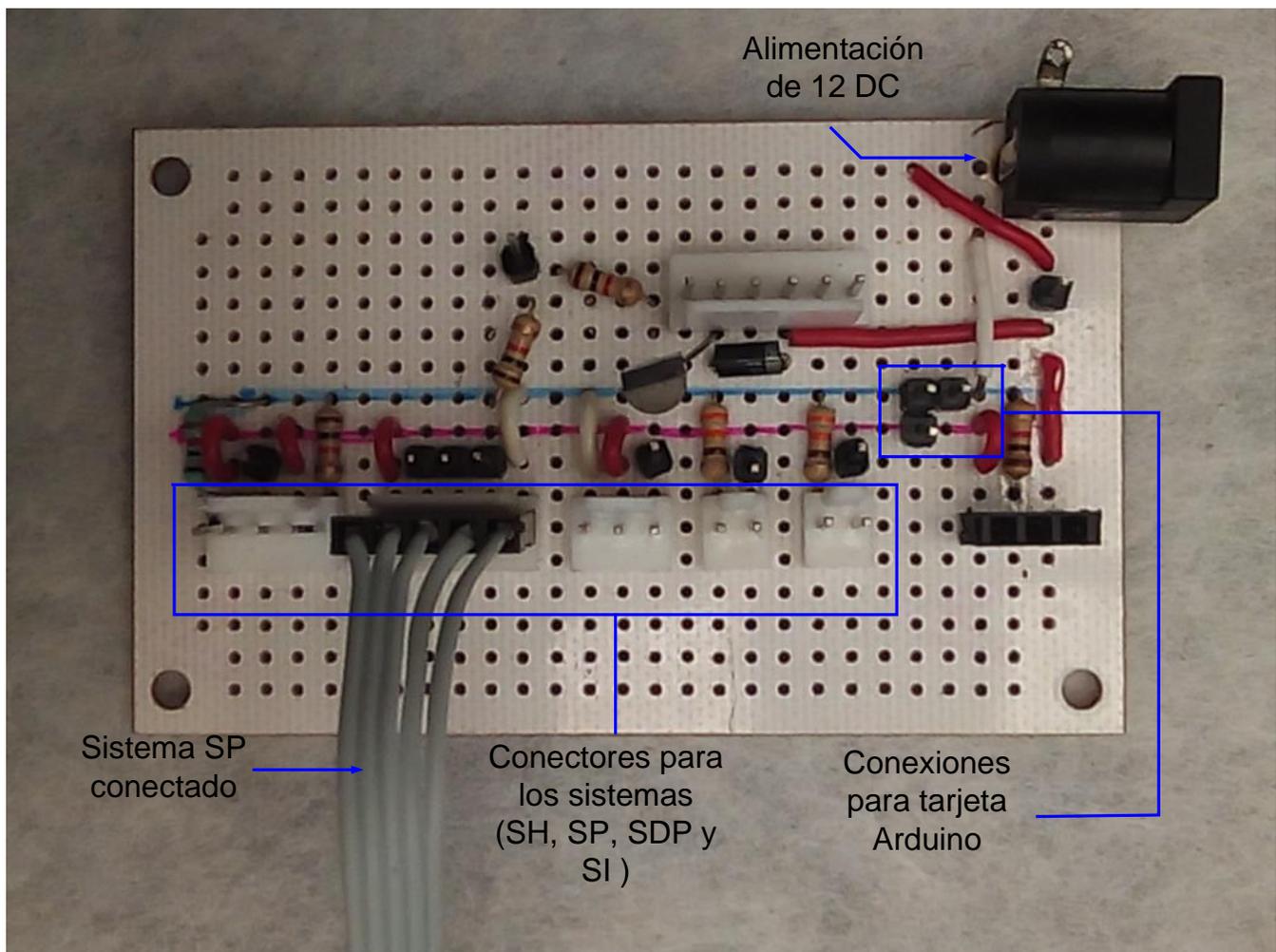


FIGURA 67 FOTOGRAFÍA DE LA TARJETA DE CONEXIÓN PARA SC

La tarjeta permite conectar de forma más adecuada y ordenada todos los sistemas que integran la CCO. Como observación el regulador presenta un calentamiento notorio durante su funcionamiento,

sin embargo sus propiedades no son excedidas debido a que este circuito integrado soporta voltajes hasta de 25 V, además de una corriente máxima de 1.5 A. Al considerar la fricción entre las piezas de los servomotes puede decirse que consumen hasta 1 A cada uno (el de SP y SDP), sin embargo en ningún momento de la rutina los servomotes son activados al mismo tiempo, por lo que el voltaje que se exige al LM7805 por los motores no excede 1 A. Por otra parte la corriente calculada que exigen los sensores utilizados es la siguiente:

- Microswitch D2HW-22 OMROM conectado con una resistencia de 10 k Ω exige una corriente de 500 μ A.
- Sensor de fuerza para SP con la fuerza que aplica en promedio el ratón (152.957 gramos fuerza), produce una resistencia eléctrica de 10 k Ω [18], sumando la resistencia de 10 k Ω del resistor soldado a la placa para su funcionamiento implica una corriente de 250 μ A.
- Los LEDs de SI conectados cada uno con una resistencia de 330 Ω en suma exigen una corriente de 30.30 mA.

En total la corriente que exige el circuito ronda los 1.031 A, lo cual está por debajo del máximo permitido para el LM7805. No está demás mencionar que la corriente del motor de la bomba peristáltica de SDA no se alimenta del regulador LM7805, por lo que no se incluye en estos cálculos.

4.5 SISTEMA DE ESTRUCTURA (SE)

Se presenta de la Figura 68 a la Figura 71 fotografías del ensamble de los sistemas SP, SI, SH, SL y SE de la CCO. En la Figura 72 se muestra una fotografía con el ejemplo de montaje del sistema SP con su respectivo señalador (SI) en la estructura (SE) de la CCO; esa es solo una de sus posiciones posibles.

Como observaciones del prototipo del SE, puede destacarse que el método de doblado de lámina que se utiliza para la manufactura de la charola contenedora, afecta en la geometría final del SE, pues debido a la propiedad de resiliencia del acero inoxidable, las paredes de la cámara quedan inclinadas, lo cual produce un espacio en las esquinas que no es adecuado, pues la CCO no queda sellada y el ratón podría escapar. Para dar solución a ese percance, se agregaron unos perfiles en L de 200 mm de longitud para cubrir las esquinas; véase la Figura 71.

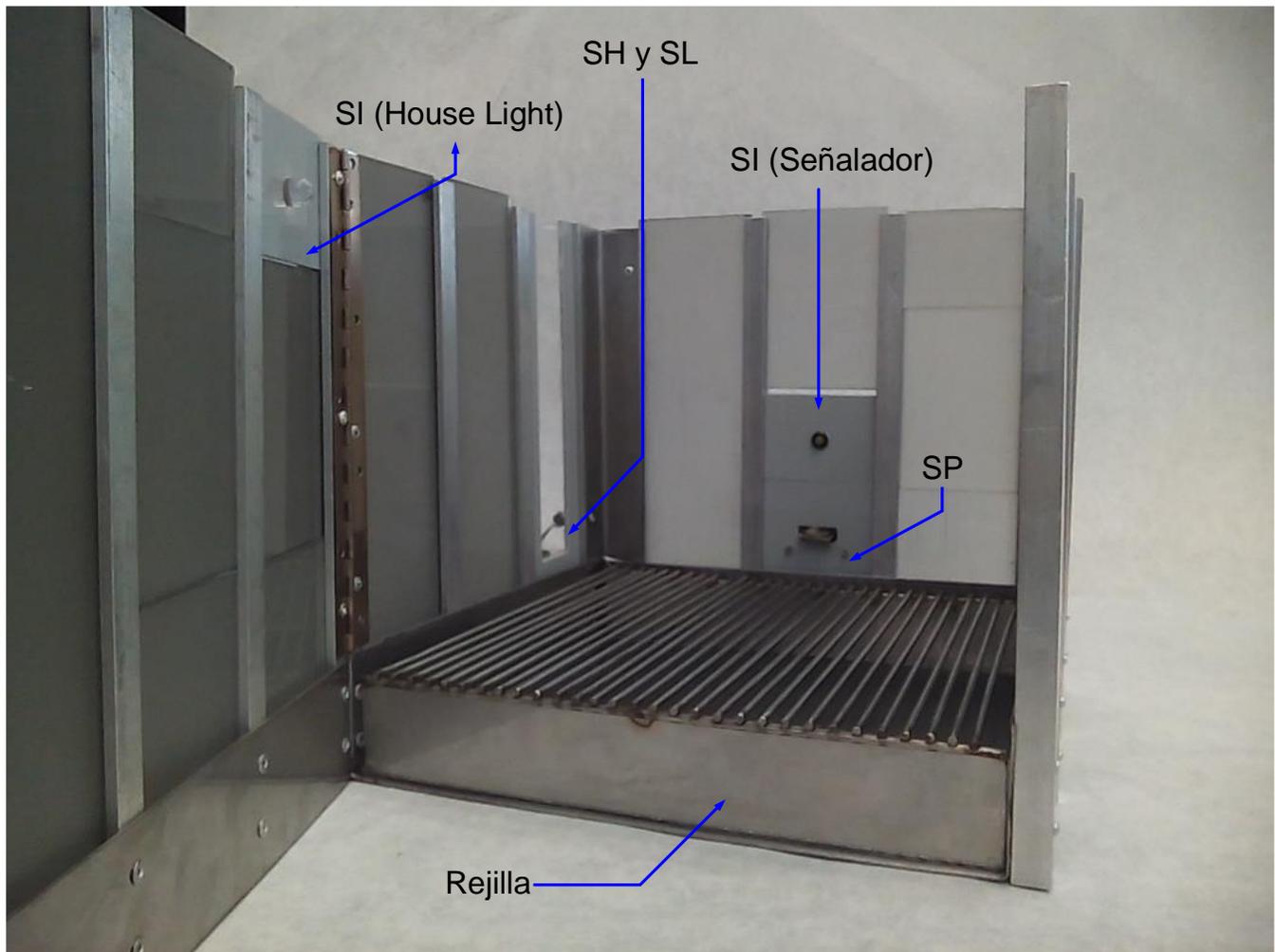


FIGURA 68 FOTOGRAFÍA DE LA VISTA ISOMÉTRICA DEL PROTOTIPO DE LA CCO



FIGURA 69 FOTOGRAFÍA DEL PROTOTIPO DE LA CCO CON PUERTA ABIERTA



FIGURA 70 FOTOGRAFÍA DE LA VISTA INTERIOR DEL PROTOTIPO DE LA CCO

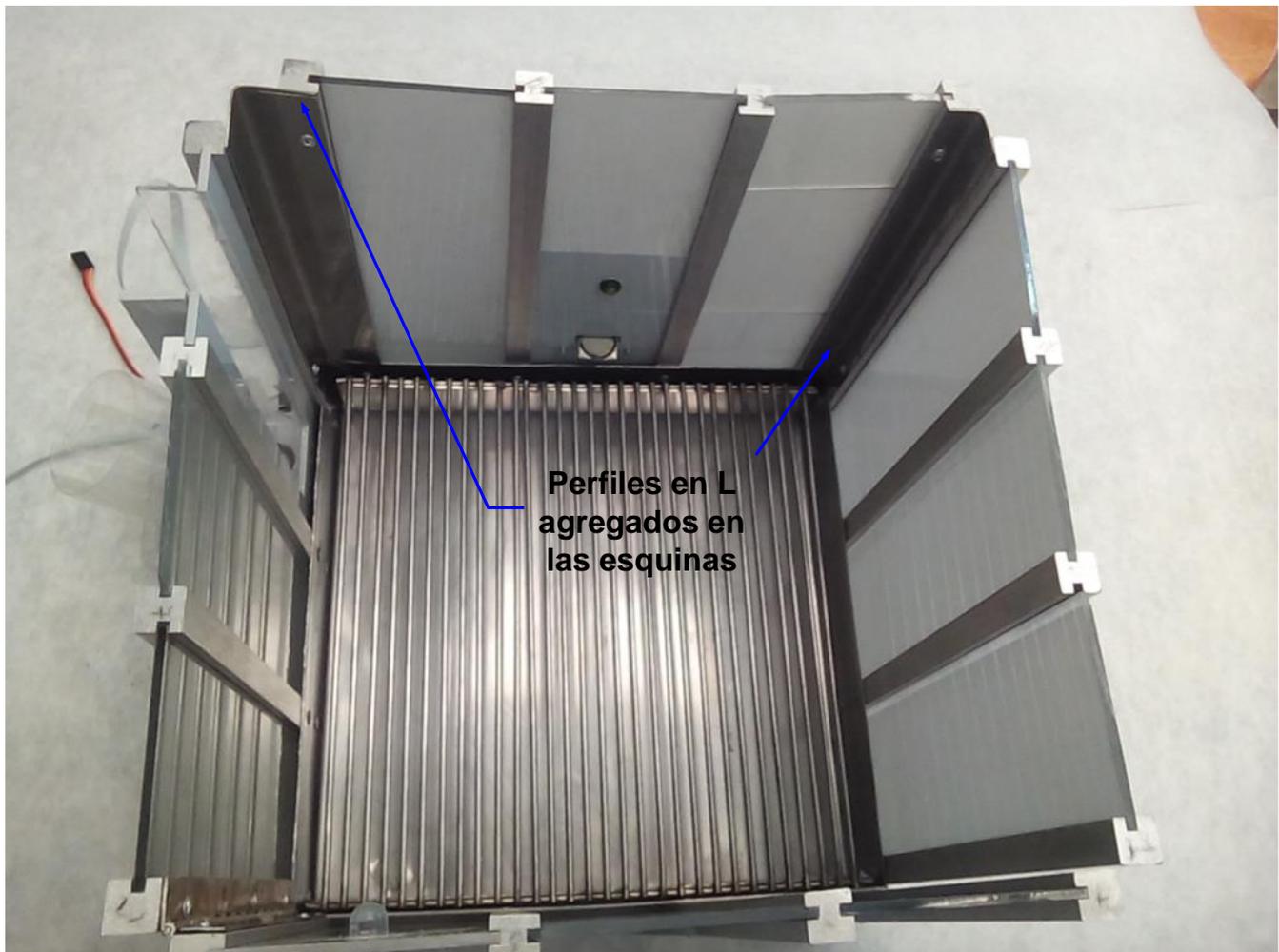


FIGURA 71 FOTOGRAFÍA DE UNA TOMA SUPERIOR DEL PROTOTIPO DE LA CCO



FIGURA 72 FOTOGRAFÍA DEL PROTOTIPO DEL SP Y EL SI MONTADOS SOBRE EL SE. VISTA FRONTAL (A) Y VISTA TRASERA (B)

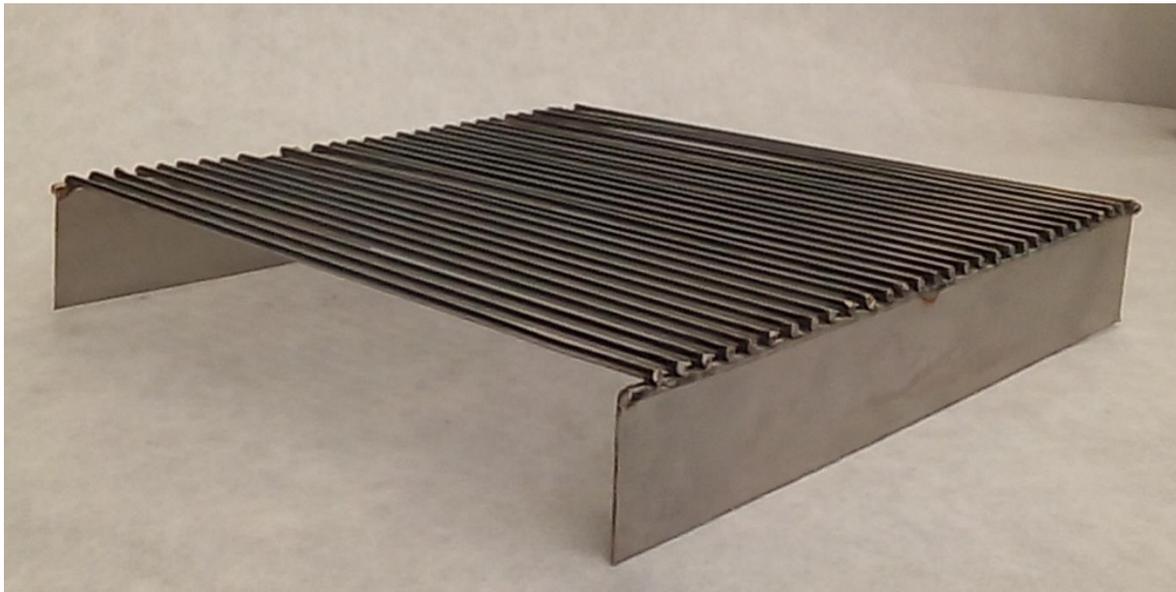


FIGURA 73 FOTOGRAFÍA DE LA VISTA ISOMÉTRICA DEL PROTOTIPO DE LA REJILLA DEL SE

CONCLUSIONES

El diseño de la CCO presentado en este trabajo se llevó a cabo de manera satisfactoria, esto debido a que se realizó un análisis teórico y posteriormente se llevaron a cabo dos prototipos físicos. Al realizar el primer prototipo se pudieron notar errores de diseño, las cuales fueron aprovechadas para realizar un rediseño que derivó en un segundo prototipo, teniendo así un diseño funcional y acorde a las necesidades del cliente.

