

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE CURADO PARA SERIGRAFÍA
TEXTIL CON CONTROL DE TEMPERATURA Y ETAPA DE TRANSPORTE
PARA CONFECCIONES PEAJE ITALY**

MARCO ANTONIO MANOSALVA COLLANTE

OSCAR GIOVANNY SERRANO SAAVEDRA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2015

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE CURADO PARA SERIGRAFÍA
TEXTIL CON CONTROL DE TEMPERATURA Y ETAPA DE TRANSPORTE
PARA CONFECCIONES PEAJE ITALY**

**MARCO ANTONIO MANOSALVA COLLANTE
OSCAR GIOVANNY SERRANO SAAVEDRA**

**Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Mecánico**

Director

OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2015

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirnos culminar con nuestro proceso de formación profesional superando todas las adversidades que se han presentado a lo largo del mismo.

A la empresa CONFECIONES PEAJE ITALY por brindarnos la oportunidad y la confianza necesaria para desarrollar el trabajo de grado.

Al Ingeniero Omar Gelvez por asumir la dirección del proyecto y compartir su conocimiento en el transcurso del mismo.

Al compañero y joven emprendedor José Samacá por sus asesorías en el tema de estampación textil y su constante apoyo en todo el proceso.

A la empresa Industrias Nardini por prestar sus servicios y consejos prácticos durante la etapa de construcción del horno de curado.

A todos, muchas gracias.

Marco Antonio Manosalva Collante
Oscar Giovanni Serrano Saavedra

DEDICATORIA

*A Dios, por llenarme de bendiciones y por enseñarme a valorar los
pequeños detalles de la vida.*

*A mis padres Cesar y Teresa, por su amor incondicional y creer en mi
sin lugar a dudas.*

*A mis hermanos Vannesa y Cesar, por su apoyo y su compañía a través
de los años.*

*A mi novia María Fernanda, por todo el cariño y el amor que me ha
brindado, y por enseñarme cada día a ser una mejor persona.*

*A todos mis amigos y compañeros, por haber estado presentes en mi
formación dándome fuerzas para salir adelante llenando de alegría
cada momento.*

MARCO

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía espiritual en todo momento al darme claridad y valentía en las situaciones difíciles de mi vida.

A mi madre Adelfa, por su cariño, confianza y apoyo incondicional.

A mi abuela Ana, por su compañía, cuidado, comprensión y su fe en mí.

A mi novia Caterine, por su amor, compromiso y colaboración en el transcurso de mi carrera.

A mis amigos y compañeros de Ingeniería mecánica por su atención, lealtad y amistad que fue reflejada en mi desarrollo académico.

OSCAR

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	23
1. METODOLOGÍA	24
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	24
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA	26
1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	28
1.3.1 Objetivo General	28
1.3.2 Objetivos Específicos	28
2. ESTAMPACIÓN TEXTIL	30
2.1 HISTORIA	30
2.2 APLICACIONES	31
2.3 TECNICAS DE ESTAMPACIÓN TEXTIL	32
2.3.1 Estampados directos	33
2.3.1.1 Estampado con bloques de madera	33
2.3.1.2 Estampadoras industriales con rodillos	34
2.3.1.3 Serigrafía Textil	36
2.3.1.4 Policromía (CMYK)	37
2.3.2 Estampados por corrosión	38
2.3.2.1 Descarga	38
2.3.3 Estampados por reserva	39
2.3.3.1 Batik	40
2.3.3.2 Teñido atado (Tie and dye)	40
2.3.4 Estampados especiales	42
2.3.4.1 Flock	42
2.3.4.2 Estampado por termotransferencia	43
2.3.4.3 Impresión digital textil	44

2.3.4.4	Vinilo textil	45
3.	SERIGRAFÍA	46
3.1	INTRODUCCIÓN	46
3.1.1	Historia	46
3.1.2	Aplicaciones	48
3.2	PROCESO DE ESTAMPACIÓN TEXTIL POR SERIGRAFÍA	49
3.2.1	Diseño gráfico	50
3.2.1.1	Elaboración virtual de la imagen	50
3.2.1.2	Impresión	54
3.2.2	Creación de la pantalla	55
3.2.2.1	Selección de malla	56
3.2.2.2	Tensado	63
3.2.2.3	Fotograbado	68
3.2.3	Estampación	71
3.2.3.1	Tintas textiles	71
3.2.3.2	Selección de racleta	73
3.2.3.3	Equipo de soporte	76
3.2.3.4	Aplicación de tinta	79
3.2.4	Secado	81
3.2.4.1	Secado de tintas serigráficas	81
3.2.4.2	Equipo de secado	84
3.2.4.3	Especificaciones de secado	89
4.	PROCESO DE DISEÑO	90
4.1	ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	90
4.2	DESARROLLO CONCEPTUAL	91
4.2.1	Evaluación de alternativas	91
4.2.2	Descripción de la solución	92
4.2.2.1	Control de temperatura	93
4.2.2.2	Material de la banda transportadora	93

4.2.2.3	Elementos de calefacción	93
4.2.2.4	Control de velocidad	94
4.2.3	Modelado virtual	95
4.3	DISEÑO DETALLADO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES	100
4.3.1	Diseño térmico	100
4.3.1.1	Especificaciones térmicas	101
4.3.1.2	Modelado del sistema térmico	102
4.3.1.3	Análisis térmico	117
4.3.2	Diseño mecánico	152
4.3.2.1	Especificaciones mecánicas	152
4.3.2.2	Modelado mecánico	153
4.3.2.3	Análisis mecánico	163
4.3.3	Diseño eléctrico	186
4.3.3.1	Especificaciones eléctricas	186
4.3.3.2	Análisis eléctrico	187
4.3.4	Diseño lógico	208
4.3.4.1	Especificaciones lógicas	208
4.3.4.2	Modelo lógico	209
4.3.4.3	Análisis lógico	219
5.	PRUEBAS OPERATIVAS Y ANALISIS DE RESULTADOS	225
5.1	FUNCIONAMIENTO	225
5.2	PRUEBAS FUNCIONALES	228
5.2.1	Pruebas térmicas	228
5.2.1.1	Distribución de temperaturas en el recinto del horno	228
5.2.2	Pruebas mecánicas	233
5.2.2.1	Torque motriz	234
5.2.3	Pruebas lógicas	241
5.2.3.1	Calibración del control de velocidad	241
5.2.3.2	Sintonización del control de temperatura	245
5.3	PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD DE LOS ESTAMPADOS	252

5.3.1	Tintas acrílicas	252
5.3.1.1	Tinta base agua con aditivo catalizador	253
5.3.2	Tintas plastisol	259
5.3.2.1	Tinta plastisol estándar	259
5.3.2.2	Tinta plastisol con aditivo puff	264
5.4	ANALISIS DE RESULTADOS	268
5.4.1	Análisis funcional	269
5.4.2	Análisis de calidad de los estampados	270
6.	ANALISIS ECONOMICO	272
6.1	COSTOS DE PRODUCCION	272
6.2	RENTABILIDAD	276
6.2.1	Producción actual	276
6.2.1.1	Producción mensual actual	277
6.2.2	Producción proyectada a futuro	278
6.2.2.1	Producción mensual futura	279
6.2.3	Balance económico mensual	280
6.2.3.1	Aumento productivo	280
6.2.3.2	Costos operativos	282
6.2.3.3	Costos de mantenimiento	283
6.2.3.4	Ganancias mensuales	284
6.2.4	Recuperación de la inversión	285
7.	CONCLUSIONES	287
8.	RECOMENDACIONES	289
	BIBLIOGRAFIA	290
	ANEXOS	291

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Herramienta rudimentaria utilizada para el secado	25
Figura 2.	Esquema representativo del horno de curado	26
Figura 3.	Estampados en diferentes prendas de vestir	31
Figura 4.	Clasificación de las técnicas de estampación textil	32
Figura 5.	Bloques de madera con diferentes diseños	33
Figura 6.	Proceso de estampación utilizando bloques de madera	34
Figura 7.	Máquina estampadora con rodillos	35
Figura 8.	Estampación por serigrafía	36
Figura 9.	Colores, imagen y vista en detalle de una policromía	37
Figura 10.	Alta definición en un estampado realizado por descarga	39
Figura 11.	Aplicación de cera con el método Batik	40
Figura 12.	Tintura mediante el proceso de teñido atado	41
Figura 13.	Camiseta estampada por el método teñido atado	41
Figura 14.	Flocado en tela	42
Figura 15.	Transferencia del diseño impreso a la prenda	43
Figura 16.	Impresión Digital textil	44
Figura 17.	Vinilo Textil en camiseta	45
Figura 18.	Pasos del proceso de estarcido	47
Figura 19.	Etapas del proceso de estampación por serigrafía	49
Figura 20.	Ejemplo de diseño de estampación	51
Figura 21.	Positivos para cada color del diseño de estampación	51
Figura 22.	Comparación del fotolito, la pantalla y el estampado	55
Figura 23.	Comparación entre mallas de baja y alta numeración	57
Figura 24.	Lupa cuenta hilos con dos escalas e iluminación LED	58

Figura 25.	Hilos monofilamento y multifilamento	59
Figura 26.	Tipos de malla serigráfica según el grosor de sus hilos	59
Figura 27.	Comparación entre el tejido plano y tejido sarga	60
Figura 28.	Mallas serigráficas teñidas en diferentes colores	61
Figura 29.	Pantalla serigráfica con marco estático	65
Figura 30.	Pantalla serigráfica con marco retensable	65
Figura 31.	Tensado mecánico de la pantalla con torniquete	67
Figura 32.	Tensado neumático para pantallas serigráficas	67
Figura 33.	Componentes de una pantalla serigráfica	69
Figura 34.	Racletas de mangos de aluminio y de madera	74
Figura 35.	Algunos perfiles de las gomas de poliuretano	75
Figura 36.	Mesa de estampado para serigrafía	77
Figura 37.	Mesones de estampación textil por serigrafía	77
Figura 38.	Pulpo de estampación	78
Figura 39.	Entintado e impresión empleando una racleta	80
Figura 40.	Unidad de presecado flash	85
Figura 41.	Plancha térmica manual para termofijado	87
Figura 42.	Horno de curado para estampación textil	88
Figura 43.	Diseño conceptual del horno en vista isométrica.	95
Figura 44.	Vista isométrica en corte de la cámara del horno	96
Figura 45.	Vista lateral en corte de la cámara del horno de curado	97
Figura 46.	Numeración de las superficies del reflector de calor	97
Figura 47.	Elemento de apoyo del tambor motriz	98
Figura 48.	Montaje del elemento de apoyo del rodillo tensor	99
Figura 49.	Diagrama del proceso de diseño térmico	101
Figura 50.	Red de intercambio de radiación en un recinto cerrado	107
Figura 51.	Análisis vectorial entre superficies en el espacio	108
Figura 52.	Acotación de las superficies del reflector de calor	122
Figura 53.	Vista isométrica de la cubierta de ventilación	123
Figura 54.	Acotación de la vista frontal de la cubierta de ventilación	123

Figura 55.	Acotación de la vista lateral de la cubierta de ventilación	124
Figura 56.	Diferenciales de área para las superficies 1 y 2	128
Figura 57.	Análisis trigonométrico entre las superficies 1 y 2	129
Figura 58.	Área transversal entre la superficie 3a y la cubierta	145
Figura 59.	Esquema básico de la banda transportadora	154
Figura 60.	Diagrama de cuerpo libre de la carga	154
Figura 61.	Diagrama de cuerpo libre de la banda transportadora	156
Figura 62.	Diagrama de cuerpo libre del tambor motriz	160
Figura 63.	Construcción del tambor de la banda transportadora	167
Figura 64.	Diagrama de fuerza cortante sobre el eje del tambor	180
Figura 65.	Diagrama de momento flector sobre el eje del tambor	180
Figura 66.	Diagrama de torque sobre el eje del tambor	181
Figura 67.	Motor paso a paso unipolar 57BYGH420	184
Figura 68.	Relé de estado sólido ZG3NC-240B	189
Figura 69.	Termocupla tipo J 56100	190
Figura 70.	Controlador de temperatura HANYOUNG NUX AX7-1A	191
Figura 71.	Driver de motores de pasos BL-TB6560-V2	192
Figura 72.	Tarjeta controladora ARDUINO UNO R3	193
Figura 73.	Fuente de 24 VDC Meanwell S-150-24	194
Figura 74.	Adaptador de 9 VDC Techman AD-912	195
Figura 75.	Diagrama eléctrico del sistema térmico	197
Figura 76.	Conexiones del driver BL-TB6560-V2	199
Figura 77.	Diagrama eléctrico del sistema mecánico	200
Figura 78.	Acometida eléctrica monofásica residencial	202
Figura 79.	Interruptor termo-magnético de 25 amperios	202
Figura 80.	Diagrama general de conexiones eléctricas	204
Figura 81.	Diagrama del circuito de control a 9 VDC	205
Figura 82.	Diagrama del circuito de control a 12 VDC	205
Figura 83.	Diagrama del circuito de control a 24 VDC	206
Figura 84.	Diagrama del circuito de potencia a 120 VAC	207

Figura 86.	Diagrama general de control en lazo cerrado	210
Figura 87.	Diagrama de lazo cerrado del control de temperatura	210
Figura 88.	Método de la curva de respuesta al escalón	212
Figura 89.	Diagrama general de control en lazo abierto	214
Figura 90.	Diagrama de control para la banda transportadora	215
Figura 91.	Estructura general de una señal PWM	217
Figura 92.	Diferentes ciclos de trabajo con la misma frecuencia	219
Figura 93.	Túnel de secado para estampación textil	226
Figura 94.	Túnel de secado textil en vista lateral	227
Figura 95.	Tablero de control.	227
Figura 96.	Diagrama en LabVIEW para medición de temperatura	229
Figura 97.	Medición de temperaturas superficiales dentro del horno	231
Figura 98.	Medición de temperatura sobre el reflector de calor	233
Figura 99.	Montaje mecánico para las pruebas de torque	235
Figura 100.	Curva de torque del motor de pasos 57BYGH420	237
Figura 101.	Acople del motor de pasos y el reductor de velocidad	238
Figura 102.	Controles de velocidad en del tablero del equipo	244
Figura 103.	Set Point vs velocidad de la banda transportadora	245
Figura 104.	Temperatura del horno para diferentes velocidades	246
Figura 105.	Curva para la sintonización del control PID	247
Figura 106.	Curvas según las constantes de control PID	251
Figura 107.	Tiras de registro irreversible de temperatura	254
Figura 108.	Tiras de registro en un estampado con tinta base agua	255
Figura 109.	Inspección visual de un estampado con tinta base agua	256
Figura 110.	Vista ampliada de un estampado con tinta base agua	257
Figura 111.	Resultado de lavado industrial para la tinta base agua	258
Figura 112.	Tiras de registro en un estampado con tinta plastisol	260
Figura 113.	Inspección visual de un estampado con tinta plastisol	261
Figura 114.	Vista ampliada de un estampado con tinta plastisol	262
Figura 115.	Resultado de lavado industrial para la tinta plastisol	263

Figura 116.	Tiras de registro en un estampado con tinta plasti-puff	265
Figura 117.	Inspección visual de un estampado con tinta plasti-puff	266
Figura 118.	Vista ampliada de un estampado con tinta plasti-puff	267
Figura 119.	Resultado de lavado industrial para la tinta plasti-puff	268

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Programas utilizados para el diseño gráfico	54
Tabla 2. Resumen de mallas más usadas en serigrafía	62
Tabla 3. Criterios de selección de las tintas textiles	72
Tabla 4. Aplicaciones de las gomas de poliuretano	75
Tabla 5. Propiedades generales para el secado de tintas textiles	89
Tabla 6. Opciones de selección de componentes del equipo	92
Tabla 7. Factores de forma de las superficies internas del horno	136
Tabla 8. Propiedades térmicas de las superficies del reflector	138
Tabla 9. Resultados del calor requerido por cada superficie	143
Tabla 10. Propiedades del aire a 71° C	147
Tabla 11. Variables físicas para el inicio del análisis dinámico	170
Tabla 12. Constantes del PID según el método Ziegler–Nichols	213
Tabla 13. Medición de temperaturas superficiales dentro del horno	230
Tabla 14. Comparación temperaturas internas del horno de curado.	232
Tabla 15. Cuadro comparativo para el torque requerido por el tambor	240
Tabla 16. Resultados de velocidad de la banda transportadora	243
Tabla 17. Parámetros de operación para diferentes tintas textiles	271
Tabla 18. Tabla de costos de componentes mecánicos	273
Tabla 19. Tabla de costos de componentes eléctricos	274
Tabla 20. Tabla de costos de mano de obra	274
Tabla 21. Tabla de costos de materiales para pruebas de estampación	275
Tabla 22. Tabla de costos de construcción	275
Tabla 23. Tiempos de producción actuales para un estampado textil	276
Tabla 24. Tiempos de producción futuros para un estampado textil	279
Tabla 25. Costos de productos empleados en el mantenimiento	283

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A Manual de operación y mantenimiento	291
Anexo B Planos del horno de curado	303
Anexo C Fichas técnicas de los componentes principales	339
Anexo D Carta de certificación	351

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE CURADO PARA SERIGRAFÍA TEXTIL CON CONTROL DE TEMPERATURA Y ETAPA DE TRANSPORTE PARA CONFECCIONES PEAJE ITALY*

AUTORES: Marco Antonio Manosalva Collante,
Oscar Giovanni Serrano Saavedra**

PALABRAS CLAVE: Estampación textil, serigrafía, túnel de secado, horno de curado, calentamiento infrarrojo.

CONTENIDO:

La industria textil presenta gran competencia debido a la comercialización de productos locales, nacionales e importados. Por esta razón las fábricas de ropa buscan obtener la mayor eficiencia posible en sus procesos de manufactura. Esto tiene como objetivo ahorrar lo que más se pueda en la producción, ampliando el rango de ganancia conservando un precio de venta competitivo en el mercado que sea accesible para el consumidor.

La empresa mayorista CONFECCIONES PEAJE ITALY está enfocada en el mercado de prendas de vestir a nivel nacional. Ésta emplea diferentes métodos para la elaboración de sus productos, como son la costura, el bordado y el estampado. La compañía considera de vital importancia la implementación de nuevos sistemas tecnológicos para el fortalecimiento de todos sus procesos de manufactura. Es por esto que se ha decidido mejorar los inconvenientes presentados en la estampación, específicamente en el curado de las tintas textiles, donde el dispositivo empleado no es eficiente ni seguro. Por consiguiente, se plantea el diseño y la construcción de un horno de secado aplicando los conocimientos adquiridos en la academia de ingeniería mecánica. Éste anterior contempla el modelamiento de los sistemas térmico y mecánico, junto a un planteamiento experimental que evalúe su funcionalidad en torno a la calidad del producto final. Adicionalmente, se presenta un análisis económico que determine la rentabilidad de la adquisición del equipo.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Ing. Omar Armando Gelvez Arocha.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN OVEN CURE FOR TEXTILE PRINTING WITH TEMPERATURE CONTROL AND STAGE OF TRANSPORTATION FOR CONFECCIONES PEAJE ITALY*

AUTHORS: Marco Antonio Manosalva Collante,
Oscar Giovanni Serrano Saavedra**

KEY WORDS: TEXTILE PRINTING, SCREEN PRINTING, TEXTILE CONVEYOR DRYER, INFRARED HEATING.

CONTENT:

The textile industry has great competition due to the marketing of local, national and imported products. For this reason garment factories seek to obtain the highest possible efficiency in their manufacturing processes. This aims to save what's possible in production, expanding the range of gain maintaining a competitive selling price in the market that is accessible to the consumer.

The wholesale company CONFECCIONES PEAJE ITALY is focused on the clothing market nationwide. It uses different methods for the manufacture of its products, such as sewing, embroidery and printing. The company considers it vital to implement new technology systems to strengthen all manufacturing processes. This is why it was decided to improve the drawbacks presented for stamping, specifically in curing the textile inks, wherein the device used is not efficient or safe. Therefore, we propose the design and construction of a drying oven applying knowledge acquired in the academy of mechanical engineering. This includes previous modeling of the thermal and mechanical systems, along with an experimental approach which evaluated the functionality about the quality of the final product. Additionally, an economic analysis to determine the profitability of the acquisition of equipment is presented.

* Graduation proyect.

**Faculty of Physical Mechanical Engineering, School of Mechanical Engineering. Director Ing . Omar Armando Gelvez Arocha.

INTRODUCCIÓN

En Bucaramanga existen diversas fábricas de confecciones reconocidas, además de cientos de talleres de tamaño mediano y pequeño. Esto genera un nivel de competencia importante, ya que interactúan las empresas locales, nacionales y extranjeras en el mismo mercado. Por esta razón es necesario innovar, no solo en la variedad de la producción ofrecida al público sino también en el perfeccionamiento de los procesos de manufactura. Esto se hace en búsqueda del mejoramiento continuo y el crecimiento empresarial.

La empresa CONFECCIONES PEAJE ITALY considera de vital importancia la implementación de nuevos sistemas tecnológicos para el fortalecimiento de todos sus métodos. Un caso específico de lo anterior, es un requerimiento en la estampación textil que presenta cierta dificultad y contratiempo. Existen equipos diseñados exclusivamente para esta labor; sin embargo no son comercializados en este país y su costo de adquisición resulta elevado por motivos de importación e impuestos.

La tinta o productos de los estampados necesitan tener un secado correcto, lo que se obtiene con una temperatura y tiempo específico, para que resistan de forma adecuada el lavado de la prenda sin deteriorarse o sufrir algún tipo de ruptura lo impreso; por esta razón resulta necesario diseñar y construir una máquina que cumpla a cabalidad con el curado de las prendas logrando un alto nivel de calidad, reduciendo tiempos de dicha acción, garantizando mayor protección o ausencia de riesgo, y que además satisfaga todas las exigencias operacionales del comprador al implementarla .

