

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS
PARA EL CURSO PRINCIPIOS DE MECATRÓNICA

ALBERTO ENRIQUE LOAIZA GARCÍA
Cód. 0526251

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI
2012

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS
PARA EL CURSO PRINCIPIOS DE MECATRÓNICA

ALBERTO ENRIQUE LOAIZA GARCÍA
Cód. 0526251

Proyecto de Grado

Director del trabajo de grado
José Isidro García Melo, Ph.D

Codirector del trabajo de grado
Joao Luis Ealo Cuello, Ph.D

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI
2012

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a mis padres Diana Jennifer García Y Alberto Loaiza, que se han esmerado por darme la mejor educación, regalo inigualable que un padre le puede dar a sus hijos. Al profesor José Isidro García, quien ha sido un guía en el transcurso de mi carrera y ha dejado muchas enseñanzas, tanto en ingeniería como de la vida, a todas las personas que me han acompañado y dando apoyo en todo este tiempo y han creído en mí.

Dedico este trabajo de grado a todos los estudiantes venideros del pregrado de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle, quienes son los que podrán aprovechar los resultados del esfuerzo realizado en este proyecto; y podrán gozar de un laboratorio renovado, actualizado que mejorará su aprendizaje en el área de mecatrónica.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al profesor José Isidro García quien dirigió este proyecto con ahínco y voluntad, dando sus mejores consejos y experiencias para obtener los mejores resultados de este; a Oscar Carvajal, quien ha colaboró con empeño en la realización de las tarjetas electrónicas; a Guido Sánchez por las recomendaciones en el diseño del horno.

A todos ellos muchas gracias por hacer esto posible.

TABLA DE CONTENIDO

1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2	ANTECEDENTES.....	2
1.2.1	Universidad de California del Sur (Estados Unidos)[1].....	2
1.2.2	Curso de laboratorio en sensores, actuadores e interconexiones informáticas en la Universidad de California en Santa Bárbara, Estados Unidos [2].....	3
1.2.3	Programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Kettering [3]	4
1.2.4	ADA 303, Aplicación de sensores para automoción (ALECOP equipamiento didáctico)[4].....	6
1.2.5	ADA 305 Aplicación de actuadores para automoción (ALECOP equipamiento didáctico)[4].....	7
1.2.6	Estaciones de trabajo FESTO (learnline y learntop)[5]	7
2	JUSTIFICACIÓN.....	9
3	OBJETIVOS	10
3.1	GENERAL	10
3.2	ESPECÍFICOS	10
4	MARCO TEÓRICO	11
4.1	LOS LABORATORIOS EN INGENIERÍA.	11
4.1.1	La importancia de los laboratorios en la enseñanza de la ingeniería[6].....	11
4.1.2	Objetivos de los laboratorios.[6]	12
4.2	SOBRE LA MECATRÓNICA Y SU IMPORTANCIA EN LA INGENIERÍA MECÁNICA	14
4.2.1	Mecatrónica y sistemas Mecatrónicos [7][8]	14
4.2.2	Historia de la mecatrónica. [8]	15
4.2.3	La importancia del estudio de la mecatrónica [8]	16
4.2.4	El rol de la Ingeniería Mecánica en la Mecatrónica[8]	16
4.3	APLICACIÓN DEL MICROCONTROLADOR EN INGENIERÍA MECÁNICA[13]	17

4.3.1	ARDUINO EN LA MECATRÓNICA.....	18
4.4	Sensores [14].....	20
4.5	Actuadores [14].....	20
4.6	ERGONOMÍA	21
4.6.1	Definición y campo de actividad [11]	21
4.6.2	Objetivos de la ergonomía[11]	22
4.6.3	Antropometría[12]	23
5	METODOLOGÍA	25
5.1	CONSULTA BIBLIOGRÁFICA	25
5.2	CONCEPCIÓN E INGENIERÍA BÁSICA DEL BANCO DE PRUEBAS	25
5.3	INGENIERÍA DE DETALLE DE LOS EQUIPOS PARA EL LABORATORIO	25
5.3.1	Modelamiento de los equipos.....	25
5.3.2	Simulación y Verificación de los modelo de los sistemas eléctricos y eléctricos de los equipos.....	26
5.3.3	Concepción y modelamiento de la estructura de acople del Módulo	26
5.3.4	Evaluación de todos los procesos de diseño	26
5.3.5	Presentación de especificaciones de los equipos	26
5.4	DISEÑO PROPUESTO DE UNA PRÁCTICA ARTICULADORA DE LOS CONCEPTOS DEL CURSO PRINCIPIOS DE MECATRÓNICA.....	26
5.5	CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO	26
5.5.1	Fabricación de la mesa del Banco de Pruebas	27
5.5.2	Fabricación de los PCBs del sistema electrónico.....	27
5.6	VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL HARDWARE	27
5.7	Escritura del reporte del proyecto.....	27
6	DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS.....	29
6.1	ESTRUCTURA DEL BANCO (MESA)	29
6.1.1	Requerimientos ergonómicos de la estructura del banco (mesa) [15].....	29
6.1.2	Especificaciones de la estructura del banco.....	35

6.2	DISEÑO DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICO, ELÉCTRICO Y MECÁNICO DE LAS PRÁCTICAS	36
6.2.1	Requerimientos del Hardware de las prácticas.....	37
6.2.2	Especificaciones de los módulos del Banco de Pruebas	41
6.3	DISEÑO DE LA CAJA DE CONEXIONES DEL BANCO DE PRUEBAS	47
6.3.1	Panel del banco de pruebas	48
6.3.2	Electrónica del panel	50
6.3.3	Estructura del panel del banco de pruebas.....	51
6.4	DISEÑO GENERAL DEL BANCO	51
7	DISEÑO PROPUESTO DE UNA PRÁCTICA ARTICULADORA DE LOS CONCEPTOS DEL CURSO PRINCIPIOS DE MECATRÓNICA.....	54
7.1	DISEÑO DEL HORNO.....	54
7.1.1	Espesor de aislante del horno	54
7.1.2	Estructura metálica del horno	55
7.1.3	Aislante térmico del horno	56
7.1.4	Plataforma móvil del horno.....	57
7.1.5	Montaje de la estructura, el aislante térmico y la plataforma móvil del horno	57
7.1.6	Mecanismo del horno.....	58
7.1.7	Sistemas eléctrico y electrónico del Horno	59
7.1.8	Montaje completo del Horno	61
7.1.9	Conexión del horno en el panel.....	62
8	CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS.....	63
8.1	ESTRUCTURA DEL BANCO	63
8.2	CONSTRUCCIÓN DE LA CAJA DE CONEXIONES DEL BANCO DE PRUEBAS	64
8.3	Montaje del Banco de Pruebas.....	67
9	CONCLUSIONES.....	69
10	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	71
11	BIBLIOGRAFÍA	72

TABLA DE CONTENIDO FIGURAS

Figura 1.	EVBplus2 microcontroller evaluation board	3
Figura 2.	Estación de trabajo mecatrónica Universidad de California.....	4
Figura 3.	Entrenador Toshiba TLCS-900H y placas para interfaces de apoyo.....	5
Figura 4.	Panel ADA303.....	6
Figura 5.	Panel ADA305.....	7
Figura 6.	Diseños de estaciones de trabajo FESTO	8
Figura 7.	Esquema para la definición de Mecatrónica.....	15
Figura 8.	Diagrama de flujo de la metodología del proyecto	28
Figura 9.	Criterios para determinar la postura de trabajo.....	30
Figura 10.	Plano de trabajo sentado	31
Figura 11.	Altura de trabajo en posición sentada, dada en cm.....	32
Figura 12.	Vista superior de un puesto de trabajo: espacios para controles manuales .	33
Figura 13.	Área de trabajo: arcos de alcance horizontales en centímetros (INSHT)	33
Figura 14.	Características de diseño recomendadas para tableros de mando en las que los operadores trabajen en posición de sentado.	34
Figura 15.	Especificaciones de la mesa del banco de pruebas 1.....	35
Figura 16.	Especificaciones de la mesa del banco de pruebas 2.....	36
Figura 17.	Requerimientos eléctrico y electrónico para las prácticas de laboratorio	37
Figura 18.	Matriz de decisión para la selección del sistema de control.....	38
Figura 19.	Placa de desarrollo Arduino DUE.....	39
Figura 20.	Esquemático del módulo de entradas digitales.	42
Figura 21.	Placa física del módulo de entradas digitales.	42
Figura 22.	Esquemático del módulo de salidas digitales de LEDs	43
Figura 23.	Placa física del módulo de salidas digitales LEDs	43
Figura 24.	Esquemático del módulo de entradas y salidas globales	44
Figura 25.	Placa física del módulo de entradas y salidas globales	44
Figura 26.	Esquemático del módulo de manejo de motores DC.....	45
Figura 27.	Placa física del módulo de manejo de motores DC.....	45
Figura 28.	Esquemático de la interfaz acople con dispositivos de corriente alterna.....	46
Figura 29.	Placa física de la interfaz para acople con dispositivos de corriente alterna.	46

Figura 30.	Placa física de la Interfaz de montaje para la placa de desarrollo	47
Figura 31.	Panel del banco de pruebas	48
Figura 32.	Panel del banco de pruebas	48
Figura 33.	Panel del banco de pruebas (Grupo de componentes).....	49
Figura 34.	Grupo 1 del panel del banco de pruebas	49
Figura 35.	Grupo 2 del panel del banco de pruebas	50
Figura 36.	Grupo 3 del panel del banco de pruebas	50
Figura 37.	Panel del banco de pruebas (electrónica)	51
Figura 38.	Panel del banco de pruebas estructura.....	52
Figura 39.	Montaje del banco de pruebas.....	52
Figura 40.	Renderizado del Banco de Pruebas	53
Figura 41.	Estructura metálica del horno	56
Figura 42.	Aislante térmico del horno	56
Figura 43.	Plataforma móvil del horno.....	57
Figura 44.	Montaje estructura, el aislante térmico y la plataforma móvil del horno.....	58
Figura 45.	Mecanismo del Horno 1	58
Figura 46.	Mecanismo del Horno 2	59
Figura 47.	Sistemas eléctrico y electrónico	60
Figura 48.	Montaje completo del horno 1	61
Figura 49.	Montaje completo del horno 2	61
Figura 50.	Conexión del horno en el panel del banco de pruebas.....	62
Figura 51.	Mesa del Banco de Pruebas	63
Figura 52.	Base para conexiones y montaje de los circuitos impresos	64
Figura 53.	Lámina de montaje de los circuitos impresos del panel	64
Figura 54.	Acople de los circuitos impresos	65
Figura 55.	Montaje circuitos impresos	65
Figura 56.	Montaje del panel (conexiones)	66
Figura 57.	Caja de conexiones lista para montaje en la mesa de Banco de Pruebas	66
Figura 58.	Montaje de la caja de conexiones	67
Figura 59.	Banco de Pruebas para el curso principios de mecatrónica	68
Figura 60.	Comparación del producto final con el diseño propuesto	68

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los ingenieros mecánicos, como resultado de la búsqueda de soluciones a necesidades cada vez más exigentes, incorporan los continuos avances tecnológicos en sus proyectos. Así, los diseños mecánicos actuales están integrados, principalmente, por componentes mecánicos, electrónicos e informáticos, que se ha definido como productos mecatrónicos. En este sentido, en las últimas tres décadas la mecatrónica se ha hecho una parte inseparable de la mecánica. Como consecuencia, los programas de Ingeniería Mecánica se han actualizado incorporando esta disciplina a su enseñanza, con el objetivo de tener un conocimiento y entendimiento de los conceptos básicos de la mecatrónica; y una de las alternativas de aprendizaje relevante para adquirirlos son los laboratorios educativos. Así, en las universidades se pueden encontrar diferentes módulos para la enseñanza de esta área, como módulos y estaciones. Sin embargo, en el ámbito local (Universidad del Valle), la escuela de Ingeniería Mecánica carece a la fecha con un laboratorio consolidado para la enseñanza de esta área. Por esta razón, este proyecto de grado pone a disponibilidad un banco de pruebas que permite la realización de prácticas experimentales de los conceptos teóricos impartidos en el curso del currículo llamado *Principios de Mecatrónica*.

A continuación, el documento da soporte al porqué del proyecto, como se encuentra la temática a desarrollar en la actualidad y cómo fue el desarrollo del mismo. Finalmente, se hace mención a los resultados alcanzados.

1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según [1], “La función de la ingeniería es manipular materiales, energía e información, para así crear beneficios para la humanidad, esto se hace posible teniendo un conocimiento de la naturaleza que va más allá de una teoría, estos conocimientos son generalmente adquiridos en un laboratorio educativo”. En consecuencia, son de importancia los laboratorios para afianzar los conceptos teóricos adquiridos en cada una de las asignaturas vistas en los programas académicos, y en el marco de la Ingeniería mecánica es aún más trascendental debido a que ésta, en la mayoría de sus campos de acción es de carácter manual, palpable y creativo.

En el contexto local (Universidad del Valle), actualmente, las líneas de desarrollo definidas dentro del plan de desarrollo de la Escuela de Ingeniería Mecánica son: Sólidos, Térmicas, Fluidos y Mecatrónica. Donde, esta última adolece de un laboratorio consolidado que permita aplicar y fortalecer los conocimientos teóricos impartidos en las aulas magistrales. Así, este proyecto se centra en ofrecer una respuesta efectiva a la necesidad de implementación de un laboratorio educacional adecuado para el área de mecatrónica.

1.2 ANTECEDENTES

Diferentes universidades alrededor del mundo presentan diferentes alternativas para la enseñanza de la mecatrónica. A continuación, se muestra algunas de estas opciones y ofertas del mercado.

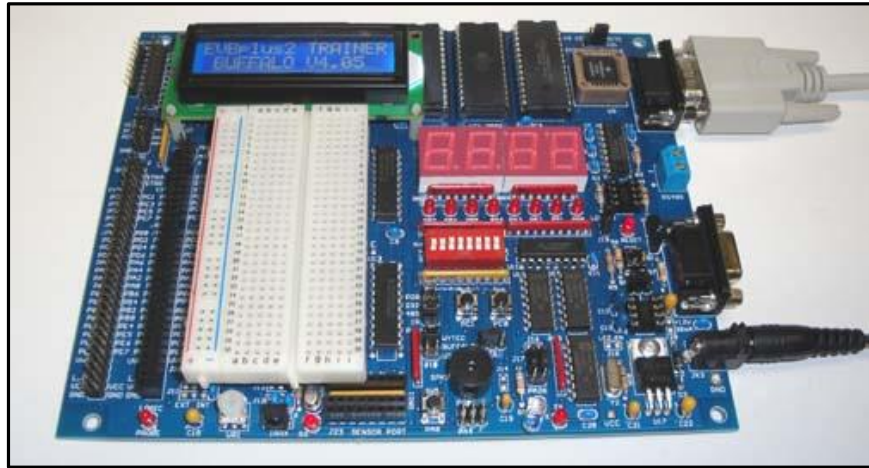
1.2.1 Universidad de California del Sur (Estados Unidos)[1]

En esta universidad se usa un módulo de desarrollo llamado EVB (EVBplus2 microcontroller evaluation board,), ver Figura 1, en el cual se hacen las prácticas del curso “microcontroladores en ingeniería mecánica” donde a través de la utilización de las diversas funciones del EVB, tales como: puertos paralelos, comunicación serie, el calendario de eventos (detección y generación), motor de corriente continua, tacómetro, control de

motor paso a paso, y conversión análogo-digital se refuerzan los conceptos teóricos enseñados en el curso.

El EVB cuenta con un microcontrolador Motorola MC68HC11, chips de memoria ampliada, una unidad de puerto de remplazo, así como los chips de circuitos integrados para la conexión con el computador y/o terminal, como las entradas y salidas de los periféricos.

Figura 1. EVBplus2 microcontroller evaluation board



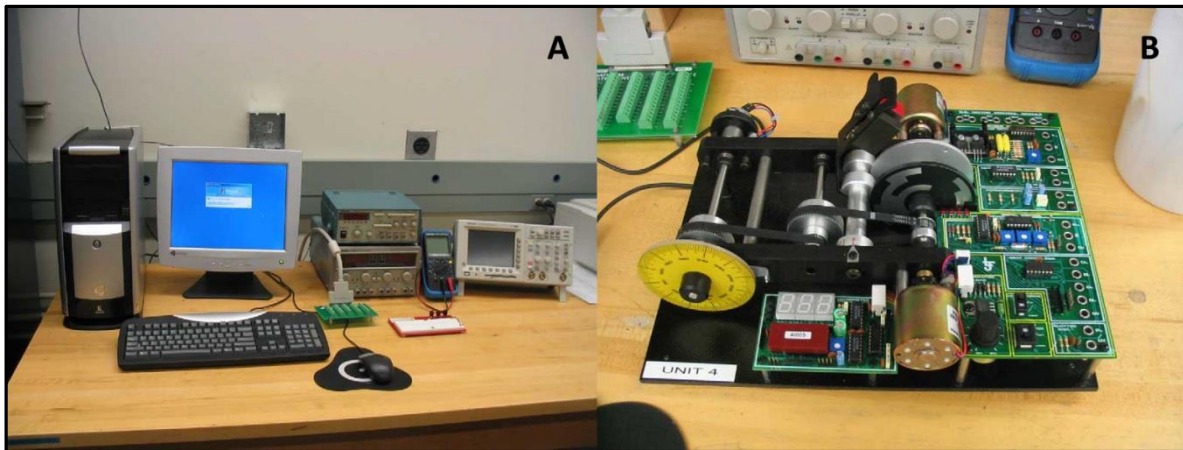
1.2.2 Curso de laboratorio en sensores, actuadores e interconexiones informáticas en la Universidad de California en Santa Bárbara, Estados Unidos [2]

El departamento de Ingeniería Mecánica posee un laboratorio de Diseño de Sistemas de Control dedicado a la enseñanza. El laboratorio contiene 10 estaciones, cada una de las cuales pueden ser ocupados por dos alumnos a la vez, para un total de 20 estudiantes. Cada estación está equipada con un PC (Pentium 4, 2,40 GHz con 512 MB de RAM, 60 GB de disco duro, Windows XP Professional 2002, con acceso a la red), tarjeta de adquisición de datos (16 E / S analógicas canales con resolución de 12 bits, 8 e / S digitales, 200 líneas de entrada de muestreo kHz), bloque de conectores de señal, generador de funciones, fuente de alimentación de CC, osciloscopio digital de dos canales, multímetro, *protoboard*, e instrumentos electrónicos, tales como: alicates y cortacables. Una amplia selección de componentes electrónicos se almacenan en un lugar común en el laboratorio y están disponibles para uso universitario. La *O(A)* muestra una estación de laboratorio típico.

Además, de los equipos básicos que se muestra en la *O(A)*, cada estación tiene su propio módulo de control para motores de corriente continua (MS15, LJ Technical Systems) que se presenta en la *O(B)*. Este módulo, que incluye interfaces de entrada/salida analógica y digital, el cual se usa en cuatro de los ocho ejercicios de laboratorio.

Por razones de seguridad, Aunque a los estudiantes solo se les permite el uso del Laboratorio de Control durante sus sesiones de laboratorio pre-asignadas, estos tienen acceso ilimitado al Laboratorio de departamento de CAD (CAD Laboratory), el cual está equipado con Lab-VIEW y una amplia variedad de software de análisis de datos.

Figura 2. Estación de trabajo mecatrónica Universidad de California



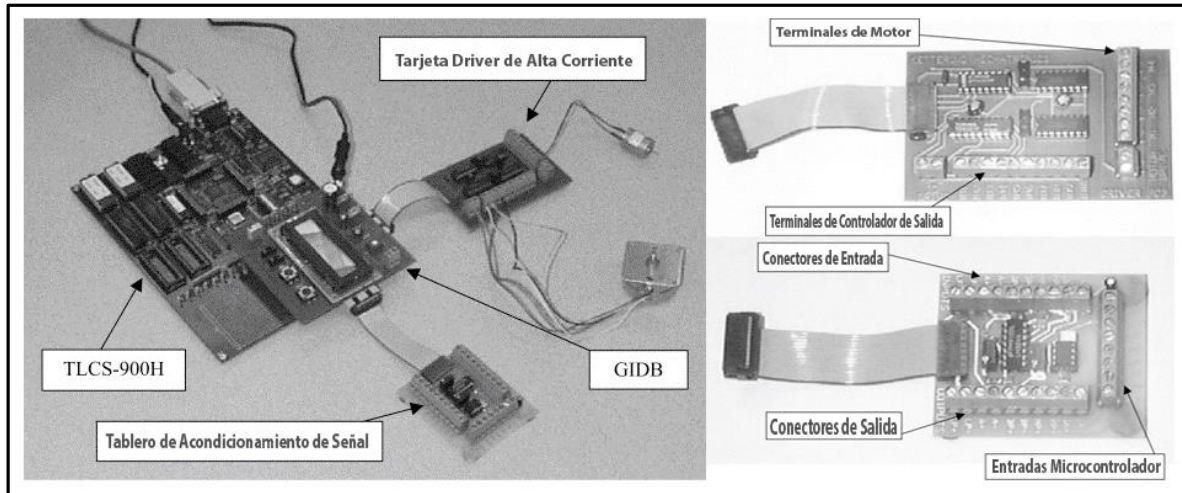
Típica estación de laboratorio diseñada para uso de 2B) Motor de corriente continua y módulo de control. El módulo está equipado con sensores analógicos (potenciómetro, tacogenerador), actuadores analógicos (motor de corriente continua, freno de Foucault), y los sensores digitales (con ranura de disco y código de Gray), entrada / salida se puede especificar como analógica (± 5 V) o digital (entrada modulada por ancho de pulso, 4-bit de salida TTL).

1.2.3 Programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Kettering [3]

El programa de Ingeniería Mecánica en la universidad de Kettering, en los Estado Unidos, cuenta con 15 entrenadores para microprocesadores TLCS 900H y placas de evaluación (EVBS), donadas por la empresa *Toshiba America Electronics*, a los cuales se le integraron una interface general, placa display (GIDB), una placa de acondicionamiento de señales

(SCB), y una placa controladora de alta corriente (HCDB), los cuales son presentados en la *Figura 3*.

Figura 3. Entrenador Toshiba TLCS-900H y placas para interfaces de apoyo



Las EVBs incluyen un controlador de 10 salidas (Toshiba TD6337P) y dos puente-H (Toshiba TA8083P) para el funcionamiento de los dispositivos comunes del actuador. Así, un máximo de cuatro motores de corriente continua pueden ser operados por medio de los controladores del puente-H. Estos circuitos integrados permiten el manejo de los motores en las dos direcciones o para parar el motor. Todo esto está impulsado por las señales de la EVB-900H TLCS.

Adicionalmente, a estas soluciones universitarias, en el mercado también se puede encontrar diferentes alternativas para la enseñanza de la mecatrónica, donde su uso depende de las expectativas de un curso específico. De esta forma, pueden ser una base para el diseño de los laboratorios. A continuación, se presentan algunas de estas alternativas comerciales.

1.2.4 ADA 303, Aplicación de sensores para automoción (ALECOP equipamiento didáctico)[4]

Es un equipo concebido para el estudio de diferentes tipos de sensores. Valoración realizada según tecnologías, parámetros de captación y medios de transmisión de información utilizados en los sistemas eléctrico-electrónicos que se pueden encontrar, actualmente, en los vehículos terrestres. Gracias a estos sensores, los sistemas electrónicos reciben información de las magnitudes físicas y/o químicas necesarias para, a través de su U.C.E., hacer los cálculos necesarios y provocar el funcionamiento de los diferentes actuadores, los cuáles serán los encargados de producir las variaciones físicas que hacen funcionar los componentes electromecánicos del vehículo. El equipo dispone de 12 sensores similares a los utilizados actualmente en el automóvil (CKP-CMP-MAF-MAP etc.). Así, mediante los cuales combinando diferentes tecnologías y distintos medios de comunicación permiten abordar el estudio de un número elevado de sensores del vehículo.

Algunos de los captadores del equipo se pueden conectar a la aplicación UCE-ADA304 para formar con ésta y con el equipo de actuadores ADA305 un sistema de control electrónico completo.

Figura 4. Panel ADA303.



1.2.5 ADA 305 Aplicación de actuadores para automoción (ALECOP equipamiento didáctico)[4]

Equipo concebido para el estudio de diferentes actuadores, según tecnologías, tipos de regulación y medios de control utilizados en los sistemas electrónicos que se pueden encontrar actualmente en los vehículos. Estos actuadores son controlados desde la unidad de control electrónica UCE, basados en algoritmos de control pre-programados en la misma y que son los encargados de hacer que el sistema responda a las variaciones requeridas por el comportamiento del vehículo.

El equipo dispone de 10 actuadores, similares a los utilizados actualmente en el automóvil (bujía, inyector, motor paso a paso, válvula de cánister, etc.) Algunos de los actuadores del equipo se pueden controlar desde la aplicación UCE-ADA304, pudiendo formar junto con el equipo de sensores ADA303 un sistema de control completo.

Figura 5. Panel ADA305



1.2.6 Estaciones de trabajo FESTO (learnline y learntop)[5]

Learnline y *learntop* son estaciones de trabajo modulares para una formación inicial y continua. Con muchos detalles prácticos para facilitar la enseñanza y aprendizaje. *Learnline*, tiene un principio de almacenamiento integrado que puede ser utilizado para la capacitación en neumática, hidráulica o eléctrica, sin necesidad de modificaciones. El diseño

y funcionalidad se combinan, lo cual es evidente en cada detalle práctico. Learnline consta de unidades básicas móviles y estacionarios con una bandeja de cables / aceite, diversos sistemas modulares y elementos de extensión, recipientes rodantes y fijos, además de los sistemas de almacenamiento especiales, accesorios correspondientes. La estación de trabajo modular ofrece una multitud de configuraciones y opciones de montaje. Sin embargo, su costo oscila en aproximadamente 300 COP millones de pesos por unidad (2011)

Figura 6. Diseños de estaciones de trabajo FESTO



2 JUSTIFICACIÓN

La proyección de un laboratorio de mecatrónica hace posible aplicar los conocimientos de esta área, como son: los sensores, actuadores y sistemas computacionales; beneficiando al estudiantado de un programa académico de Ingeniería Mecánica para un futuro laboral. Esto, se fundamenta en el hecho que, actualmente, los productos del ejercicio de la Ingeniería Mecánica continuamente incorporan los avances tecnológicos en las soluciones de las necesidades planteadas, presentando a la mecatrónica como un desarrollo de la Ingeniería Mecánica [7].

Para alcanzar las metas de los nuevos tiempos tecnológicos, El Claustro de Profesores de La Escuela de Ingeniería Mecánica es consciente del mejoramiento de los laboratorios educativos, y dentro de estos el Laboratorio de Mecatrónica, para prestar una enseñanza a los estudiantes en cara al futuro; por lo cual lo enmarca dentro del plan de desarrollo que se encuentra en proceso. Esto mismo es soportado en la Autoevaluación del Programa Académico de Ingeniería Mecánica del año 2011 [19].

3 OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Diseñar un banco de pruebas para el curso Principios de Mecatrónica dictado por la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle, el cual será orientado a fortalecer los conceptos aprendidos en clase.

3.2 ESPECÍFICOS

- a. Diseñar y/o seleccionar los sistemas eléctricos y electrónicos que permitan realizar las prácticas de Manejo de sensores (análogos y digitales), Manejo de sistemas mecatrónicos temporizados, Comunicación (SPI, TWI y USB) entre sistemas computacionales, Control de motores DC, Control de motores de paso, Control de servomotores. Manejo de interfaces.
- b. Diseñar los sistemas mecánicos para las prácticas antes mencionadas.
- c. Diseñar la estructura del banco que permita la instalación de los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos que facilite la realización las prácticas antes mencionadas.
- d. Construir un banco de trabajo.
- e. Verificar el funcionamiento en hardware y software.

4 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se explicarán algunos conceptos necesarios para un mejor entendimiento del proyecto realizado.

4.1 LOS LABORATORIOS EN INGENIERÍA.

A continuación se darán unas generalidades sobre los laboratorios en ingeniería, su importancia y los objetivos de estos.