El objetivo general planteado al inicio de este proyecto puede darse por cumplido, pues se realizó el diseño de la CCO, su sistema de control y su interfaz gráfica para el manejo del usuario. En cuanto a los objetivos específicos, el primer objetivo se validó parcialmente, si bien el diseño de la cámara logró en teoría un desempeño adecuado para los experimentos del IFC al cumplir con las especificaciones de diseño, se deben realizar más pruebas de tal forma que se logre cuantificar realmente la precisión en la captura de las señales de los sensores. Por otra parte el segundo objetivo específico fue cumplido, ya que la interfaz realizada tiene mayor facilidad de uso que el tipo de interfaz que se utiliza en los equipos de condicionamiento operante del IFC.

En cuanto a las metas del proyecto se concluye que fueron alcanzadas. Se logró la obtención de un prototipo funcional, mientras que el costo final de los materiales utilizados para la CCO alcanzó los \$2,856.86 MN, lo cual se encuentra dentro del presupuesto indicado en la segunda meta.

Como observaciones personales se recomienda que al momento de realizar un proyecto, el cual es un entregable para un cliente se debe considerar la realización de un contrato, de forma tal que ambas partes entiendan sus responsabilidades y posibles represalias en caso de no cumplir con lo especificado en el mismo.

TRABAJO FUTURO

Dentro de todo trabajo de investigación es importante dar lineamiento de como continuar con el esfuerzo invertido y mejorar el producto mismo. Por ello a continuación se enlistan los puntos que es importante considerar en un futuro trabajo de rediseño:

- Modificar la forma de fijación de los perfiles maquinados de aluminio, para asegurar que estos queden paralelos y permita el fácil deslizamiento de las paredes y sistemas modulares a través de los mismos.
- Mejorar la forma de la palanca dentro del SP para asegurar que el movimiento de activación se realice en un solo paso y no en dos.
- El SA requiere mayor desarrollo de forma que sea más eficiente al momento de distribuir el alimento.
- La tarjeta del SC donde se conectan los sistemas debe ampliarse para permitir el uso de más sistemas a la vez.
- Verificar el buen funcionamiento del diseño propuesto para sistema de lick.
- Diseñar e implementar un sistema encargado de almacenar grandes cantidades de datos de forma independiente a la memoria de la computadora en la cual se estuviera ejecutando la rutina de condicionamiento

REFERENCIAS

- [1] M. Bunge y R. Ardila, *Filosofía de la psicología*, México: Siglo XXI, 2002.
- [2] L. Slater, *Opening Skinner's Box: Great Psychological Experiments of the Twentieth Century*, Nueva York: W. W. Norton & Company, 2004.
- [3] «The Boston Globe,» 28 Octubre 2012. [En línea]. Available: <http://www.legacy.com/obituaries/bostonglobe/obituary.aspx?pid=160690976>>. [Último acceso: 3 Octubre 2015].
- [4] M. Richelle, «B. F. Skinner: A Reappraisal,» Psychology Press, Nueva York.
- [5] K. T. Ulrich y S. D. Eppinger, *Diseño y desarrollo de productos*, Mexico D. F: Mc Graw Hill, 2012.
- [6] «Bio Serv,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.bio-serv.com/pdf/F05684.pdf>. [Último acceso: 29 Enero 2017].
- [7] Med Associates Inc., *Behavioral Software & Products Catalog*.
- [8] «La Paloma,» [En línea]. Available: http://www.lapaloma.com.mx/lapaloma_metales/nylomaq_z1.pdf. [Último acceso: 27 Octubre 2016].
- [9] OMRON Industrial Automation, «D2HW Sealed Ultra Subminiature Basic Switch,» [En línea]. Available: <https://www.omron.com/ecb/products/sw/14/d2hw.html>. [Último acceso: 19 Octubre 2016].
- [10] F. Tecuapetla, Interviewee, *Instituto de Fisiología Celular*. [Entrevista]. 06 Noviembre 2015.
- [11] A. Aartsma-Rus y M. van Putten, «Assenssing Functional Performance in the Mdx Mouse Model,» *Journal of Visualized Experiments*, pp. 1-11, 2014.
- [12] «ServoDatabase.com,» [En línea]. Available: <http://www.servodatabase.com/servo/towerpro/mg996r>. [Último acceso: 18 Noviembre 2016].

- [13] H. Aoyagi, S.-i. Iwasaki y T. Asami, «Three-Dimensional Architecture of the Mouse Tongue Using Micro-CT with a Focus on the Transverse, Vertical and Genioglossus Muscles,» *Surgical Science*, vol. 6, pp. 358-368, 2015.
- [14] OMRON Industrial automation, «Ultra-compact Pre-wired Photomicrosensor (Non-modulated) EE-SX95,» [En línea]. Available: https://www.ia.omron.com/data_pdf/cat/ee-sx95_e435-e1_3_4_csm1012815.pdf?id=3199. [Último acceso: 18 Noviembre 2016].
- [15] TOKEN, «Yourduino,» 2010. [En línea]. Available: <http://yourduino.com/docs/Photoresistor-5516-datasheet.pdf>. [Último acceso: 6 Septiembre 2016].
- [16] «Servo motor SG90S,» [En línea]. Available: http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg90_datasheet.pdf. [Último acceso: 18 Noviembre 2016].
- [17] P. L. P. w. S. Tubing, «Analytical Laboratories,» [En línea]. Available: <http://www.banggood.com>. [Último acceso: 22 Septiembre 2016].
- [18] N. Instruments, «Data Lights,» [En línea]. Available: http://www.datalights.com.ec/site2/images/stories/robotica/nap/nap_fsr.pdf. [Último acceso: 18 Enero 2017].
- [19] «Ciencia de terapia conductivo conductual y ciencias del comportamiento,» [En línea]. Available: <http://www.cognitivoconductual.org/tecnicas/reforzamiento-positivo/>>.
- [20] G. S. Reynolds, «Compendio de condicionamiento operante,» Universidad de California, California, 1968.
- [21] BioSEB, «BioSEB In vivo Reaserch Instruments,» BioSEB, [En línea]. Available: <http://www.bioseb.com/bioseb/anglais/default/item.php?mode=imprimable&id=41>. [Último acceso: 6 Junio 2016].
- [22] Cientikit Inc., «Manual caja de Skinner,» [En línea]. Available: <http://www.cienciafacil.com/ManualdeCajasSkinner.html>. [Último acceso: 18 Noviembre 2016].
- [23] D. Pérez, «Level Skip,» 22 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://levelskip.com/misc/Skinners-Box-and-Video-Games>. [Último acceso: 28 Enero 2017].



PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA

SISTEMA DE ORIGEN:

SISTEMA DE ESTRUCTURA

DISEÑO: PRRB DPVL

DIBUJÓ: DPVL

REVISÓ: LAGG

FECHA: 16-II-2017

TAMAÑO

TÍTULO:

A4

SE_Perfil_Central_007

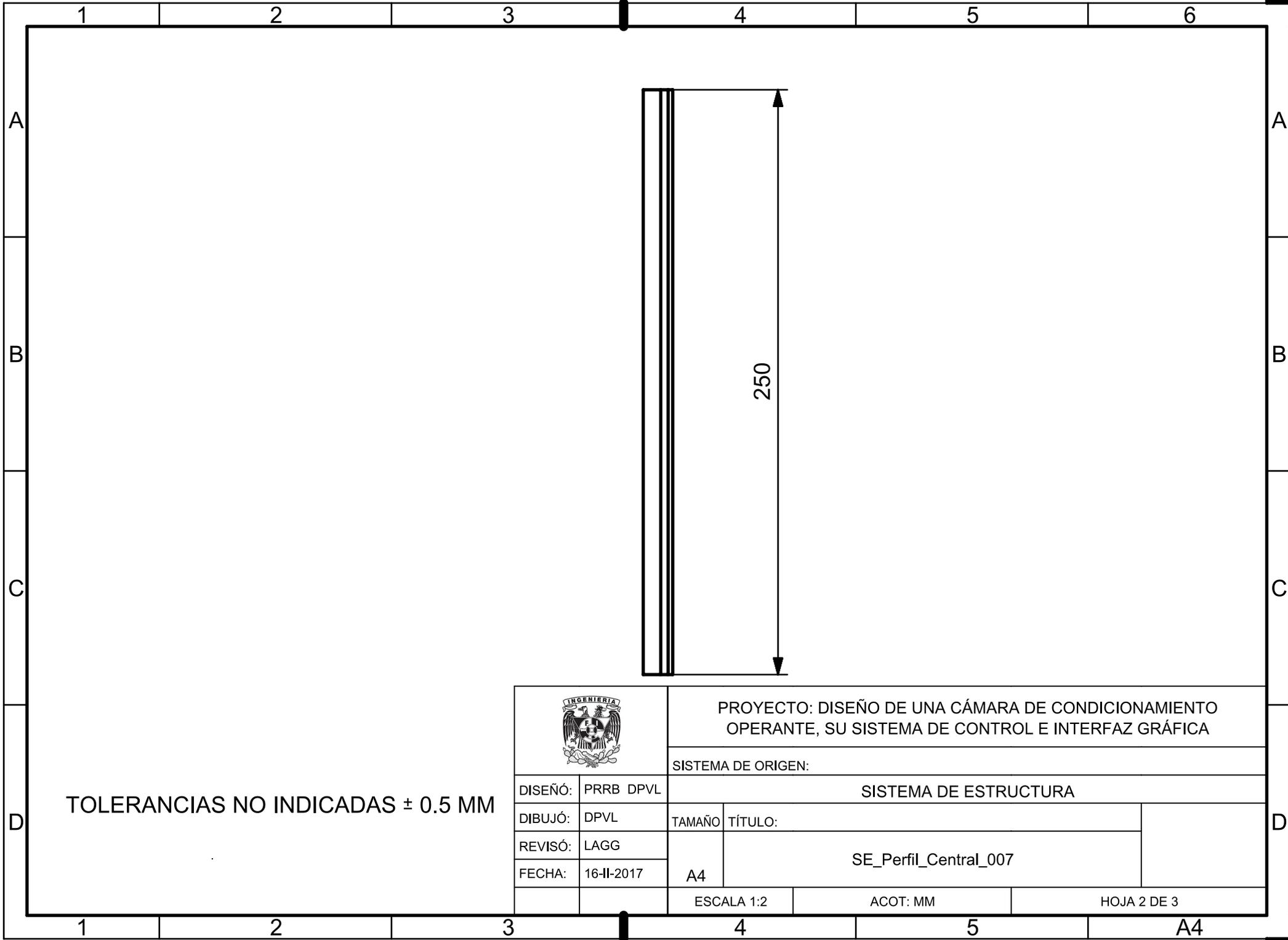


ESCALA 5:1

ACOT: MM

HOJA 1 DE 3

TOLERANCIAS NO INDICADAS ± 0.5 MM



TOLERANCIAS NO INDICADAS ± 0.5 MM



PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA

SISTEMA DE ORIGEN:

DISEÑO:	PRRB DPVL
DIBUJÓ:	DPVL
REVISÓ:	LAGG
FECHA:	16-II-2017

SISTEMA DE ESTRUCTURA

TAMAÑO	A4
--------	----

TÍTULO:
SE_Perfil_Central_007

ESCALA 1:2

ACOT: MM

HOJA 2 DE 3

A4

1

2

3

4

5

6

A

B

C

D

A

B

C

D



PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA

SISTEMA DE ORIGEN:

DISEÑÓ: PRRB DPVL

SISTEMA DE ESTRUCTURA

DIBUJÓ: DPVL

TAMAÑO

TÍTULO:

REVISÓ: LAGG

SE_Perfil_Central_007

FECHA: 16-II-2017

A4



ESCALA 1:2

ACOT: MM

HOJA 3 DE 3

1

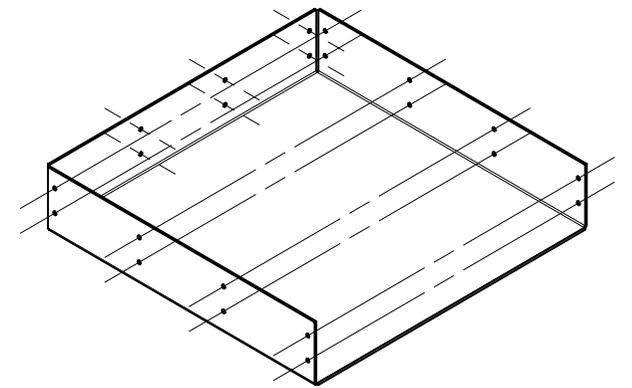
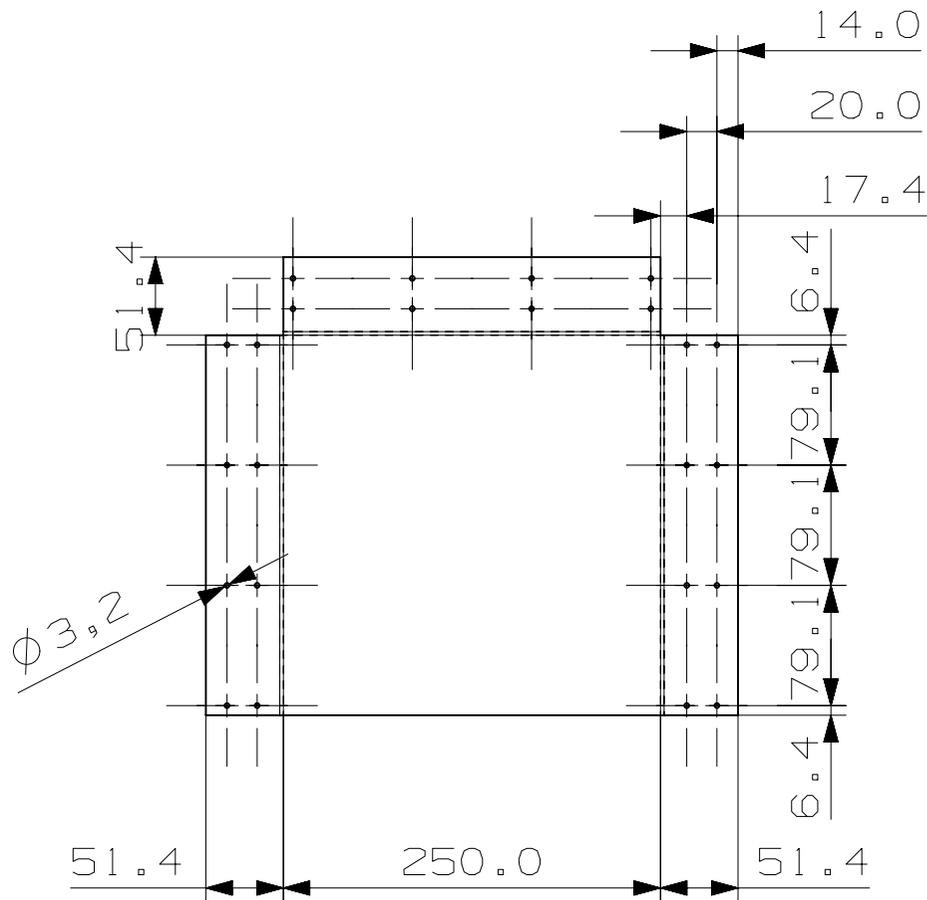
2

3

4

5

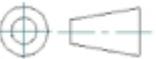
A4



TODOS LOS BARRENOS
A 3.175 MM

ACERO INOXIDABLE
AISI 316 CALIBRE 18

TOLERANCIAS NO INDICADAS ± 0.5 MM

		PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA			
		SISTEMA DE ORIGEN:			
DISEÑÓ: PRRB DPVL	SISTEMA DE ESTRUCTURA				
DIBUJÓ: DPVL	TAMAÑO: A4	TÍTULO: SE_Base_007			
REVISÓ: LAGG					
FECHA: 16-II-2017	ESCALA 1:5		ACOT: MM	HOJA 1 DE 1	

1

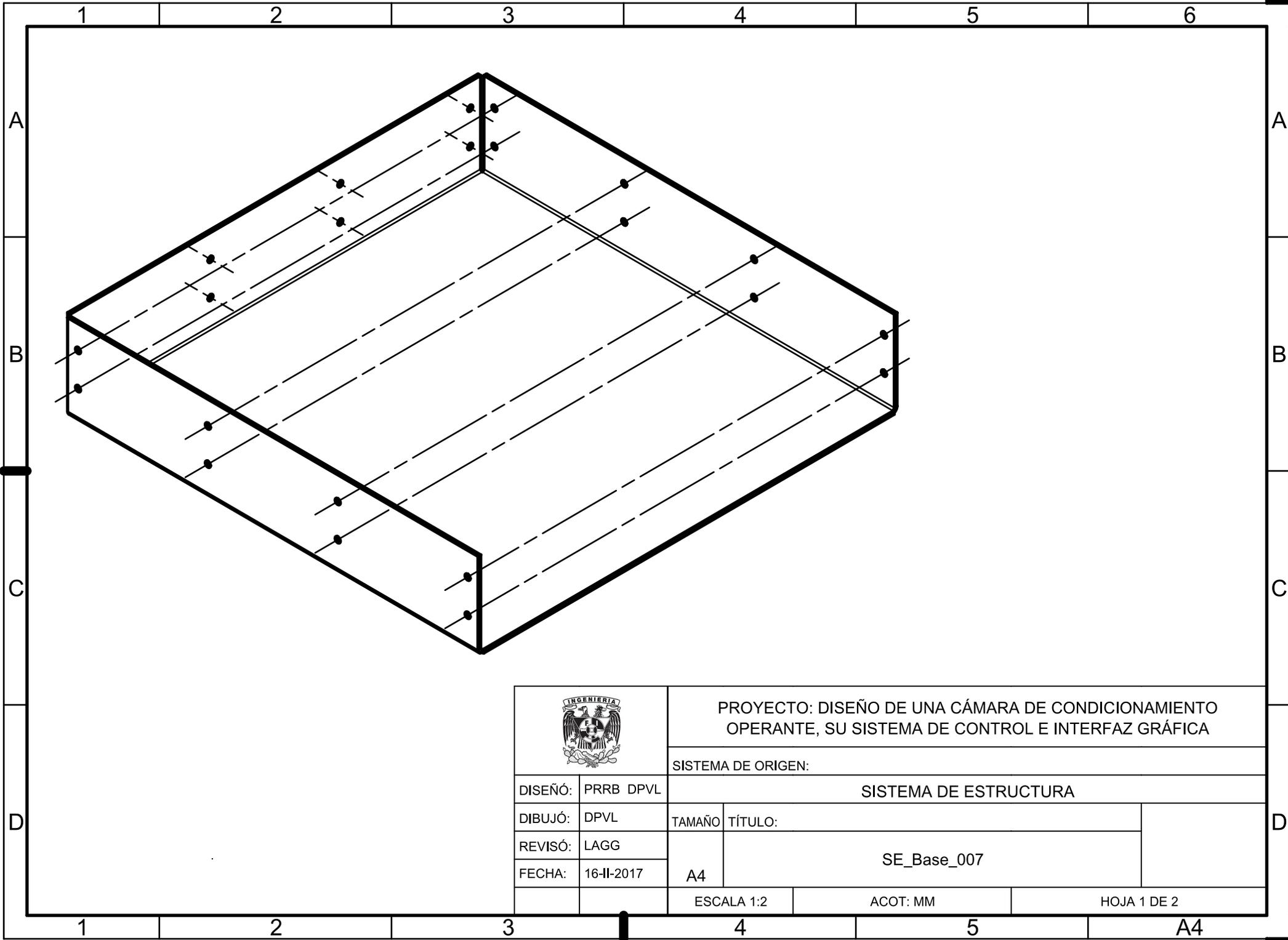
2

3

4

5

A4



PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA

SISTEMA DE ORIGEN:

SISTEMA DE ESTRUCTURA

DISEÑO: PRRB DPVL

DIBUJÓ: DPVL

REVISÓ: LAGG

FECHA: 16-II-2017

TAMAÑO

TÍTULO:

A4

SE_Base_007

ESCALA 1:2

ACOT: MM

HOJA 1 DE 2

1

2

3

4

5

A4

A

B

C

D

A

B

C

D

1 2 3 4 5 6

A

A

B

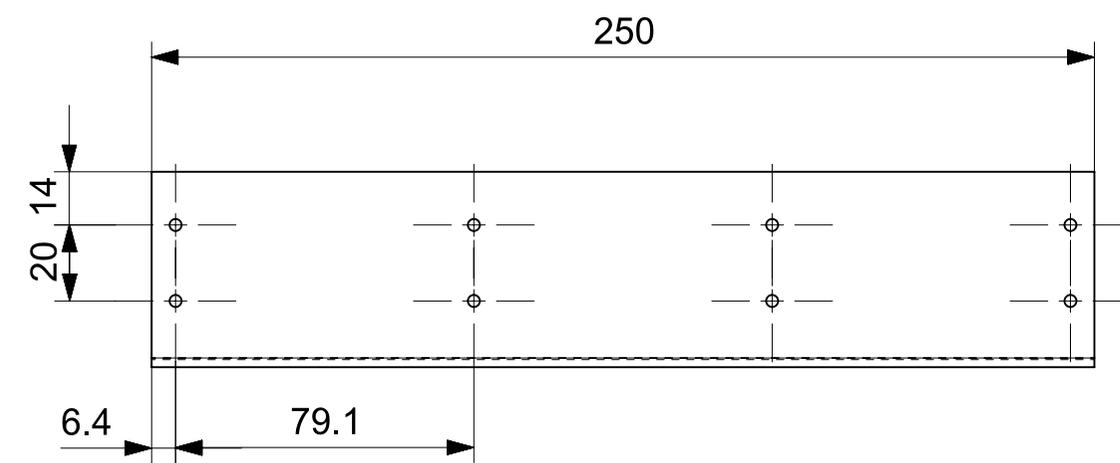
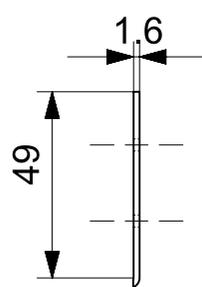
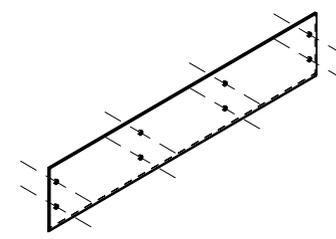
B

C

C

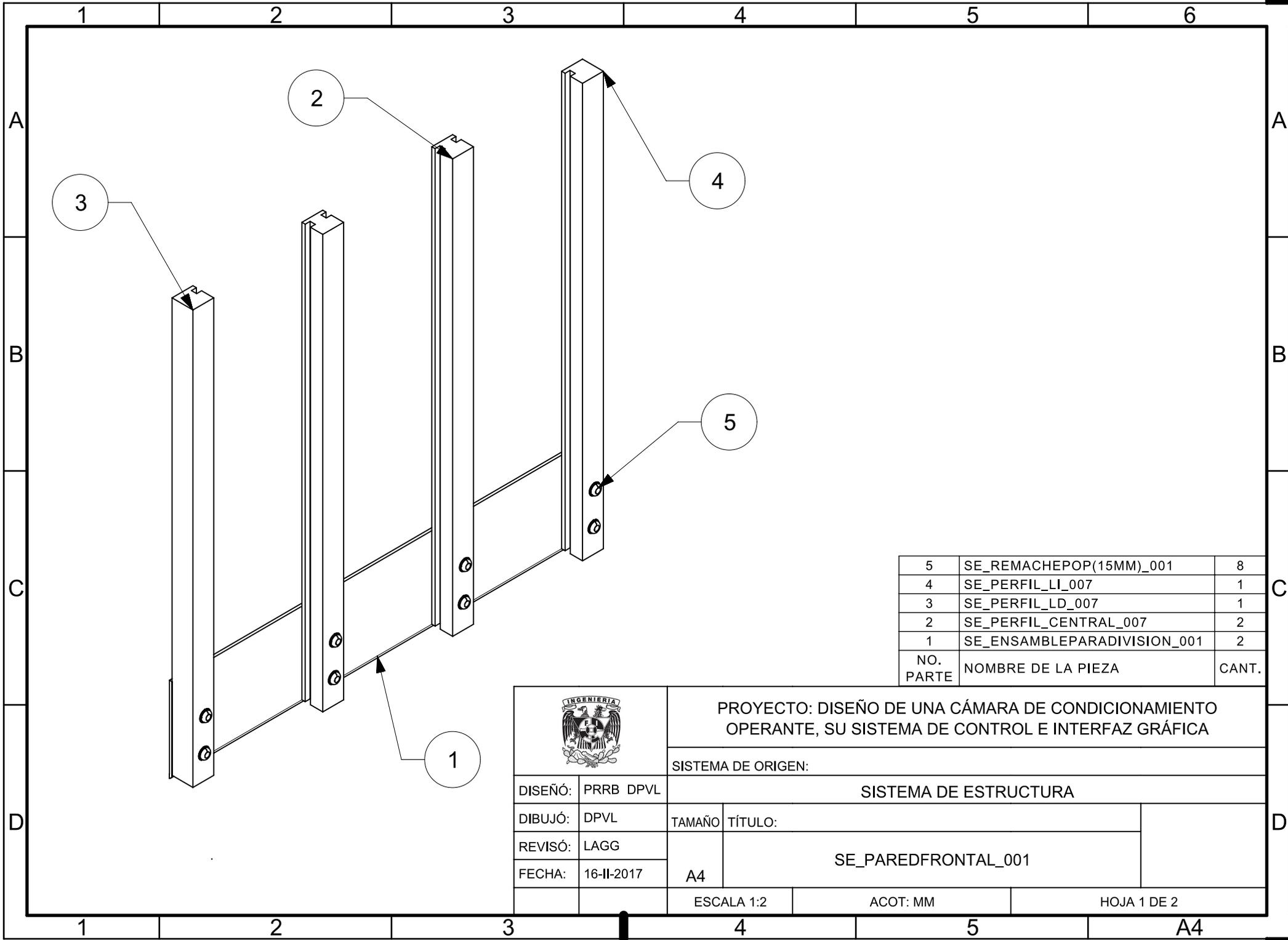
D

D



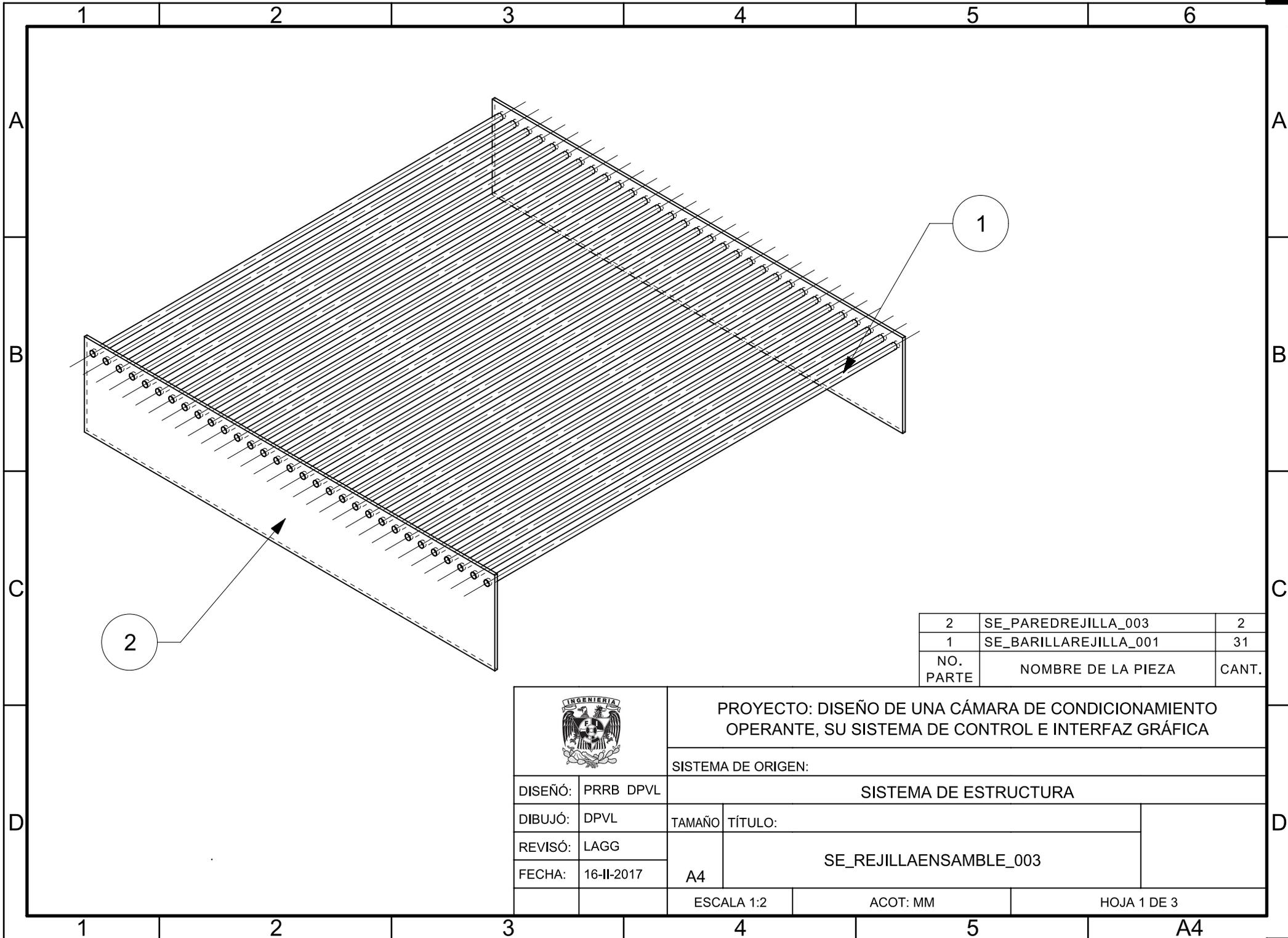
		PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA			
		SISTEMA DE ORIGEN:			
DISEÑO:	PRRB DPVL	SISTEMA DE ESTRUCTURA			
DIBUJÓ:	DPVL	TAMAÑO	TÍTULO:		
REVISÓ:	LAGG	A4	SE_PAREDFRONTAL_001		
FECHA:	16-II-2017				
		ESCALA 1:2	ACOT: MM	HOJA 1 DE 2	