1. METODOLOGÍA

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La empresa CONFECCIONES PEAJE ITALY fundada en Santander en el año 2003, ubicada en el municipio de Piedecuesta, se dedica a la confección y comercialización de diferentes prendas de vestir para damas, caballeros y niños. Dentro de su portafolio de productos se encuentran camisas, camisetas, jeans, blusas y bermudas, entre otros. Esta compañía utiliza distintos métodos para elaborar sus productos, de los cuales, los más implementados son la costura, el bordado y el estampado.

Dentro del proceso de estampación textil existen variedad de técnicas que permiten acabados y texturas diferentes; ejemplos son la serigrafía, el vinilo, sublimación, transfer e impresión digital. La serigrafía es uno de los procesos de estampado más utilizados en la industria textil debido a su sencillez, economía y practicidad, además de sus buenos acabados. Este proceso consiste en transferir tinta a una tela a través de una malla tensada en un marco, ésta se conoce como pantalla y posee el diseño de la figura a estampar. La pantalla se puede utilizar repetidas veces sin perder definición, y ésta es empleada para aplicar un color específico. Adicionalmente, se realiza un pre-secado entre cada estampado de un color diferente y un secado final para dar terminación a la prenda. Analizando la situación actual de la empresa, se puede evidenciar que tiene aspectos por mejorar en su proceso de estampación textil. Esto se debe a que posee equipos limitados y en algunos casos, no son los más adecuados para las tareas ejecutadas. Esto se presenta específicamente en la labor de secado de los estampados, donde no existe un equipo capaz de realizar esta función de manera

eficiente y consecutiva. La herramienta implementada actualmente para esta labor es rudimentaria e insegura, consiste en una resistencia eléctrica adaptada a un sartén de cocina. Además, ésta no cumple satisfactoriamente con su función por su tamaño pequeño y las pérdidas de calor. Entonces, se puede decir que se está desperdiciando dinero en energía además de existir riesgo de accidentes.

Figura 1. Herramienta rudimentaria utilizada para el secado

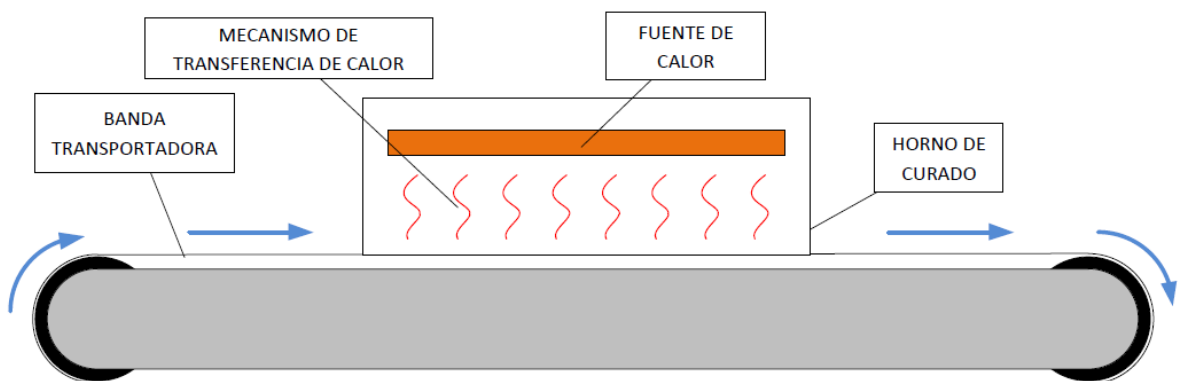


Tomando en cuenta lo anterior, es posible identificar la necesidad de introducir a la línea de producción una nueva máquina que cumpla satisfactoriamente la función de curado de los estampados, con el objetivo principal de mejorar el proceso en factores como la seguridad, la adaptabilidad a los cambios de referencia y la disminución del tiempo requerido para el mismo.

1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

La empresa CONFECCIONES PEAJE ITALY planea ampliar su capacidad de producción y mejorar el proceso de estampación textil por serigrafía. Este proceso consiste en cuatro etapas principales que son el diseño gráfico, la creación de la pantalla, la aplicación de tinta y el secado. El objetivo de la empresa es optimizar las estaciones de trabajo relacionadas con la impresión textil, mediante la adquisición e implementación de equipos eficientes. La fábrica consta de elementos para trabajar las pantallas y transferir la tinta a las prendas de vestir, sin embargo, no cuenta con un sistema eficaz para el secado de los estampados. Entonces, se plantea la propuesta de diseño de un dispositivo proyectado hacia el mejoramiento de la etapa de curado. Esta máquina consiste en un horno en forma de túnel que realiza el transporte del material de manera automática, lo que facilita la labor de los trabajadores. La posibilidad de seleccionar un ajuste de temperatura de trabajo y de velocidad de la banda transportadora, la cual desplaza la prenda a través del túnel de secado, dará al proceso de serigrafía ventajas importantes.

Figura 2. Esquema representativo del horno de curado.



Uno de los beneficios más relevantes es la calidad, que se mejora al realizar un curado correcto de las prendas. Para lograr lo anterior, es necesario establecer un flujo de calor uniforme cubriendo toda el área del estampado. Esto se hace, implementando un control de temperatura, el cual la mantiene a un nivel constante, garantizando que no se afecte la prenda o el estampado por exceso de calor incidente. Otro beneficio destacado es el incremento de la seguridad, que consiste en el progreso de las condiciones de trabajo, ya que se eliminan los riesgos de accidentes relacionados con quemaduras. Otro avance apreciable, es el aumento de la productividad de la estación de trabajo, que se debe a distintos factores característicos. Uno de ellos es la combinación entre una banda transportadora y el horno de secado, esto genera un ciclo de trabajo continuo logrando un mejor aprovechamiento del tiempo en esta fase. Por otro lado, la reducción de la interacción del operario con el proceso de curado permite que éste se enfoque en otras labores del proceso de serigrafía. Adicionalmente, la implementación de este sistema aumentará la producción de esta etapa a 50 prendas por hora.

Tomando en cuenta todas las ventajas ofrecidas por la proyección del nuevo sistema, se puede argumentar que la aplicación del mismo corresponde al aumento de la competitividad de la empresa. De esta forma, todos los adelantos presentados hacen muy recomendable la construcción de la máquina y la ejecución de su función en el estampado textil.

1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.3.1 Objetivo general

Contribuir al compromiso misional de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, mediante el desarrollo de un producto tecnológico que beneficie a la industria textil en Bucaramanga.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar y construir un horno para el curado de estampados textiles realizados por el método de serigrafía con las siguientes especificaciones:
 - ✓ Capacidad de producción de 50 prendas/horaⁱ.
 - ✓ Sistema de transporte con velocidad variable.
 - ✓ Sistema de curado basado en lámparas de radiación infrarroja.
 - ✓ Sistema de control de velocidad de la banda y de temperatura de ambiente de horno ([0 – 150] cm/min y [70 – 190] °C)ⁱⁱ.

ⁱ El tiempo estimado para el secado varía según el tipo de tinta textil utilizada para elaborar los estampados.

ⁱⁱ La velocidad de alimentación del horno es función del tiempo de curado, mientras que su temperatura de ambiente interno depende más que todo del tipo de tela de la prenda y de la tinta empleada.

- Determinar la calidad del curado de los estampados realizando pruebas de inspección visual amplificada con lupa cuenta-hilos (de 5x hasta 10x), procesos de lavado o desgastado industrial y aplicación de tiras de registro irreversible de temperatura de secado.
- Determinar el tiempo de recuperación de la inversión en el sistema de secado mediante el análisis de su productividad en comparación del método utilizado actualmente.
- Elaborar los manuales de operación y mantenimiento del horno de curado con el fin de ilustrar de forma efectiva al usuario en el uso del mismo.

2. ESTAMPACIÓN TEXTIL

Es un proceso de acabado de un tejido o de una prenda de vestir, en el cual se aplican diferentes tintas que componen un diseño de forma o imagen de manera singular o en patrón. Bajo este principio, se han establecido diferentes técnicas para la estampación en donde varía la forma en cómo se aplican y se secan las tintas textiles, y debido a esto, se presentan calidades y acabados distintos.

2.1 HISTORIA

Los seres humanos han empleado la vestimenta desde hace miles de años como protección ante la naturaleza. En épocas remotas el hombre primitivo utilizaba pieles de animales, hojas y pasturas para cubrir su cuerpo. Con el tiempo el vestuario fue evolucionando gracias a la elaboración de nuevos tejidos. Éstos presentan diferentes texturas que dependen del tipo de fibras y la forma en que estas se entrelazan. Su color era establecido por la pigmentación natural de sus fibras, sin embargo, la aplicación de diferentes tintas pudo generar una variedad de tonalidades más amplia.

Así se dio inicio al teñido textil, lo que posteriormente contribuyó al desarrollo de distintas formas y patrones. La tintura que se realizaba en contorno de formas, bordes y/o siluetas se denomina impresión o estampación textil. Debido a la antigüedad de esta práctica, resulta muy difícil conocer con exactitud de su origen en fecha y procedencia. Algunos países como Egipto, India e incluso México y Perú poseen una historia relacionada con esta destreza, por lo que es probable que haya sido establecida en alguno de ellos.

2.2 APLICACIONES

Existen diversos productos textiles en donde se puede evidenciar la ejecución de la estampación. Este proceso se implementa en diferentes prendas y tejidos como camisas, camisetas, jeans, bermudas, gorras, vestidos, corbatas, ropa e implementos deportivos, calzado, telas y lonas, entre otros.

Esto se realiza con el fin de plasmar diversos logotipos o imágenes a color creando diseños personalizados que se destaquen por su estilo y creatividad.

Figura 3. Estampados en diferentes prendas de vestir.

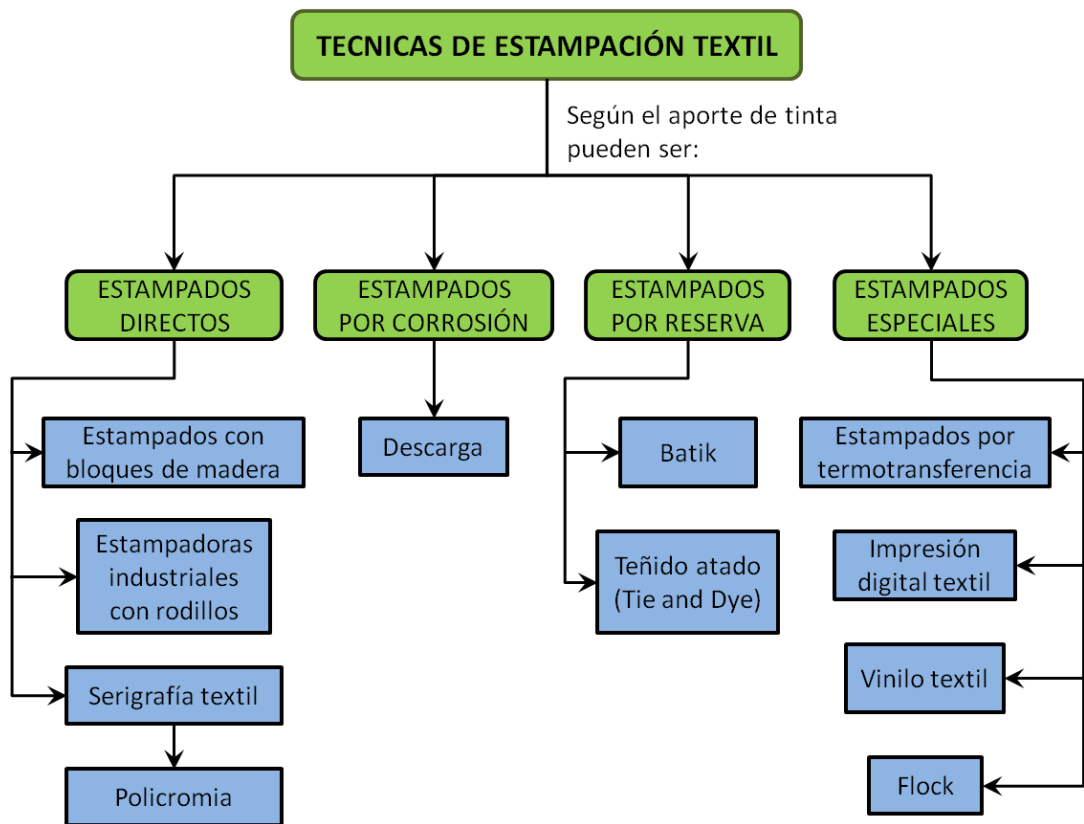


Fuente: Disponible e internet: <<http://www.qsbordadosyestampados.com/#!estampados/c7mj>>

2.3 TÉCNICAS DE ESTAMPACIÓN TEXTIL

Existe gran variedad de técnicas de impresión sobre tela las cuales se orientan hacia criterios como la calidad, definición, textura, estética, economía, tamaño y material. Los diseños pueden variar desde los patrones de color de grandes telares hasta las imágenes y pequeños logotipos estampados sobre prendas de vestir. Por lo anterior, resulta conveniente categorizar estas prácticas de un modo sencillo, el cual puede estar determinado por la forma en que se aplica el colorante. De esta manera, se pueden clasificar los estampados como directos, por corrosión, por reserva y estampados especiales.

Figura 4. Clasificación de las técnicas de estampación textil.



2.3.1 Estampados directos

En este tipo de estampados se proporciona tinta de forma directa sobre la tela para así conformar el esquema de la impresión y después, se procede al secado de la misma. Esta es la forma más comúnmente empleada para ejecutar esta práctica y los métodos relacionados con ella son desde los más tradicionales y artesanales hasta los automatizados industrialmente.

2.3.1.1 Estampado con bloques de madera

Es el método más antiguo conocido de estampación textil, se realiza de manera artesanal y no se utiliza para producciones en masa debido a su lentitud y su alto valor. Éste consiste en la utilización de bloques de madera grabados con diferentes motivos que se utilizan como un sello, empapándolos en colorante y luego presionándolos sobre la tela para transferir la imagen. Generalmente se ejecuta en telas antes de realizar la confección de los productos.

Figura 5. Bloques de madera con diferentes diseños.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.tintoreriamaldonado.com/blog/wp-content/uploads/2014/04/1.jpg>>

Figura 6. Proceso de estampación utilizando bloques de madera.



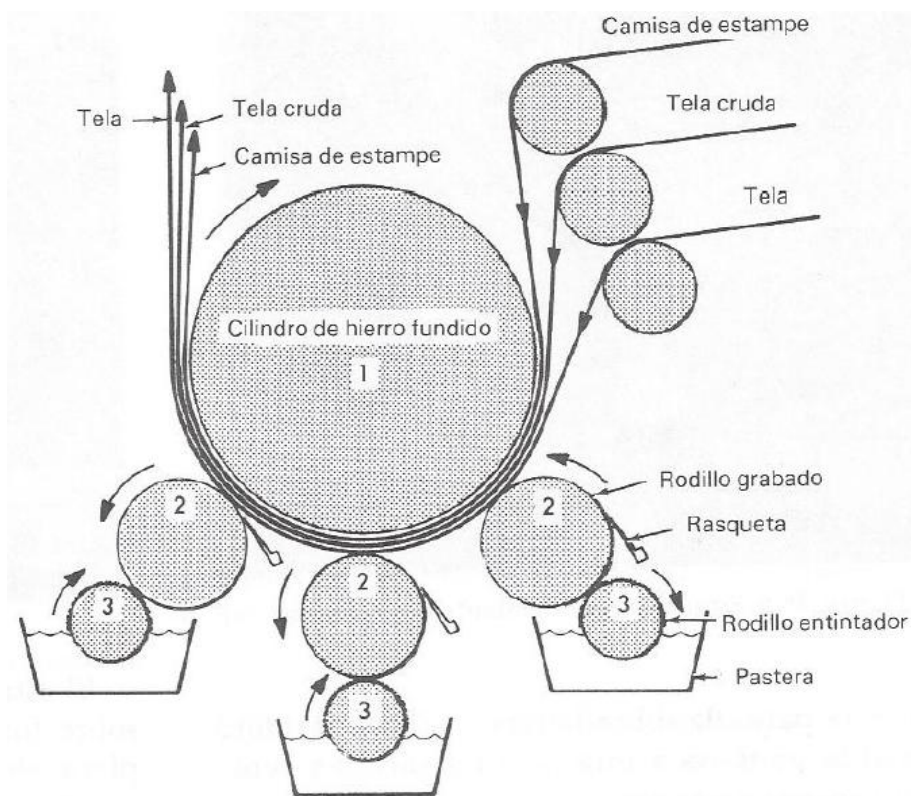
Fuente: Disponible en internet: <<http://www.tintoreriamaldonado.com/blog/wp-content/uploads/2014/04/3.jpg>>

2.3.1.2 Estampadoras industriales con rodillos

Esta técnica fue desarrollada por el escocés Thomas Bell en el siglo XVIII durante la revolución industrial con el fin de agilizar el proceso de estampación en telares. Éste sistema utiliza diferentes componentes con una determinada funcionalidad, donde el elemento central es un cilindro de hierro fundido (1) (figura 7) encargado de transportar la tela a través de la estampadora. Adicionalmente se dispone de rodillos de cobre (2) que tienen grabado el diseño a estampar, como también rodillos cubiertos con hule (3) ligeramente sumergidos en un depósito de tinta encargados de suministrarla a los rodillos de cobre. Una rasqueta retira el exceso de tinta del rodillo estampador para garantizar una proporción ideal de la misma. Es necesario implementar un par adicional de rodillos (de hule y de cobre) para aplicar un color diferente sobre la tela, es decir, la cantidad de colores establece la

cantidad de rodillos requerida para la máquina. Se demanda el transporte de tres tipos de tela diferente para este proceso, que son la tela a estampar, una tela cruda y un paño protector o camisa de estampe. La tela cruda se impregna de la tinta sobrante mientras que la camisa de estampe permite que exista una superficie adecuada para realizar el estampado. Posteriormente, la tela es transportada a la etapa de secado de la impresión para fijar la tinta permanentemente.

Figura 7. Máquina estampadora con rodillos.



Fuente: HOLLEN, Norma. Introducción a los textiles. México, Limusa 2010.

2.3.1.3 Serigrafía Textil

Esta técnica es más conocida con el nombre de screen (pantalla) y consiste en realizar la impresión de una imagen o dibujo efectuando el traspaso de tinta a través de una plantilla enmallada tensada en un marco. El paso de la tinta se bloquea en las áreas donde no habrá imagen mediante una emulsión o barniz, quedando libre la zona donde pasará la tinta. Para cada color que contenga el diseño se requiere revelar una pantalla, es decir que cada motivo de impresión puede tener una o múltiples pantallas según sea su gama de colores. Este proceso puede ser repetido cientos de veces sin perder definición, y se realiza tanto en cortes de tela como en prendas de vestir ya terminadas.

Figura 8. Estampación por serigrafía.



Fuente: Disponible en internet: <<http://patchcreu.blogspot.com/2013/02/serigrafia.html>>

2.3.1.4 Policromía (CMYK)

Se deriva de la serigrafía y comparte el mismo principio metodológico, aunque difiere en la cantidad de colores ya que la policromía siempre utiliza los cuatro colores básicos CMYK (cian, magenta, amarillo y negro). Esto se debe a un enfoque característico de estampados multicolor en donde los colores primarios se entremezclan para crear una imagen de alta calidad. Entonces, para este proceso siempre es necesario realizar cuatro plantillas de paso fino, aplicando los colores en un orden específico sin hacer pre-secado. Una vez que se han aplicado las cuatro tintas se procede a realizar el curado en horno. La policromía está dirigida hacia la estampación de prendas como camisas y camisetas en general.

Figura 9. Colores, imagen y vista en detalle de una policromía.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.optimagraphics.co.uk/colour.htm>>

2.3.2 Estampados por corrosión

Este tipo de impresión se realiza mediante la degradación del color de una tela teñida en anterioridad. Se emplea para estampados claros en fondos oscuros y brinda excelentes acabados, ya que las líneas quedan bien demarcadas y se puede visualizar la imagen por ambas caras de la tela. La técnica más conocida por este principio es el estampado por descarga.

2.3.2.1 Descarga

En primer lugar, se parte de una prenda (camiseta) usualmente de tela oscura y se procede a realizar una mezcla de químicos decolorantes. Ésta última se compone de tinta base agua y un agente activador, encargados de eliminar el color de la tela y reemplazarlo por el color del tinte. La mezcla se aplica por serigrafía y después se procede a realizar un presecado entre colores y el curado final en el horno. Si se agrega a la mezcla un catalizador se evita la necesidad de curar la tinta ya que esta se secaría a temperatura ambiente. Sin embargo este componente adicional ocasiona un incremento en los costos de este tipo de estampación, que en si es uno de los más costosos actualmente. Esta práctica presenta diferentes beneficios como son la capacidad de realizar excelentes estampados en fondos oscuros, ya que presentan muy buena definición en líneas delgadas y demarcación de contornos.

Figura 10. Alta definición en un estampado realizado por descarga.



Fuente: Disponible en internet: <<http://meerkat69.blogspot.com/2013/11/meerkatsu-art-manual-t-shirt.html>>

2.3.3 Estampados por reserva

En estas impresiones, se implementan distintas formas de limitar el alcance de la penetración de los colorantes en los tejidos. Esto se logra aplicando restricciones mecánicas como amarres o nudos como también el uso de materiales repelentes a los tintes. Luego de realizar estos bloqueos, se procede a teñir la tela y a continuación se retiran las restricciones previamente ubicadas. Este tipo de impresión se realiza de manera artesanal con diseños artísticos y llamativos.

2.3.3.1 Batik

El Batik se realiza manualmente mediante la aplicación de cera derretida para crear el motivo del estampado. Entonces, se procede a dejar secar la cera para obtener una especie de molde limitante en estado sólido. A continuación se realiza el teñido de la tela en orden de color de claro a oscuro, repitiendo el procedimiento para cada uno de ellos hasta finalizar el diseño. Finalmente, se retira la cera mediante la utilización de un disolvente que facilita la eliminación de la misma del tejido.