4.1.1 La importancia de los laboratorios en la enseñanza de la ingeniería[6]

La ingeniería es una profesión práctica, una profesión devota al aprovechamiento y modificación de tres fundamentales recursos que la humanidad ha avalado para la creación de tecnología: energía, materiales e información. El objetivo principal de la educación en ingeniería es preparar al estudiante para la práctica, y en particular para tratar con fuerzas y materiales de la naturaleza. En consecuencia, en los últimos días de la educación de ingeniería, los laboratorios de instrucción han sido una parte esencial para los estudiantes de pregrado y para los programas de posgrado. Siendo que existen en ingeniería tres tipos de laboratorio (desarrollo, investigación, educativo) de acuerdo a sus objetivos, la implementación de cada uno de ellos demanda una clara especificación de su aplicación. Los ingenieros acuden a los laboratorios de desarrollo por dos razones. La primera razón, a menudo estos necesitan datos experimentales que los orienten en el diseño y desarrollo de un producto. Adicionalmente, los laboratorios de desarrollo son usados para resolver preguntas específicas de un fenómeno, que deben ser resueltas antes del diseño y desarrollo del producto para que el proceso pueda continuar. La segunda razón, es para determinar si un diseño cumple con las especificaciones, para así hacer cambios de éste. En los laboratorios de investigación son usados, fundamentalmente, para buscar un conocimiento de forma más amplia que pueda ser generalizado y sistematizado, a menudo sin un uso específico en mente. En general, lo que hace un laboratorio de investigación es enriquecer el conocimiento que se tiene sobre el mundo. Por otra parte, los estudiantes,

generalmente, no van a un laboratorio a adquirir datos para el diseño de algún producto o para agregar un conocimiento nuevo a la humanidad. Los estudiantes, principalmente, van a un laboratorio para aprender algún tema específico o para fortalecerlo. Así, el uso de los laboratorios por parte de los estudiantes, especialmente los de pregrado, está centrado en una actividad complementaria de refuerzo práctico de los conceptos adquiridos en clases teóricas. De esta forma, contrario a los de desarrollo e investigación, un laboratorio educativo debe plantearse de acuerdo a los objetivos de aprendizaje en los temas específicos que se desean fortalecer en los futuros ingenieros

4.1.2 Objetivos de los laboratorios.[6]

“Si no sabes a dónde quieres ir, no sabrás qué camino tomar y si has llegado”. Esta verdad, cuando se aplica a la educación, sugiere que los objetivos claros de aprendizaje son esenciales en el diseño de un sistema de aprendizaje eficiente y en la aplicación de un sistema eficaz de evaluación.

El coloquio que se reunió en San Diego, California, Estados Unidos, del 6 al 8 de enero de 2002, donde asistieron un centenar de educadores distinguidos en ingeniería, reunió una lista de trece objetivos para los laboratorios, cada uno con un título de una o dos palabras para proporcionar una fácil referencia y una breve exposición de motivos para ayudar a aclarar el significado. Los objetivos fueron escritos con el estilo generalmente aceptado de utilizar un verbo para especificar la acción que el estudiante debe ser capaz de llevar a cabo como resultado de la experiencia de laboratorio. Los siguientes objetivos fueron el resultado del coloquio:

Objetivos fundamentales de los Laboratorios de Instrucción en Ingeniería

Todos los objetivos deben comenzar con lo siguiente: "Al completar los laboratorios en el plan de estudios de ingeniería, usted será capaz de...."

- *Objetivo 1:* Instrumentar. Aplicar los sensores apropiados, instrumentación y/o herramientas de software para realizar mediciones de magnitudes físicas.
- *Objetivo 2:* Modelar. Identificar las fortalezas y limitaciones de los modelos teóricos como predicción de los comportamientos del mundo real. Esto puede incluir la evaluación de si una teoría describe adecuadamente un evento físico y el

establecimiento o la validación de una relación entre los datos medidos y los principios físicos subyacentes.

- *Objetivo 3:* Experimentar. Elaborar un enfoque experimental, incluye los equipos y los procedimientos adecuados, la aplicación de estos procedimientos, e interpretar los datos resultantes para caracterizar un material de ingeniería, un componente o sistema.

Objetivo 4: Analizar datos. Demostrar la capacidad para recopilar, analizar e interpretar datos, y para formar y apoyar las conclusiones. Crear orden y ajustes de magnitud en el uso de sistemas de unidades de medición y conversiones.

- *Objetivo 5:* Diseñar. Diseñar, construir o armar un componente, un producto o un sistema, incluyendo el uso de metodologías específicas, equipos o materiales, que cumpla los requisitos del cliente, el desarrollo de las especificaciones de los requisitos del sistema, probar y depurar un prototipo, sistema o proceso utilizando herramientas apropiadas para satisfacer los requisitos.
- *Objetivo 6:* aprender del fracaso. Identificar los resultados infructuosos, debido a deficiencias de equipamiento, partes, el código, la construcción, proceso o diseño, y luego rediseñar soluciones efectivas.
- *Objetivo 7:* Crear. Demostrar los niveles adecuados de pensamiento independiente, la creatividad y la capacidad de resolución de problemas del mundo real.
- *Objetivo 8:* promover el desarrollo psicomotor. Demostrar competencia en la selección, modificación y funcionamiento de las herramientas de ingeniería y recursos apropiados.
- *Objetivo 9:* Asegurar la Seguridad. Identificar la salud, la seguridad y las cuestiones ambientales relacionadas con los procesos tecnológicos y actividades, y tratar con ellos de manera responsable.
- *Objetivo 10:* Comunicar. Comunicar de manera eficaz sobre el trabajo de laboratorio con una audiencia específica, tanto oralmente como por escrito, a niveles que van desde los resúmenes de los informes técnicos completos.
- *Objetivo 11:* Trabajar en equipo. Trabajar eficazmente en equipos, incluyendo las posiciones individuales estructura y la rendición de cuentas conjunta; Asignar roles, responsabilidades y tareas, controlar los progresos de los plazos, e integrar las contribuciones individuales en una entrega final.

- *Objetivo 12:* promover La ética en el Laboratorio. Comportamiento con los más altos estándares éticos, incluyendo la presentación de información objetiva y la interacción con la integridad.
- *Objetivo 13:* promover la conciencia sensorial. Usar los sentidos humanos para reunir información y hacer juicios de ingeniería en la formulación de conclusiones acerca de problemas del mundo real.

4.2 SOBRE LA MECATRÓNICA Y SU IMPORTANCIA EN LA INGENIERÍA MECÁNICA

A continuación, se darán unas generalidades sobre la mecatrónica, como sus sistemas, historia y su importancia en el programa de Ingeniería Mecánica.

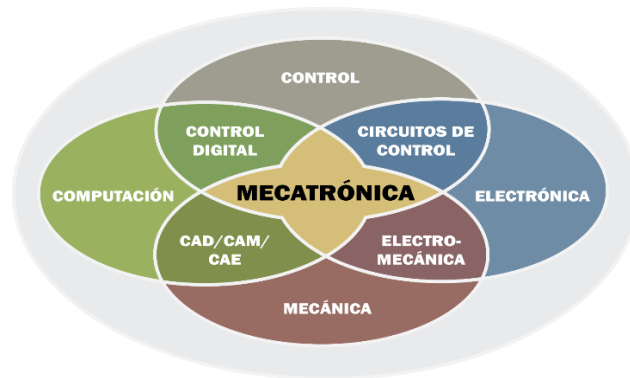
4.2.1 Mecatrónica y sistemas Mecatrónicos [7][8]

Varias son las definiciones encontradas en la literatura de estos términos, según [7], la mecatrónica es la integración sinérgica de los sistemas físicos con la tecnología informática, el diseño de decisiones, la fabricación y operación de productos y procesos industriales”. En otras palabras “La mecatrónica es la disciplina integradora de las áreas mecánica, electrónica, eléctrica, control, medición y ciencia de la computación, cuyo objetivo es proporcionar mejores productos, procesos y sistemas” (*Figura 1*). En este contexto, la mecatrónica se puede interpretar como la mejor práctica para la síntesis de sistemas de ingeniería, y cubre un área amplia de grandes alcances.

Considerando que un sistema mecatrónico está compuesto por diferentes partes, tales como: mecánicas, dispositivos eléctricos, componentes electrónicos, sensores y hardware computacional; estos sistemas están operados, controlados y comandados bajo la supervisión de un software, los principales retos del diseño de un sistema mecatrónico está en la integración y complementariedad de estos elementos. De esta forma varios aspectos de muchas disciplinas deben ser estudiados; que describen el diseño, la operación de los componentes y la totalidad del sistema. Agregando, que para una adecuada operación de un sistema mecatrónico, aspectos de los problemas de ingeniería y de sistemas humanos deben ser considerados como una búsqueda de características y limitaciones del entorno dentro de la operación del sistema.

En resumen, la mecatrónica es una ingeniería moderna con visión multidisciplinaria para modernos sistemas integrados, que son más y más concebidos como una combinación de partes con diferentes naturalezas.

Figura 7. Esquema para la definición de Mecatrónica



4.2.2 Historia de la mecatrónica. [8]

La palabra "Mecatrónica" fue empleada por primera vez, en el año 1960, por la empresa japonesa Yaskawa Electric Company. Esta compañía incluso registró el término como marca comercial exclusiva, limitando inicialmente su uso. Cerca de diez años más tarde la compañía liberó el término y, desde entonces, se ha utilizado para identificar a una nueva disciplina de la ingeniería. En esa época, Takashi Yamaguchi, ingeniero del Laboratorio de Ingeniería Mecánica de la transnacional HITACHI establecía en un artículo científico que: "la Mecatrónica es una metodología para diseñar productos que presenten un comportamiento más rápido y efectivo, y estas características se alcanzan si se considera en el problema, no sólo el diseño mecánico, sino que también todos los aspectos de electrónica, de servo controladores y de sensores involucrados en la solución". Por tanto, establecía que la robustez del diseño dependía (en gran medida) del uso apropiado de esta metodología.

En los últimos años han ocurrido innumerables cambios científicos y tecnológicos que han provocado que la metodología de diseño, de la cual hablaba Yamaguchi, se transforme en una nueva disciplina de la ingeniería. Es así como -en estos días- la Ingeniería en Mecatrónica es dictada, como carrera de pregrado, en diferentes universidades del mundo,

a la vez que el ofrecimiento de estudios de postgrado en la disciplina es también bastante frecuente.

4.2.3 La importancia del estudio de la mecatrónica [8]

Debido al crecimiento acelerado de la electrónica, la informática y las industrias de tecnología de la información, ha surgido una brecha entre las enseñanzas de la educación tradicional de ingeniería no eléctrica (por ejemplo, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Civil, Ingeniería Química, etc.) y las habilidades que se espera de los no graduados en las áreas de la electricidad de entrar en el mercado de trabajo debido a que un alud de computadoras, sensores, microcontroladores, actuadores ha penetrado en la sociedad actual, por esto en todos los aspectos de la vida cotidiana de un ingeniero se encuentran dispositivos y aparatos basados en microcontroladores; lo cual implica la importancia que el ingeniero mecánico tenga conocimiento en el funcionamiento y uso de estos.

4.2.4 El rol de la Ingeniería Mecánica en la Mecatrónica[8]

Un sistema mecatrónico puede ser caracterizado por la versatilidad y la flexibilidad, con la integración de estos aspectos se tiene como resultado el comportamiento mecatrónico de los sistemas modernos. La versatilidad principalmente está relacionada con la capacidad de operación y funcionamiento, características necesarias para la actividad mecánica de un sistema mecatrónico. La flexibilidad, principalmente, está relacionada con la capacidad de regulación y funcionamiento necesarios para las acciones de control de un sistema mecatrónico. Así, los problemas mecánicos en sistemas mecatrónicos están relacionados con la versatilidad, principalmente en términos de cinemática y dinámica de un movimiento de carga, la mecánica de interacciones (como el contacto y la compresión), la dinámica de sistemas multicuerpo. Sin embargo, la mecánica siempre está unida en los aspectos del diseño mecatrónico, la simulación de acciones mecánicas, por lo general, es realizada teniendo en cuenta modelos para las acciones control.

Además, el papel de la ingeniería mecánica en la mecatrónica puede ser entendido según dos aspectos importantes, diseño y operaciones mecánicas, la interacción mecánica con el entorno y la realización de las tareas del sistema. Así, la cinemática y la dinámica del movimiento de cargas son estudiadas para analizar e investigar sobre el movimiento de sistemas mecatrónicos y el cuerpo de carga durante la realización y operación de una tarea. De lo anterior se deduce lo siguiente, para que un sistema mecatrónico sea exitoso se debe tener en cuenta todos los parámetros de funcionamiento del sistema mecánico embebido

en el sistema mecatrónico, ya que cualquier cambio en esos parámetros hará que las condiciones de control y funcionamiento cambien.

4.3 APLICACIÓN DEL MICROCONTROLADOR EN INGENIERÍA MECÁNICA[13]

Un microcontrolador (μC) es un circuito integrado que contiene todos los componentes de un computador[13]. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna. Esta última característica es la que le confiere la denominación de «controlador incrustado» (embedded controller). Se dice que es “la solución en un chip” porque su reducido tamaño minimiza el número de componentes y el coste. Así, un μC puede considerarse como un sistema computacional de aplicación dedicada. Es decir, en su memoria de programa sólo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada; sus líneas de entrada/salida soportan el conexionado de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar. Una vez programado y configurado el microcontrolador solamente sirve para gobernar la tarea asignada.

“Un microcontrolador es un computador completo, aunque de limitadas prestaciones, que está contenido en el chip de un circuito integrado y se designa a gobernar una sola tarea”[13].

El número de productos que funcionan en base a uno o varios μC aumenta de forma exponencial. Por ejemplo, casi todos los periféricos del computador (ratón, teclado, impresora, etc.) son regulados por el programa de un microcontrolador. Los electrodomésticos de línea blanca (lavadoras, hornos, etc.) y de línea marrón (televisores, videos, aparatos de música, etc.) incorporan numerosos microcontroladores. Igualmente, los sistemas de supervisión, vigilancia y alarma en los edificios utilizan estos chips para optimizar el rendimiento de ascensores, calefacción, alarmas de incendio, robo, etc. Ofrecen la única solución práctica a muchos problemas de diversos campos: Periféricos y dispositivos auxiliares de los computadores, electrodomésticos, aparatos portátiles y de bolsillo (tarjetas, monederos, teléfonos, etc.), máquinas expendedoras y juguetería, instrumentación, industria de automoción, control industrial y robótica, electromedicina, sistema de navegación espacial, etc. [13].

4.3.1 ARDUINO EN LA MECATRÓNICA

4.3.1.1 Arduino

Según [9], Arduino es una plataforma de creación de prototipos electrónicos de código abierto basado en flexibilidad, hardware y software fácil de usar. Está dirigido a artistas, diseñadores, aficionados y cualquier persona interesada en la creación de objetos o entornos interactivos.

4.3.1.2 ¿Qué es Arduino?

Arduino es una herramienta para la fabricación de sistemas microcontrolados que puede detectar y controlar variables físicas. De esta forma, este sistema es una plataforma de computación física de código abierto basada en una sencilla placa de desarrollo, y un entorno de desarrollo para escribir software para la placa. Este ambiente de desarrollo se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos, teniendo las entradas de una variedad de interruptores o sensores, y el control de una variedad de luces, motores, y otras salidas físicas. Los proyectos con Arduino pueden ser independientes, o se pueden comunicar con el software que se ejecuta en el computador (por ejemplo, Flash, Processing, MaxMSP.). Las tarjetas se pueden montar a mano o compradas preensambladas, el entorno de desarrollo integrado (IDE) de código abierto con el cuál se programa la placa se puede descargar de forma gratuita.

4.3.1.3 Beneficios de Arduino

Hay muchos otros microcontroladores y plataformas de microcontroladores disponibles para la computación física. Parallax Basic Stamp, Netmedia del BX-24, Phidgets, Handyboard del MIT, y muchos otros ofrecen una funcionalidad similar. Todas estas herramientas toman los detalles complicados de programación de los microcontroladores y convierten en un formato fácil de usar. Arduino también simplifica el proceso de trabajar con los microcontroladores, pero ofrece algunas ventajas para los profesores, estudiantes y aficionados interesados sobre otros sistemas [9]:

- *Asequible* – Las placas Arduino son relativamente baratas en comparación con otras plataformas de microcontroladores. La versión menos costosa del módulo Arduino puede ser montado a mano, e incluso los módulos de Arduino pre-ensamblados cuestan menos de \$ 50 USD (2014)
- *Multiplataforma* - El software de Arduino se ejecuta en Windows, Macintosh OS X, y Linux. La mayoría de los sistemas de microcontroladores están limitados a Windows.
- *Simple, entorno de programación claro* - El entorno de programación de Arduino es fácil de usar para los principiantes, pero lo suficientemente flexible para los usuarios avanzados que también lo pueden aprovechar. Para los maestros, que está convenientemente basado en el entorno de programación Processing, para que los estudiantes aprendan a programar en ese entorno estarán familiarizados con la apariencia de Arduino
- *Código abierto y software extensible* - El software de Arduino está publicado como herramientas de código abierto, disponible para la extensión por programadores experimentados. El lenguaje se puede ampliar a través de bibliotecas de C++, y la gente que quiere entender los detalles técnicos se puede dar el salto de Arduino hacia el lenguaje de programación C AVR en la que se fundamenta. Del mismo modo, puede agregar código AVR-C directamente en sus programas de Arduino si quieren.
- *Código abierto y hardware extensible* - El Arduino se basa en microcontroladores de Atmel. Los planes para los módulos están publicados bajo una licencia de Creative Commons, los diseñadores de circuitos tan experimentados pueden hacer su propia versión del módulo, ampliándolo y mejorándolo. Incluso los usuarios con poca experiencia pueden construir la versión tablero del módulo con el fin de entender cómo funciona y ahorrar dinero.

4.3.1.4 Arduino Due

El Arduino Due es una placa electrónica basada en el procesador ARM Cortex-M3 SAM3X8E CPU de Atmel. Es la primera placa Arduino basado en un microcontrolador ARM con núcleo de 32 bits. Tiene 54 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 12 se pueden utilizar como salidas PWM), 12 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un reloj de 84 MHz, una conexión OTG USB, 2 DAC (convertidores de digital a analógico), 2 TWI, un

conector de alimentación, una cabecera de SPI, un encabezado JTAG, un botón de reinicio y un botón de borrado.[9]

4.3.1.5 Noción de ARM

La arquitectura ARM se diseñó para permitir implementaciones de tamaño muy reducido y de alto rendimiento. Estas arquitecturas permiten dispositivos con bajo consumo de energía. Se caracteriza, fundamentalmente, por ser una computadora de set de instrucciones reducido (Reduced Instruction Set Computer, RISC), como lo indica su propio nombre [10].

4.4 Sensores [14]

Un sensor es un elemento mecatrónico o un sistema de medida que adquiere un parámetro físico y lo cambia en una señal que puede ser procesada por el sistema. A menudo el elemento activo de un sensor es llamado transductor. La supervisión y el control del sistema requieren que los sensores midan cantidades físicas como la posición, la distancia, la fuerza, la tensión, la temperatura, la vibración, la aceleración, etc. El diseño del sensor y el transductor siempre implican el uso de alguna ley o principio físico o químico, que relaciona la cantidad de interés con algún evento medible.

4.5 Actuadores [14]

Muchos sistemas mecatrónicos involucran un movimiento o acción de alguna clase. Este movimiento o acción puede ser aplicado a algo desde un simple átomo, hasta grandes estructuras articuladas. Esto es originado por una fuerza o torque que causa la aceleración y/o el desplazamiento de los elementos que actúan en el sistema. Donde los actuadores son los dispositivos usados para producir ese movimiento o acción.

4.6 ERGONOMÍA

4.6.1 Definición y campo de actividad [11]

Ergonomía significa literalmente el estudio o la medida del trabajo. En este contexto, el término trabajo significa una actividad humana con un propósito; va más allá del concepto más limitado del trabajo como una actividad para obtener un beneficio económico, al incluir todas las actividades en las que el operador humano sistemáticamente persigue un objetivo. Así, abarca los deportes y otras actividades del tiempo libre, las labores domésticas, como el cuidado de los niños o las labores del hogar, la educación y la formación, los servicios sociales y de salud, el control de los sistemas de ingeniería o la adaptación de los mismos, como sucede, por ejemplo, con un pasajero en un vehículo.

El operador humano, que es el centro del estudio, puede ser un profesional cualificado que maneje una máquina compleja en un entorno artificial, un cliente que haya comprado casualmente un aparato nuevo para su uso personal, un niño dentro del aula o una persona con una discapacidad, reclusa a una silla de ruedas. El ser humano es sumamente adaptable, pero esta capacidad es limitada. Existen intervalos de condiciones óptimas para cualquier actividad. Una de las labores de la ergonomía consiste en definir cuáles son estos intervalos y explorar los efectos no deseados que se producirán en caso de superar los límites; por ejemplo, qué sucede si una persona desarrolla su trabajo en condiciones de calor, ruido o vibraciones excesivas, o si la carga física o mental de trabajo es demasiado elevada o demasiado reducida.

La ergonomía examina no sólo la situación pasiva del ambiente, sino también las ventajas para el operador humano y las aportaciones que éste/ésta pueda hacer si la situación de trabajo está concebida para permitir y fomentar el mejor uso de sus habilidades. Las habilidades humanas pueden caracterizarse no sólo en relación con el operador humano genético, sino también con relación a habilidades más específicas, necesarias en situaciones determinadas, en las que resulta crucial un alto rendimiento. Por ejemplo, un fabricante de automóviles deberá tener en cuenta el tamaño y la fuerza física de los posibles conductores de un determinado modelo para garantizar que los asientos sean cómodos; que los controles se identifiquen con facilidad y estén accesibles; que la visibilidad, tanto delantera como trasera, sea buena y que los indicadores interiores sean fáciles de leer. También deberá considerar la facilidad para entrar y salir del coche. En cambio, el diseñador de un coche de carreras considerará que el conductor tiene una constitución atlética, por lo que

la facilidad para entrar o salir del vehículo, por ejemplo, no será tan importante e intentará ajustar todo el diseño del vehículo al tamaño y preferencias de un conductor determinado, para asegurar que éste pueda desarrollar todo su potencial y habilidad como conductor o conductora.

En cualquier situación, actividad o tarea, lo más importante es la persona o personas implicadas. Se supone que la estructura, la ingeniería y otros aspectos tecnológicos están ahí para servir al operador, y no al contrario.

4.6.2 Objetivos de la ergonomía[11]

Es evidente que las ventajas de la ergonomía pueden reflejarse de muchas formas distintas: en la productividad y en la calidad, en la seguridad y la salud, en la fiabilidad, en la satisfacción con el trabajo y en el desarrollo personal.

Este amplio campo de acción se debe a que el objetivo básico de la ergonomía es conseguir la eficiencia en cualquier actividad realizada con un propósito, eficiencia en el sentido más amplio, de lograr el resultado deseado sin desperdiciar recursos, sin errores y sin daños en la persona involucrada o en los demás. No es eficaz desperdiciar energía o tiempo debido a un mal diseño del trabajo, del espacio de trabajo, del ambiente o de las condiciones de trabajo. Tampoco lo es obtener los resultados deseados a pesar del mal diseño del puesto, en lugar de obtenerlos con el apoyo de un buen diseño.

El objetivo de la ergonomía es garantizar que el entorno de trabajo esté en armonía con las actividades que realiza el trabajador. Este objetivo es válido en sí mismo, pero su consecución no es fácil por una serie de razones. El operador humano es flexible y adaptable y aprende continuamente, pero las diferencias individuales pueden ser muy grandes. Algunas diferencias, tales como las de constitución física y fuerza, son evidentes, pero hay otras, como las diferencias culturales, de estilo o de habilidades que son más difíciles de identificar.

En vista de lo complejo de la situación, podría parecer que la solución es proporcionar un entorno flexible, en el que el operador humano pueda optimizar una forma específicamente adecuada de hacer las cosas. Desgraciadamente, este enfoque no siempre se puede llevar a la práctica, ya que la forma más eficiente no siempre resulta obvia y, en consecuencia, el trabajador puede seguir haciendo una cosa durante años de forma inadecuada o en condiciones inaceptables.

Así, es necesario adoptar un enfoque sistemático: partir de una teoría bien fundamentada, establecer objetivos cuantificables y contrastar los resultados con los objetivos.

4.6.3 Antropometría[12]

La Antropometría es una rama de la antropología física que trata de sus aspectos cuantitativos, también se conoce como el conjunto de técnicas de medición del organismo humano utilizadas en antropobiología. En el campo de la ergonomía los sistemas antropométricos estudian principalmente el cuerpo humano, su constitución y sus componentes, así como la relación existente entre sus dimensiones, el diseño del puesto, las prendas de protección personal y el entorno laboral. Teniendo en cuenta que el problema principal consiste en establecer el equipo y el espacio laboral adecuado para el correcto desenvolvimiento de las personas, así como la confección de prendas de protección con las medidas correctas.

Las dimensiones a medir, se denominan variables antropométricas, se obtienen entre puntos de referencia entre los cuales se miden distancias y ángulos, o al nivel de los cuales se miden perímetros anchuras o profundidades. Las variables antropométricas son características corporales que pueden ser definidas, normalizadas y referida a una unidad de medida. Dichas variables tienen componentes genéticos y ambientales, y pueden ser utilizados para definir la variabilidad individual y poblacional. La elección de las variables significativas debe estar relacionada con el objetivo específico que quiera ser investigado y han de ser comparables en investigaciones del mismo campo.

Las principales variables antropométricas son: medidas lineales rectas, bien sean alturas desde el suelo o desde la base de un asiento a diferentes puntos del cuerpo en posiciones estandarizadas; diámetros, expresados como distancias entre dos puntos laterales; longitudes, expresadas como distancias entre dos puntos distintos; y medidas curvilíneas, bien sean arcos, expresados como la distancia entre dos puntos, ajustándose a la superficie del cuerpo o perímetros, en los que se toma la medida alrededor de un miembro a partir de un punto definido.

En la actualidad se han descrito más de dos mil variables antropométricas. Para realizar estas mediciones se utilizan el antropómetro y diversos compases o instrumentos especializados de medida. Los antropómetros son varillas graduadas a las que se pueden acoplar reglas especiales para medir diámetros. Los compases y calibres se utilizan para medir grosores y espesores, así como distancias entre puntos. La cinta métrica se utiliza

para medir perímetros y los goniómetros y flexómetros para miden los ángulos que forman las articulaciones. En cuanto a factores a considerar en los estudios antropométricos, destacamos: las diferencias étnicas, la edad, el sexo y la influencia del entorno social. Los aspectos genéticos, alimenticios y medioambientales configuran los distintos grupos étnicos. Es evidente que una persona oriental es más baja que una europea y esta a su vez es más baja que una americana, en este sentido hay que tener en cuenta las distintas etnias en la elaboración de los datos antropométricos.

La juventud actual es más alta que la de generaciones anteriores, esto no es un fenómeno aislado sino que está contemplado dentro del concepto “tendencia secular”. Este concepto se utiliza para describir los cambios de las variables antropométricas en un período de tiempo amplio, de aproximadamente un siglo. El sexo es uno de los factores más importantes en el desarrollo de la estatura y el peso. Las condiciones sociales favorables tienden a incrementar la estatura y el peso hasta un valor estable. La velocidad de crecimiento disminuye en la medida en que se aproxima a ese valor. No obstante, aunque se constata este hecho, no existe una explicación definitiva que nos permita cuantificar el este crecimiento en el futuro.

Con respecto a las posturas de trabajo, las variables antropométricas más utilizadas, son:

- *De pie*: talla, altura del ojo respecto al suelo, altura del hombro respecto al suelo, altura del codo respecto al suelo y altura del puño respecto al suelo.
- *Sentado*: altura del plano del asiento a vértice, altura del plano del asiento a los ojos, altura del plano del asiento al hombro, altura del plano del asiento al codo, altura de la parte inferior del muslo respecto al suelo, altura de la rodilla respecto al suelo, distancia entre codos, distancia del plano posterior a la pantorrilla, distancia del plano posterior a la rodilla y altura del muslo.
- *De pie o sentado*: distancia de alcance del brazo (al frente, lateral y en altura), distancia de alcance del antebrazo, anchura de los hombros, anchura de las caderas, longitud del pie, anchura del pie.

5 METODOLOGÍA

En el diagrama de flujo que detalla la metodología seguida en la realización de este proyecto se presenta en la Figura 8. A continuación se describirá cada uno de las actividades consideradas.