1 2 3 4 5 A4



5	SE_REMACHEPOP(15MM)_001	8
4	SE_PERFIL_LI_007	1
3	SE_PERFIL_LD_007	1
2	SE_PERFIL_CENTRAL_007	2
1	SE_ENSAMBLEPARADIVISION_001	2
NO. PARTE	NOMBRE DE LA PIEZA	CANT.

		PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA	
		SISTEMA DE ORIGEN:	
DISEÑO: PRRB DPVL	SISTEMA DE ESTRUCTURA		
DIBUJÓ: DPVL	TAMAÑO	TÍTULO:	
REVISÓ: LAGG	A4	SE_PAREDFRONTAL_001	
FECHA: 16-II-2017		ESCALA 1:2	ACOT: MM



2	SE_PAREDREJILLA_003	2
1	SE_BARILLAREJILLA_001	31
NO. PARTE	NOMBRE DE LA PIEZA	CANT.

		PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA		
		SISTEMA DE ORIGEN:		
DISEÑO:	PRRB DPVL	SISTEMA DE ESTRUCTURA		
DIBUJÓ:	DPVL	TAMAÑO	TÍTULO:	
REVISÓ:	LAGG	A4	SE_REJILLAENSAMBLE_003	
FECHA:	16-II-2017		ESCALA 1:2	ACOT: MM

1 2 3 4 5 6

A

A

B

B

C

C

D

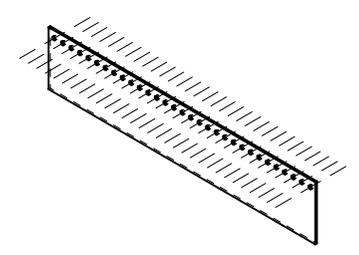
D

1 2 3 4 5 A4

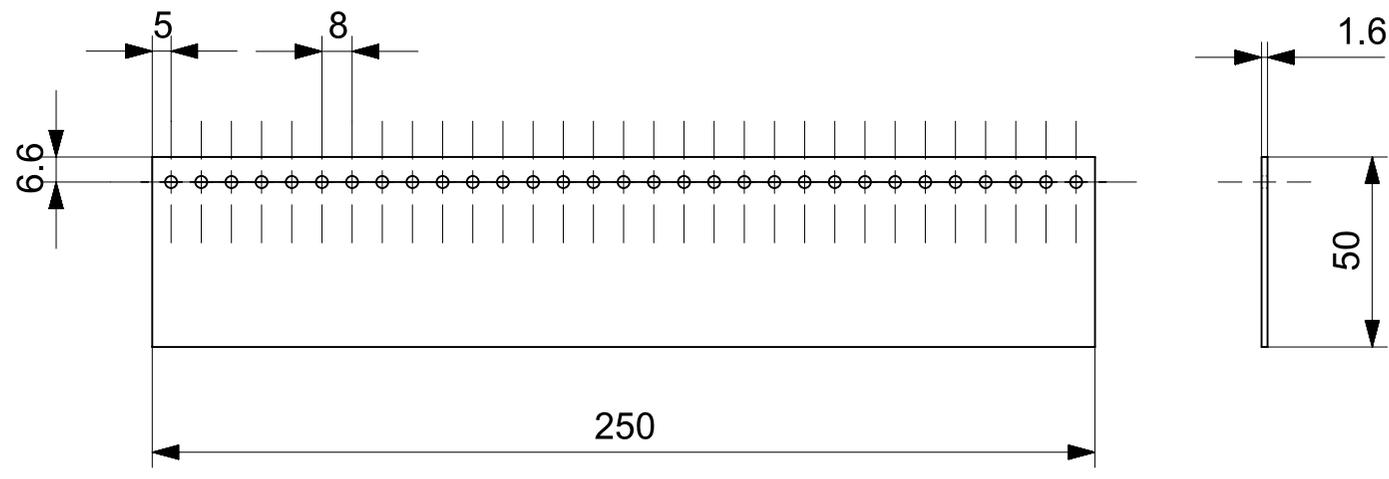
1 2 3 4 5 6

A

A



LAMINA DE ACERO INOXIDABLE AISI 316



TOLERANCIAS NO SEÑALADAS ± 0.5 MM



PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA

SISTEMA DE ORIGEN:

SISTEMA DE ESTRUCTURA

DISEÑÓ:	PRRB DPVL
DIBUJÓ:	DPVL
REVISÓ:	LAGG
FECHA:	16-II-2017

TAMAÑO	TÍTULO:	
A4	SE_PAREDREJILLA_003	

1 2 3 4 5 A4

D

D

1 2 3 4 5 6

A

A

B

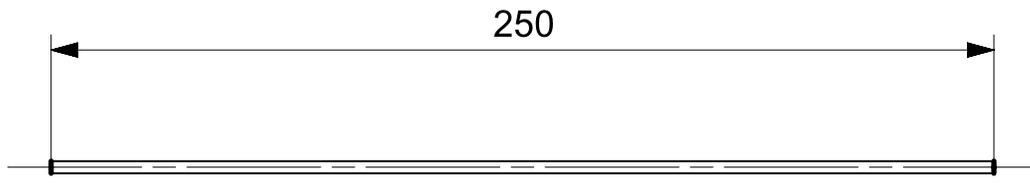
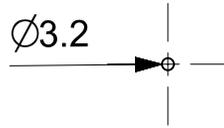
B

C

C

D

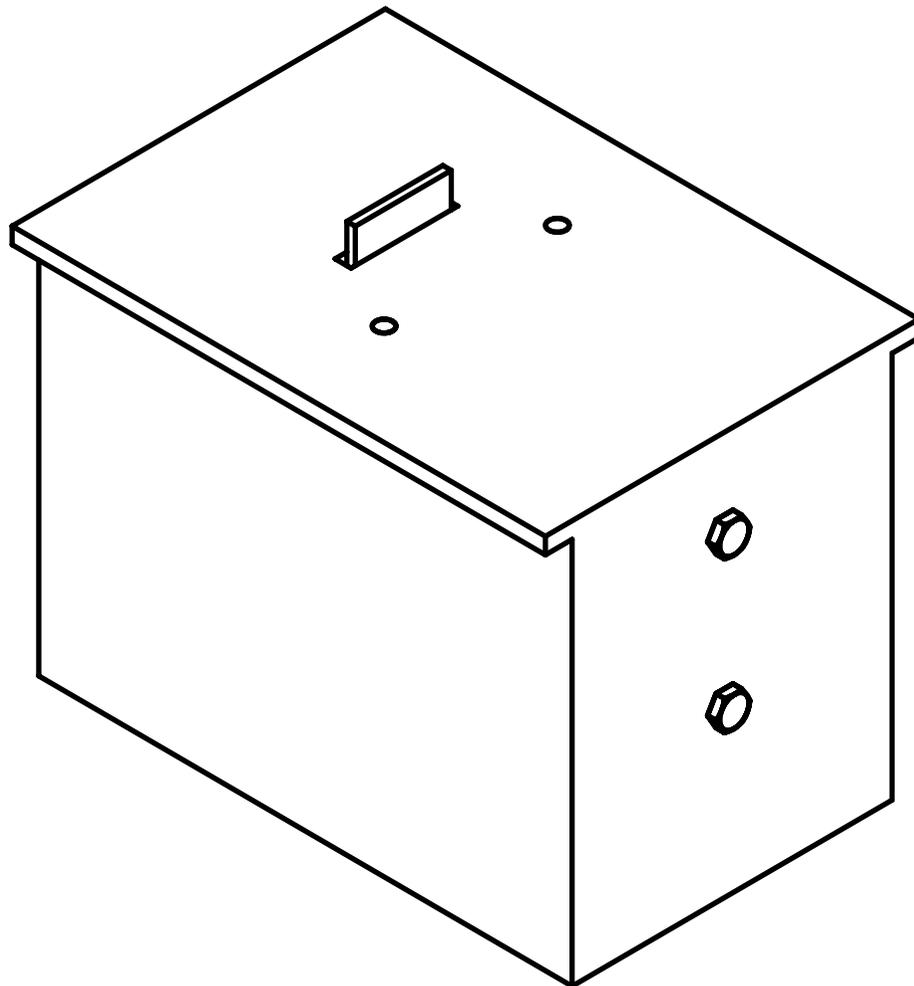
D



TOLERANCIAS NO INDICADAS ± 0.5 MM

		PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA			
		SISTEMA DE ORIGEN:			
DISEÑO:	PRRB DPVL	SISTEMA DE ESTRUCTURA			
DIBUJÓ:	DPVL	TAMAÑO	TÍTULO:	SE_BARILLAREJILLA_003	
REVISÓ:	LAGG	A4			
FECHA:	16-II-2017		ESCALA 1:2	ACOT: MM	HOJA 3 DE 3

1 2 3 4 5 A4



11	SP_MICROSWITCHOMROM	1
10	SLH_TUERCASOMBRERO-M4-PASO0.7_001	2
9	SP_TORNILLOM3_001	2
8	SP_CUBIERTA_001	1
7	SP_BASECAJACIRCUITO	1
6	TORNILLO2	1
5	SP_RUEDA 6MM M3	1
4	SP_SOPORTE1	1
3	SP_PALANCA	1
2	SP_MG90S_SERVO	1
1	SP_EJE_001	2
NO. PARTE	NOMBRE DE LA PIEZA	CANT.



PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA

SISTEMA DE ORIGEN:

SISTEMA DE PALANCA

DISEÑÓ: PRRB DPVL

DIBUJÓ: DPVL

REVISÓ: LAGG

FECHA: 16-II-2017

TAMAÑO

A4

TÍTULO:

SP_ENSAMBLEPALANCA_001



ESCALA 1:1

ACOT: MM

HOJA 1 DE 6

1

2

3

4

5

A4

A

B

C

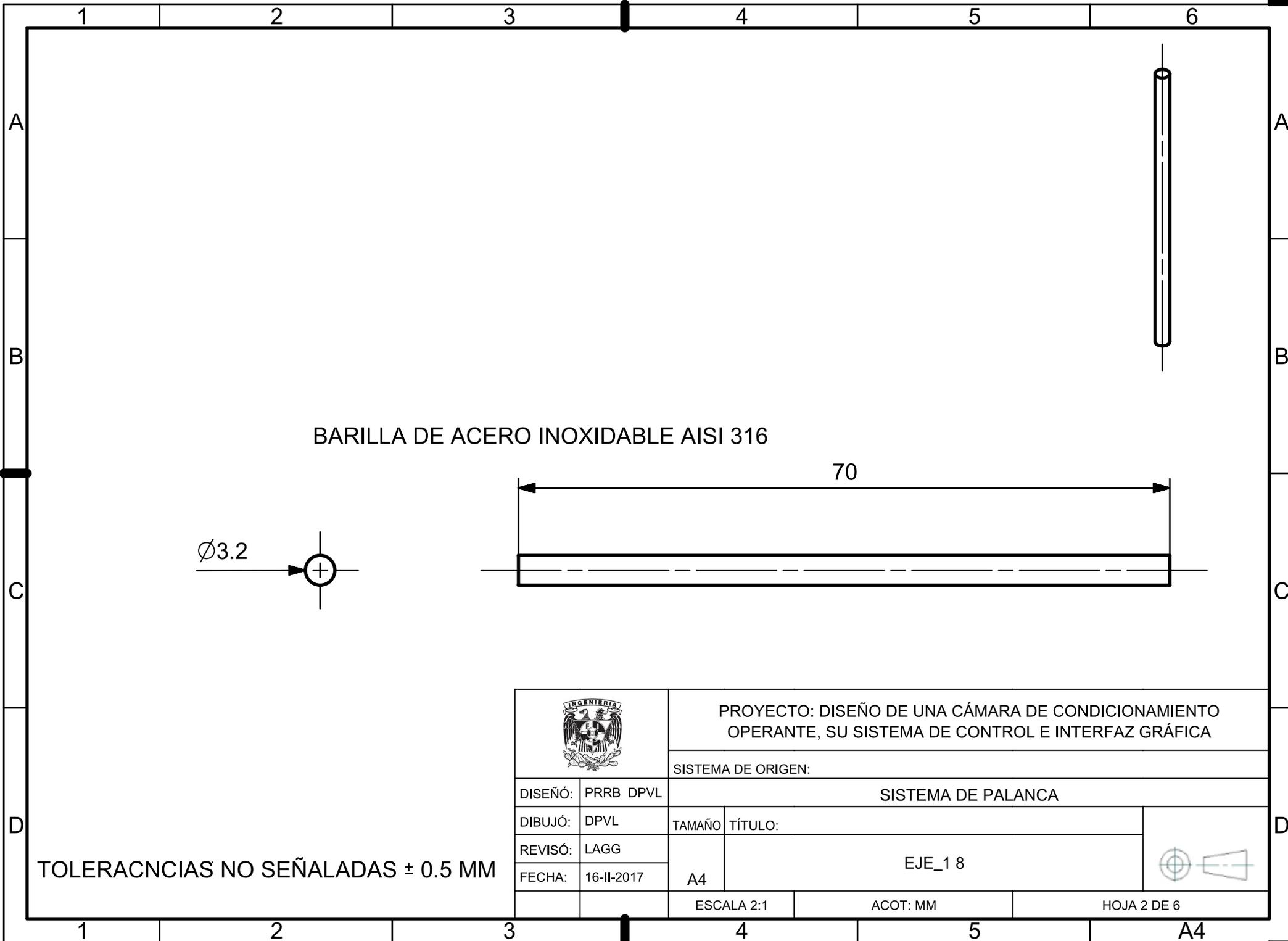
D

A

B

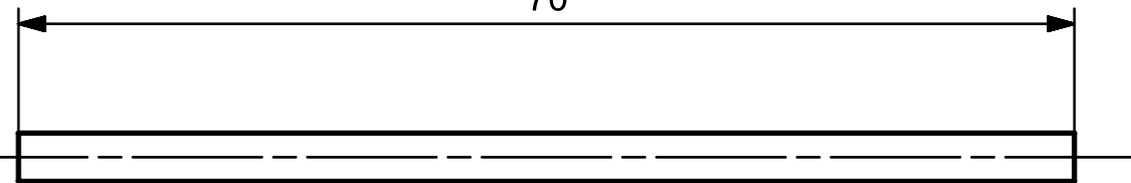
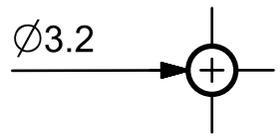
C