Figura 11. Aplicación de cera con el método Batik.



Fuente: Disponible en internet: <<http://batikwisdom.com/>>

2.3.3.2 Teñido atado (Tie and dye)

Consiste en otro tipo de estampación por reserva, en este método se procede a amarrar fuertemente con hilos finos en diferentes secciones la tela o el hilo que se desea teñir con el fin de evitar la penetración de la tinta. Posteriormente al secar la

prenda, se sueltan las ataduras de los hilos finos para descubrir el resultado del estampado.

Figura 12. Tintura mediante el proceso de teñido atado.



Fuente: Disponible en internet: <<http://sometimescreative.blogspot.com/2013/05/tie-dye-shirts.html>>

Figura 13. Camiseta estampada por el método teñido atado.



Fuente: Disponible en internet: <<http://stefaniesadowsky.wordpress.com/2011/03/16/volviendo-al-pasado-batik-tie-dye/>>

2.3.4 Estampados especiales

Este tipo de estampados son únicos en su manufactura y carecen de similitudes metodológicas en comparación a los demás. Sin embargo, son muy utilizados por sus acabados, facilidades para la impresión y su aporte tecnológico.

2.3.4.1 Flock

Es un efecto aterciopelado que se obtiene al fijar pequeñas fibras sintéticas sobre una tela. Para esto, se aplica un adhesivo en la forma del diseño mediante una pantalla serigráfica. Después, se utiliza una máquina de electrostática para suministrar las fibras sobre el adhesivo y direccionarlas en forma vertical. Finalmente, la prenda es enviada al túnel de secado para completar el proceso.

Figura 14. Flocado en tela.



Fuente: Disponible en internet:

<<http://suchprettythings.typepad.com/.a/6a00e553a4097c88340120a6e11c63970b-pi>>

2.3.4.2 Estampado por termotransferencia

Se puede decir que este es un método de estampación indirecto, puesto que primero se imprime la imagen sobre un papel especial y luego éste se utiliza para estampar la prenda. Es así, que la prenda se sitúa sobre una superficie plana y encima de esta se ubica el papel impreso contactándola por el lado entintado. A continuación se suministra presión y calor utilizando una plancha térmica durante un tiempo determinado, y luego, se procede a retirar el papel revelando el resultado de la estampación. Esta técnica es muy económica y fácil de implementar, sin embargo presenta inconvenientes como la durabilidad del producto y la exigencia de un mínimo del 50% de poliéster en la tela utilizada.

Figura 15. Transferencia del diseño impreso a la prenda



Fuente: Disponible en internet: <<http://i.ytimg.com/vi/TvDzXQMxns/maxresdefault.jpg>>

2.3.4.3 Impresión Digital textil

Este proceso consiste en utilizar una impresora o plotter de gran tamaño para imprimir directamente sobre la tela con tintas textiles. Así mismo, permite obtener una imagen multicolor en muy poco tiempo y con gran calidad de definición, logrando que el proceso de estampación sea más práctico y confiable.

Figura 16. Impresión Digital textil.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.brildor.com/impresoras-de-camisetitas/impresora-textil-texjet-plus.html>>

2.3.4.4 Vinilo Textil

Este proceso de estampación también se suele llamar termoimpresión. Este radica en utilizar un delgado material vinílico muy durable y resistente al desgaste, adhiriéndolo sobre la tela mediante la aplicación de presión y calor utilizando una plancha térmica. El diseño del estampado se efectúa empleando un software editor de gráficos vectoriales debido a que el vinilo se corta mediante un plotter especial. Este método es aplicable tanto en telas naturales como artificiales, seleccionando el tipo de vinilo para cada caso. Los ejemplos más usuales para aplicaciones de vinilo textil son las prendas deportivas, logotipos y uniformes de trabajo, entre otros.

Figura 17. Vinilo Textil en camiseta



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.mxdiseño.com/wp-content/uploads/2012/05/plancha.jpg>>

3. SERIGRAFÍA

3.1 INTRODUCCIÓN

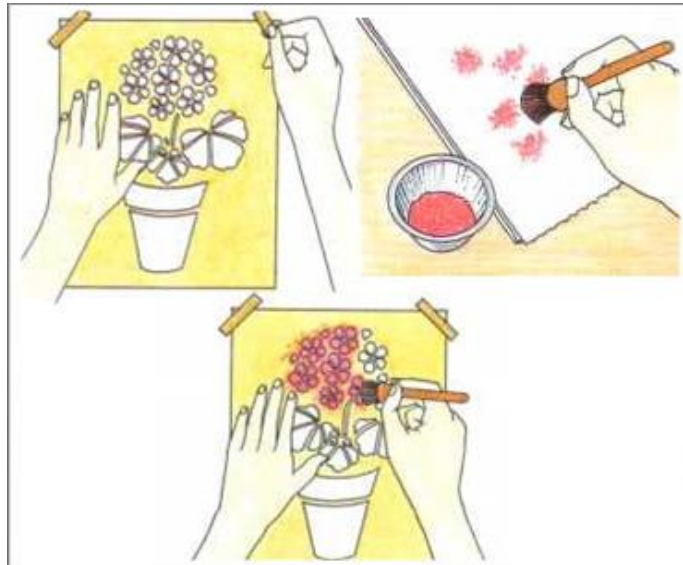
La palabra serigrafía se deriva del latín “sericum” (seda) y del griego “graphé” (acción de escribir, describir o dibujar). Es conocida con el nombre de Silk-Screen (pantalla de seda) por los anglosajones en los ámbitos comercial e industrial, y con el nombre de serigrafía para las reproducciones artísticas. Actualmente se emplea el último término para todas las técnicas de impresión relacionadas con el uso del tamiz, independientemente del material en el cual éste fue realizado.

3.1.1 Historia

La invención de este sistema de impresión es un misterio, se suele opinar que la serigrafía se deriva de una técnica similar llamada estarcido o esténcil. Ésta consiste en ubicar una plantilla perforada sobre una superficie y aplicar pintura sobre la misma, la cual traspasa el contorno del agujero reproduciendo su diseño. La plantilla se crea a partir de un papel duro o cartón, recortando la figura con tijeras o bisturí. Por otro lado, la pintura puede ser aplicada con pincel, rodillo o esponja, como también puede ser rociada utilizando aerógrafos y aerosoles.

El principal inconveniente de método es la necesidad de puentes en la plantilla para soportar las partes interiores de las figuras en su sitio exacto. La serigrafía supera este impase mediante el uso de tamices hechos con sedas de hilos finos que permiten el paso de tinta y brindan sujeción al modelo interno de la figura.

Figura 18. Pasos del proceso de estarcido.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.masbricolaje.com/realizar-un-estarcido-en-un-armario-de-cocina/>>

La aplicación del método básico de serigrafía empieza en Europa y en Estados Unidos a principios del siglo XX. En éste, se utilizaban modelos hechos de papel engomado que eran pegados sobre un tejido de organdí (algodón) cosido a una lona. Seguido a esto, se tensaba manualmente sobre un marco de madera y era sujeta grapando sus extremos en el marco. La aplicación de la pintura se realizaba arrastrando y presionando sobre el dibujo una racleta de madera con un caucho en su parte inferior. Finalmente, se retiraba la plantilla y se obtenía la imagen impresa, la cual podía ser reproducida con facilidad.

La serigrafía pudo superar los inconvenientes de otros métodos de impresión ya que carece de limitaciones y permite un gran número de aplicaciones. Por esta razón ha perdurado siendo mejorada a través de la tecnología e industrialización.

3.1.2 Aplicaciones

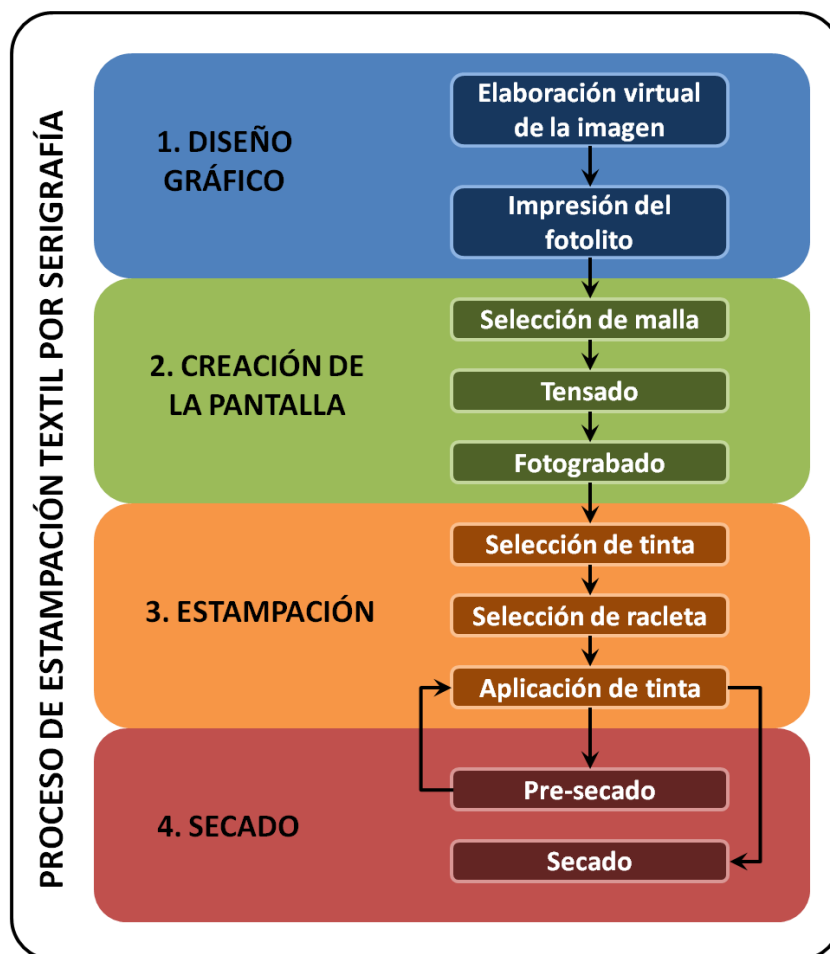
Básicamente se puede emplear el método de impresión por serigrafía en casi cualquier material, esto se debe a que se manejan tintas de todo tipo y la forma de las pantallas varía según la aplicación. Así, las posibilidades que se presentan para este método son numerosas, por lo tanto solo se nombran las más comunes a continuación:

- ✓ **Reproducción de obras de arte:** pinturas, dibujos y carteles.
- ✓ **Estampación de tejidos:** Telas, lonas, material deportivo, calzado, y todo tipo de ropa (camisetas, camisas, pantalones, vestidos, corbatas).
- ✓ **Impresión de plásticos:** Marquesinas, paneles, elementos de decoración, placas de señalización y marcaje, tableros de control.
- ✓ **Impresión de madera y corcho:** Elementos de decoración, puertas, muebles y paneles.
- ✓ **Impresión de autoadhesivos:** Calcomanías al agua y secas, pegatinas en complejos o materiales autoadhesivos (papel y cloruros de polivinilo), calcomanías vitrificables para la decoración de azulejos, vidrio y cerámica.
- ✓ **Decoración de cristal:** Espejos, máquinas recreativas y de juego, frascos, botellas, envases, jeringuillas, ampollas y vasijas.
- ✓ **Flocado de todo tipo de materiales:** en este caso el adhesivo se aplica también por serigrafía.
- ✓ **Producción de carteles de gran formato:** Vallas de publicidad exterior.
- ✓ **Decoración de todo tipo de materiales:** Decoración de escaparates, mostradores, interiores de tiendas, elementos promocionales y publicitarios.
- ✓ **Etiquetas:** Etiquetas en aluminio, cartulinas, cueros y tejidos.
- ✓ **Producción de circuitos impresos:** Demarcación de elementos y terminales, instrucciones y diagramas de los circuitos electrónicos.
- ✓ **Impresión de cubiertas:** Cubiertas para libros y carpetas.

3.2 PROCESO DE ESTAMPACIÓN TEXTIL POR SERIGRAFÍA

El procedimiento de impresión textil no difiere mucho de las demás aplicaciones de la serigrafía. Esto se debe a que el principio fundamental es el mismo, solo se presentan diferencias como el material a imprimir, las tintas utilizadas y la forma de la pantalla. Sin embargo el proceso es básicamente el mismo y en este caso consta de cuatro etapas principales que son el diseño gráfico, creación de la pantalla, estampación y secado.

Figura 19. Etapas del proceso de estampación textil por serigrafía



3.2.1 Diseño gráfico

Aquí se establece el diseño artístico que llevará el producto final, por lo que este paso es de vital importancia para la estampación. Para esto, se realiza la elaboración virtual de la imagen para posteriormente efectuar la impresión del positivo.

3.2.1.1 Elaboración virtual de la imagen

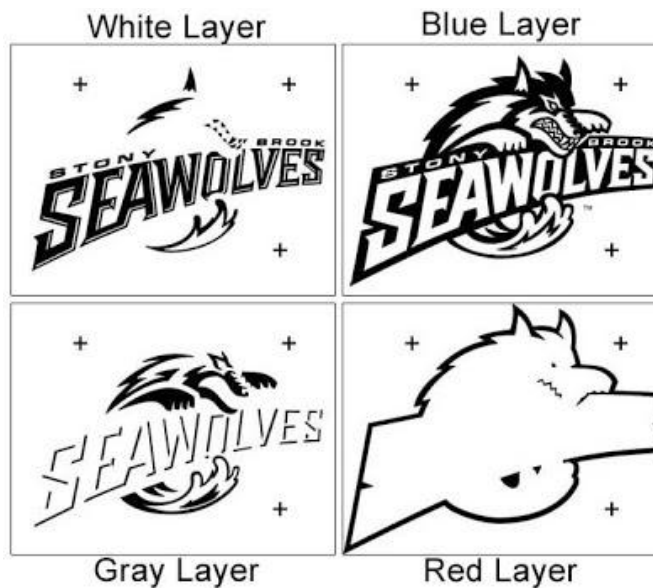
Para desarrollar un diseño virtual es necesaria la utilización de un computador que posea distintos tipos de software como son el visor de imágenes, el editor de gráficos rasterizados y el editor de gráficos vectoriales. Estos programas poseen plataformas muy completas y permiten realizar las labores de diseño gráfico con excelente calidad. Básicamente, se ejecutan ambos tipos de editores gráficos para preparar las imágenes que llevarán los estampados realizando retoques y modificaciones, el uso de cada tipo de editor depende de la aplicación final. Una vez que se haya determinado la imagen a estampar se procede a separar cada uno de los colores que posee, quedando dividida en fracciones de diferentes formas. Cada color requiere de la realización de una pantalla, por lo que hay que realizar un fotolito o positivo a blanco y negro para cada uno de ellos.

Figura 20. Ejemplo de diseño de estampación.



Fuente: Disponible en internet: <http://designdecamisetas.blogspot.com/2010/01/separacao-de-cores-no-photoshop_08.html>

Figura 21. Positivos para cada color del diseño de estampación.



Fuente: Disponible en internet: <http://designdecamisetas.blogspot.com/2010/01/separacao-de-cores-no-photoshop_08.html>

Visor de imágenes

Este tipo de programas se implementan para observar, copiar, editar y eliminar imágenes, aunque en su mayor parte se usan para obtener una rápida visualización de las mismas mediante la exploración de archivos. Algunos de estos programas poseen opciones básicas para la edición de imágenes digitales, sin embargo son muy limitadas y se utilizan para realizar pequeñas decoraciones y modificaciones.

Editor de gráficos rasterizados

Un gráfico rasterizado es un archivo que contiene una matriz de píxeles que se conoce como ráster o mapa de bits (bitmap). Es decir, la unión de muchos puntos de color (píxeles) dará constitución a una imagen. Cada píxel tiene un color definido individualmente y guarda consigo la información que determina su tonalidad. La resolución de los mapas de bits se presenta tomando en cuenta el alto y ancho de la matriz, es decir, el número de columnas por el número de filas de píxeles. Es así, que la resolución se relaciona directamente con la cantidad de información que posee cada gráfico y por ende, con su tamaño. Adicionalmente, esta característica está ligada a la calidad de la imagen ya que entre más puntos de color se tengan mejor será la definición de la misma. Por esta razón se puede evidenciar que el aumento en el tamaño de un mapa de bits equivale a una pérdida de nitidez. En este caso los píxeles serían más notorios y la imagen se vería como una unión de cuadrados de diferentes colores, perdiendo así la definición de las líneas y de los contrastes.

El software editor de gráficos rasterizados brinda al usuario una plataforma interactiva por la cual se pueden crear o modificar archivos de imagen de mapas de bits. Se utilizan principalmente en fotografías y ofrece una amplia cantidad de posibilidades para su edición, ya sean mejoras, retoques, montajes, recortes especiales y efectos visuales. Por lo anterior, las aplicaciones más frecuentes de este tipo de programas son: manejo fotográfico, creación de ilustraciones realistas, agrupación de imágenes y realización de dibujos a mano alzada mediante una tableta digitalizadora.

Editor de gráficos vectoriales

Permite la generación y edición de imágenes vectoriales, las cuales se componen de formas geométricas ordenadas, que pueden ser polígonos o segmentos de líneas. Sus características como color, tamaño, posición y orientación se definen a partir de atributos matemáticos, siendo determinadas por el programa a través de una serie de cálculos. Una gran ventaja de trabajar con este tipo de imágenes es que permiten modificaciones importantes sin desmejorar la calidad y nitidez. Esto se da gracias a que la imagen es creada a partir de vectores a diferencia de las imágenes convencionales que consisten en un mapa de bits. Entonces, cualquier cambio en la constitución de la imagen generará nuevas características que no son más que la retroalimentación matemática del programa. Por este motivo se utiliza este tipo de software en aplicaciones como el diseño gráfico, diseño de planos, aplicaciones ingenieriles, tipografía, ilustraciones artísticas e ilustraciones técnicas, entre otras.

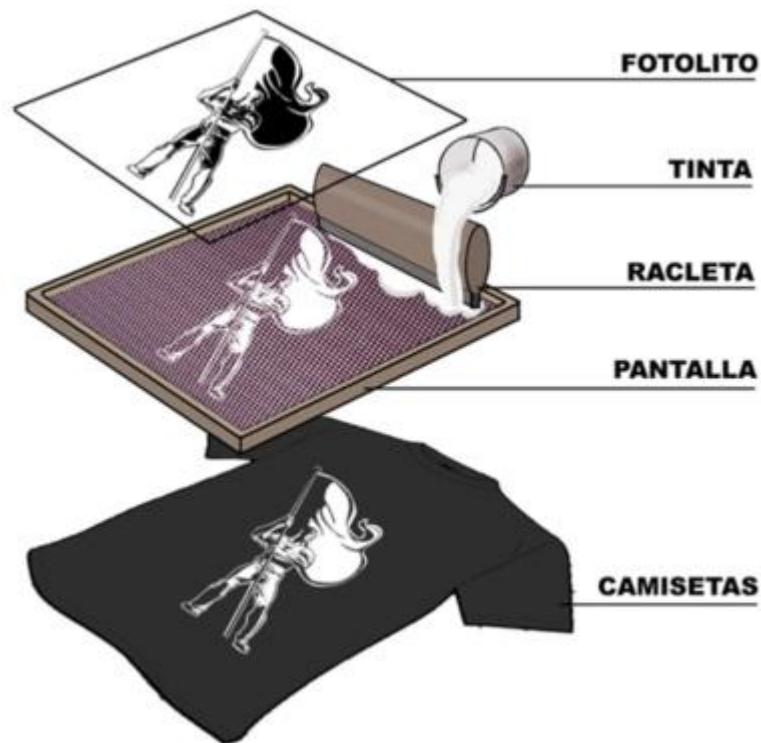
Tabla 1. Programas utilizados para el diseño gráfico.

TIPO DE SOFTWARE	PROGRAMA	SISTEMA OPERATIVO		
		Windows	Linux	Macintosh
Visor de imágenes	iPhoto			x
	XnView	x	X	x
	Gwenview	x	X	x
Editor de gráficos rasterizados	Adobe Photoshop	x		x
	Corel Photo-Paint	x		
	GIMP	x	X	x
Editor de gráficos vectoriales	CorelDRAW	x		
	Adobe Illustrator	x		x
	Inkscape	x	X	x
	Xara Xtreme	x	X	
	SK1		X	

3.2.1.2 Impresión

Una vez se tenga lista la separación de colores de la imagen se realiza el diseño de los positivos a blanco y negro y después se realiza la impresión de los mismos. El material utilizado para la impresión debe ser delgado y traslucido, se suele emplear acetato, papel pergamino, papel vegetal, film de poliéster o filmina. Finalmente, se dará continuidad al proceso con el siguiente paso que consiste en la creación de la pantalla.

Figura 22. Comparación del fotolito, la pantalla y el estampado.



Fuente: Disponible en internet: <<http://serigraficalibredelasierra.wordpress.com/nuestro-taller/>>

3.2.2 Creación de la pantalla

Esta etapa es de suma importancia porque es uno de los principales factores que determinan la calidad del producto. La pantalla está compuesta por una malla permeable fijada a tensión sobre un marco. El diseño se transfiere del fotolito a la pantalla en un proceso que se conoce como revelado. En este paso se aplica una emulsión fotosensible, la cual se solidifica en las secciones en donde el positivo permite el paso de luz. Seguido, se lava la pantalla retirando los restos de la emulsión y se procede a dejarla secar. Finalmente, se sellan los bordes para evitar

que la pintura pueda traspasar por estas secciones y dañar la estampación. En resumen, las etapas de la creación de la pantalla son la selección de malla, el tensado, la selección y aplicación de la emulsión, la exposición, la limpieza, el secado y el sellado.