5.1 CONSULTA BIBLIOGRÁFICA

Se hizo una revisión bibliográfica para establecer los requisitos necesarios para cada una de las prácticas, como lo son: tipo de microcontrolador, comunicaciones, periféricos y de más componentes que fueron en vía a cumplir los diseños necesarios.

5.2 CONCEPCIÓN E INGENIERÍA BÁSICA DEL BANCO DE PRUEBAS

Luego de hacer la debida consulta bibliográfica, se procedió a concebir los equipos que permiten hacer las prácticas del curso “Principios de Mecatrónica” con base en los objetivos de este mismo. Así, generar la ingeniería básica de cada uno de estos; donde se encuentra inmerso todos los sistemas que los constituyen (Eléctricos, electrónicos y estructural).

5.3 INGENIERÍA DE DETALLE DE LOS EQUIPOS PARA EL LABORATORIO

5.3.1 Modelamiento de los equipos

Posterior a la ingeniería básica de cada uno de los equipos, se modelaron los sistemas electrónicos, eléctricos, donde se usó la aplicación computacional Proteus demo¹ para este fin.

¹ <http://www.labcenter.com/index.cfm>

5.3.2 Simulación y Verificación de los modelo de los sistemas eléctricos y eléctricos de los equipos

Los modelos de los sistemas electrónicos y eléctricos de los equipos obtenidos en el paso anterior, se verificaron los modelos mediante aplicaciones de simulación de circuitos eléctricos y electrónicos (Proteus), con los parámetros lógicos (algoritmos para el funcionamiento del microcontrolador).

5.3.3 Concepción y modelamiento de la estructura de acople del Módulo

La mesa fue el último elemento diseñado, ya que este soporta y contiene todas las partes electrónicas, eléctricas del módulo de desarrollo, como también el sistema computacional donde se programarán los microcontroladores.

5.3.4 Evaluación de todos los procesos de diseño

En esta etapa del proceso, se verificaron todos los procesos de diseño. Esto, para asegurar que todos los diseños fueran los óptimos.

5.3.5 Presentación de especificaciones de los equipos

Seguidamente a la evaluación de todos los procesos de diseño, se obtuvieron las especificaciones de los equipos, para su posterior implementación (planos de la mesa, esquemáticos y PCBs (Circuitos impresos) para los sistemas electrónicos y eléctricos).

5.4 DISEÑO PROPUESTO DE UNA PRÁCTICA ARTICULADORA DE LOS CONCEPTOS DEL CURSO PRINCIPIOS DE MECATRÓNICA

Se diseñó un elemento mecatrónico en el cual se aplicarán los conceptos teóricos del curso principios de mecatrónica, para así converger el conceptos mecánicos con los mecatrónicos.

5.5 CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO

Se construyó un banco de acuerdo con el diseño hecho con anterioridad, esto con dineros aportados por la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle.

5.5.1 Fabricación de la mesa del Banco de Pruebas

Se construyó una mesa de acuerdo con los diseños, esto en una empresa de muebles local.

5.5.2 Fabricación de los PCBs del sistema electrónico

Se fabricaron los circuitos impresos (PCBs) del sistema electrónico y eléctrico del Banco.

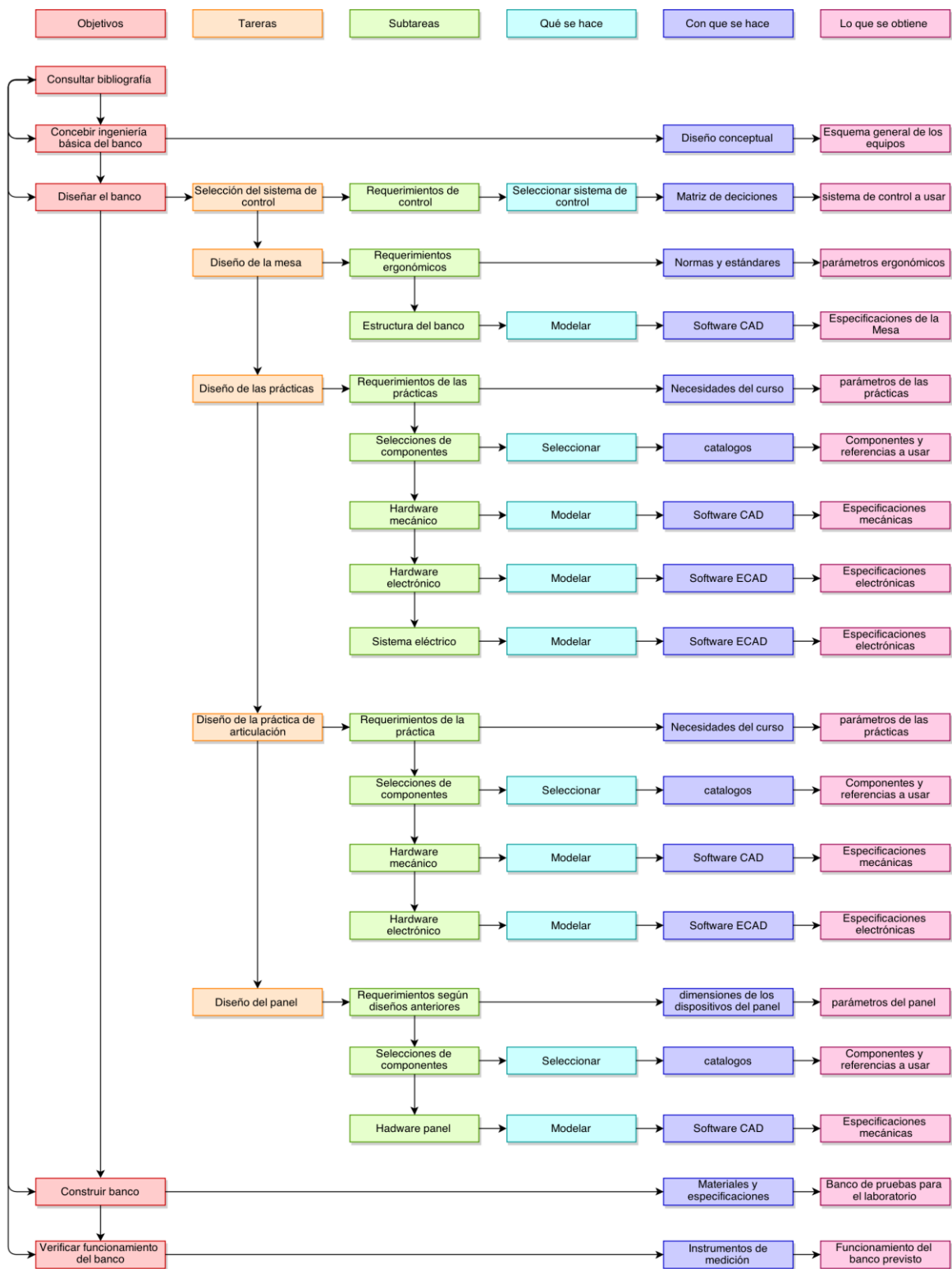
5.6 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL HARDWARE

Seguidamente a la construcción del Banco de Pruebas, se verificó que todos los componentes, electrónicos, eléctricos funcione de acuerdo con las especificaciones hechas para el banco.

5.7 Escritura del reporte del proyecto

Finalizando el proyecto, se redactó un documento que soporte todo el proceso del proyecto, como las conclusiones y recomendaciones.

Figura 8. Diagrama de flujo de la metodología del proyecto



6 DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS

A continuación se describen los requerimientos y diseño de detalle de cada una de las partes del banco de pruebas, los cuales son: estructura del banco (Véase sección 6.1), sistemas electrónico, eléctrico y mecánico de las prácticas (Véase sección 6.2), diseño del panel del banco de pruebas (Véase sección 6.3), montaje del banco de pruebas (Véase sección 6.4) y diseño propuesto de una práctica articuladora de los conceptos del curso principios de mecatrónica.

6.1 ESTRUCTURA DEL BANCO (MESA)

En la siguiente sección se describirá cada uno de los procesos de diseño de la mesa (Requerimientos y Especificaciones)

6.1.1 Requerimientos ergonómicos de la estructura del banco (mesa) [15]

En el diseño de los puestos de trabajo, considerando la gran variedad de tareas que se pueden realizar, los medios con que se ejecutan, y las diferencias individuales de las personas, se haría muy difícil fijar un diseño idóneo, si no se consideran una serie de estándares mínimos que lo condicionan. Cualquier diseño de un puesto de trabajo, debe contemplar dichos estándares.

Basados en las características de la legislación existente y en concreto, en las normas de carácter técnico reconocidas (ISO, EN, UNE), se definen los aspectos o estándares que se debe considerar para realizar el diseño de un puesto de trabajo:

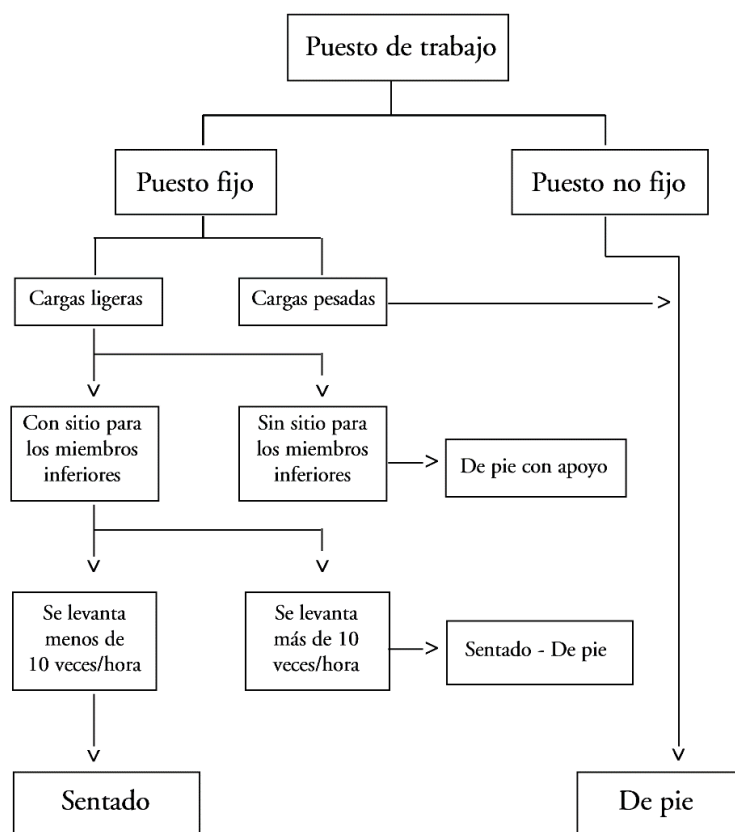
- Postura y posición de trabajo.
- Planos de trabajo.
- Zona de alcance de los miembros superiores.
- Ajuste correcto de los medios de trabajo.
- Optimización de la disposición de los medios de trabajo.
- Planificación correcta de los métodos de trabajo.
- Condiciones de seguridad del espacio de trabajo.
- Campos visuales.

A continuación, se hallarán los parámetros de diseño relevantes para la estructura del Banco de Pruebas, de acuerdo a la normativa establecida y a los puntos antes mencionados, siempre teniendo en cuenta que el trabajo se debe concebir de manera que tienda a evitar todo esfuerzo inútil o excesivo de los músculos, las articulaciones, ligamentos y de los aparatos circulatorio y respiratorio.

6.1.1.1 Postura y posición de trabajo

La norma AENOR 35104, presenta las líneas para una elección correcta de la posición de una persona en una tarea determinada (Figura 9), y recoge los diferentes parámetros a considerar: tipo de puesto, grado de manipulación de cargas, etc.

Figura 9. Criterios para determinar la postura de trabajo



Debido a que el banco de pruebas es un puesto fijo y el estudiante estará sentado por más de una hora, y de acuerdo con la figura Figura 9, el estudiante deberá estar en una posición de *sentado*.

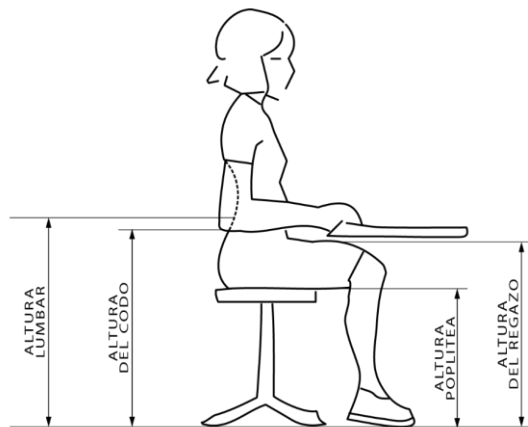
6.1.1.2 Planos de trabajo

Dentro del espacio de trabajo o área tridimensional que envuelve a un trabajador, la mayor parte de las actividades se realizan en la superficie o plano horizontal de trabajo. El plano horizontal de trabajo está determinado, principalmente, por dos tipos de dimensiones: la altura del plano y las zonas de alcance óptimo.

6.1.1.2.1 Plano horizontal de trabajo en posición sentado

En este caso, la altura del plano o superficie de trabajo (mesa, banco de trabajo, etc.) está relacionada con: el trabajo en posición sentada, con la naturaleza de la tarea, con la altura del asiento, con el espesor de la superficie de trabajo y con el grosor del muslo (Figura 10). En este tipo de trabajo, la distancia entre el plano de trabajo y el asiento determina la postura a adoptar. Los pies se deben poder acomodar fácilmente con un apoyo adecuado.

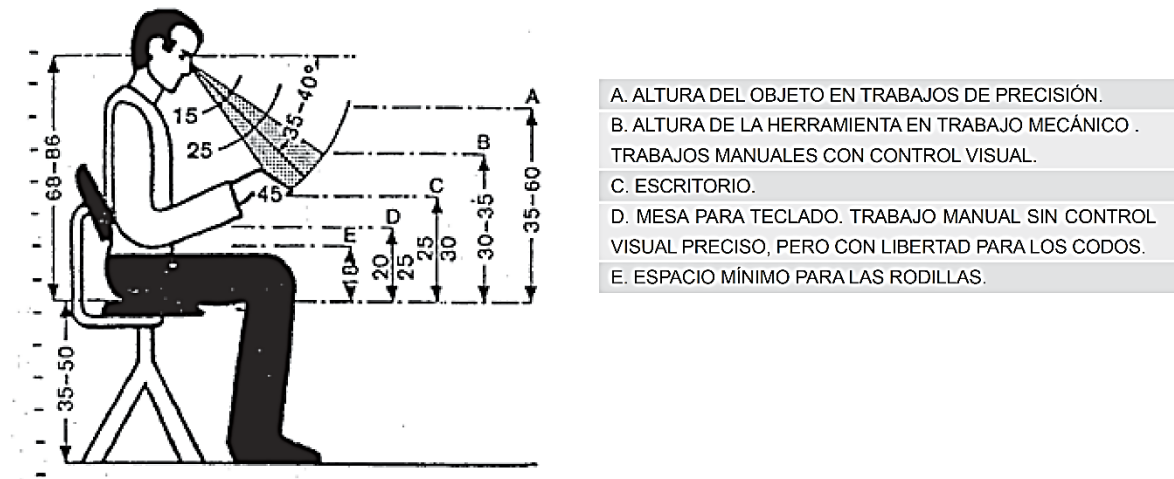
Figura 10. Plano de trabajo sentado



Melo, José L. "ERGONOMÍA PRÁCTICA, Guía para la evaluación ergonómica de un puesto de trabajo." www.fundacionmapfre.com.ar. Fundación MAPFRE argentina, n.d. Web. 16 July 2013.

En la Figura 11 se observa las medidas estándares para el puesto de trabajo en posición sentado.

Figura 11. Altura de trabajo en posición sentada, dada en cm



Melo, José L. "ERGONOMÍA PRÁCTICA, Guía para la evaluación ergonómica de un puesto de trabajo." www.fundacionmapfre.com.ar. Fundación MAPFRE argentina, n.d. Web. 16 July 2013.

6.1.1.3 Zona de alcance de los miembros superiores

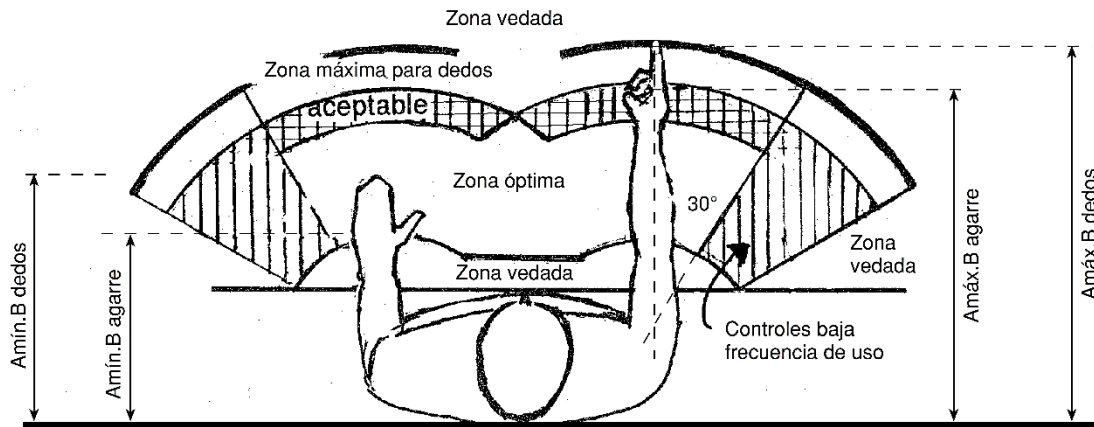
Uno de los aspectos biomecánicos – antropométricos más importantes es el alcance óptimo de los miembros superiores, ya que una disposición de los elementos dentro de la denominada área de trabajo (zona delimitada por el arco horizontal y vertical del alcance del brazo), permitirá realizar, con menos esfuerzo, los diferentes movimientos de manipulación requeridos, evitando los movimientos forzados que impliquen a la larga patologías corporales.

Cualquiera que sea el plano de trabajo, se deben considerar, principalmente, tres parámetros:

- Alcance máximo de la mano (con una postura estirada del brazo).
- Alcance óptimo de la mano (con una postura flexionada de brazo).
- Alcance con ambas manos (área adecuada de ambas manos).

En la Figura 12 se muestran las zonas de trabajo horizontal, en la cual se puede observar las zonas óptimas de trabajo, como las vedadas.

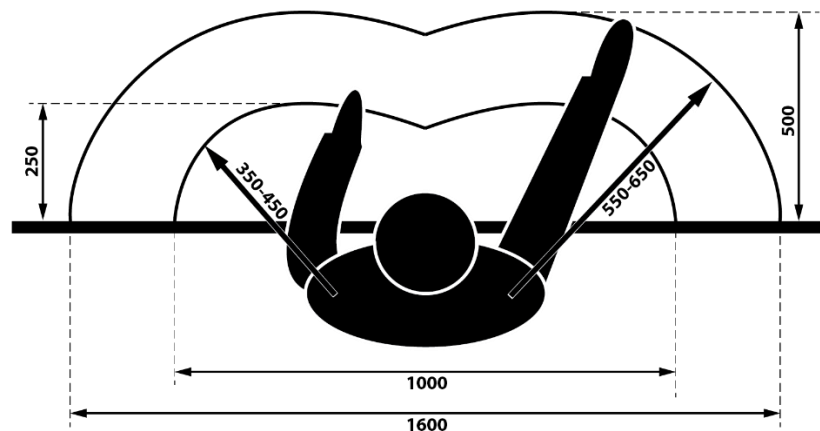
Figura 12. Vista superior de un puesto de trabajo: espacios para controles manuales



Mondelo, Pedro R., Enrique Gregori, Joan Blasco, and Pedro Barrau. Ergonomía 3, Diseño de puestos de trabajo. 2nd ed. Vol. 3. Barcelona: Mutua Universal, 1999. 203. 4 vols. Print.

En la Figura 13 se observan los arcos y los alcances con las dimensiones óptimas recomendadas para hombres y mujeres comprendidos en el percentil 5

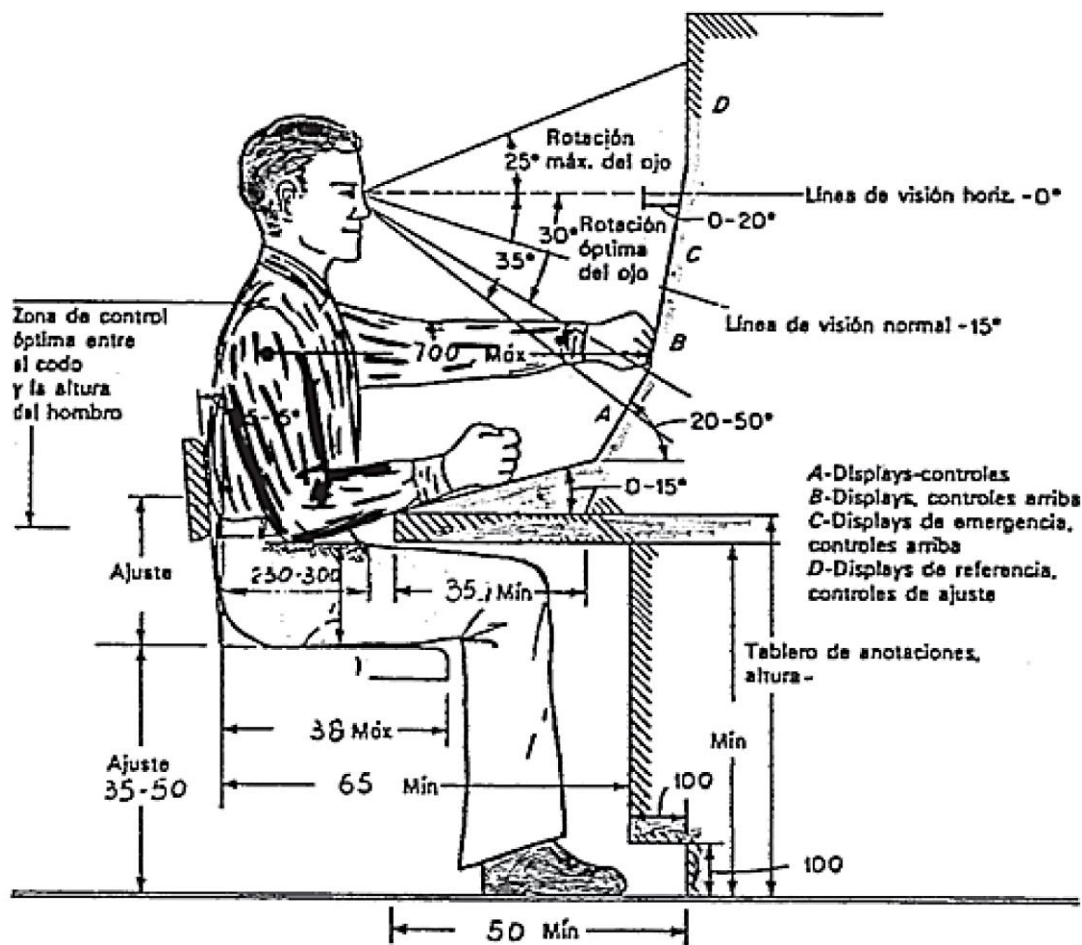
Figura 13. Área de trabajo: arcos de alcance horizontales en centímetros (INSHT)



6.1.1.4 Tableros de mando

Los tableros de mando, son utilizados por operadores de diversos tipos de sistemas, incluyen visualizadores y controles. Según Van Cott y Kinkade, las características de diseño recomendadas para operadores que trabajen sentados, correspondiéndose con trabajadores del percentil 5 y 95 se ilustran en la Figura 14.

Figura 14. Características de diseño recomendadas para tableros de mando en las que los operadores trabajen en posición de sentado.



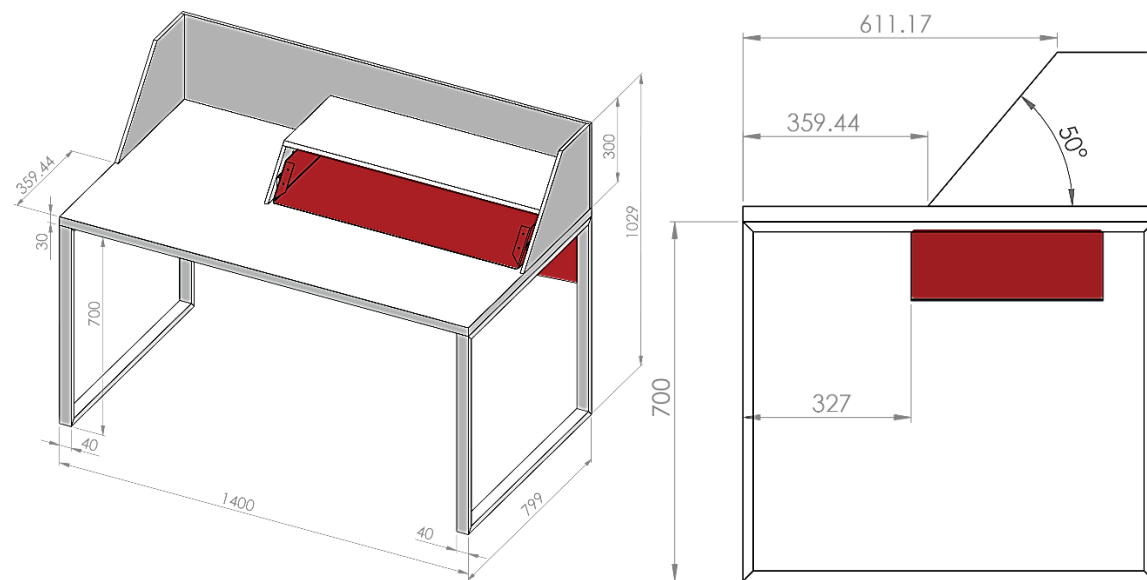
Melo, José L. "ERGONOMÍA PRÁCTICA, Guía para la evaluación ergonómica de un puesto de trabajo." www.fundacionmapfre.com.ar. Fundación MAPFRE Argentina, n.d. Web. 16 July 2013.

6.1.2 Especificaciones de la estructura del banco

En esta sección se presenta la especificación más relevante de las dimensiones de la mesa del banco de pruebas, de acuerdo a los requerimientos ergonómicos expuestos, anteriormente (Figura 13 y Figura 14). Las especificaciones de detalle se presentan en el anexo A.

6.1.2.1 Dimensiones de la Mesa del Banco de Pruebas

Figura 15. Especificaciones de la mesa del banco de pruebas 1

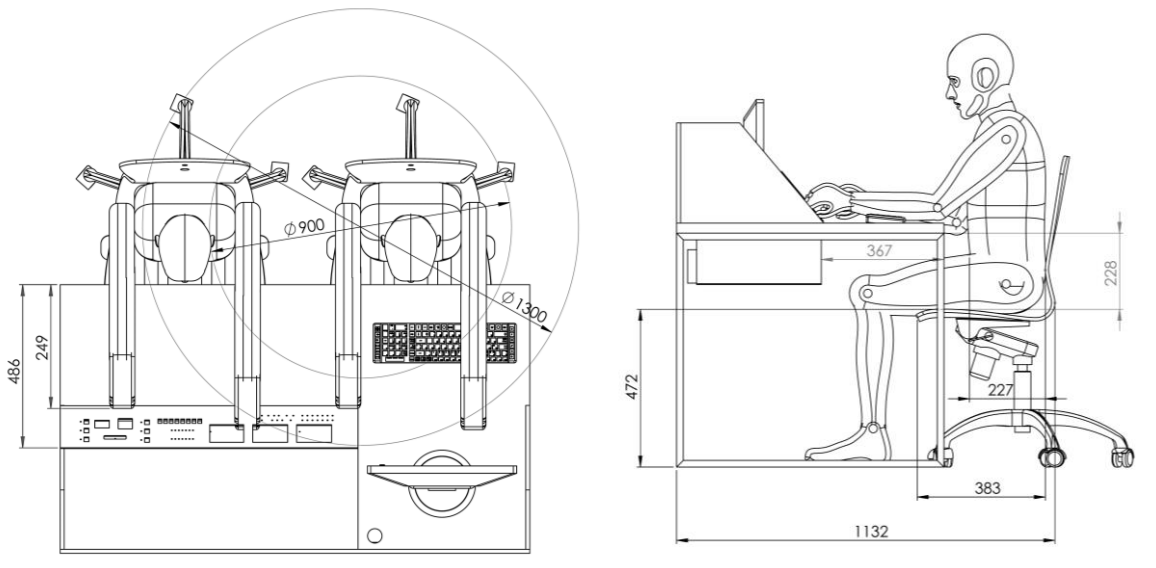


En la Figura 15 se observan las dimensiones de la mesa respecto a las dimensiones ergonómicas requeridas. En la Figura 16 se muestran las medidas de acuerdo a las dimensiones establecidas en la Figura 13 y Figura 14 de la siguiente forma:

- De acuerdo a la Figura 13, la mesa debe tener un radio de trabajo entre 550 y 650mm, se puede observar en la Figura 16 que el radio de trabajo máximo del banco es de 650mm, esto para dar más espacio de trabajo a los estudiantes.
- Como se presenta en la Figura 15, la mesa posee 1400mm de ancho, lo cual está dentro de los parámetros requeridos (Figura 13), ya que esta debe tener máximo 1600mm.
- En la Figura 14 se observa que la superficie de trabajo debe estar entre 0° y 15°, y el panel entre 20° y 50°. Por lo tanto la mesa cuenta con una superficie de trabajo de

0° (Figura 15), esto para evitar deslizamientos en los elementos colocados en ella; también cuenta con un panel a 50° (Figura 15), esto para hacer más fácil el montaje de los elementos de este, y dar más área de trabajo en la superficie de la mesa.