D



BARILLA DE ACERO INOXIDABLE AISI 316

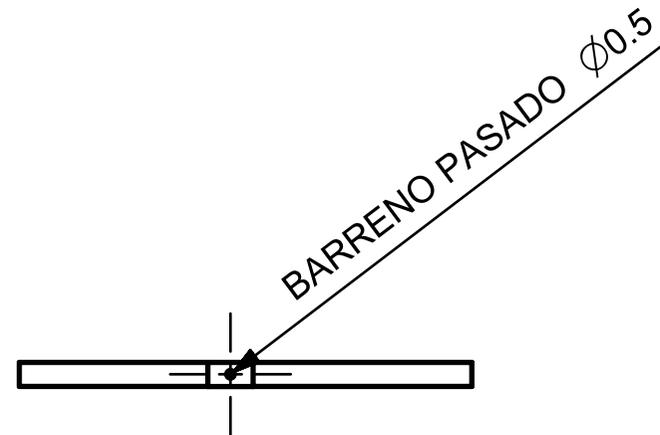
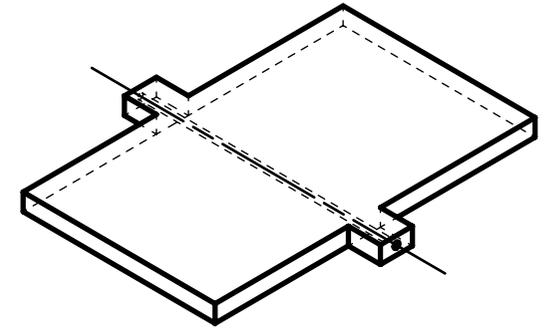
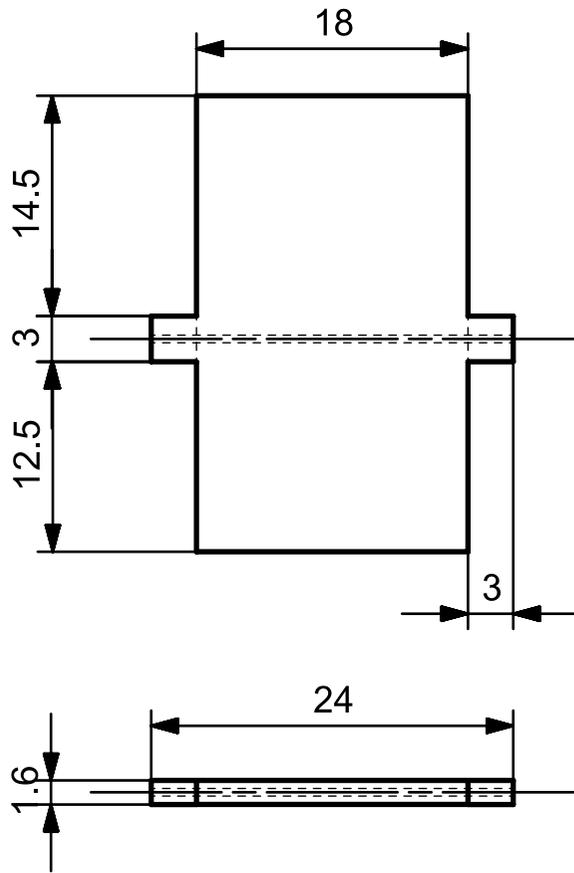
70



TOLERACNCIAS NO SEÑALADAS ± 0.5 MM

		PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA			
		SISTEMA DE ORIGEN:			
DISEÑO:	PRRB DPVL	SISTEMA DE PALANCA			
DIBUJÓ:	DPVL	TAMAÑO	TÍTULO:		
REVISÓ:	LAGG	A4	EJE_1 8		
FECHA:	16-II-2017		ESCALA 2:1	ACOT: MM	





PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA

SISTEMA DE ORIGEN:

SISTEMA DE PALANCA

DISEÑÓ: PRRB DPVL

DIBUJÓ: DPVL

REVISÓ: LAGG

FECHA: 16-II-2017

TAMAÑO

TÍTULO:

A4

SP_PALANCA



TOLERANCIAS NO SEÑALADAS ± 0.5 MM

ESCALA 2:1

ACOT: MM

HOJA 3 DE 6

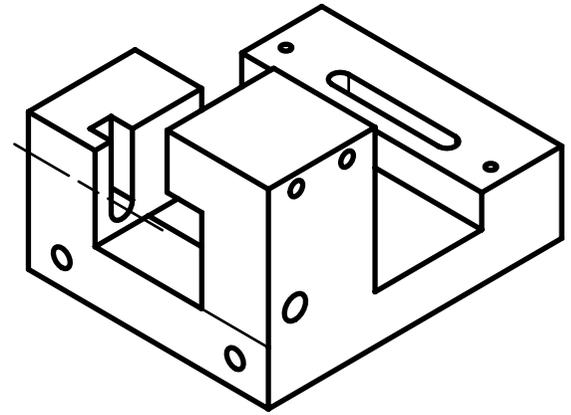
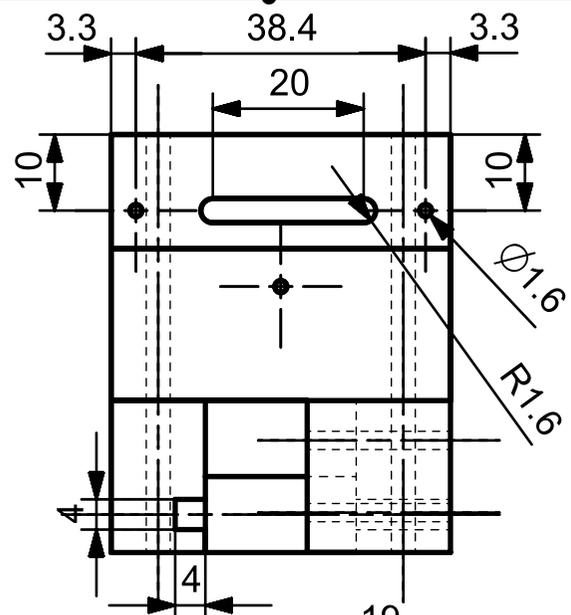
A4

1 2 3 4 5 6

A

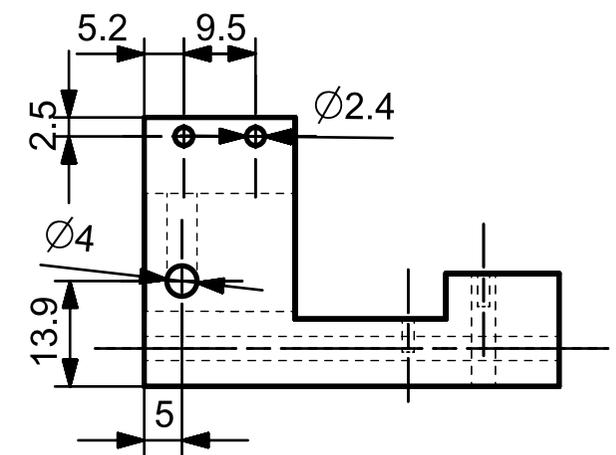
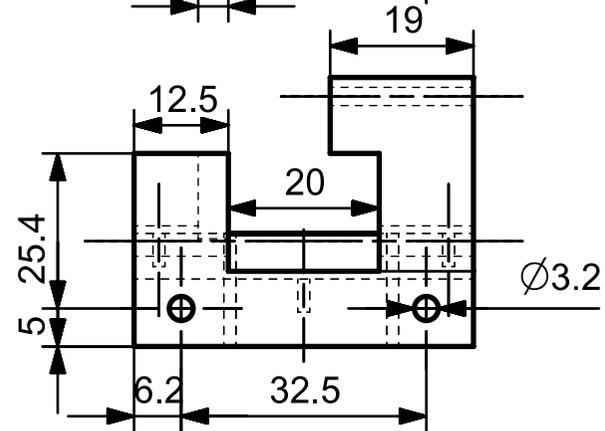
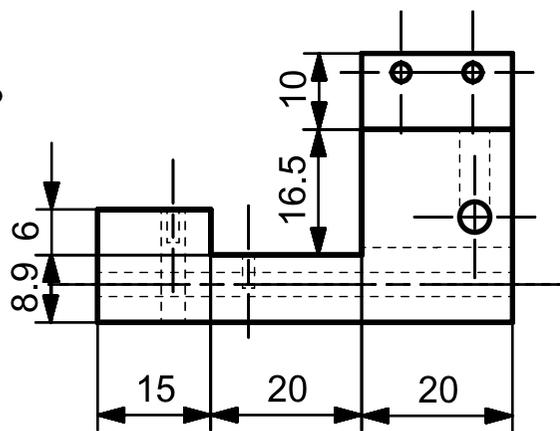
A

AGUJEROS CIEGOS A 5 MM DE PROFUNDIDAD



B

B



C

C

D

D

TOLERANCIAS NO INDICADAS ± 0.5 MM



PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA

SISTEMA DE ORIGEN:

SISTEMA DE PALANCA

DISEÑÓ: PRRB DPVL

DIBUJÓ: DPVL

REVISÓ: LAGG

FECHA: 16-II-2017

TAMAÑO TÍTULO:

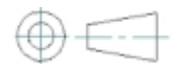
SP_SOPORTE1

A4

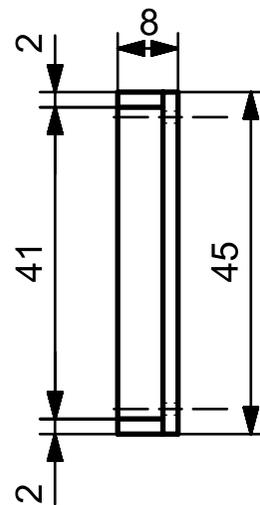
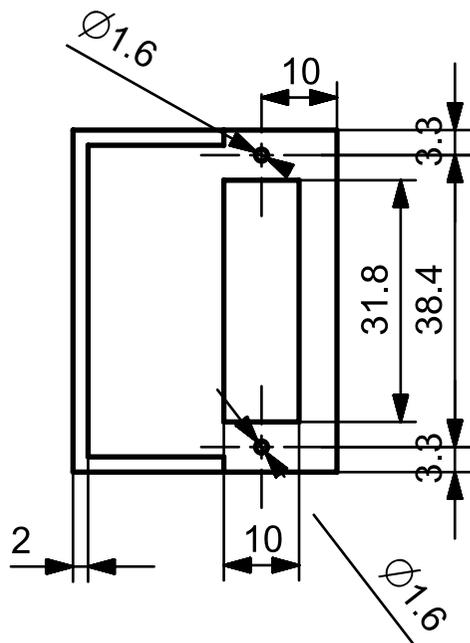
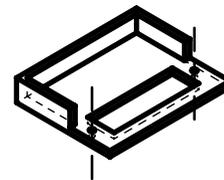
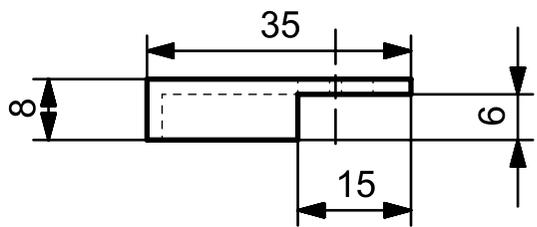
ESCALA 1:1

ACOT: MM

HOJA 4 DE 6



1 2 3 4 5 A4



ACRILICO TRASPARENTE
DE 2 MM DE ESPESOR

TOLERANCIAS NO INDICADAS ± 0.5 MM



PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO
OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA

SISTEMA DE ORIGEN:

SISTEMA DE PALANCA

DISEÑO: PRRB DPVL

DIBUJÓ: DPVL

REVISÓ: LAGG

FECHA: 16-II-2017

TAMAÑO

TÍTULO:

A4

SP_BASECAJACIRCUITO



ESCALA 1:1

ACOT: MM

HOJA 5 DE 6

A4

1 2 3 4 5 6

A

A

B

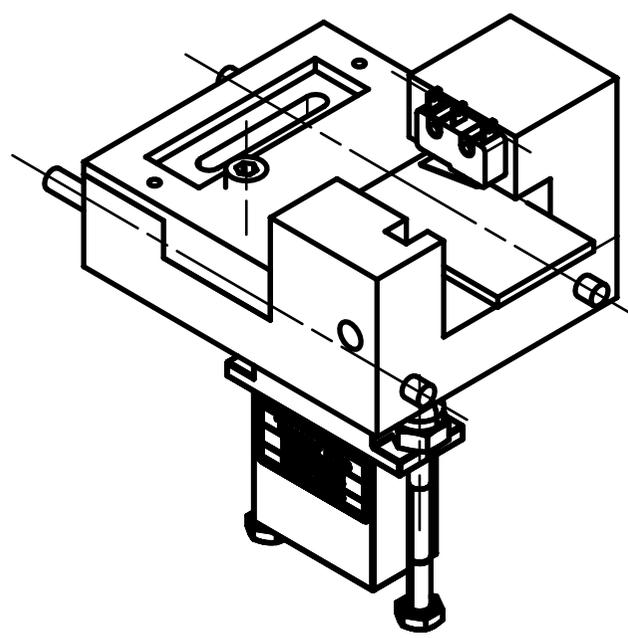
B

C

C

D

D



		PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA			
		SISTEMA DE ORIGEN:			
DISEÑO:	PRRB DPVL	SISTEMA DE PALANCA			
DIBUJÓ:	DPVL	TAMAÑO	TÍTULO:		
REVISÓ:	LAGG	A4	SP_ENSAMBLEPALANCA_001		
FECHA:	16-II-2017		ESCALA 1:1	ACOT: MM	