3.2.2.1 Selección de malla

La malla serigráfica es el material que se utiliza como tamiz para pinturas textiles que tiene grabado el diseño de impresión. Este material requiere de unas características físicas que garanticen su funcionalidad y durabilidad, como son:

- ✓ Resistencia al rozamiento.
- ✓ Resistencia a la tracción.
- ✓ Resistencia al ataque de productos químicos.
- ✓ Permeabilidad.
- ✓ Facilidad de limpieza.
- ✓ Estabilidad dimensional.

Clasificación de las mallas serigráficas

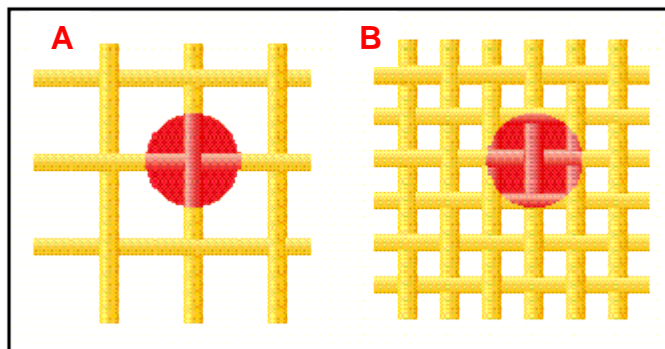
Existen diferentes propiedades que permiten clasificar a las mallas serigráficas, las cuales se relacionan principalmente con su constitución y funcionalidad. Por lo tanto, las mallas se ordenan generalmente por:

- ✓ Numeración.
- ✓ Estructura y grosor del hilo.
- ✓ Tejido.
- ✓ Material.
- ✓ Aplicación.

Numeración

Hace referencia a la cantidad de hilos por centímetro o por pulgada los cuales se cuentan de forma lineal. Se puede utilizar una lupa cuenta hilos para determinar este parámetro. La numeración de las mallas utilizadas para serigrafía está comprendida entre 10 y 200 hilos por cm. Por ejemplo, las mallas de baja numeración son más abiertas y brindan un depósito de tinta grueso. En contraste, las mallas de alta numeración dejan depósitos de tinta delgados; se utilizan principalmente por la definición que permiten en matrices fotograbadas.

Figura 23. Comparación entre mallas de baja y alta numeración.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.richardgreaves.com/PGuidebook/prepress3.htm>>

Figura 24. Lupa cuenta hilos con dos escalas e iluminación LED.

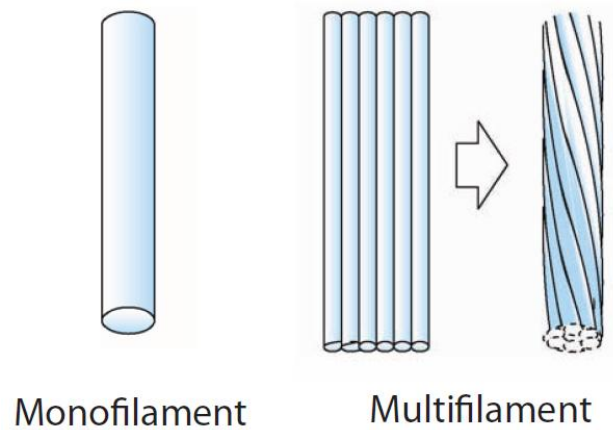


Fuente: Disponible en internet: <<http://www.astroshop.es/carson-lupa-cuentahilos-10x/p,22707>>

Estructura del hilo

La estructura del hilo puede ser monofilamento o multifilamento. La primera hace referencia a hilos de una sola hebra, los cuales son lisos y uniformes. Estos permiten facilidad para el paso de tinta y la limpieza, además poseen alta resistencia a la tensión. La desventaja de las mallas monofilamento es que tienen poca adherencia ante las películas capilares y emulsiones, sin embargo esto se mejora realizando un proceso mecánico sobre su superficie. Por otra parte, las mallas multifilamento poseen hilos compuestos de varias hebras, lo que las hace irregulares y difíciles de limpiar. Estas presentan poca resistencia a la tensión y el desgaste. Su principal ventaja es la buena adherencia que tienen con las películas de recorte y las películas capilares.

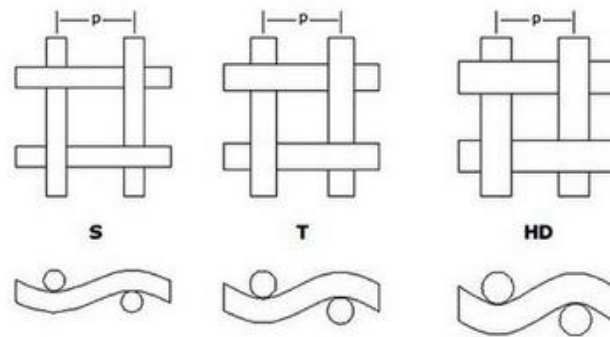
Figura 25. Hilos monofilamento y multifilamento.



Fuente: Disponible en internet: <<http://murakamiscreen.com/murakami-pre-stretched-screens/>>

Otra clasificación para los hilos de las mallas serigráficas consiste en la medida de su grosor, que se divide en las categorías S, T y HD. Las mallas tipo S poseen hilos de menor grosor (27 micras) mientras que los de las mallas tipo T son de tamaño mediano (31 micras) y las HD tienen los hilos más fuertes y gruesos (34 micras).

Figura 26. Tipos de malla serigráfica según el grosor de sus hilos.

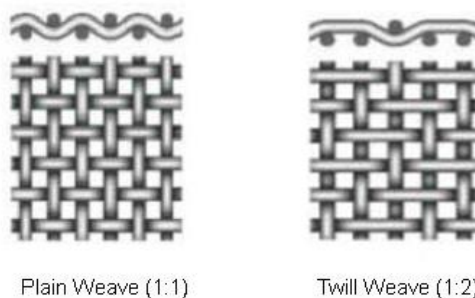


Fuente: Disponible en internet: <<http://www.screenopedia.com/mesh-fabrics.html>>

Tejido

El tipo de tejido de las mallas influye en el depósito de tinta resultante. Aunque existen numerosos tipos de éstos, los más utilizados suelen ser el tejido plano PW (plane weave) y el tejido sarga TW (twill weave).

Figura 27. Comparación entre el tejido plano y tejido sarga.



Fuente: Disponible en internet:

<<http://www.zhengsaimesh.com/upfile/article/2010112011523318f1.jpg>>

Material

En los comienzos de la serigrafía se utilizaba seda natural como el material del tamiz de las pantallas. Sin embargo este material presenta ciertas desventajas funcionales. Por ejemplo, presenta imperfección debido a que es un tejido natural e irregular, por otro lado, al humedecer este material se estira y pierde la tensión sobre el marco. Adicionalmente, la seda se degrada con la aplicación de productos

químicos utilizados para la recuperación de pantalla. Aun así, a pesar de sus desventajas se siguen utilizando pantallas de seda en aplicaciones artesanales.

Actualmente se emplean materiales sintéticos como el nylon y el poliéster para aplicaciones generales, para aplicaciones que utilicen tintas abrasivas o que requieran de mayor distorsión se utilizan materiales metálicos como el acero inoxidable. Se ha desarrollado el teñido de las mallas sintéticas en los colores amarillo, naranja o rojo para mitigar el efecto de la dispersión de la luz en la exposición directa a los rayos ultravioletas, que absorben dicha radiación UV. Cuando se emplea estos tipos de mallas los tiempos de exposición sufrirán incrementos entre el 50% y 100%.

Figura 28. Mallas serigráficas teñidas en diferentes colores.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.mesh-squeegee.com/wiremesh/polyesterscreenprintingmesh.html>>

Aplicación

La selección del tipo de malla serigráfica está ligada al tipo de aplicación y de acabado que se requiera en cada caso. A continuación en la siguiente tabla se resumen los tipos de malla más utilizados según su finalidad:

Tabla 2. Resumen de mallas más usadas en serigrafía.

RESUMEN DE MALLAS MAS USADAS EN SERIGRAFÍA						
TIPO	NOMBRE COMERCIAL	NATURALEZA	LINEATURAS (Hebras/cm.)	GROSORES (hilo)	COLOR	APLICACIÓN GENERAL
Multi filamento	Organza	Poliéster	S.L.(+30 a 40)	S.G.	Blanca Roja	Estampación textil y otros sin necesidad de registro exacto
	Seda	Seda Organica	6 a 25	S-M-T	Blanca	Textil y artístico
	Estalmono	Poliéster	2 a 195	S-M-T-HD	Blanca Naranja	Mayoría de aplicaciones para trabajos de extrema exactitud
	Monolem	Poliéster	5 - 200	S-M-T-HD	Blanca Naranja	Mayoría de aplicaciones
	Nyral	Nylon	2 - 228	S-M-T-HD	Blanca Naranja	Mayoría de usos para trabajos de optima elasticidad, para objetos irregulares y cilíndricos
	Monyl	Nylon	5 - 200	S-M-HD	Blanca	Mayoría de usos
Mono filamento	Estalmetal		27 - 185	S-T	Metálico marrón	Impresión cerámica, vidrio y trabajos de alto control de registro y para uso de tintas térmicas
	UV-Goldorange		90 - 180	S-T-M-HD (UV)	Naranja oro	Trabajos de altísima resolución, para tintas UV (ultravioleta)
	Estalcarbon		77 - 140		Blanco con ebras negras	En estampaciones que produzcan una alta carga electrostática

Fuente: Disponible en internet: <<http://es.calameo.com/read/000820106cc4131121568>>

3.2.2.2 Tensado

Esta es la etapa de la creación de la pantalla en donde se estira y se sujeta la malla sobre el marco rígido. Básicamente, el tensado consta de tres componentes fundamentales que son:

- ✓ Tipo de marco.
- ✓ Método de tensado.
- ✓ Medición de tensión.

Tipo de marco

Los marcos de las pantallas serigráficas deben ser fuertes y rígidos por lo que sus secciones tienden a ser robustas. No obstante, deben tener un peso liviano ya que los trabajadores deben ser capaces de manipularlos con facilidad. En consecuencia, este tipo de elemento se fabrica en tres materiales específicos:

- ✓ **Madera:** Es el material utilizado originalmente como soporte de las mallas serigráficas, siendo resistente y económica. Su desventaja radica en la pérdida de rigidez presentada en un ambiente húmedo, lo que genera deformaciones en el material.
- ✓ **Acero:** Es un material muy duro y resistente por lo que es adecuado para utilizarlo como marco. Sin embargo, es débil ante la corrosión y esta puede

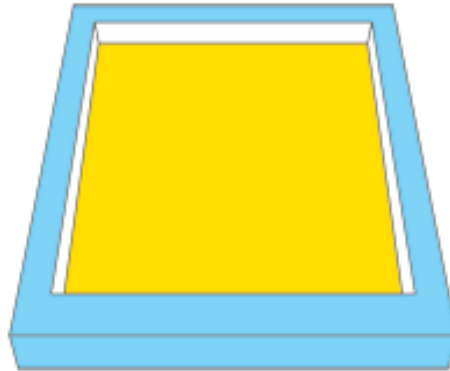
deteriorarlo progresivamente. Por esta razón, se emplean tratamientos superficiales para protegerlo del óxido, como son el galvanizado y las pinturas anticorrosivas.

- ✓ **Aluminio:** Es fuerte, liviano y resistente a la corrosión, lo que facilita de gran manera el trabajo. Algunos perfiles se refuerzan en sus paredes laterales para aportar una mayor rigidez.

Los marcos se fabrican con perfiles de diferentes formas y tamaños, normalmente se utilizan perfiles cuadrados, triangulares, rectangulares, redondos y perfiles especiales. Las dimensiones de los marcos pueden variar según el gusto del estampador, ya que puede construir marcos en madera a la medida. Según la constitución de los marcos pueden clasificarse en dos tipos, que son los estáticos y los retensables o de autotensión. Ambos tipos de marco se pueden fabricar con los tres materiales mencionados anteriormente:

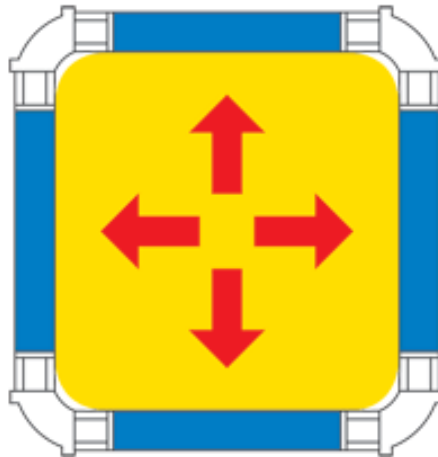
- ✓ **Marcos estáticos:** Son los marcos más sencillos y económicos. Este tipo de marco se construye fijando sus miembros estructurales en sus extremos de forma permanente.
- ✓ **Marcos retensables o de autotensión:** Permiten volver tensionar la malla cuando ésta se ha estirado a consecuencia del uso. Su construcción es elaborada, situando en sus esquinas mecanismos de tornillos que se ajustan para regular el nivel de tensión, enrollando o estirando la malla.

Figura 29. Pantalla serigráfica con marco estático.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.vastex.com/Articles/Screen-Frame-Information-for-the-Screen-Printer.php>>

Figura 30. Pantalla serigráfica con marco retensable.



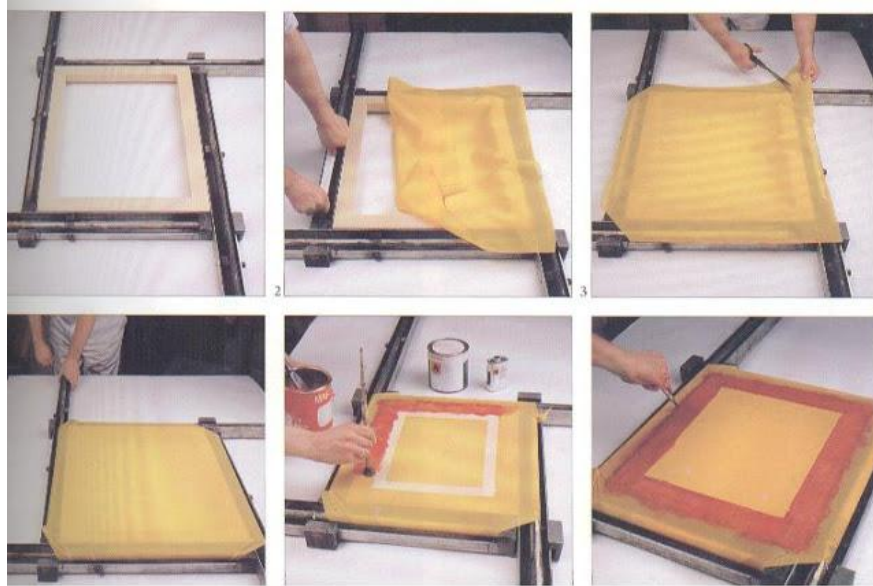
Fuente: Disponible en internet: <<http://www.vastex.com/Articles/Screen-Frame-Information-for-the-Screen-Printer.php>>

Método de tensado

Existen varios métodos para tensar las mallas sobre los marcos de las pantallas. El grado de calidad depende de lo tecnificado que sea el método y de lo riguroso que sea el control de los parámetros de operación de las pantallas. En todos los casos, se procede a realizar el tensado y posteriormente la fijación utilizando grapas o adhesivos químicos. Las técnicas más empleadas para el tensado son:

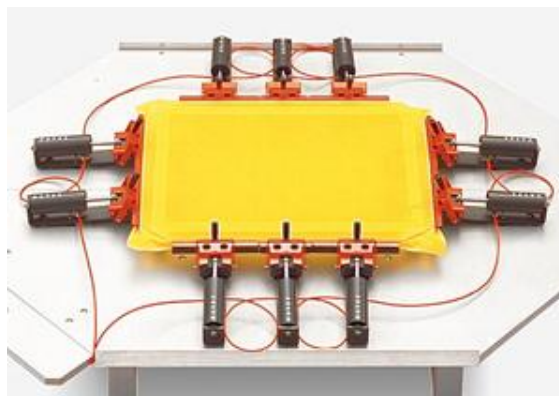
- ✓ **Tensado manual:** El tensado manual es la manera más sencilla y económica de realizar esta labor. Se utiliza principalmente para estampados que no requieran de mayor definición en los cuales se usan mallas de baja numeración. Este proceso solo necesita del marco, la malla y grapas para fijar ambos componentes.
- ✓ **Tensado mecánico:** Es un método un poco elaborado, en donde se emplea un torniquete o prensa manual para estirar los extremos de la malla. El torniquete puede estar presente de forma independiente, pero también puede verse incluido en los marcos de autotensión.
- ✓ **Tensado neumático:** Aquí se emplea la herramienta más desarrollada para la función del tensado. Esta consiste en un bastidor que tiene unas pinzas de sujeción ubicadas de forma cuadrada, éstas se encuentran unidas a pistones neumáticos que al presurizarse retraen el brazo que conecta con las pinzas.

Figura 31. Tensado mecánico de la pantalla con torniquete.



Fuente: Disponible en internet: <<http://serigrafia9-2.blogspot.com/2013/04/tensado-o-malla.html>>

Figura 32. Tensado neumático para pantallas serigráficas.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.casaiberia.com.ar/tensado.htm>>

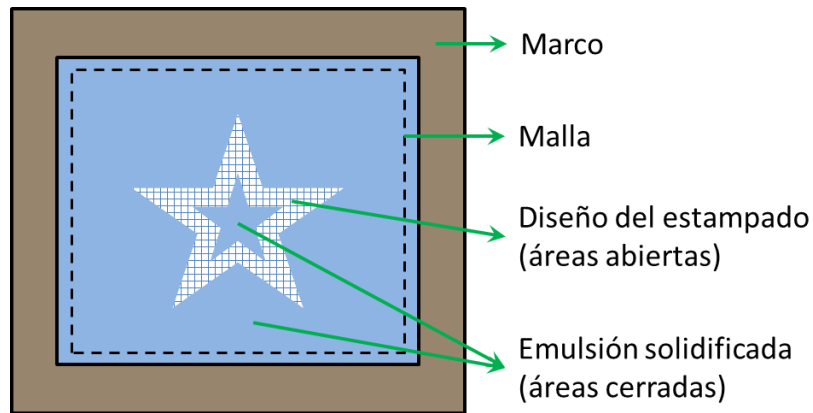
Medición de tensión

Esta labor se realiza teniendo como objetivo controlar el parámetro de tensión en las pantallas serigráficas. Esto se hace con el fin de garantizar la calidad del producto y a su vez proteger a las mallas de las tensiones excesivas que se pueden producir en una prensa mecánica o neumática. Para esto, se emplea un tensiómetro que puede ser mecánico o electrónico, éste se ubica sobre la malla registrando la tensión a través de una sonda. Las unidades que se trabajan actualmente para esta característica se dan en N/cm.

3.2.2.3 Fotograbado

La pantalla serigráfica debe contener áreas abiertas que permitan el paso de la tinta textil y áreas cerradas que delimiten el contorno del estampado. Para bloquear las áreas requeridas por el perfil de la imagen se emplea una técnica conocida como fotograbado, ésta radica en la aplicación de una emulsión fotosensible sobre la malla. Éste es un producto químico de contextura viscosa solidifica ante la presencia de radiación ultravioleta, es decir, se endurece al ser expuesta a la luz ya sea natural o artificial. Por otro lado, el fotolito previamente impreso contiene el diseño en tinta negra, y este se utiliza como filtro de luz en el revelado de la pantalla. El proceso consiste en emulsionar la pantalla, juntarla a la película del positivo y exponerlos a una fuente de luz que generalmente es aportada por una caja de lámparas conocida como reveladora. La emulsión seca en las partes expuestas a la luz y el sobrante se retira posteriormente mediante una limpieza profunda de la pantalla. Este método es muy utilizado porque resulta rápido, sencillo, económico, durable y genera una gran calidad en las impresiones.

Figura 33. Componentes de una pantalla serigráfica.



El fotograbado comprende una serie de pasos consecutivos se pueden resumir como:

- ✓ **Limpieza:** Se realiza la limpieza de la malla con un agente desengrasante retirando todas las impurezas. Posteriormente, se frota la malla con papel y se seca mediante un flujo de aire tibio (menor a 30° C) utilizando un secador manual o un calefactor eléctrico.
- ✓ **Emulsionado:** La emulsión se esparce de forma lineal a lo largo de un borde de la malla y después extiende lentamente usando racleta. Se debe realizar mínimo una pasada por cada lado de la matriz, entre más pasadas se realicen mayor será la definición de la pantalla. Después, se retira el exceso de emulsión y se deja secar al aire libre o en un calefactor eléctrico.
- ✓ **Contacto malla-positivo:** El fotolito o positivo se debe ubicar sobre el vidrio de la reveladora y encima de este se debe situar la pantalla

emulsionada. El contacto se efectúa presionando con fuerza y uniformidad la malla contra la película durante la exposición. La presión necesaria se puede obtener sobreponiendo pesos en la parte superior del conjunto o también utilizando un equipo de vacío.

- ✓ **Exposición:** Se expone la malla emulsionada ante utilizando una caja de luz para endurecerla en un tiempo determinado. Una exposición con el tiempo correcto origina una matriz resistente y bien definida. Cuando hay subexposición se crea una matriz débil quedando suelta y resbalosa, mientras que la sobreexposición solidifica la emulsión en las partes que deberían ser abiertas.
- ✓ **Revelado y revisión:** Esta etapa consiste en retirar la emulsión sobrante en la matriz correspondiente a las áreas abiertas de la pantalla. Primero, se aplica un chorro de agua muy suave sobre la malla, remojándola alrededor de un minuto. Segundo, se vierte agua a presión en forma de abanico sobre la pantalla hasta liberar totalmente las áreas abiertas del diseño. Tercero, se observa el resultado verificando que no existan aberturas en las áreas cerradas ni obstrucciones en las áreas abiertas. Finalmente, la pantalla se compara con el fotolito prestando atención a los detalles de la imagen.
- ✓ **Secado y sellado:** Se seca la pantalla con el contacto de una hoja limpia de papel sin frotarla sobre la malla retirando toda el agua superficial. Se complementa el secado utilizando un secador de cabello o en un gabinete de secado. Las posibles aberturas en la emulsión se reparan utilizando un bloqueador o emulsión retocando por ambas caras. Posteriormente, se sella el ángulo entre los bordes internos del marco y los extremos de la malla con cinta adhesiva para garantizar la impermeabilidad total en los lugares ajenos al diseño de la pantalla.