Figura 16. Especificaciones de la mesa del banco de pruebas 2



6.1.2.2 Colores de la Mesa del Banco de Pruebas

Para la mesa se escogieron el color blanco [17] ya que este color representa la paz y la serenidad, y para hacer contraste se escogió el color rojo puro [18], el cual es el color institucional; quedando así una combinación blanco – rojo.

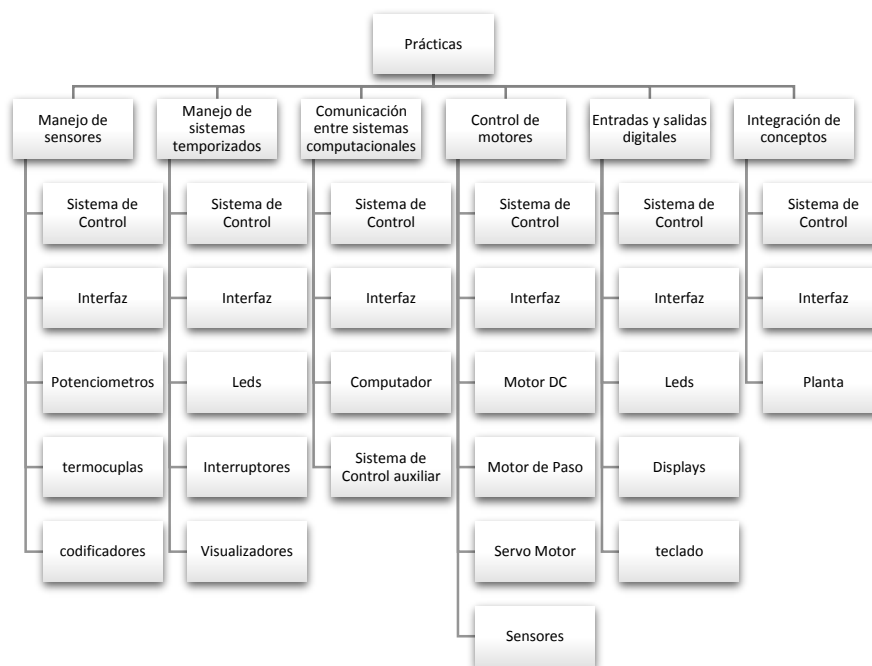
6.2 DISEÑO DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICO, ELÉCTRICO Y MECÁNICO DE LAS PRÁCTICAS

En la siguiente sección se describirá cada uno de los procesos de diseño del Hardware de las prácticas (Requerimientos y Especificaciones)

6.2.1 Requerimientos del Hardware de las prácticas

A continuación, se presentan los requerimientos del sistema electrónico y eléctrico de cada una de las diferentes prácticas de laboratorio que se deben poder realizar en el banco (de acuerdo con los conceptos que deben ser aprendidos en el curso principios de mecatrónica 3.2 a).

Figura 17. Requerimientos eléctrico y electrónico para las prácticas de laboratorio



6.2.1.1 Requerimientos del Sistema de control

El sistema de control (microcontrolador) debe tener las especificaciones mínimas para realizar las tareas de los objetivos planteados en el curso (3.2 a). De este modo, el microcontrolador debe contar con: Entradas y salidas digitales, conversores análogo-digital, salidas PWM, comunicación USB, comunicación TWI y comunicación SPI; este también debe poder ser programado en un lenguaje basado en C y/o C++.

6.2.1.2 Matriz de decisión para la selección del sistema de control

En la Figura 18 se presenta una matriz de decisión, donde se comparan las alternativas para el sistema de control, a cada aspecto para la decisión del sistema de control (necesidades), se le da un peso con respecto a la importancia en la decisión a tomar, la alternativa que más peso tenga será la seleccionada

Figura 18. Matriz de decisión para la selección del sistema de control

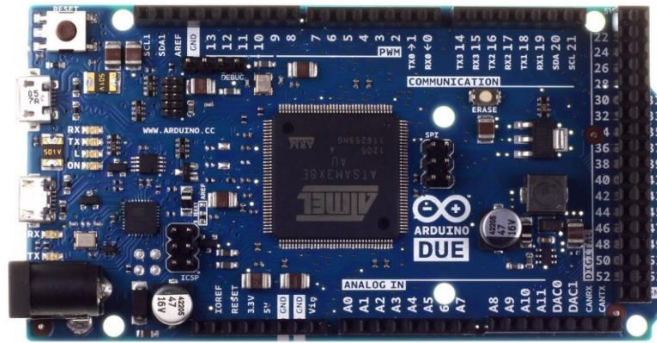
Peso	Aspectos	Placa de desarrollo Arduino Due (AVR)	Placa de desarrollo PIC32-PINGUINO	Microcontrolador AVR ATMEGA 32	Microcontrolador PIC
4	Velocidad de procesamiento (MHz)	4	2	2	2
10	Cantidad de entradas y salidas digitales	10	5	6	6
6	Cantidad de entradas Análogas	6	3	3	3
5	Cantidad de salidas Análogas	3	0	0	0
2	Comunicación TWI	2	2	2	2
2	Comunicación USB	2	1	0	0
3	Comunicación SPI	2	2	2	2
10	Facilidad de programación	10	6	5	5
5	Costo	2	4	5	5
5	Necesidad de componentes auxiliares	5	5	3	3
52	Total	44	30	28	28

Así, de acuerdo con la matriz de decisiones (Figura 18) la solución más factible es la placa de desarrollo Arduino Due, ya que este tiene el mayor peso, lo que implica que se ajusta mejor a las necesidades del proyecto.

6.2.1.3 Especificaciones del Sistema de control

De acuerdo con los requerimientos para el sistema de control (6.2.1.1), se selecciona la placa de desarrollo Arduino DUE; el cual cumple con dichas condiciones [16]:

Figura 19. Placa de desarrollo Arduino DUE



<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDue>

- Microcontrolador: AT91SAM3X8E
- Tensión de trabajo: 3.3V
- Tensión recomendada de entrada: 7-12V
- Tensión de entrada (min/max): 6-20V
- Digital I/O Pins: 54 (of which 6 provide PWM)
- Pines de entradas analógicas: 12
- Pines de salidas analógicas: 2 (DAC)
- Corriente total soportada en todas las líneas DC I/O: 130 mA
- DC intensidad for 3.3V Pin: 800 mA
- DC intensidad para 5V Pin: teórica 1A, recomendada 800 mA
- Flash Memory: 512 KB
- SRAM: 96 KB (64 + 32 KB)
- Clock speed: 84 MHz
- Debug access: JTAG/SWD connector
- Controlador DMA, que puede aliviar a la CPU de realizar tareas que requieren mucha memoria.

6.2.1.3.1 Memoria

El SAM3X tiene 512KB de memoria en dos bloques de 256KB para almacenar código. El bootloader viene precargado de ATMELE y está almacenado en la memoria dedicada ROM. La SRAM disponible es de 96Kb y dos bloques de 64 KB y 32 KB. Toda la memoria disponible (Flash, RAM y ROM) puede accederse directamente como una dirección de memoria plana.

Es posible borrar la memoria Flash de SAM3X con el botón integrado en la placa “erase”. Este permite eliminar el Sketch cargado desde la MCU. Para eliminarlo, se debe mantener pulsado el botón “erase” durante unos segundos.

6.2.1.3.2 Entradas y salidas

- **Digital I/O (pins del 0 al 53):** Cada uno de los pines de Arduino Due pueden ser usados como entradas o salidas, usando las funciones `pinMode()`, `digitalWrite()`, y `digitalRead()`. Ellas trabajan a 3.3V. Cada pin puede suministrar (soportar) una corriente de 3mA o 15 mA dependiendo del PIN, o recibir de 6 mA o 9 mA, dependiendo del PIN. Estos pines también poseen una resistencia del Pull Down desactivada por defecto de 100 KOhm. Además, algunos de estos pines tienen funciones específicas.
- **Serial: 0 (RX) y 1 (TX)**
- **Serial 1: 19 (RX) y 18 (TX)**
- **Serial 2: 17 (RX) y 16 (TX)**
- **Serial 3: 15 (RX) y 14 (TX)**
Usados para recibir (RX) y transmitir (TX) datos serie TTL (con niveles de 3.3 V). Los pines 0 y 1 están unidos con los correspondientes pines USB-TTL serie del chip ATmega16U2.
- **PWM (Pins 2 a 13):** Salidas PWM de 8 bit de resolución mediante la función `analogWrite()`. La resolución de las salidas analógicas puede cambiarse mediante la función `analogWriteResolution()`
- **SPI (Conector SPI):** Estos pines soportan la comunicación SPI usando la Librería SPI. Los pines SPI están situados en el conector central de seis pines en el centro de la placa lo cual es físicamente compatible con Arduino Uno, Leonardo y Mega2560. EL conector SPI puede usarse para comunicarse solo con otros dispositivos SPI, no para programar el SAM3X con la técnica de programación circuito en serie. El puerto SPI de Due tiene otras características avanzadas que pueden usarse con Los métodos SPI extendidos para Due.
- **CAN (CANRX y CANTX):** Estos pines soportan el protocolo de comunicación CAN, pero todavía no está soportado con las APIs de Arduino.

- **“L” LED (13):** Este es un LED smd conectado al Pin 13. Cuando el pin está en HIGH, el Led se enciende, cuando el pin está en LOW, el LED se apaga, el pin 13 también es una salida PWM, por lo que se puede variar su intensidad.
- **TWI 1: 20 (SDA) y 21 (SCL), TWI 2: SDA1 y SCL1.:** Soporta comunicación TWI usando la Librería Wire.
- **Entradas analógicas (pines de A0 to A11):** Due trae 12 entradas analógicas, cada una de las cuales proporcionan una resolución de 12 bit (4096 valores diferentes). Por defecto, la resolución de la lectura está establecida a 10 bit para que sea compatible con las aplicaciones diseñadas para otras placas Arduino. Es posible cambiar esta resolución ADC mediante la función `analogReadResolution()`. Las entradas analógicas de DUE, miden desde tierra hasta un valor máximo de 3,3v, si se aplica más de 3,3v se puede dañar el chip SAM3X. La función `analogReference()` es ignorada en Arduino Due. El pin AREF está conectado a la referencia analógica del chip SAM3X con una resistencia puente, si es necesario usar el pin AREF, se debe desoldar esa resistencia de la PCB.
- **DAC1 y DAC2:** Estos pines proporcionan una salida analógica con una resolución de 12 bit (4096 niveles) con la función `analogWrite()`. Estos pines pueden usarse para crear una salida de audio mediante la librería Audio library.

6.2.2 Especificaciones de los módulos del Banco de Pruebas

A continuación, se presentan las especificaciones de las interfaces necesarias para las prácticas a realizar en el banco de pruebas.

6.2.2.1 Módulo de entradas digitales

El módulo de entradas digitales permite el acople entre los interruptores y pulsadores con la placa de desarrollo Arduino DUE (PDA). A continuación, se muestra el esquemático del circuito (Figura 20), y el físico de la placa (Figura 21) del módulo de entradas digitales. Este módulo permite enviar una señal digital de alta al microcontrolador, ya sea permanente (Con los interruptores) o en pulsos (con los pulsadores).

Figura 20. Esquemático del módulo de entradas digitales.

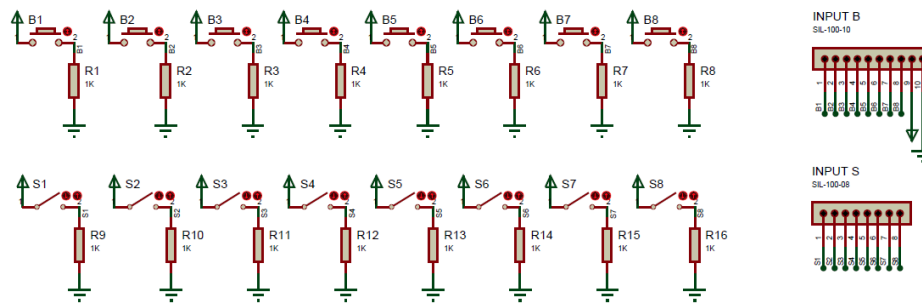
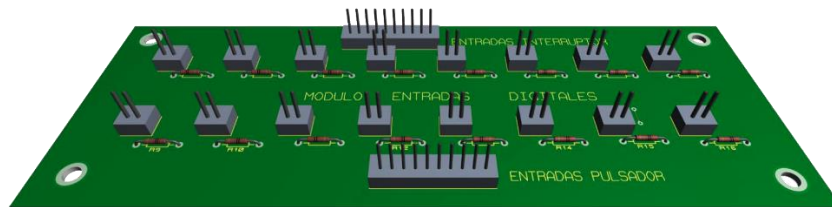


Figura 21. Placa física del módulo de entradas digitales.



Los componentes expuestos en esquemático del módulo de entradas digitales (Figura 20): 16 resistencias de 1K, 16 conectores head de 2 pines, 1 conector head de 8 pines y un conector head de 10 pines.

6.2.2.2 Módulo de salidas digitales

El módulo de salidas digitales de LEDs permite la visualización del estado de algunas de las salidas digitales de la placa de desarrollo mediante LEDs conectados a estos, cuando la salida digital conectada a uno de los LEDs está en alta, este se enciende. A continuación se presenta el esquemático (Figura 22) y el físico (Figura 23) de la placa de la interfaz de salidas digitales.

Figura 22. Esquemático del módulo de salidas digitales de LEDs

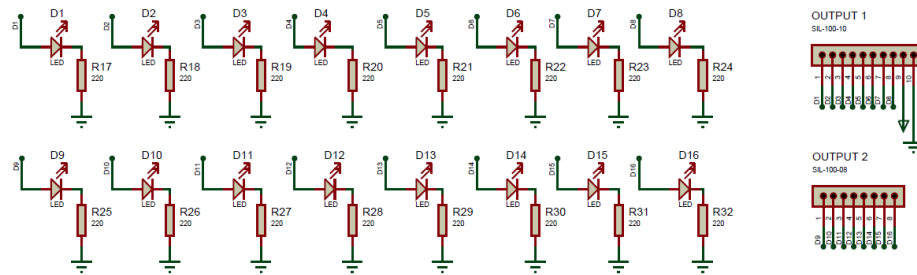
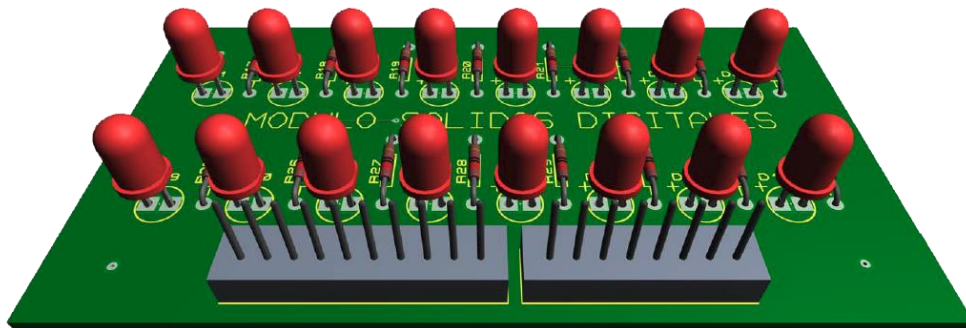


Figura 23. Placa física del módulo de salidas digitales LEDs



Los componentes expuestos en el esquemático del módulo de salidas digitales (Figura 22) Son 16 resistencias de 1k, 8 diodos LEDs difusos rojos de 5mm, 8 diodos LEDs difusos verdes de 5mm, un conector head de 8 pines y un conector head de 10 pines.

6.2.2.3 Módulo de entradas y salidas globales

El módulo de entradas y salidas globales, permite la conexión de todos los pines del Arduino con el exterior, para ser usadas en cualquier tipo de aplicación, ya sea del curso o para fines de desarrollos e investigación.

A continuación se muestra el esquemático (Figura 24) y el físico (Figura 25) de la placa de la interfaz de entradas y salidas globales.

Los componentes expuestos en el esquemático del módulo de salidas generales (Figura 24) son 54 terminal bloks de dos pines de 5,08mm, 6 conectores para cable ribbon.

Figura 24. Esquemático del módulo de entradas y salidas globales

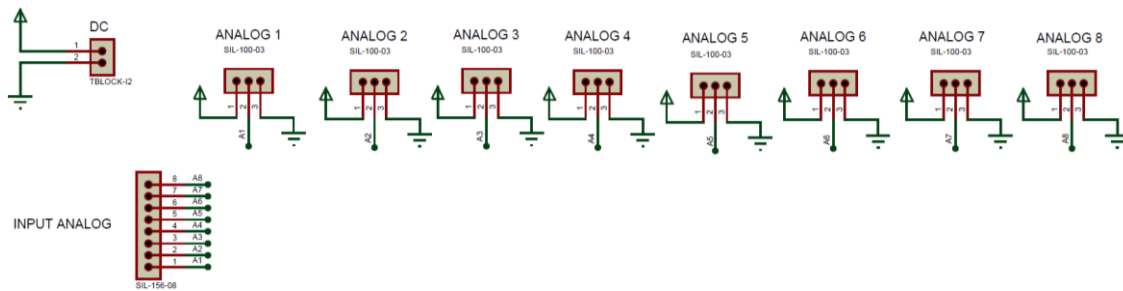
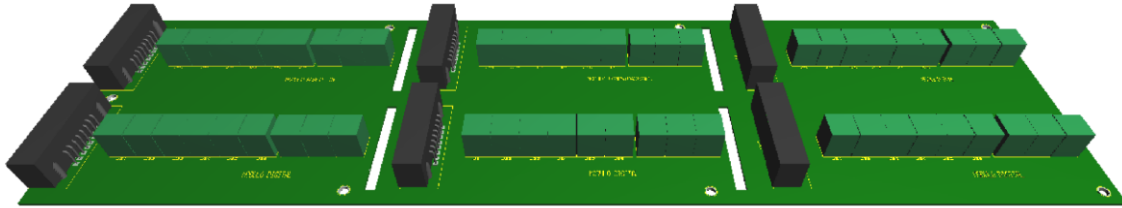


Figura 25. Placa física del módulo de entradas y salidas globales



6.2.2.4 Módulo de manejo de motores DC

El módulo de manejo de motores DC, permite el manejo de motores DC desde el microcontrolador, ya que este no cuenta con la potencia necesaria para el funcionamiento de los motores. Este módulo funciona mediante una señal PWM emitida desde el microcontrolador y trabaja con motores de hasta de 2A.

Sus diagramas se muestran en la Figura 26 y Figura 27 .

Los componentes expuestos en el esquemático del módulo de manejo de motores DC (Figura 26): 1 regulador 7805, dos optoacopladores NPN, 4 diodos rectificadores 1N4007, 3 resistencias de 220Ω, 2 resistencias de 1k, 1 condensador de 10μF, un conector head de 3 pines y un terminal block de dos pines de 5,07mm.

Figura 26. Esquemático del módulo de manejo de motores DC

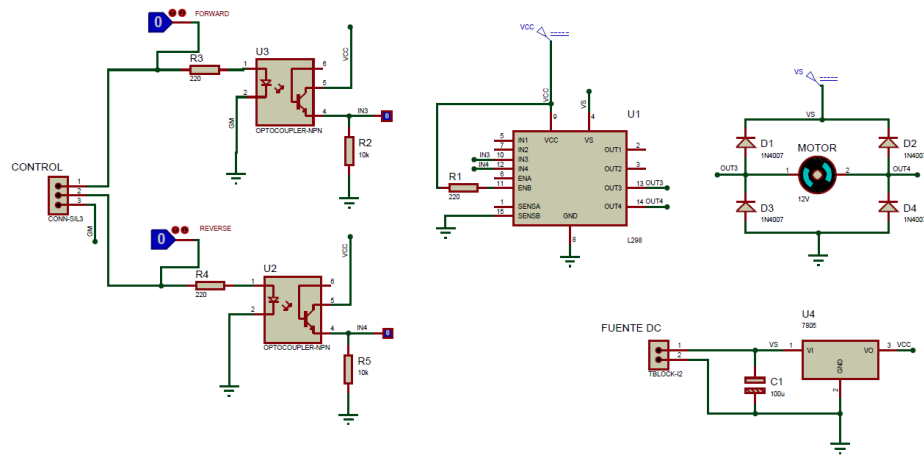
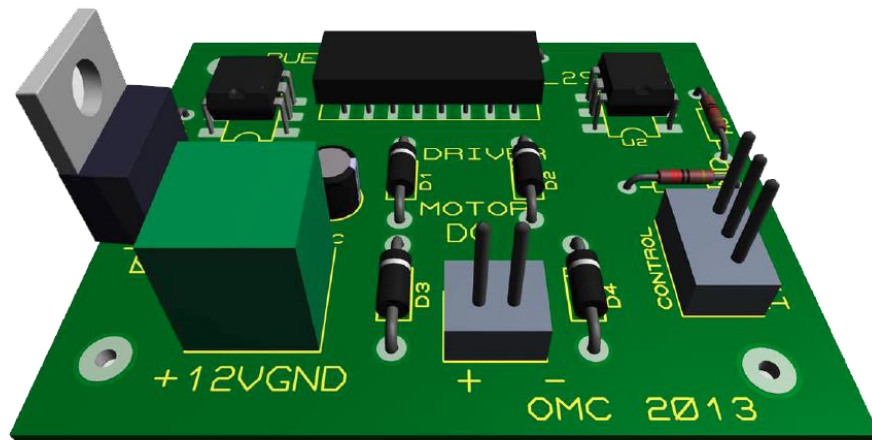


Figura 27. Placa física del módulo de manejo de motores DC



6.2.2.5 Módulo para acople con dispositivos de corriente alterna

Este Módulo permite el acople del microcontrolador con dispositivos de corriente alterna, mediante uso de PWM, para así controlarlos. Esta placa cuenta con dos salidas PWM, y puede ser usado con una carga de hasta 8A.

A continuación se presenta el circuito esquemático (Figura 28) y la placa física (Figura 29) de la interfaz de acople para dispositivos de corriente alterna.

Los componentes expuestos en el esquemático del módulo de corriente alterna (Figura 28): 2 optoacopladores MOC3031M, 2 resistencias de 220 Ω , dos resistencias de 10k, 2 resistencias de 350 Ω , un conector head de 3 pines, 2 triacs L4008L8 y 4 terminal blocks de 2 pines de 5,08mm.

Figura 28. Esquemático de la interfaz acople con dispositivos de corriente alterna

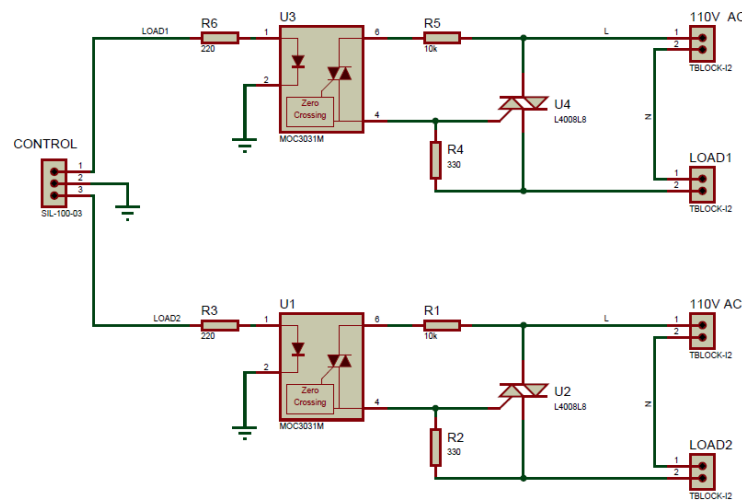
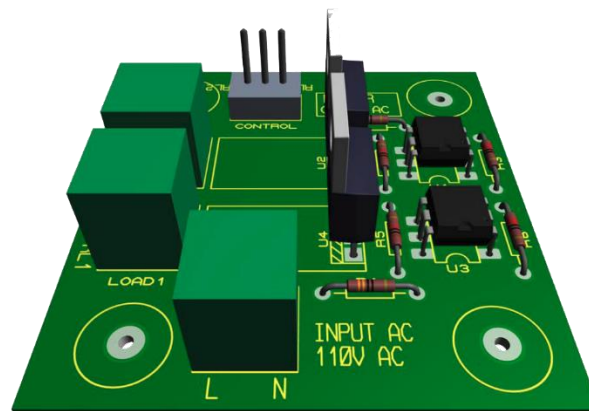


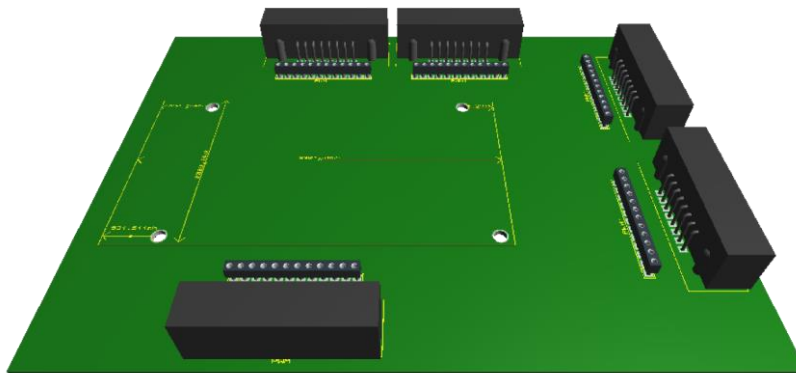
Figura 29. Placa física de la interfaz para acople con dispositivos de corriente alterna



6.2.2.6 Módulo de montaje para la placa de desarrollo (Arduino Due)

Este módulo permite montar el Arduino Due para conectar de manera más fácil los pines de estos, y distribuirlos con los módulos antes expuestos. A continuación se muestra la placa de montaje en la Figura 30.

Figura 30. Placa física de la Interfaz de montaje para la placa de desarrollo



Los componentes expuestos en el esquemático del módulo de montaje del Arduino DUE (Figura 30) son: 5 conectores de 16 pines para cable ribbon, 5 conectores head de 16 pines.

6.3 DISEÑO DE LA CAJA DE CONEXIONES DEL BANCO DE PRUEBAS

La caja de conexiones es el elemento dónde se alojarán todos los componentes electrónicos y eléctricos del banco de pruebas, y es el que tendrá acoplado todos los elementos que estarán en interacción con el usuario.

La caja de conexiones contará con una bandeja deslizante, un panel de trabajo sujeto a este, tal como se muestra en la siguiente figura (Figura 31). Los planos de detalle de la caja de conexiones se exponen en el Anexo C.