1 2 3 4 5 A4

1 2 3 4 5 6

A

A

B

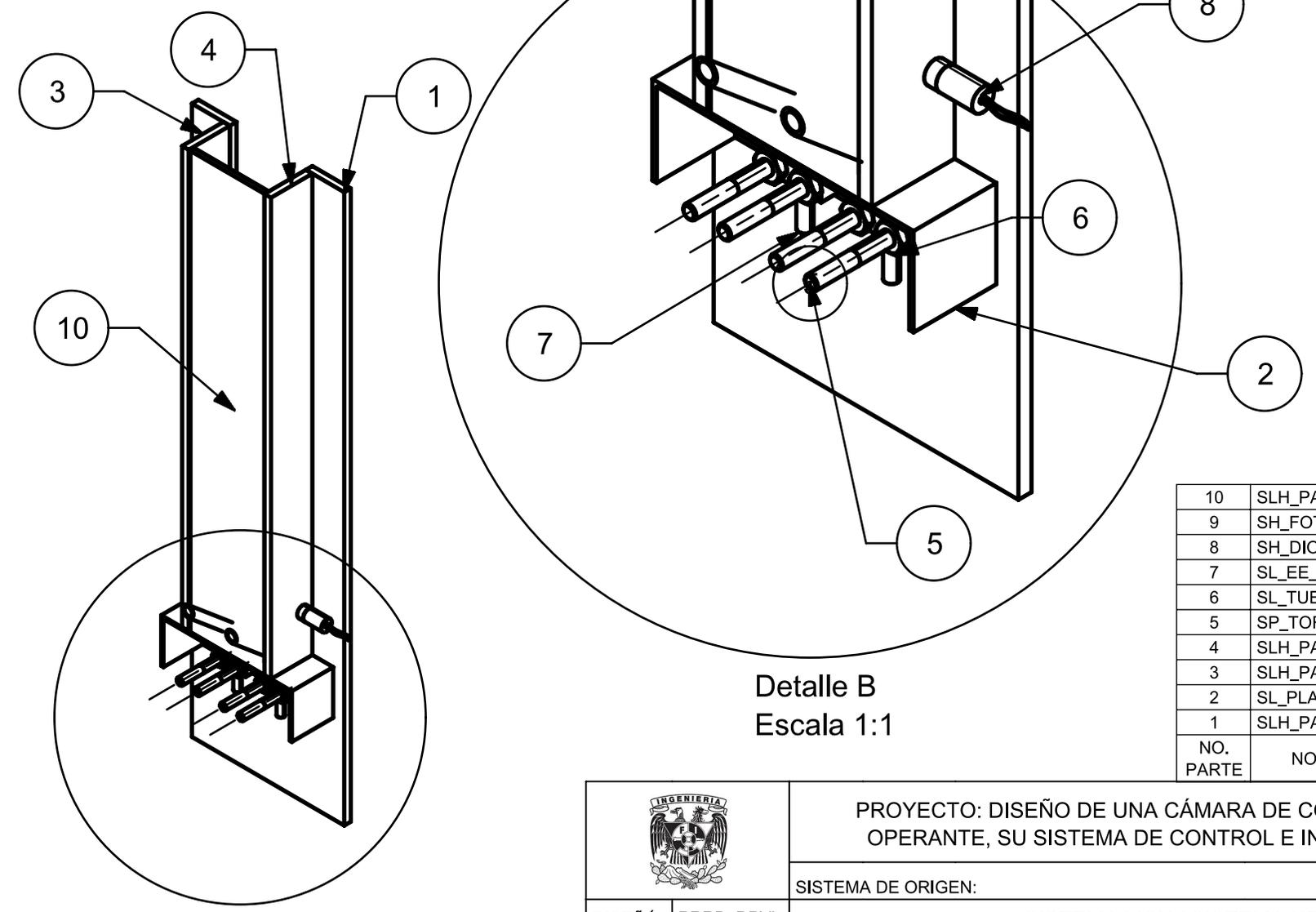
B

C

C

D

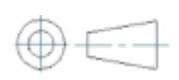
D



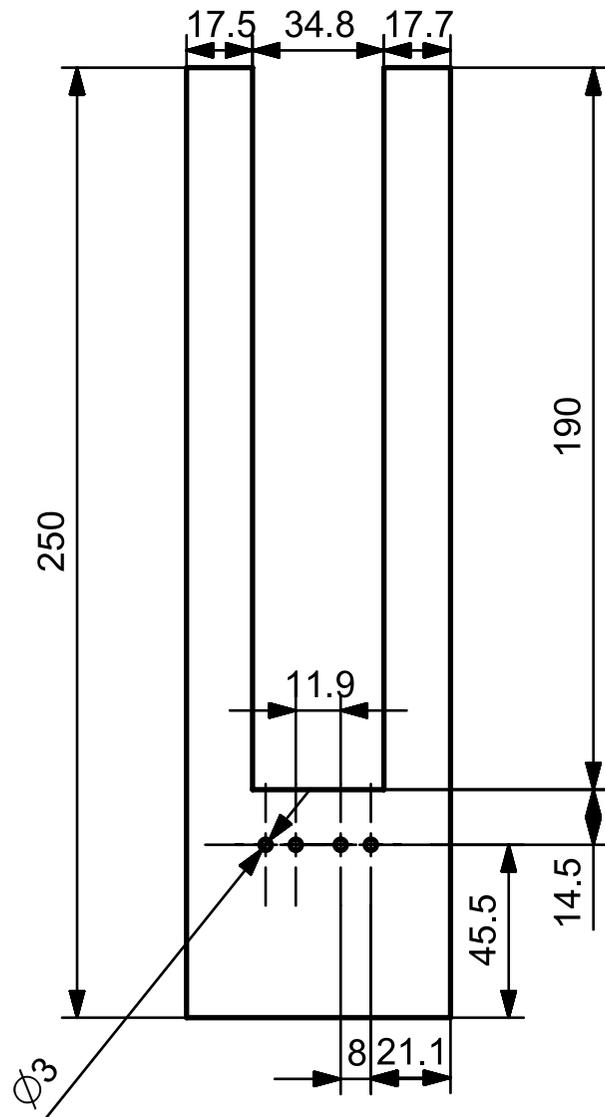
Detalle B
Escala 1:1

10	SLH_PAREDTRASERA_002	1
9	SH_FOTORESISTENCIA_001	1
8	SH_DIODOLASER_004	1
7	SL_EE_SX954W_001	2
6	SL_TUERCA1_8(M3)_001	4
5	SP_TORNILLOM3_001	4
4	SLH_PAREDLATERALDER_001	1
3	SLH_PAREDLATERALIZQ_001	1
2	SL_PLATONDOBLE_002	1
1	SLH_PAREDFRONTAL_005	1
NO. PARTE	NOMBRE DE LA PIEZA	CANT.

		PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA	
		SISTEMA DE ORIGEN:	
DISEÑO: PRRB DPVL	SISTEMA LICK / SISTEMA HEAD		
DIBUJÓ: DPVL	TAMAÑO: A4	TÍTULO: SHL_ENSAMBLEPRUEBA_005	
REVISÓ: LAGG	ESCALA 1:2		ACOT: MM
FECHA: 16-II-2017			

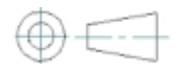


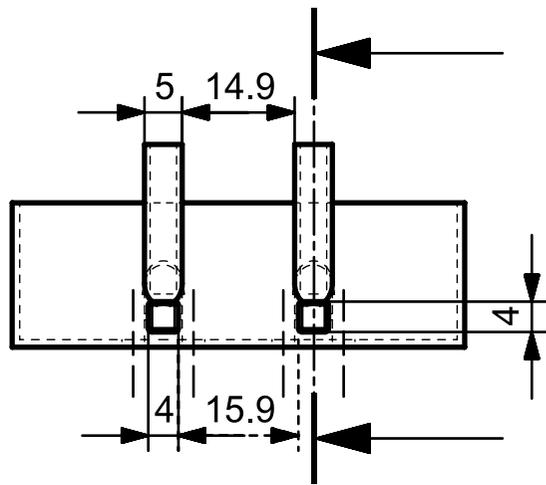
1 2 3 4 5 A4



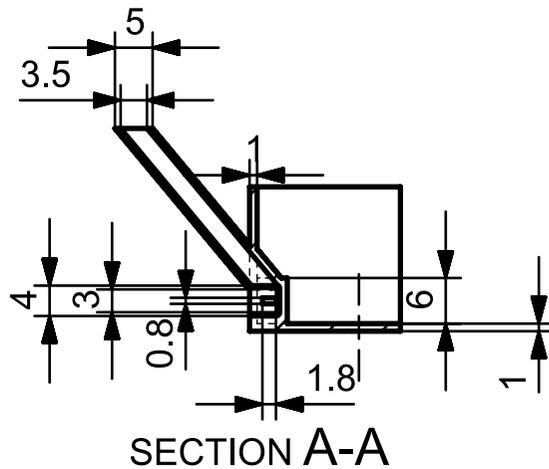
ACRILICO DE 3 MM DE ESPESOR

TOLERANCIAS NO INDICADAS ± 0.5 MM

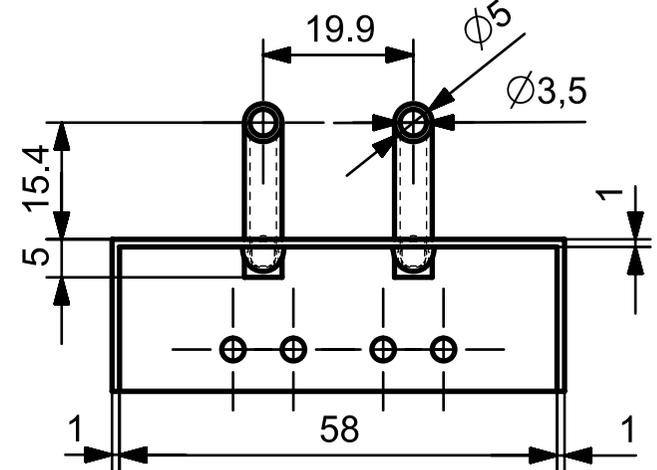
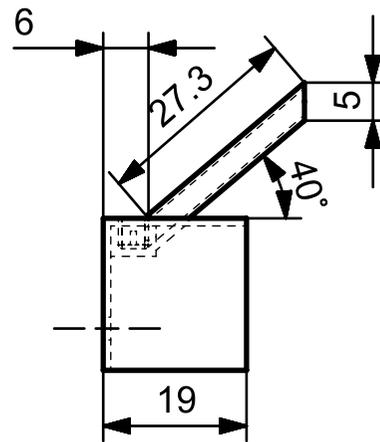
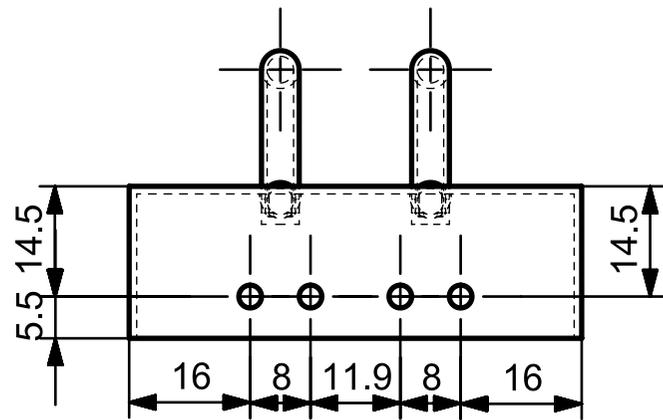
		PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA	
		SISTEMA DE ORIGEN:	
DISEÑO: PRRB DPVL	SISTEMA LICK / SISTEMA HEAD		
DIBUJÓ: DPVL	TAMAÑO	TÍTULO:	
REVISÓ: LAGG	A4	SHL_PAREDFRONTAL_005	
FECHA: 16-II-2017			
ESCALA 1:2		ACOT: MM	HOJA 2 DE 6



A



A



TOLERANCIAS NO INDICADAS ± 0.5 MM



PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA

SISTEMA DE ORIGEN:

SISTEMA LICK

DISEÑO: PRRB DPVL

DIBUJÓ: DPVL

REVISÓ: LAGG

FECHA: 16-II-2017

TAMAÑO

TÍTULO:

A4

SL_PLATONDOBLE_002



ESCALA 1:1

ACOT: MM

HOJA 3 DE 6

A4

1 2 3 4 5 6

A

B

C

D

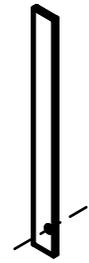
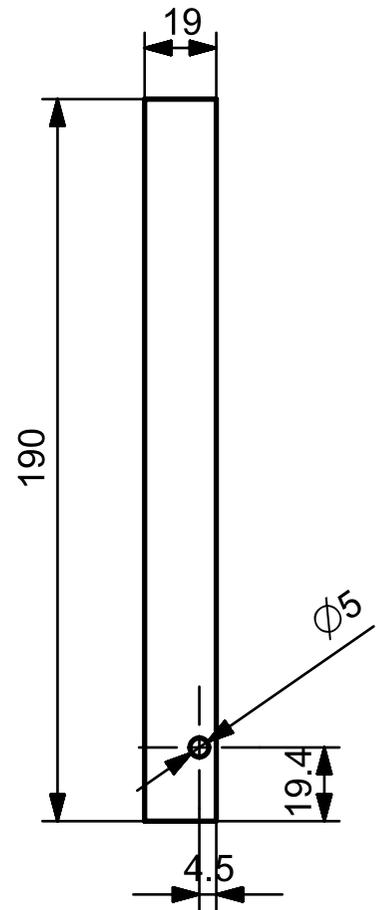
A

B

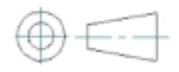
C

D

ACRILICO DE 3 MM DE ESPESOR



TOLERANCIAS NO SEÑALADAS ± 0.5 MM

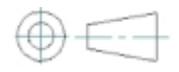
		PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA			
		SISTEMA DE ORIGEN:			
DISEÑO:	PRRB DPVL	SISTEMA LICK / SISTEMA HEAD			
DIBUJÓ:	DPVL	TAMAÑO	TÍTULO:		
REVISÓ:	LAGG	A4	SHL_PAREDLATERALIZQ_001		
FECHA:	16-II-2017		ESCALA 1:2	ACOT: MM	