3.2.3 Estampación

La estampación es la operación de imprimir la imagen vertiendo diferentes tintas sobre la tela. En esta labor se sujeta la pantalla sobre un soporte, después se agrega la tinta en forma paralela al ancho de la pantalla, ésta última se baja contactándola con la tela y se realiza una pasada de tinta utilizando la racleta. Los factores más importantes a tener en cuenta en este paso son las tintas textiles, la selección de racleta, el equipo de soporte y la impresión.

3.2.3.1 Tintas textiles

Las tintas o pinturas textiles son mezclas viscosas pigmentadas que poseen diferentes características según su composición química. Éstas se conforman de compuestos como colorantes, aglutinantes y distintos aditivos como estabilizantes, solventes y suavizantes. Todos estos componentes influyen en propiedades como la adherencia, resistencia, toxicidad, cobertura, color, luminosidad y brillo, entre otras. Las pinturas textiles se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- ✓ **Tintas acrílicas:** Más conocidas como tintas base agua; son las pinturas de mayor facilidad de manejo y preparación. Son económicas, su base y sus pigmentos pueden adquirirse por separado, lo que las hace muy versátiles para trabajar. Este tipo de tinta generalmente seca al aire, brindando sencillez y economía al proceso pues no se requiere de un equipo de secado adicional. Generan un estampado muy natural el cual puede ser planchado sin deteriorarse.

- ✓ **Tintas plastisol:** Se compone de pequeñas partículas de PVC las cuales se funden al aplicar calor sobre ellas formando un elastómero. Entre sus ventajas más importantes se encuentran algunas como la alta definición de los detalles, la obtención de gran cantidad de efectos visuales y el cubrimiento de los estampados en telas oscuras. Este tipo de tinta no se seca a temperatura ambiente, por lo que no se solidifica en su contenedor ni en la pantalla, permitiendo paradas de trabajo prolongadas. Es por esto, que se requieren equipos especiales para su presecado y curado final.

Tabla 3. Criterios de selección de las tintas textiles.

CRITERIO DE SELECCIÓN		TIPO DE TINTA
Tipo de tela	Naturales	<ul style="list-style-type: none"> • Tintas plastisol estándar. • Tintas acrílicas estándar.
	Sintéticas	<ul style="list-style-type: none"> • Tintas plastisol para sintéticos. • Tintas acrílicas con aditivos para sintéticos • Tintas a base solventes para telas sintéticas
	Sintético natural	<ul style="list-style-type: none"> • Tintas plastisol con aditivos para telas sintéticas. • Tintas acrílicas con aditivos para telas sintéticas.
Color de la tela	claras	<ul style="list-style-type: none"> • Tintas normales.
	oscuras	<ul style="list-style-type: none"> • Tintas cubrientes. • Tintas normales sobre base blanca cubriente.
Color del estampado	Color plano	<ul style="list-style-type: none"> • Tinta acrílica o plastisol (color específico).
	Policromía	<ul style="list-style-type: none"> • Tinta normal (azul, magenta, amarillo y negro)
Secado	al aire	<ul style="list-style-type: none"> • Tintas acrílicas de autofijado.
	Termofijado	<ul style="list-style-type: none"> • Tintas acrílicas de termofijado.
	al horno	<ul style="list-style-type: none"> • Tintas plastisol.

Antes de realizar la impresión, es necesario realizar ajustes en la composición de la tinta según requiera su aplicación. Es muy común agregar aditivos y modificadores a la mezcla, los cuales suelen indicarse correctamente por los fabricantes de las pinturas. Es muy importante estar bien informado sobre lo demandado en cada caso y tener disponibilidad de una balanza para medir las proporciones correctas de los agregados. La tinta debe ser mezclada utilizando una espátula de madera o un mezclador para obtener completa uniformidad.

3.2.3.2 Selección de racleta

La racleta o rasero es el instrumento empleado para esparcir la tinta sobre la matriz desplazándola de un extremo a otro, permiten al operario manipular la tinta de forma rápida y eficiente. El largo de la racleta debe ser inferior al ancho del marco de la pantalla para que encaje fácilmente dentro de este y superior al ancho del diseño para que pueda cubrirlo totalmente con tinta en una pasada. Esta herramienta se compone de dos partes que son la manigueta y la goma de poliuretano.

Manigueta

Es el mango de la racleta el cual debe ser ergonómico y liviano, se fabrica con formas redondeadas en materiales como madera o aluminio. En los mangos de madera, la goma se asegura utilizando un pegamento entre las dos partes, mientras que en los de aluminio la goma se asegura fácilmente con tornillos.

Figura 34. Racletas de mangos de aluminio y de madera.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.promcol.com/images/raseros.jpg>>

Goma de poliuretano

Es el material flexible unido a la parte inferior de la manigueta y es el que realiza el contacto con la malla y la tinta textil. La pasada de la tinta se realiza ejerciendo presión sobre la malla obligando a la tinta a pasar por las zonas abiertas. Las características principales de las gomas son su dureza y su corte o perfil. El perfil es la forma del extremo inferior de la goma y este influye en el depósito resultante.

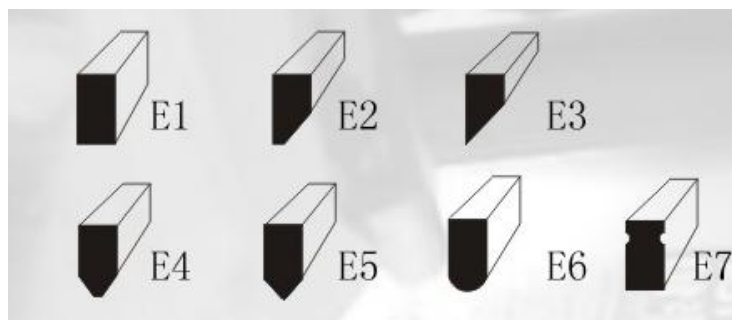
- ✓ **Perfil recto:** Se utiliza para la impresión de la mayoría de los sustratos y permite un paso de tinta medio.
- ✓ **Perfil redondo:** Resulta muy útil para la impresión textil y genera depósitos de tinta muy gruesos.
- ✓ **Perfil biselado:** Mantiene un depósito de tinta constante sobre superficies irregulares.

- ✓ **Perfil doble bisel:** Fue diseñado para imprimir sobre objetos cilíndricos o en situaciones donde no se pueda modificar el ángulo de ataque de la racleta.

Tabla 4. Aplicaciones de las gomas de poliuretano.

DUREZA	CARACTERISTICAS	APLICACIONES
60 shore	Dureza baja	<ul style="list-style-type: none"> • impresión textil
70 shore	Dureza intermedia	<ul style="list-style-type: none"> • impresión textil. • impresión sobre PVC, PAL, PE, PP. • papeles en general.
80 shore	Dureza alta	<ul style="list-style-type: none"> • impresión sobre PVC, PAL, PE, PP. • policarbonatos y plásticos. • vidrios, metales.
90 shore	Dureza muy alta	<ul style="list-style-type: none"> • impresión sobre PVC, PAL, PE, PP. • policarbonatos y plásticos. • vidrios, metales.

Figura 35. Algunos perfiles de las gomas de poliuretano.



Fuente: Disponible en internet: <http://www.ws-china.com/list_x.asp?id=434>

3.2.3.3 Equipo de soporte

El equipo de soporte es el que se emplea para sostener las pantallas y las prendas con las que se va a trabajar. Estos módulos se diseñan para trabajar con una o múltiples pantallas a la vez, ya sea con una organización lineal o circular de las prendas y pantallas. Los equipos de soporte utilizados para estampar por serigrafía textil de forma manual son la mesa de serigrafía, los mesones con riel y topes y los pulpos para impresión textil.

Mesa de serigrafía

Son los equipos más sencillos y económicos, trabajan generalmente con una o dos pantallas pero algunos modelos constan de un número mayor de ellas. Constan de una superficie plana en donde se ubica la prenda a estampar, las pantallas se ajustan en el extremo de un brazo oscilante unido a un resorte. Este último tiene dos funciones, la primera es presionar la pantalla sobre la prenda cuando el operario la baja para estampar, y la segunda es mantener a la pantalla en una posición inclinada hacia arriba cuando esta es levantada.

Mesones con riel y topes

Son mesones anchos y largos utilizados para estampar piezas de tela o telares en rollos desplazándolos de forma lineal. Este mesón lleva soldados a sus lados unos

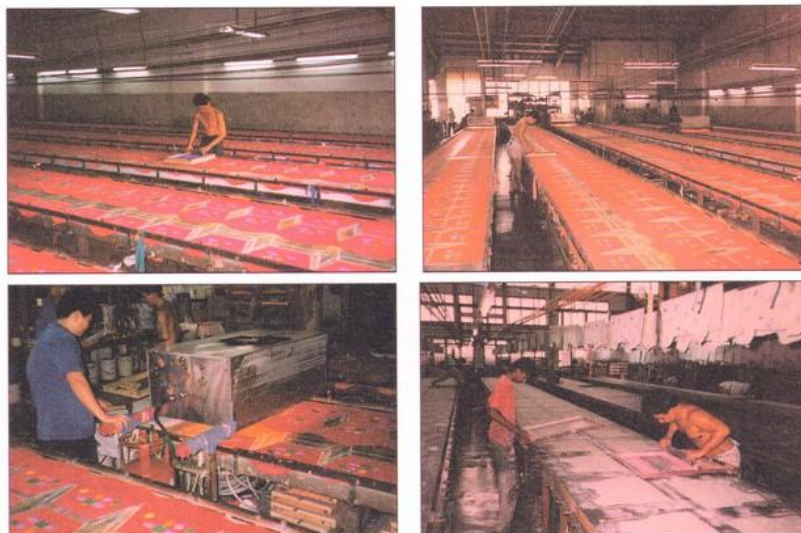
rieles que permiten ajustar los topes que soportan las pantallas serigráficas. Las pantallas se trasladan a lo largo del mesón en forma lineal, para estampar una pieza o segmento de tela a la vez.

Figura 36. Mesa de estampado para serigrafía.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.tobasign.com/foros/viewtopic.php?t=1844>>

Figura 37. Mesones de estampación textil por serigrafía.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.tobasign.com/foros/viewtopic.php?t=5022>>

Pulpos para impresión textil

Este tipo de equipo está diseñado para estampar de forma circular. Posee dos bases giratorias, la base inferior consta de unas paletas utilizadas para ubicar las prendas a estampar, la base superior consta de los mecanismos de soporte de las pantallas. Son denominados pulpos por la cantidad de brazos que poseen a semejanza de los tentáculos de un pulpo. Generalmente tienen capacidad para cuatro pantallas, sin embargo pueden encontrarse modelos con capacidad de hasta ocho pantallas. Estos equipos son muy versátiles pues se le pueden adaptar unidades de secado flash y hornos de curado, lo que permite ahorrar tiempo y espacio en el taller. La distribución de las pantallas admite que sean utilizados por uno o más operarios y el flujo de trabajo es continuo.

Figura 38. Pulpo de estampación.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.camisetasfiestas.es/blog/pulpo-de-serigrafia-tecnicas-de-estampacion/>>

3.2.3.4 Aplicación de tinta

Es la acción como tal de impregnar de tinta el producto textil conformando un diseño ya sea imágenes o texto. Una vez se han seleccionado las tintas y las racletas, y además se tenga a disposición un equipo de soporte para las pantallas serigráficas, se procede a realizar la impresión. En este paso se vierte tinta sobre un extremo con la pantalla y a su vez esta se ubica encima de la prenda presionando hacia abajo. A continuación, se utiliza la racleta para esparcir la tinta realizando una o varias pasadas, después se levanta la pantalla para retirar la prenda y se realiza una contrapasada para reubicar la tinta en el extremo opuesto. Si el estampado es multicolor, la prenda requerirá ser estampada con tantas pantallas como colores posea su diseño, repitiendo el proceso nuevamente para cada uno.

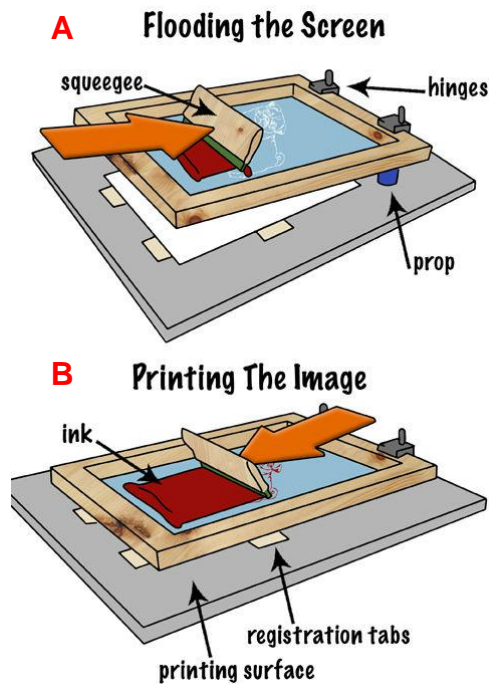
Pasadas de tinta

Las pasadas de tinta involucran variables que determinan la calidad del resultado. Para que el producto sea óptimo, estas se deben mantener en valores constantes, lo que es muy difícil de realizar con la impresión manual. Estas variables son el ángulo de la goma, la presión de la pasada, velocidad de la pasada y la frecuencia de la pasada. Para los estampados textiles se realizan pasadas con un ángulo aproximado de 45° con una presión moderada y uniforme.

Se debe procurar realizar el estampado con la menor presión que sea posible, y esta dependerá de la fluidez y penetración de la tinta. Si la presión es baja la tinta

queda depositada en la superficie de la tela y se puede presentar desprendimiento del estampado por tener poco anclaje. En contraste, si la presión es alta la tinta penetra internamente en las fibras, pero si es excesiva se arrastra la matriz en el sentido de la pasada afectando el registro del estampado.

Figura 39. Entintado e impresión empleando una racleta.



Fuente: Disponible en internet: <http://i01.i.aliimg.com/img/pb/021/270/739/739270021_721.jpg>

La frecuencia de la pasada consiste en la cantidad de pasadas necesarias para realizar la impresión con un paso de tinta consistente. Lo ideal es lograr una buena impresión con una pasada de la racleta, pero de requerir dos o más pasadas hay

que tener la precaución de realizarlas en el mismo sentido, de lo contrario se pueden presentar descalces de colores.

El entintado se realiza a través de una contrapasada depositando una capa de tinta delgada y uniforme sobre la malla (máximo 4 mm). Cabe resaltar que esta no es una pasada de impresión, pero si se realiza inmediatamente después de una de éstas en sentido contrario.

3.2.4 Secado

Es muy importante tener en cuenta este factor porque influye en gran medida en el equipamiento, tiempos de producción y el espacio necesario para el taller de serigrafía.

3.2.4.1 Secado de tintas serigráficas

En el secado de las pinturas textiles tiene que ver directamente su composición puesto que son una mezcla de diferentes compuestos y aditivos químicos. En consecuencia, la naturaleza de la tinta influye en el secado y en el tipo de reacción que se presenta para que esto ocurra. Entonces, el proceso de secado en la serigrafía involucra diferentes reacciones químicas como son: absorción, evaporación, polimerización, oxidación y fusión.

Evaporación

En este caso el secado se efectúa por la evaporación de los componentes líquidos de la tinta, como ocurre en los siguientes dos casos:

- ✓ **Evaporación del solvente:** Este caso se presenta en las tintas hechas a base de solventes. Aquí, se utilizan bandejas de secado ya sean libres o unidas a una estructura móvil, también suele aplicarse aire caliente en túneles de secado.
- ✓ **Evaporación de agua:** Este es el caso de las muy conocidas tintas base agua, en donde requieren de secado al aire y luego polimerización. Hay un tipo de tintas acrílicas que realizan estas dos etapas de secado al aire libre y se denominan autorreticulables. Por otro lado, a las pinturas que requieren calor para realizar la polimerización se les realiza el proceso de termofijado, en donde se aplica presión y calor por un tiempo determinado.

Polimerización

El polimerizado es la formación de moléculas grandes a partir de la unión de dos o más moléculas pequeñas, dando como resultado el mejoramiento de las características físicas del compuesto, como son la cohesión, adhesión, estabilidad y resistencia. El polimerizado puede presentarse en tres tipos:

- ✓ **Catalización:** En las tintas epóxicas se evapora el solvente seguido de la reacción química realizada por el catalizador y la base de resina produciendo el polimerizado. Así mismo, las tintas textiles acrílicas de autopolimerización o autorreticulación secan totalmente en un periodo de 72 horas.

- ✓ **Termofijado:** este proceso se realiza con tintas a base de resinas acrílicas luego de realizar el secado por evaporación de agua, polimerizando con presión y calor en un rango de temperatura de 120° a 150° C.

- ✓ **Radiación ultravioleta:** El calor emitido por una fuente de radiación UV ocasiona que se presente una fusión entre los componentes de la tinta formando un polímero. El producto obtenido adquiere mayor resistencia y presenta consistencia plástica perdiendo su fluidez.

Oxidación

En esta reacción primero ocurre la evaporación del solvente, luego el aceite contenido en la pintura se oxida en contacto con aire lo que ocasiona su endurecimiento. Esto se evidencia con la utilización de algunas tintas a base de solventes en aplicaciones como la impresión de papel, madera y metales.

Fusión

Consiste en la combinación de diferentes compuestos para formar uno nuevo, en las tintas serigráficas se presentan las dos reacciones siguientes:

- ✓ **Fusión Tinta-Soporte:** El solvente penetra en el material y se fusiona con el mismo, como sucede con las tintas para PVC.
- ✓ **Fusión resina-plastificante:** Cuando la pintura se expone a una temperatura de 160° C, las partículas de PVC se funden con el plastificante cambiando a estado sólido con características plásticas.

3.2.4.2 Equipo de secado

Se utiliza cuando las tintas textiles utilizadas en serigrafía requieren un secado diferente al realizado al aire libre. Estos dispositivos son empleados para cumplir las funciones de presecado y secado final. La primera se realiza para dar mayor firmeza a la tinta húmeda recién estampada para poder aplicar otros colores sobre la prenda sin dañar el trabajo realizado previamente. La segunda es el proceso de secado o curado final que le da terminación a la prenda al fijar firmemente las pinturas para evitar su desprendimiento. Los equipos utilizados para secado son:

- ✓ **Presecado:** Unidad flash.
- ✓ **Secado:** Plancha térmica, horno de curado.

Unidad flash

Este dispositivo se utiliza para el presecado de las tintas plastisol cuando el estampado requiere de la aplicación de diferentes colores. Se compone de una base con ruedas, una columna extensible y una campana con elementos calefactores en su parte superior. El calentamiento se obtiene mediante radiación infrarroja, que es emitida por resistencias eléctricas o lámparas infrarrojas que realizan el presecado en cuestión de pocos segundos.

Figura 40. Unidad de presecado flash.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.grupok-2.com/FLASH-PRESECADO-DE-ALTURA-REGULABLE-3000W>>

Estas unidades suelen ubicarse sobre uno de los brazos de un pulpo o una estación en una mesa de estampación lineal consecutivamente a un operario. Entonces, un operario estampa las prendas en un color que luego pasan a la unidad de flash para el presecado, posteriormente se les vuelve a agregar una capa de pintura con un color diferente. Este proceso se realiza repetidas veces hasta completar la aplicación de todos los colores presentes en el diseño del estampado. Finalmente, se envía la prenda al horno curado o a la plancha térmica.

Plancha térmica

Este equipo se emplea para realizar el termofijado de las tintas textiles, el cual se realiza aplicando presión y temperatura. Se emplea para el secado de tintas acrílicas en prendas previamente estampadas o también para realizar estampados por termotransferencia. Su construcción incluye dos placas metálicas de calentamiento las cuales se presionan de forma manual mediante un brazo o de forma semiautomática por acción neumática. Para ejercer control sobre el proceso contienen internamente un termómetro y un termostato para detectar así la temperatura y el tiempo de secado.

En su funcionamiento, las prendas deben ser ubicadas y presionadas en el espacio comprendido entre las dos placas. Sin embargo, el contacto directo con el metal puede llegar a dañar la prenda por su alta conductividad térmica. Por esta razón, se utilizan diferentes papeles especiales como protección entre las placas metálicas y la tela, los cuales brindan diferentes acabados según su textura y rugosidad.

Figura 41. Plancha térmica manual para termofijado.



VisualLightBox.com

Fuente: Disponible en internet: <<http://www.senande.com/maquinaria.html>>

Horno de curado

También conocido como túnel de secado u horno de fijación, es un equipo utilizado para realizar el secado final de las prendas estampadas, operación que en su mayoría equivale al curado de tintas plastisol. Esta máquina es muy versátil puesto que se pueden trabajar estampados con diferentes tintas como son el plastisol, las tintas base agua y a su vez el adhesivo para flocado. La operación de este dispositivo es totalmente automática, simplemente hay que establecer los parámetros de operación y alimentar la banda transportadora con prendas estampadas.

Los componentes principales de un túnel de secado son una banda transportadora especial que soporta alta temperatura y un horno ubicado en su parte superior. El calor dentro de la cámara del horno puede ser aportado por elementos como resistencias térmicas, calentadores a gas o comúnmente lámparas infrarrojas. Para garantizar la calidad del producto se debe realizar el secado en condiciones de temperatura y tiempo específicas. Para esto la maquina consta de un sistema de control de temperatura realimentado que censa esta variable y emite acciones correctivas con el fin de mantenerla en un valor contante. Adicionalmente, la banda transportadora tiene integrado un regulador de velocidad que permite determinar el tiempo de secado en la máquina al asociarla con el largo de la cámara del horno.