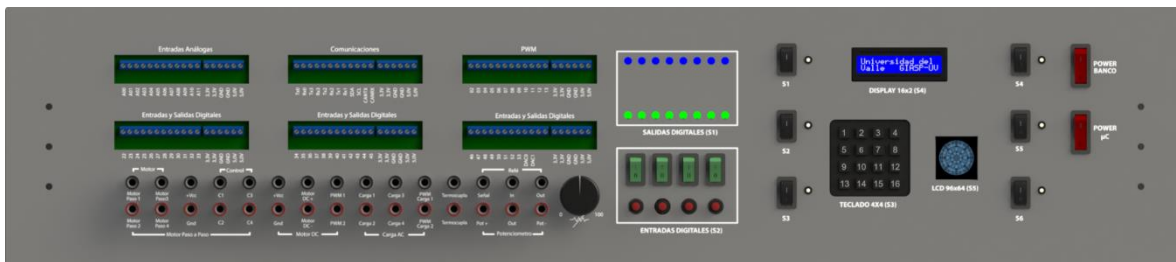
Figura 31. Panel del banco de pruebas



6.3.1 Panel del banco de pruebas

En la Figura 32 se expone el panel de trabajo que interactuará con los estudiantes, el cual está fabricado en una lámina de acrílico negro de 3 mm de espesor, los cortes realizados en este se deberán hacer con laser debido a las formas complejas que este presenta. El panel de trabajo también cuenta con indicaciones de los dispositivos encontrados en este de color blanco, con sus respectivas conexiones.

Figura 32. Panel del banco de pruebas



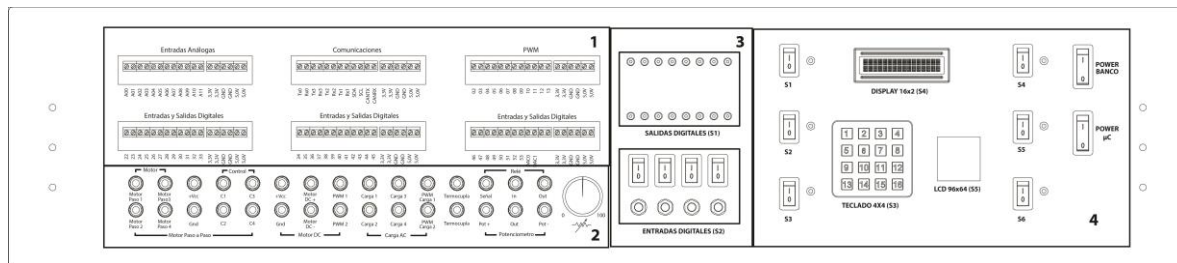
6.3.1.1 Color del Panel de trabajo

Para el panel no se usó el color institucional de la Universidad del Valle (Rojo) como se usó en la mesa, debido a que este color puede llegar a provocar ira y agresividad [17] en un momento de frustración del usuario. Por lo cual, se sustituyó por el color negro, ya que este es un color neutro y da elegancia [17], también dan mejor contraste con las letras blancas de señalización del panel.

6.3.1.1.1 Partes del Panel de trabajo

En el panel se encuentran diferentes tipos de dispositivos, los cuales se muestran en la Figura 33.

Figura 33. Panel del banco de pruebas (Grupo de componentes)



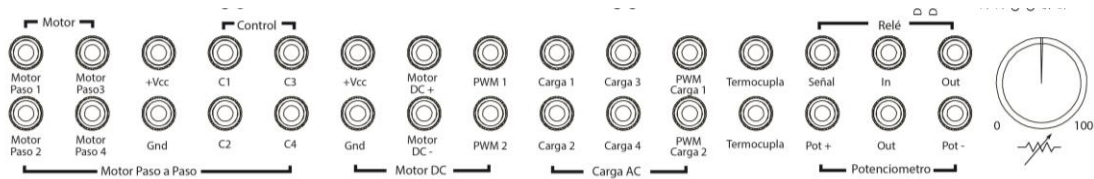
En la Figura 33 se presenta el panel dividido en grupos, donde el grupo 1 son las entradas y salidas nativas de la placa de desarrollo Arduino Due, señalizado con los nombres de cada uno de los pines de la placa de desarrollo, en este grupo también se encuentran salidas de voltaje para el uso con diferentes dispositivos, tal como se muestra en la Figura 34.

Figura 34. Grupo 1 del panel del banco de pruebas



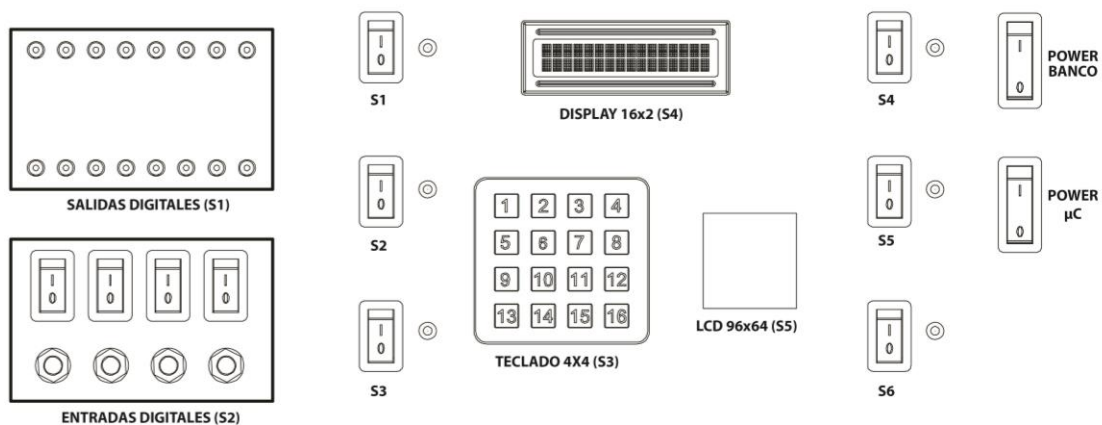
En el grupo 2 (Figura 33) se presentan las borneras, en las cuales se podrán conectar un motor de paso, un motor DC para control por PWM, una termocupla, dos dispositivos de AC para control por PWM, una salida por relé y un potenciómetro; los cuales son de libre uso para el usuario (Figura 35).

Figura 35. Grupo 2 del panel del banco de pruebas



En el grupo 3 (Figura 33) Se encuentran las salidas digitales (LEDs), con el cual se mostrarán los estados de algunos pines de la placa de desarrollo; así mismo, cuenta con unas entradas digitales (interruptores), con las cuales se pondrán cambiar los estados de algunos pines de la placa de desarrollo, también cuenta con un teclado 4x4, un visualizador 12x2 y un visualizador LCD de 96x64 para mostrar información proveniente de la placa de desarrollo, estos módulos pueden ser desactivados y desactivados mediante interruptores que se encuentran adyacentes a esto, esto con el fin de evitar interferencias con las salidas generales (Figura 36).

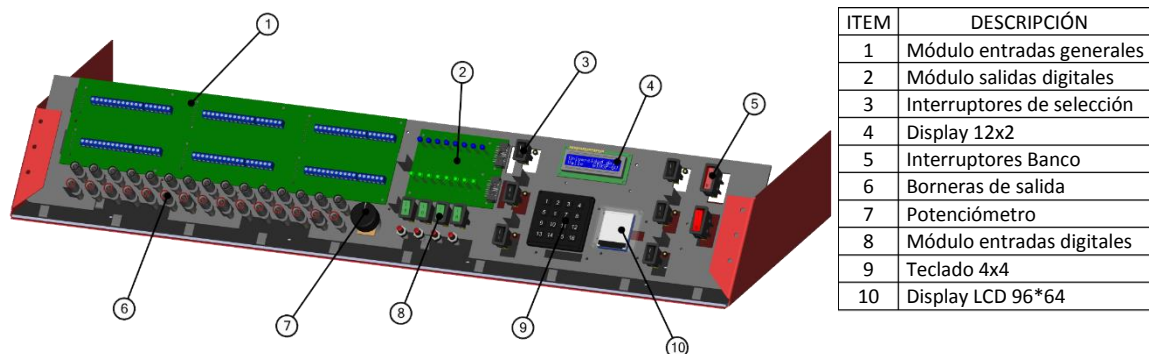
Figura 36. Grupo 3 del panel del banco de pruebas



6.3.2 Electrónica del panel

El panel cuenta con los módulos expuestos en el punto 6.2.2, en la Figura 37 se expone la configuración general del montaje de los módulos en el panel, el montaje de detalle se presenta en el ANEXO B.

Figura 37. Panel del banco de pruebas (electrónica)



6.3.3 Estructura del panel del banco de pruebas

En la Figura 38 se presentan las partes de la estructura del Panel, esta dará soporte a todos los componentes electrónicos y eléctricos del banco. La estructura está compuesta por una lámina metálica calibre 18 que se podrá deslizar en el banco para dar mejor acceso para el mantenimiento (Figura 38 - Ítem 5); en la lámina metálica se encuentra acoplada una lámina en acrílico de 3mm (Figura 38 - Ítem 7) en la cual se acoplarán todas las partes restantes; en esta lámina (soporte de acople) se unirán los nervios de soporte (Figura 38 – Ítem 4) la cual unirá la lámina de soporte de módulos (Figura 38 – Ítem 2) con la lámina de soporte de acople; a esta última se unirá los pines de soporte superior e inferior del panel (Figura 38 – Ítem 1 y 6), los cuales evitarán pandeo en el panel (Figura 32).

6.4 DISEÑO GENERAL DEL BANCO

En la Figura 39 se presenta el montaje final del banco, con sus respectivas partes. El banco consta de una mesa dónde estarán montados todos los sistemas de la mesa (Figura 39 – Ítem 4) la cual está soportada por una estructura metálica (Figura 39 – Ítem 5); un computador (Figura 39 – Ítem 1), en el cual se programará la placa de desarrollo; un panel (Figura 39 – Ítem 2), en el cual interactuará con el usuario para hacer las diferentes prácticas del curso; Dispositivos auxiliares (Figura 39 – Ítem 3), que ayudarán al usuario en las prácticas, esto puede ser un osciloscopio, etc.

En la Figura 40 se observa el renderizado del Banco de Pruebas, esta imagen es la visualización del producto final, lo que se espera después de la etapa de construcción del Banco.

Figura 38. Panel del banco de pruebas estructural

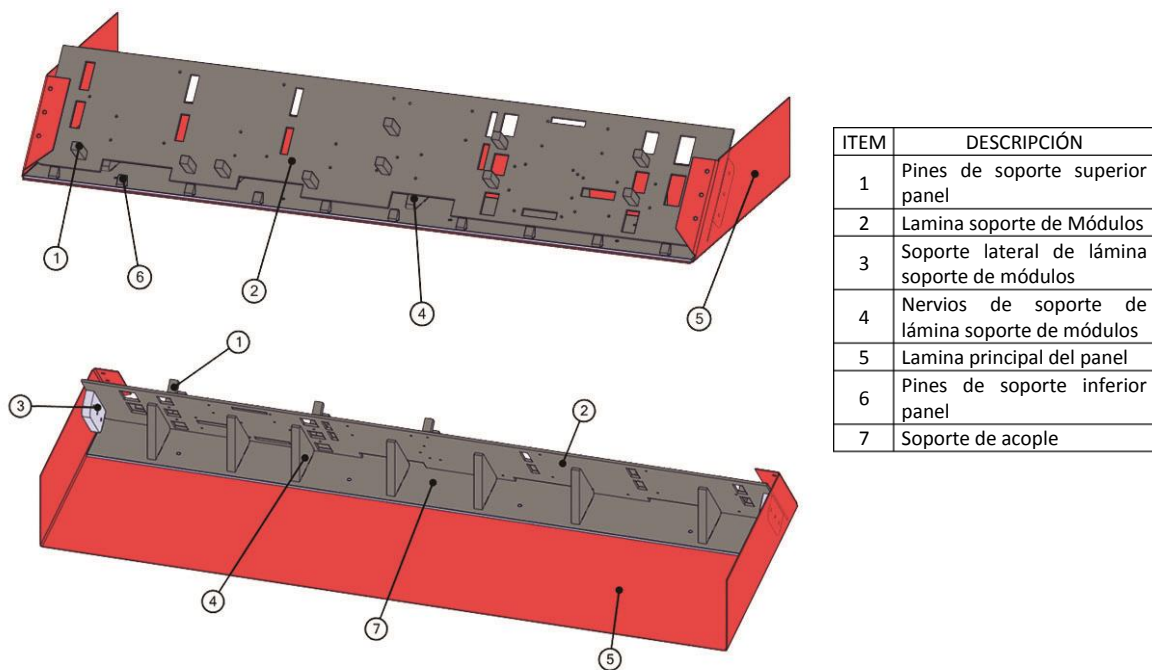


Figura 39. Montaje del banco de pruebas

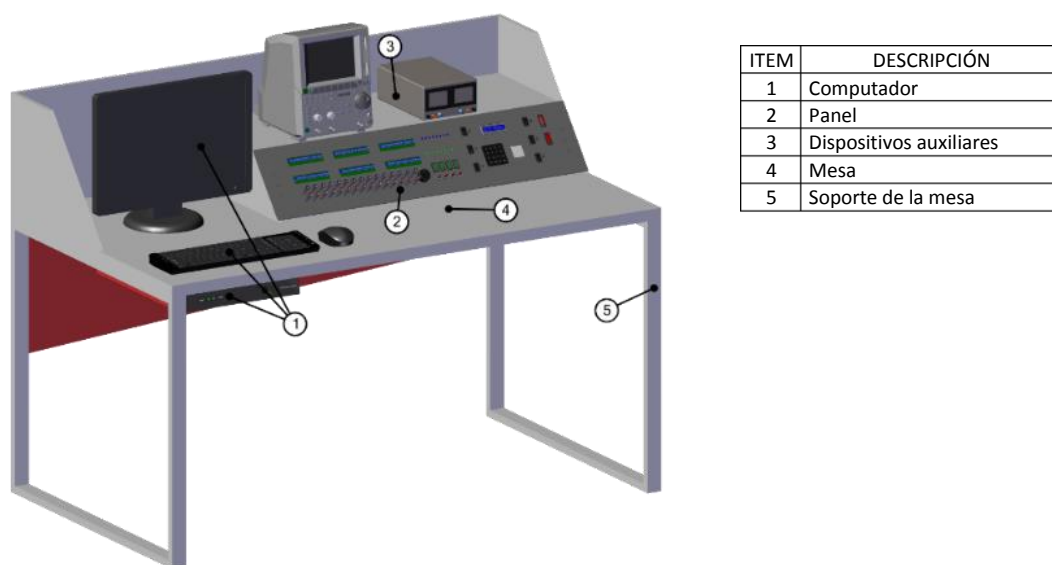


Figura 40. Renderizado del Banco de Pruebas



7 DISEÑO PROPUESTO DE UNA PRÁCTICA ARTICULADORA DE LOS CONCEPTOS DEL CURSO PRINCIPIOS DE MECATRÓNICA

La práctica articuladora permite poner en práctica los conocimientos adquiridos en el curso y las habilidades adquiridas en las prácticas de laboratorio, en un sistema mecánico de la vida real, para así hacer evidente la importancia de los conceptos de la mecatrónica en el ámbito laboral del ingeniero mecánico.

Para el caso particular, se seleccionó un horno automático, ya que con este se puede poner en práctica los siguientes conceptos: PWM, entradas y salidas digitales, control de temperatura, entradas análogas.

7.1 DISEÑO DEL HORNO

En los siguientes enunciados se expondrán los pasos de diseño del horno automático para el banco de pruebas.

7.1.1 Espesor de aislante del horno

Para el horno, se usarán dos resistencias eléctricas de $440W$, para un total de $\dot{Q} = 800W$, con ésta se hallará el espesor del aislante térmico, el área de del horno es de $A = 0,4m^2$, el horno trabajará entre $T_1 = 50^\circ C$ y $T_2 = 400^\circ C$, siendo la conductividad térmica del material $k = 0.091 W/m * k$ para este intervalo, con estos datos se procede a calcular el espesor del aislante donde

$$\dot{Q} = kA \frac{\Delta T}{L}$$

donde

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

Así

$$L = \frac{kA(T_2 - T_1)}{\dot{Q}} \Rightarrow L = \frac{0,091 * 0,4(400 - 50)}{440} = 28,95mm$$

De tal forma el espesor necesario del aislante térmico debe ser de 28,95mm. Con este valor se decide usar un aislante térmico de 3" (76,20mm) de espesor para dar un factor de seguridad y evitar accidentes con el usuario del horno, por lo cual

$$\text{Factor de Seguridad (FS)} * \text{Espesor admisible} = \text{Espesor}$$

$$FS = \frac{\text{Espesor}}{\text{Espesor admisible}}$$

Lo que implica que

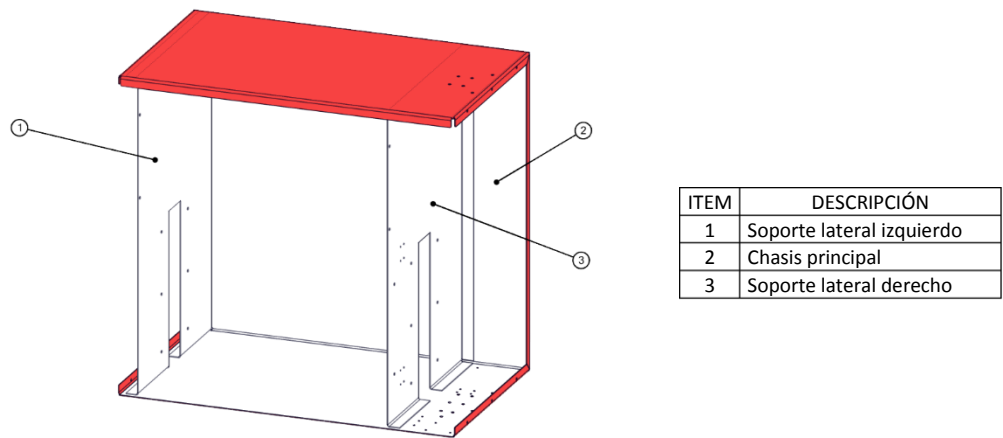
$$FS = \frac{76,20mm}{28,95} \Rightarrow FS = 2,63$$

7.1.2 Estructura metálica del horno

El horno automático cuenta con una estructura compuesta por 3 partes (Figura 41), las cuales darán soporte a todos los componentes que se acoplaran a este. Las partes deberán ser fabricadas en lámina de acero calibre 18 pintadas al horno, esto con el fin de dar mayor vida útil.

Los dos soportes laterales (Figura 41 – Ítem 1 y 3), se unirán al chasis principal (Figura 41 – Ítem 2) mediante soldadura por presión.

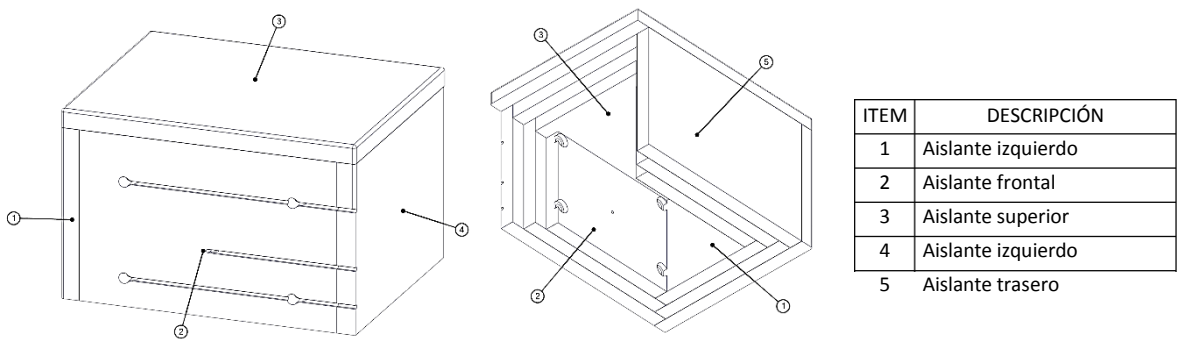
Figura 41. Estructura metálica del horno



7.1.3 Aislante térmico del horno

El aislante térmico del horno deberá con panel de fibra de cerámica de 1". Cada una de las caras se compone por tres capas de aislante (Figura 42), esto para evitar la pérdida de calor al exterior y evitar accidentes con el usuario. Las tres capas de aislante permiten llegar a 400°C en el interior y 50°C en el exterior del horno.

Figura 42. Aislante térmico del horno

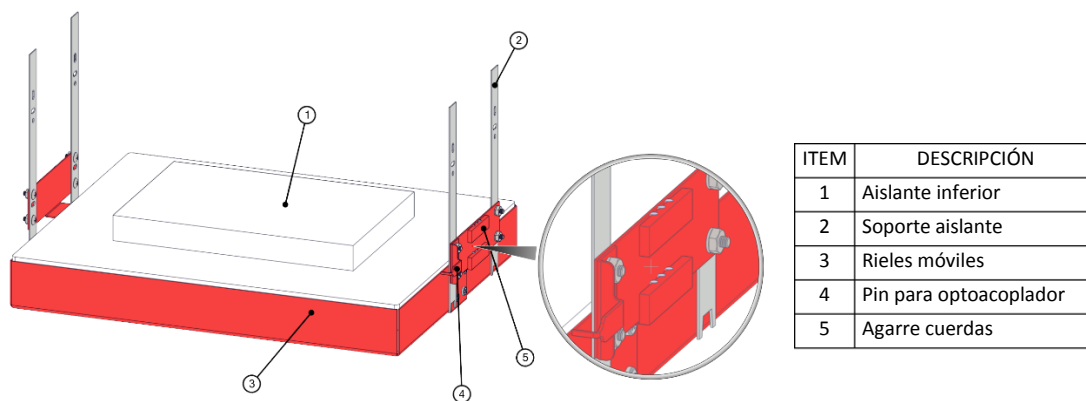


7.1.4 Plataforma móvil del horno

La plataforma móvil del horno es la parte donde se colocarán las piezas que serán hornadas, la plataforma se podrá mover de arriba abajo en el horno para hacer sello con el aislante térmico.

La plataforma está compuesta por 5 partes (Figura 43). En el soporte de aislante (Figura 43 - Ítem 3) se montará el aislante térmico inferior (Figura 43 - Ítem 1), el cual hará sello con el aislante superior del horno; en el soporte de aislante también estará montado los rieles móviles (Figura 43 - Ítem 2) que darán guía vertical y horizontal a la plataforma, el pin para optoacoplador para posicionamiento en el control (Figura 43 - Ítem 4), y el agarre de cuerdas, las cuales serán las que darán el movimiento a la plataforma (Capítulo 7.1.6).

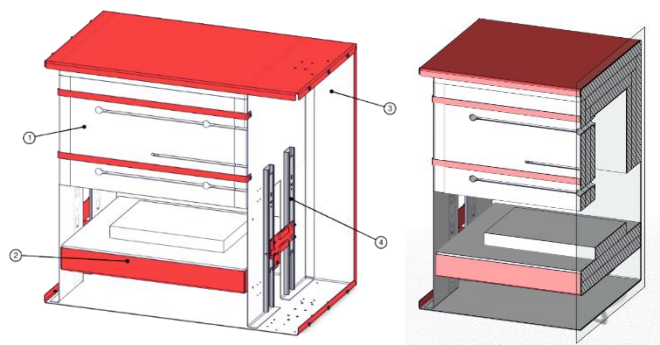
Figura 43. Plataforma móvil del horno



7.1.5 Montaje de la estructura, el aislante térmico y la plataforma móvil del horno

En la Figura 44 se observa el montaje de las partes antes mencionadas (Capítulos 7.1.2, 7.1.3 y 7.1.4), el aislante térmico (Figura 44 - Ítem 1) estará montado en la parte superior de la estructura metálica (Figura 44 - Ítem 3), fijado por presión mediante unas láminas atornilladas a los soportes laterales (Figura 41 - Ítem 1 y 3); la plataforma móvil (Figura 44 - Ítem 2) está montada a unos rieles fijos atornillados a los soportes laterales (Figura 44 - Ítem 4).

Figura 44. Montaje estructura, el aislante térmico y la plataforma móvil del horno

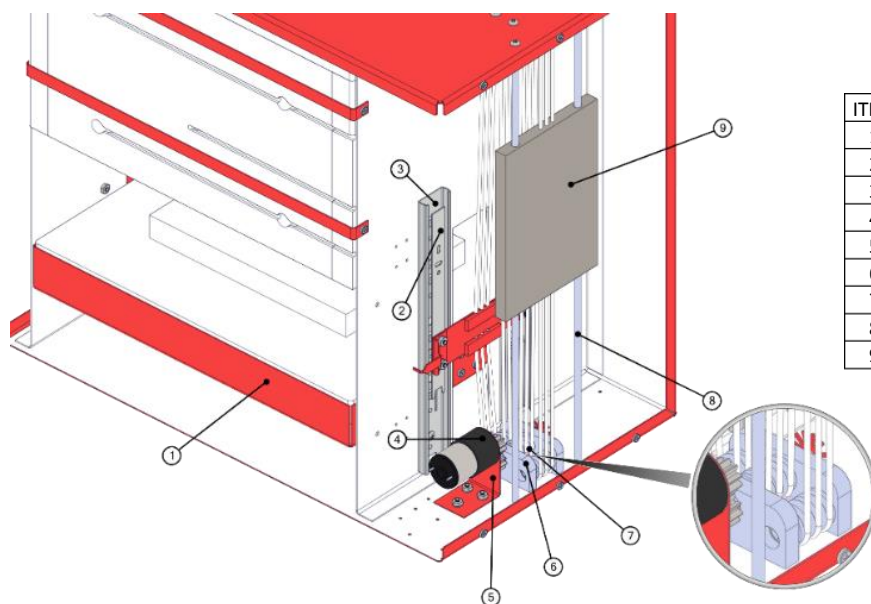


ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Aislante térmico
2	Plataforma móvil
3	Chasis
4	Guías

7.1.6 Mecanismo del horno

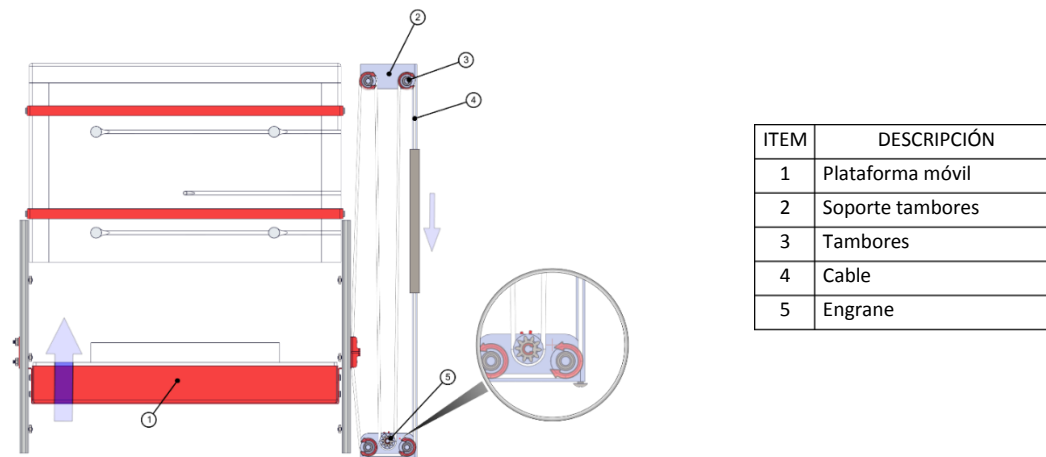
En las Figura 45 y Figura 46 se presentan el mecanismo del horno.

Figura 45. Mecanismo del Horno 1



ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Plataforma móvil
2	Riel móvil
3	Riel fijo
4	Motor DC
5	Soporte motor DC
6	Soporte tambores
7	Tambores
8	Guía peso
9	Contrapeso

Figura 46. Mecanismo del Horno 2



Este mecanismo está diseñado por contrapesos; cuando la plataforma móvil (Figura 45 – Ítem 1) sube, el contrapeso (Figura 45 – Ítem 9) baja y viceversa, esto con el fin de minimizar el torque requerido por el motor (Figura 45 – Ítem 4). El contrapeso y la plataforma están unidos mediante tres cables (Figura 46 – Ítem 4), posicionados por un juego de tambores (Figura 45 – Ítem 5 y Figura 46 – Ítem 3), en el tambor central está sujeto un engrane (Figura 46 – Ítem 5) para la transmisión de potencia del motor al mecanismo.