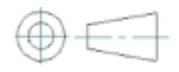
1 2 3 4 5 A4

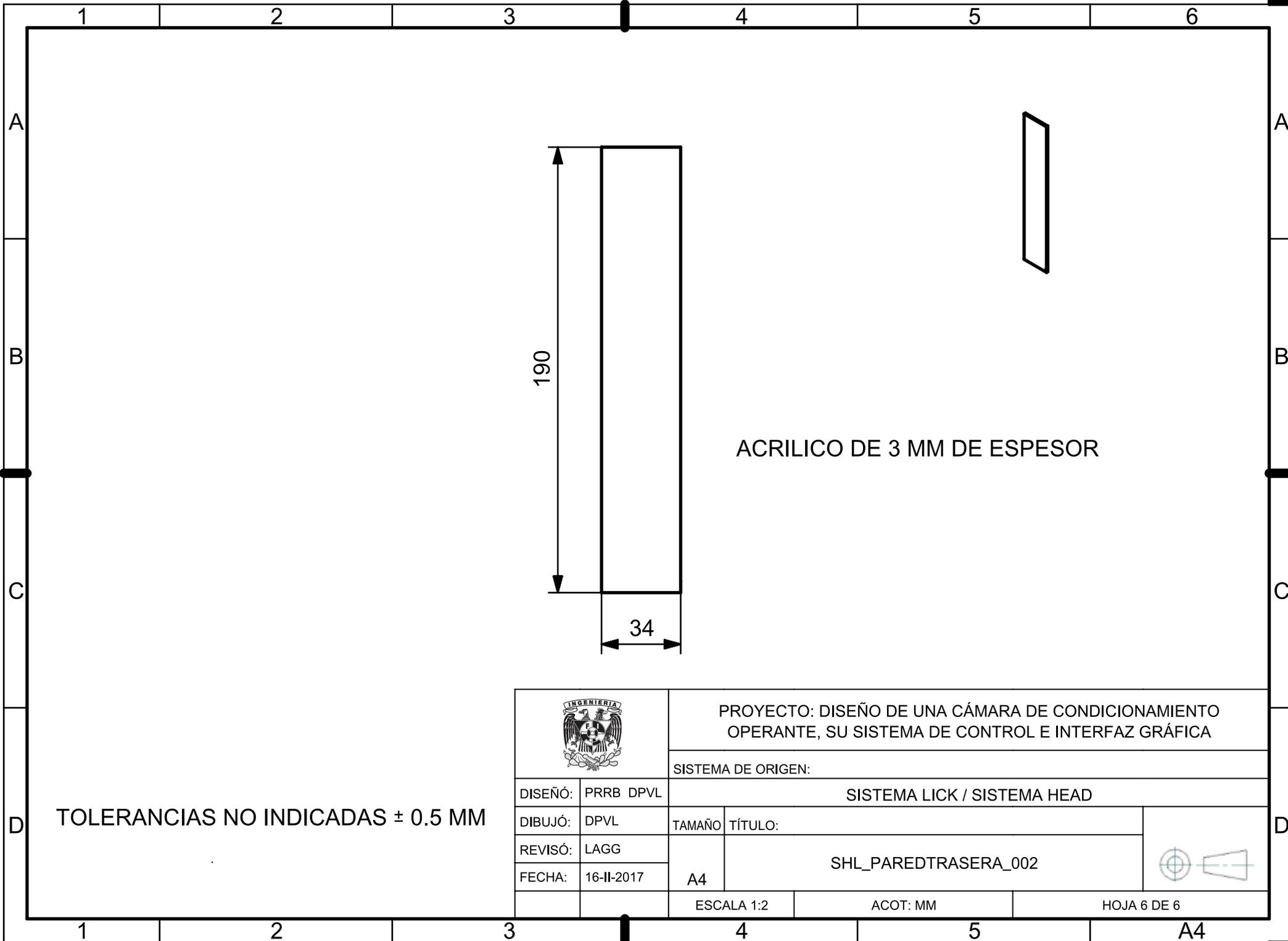


TOLERANCIAS NO INDICADAS ± 0.5 MM

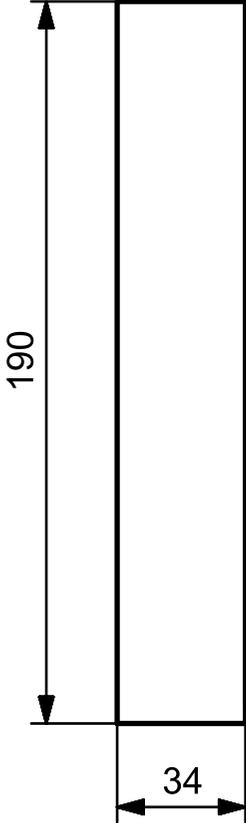
ACRILICO DE 3 MM DE ESPESOR

		PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA			
		SISTEMA DE ORIGEN:			
DISEÑO:	PRRB DPVL	SISTEMA LICK / SISTEMA HEAD			
DIBUJÓ:	DPVL	TAMAÑO	TÍTULO:		
REVISÓ:	LAGG	A4	SHL_PAREDLATERALDER_001		
FECHA:	16-II-2017		ESCALA 1:2	ACOT: MM	





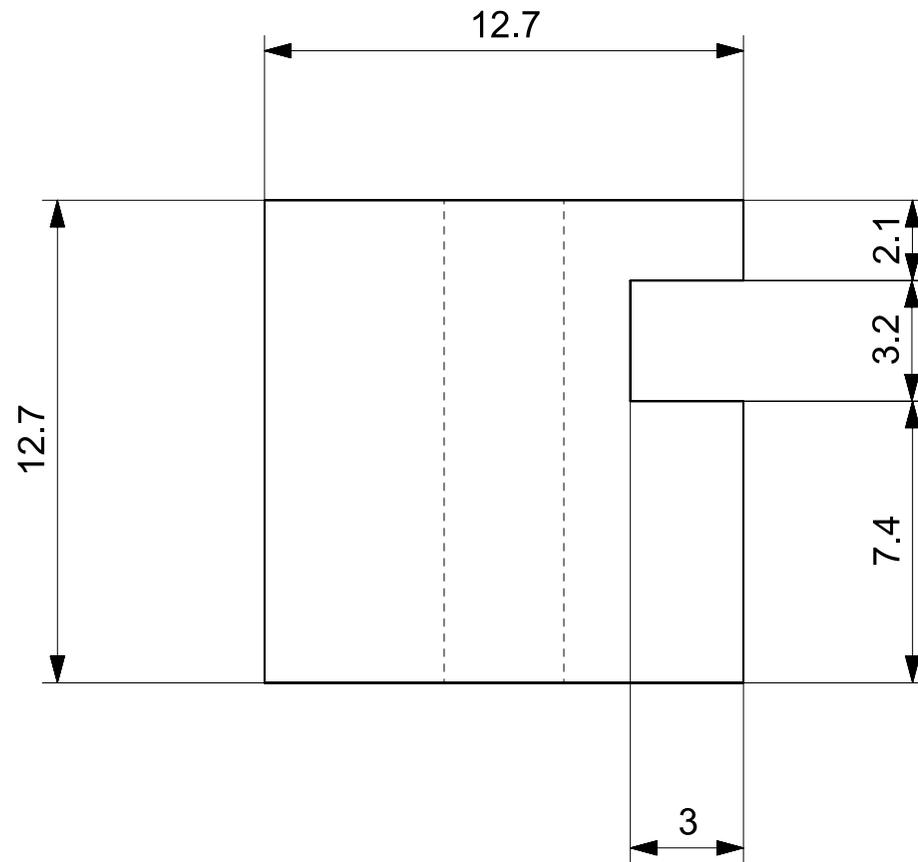
ACRILICO DE 3 MM DE ESPESOR



TOLERANCIAS NO INDICADAS ± 0.5 MM

		PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA			
		SISTEMA DE ORIGEN:			
DISEÑO:	PRRB DPVL	SISTEMA LICK / SISTEMA HEAD			
DIBUJÓ:	DPVL	TAMAÑO	TÍTULO:		
REVISÓ:	LAGG	A4	SHL_PAREDTRASERA_002		
FECHA:	16-II-2017		ESCALA 1:2	ACOT: MM	





PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA

SISTEMA DE ORIGEN:

DISEÑO: PRRB DPVL

SISTEMA DE ESTRUCTURA

DIBUJÓ: DPVL

TAMAÑO

TÍTULO:

REVISÓ: LAGG

SE_Perfil_LD_007

FECHA: 16-II-2017

A4

TOLERANCIAS NO INDICADAS ± 0.5 MM

ESCALA 5:1

ACOT: MM

HOJA 1 DE 3

1

2

3

4

5

A4

A

B

C

D

A

B

C

D

1 2 3 4 5 6

A

A

B

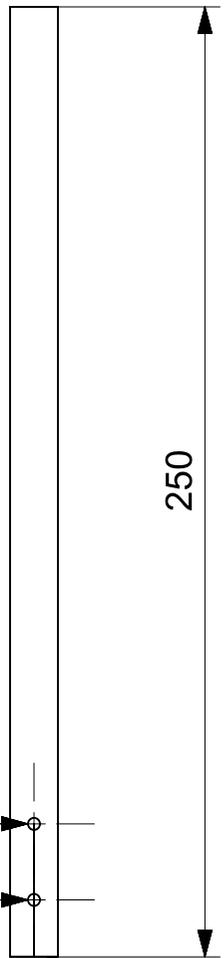
B

C

C

D

D



Agujero pasado Ø3.2

Agujero pasado Ø3.2

250

TOLERANCIAS NO INDICADAS ± 0.5 MM



PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA

SISTEMA DE ORIGEN:

SISTEMA DE ESTRUCTURA

DISEÑO: PRRB DPVL

DIBUJÓ: DPVL

REVISÓ: LAGG

FECHA: 16-II-2017

TAMAÑO

TÍTULO:

A4

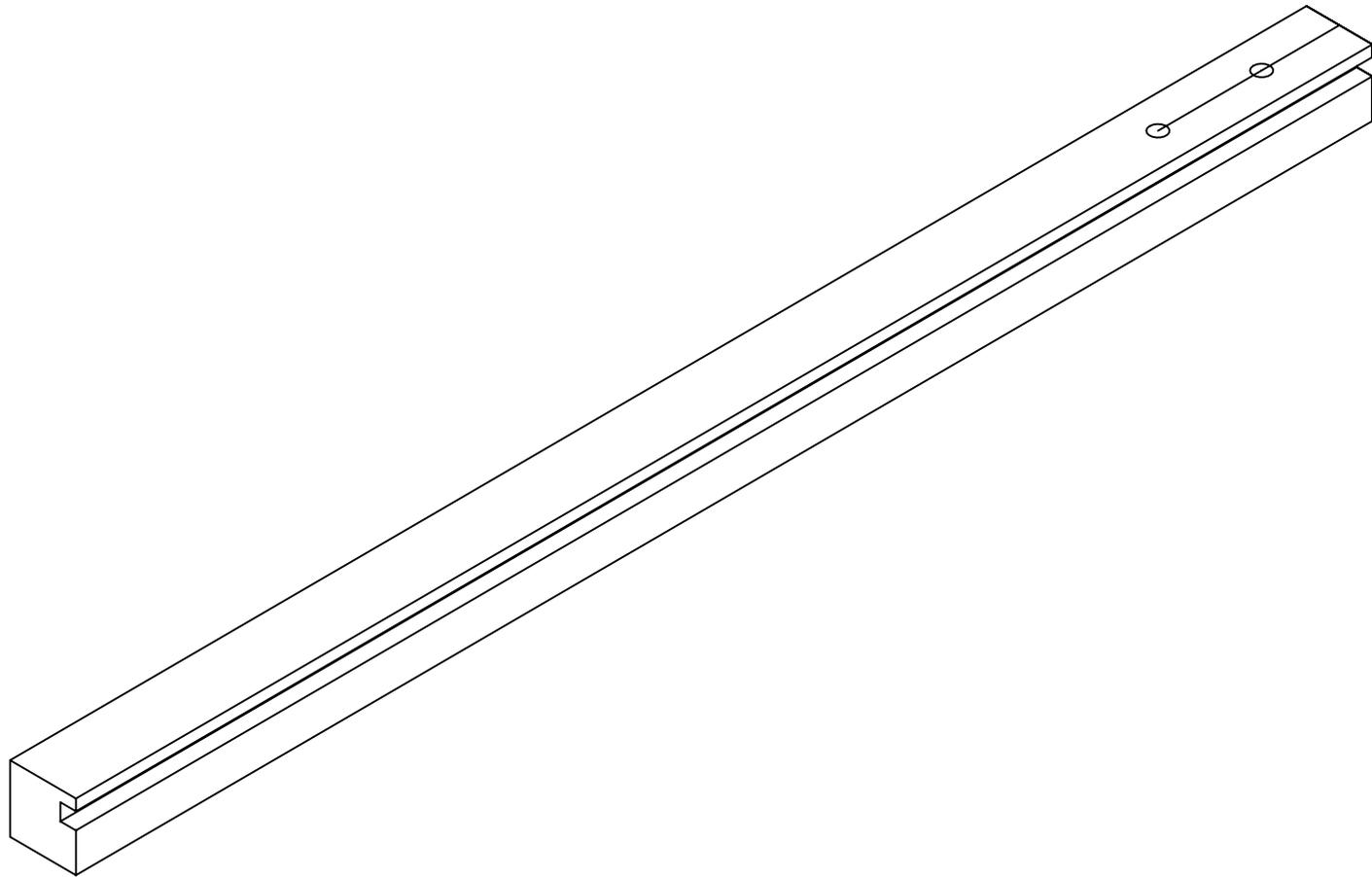
SE_Perfil_LD_007

ESCALA 1:2

ACOT: MM

HOJA 2 DE 3

1 2 3 4 5 A4



1	2		3	4	5		6	
A								A
B								B
C								C
D								D
1	2		3	4	5		A4	



PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA

SISTEMA DE ORIGEN:

SISTEMA DE ESTRUCTURA

DISEÑO: PRRB DPVL

DIBUJÓ: DPVL

TAMAÑO

TÍTULO:

REVISÓ: LAGG

SE_Perfil_LD_007

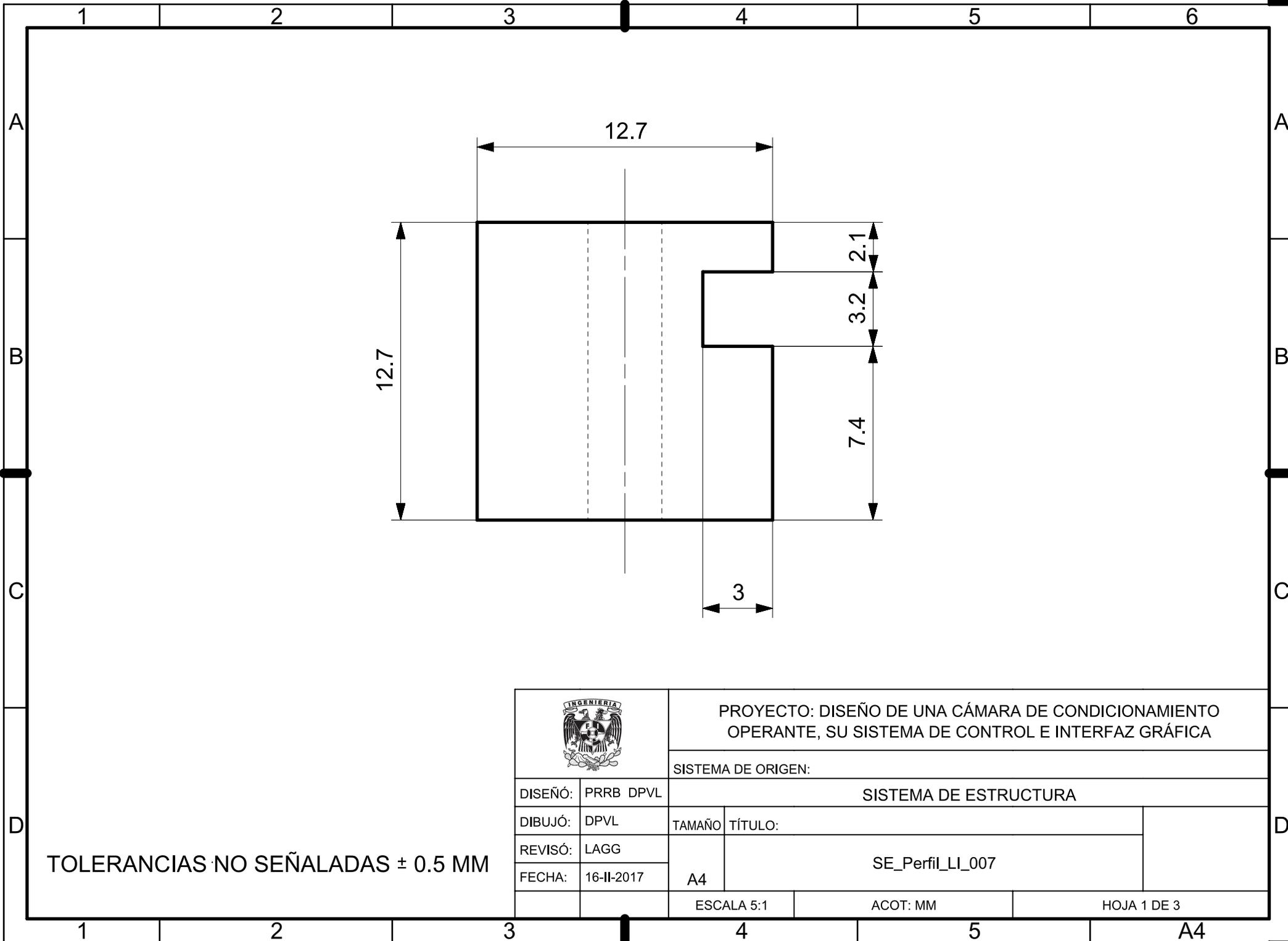
FECHA: 16-II-2017

A4

ESCALA 1:1

ACOT: MM

HOJA 3 DE 3



TOLERANCIAS NO SEÑALADAS ± 0.5 MM

		PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA		
		SISTEMA DE ORIGEN:		
DISEÑO: PRRB DPVL	SISTEMA DE ESTRUCTURA			
DIBUJÓ: DPVL	TAMAÑO	TÍTULO:		
REVISÓ: LAGG	A4	SE_Perfil_LI_007		
FECHA: 16-II-2017		ESCALA 5:1	ACOT: MM	