Figura 42. Horno de curado para estampación textil.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.printa.com/catalog/screen-printing-equipment/770-deluxe-plus-screen-printing-system>>

3.2.4.3 Especificaciones de secado

Las tintas textiles son elaboradas por diferentes fabricantes, por lo que su composición química no es un estándar. Además, el hecho de agregarle aditivos y auxiliares en el taller de estampado modifica aún más sus propiedades. Es por esto que no se puede establecer un valor con exactitud para las variables del secado de las pinturas. Sin embargo, se conocen algunos rangos de trabajo normales para los tipos de tintas más utilizados, los cuales se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 5. Propiedades generales para el secado de tintas textiles.

PROPIEDADES DEL SECADO		TIPO DE TINTA TEXTIL		
		Plastisol	Acrílica o base agua	
			Autorreticulable	Termofijable
Reacción química		Fusión	Polimerización	Polimerización
Presecado	Tiempo	[10-15] s	-	[24-72] horas
	Temperatura	[80-110]° C	-	Ambiente
	Equipo	Unidad flash	-	-
Secado	Tiempo	[30 s – 2 min]	[24-72] horas	[60-80] s
	Temperatura	[140-180]° C	Ambiente	[150-175]° C
	Equipo	Horno de curado	Mesones	Plancha térmica

4. PROCESO DE DISEÑO

El túnel de secado debe ser un equipo que automatice la operación de curar estampados textiles. Su funcionamiento consiste en el transporte de prendas a través de la cámara del horno, garantizando las condiciones requeridas para el curado de diferentes tintas textiles. Esto resulta de la interacción de diferentes componentes de características mecánicas, térmicas, eléctricas y lógicas.

4.1 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

Existen algunas condiciones de operación que se deben establecer para el diseño del túnel de secado. Las cuales se relacionan con magnitudes geométricas y parámetros de funcionamiento. Las características generales se muestran a continuación:

- ✓ Capacidad de producción de 50 prendas por hora.
- ✓ Sistema de transporte con velocidad variable correspondiente al tiempo de curado de las tintas textiles (entre 0 y 150 cm/min).
- ✓ Sistema de calefacción basado en lámparas de radiación infrarroja de 13 W/cm.
- ✓ Sistema de control de temperatura de ambiente de horno (entre 70°C y 190°C).
- ✓ Alimentación eléctrica monofásica de 120 V.
- ✓ Banda transportadora con dimensiones de 0,5 m de ancho por 1,5 m de largo.

4.2 DESARROLLO CONCEPTUAL

El transporte de las prendas a través del horno se realiza mediante una banda transportadora, la cual debe estar fabricada de un material que soporte la temperatura de operación del mismo. Esta etapa es accionada por un motor eléctrico y su velocidad es determinada por el tiempo de curado de los estampados. Por otra parte, el horno contendrá elementos calefactores que suministren el calor necesario, ya que la temperatura es establecida por el tipo de tinta textil que se utilice. En adición, se requiere de una programación lógica para el control de los parámetros de operación, la cual se realizará en un PLC.

4.2.1 Evaluación de alternativas

Teniendo en cuenta el planteamiento anterior, existen diferentes materiales y dispositivos que pueden satisfacer las condiciones establecidas para la operación del equipo. Los componentes más relevantes para la construcción tienen que ver directamente con los sistemas térmico, mecánico y eléctrico, a su vez de la programación lógica. Principalmente, se presentarán alternativas de diseño para los componentes del sistema de control de temperatura, sistema de control de velocidad, los elementos de calefacción y el material de la banda transportadora. En cada caso, se escogerá la mejor posibilidad haciendo un enfoque en las necesidades del taller de confecciones para el cual se realiza este proyecto. Finalmente, se plantean las siguientes opciones de selección:

Tabla 6. Opciones de selección de componentes del equipo.

Componentes	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Control de temperatura	Programación de un control ON-OFF	Programación de un control PID	No aplica
Control de velocidad	Programación de un control de lazo abierto utilizando un motor paso a paso	Programación de un control PID regulando la velocidad de un motorreductor eléctrico	No aplica
Elementos de calefacción	Lámparas infrarrojas	Resistencias eléctricas	Gas natural
Material de la banda transportadora	Malla con recubrimiento PTFE	Banda siliconada	No aplica

4.2.2 Descripción de la solución

Los componentes determinados a través de la evaluación de alternativas brindan ciertas ventajas a la solución de diseño del equipo. Estos elementos y sus características principales son mencionados a continuación:

4.2.2.1 Control de temperatura.

Se escoge el control de temperatura PID (proporcional-integral-derivativo) por ser una estrategia de control de lazo cerrado muy confiable. Este se utiliza en aplicaciones en donde la salida del sistema es influenciada por la acción de diversas perturbaciones significativas. A su vez, estas requieren de una acción de corrección que mantengan la variable deseada lo más cercana posible al valor de la consigna.

4.2.2.2 Material de la banda transportadora.

La opción ganadora en este caso es la banda transportadora hecha de malla de teflón y fibra de vidrio. Esto se debe no solo a que es el tipo de material utilizado para esta aplicación específica, ya que también corresponde el hecho de ser más económica que la alternativa contendora. Además, posee cualidades operativas benéficas como son su bajo peso, su facilidad de implementación, la factible adaptación a las dimensiones requeridas y por supuesto, su resistencia a la temperatura.

4.2.2.3 Elementos de calefacción.

Se establece la opción de lámparas infrarrojas de cuarzo nublado con filamento de ferro-níquel como sistema de calefacción, ya que presenta ciertas ventajas sobre los otros medios de generación de calor. Principalmente, son el tipo más común

de lámparas infrarrojas que se encuentra en el país. A su vez, su costo es moderado y su adquisición se realiza fácilmente. En términos de operación, generan una potencia emisiva de 13 W/cm y se fabrican a la medida según los requerimientos del cliente. Se alimentan con energía eléctrica de una fuente monofásica (110-120 VAC) la cual está presente en cualquier tipo de taller textil. El control de su emisión de calor se puede efectuar rápidamente mediante la variación de su voltaje de alimentación. Sus aplicaciones se ven reflejadas en la industria en general, en diversos procesos de secado de tintas, pinturas, textiles, recubrimientos y lacas, entre otros.

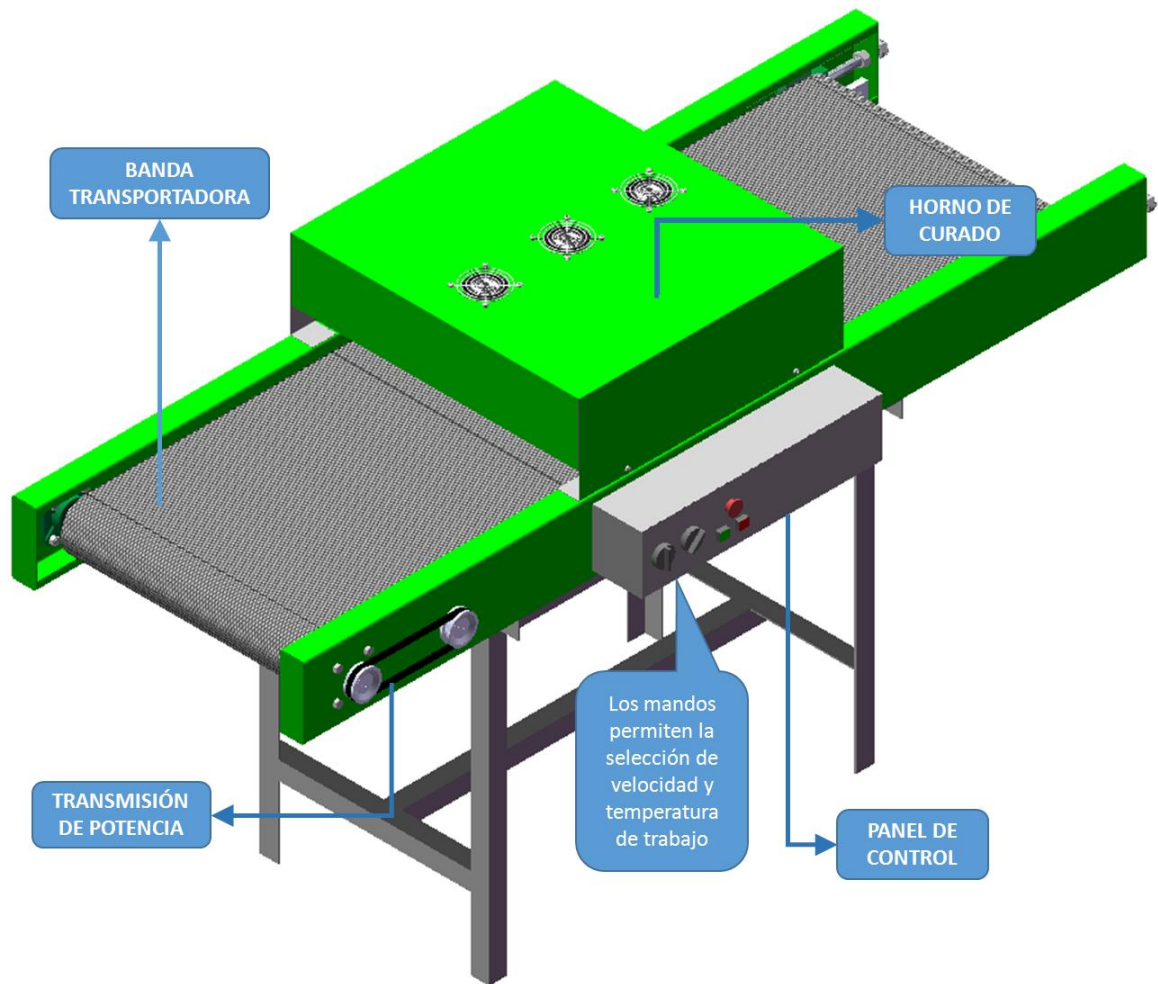
4.2.2.4 Control de velocidad.

Este subsistema se establece según las características de operación, en donde la estrategia de control de lazo abierto resulta más sencilla, práctica y económica. Esto se debe al funcionamiento de la banda transportadora, que al trabajar con bajas velocidades y cargas muy livianas, requiere de una transmisión mecánica de bajas revoluciones y poca potencia. Por lo tanto resulta conveniente la implementación de un motor paso a paso ya que este permitiría regular la velocidad por medio de una señal de pulsos eléctricos. Además, se puede seleccionar un motor para las especificaciones necesarias en este caso, y con esto se logra ahorrar más energía en comparación a la aplicación de un motorreductor. Al mismo tiempo, el peso de la carga (prendas estampadas) es demasiado bajo, de donde se puede concluir que no se tendrán perturbaciones considerables en el control de velocidad.

4.2.3 Modelado virtual

En esta etapa se plasman todas las ideas en una representación virtual realizada mediante el software SolidWorks, exponiendo todo el análisis conceptual. En primer lugar se presenta el conjunto total de los sistemas del equipo, que consiste en el ensamble de todos los componentes:

Figura 43. Diseño conceptual del horno en vista isométrica.



Por otra parte, la cámara del horno de curado se compone del conjunto de las lámparas infrarrojas, los reflectores de calor, las cubiertas de ventilación, los ventiladores y la carcasa del horno. El principio de funcionamiento radica en la generación de calor por parte de las lámparas, emitiendo calor de forma radial a su superficie. Los reflectores de calor se proyectan de tal manera que se aproveche la energía que se emite sobre la parte superior de las lámparas. Sin embargo estos se calentaran y podrían concentrar más calor del necesario, por lo que se requiere de un flujo de aire de ventilación para mantener condiciones constantes de operación. Este flujo será aportado por ventiladores ubicados en la parte superior de la carcasa del horno, y a su vez, será canalizado sobre los reflectores gracias a las cubiertas de ventilación.

Figura 44. Vista isométrica en corte de la cámara del horno.

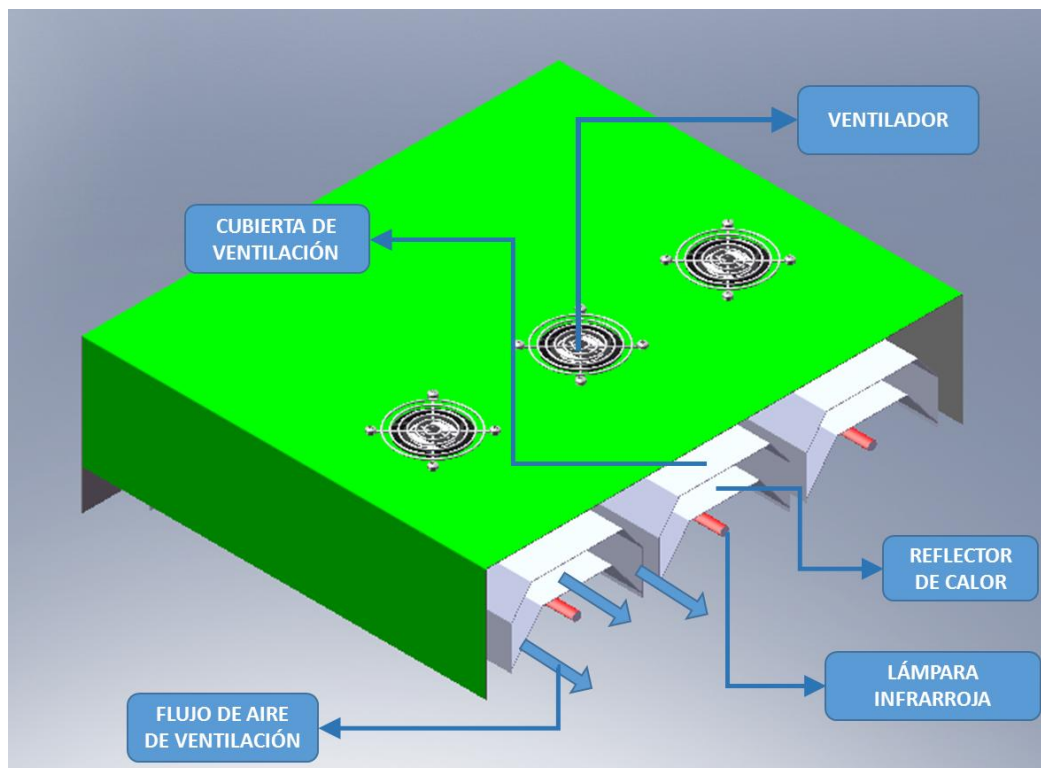
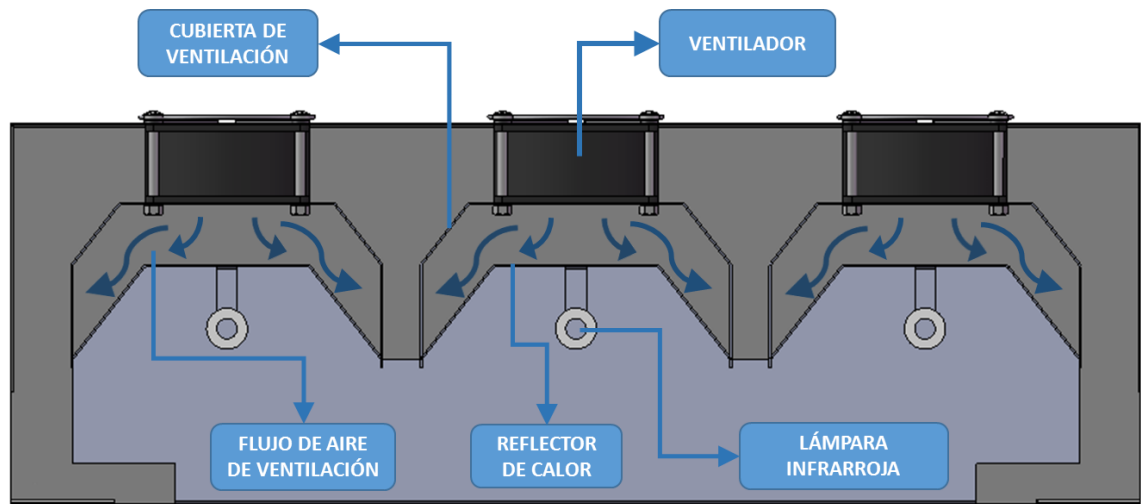
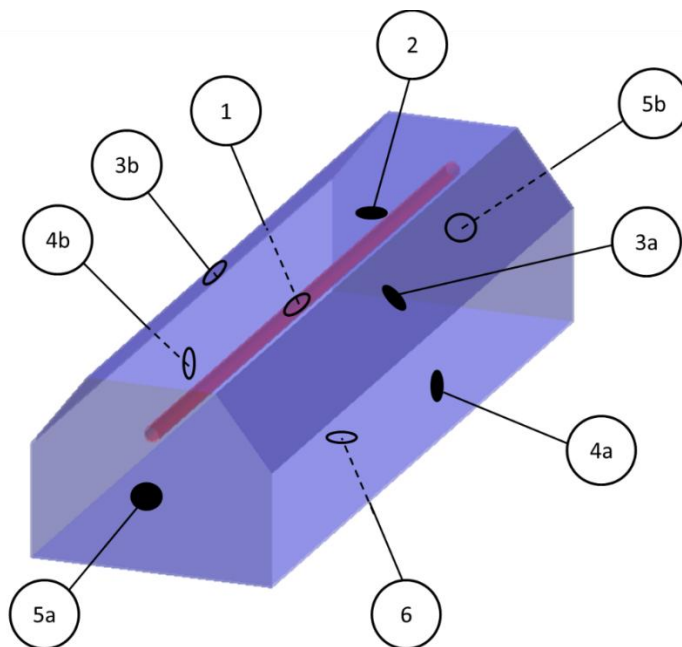


Figura 45. Vista lateral en corte de la cámara del horno de curado.



Los reflectores de calor presentan la siguiente disposición geométrica:

Figura 46. Numeración de las superficies del reflector de calor.

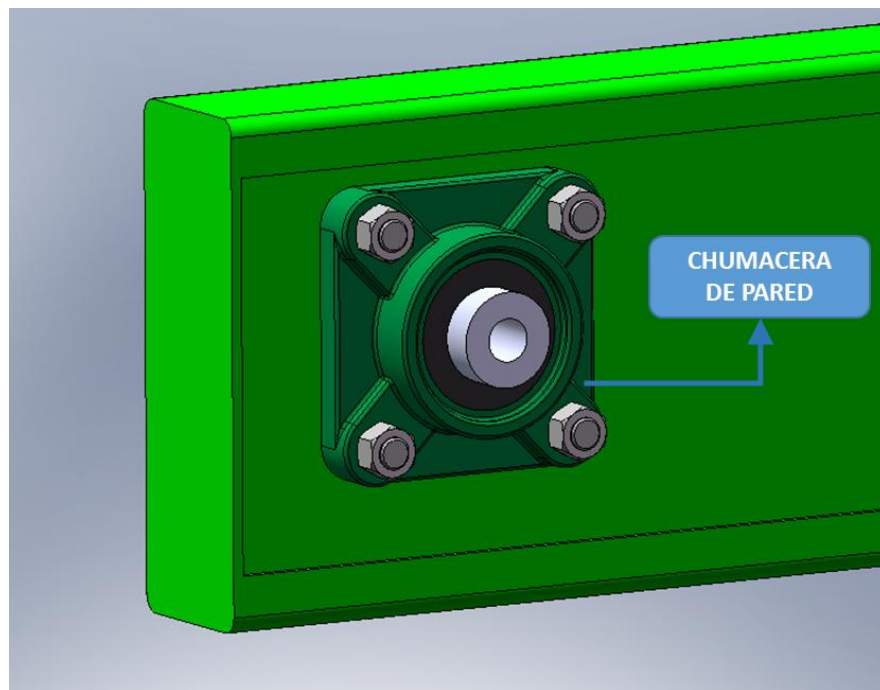


La descripción de las superficies expuestas en la imagen anterior es:

- 1: Superficie cilíndrica de la lámpara infrarroja.
- 2: Superficie superior o cara plana del reflector.
- 3a y 3b: Superficies inclinadas del reflector.
- 4a y 4b: Superficies libres o superficies abiertas.
- 5a y 5b: Superficies laterales del reflector.
- 6: Superficie inferior que representa a la banda transportadora.

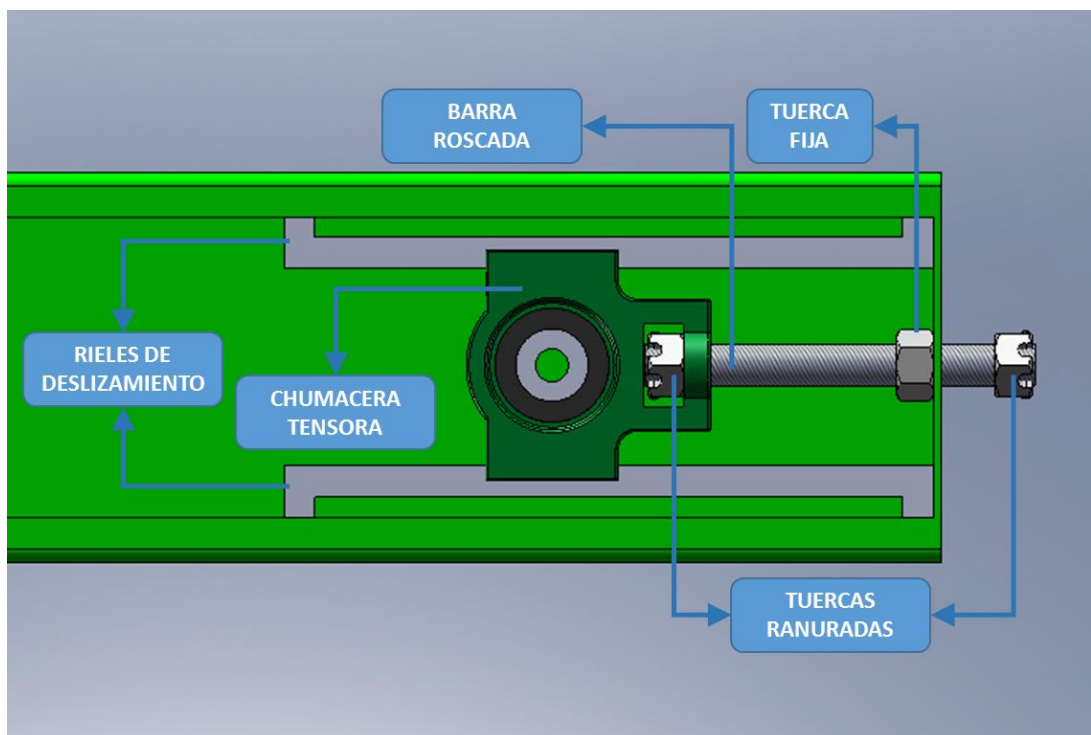
Acerca del concepto mecánico, se tendrá una transmisión de potencia entre el motor y el tambor motriz. Este último se apoya en chumaceras de parche o de pared, situadas sobre los perfiles en C.