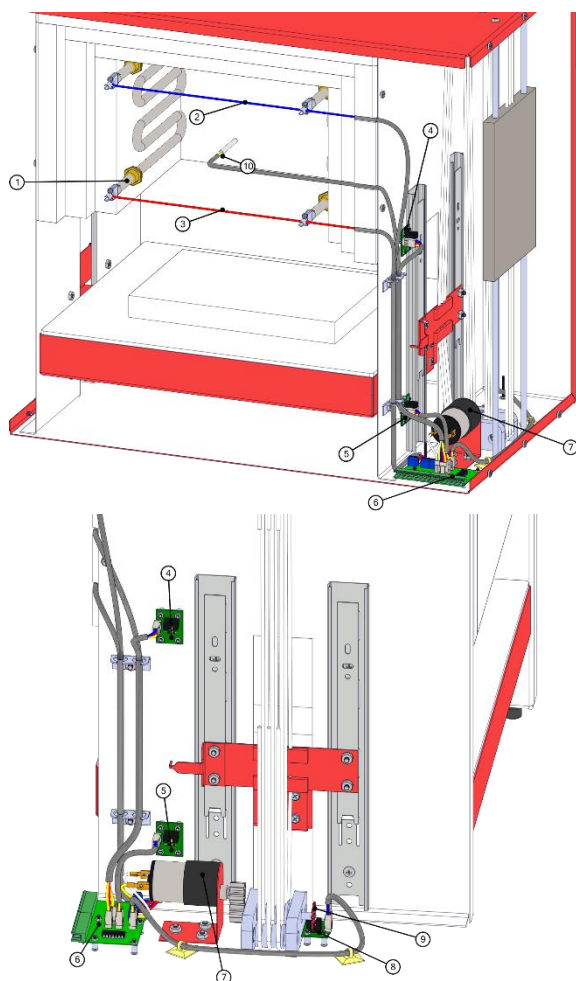
7.1.7 Sistemas eléctrico y electrónico del Horno

En la Figura 47 se presentan los sistemas eléctricos y electrónicos del horno. El sistema eléctrico del horno consta por dos resistencias de 440W a 110V (Figura 47 – Ítem 1), las cuales están fijas al interior del aislante térmico (Figura 44 - Ítem 1), estas resistencias están conectadas a la placa de conexiones del horno (Figura 47 – Ítem 6) mediante los cables de fase y neutro (Figura 47 – Ítem 2 y 3), estas líneas, se conectarán a la salida PWM AC de la mesa (Figura 35).

El sistema electrónico del horno consta de dos optointerruptores (Figura 47 – Ítem 4 y 5), que darán las señales de la posición de la plataforma del horno (Figura 44 - Ítem 2), cuando el pin del optointerruptor (Figura 43 – Ítem 4) lo cruce, la información de los optointerruptores entrará en el módulo general del panel (Figura 34); habrá un

optointerruptor para medir la velocidad a la que se mueve la mesa (Figura 47 – Ítem 8), gracias a un disco dentado (Figura 47 – Ítem 9) que interrumpe al optointerruptor, la señal de este también se conectará al módulo general del panel, todos los componentes electrónicos y eléctricos estarán conectados a la placa de conexiones del horno.

Figura 47. Sistemas eléctrico y electrónico

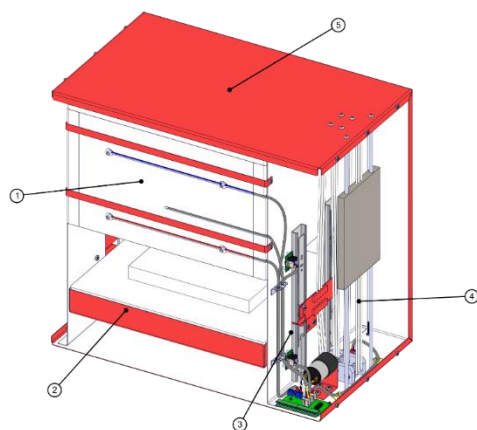


ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Resistencia eléctrica
2	Cable fase resistencia
3	Cable neutro resistencia
4	Optointerruptor superior
5	Optointerruptor inferior
6	Placa de conexiones
7	Motor DC
8	Optointerruptor velocidad
9	Disco dentado
10	Termocupla

7.1.8 Montaje completo del Horno

En la Figura 48 se visualiza el montaje completo del horno, el cual consta del aislante térmico (Figura 48 – Ítem 1), plataforma móvil (Figura 48 – Ítem 2), Sistema eléctrico y electrónico (Figura 48 – Ítem 3), Mecanismo (Figura 48 – Ítem 4), chasis (Figura 48 – Ítem 5).

Figura 48. Montaje completo del horno 1



ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Aislante térmico
2	Plataforma móvil
3	Sistema eléctrico y electrónico
4	Mecanismo
5	Chasis

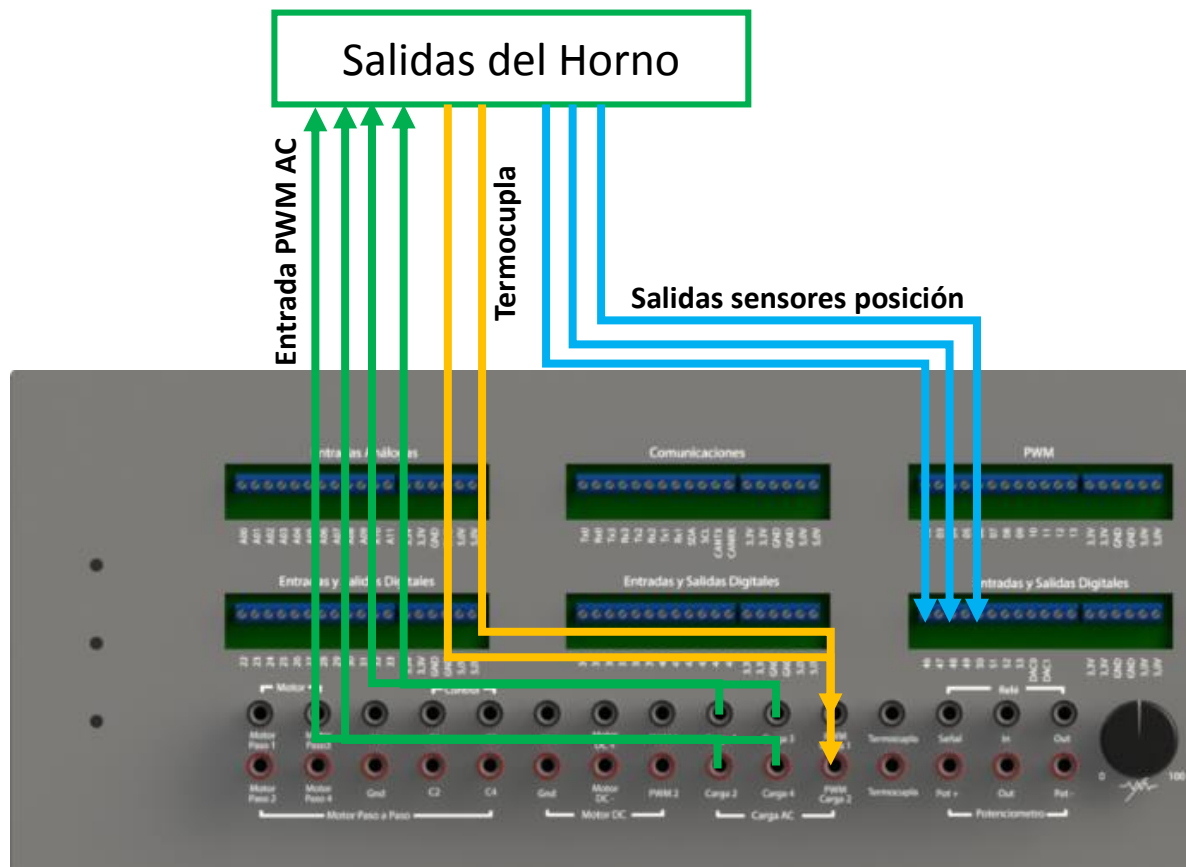
Figura 49. Montaje completo del horno 2



7.1.9 Conexión del horno en el panel

La Figura 50 se observa como deberá ir conectado el horno en panel de pruebas, en ella se aprecia (líneas verdes) que las entradas de las resistencias deberán ir conectadas a la salida de PWM AC, la salida de la señal de la termocupla (líneas Amarillo) conectada a la entrada del controlador para termocupla, y las salidas de señal de los optointerruptores (líneas azules) a las entradas digitales del panel.

Figura 50. Conexión del horno en el panel del banco de pruebas



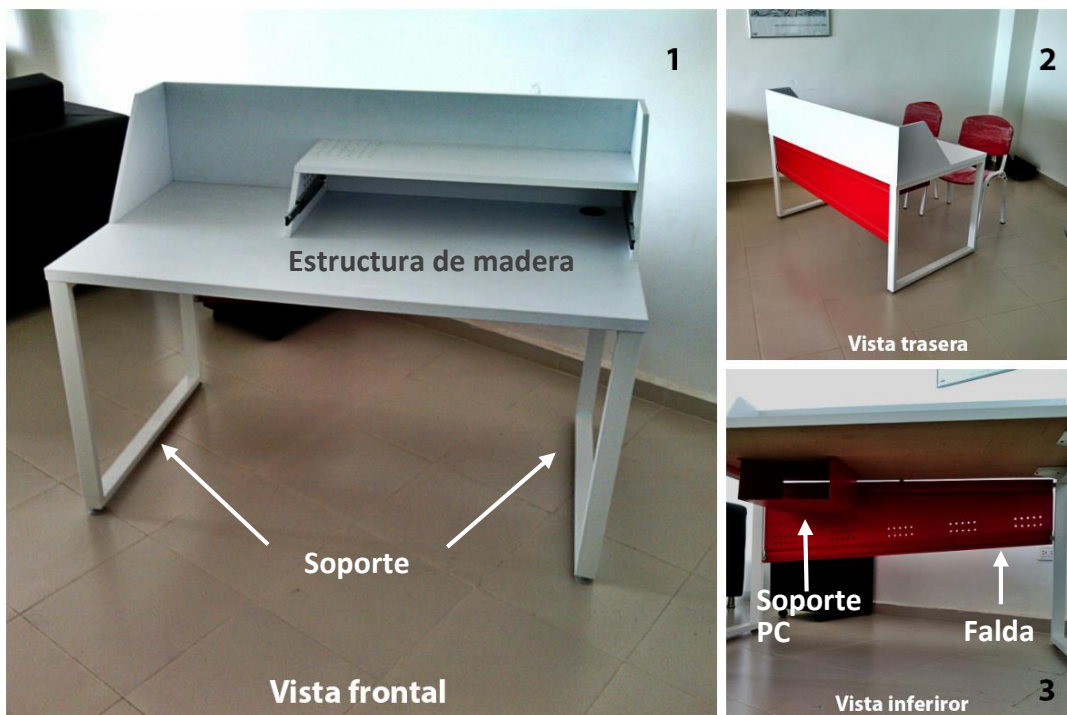
8 CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

En este capítulo se expondrán los pasos que se siguieron para la construcción del Banco de Pruebas.

8.1 ESTRUCTURA DEL BANCO

En las Figura 51 se exhibe la mesa del banco de pruebas, la cual fue fabricada por una empresa de muebles de la ciudad de Palmira- Valle, de acuerdo con las especificaciones de diseño antes expuestas (Véase sección 6.1.2). El banco cuenta con unos soportes de color blanco pintados en pintura horneada (Figura 51 – 1); la estructura de madera cuenta con un recubrimiento de formaleta blanca (Figura 51 – 2), para evitar rayones y aumentar su durabilidad; una falda de color rojo (Figura 51 – 3) pintada al horno que le da estabilidad a cortante a la mesa, y un soporte para el computador pintado al horno de igual forma.

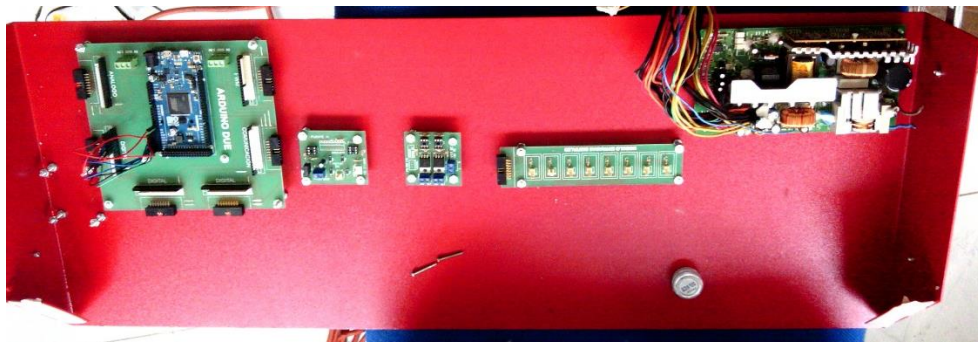
Figura 51. Mesa del Banco de Pruebas



8.2 CONSTRUCCIÓN DE LA CAJA DE CONEXIONES DEL BANCO DE PRUEBAS

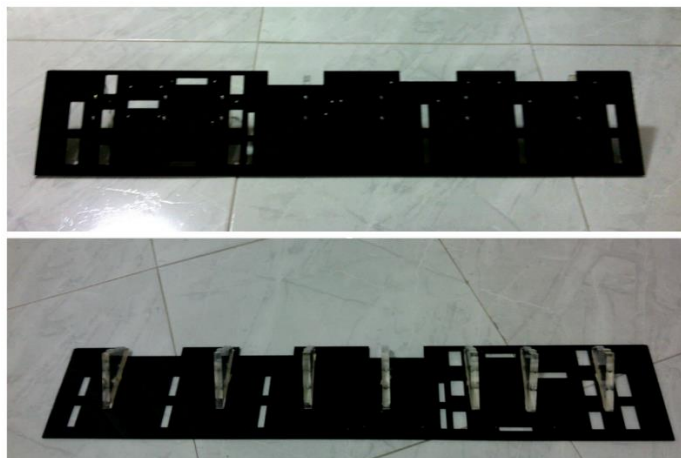
En la Figura 52 se expone la caja de conexiones que cuenta con una base metálica de color rojo pintado al horno, en la cual se montan todos los circuitos impresos expuestos en la sección 6.2. cada una de los circuitos impresos se posicionan y se ajustan con tornillos.

Figura 52. Base para conexiones y montaje de los circuitos impresos



En la caja de conexiones también va montada una base (Figura 38 - Ítem 7), en la cual se posiciona la lámina de montaje de los circuitos impresos que interactuarán con los usuarios la cual se presenta en la Figura 53.

Figura 53. Lámina de montaje de los circuitos impresos del panel



En la Figura 53 se puede observar el montaje de los soportes (Figura 38 – Ítem 4), los cuales son ajustados a la lámina de montaje mediante tornillos, y ajustados a la base (Figura 38 - Ítem 7) por interferencia (Figura 38).

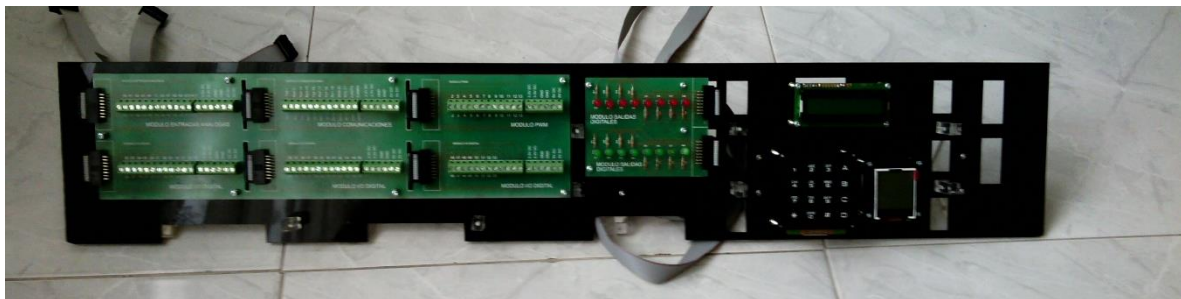
Luego de tener esta pieza montada se procede a posicionar los circuitos impresos que van montados en el panel, para ello, cada uno de estos circuitos deberán tener los tornillos para montaje como se muestra en la Figura 54.

Figura 54. Acople de los circuitos impresos



Luego de tener los circuitos con los respectivos tornillos se posicionan en lámina de montaje (Figura 53) como se muestran en la figura Figura 55.

Figura 55. Montaje circuitos impresos



Luego de tener el montaje anterior, se procede a hacer el ensamble del panel (Figura 56), en este paso se ajustan las borneras y se cablea la caja de conexiones.

Figura 56. Montaje del panel (conexiones)



Al final del montaje de la caja de conexiones queda lista para el montarla en la mesa del banco de pruebas

Figura 57. Caja de conexiones lista para montaje en la mesa de Banco de Pruebas



8.3 Montaje del Banco de Pruebas

Luego de tener lista la caja de conexiones, se procede a montarlo en el banco tal como se muestra en la Figura 58.

Figura 58. Montaje de la caja de conexiones



En la figura anterior se puede observar la posibilidad de mover la caja de conexiones, esto para dar acceso a los componentes electrónicos, en caso de reparación o mantenimiento. En la Figura 59 se expone el producto final, el Banco de Pruebas terminado

La Figura 60 muestra la comparación entre el diseño concebido y el producto final, en la cual se aprecia que el Banco de Pruebas realizado quedó de acuerdo con diseño propuesto expuesto en la sección 6.

Figura 59. Banco de Pruebas para el curso principios de mecatrónica



Figura 60. Comparación del producto final con el diseño propuesto



9 CONCLUSIONES

Se puso a disposición un banco de pruebas para el curso Principios de Mecatrónica dictado por la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle. De esta forma, con el banco de pruebas se podrá dar continuidad y refuerzo a los conceptos teórico – prácticos del Curso Principios de Mecatrónica.

Con el planteamiento de un procedimiento de diseño estructurado y la implementación del Banco de Pruebas, se abre un camino para el mejoramiento de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle, en particular el Laboratorio de Mecatrónica; lo cual va en vías del plan de desarrollo de esta escuela. Así mismo, este procedimiento de diseño se puede replicar para otros laboratorios de diferente índole.

Para la mesa del Banco de Pruebas se consideraron características ergonómicas, esto con el fin de favorecer la comodidad y salud de las personas que vayan hacer uso de este.

Para el Banco de Pruebas se diseñó e implementó un panel que da un cómodo acceso de los dispositivos al usuario, el cual podrá identificar los componentes fácilmente ya que en el panel se encuentra la marcación de cada uno de ellos.

Con los módulos propuestos para el banco, se pueden desarrollar las siguientes prácticas: control de motores DC, de paso y servomotores; comunicación SPI, TWI, CAN, serial y USB; interfaces; entradas y salidas digitales; entradas y salidas análogas. Con lo cual, el usuario aplicara los conceptos de la mecatrónica en la Ingeniería Mecánica.

Para el módulo de control de la mesa (en el cual está embebido el microcontrolador) se optó por una solución comercial, el cual es Arduino Due, ya que este cuenta con una plataforma de Hardware y software Open Source. Y debido a lo anterior, cuenta con una gran cantidad de bibliografía con la cual el usuario podrá sacar mayor provecho al uso del módulo de control, como al curso Principios de Mecatrónica.

Se elaboró un diseño aplicativo propuesto para el curso, el cual es un Horno Automático, con el cual el estudiante podrá observar de forma palpable la aplicación del control y los microcontroladores en la Ingeniería Mecánica.

10 RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Este proyecto está enmarcado en el mejoramiento de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería mecánica, debido a esto se recomienda la construcción de varios módulos, para así hacer la mejora del Laboratorio de Mecatrónica, ya que excede los alcances de este proyecto.

Se recomienda la construcción del Horno Automático, ya que es importante mostrar al estudiante la aplicación del control en los sistemas mecánicos.

Es recomendable diseñar e implementar diferentes módulos aplicativos que toquen temas de diferentes áreas de la mecánica, Así el estudiante tendrá un mejor entendimiento de cómo el uso de los sistemas controlados mejoran los resultados de los sistemas mecánicos.

Se recomienda tener las precauciones pertinentes a un sistema eléctrico, ya que el mal uso del mal uso de la mesa puede provocar accidentes.

11 BIBLIOGRAFÍA

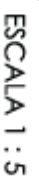
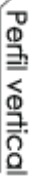
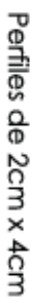
- [1] Giurgiutiu, Victor, Jed Lyons, and David Rocheleau. "Mechatronics/microcontroller education for mechanical engineering students at the University of South Carolina." *Department of Mechanical Engineering, University of South Carolina, Columbia, SC 29208, USA*. Columbia: Elsevier, 2005. Print.
- [2] Ranaweera, Aruna, Bassam Bamieh, and Verne Par. "Sensors, actuators, and computer interfacing laboratory course at the University of California at Santa Barbara." *Mechatronics, The Science of Intelligent Machines* 15.6 July (2005): 639-50. Web. 19 Apr. 2012.
- [3] Hargrove, Jeffrey B. "Curriculum, equipment and student project outcomes for mechatronics education in the core mechanical engineering program at Kettering University." *Mechatronics, The Science of Intelligent Machines* 12.6 Mar. (2002): 343-56. *ScienceDirect*. Web. 29 Apr. 2012.
- [4] Alecop, Didactic equipament. *Alecop, Catálogo interactivo 2011*. S. Coop., Mar. Web. 15 May 2012.
- [5] Festo. *Festo Didactic Training & Consulting*. N.p., Mar. Web. 28 Apr. 2012.
- [6] Feisel, Lyle D., and Albert J. Rosa. "The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education." *Engineering Education* (2005): 121-130. <http://www.dcs-luhcl.net/anil/reference%5CThe%20role%20of%20laboratory%20in%20Undergraduate%20engineering%20education.pdf>.
- [7] Giurgiutiu, Victor, Jed Lyons, and David Rocheleau. "Mechatronics/microcontroller education for mechanical engineering students at the University of South Carolina." *Department of Mechanical Engineering, University of South Carolina, Columbia, SC 29208, USA*. Columbia: Elsevier, 2005. Print.
- [8] Ceccarelli, Marco, Erika Ottaviano, and Giuseppe Carbone. "A ROLE OF MECHANICAL ENGINEERING IN MECHATRONICS." *Improving Stability in Developing Nations through Automation 2006*. Vienna: Elsevier Science & Technology, 2007. 31-36. Web. 3 May 2012. <http://ac.els-cdn.com/B9780080454061500033/3-s2.0-B9780080454061500033-main.pdf?_tid=68a51f5a18e69f2f387717092995a494&acdnat=1337711881_f09766b9b262a3a63b52b042d7b754f5>.

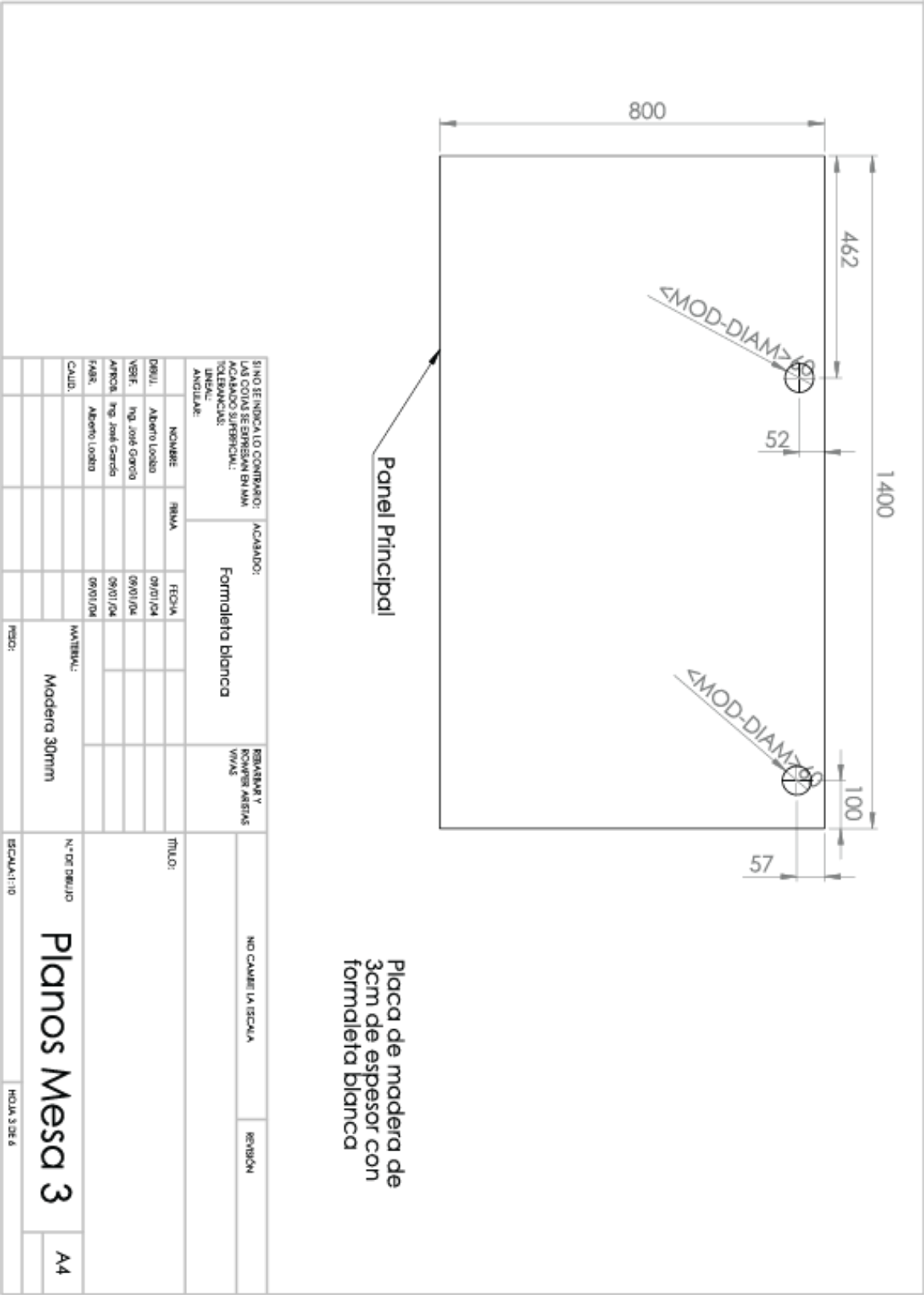
- [9] www.arduino.cc
- [10] http://www.electron.frba.utn.edu.ar/materias/95-0429/archivos/Cap10_2009_ARM7_apunte.pdf
- [11] Stellman, Jeanne M., ed. Vol. 29. ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO. 3rd ed. Madrid: Chantal Dufresne, BA, 2001. 33 vols. 29.2-.4. Web. 16 July 2013. <<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Enciclopedia OIT/tomo1/29.pdf>>.
- [12] Rescalvo, Fernando. Ergonomía y Salud. Castilla Y León: Junta de Castilla y León, 2004. Web. 16 July 2013.
- [13] ilva, Rafael. *Cursos complementarios de hardware y software*. Universidad Autónoma de Nayarit, n.d. Web. 24 May 2012. <http://www.fv.uan.edu.mx/file.php/77/tema1/Tema6__Microcontroladores_PIC_16F84.PDF>.
- [14] Histand, Michael B., and David G. Alciatore. *Introduction to Mechatronics and Measurement System*. first ed. Colorado: McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS, 1999. Print.
- [15] Rescalvo, Fernando. Ergonomía y Salud. 3rd ed. Castilla Y León: Junta de Castilla y León, 2004. 303-23. Print.
- [16] <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDue>
- [17] "Nociones básicas de diseño Teoría del color." . Universidad Nacional de México, n.d. Web. 16 Jan. 2014. <<http://repositorial.cuaed.unam.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/1901/1/teoria-del-color.pdf>>.
- [18] "Manual de Identidad Visual Corporativa Color y Texto." . Universidad del Valle, n.d. Web. 16 Jan. 2014. <http://www.univalle.edu.co/Id_Corporativa/color.html>.
- [19] Sánchez, Jaime. Informe de Autoevaluación con fines de Renovación de la Acreditación. Santiago De Cali: Programa Académico de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle, 2011. 205. Print.