1 2 3 4 5 6

A

A

B

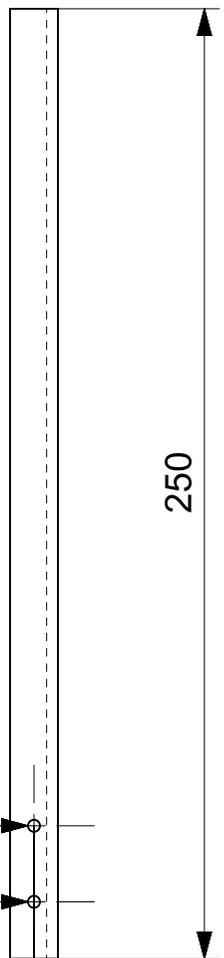
B

C

C

D

D



Agujero pasado Ø3.2

Agujero pasado Ø3.2

250

TOLERANCIAS NO SEÑALADAS ± 0.5 MM



PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA

SISTEMA DE ORIGEN:

SISTEMA DE ESTRUCTURA

DISEÑÓ: PRRB DPVL

DIBUJÓ: DPVL

REVISÓ: LAGG

FECHA: 16-II-2017

TAMAÑO

TÍTULO:

A4

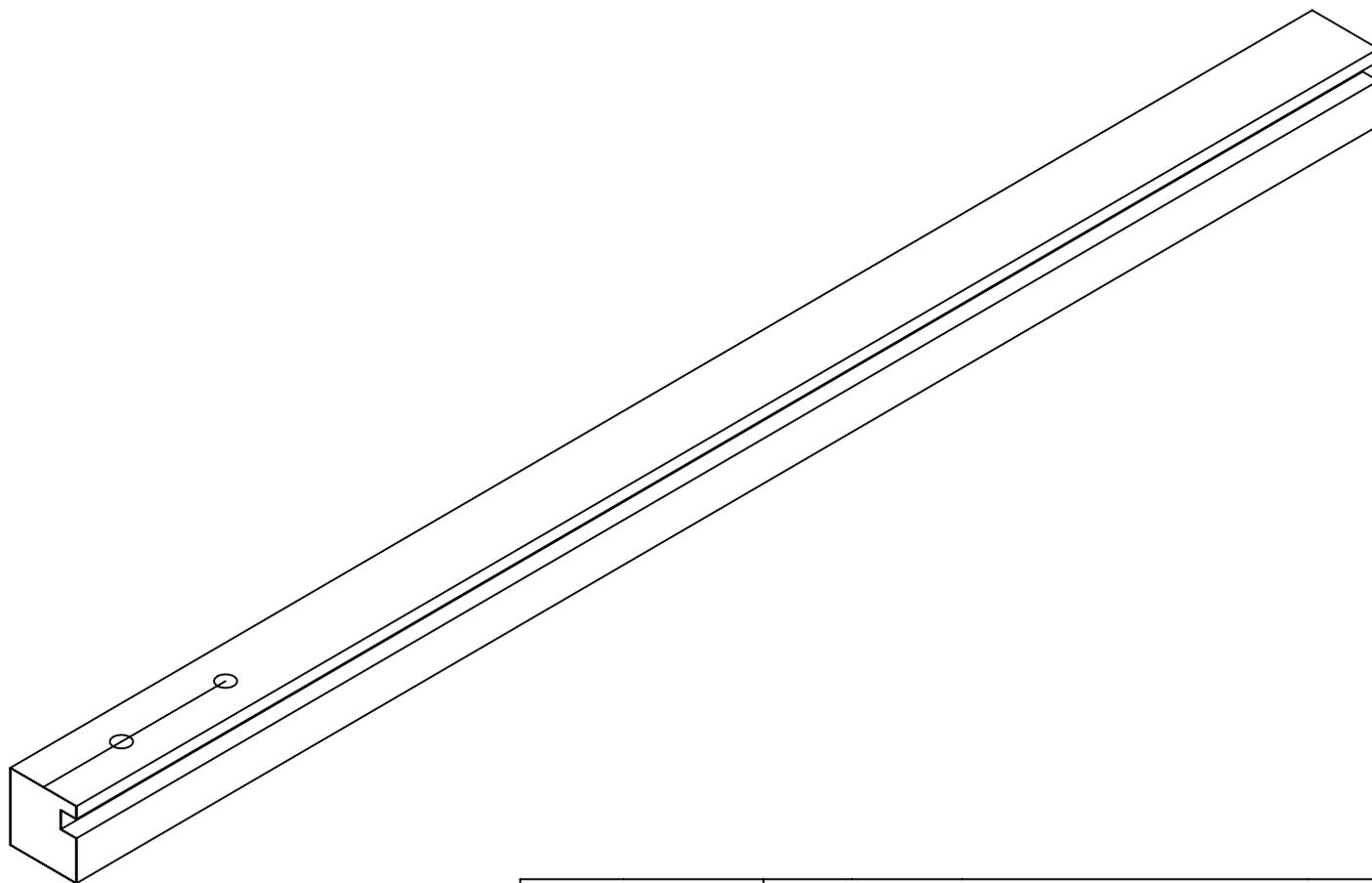
SE_Perfil_LI_007

ESCALA 1:2

ACOT: MM

HOJA 2 DE 3

1 2 3 4 5 6 A4



PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA

SISTEMA DE ORIGEN:

DISEÑO: PRRB DPVL

SISTEMA DE ESTRUCTURA

DIBUJÓ: DPVL

TAMAÑO

TÍTULO:

REVISÓ: LAGG

SE_Perfil_LI_007

FECHA: 16-II-2017

A4

ESCALA 1:2

ACOT: MM

HOJA 3 DE 3

1

2

3

4

5

6

A

A

B

B

C

C

D

D

1

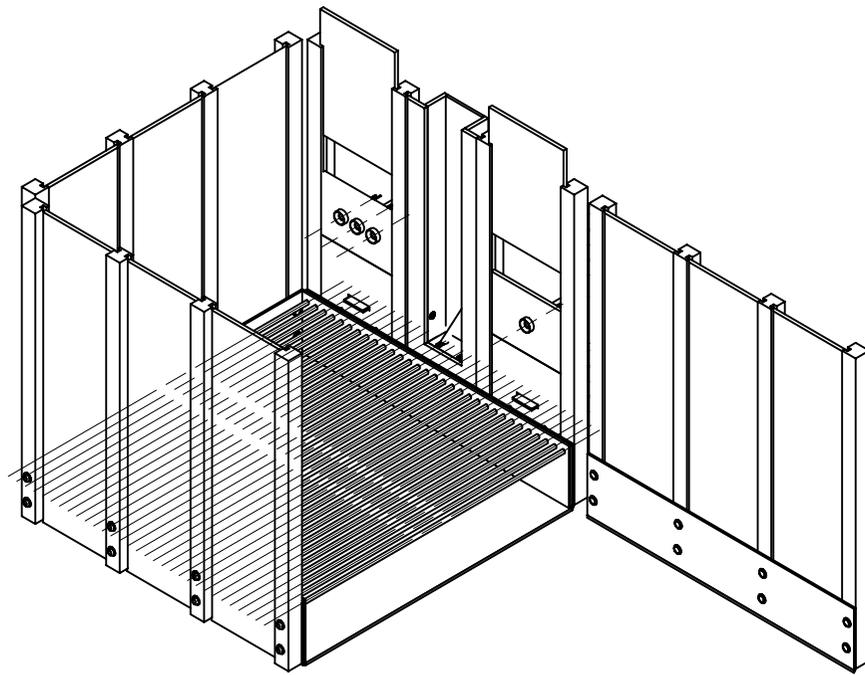
2

3

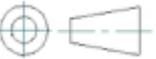
4

5

A4



15	SP_MICROSWITCHOMROM	2
14	SE_PAREDDOUBLE_001	2
13	SE_PAREDCOMPLETA_001	9
12	SI_ENSAMBLESENALADOR3LE D_001	1
11	SI_ENSAMBLESENALADOR1LE D_001	1
10	SLH_ENSAMBLEPRUEBA_005	1
9	SP_ENSAMBLEPALANCA_001	2
8	SE_PAREDFRONTAL_001	1
7	SE_BISAGRA_001	2
6	SE_REJILLAENSAMBLE_003	1
5	SE_REMACHEPOP(15MM)_001	32
4	SE_PERFIL_LI_007	4
3	SE_PERFIL_LD_007	4
2	SE_PERFIL_CENTRAL_007	8
1	SE_BASE_007	2
NO. PARTE	NOMBRE DE LA PIEZA	CANT.

		PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA		
		SISTEMA DE ORIGEN:		
DISEÑO:	PRRB DPVL	SISTEMA DE ESTRUCTURA		
DIBUJÓ:	DPVL	TAMAÑO	TÍTULO:	
REVISÓ:	LAGG	A4	ENSAMBLE DE LA CCO 	
FECHA:	16-II-2017			
		ESCALA 1:5	ACOT: MM	HOJA 1 DE 1

1

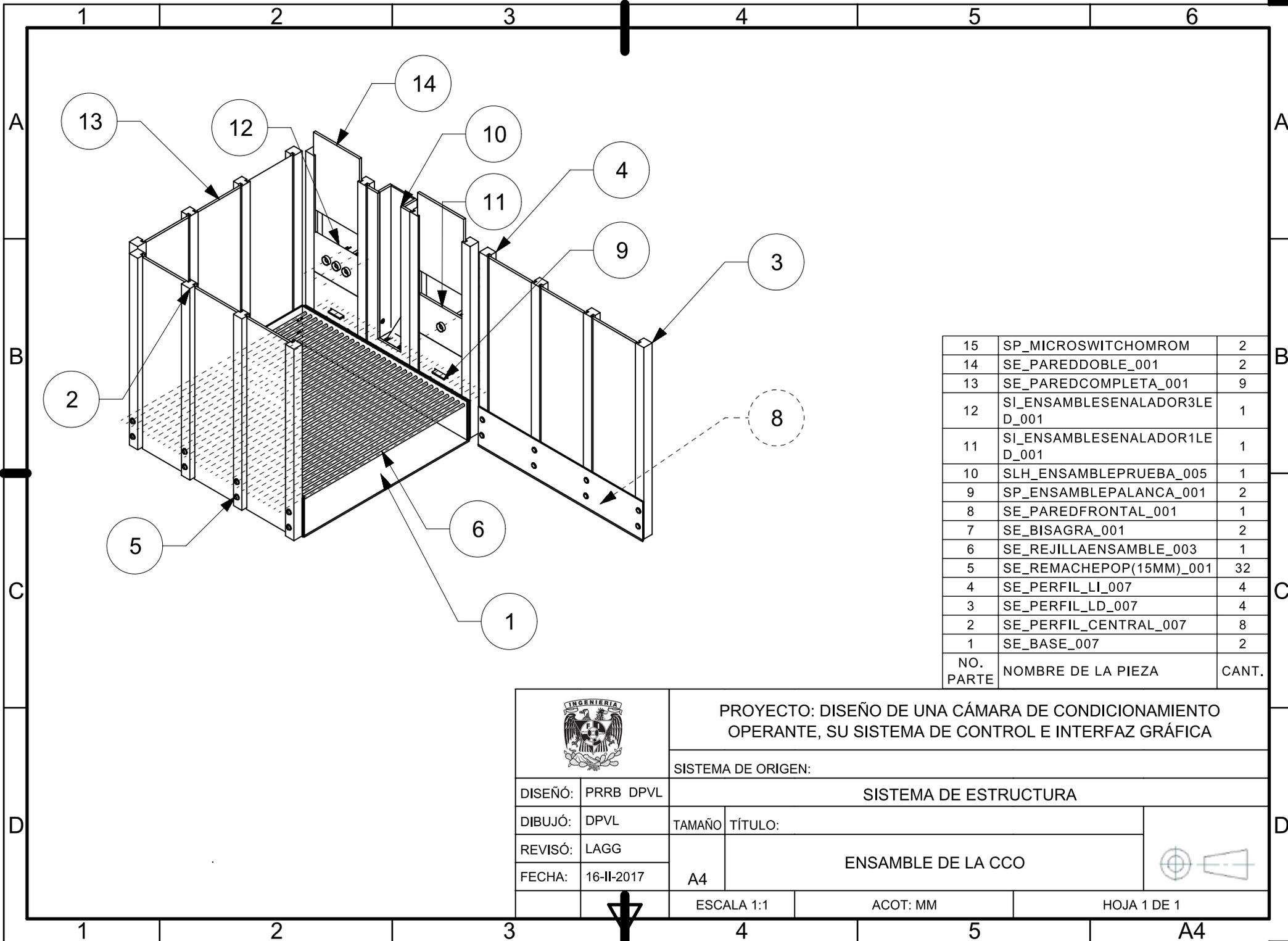
2

3

4

5

A4



15	SP_MICROSWITCHOMROM	2
14	SE_PAREDDOUBLE_001	2
13	SE_PAREDCOMPLETA_001	9
12	SI_ENSAMBLESENALADOR3LE D_001	1
11	SI_ENSAMBLESENALADOR1LE D_001	1
10	SLH_ENSAMBLEPRUEBA_005	1
9	SP_ENSAMBLEPALANCA_001	2
8	SE_PAREDFRONTAL_001	1
7	SE_BISAGRA_001	2
6	SE_REJILLAENSAMBLE_003	1
5	SE_REMACHEPOP(15MM)_001	32
4	SE_PERFIL_LI_007	4
3	SE_PERFIL_LD_007	4
2	SE_PERFIL_CENTRAL_007	8
1	SE_BASE_007	2
NO. PARTE	NOMBRE DE LA PIEZA	CANT.

		PROYECTO: DISEÑO DE UNA CÁMARA DE CONDICIONAMIENTO OPERANTE, SU SISTEMA DE CONTROL E INTERFAZ GRÁFICA		
		SISTEMA DE ORIGEN:		
DISEÑO:	PRRB DPVL	SISTEMA DE ESTRUCTURA		
DIBUJÓ:	DPVL	TAMAÑO	TÍTULO:	
REVISÓ:	LAGG	A4	ENSAMBLE DE LA CCO	
FECHA:	16-II-2017			
		ESCALA 1:1	ACOT: MM	HOJA 1 DE 1