Figura 47. Elemento de apoyo del tambor motriz.



El rodillo tensor de la banda transportadora tendrá las mismas dimensiones del tambor motriz para facilitar su manufactura. Los apoyos del rodillo tensor consisten en chumaceras tensoras ubicadas dentro de un mecanismo que permite templar la banda. Este mecanismo contiene unos rieles en sus partes superior e inferior que brindan libertad al desplazamiento lineal de la chumacera, el cual se realiza mediante el ajuste de la barra roscada que va hasta el exterior del perfil en C. El perfil tendrá una placa en su extremo a la cual se suelda una tuerca fija. La barra roscada tendrá tuercas ranuradas en ambos extremos fijadas con pines, al girar la tuerca del lado exterior girará todo el conjunto de la barra roscada y se presentará el desplazamiento del apoyo.

Figura 48. Montaje del elemento de apoyo del rodillo tensor.



4.3 DISEÑO DETALLADO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

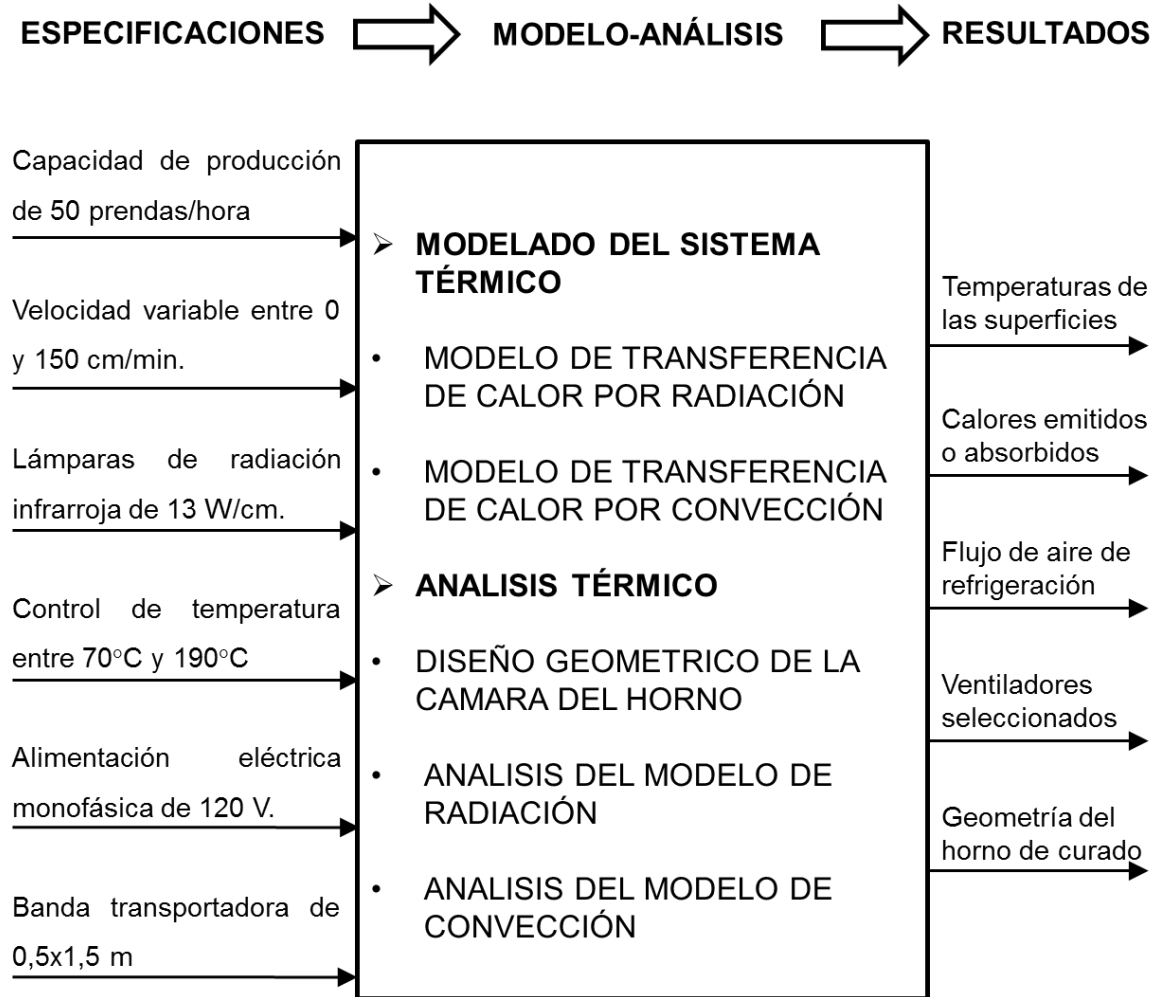
En esta sección se realiza el análisis detallado de los componentes del horno. Partiendo de las especificaciones generales se plantean condiciones específicas para el diseño de los diferentes sistemas (térmico, mecánico, eléctrico y lógico). A partir de esto se proyectan modelos de estudio que relacionen los fenómenos físicos involucrados con el funcionamiento de cada componente. Posteriormente, se realiza un análisis efectuando los cálculos necesarios para el dimensionamiento y/o la selección de cada elemento.

4.3.1 Diseño térmico

Se puede decir que el estudio del sistema térmico presente dentro del túnel de secado es el aspecto más importante a tener en cuenta en el diseño del mismo. Esto se debe a que es necesario garantizar las condiciones del ambiente de la cámara del horno, las cuales son requeridas para el secado de cada tipo de tinta textil utilizada en serigrafía.

El diseño térmico consiste en retomar las especificaciones de diseño nombradas en el numeral 4.1 y a partir de ellas, elaborar los modelos teóricos necesarios para el dimensionamiento de la cámara del horno de curado. Así, el análisis térmico expondrá los cálculos matemáticos y simulaciones realizadas en búsqueda del cumplimiento de los requerimientos térmicos, brindando resultados aplicables al diseño y la construcción del equipo.

Figura 49. Diagrama de proceso del diseño térmico.



4.3.1.1 Especificaciones térmicas

En esta sección se mencionan las especificaciones necesarias para el diseño térmico del horno de curado, las cuales parten de los requerimientos generales. En este caso, estas imposiciones serán:

- ✓ Capacidad de producción de 50 prendas por hora.
- ✓ Sistema de transporte con velocidad variable correspondiente al tiempo de curado de las tintas textiles (entre 0 y 150 cm/min).
- ✓ Sistema de calefacción basado en lámparas de radiación infrarroja de 13 W/cm.
- ✓ Sistema de control de temperatura de ambiente de horno (entre 70°C y 190°C).
- ✓ Alimentación eléctrica monofásica de 120 V.
- ✓ Banda transportadora con dimensiones de 0,5 m de ancho por 1,5 m de largo.

4.3.1.2 Modelado del sistema térmico

Esta etapa es fundamental ya que aquí se realiza la investigación teórica acerca de la interpretación de los fenómenos físicos involucrados en el funcionamiento del horno de curado. Debido a que se planea establecer el sistema de calefacción a partir de lámparas de radiación infrarroja como fuente de calor dentro de un recinto cerrado, es necesario plantear dos modelos de transferencia de calor. Éstos últimos serán los modelos de transferencia de calor por radiación y por convección.

Modelo de transferencia de calor por radiación

En el desarrollo conceptual se planteó el funcionamiento básico del túnel de secado, en donde la prenda será transportada por una banda a través de un horno ubicado en su parte superior. El sistema de calefacción será basado en lámparas infrarrojas, las cuales irradian calor hacia sus alrededores en múltiples direcciones. Teniendo en cuenta estos aspectos, se realiza el modelo de transferencia de calor por radiación, el cual menciona los principios teóricos por los cuales se presenta este intercambio de energía. De esta manera, se ilustrará la interacción de los diferentes elementos presentes en un recinto cerrado sometido a radiación, haciendo enfoque en sus propiedades físicas y características geométricas.

Intercambio de radiación entre superficies grises

Las superficies grises presentan un comportamiento real debido a que reflejan parte del calor y presentan una absorción parcial. La ecuación para la transferencia neta de radiación entre superficies grises, difusas, en un recinto, se expresa como¹

$$Q_i = \frac{(E_{bi} - J_i)}{(1 - \varepsilon_i)/(\varepsilon_i * A_i)}$$

¹ INCROPERA, Frank P. Fundamentos de transferencia de calor. 4 ed. México: Prentice Hall, 1999. p. 732.

Dónde:

Q_i : *Transferencia neta de radiación en la superficie i.*

E_{bi} : *Potencia emisiva para un cuerpo negro.*

J_i : *Radiosidad superficial de la superficie i.*

ε_i : *Emisividad superficial de la superficie i.*

A_i : *Área de la superficie i.*

El denominador de la expresión anterior representa a la resistencia radiativa superficial R_{Ti} . Su magnitud es conocida ya que depende únicamente de la geometría y del material de la superficie:

$$R_{Ti} = \frac{1 - \varepsilon_i}{(\varepsilon_i * A_i)}$$

Por otro lado, la fórmula para calcular la potencia emisiva de un cuerpo negro es:

$$E_{bi} = \sigma * T_i^4$$

Dónde:

T_i : *Temperatura absoluta de la superficie i [K].*

σ : *Constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} [W/(m^2 * K^4)]$)².*

² INCROPERA, Frank P. Fundamentos de transferencia de calor. 4 ed. México: Prentice Hall, 1999. p. 9.

Intercambio de radiación dentro de un recinto cerrado

El calor total irradiado por un área específica dentro de un recinto se puede considerar como la suma del calor transferido por ésta hacia las demás áreas del recinto. Dicho esto, La transferencia neta de radiación desde la superficie i , Q_i , es igual a la suma de componentes Q_{ij} relacionados con el intercambio radiativo con las otras superficies³:

$$Q_i = \sum_{j=1}^N Q_{ij} = \sum_{j=1}^N A_i * F_{ij} * (J_i - J_j)$$

O también:

$$Q_i = \sum_{j=1}^N \frac{J_i - J_j}{(A_i * F_{ij})^{-1}}$$

Dónde:

Q_i : *Transferencia neta de radiación en la superficie i .*

Q_{ij} : *Transferencia de radiación de la superficie i a la superficie j .*

A_i : *Área de la superficie i .*

F_{ij} : *Factor de visión de la superficie j respecto a la superficie i .*

J_i : *Radiosidad superficial de la superficie i .*

J_j : *Radiosidad superficial de la superficie j .*

³ INCROPERA, Frank P. Fundamentos de transferencia de calor. 4 ed. México: Prentice Hall, 1999. p. 733.

En la función anterior, el término $(A_i * F_{ij})^{-1}$ representa una resistencia espacial o geométrica.

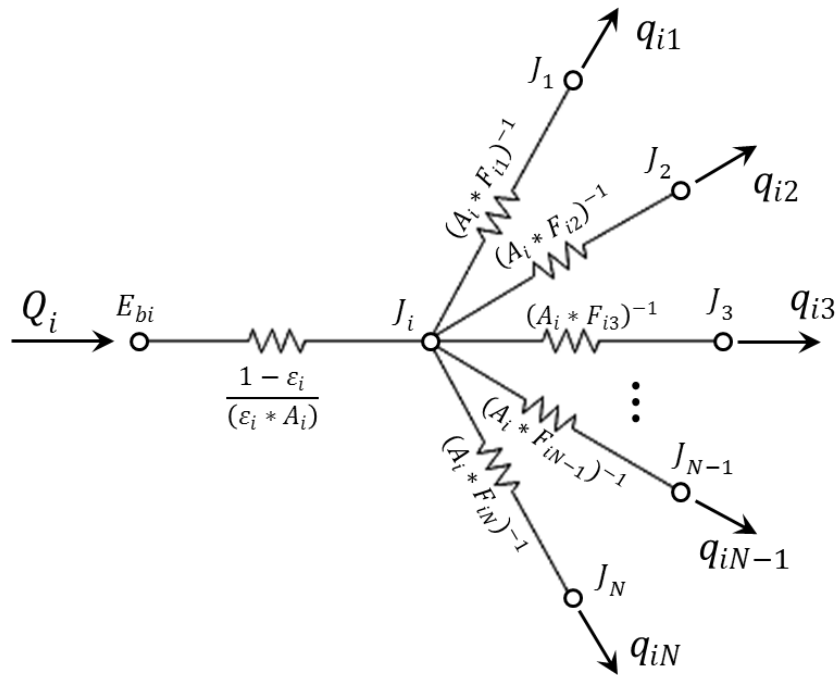
Ecuación general del modelo de radiación

El modelo de estudio de radiación para este caso consiste en el intercambio radiativo entre superficies grises pertenecientes a un recinto cerrado. Debido a esto, la función general del modelo es la combinación de las ecuaciones presentadas anteriormente. En esta última, la transferencia neta de calor de la superficie i , Q_i será:

$$\frac{(E_{bi} - J_i)}{R_{Ti}} = \sum_{j=1}^N A_i * F_{ij} * (J_i - J_j)$$

Lo anterior indica un balance de energía en el nodo de i del modelo en red para el intercambio de radiación del recinto. Este modelo se ilustra en la siguiente figura:

Figura 50. Red de intercambio de radiación en un recinto cerrado.



Factores de visión

El factor de visión o factor de forma F_{ij} se define como la fracción de la radiación que sale de la superficie i que es interceptada por la superficie j ⁴. La ecuación para calcular el factor de forma entre las superficies i, j es la siguiente⁵:

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \iint \frac{\cos \theta_i * \cos \theta_j}{\pi * R^2} * dA_i * dA_j$$

⁴ INCROPERA, Frank P. Fundamentos de transferencia de calor. 4 ed. México: Prentice Hall, 1999. p. 718.

⁵ INCROPERA, Frank P. Fundamentos de transferencia de calor. 4 ed. México: Prentice Hall, 1999. p. 719.

Dónde:

F_{ij} : Factor de forma de la superficie j respecto a la superficie i .

A_i : Área de la superficie i .

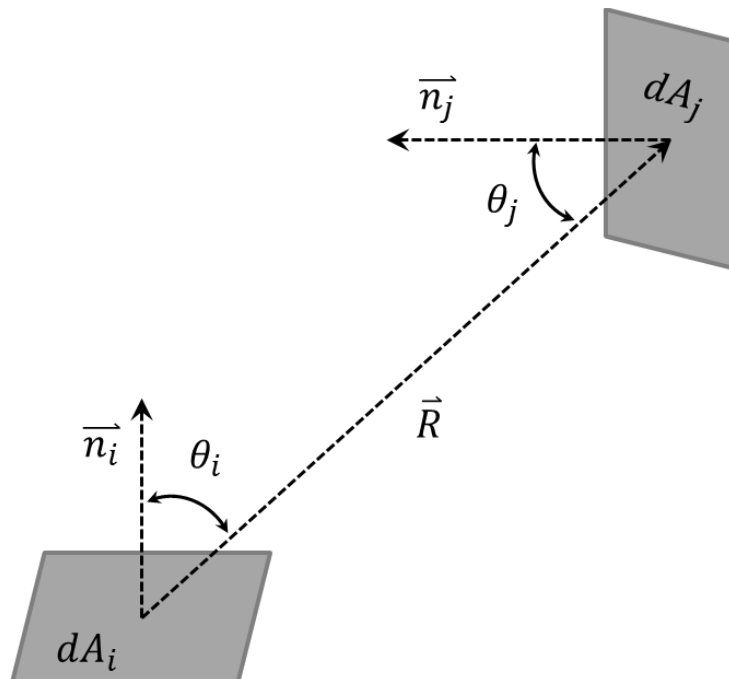
A_j : Área de la superficie j .

θ_i : Ángulo entre el vector R y el vector normal al diferencial de área i .

θ_j : Ángulo entre el vector R y el vector normal al diferencial de área j .

R : Vector entre los diferenciales de área de las superficies.

Figura 51. Análisis vectorial entre superficies en el espacio.



Los ángulos entre los vectores normales de los diferenciales de área y el vector R se pueden determinar a través del producto escalar de vectores. Por definición, si θ es el ángulo no negativo más pequeño entre los vectores no nulos u y v , entonces:⁶

$$\vec{u} \cdot \vec{v} = \|u\| \|v\| \cos \theta$$

Por consiguiente, los cosenos de los ángulos θ_i y θ_j se calculan así:

$$\cos \theta_i = \frac{\vec{n}_i \cdot \vec{R}}{\|n_i\| \|R\|} \quad \cos \theta_j = \frac{\vec{n}_j \cdot \vec{R}}{\|n_j\| \|R\|}$$

Dónde:

n_i : *Vector normal al diferencial de área i .*

n_j : *Vector normal al diferencial de área j .*

Los vectores normales y el vector R son vectores en el espacio, y por lo tanto tienen componentes en cada uno de los ejes cartesianos (x , y , z). Por consiguiente, éstos vectores se pueden escribir así:

⁶ PURCELL, Edwin J.; VARBERG, Dale; RIGDON, Steven E. Cálculo. 9 ed. México: Pearson Educación, 2007. p. 567.

$$\vec{n}_i = n_i \hat{i} + n_i \hat{j} + n_i \hat{k}$$

$$\vec{n}_j = n_j \hat{i} + n_j \hat{j} + n_j \hat{k}$$

$$\vec{R} = R \hat{i} + R \hat{j} + R \hat{k}$$

Todos los anteriores son vectores directores, las componentes de las normales se determinan teniendo como referencia el diferencial de área respectivo. Por otro lado, las componentes del vector R se determinan calculando la posición del diferencial dA_j respecto al diferencial dA_i . En consecuencia, el vector R es:

$$\vec{R} = (x_j - x_i)\hat{i} + (y_j - y_i)\hat{j} + (z_j - z_i)\hat{k}$$

La magnitud de un vector es la longitud de la flecha que lo representa, si la flecha inicia en el origen y termina en (u_1, u_2, u_3) , entonces su longitud puede determinarse con facilidad con base en la fórmula de la distancia:⁷

$$\|u\| = \sqrt{(u_1 - 0)^2 + (u_2 - 0)^2 + (u_3 - 0)^2} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}$$

⁷ PURCELL, Edwin J.; VARBERG, Dale; RIGDON, Steven E. Cálculo. 9 ed. México: Pearson Educación, 2007. p. 563.

Entonces, la magnitud de cada vector será:

$$\|n_i\| = \sqrt{(n_i \hat{i})^2 + (n_i \hat{j})^2 + (n_i \hat{k})^2}$$

$$\|n_j\| = \sqrt{(n_j \hat{i})^2 + (n_j \hat{j})^2 + (n_j \hat{k})^2}$$

$$\|R\| = \sqrt{\left((x_j - x_i)\hat{i}\right)^2 + \left((y_j - y_i)\hat{j}\right)^2 + \left((z_j - z_i)\hat{k}\right)^2}$$

Propiedades del factor de visión

Como el factor de visión se caracteriza por ser un elemento puramente geométrico, existen propiedades que permiten relacionarlos entre si según las áreas o las formas de las superficies involucradas.

La siguiente expresión, que se denomina relación de reciprocidad, es útil para determinar un factor de forma a partir del conocimiento de otro⁸.

$$A_i * F_{ij} = A_j * F_{ji}$$

⁸ INCROPERA, Frank P. Fundamentos de transferencia de calor. 4 ed. México: Prentice Hall, 1999. p. 719.

Una relación importante del factor de forma pertenece a las superficies de un recinto y se conoce como la regla de la suma⁹:

$$\sum_{j=1}^N F_{ij} = 1$$

El término F_{ij} que aparece en esta suma representa la fracción de la radiación que sale de la superficie i y que es interceptada directamente por j , para una superficie plana o convexa F_{ij} equivale a cero¹⁰.

Modelo de transferencia de calor por convección

En la aplicación del horno de curado, el modelo de radiación sirve para predecir la cantidad de calor que debe ser retirada de las superficies de los componentes internos del mismo. De esta manera, al mantener esta tasa de transferencia de calor constante, se garantizaran las condiciones de operación planteadas en las especificaciones de diseño. Entonces, el modelo de convección sirve para calcular el flujo de aire necesario para dicha refrigeración mediante un proceso iterativo, el cual brindará el factor de selección de los ventiladores. En este caso particular, se tendrán flujos de aire impulsados mecánicamente sobre superficies planas sin sello hermético, lo que equivale una convección forzada en una placa plana.

⁹ INCROPERA, Frank P. Fundamentos de transferencia de calor. 4 ed. México: Prentice Hall, 1999.

p. 720.

¹⁰ Ibíd.