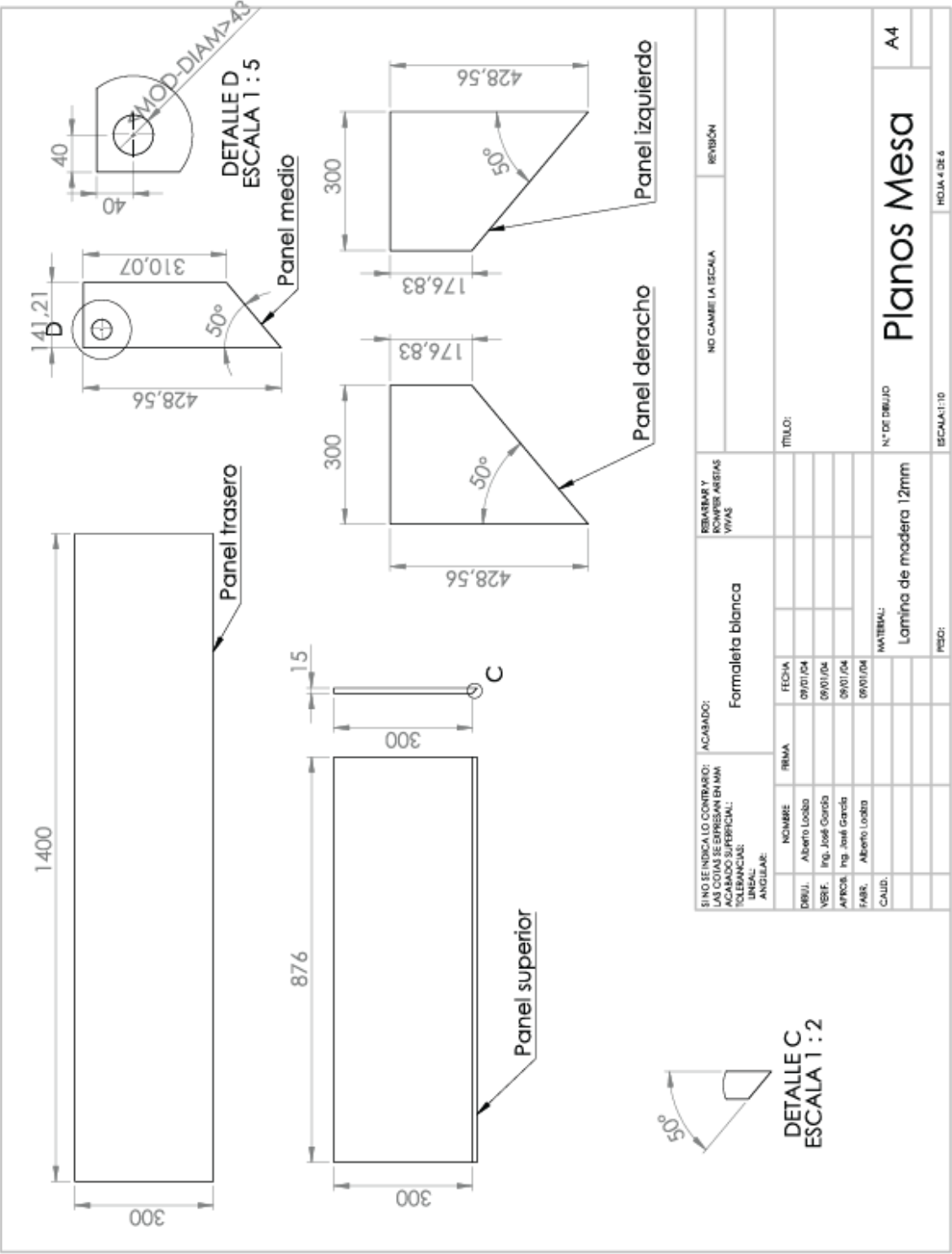
TABLA DE CONTENIDO ANEXOS

ANEXO A.	PLANOS DE DETALLE DE LA MESA	iv
ANEXO B.	PLANOS DE DETALLE DEL PANEL DEL BANCO DE PRUEBAS	xii
ANEXO C.	PLANOS DE DETALLE HORNO AUTOMÁTICO	xxviii

ANEXO A. PLANOS DE DETALLE DE LA MESA

[illegible]





Panel superior

Panel izquierdo

Panel trasero

Panel principal

Panel derecho

ESCALA 1 : 20

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
ANGULAR:

ACABADO:

REBAHAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIA LA ESCALA

REVISIÓN

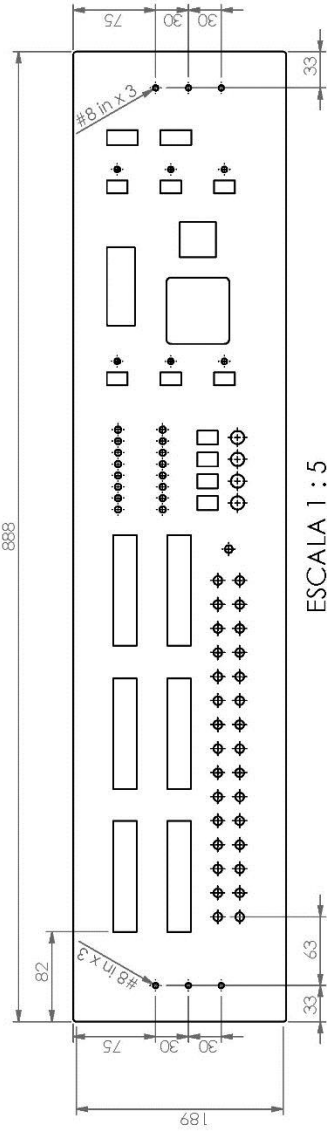
NOMBRE	FECHA	FECHA	TÍTULO:
DRUJ. Alberto Lozano	09/01/04		
VERIF. Ing. José García	09/01/04		
APROB. Ing. José García	09/01/04		
FABR. Alberto Lozano	09/01/04		
CAUD.			

Nº DE DIBUJO: **Ensamble Mesa 1** A4

ESCALA 1:10

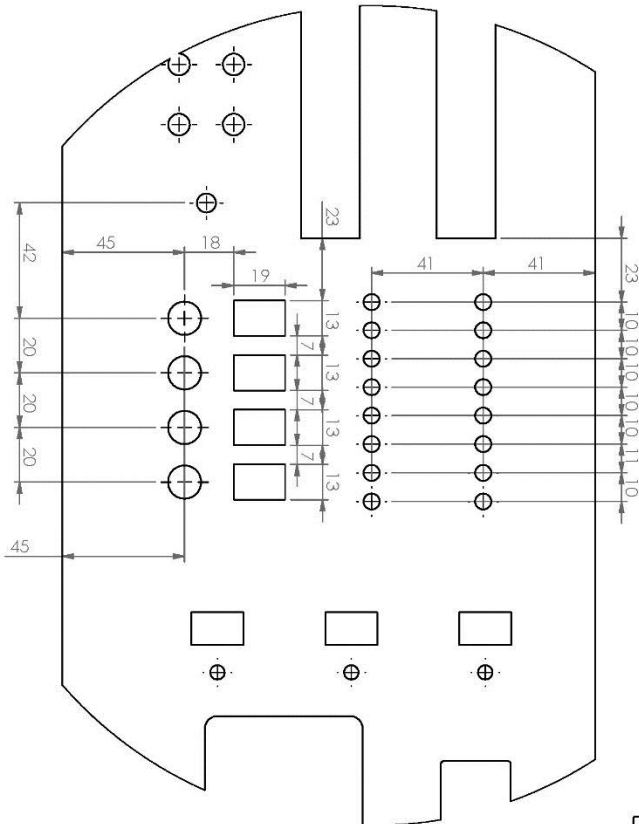
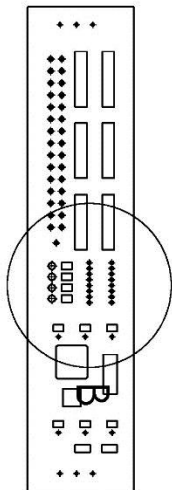
HOLAS DE 6

ANEXO B. PLANOS DE DETALLE DEL PANEL DEL BANCO DE PRUEBAS



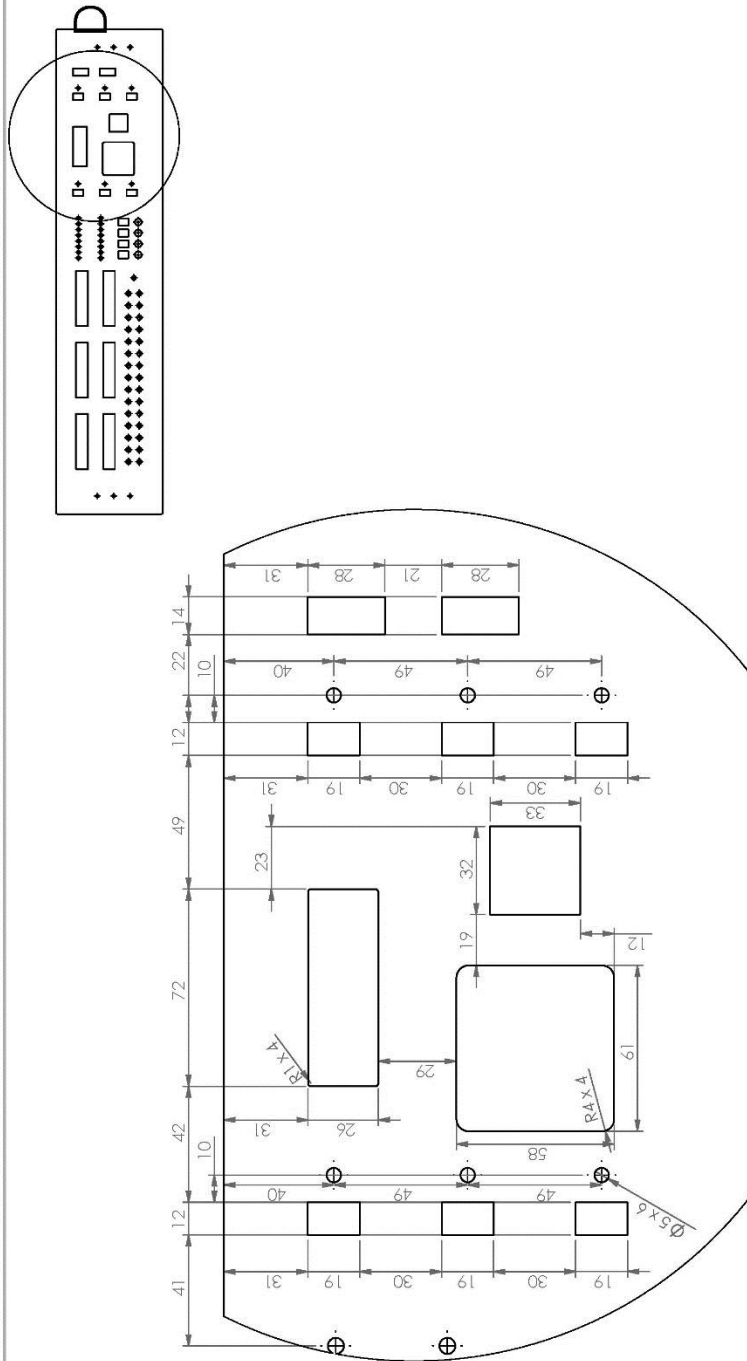
ESCALA 1 : 5

SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO:		REPARAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		R _a = 0.01							
DIBUJ.		NOMBRE		FECHA		TÍTULO:			
VERIF.		FIRMA		09/01/04		Panel - Frontal 1			
APROB.				09/01/04					
FABR.				09/01/04					
CALID.				09/01/04					
				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				Lámina de acrílico negro 3mm		panel			
				PESO:		ESCALA 1:10		HOJA 1 DE 14	



DETALLE B ESCALA 1 : 2

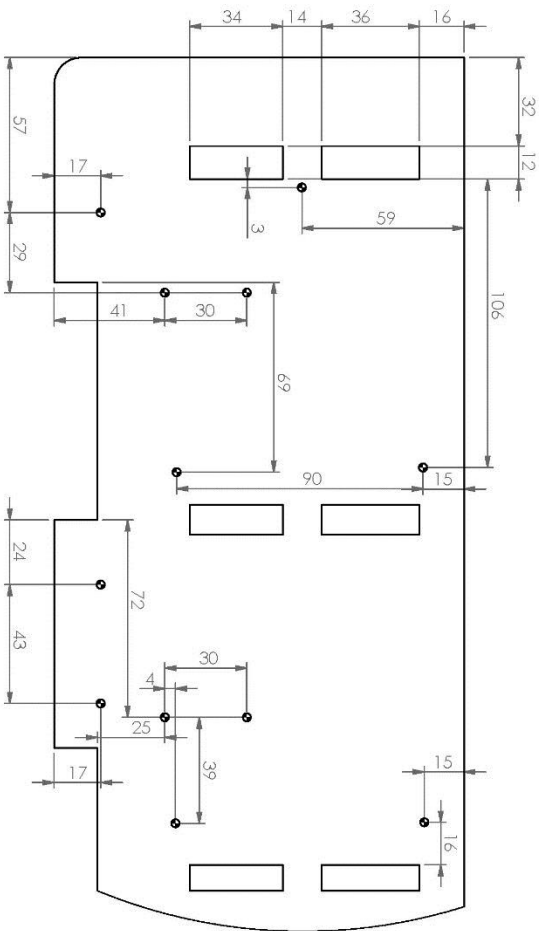
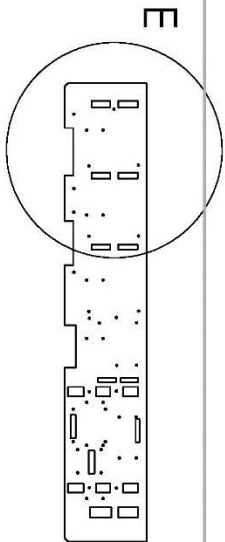
SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM			ACABADO:			REARREGLO Y ROMPER ARTISTAS VIVAS			NO CAMBIE LA ESCALA			REVISIÓN			
TOLERANCIAS:			Ra = 0,01												
LINEAL:															
ANGULAR:															
DIBU.	Alberto Loeblo	FECHA	09/01/04												
VERIF.	Ing. José García	FECHA	09/01/04												
APROB.	Ing. José García	FECHA	09/01/04												
FABR.	Alberto Loeblo	FECHA	09/01/04												
CAUD.															
									</						



DETAILED
ESCALA 1 : 2

SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM			ACABADO:		REPARAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			Ra = 0,01							
			NOMBRE		FECHA		TÍTULO:			
			DIBUJ.		09/01/04		Panel - frontal 4			
			VERIF.		09/01/04					
			APROB.		09/01/04					
			FABR.		09/01/04					
			MATERIAL:				N.º DE DIBUJO		A4	
			CALID.				Lámina de acrílico negra 3mm			
			PESO:				ESCALA:1:10		HOJA 4 DE 14	

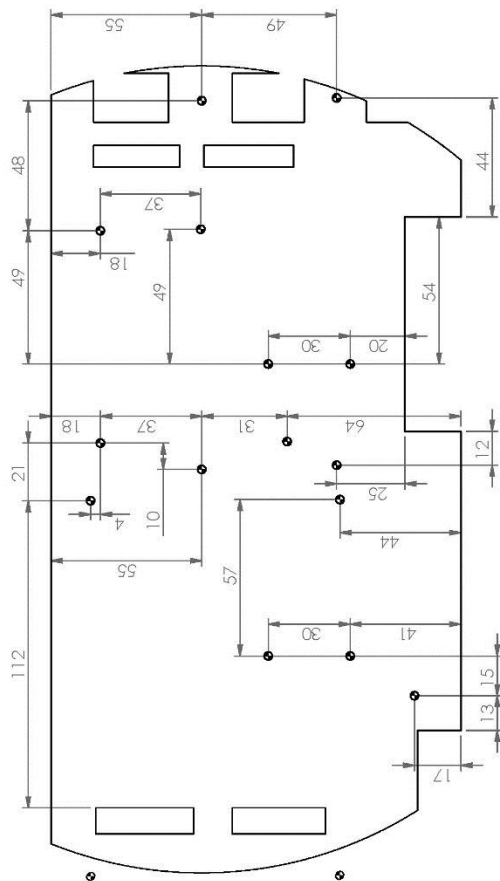
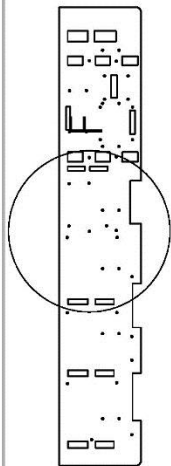
xviii



Todas las perforaciones
de 3mm

DETALLE E ESCALA 1 : 2

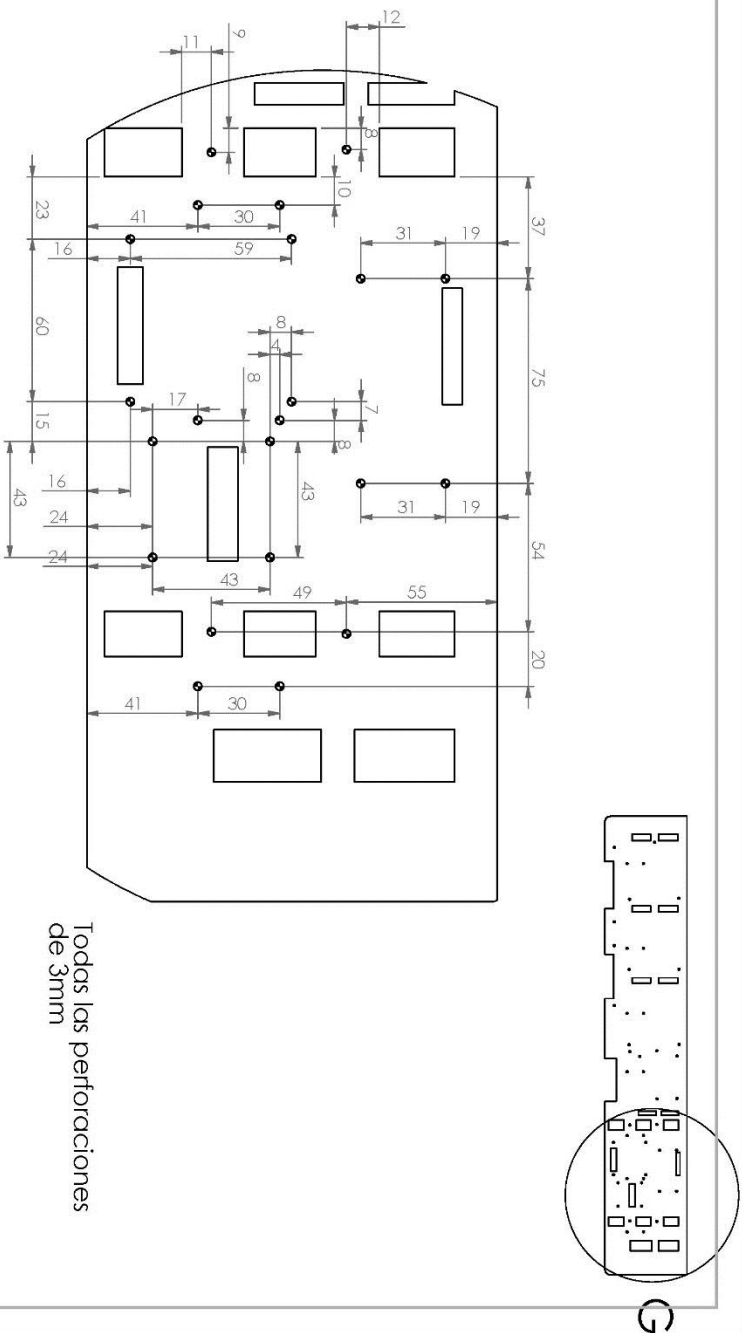
SINO SE INDICA LO CONTRARIO: ACABADO: ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO: Ra = 0.01		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISION	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TITULO:		Soporte electrónica 2	
DIBUJ.		Alberto Lozano		09/01/04					
VERIF.		Ing. José García		09/01/04					
APROB.		Ing. José García		09/01/04					
FABR.		Alberto Lozano		09/01/04					
CAUD.									
						MATERIAL:		Nº DE DIBUJO	
						Lámina acrílica		Ensamble Mesa 2	
						3mm		A4	
						PESO:		ESCALA:1:10	
								HOLLA 6 DE 14	



Todas las perforaciones
de 3mm

DETALLE F
ESCALA 1 : 2

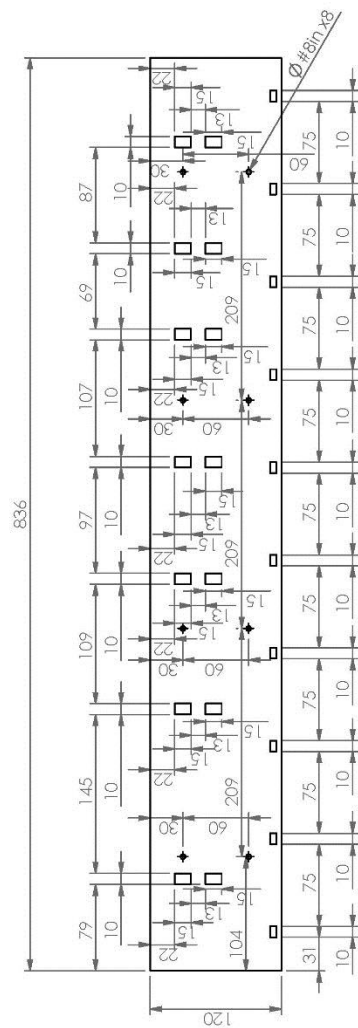
SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO: Ra =0,01		REPARAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		NOMBRE		FECHA		TÍTULO:		Soporte electrónica 3	
DIBUJ.	Alberto Loaiza	VERIF.	Ing. José García	APROB.	Ing. José García	N° DE DIBUJO		Panel	
FABR.	Alberto Loaiza	CAUD.		MATERIAL:		Lámina de acrílico 3mm		A4	
				PESO:		ESCALA 1:10		HOJA 7 DE 14	



Todas las perforaciones
de 3mm

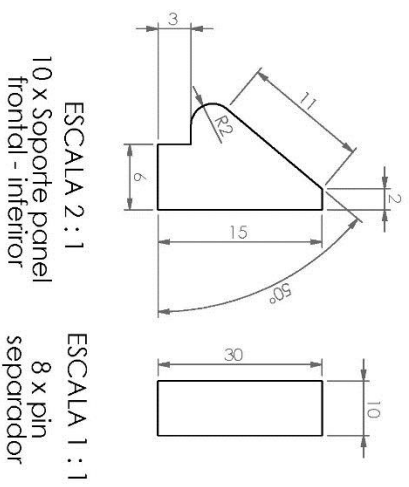
DETALLE G
ESCALA 1 : 2

SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM			ACABADO:			REBARBAS Y ROMPER ARISTAS VIVAS			NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
ACABADO SUPERFICIAL:			Ra = 0,01									
TOLERANCIAS:												
LINEAL:												
ANGULAR:												
DIBUJ.	NOMBRE	FECHA										
VERIF.	Alberto Loeblo	09/01/04										
APROB.	Ing. José García	09/01/04										
FABR.	Ing. José García	09/01/04										
CAUD.	Alberto Loeblo	09/01/04										



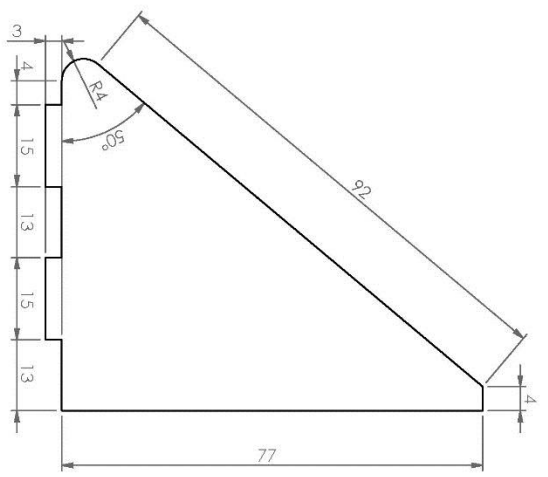
ESCALA 1 : 5

SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM						ACABADO:		$R_a = 0,01$		REPARAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIAR LA ESCALA		REVISIÓN	
								TÍTULO:							
								Base panel							
								MATERIAL:							
								Lámina de acrílico 3mm							
								Nº DE DIBUJO							
								Panel							
								A4							
								PESO:							
								ESCALA:1:10							
								HOJA 9 DE 14							

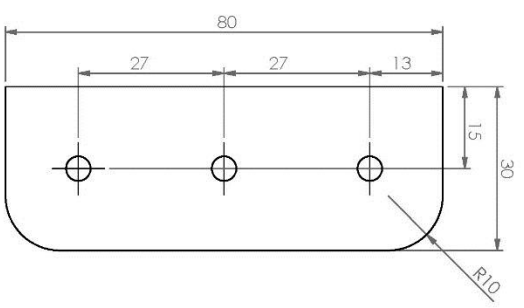


ESCALA 2 : 1
10 x Soporte panel frontal - inferior

ESCALA 1 : 1
8 x pin separador

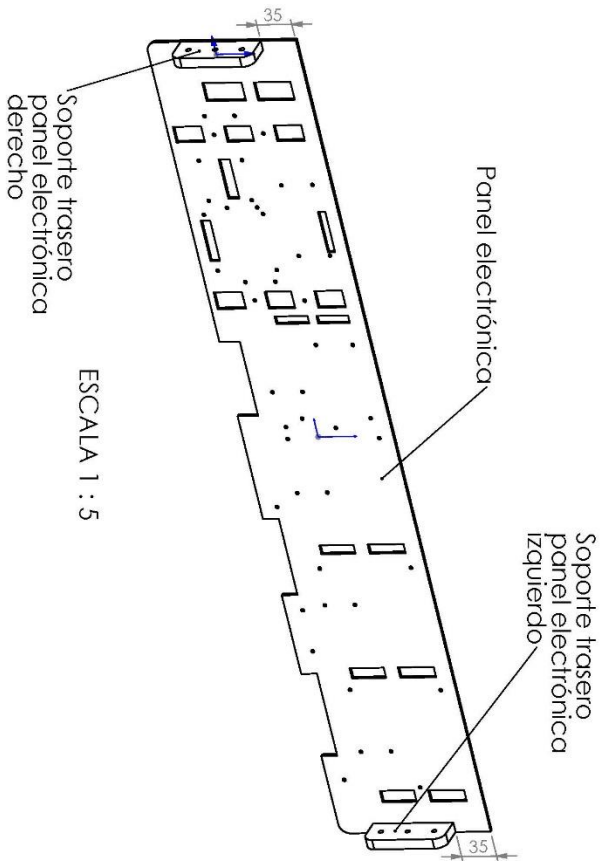


ESCALA 1 : 1
7 x Soporte trasero inferior panel electrónica

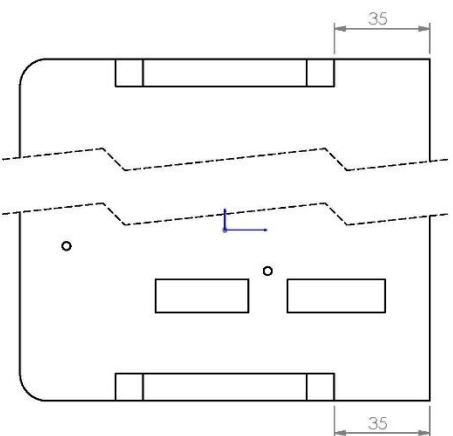


ESCALA 1 : 1
2 x Soporte trasero panel electrónica

SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:										ACABADOS:		REBARBAS Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISION	
										Ra = 0,01							
	NOMBRE		FIRMA		FECHA												
DIBUJ.	Alberto Lopez				09/01/04												
VERIF.	Ing. José García				09/01/04												
APROB.	Ing. José García				09/01/04												
FABR.	Alberto Lopez				09/01/04												
CALID.					MATERIAL:												
										Lamina de acrílico 10mm							
										PISCO:							
										ESCALA:1:10							
										Panel							
																A4	

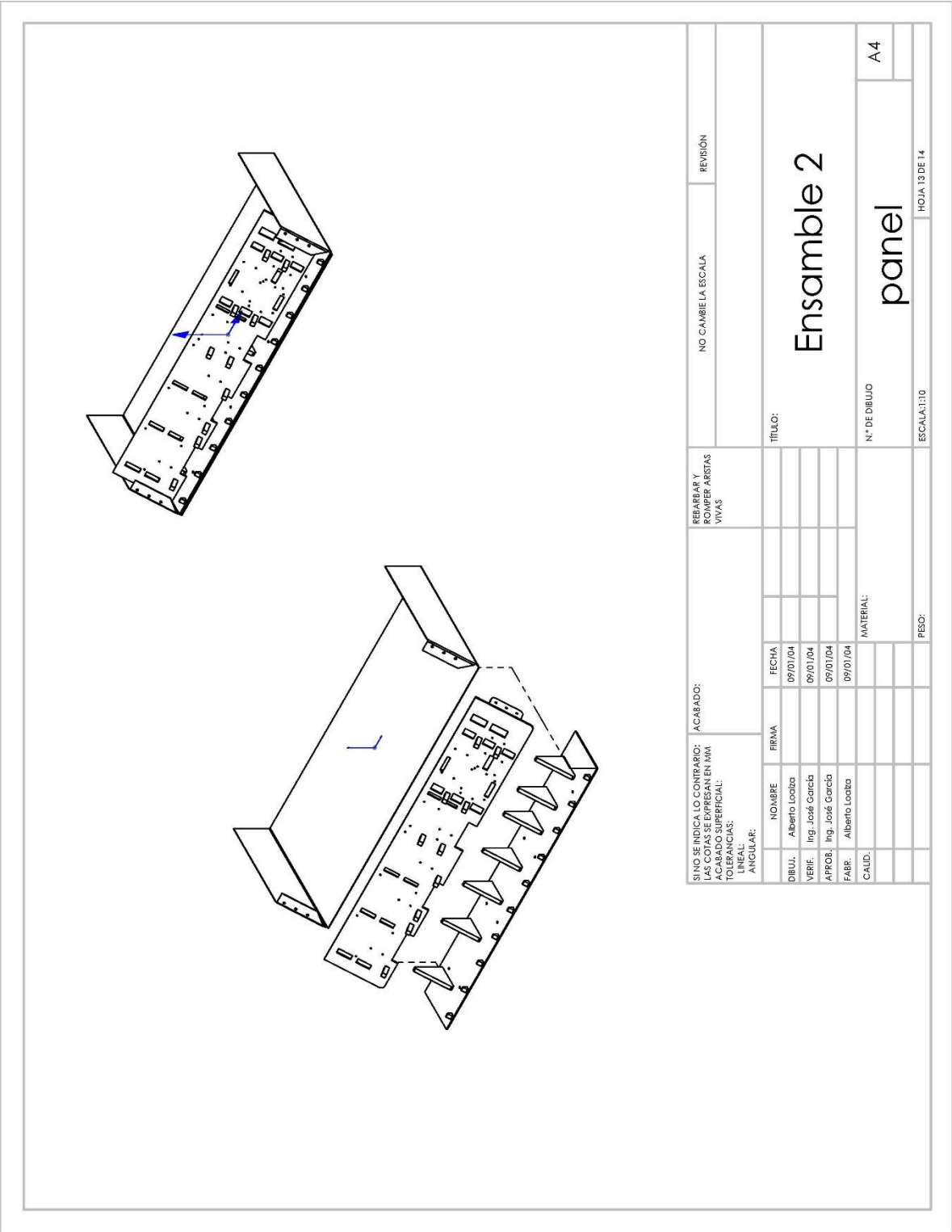


ESCALA 1 : 5

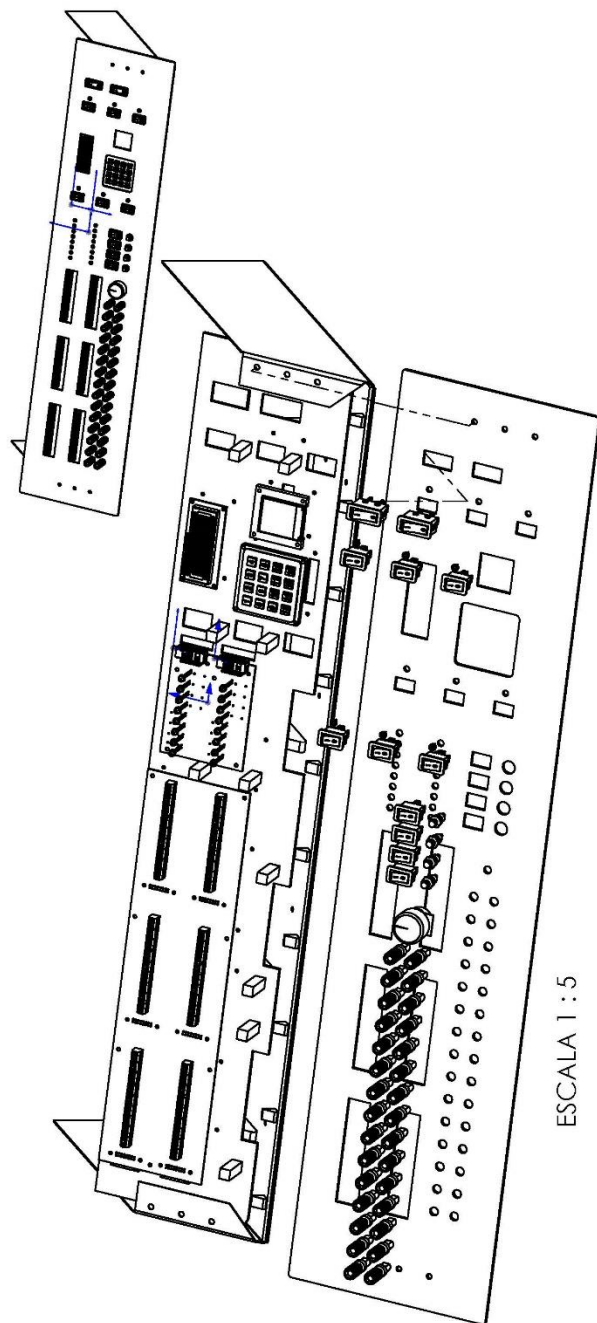


ESCALA 1 : 2

SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM				ACABADO:		REBARBAS Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
TOLERANCIAS:											
LINEAL:											
ANGULAR:											
DIBUJ.	Albano Lobo	FECHA	09/01/04								
VERIF.	Ing. José García	09/01/04									
APROB.	Ing. José García	09/01/04									
FABR.	Albano Lobo	09/01/04									
CAUD.											



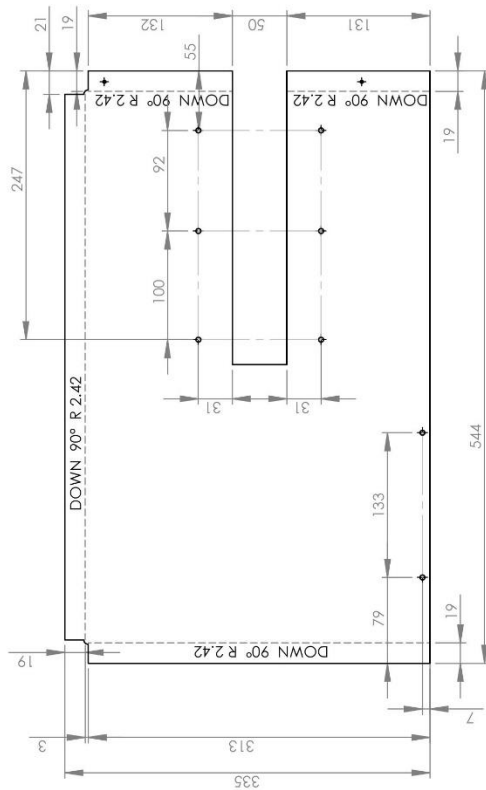
SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
TOLERANCIAS:		LINEAL:							
ANGULAR:									
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:			
VERIF.	Alberto Loaiza		09/01/04			Ensamble 2			
APROB.	Ing. José García		09/01/04						
FABR.	Ing. José García		09/01/04						
CAUD.	Alberto Loaiza		09/01/04						
		MATERIAL:				N.º DE DIBUJO		panel	
								A4	
				PESO:		ESCALA: 1:10		HOJA 13 DE 14	



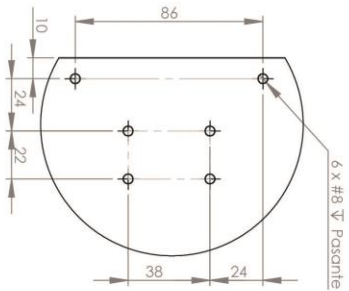
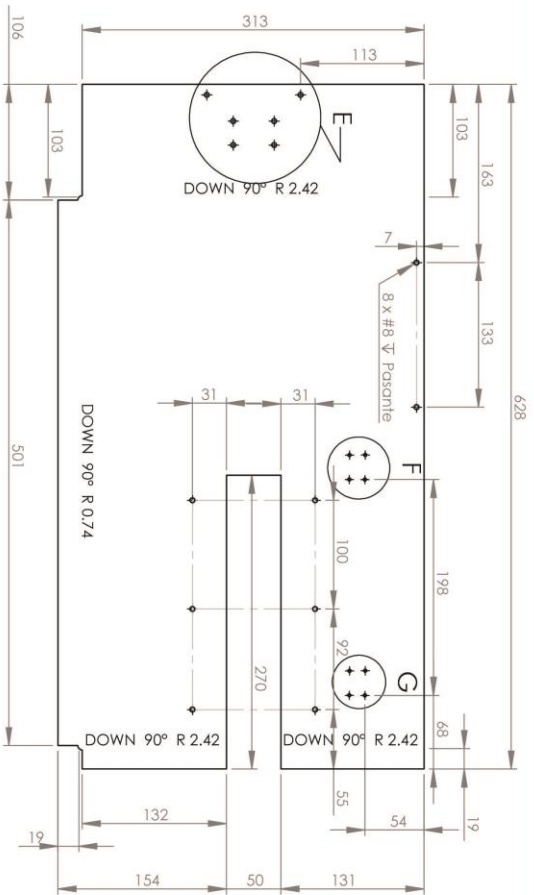
ESCALA 1 : 5

SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
TOLERANCIAS:				LINEAL:				
ANGULAR:				FECHA:				
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:			Ensamble 3	
VERIF.	Ing. José García		09/01/04					
APROB.	Ing. José García		09/01/04					
FABR.	Alberto Loaiza		09/01/04					
CALID.								
MATERIAL:				N.º DE DIBUJO			A4	
PESO:				ESCALA: 1:10				
HOJA 14 DE 14								

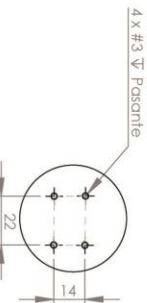
ANEXO C. PLANOS DE DETALLE HORNO AUTOMÁTICO



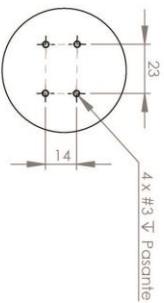
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO: Pintura al horno roja		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIA LA ESCALA		REVISIÓN	
TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:									
		NOMBRE		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.		Alberto Loazza		09/01/04		Chasis lateral izquierdo			
VERIF.		Ing. José García		09/01/04					
APROB.		Ing. José García		09/01/04					
FABR.		Alberto Loazza		09/01/04					
CALID.									
		MATERIAL:		Lámina de acero calibre 18		N° DE DIBUJO		A4	
		PESO:				ESCALA: 1:5		HOJA 2 DE 9	



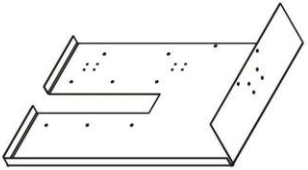
DETAIL E
SCALE 2 : 5



DETAIL G
SCALE 2 : 5

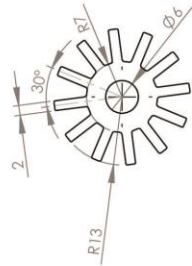


DETAIL F
SCALE 2 : 5

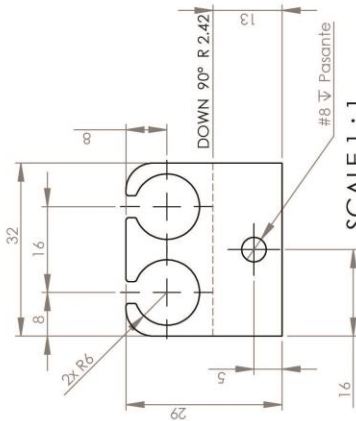


SCALE 1 : 10

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM.		ACABADO:		REBARBAS Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
ACABADO SUPERFICIAL:		Pintura al horno roja							
TOLERANCIAS:									
LINEAL:									
ANGULAR:									
NOMBRE:		FECHA:				TÍTULO:			
DIBUJ.:		Firma							
VERE.:		Ing. José García		09/01/04					
APROB.:		Ing. José García		09/01/04					
FABR.:		Alberto Lozano		09/01/04					
CALD.:									



SCALE 1 : 2

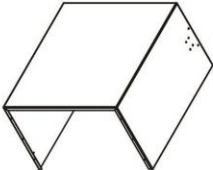
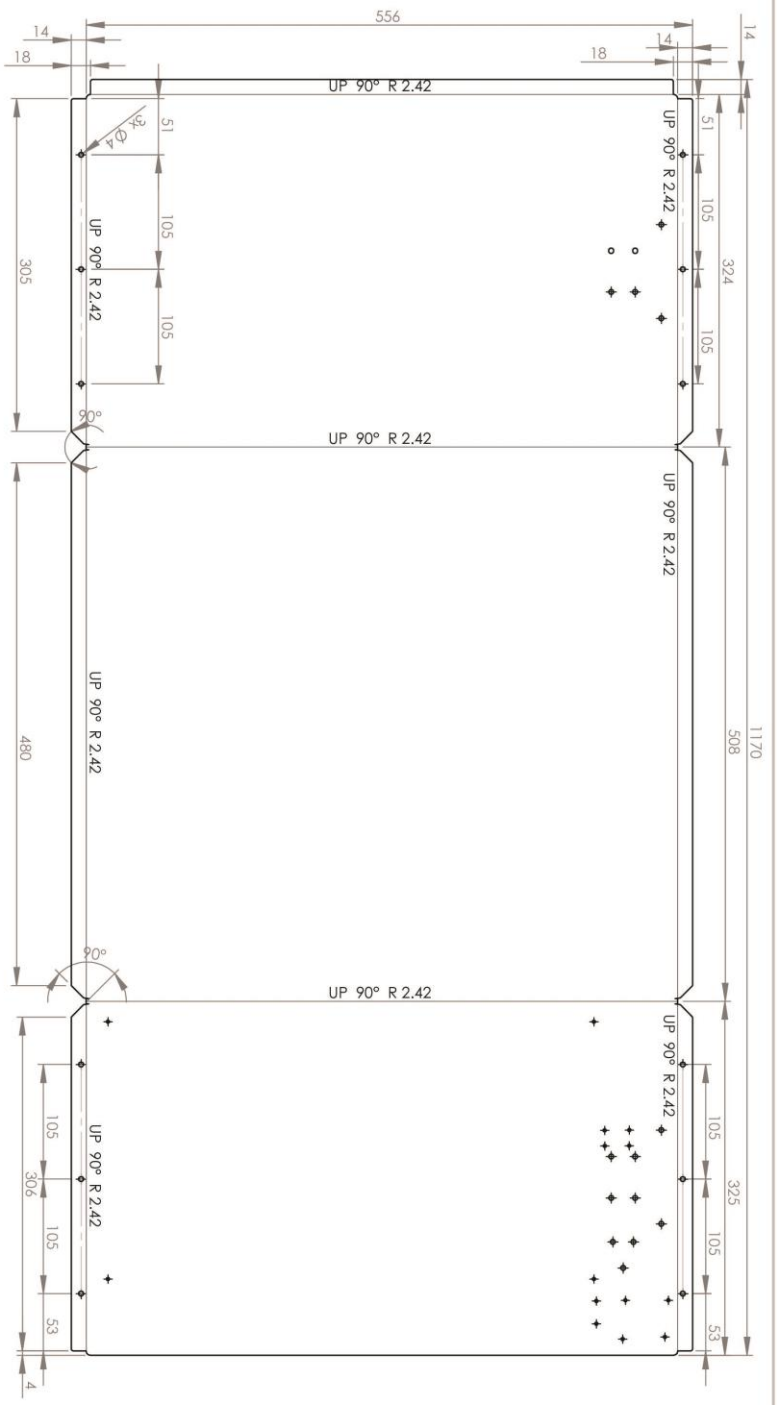


SCALE 1 : 10



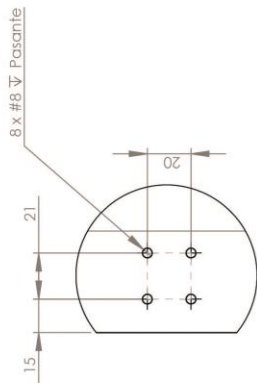
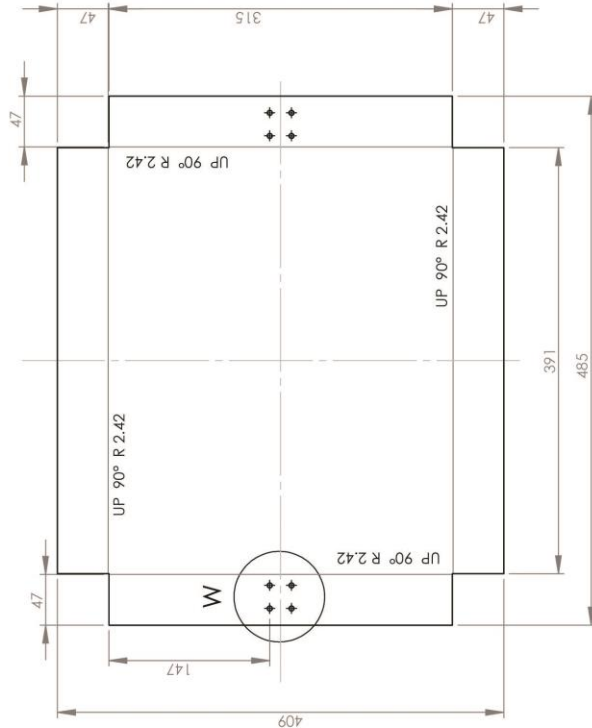
SCALE 1:1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO: Pintura al horno roja		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
				TÍTULO: Partes		
				N.º DE DIBUJO Horno automático		
				A4		
				ESCALA: 1:5 HOJA 4 DE 9		

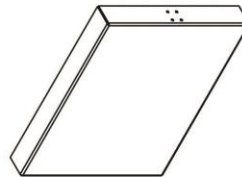


SCALE 1 : 20

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM.				ACABADO:		REBARBAS Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				Pintura al horno roja							
NOMBRE		FIRMA		FECHA				TÍTULO:			
DIBUJ.		Alberto Lozano		09/01/04				chasis principal			
VERIF.		Ing. José García		09/01/04							
APROB.		Ing. José García		09/01/04							
FABR.		Alberto Lozano		09/01/04							
CALD.						MATERIAL:		N.º DE DIBUJO			
						Lámina de acero calibre 18		Horno automático			
								A4			
						PESO:		ESCALA: 1:5			
								HOJA 5 DE 9			

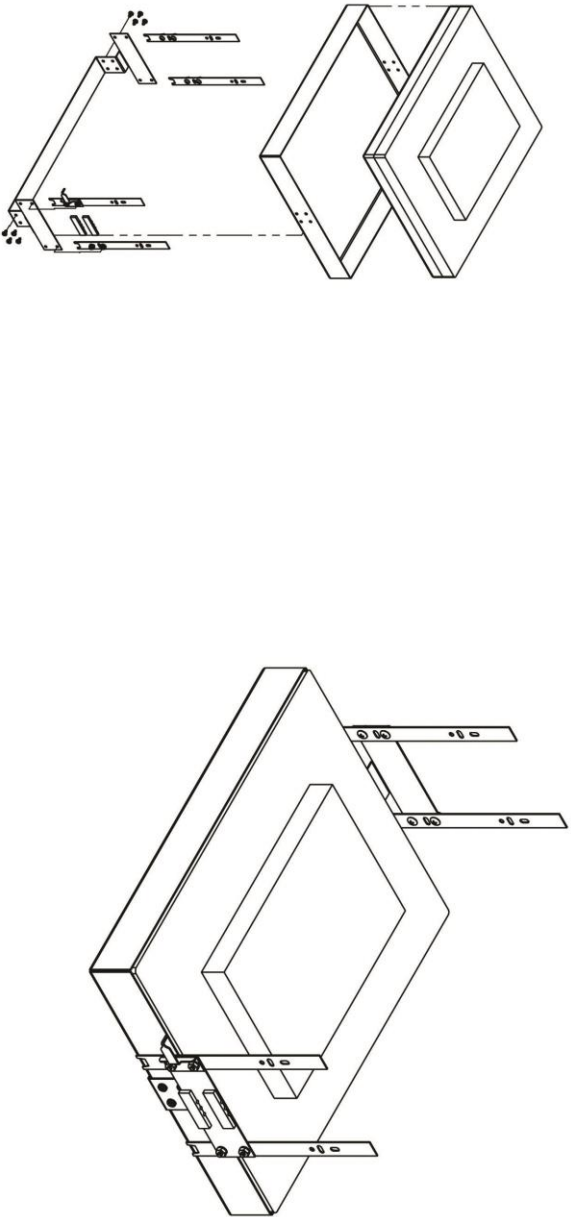


DETAIL W
SCALE 2 : 5



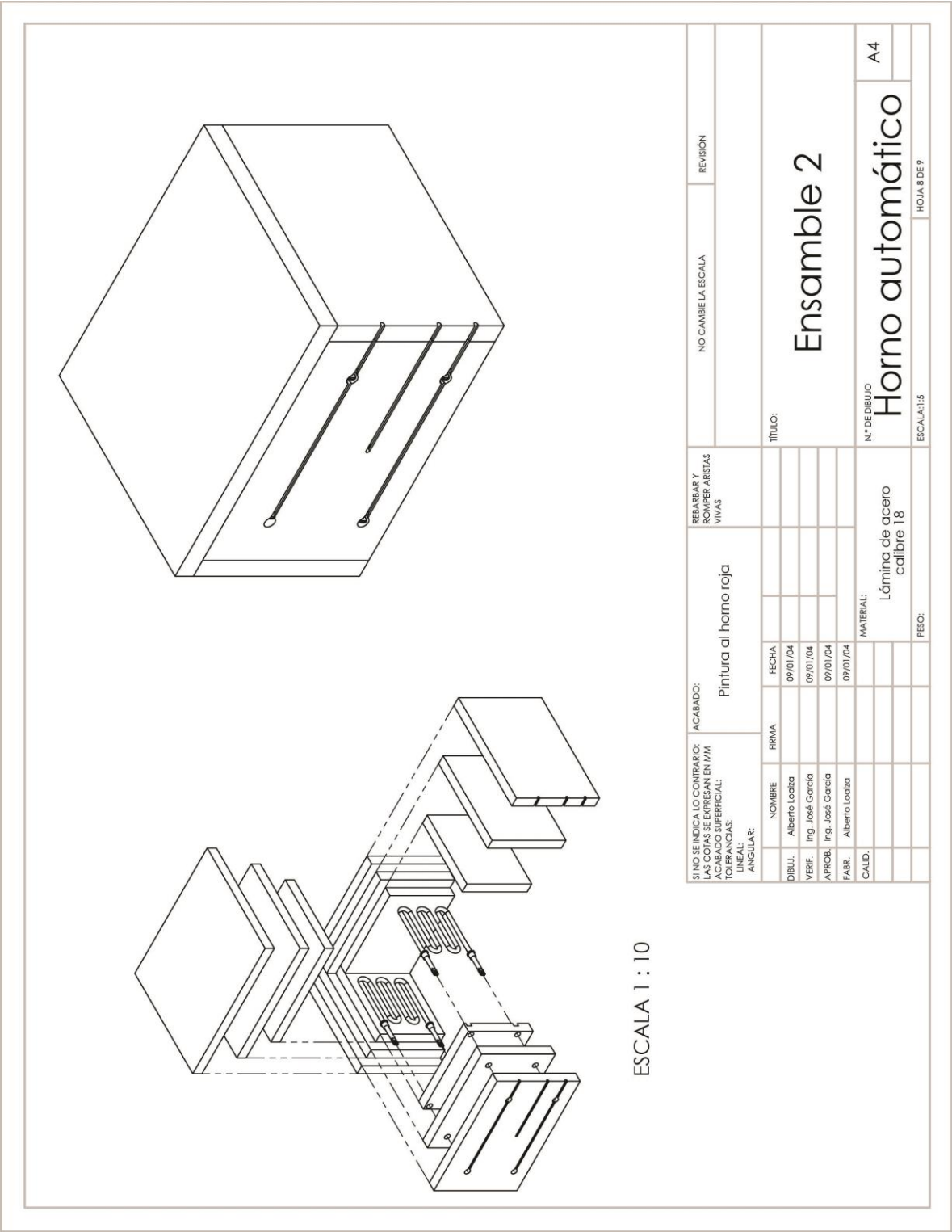
SCALE 1 : 10

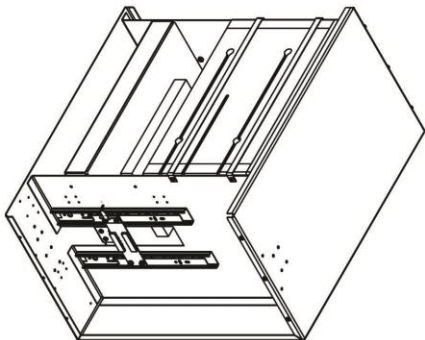
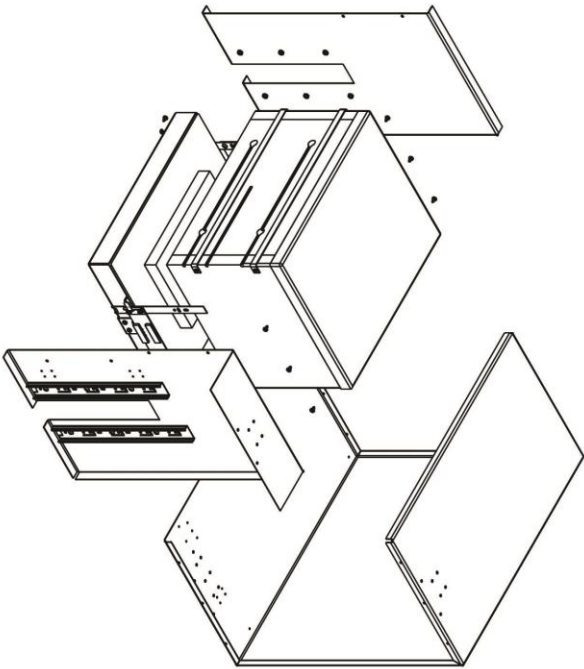
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM				ACABADO: Pintura al horno roja		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:											
DIBUJ.		NOMBRE		FECHA				TÍTULO:		Chasis inferior móvil	
		Alberto Loiza		09/01/04							
VERIF.		Ing. José García		09/01/04							
AFROB.		Ing. José García		09/01/04							
FABR.		Alberto Loiza		09/01/04							
CAUD.						MATERIAL:				N° DE DIBUJO	
						Lámina de acero calibre 18				Horno automático	
										A4	
						PESO:		ESCALA:1:5		HOJA:6 DE 9	



ESCALA 1 : 10

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM				ACABADO:		REBARBAS Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISION	
ACABADO SUPERFICIAL:				Pintura al horno roja							
TOLERANCIAS:											
LINEAL:											
ANGULAR:											
NOMBRE		FIRMA		FECHA				TÍTULO:			
DIBUJ.		Alberto Lozano		09/01/04							
VERIF.		Ing. José García		09/01/04							
APROB.		Ing. José García		09/01/04							
FABR.		Alberto Lozano		09/01/04							
CALD.											
				MATERIAL:							
				Lámina de acero							
				calibre 18							
				PEO:							
				ESCALA: 1:5							
				HOJA 7 DE 9							
N° DE DIBUJO								A4			
Horno automático											





ESCALA 1 : 10

ESCALA 1 : 10

SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM. ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO: Pintura al horno roja	REBARBAS Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISION
NOMBRE				FECHA	TITULO:		
DIBUJ.	Alberto Loza	FECHA	09/01/04	Nº DE DIBUJO			
VERIF.	Ing. José García	FECHA	09/01/04	Horno automático			
APROB.	Ing. José García	FECHA	09/01/04	A4			
FABR.	Alberto Loza	MATERIAL:		Lámina de acero			
CAUD.		PESO:		calibre 18			
ESCALA 1:5				HOJA 9 DE 9			