Transferencia de calor por convección

Cuando un fluido a cierta temperatura se mueve sobre alguna superficie que se encuentra a diferente temperatura, existirá transferencia de calor por convección. Para este fenómeno, el factor que relaciona el calor transferido con la diferencia de temperaturas se conoce como coeficiente de convección, y depende de las propiedades y del flujo del fluido. Debido a que los flujos no se presentan de forma uniforme sobre una superficie, el coeficiente de convección varía con la posición sobre la misma y por ende, el calor también. Es así, definiendo un coeficiente de convección promedio \bar{h} para toda la superficie, el calor total transferido se expresa como¹¹:

$$Q = \bar{h} * A_s * (T_s - T_\infty)$$

Donde:

Q: Calor transferido entre la superficie y el fluido.

\bar{h} : Coeficiente promedio de transferencia de calor por convección.

A_s : Área de la superficie.

T_s : Temperatura de la superficie.

T_∞ : Temperatura del fluido.

¹¹ INCROPERA, Frank P. Fundamentos de transferencia de calor. 4 ed. México: Prentice Hall, 1999. p. 285.

Cálculo del coeficiente de convección

La expresión anterior puede ser utilizada para calcular el coeficiente de convección necesario para la transferencia de calor entre un fluido y una superficie, y por ende su flujo. Sin embargo, este cálculo no es directo puesto que se realiza de manera inversa, es decir, conociendo las temperaturas, la geometría de la superficie y un determinado flujo que circula sobre la misma, se puede determinar el coeficiente de convección promedio que actúa sobre ambas. Entonces, se supone un valor arbitrario para el flujo que sirva de base para empezar a realizar el proceso de cálculo iterativo, y así, establecer la veracidad del mismo.

El coeficiente de convección se calcula despejando de un parámetro adimensional que se conoce como el número de Nusselt que también se presenta de forma promedio o localizada. La expresión funcional del Nusselt promedio es:

$$\overline{Nu} = \frac{\bar{h} * L_c}{k_f}$$

Donde:

\overline{Nu} : *Número de Nusselt.*

\bar{h} : *Coefficiente promedio de transferencia de calor por convección.*

L_c : *Longitud característica de la superficie.*

k_f : *Conductividad térmica del fluido.*

El número de Nusselt es función del número de Reynolds y del número de Prandtl, que se halla según la temperatura del fluido, usando tablas o herramientas de cálculo. Por otro lado, el número de Reynolds se expresa así:

$$Re = \frac{V * L_c}{\nu}$$

Donde:

Re: Número de Reynolds.

V: Velocidad del fluido.

L_c: Longitud característica de la superficie.

ν: Viscosidad cinemática del fluido.

A su vez, la viscosidad cinemática se expresa de la siguiente manera:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Donde:

ν: Viscosidad cinemática del fluido.

μ: Viscosidad Dinámica del fluido.

ρ: Densidad del fluido.

Sustituyendo la ecuación anterior en la expresión del número de Reynolds se tiene:

$$Re = \frac{\rho * V * L_c}{\mu}$$

Correlaciones para el cálculo del número de Nusselt

Existen muchas correlaciones que se pueden utilizar y su aplicación depende de la geometría de la superficie, del tipo de flujo, o si se requiere hacer un análisis promedio o localizado. En el caso de una placa plana con un flujo paralelo laminar, la correlación presente para el cálculo del número de Nusselt es:

$$Nu = 0.664 * Re^{1/2} * Pr^{1/3}$$

Donde:

Nu: Número de Nusselt.

Re: Número de Reynolds.

Pr: Número de Prandtl.

Finalmente, conociendo este parámetro se puede recalcular el coeficiente de transferencia de calor por convección, y a partir de esto, se determina si la suposición del flujo fue acertada. De lo contrario, se debe realizar otra suposición para el flujo y repetir el proceso hasta que el valor calculado converja al mismo asumido inicialmente. De esta manera se podrán concluir los modelos de cálculo de los factores de selección de los componentes del sistema térmico.

4.3.1.2 Análisis térmico

En análisis térmico consiste en resolver todos los planteamientos teóricos presentados en el modelado térmico. Esto se hace mediante el desarrollo de procesos matemáticos que pueden ser ejecutados manualmente o con ayuda de herramientas computacionales dependiendo de su extensión y complejidad. Todo esto se realiza con el fin de crear el diseño de la cámara del horno de curado, el cual se logra al dimensionar y seleccionar sus componentes internos y sus características térmicas de operación. A continuación se mencionan las etapas del análisis térmico enunciando cada una de sus acciones:

1. Diseño geométrico de la cámara del horno:

- Proponer la longitud de la cámara del horno de curado.
- Sugerir las dimensiones de los reflectores de calor y de las cubiertas de ventilación.

2. Análisis del modelo de transferencia de calor por radiación:

- Calcular las áreas de las superficies del reflector de calor.
- Hallar los factores de visión entre las superficies internas del reflector, de la lámpara infrarroja y de la banda transportadora.
- Calcular el calor emitido por las lámparas infrarrojas.
- Establecer la distribución de temperaturas dentro del horno.
- Determinar el flujo de calor absorbido/emitado por cada superficie del reflector de calor.

3. Análisis del modelo de transferencia de calor por convección:

- Calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección necesario para la refrigeración de una superficie del reflector.
- Suponer el flujo de aire necesario para refrigerar dicha superficie.
- Calcular las propiedades del aire.
- Calcular el número de Reynolds e indicar la naturaleza del flujo.
- Calcular el número de Nusselt y utilizarlo para recalculando el coeficiente de convección.
- Comparar los dos coeficientes calculados, de no coincidir se debe repetir el proceso suponiendo otro valor de flujo de aire.
- Completar este proceso todas las superficies del reflector.
- Establecer el valor total del flujo de aire requerido.
- Seleccionar los ventiladores necesarios en el sistema.

Diseño geométrico de la cámara del horno

En esta etapa se sugieren las dimensiones básicas del horno y de algunos de sus componentes. Esto es realizado de esta manera ya que estas características son utilizadas como punto de partida para el análisis térmico.

Longitud de la cámara del horno de curado

Se desea asumir la longitud del horno de curado teniendo en cuenta que le brinde espacio al operario para ubicar las prendas y cumpla con las especificaciones térmicas de operación. Es así, que se desea brindar comodidad y practicidad al usuario del equipo sin desmejorar la funcionalidad del mismo.

Utilizando la especificación del largo de la banda transportadora, es decir 1,5 metros, se propone una longitud del horno equivalente a 55 centímetros, y con esto se calcula la longitud libre para la ubicación de prendas, la cual debe ser simétrica en cada extremo de la banda:

$$L_L = \frac{L_B - L_h}{2}$$

Donde:

L_L : Longitud libre para la ubicación de prendas.

L_B : Longitud total de la banda transportadora (150 cm).

L_h : Longitud del horno (55 cm).

$$L_L = \frac{L_B - L_h}{2}$$

$$L_L = \frac{150 \text{ [cm]} - 55 \text{ [cm]}}{2} = 47,5 \text{ [cm]}$$

Esta longitud libre es aceptable para la manipulación de las prendas. Sin embargo, teniendo en cuenta el requerimiento de velocidad máxima de 150 cm/min expuesto en las especificaciones de diseño, se calcula el tiempo mínimo que transcurre para el secado de una prenda pasando a través del horno:

$$t = \frac{L_h}{v}$$

Donde:

t : Tiempo mínimo de secado de las prendas.

L_h : Longitud del horno.

v : Velocidad de la banda transportadora.

$$t = \frac{55 [cm]}{150 [cm/min]} * \left[\frac{60 s}{1 min} \right] = 22 [s]$$

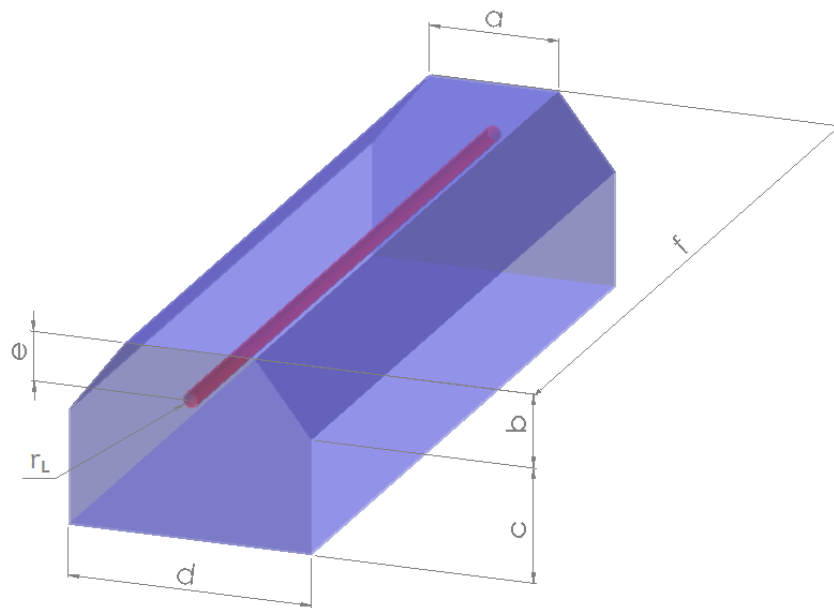
Comparando este tiempo obtenido de 22 segundos con el tiempo mínimo para el secado de tintas plastisol equivalente a 30 segundos presente en la tabla 5, se puede concluir que la longitud asumida del horno cumple con las especificaciones técnicas. Esto se debe a que se tendrá un rango de tiempo mayor para el secado, manipulando esta variable de forma efectiva mediante el control de velocidad.

Reflectores de calor y de las cubiertas de ventilación

A partir del desarrollo conceptual y siguiendo la geometría establecida para el horno de curado en el modelado virtual, se plantean las dimensiones de los componentes internos de la cámara del horno. Estos elementos son los reflectores de calor y las cubiertas de ventilación, los cuales influyen en el funcionamiento térmico del equipo. Básicamente, se asumirá la forma de estas piezas para realizar el análisis del funcionamiento del horno combinando estas características con los requerimientos establecidos en las especificaciones de diseño. Utilizando la longitud del horno sugerida en el paso anterior, se plantea utilizar tres reflectores de calor y tres cubiertas de ventilación

Las dimensiones propuestas para los reflectores de calor se presentan en la siguiente figura:

Figura 52. Acotación de las superficies del reflector de calor.



Dónde la magnitud propuesta para cada cota del reflector de calor es:

$$a = 8 [cm] = 0,08 [m]$$

$$b = 4,5 [cm] = 0,045 [m]$$

$$c = 7 [cm] = 0,07 [m]$$

$$d = 15 [cm] = 0,15 [m]$$

$$e = 3 [cm] = 0,03 [m]$$

$$f = 50 [cm] = 0,5 [m]$$

$$r_L = 0,5 [cm] = 0,005 [m]$$

1. Las dimensiones de las cubiertas de ventilación son:

Figura 53. Vista isométrica de la cubierta de ventilación

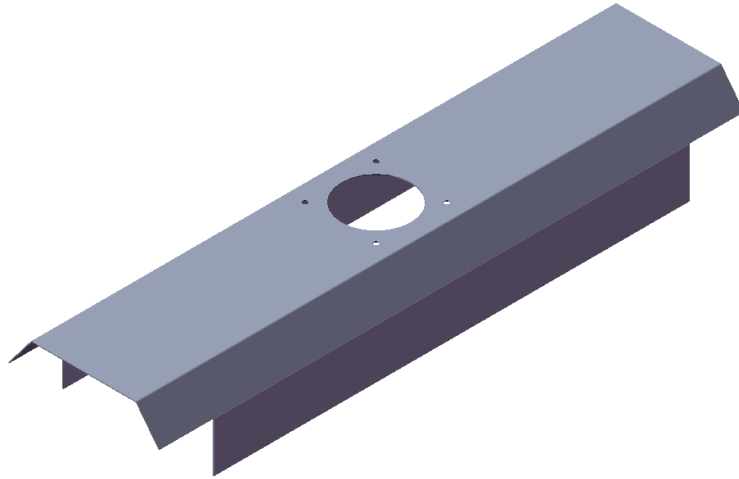


Figura 54. Acotación de la vista frontal de la cubierta de ventilación

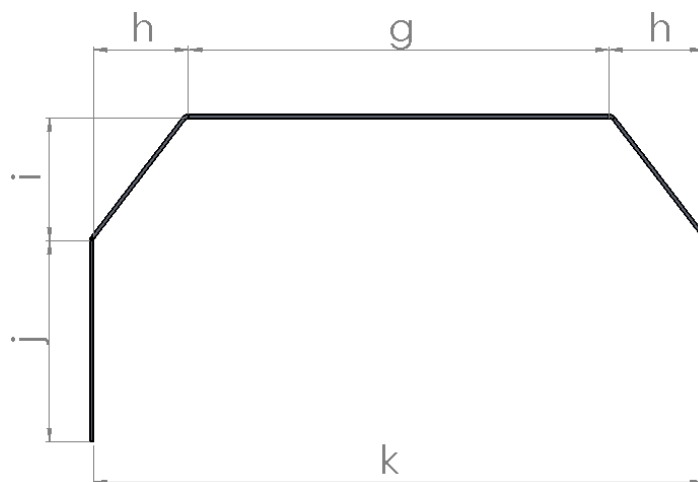
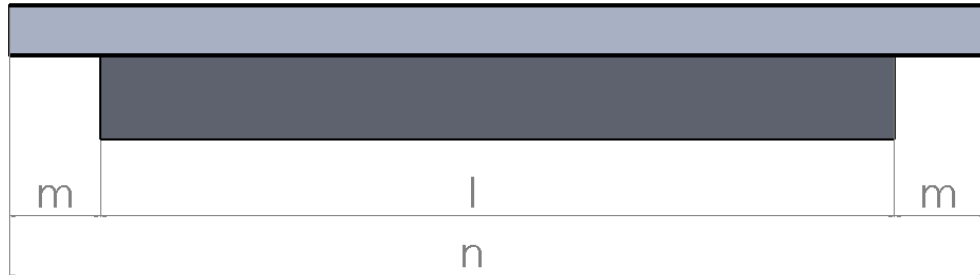


Figura 55. Acotación de la vista lateral derecha de la cubierta de ventilación



Dónde la magnitud propuesta para cada cota de la cubierta de ventilación es:

$$g = 105 \text{ [mm]} = 0,105 \text{ [m]}$$

$$h = 23 \text{ [mm]} = 0,023 \text{ [m]}$$

$$i = 30 \text{ [mm]} = 0,030 \text{ [m]}$$

$$j = 50 \text{ [mm]} = 0,050 \text{ [m]}$$

$$k = 151 \text{ [mm]} = 0,151 \text{ [m]}$$

$$l = 480 \text{ [mm]} = 0,480 \text{ [m]}$$

$$m = 55 \text{ [mm]} = 0,055 \text{ [m]}$$

$$n = 590 \text{ [mm]} = 0,590 \text{ [m]}$$

Análisis del modelo de transferencia de calor por radiación

Aquí se ejecuta el modelo de radiación expuesto anteriormente direccionándolo hacia el análisis térmico del horno de curado. En donde se desean calcular los requerimientos de transferencia de calor entre las superficies del reflector de calor, las lámparas infrarrojas y la tela a estampar. Para esto, se parte de la ecuación general expuesta en el modelo de transferencia de calor:

$$\frac{(E_{bi} - J_i)}{R_{Ti}} = \sum_{j=1}^N A_i * F_{ij} * (J_i - J_j)$$

Para resolver esta expresión es necesario determinar ciertos aspectos dimensionales como las áreas de las superficies y los factores de visión. También, se requiere calcular factores térmicos como son la potencia emisiva ideal para cada superficie y las resistencias térmicas de radiación. Lo que demanda la escogencia del material de los reflectores y la suposición de las temperaturas de operación.

Calculo de áreas superficiales del reflector de calor

Este cálculo se realiza a partir de las dimensiones planteadas anteriormente siguiendo la numeración de las superficies del reflector de calor establecida en el modelado virtual:

- Superficie 1:

$$A_1 = 2 * \pi * r_L * f = 2 * \pi * (0,005 [m]) * (0,5 [m])$$

$$A_1 = 0,0157 [m^2]$$

- Superficie 2:

$$A_2 = a * f = (0,08 [m]) * (0,5 [m])$$

$$A_2 = 0,04 [m^2]$$

- Superficies 3a y 3b:

$$A_{3a} = A_{3b}$$

$$A_{3a} = \sqrt{b^2 + \left(\frac{d-a}{2}\right)^2} * f = \left(\sqrt{0,045^2 + \left(\frac{0,15 - 0,08}{2}\right)^2}\right) [m] * (0,5 [m])$$

$$A_{3a} = 0,0285 [m^2]$$

- Superficies 4a y 4b:

$$A_{4a} = A_{4b}$$

$$A_{4a} = c * f = (0,07 [m]) * (0,5 [m])$$

$$A_{4a} = 0,035 [m^2]$$

- Superficies 5a y 5b:

$$A_{5a} = A_{5b}$$

$$A_{5a} = (c * d) + (a * b) + \frac{1}{2} * \left(\left(\frac{d - a}{2} \right) * b \right)$$

$$A_{5a} = \left[(0,07 * 0,15) + (0,08 * 0,045) + \frac{1}{2} * \left(\left(\frac{0,15 - 0,08}{2} \right) * 0,045 \right) \right] [m^2]$$

$$A_{5a} = 0,01488 [m^2]$$

- Superficie 6:

$$A_6 = d * f = (0,15 [m]) * (0,5 [m])$$

$$A_6 = 0,075 [m^2]$$

Calculo de los factores de visión

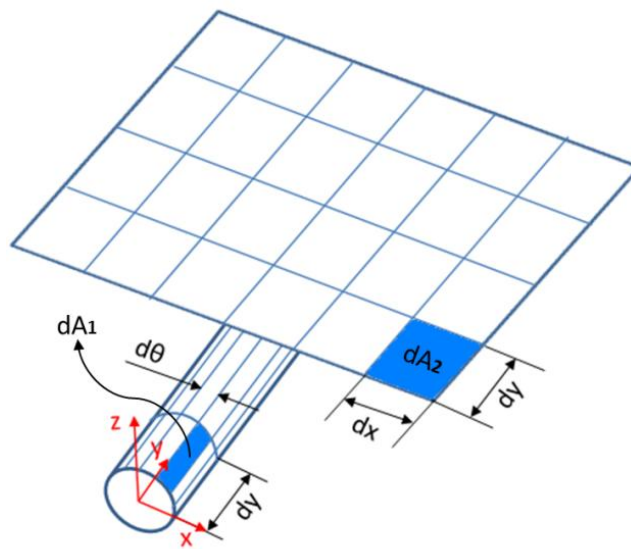
La solución de la formula para el cálculo del factor de forma es difícil de determinar directamente. En consecuencia, para el análisis práctico es preferible discretizarla y ejecutar el cálculo a manera de una sumatoria de operaciones. De esta manera, se realizan diferentes ciclos de conteo de particiones en los ejes cartesianos, en donde cada partición tiene efecto sobre el resultado de las posiciones, los vectores y los ángulos. Haciendo uso del software matemático MATLAB, se ejecuta el

cálculo de los factores de forma incluyendo las formulas anteriores e introduciendo los valores característicos de las superficies involucradas.

Cálculo del factor de forma F_{12}

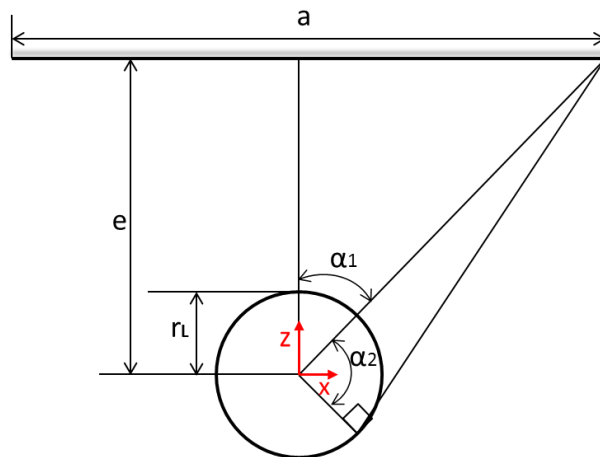
Este es el factor de forma entre la lampara infrarroja y la superficie plana del reflector. La ubicación del centro de coordenadas se realiza sobre el eje central de la lampara infrarroja (superficie 1). En este caso, los diferenciales de área se establecen como se muestra en la siguiente figura:

Figura 56. Diferenciales de área para las superficies 1 y 2.



Las dos superficies se encuentran centradas sobre el eje Z, lo que las hace simétricas para el mismo. A causa de esto, se puede simplificar el cálculo del factor de forma al realizarlo tomando en cuenta la mitad del ángulo de visión y multiplicando por dos el resultado. Entonces, la mitad del ángulo de visión entre las superficies 1 y 2 se determina mediante el siguiente planteamiento geométrico donde equivale a la suma de α_1 y α_2 :

Figura 57. Analisis trigonometrico entre las superficies 1 y 2.



Por trigonometría, el ángulo α_1 se calcula de la siguiente manera:

$$\cos \alpha_1 = \frac{e}{\sqrt{e^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2}}$$

$$\alpha_1 = \cos^{-1} \frac{e}{\sqrt{e^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2}} = \frac{3 \text{ [cm]}}{\left(\sqrt{3^2 + \left(\frac{8}{2}\right)^2}\right) \text{ [cm]}} = 53,13^\circ$$

Así mismo, el ángulo α_2 se calcula así:

$$\cos \alpha_2 = \frac{r_L}{\sqrt{e^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2}}$$

$$\alpha_2 = \cos^{-1} \frac{r_L}{\sqrt{e^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2}} = \frac{0,5 \text{ [cm]}}{\left(\sqrt{3^2 + \left(\frac{8}{2}\right)^2}\right) \text{ [cm]}} = 84,26^\circ$$

Por lo tanto, el ángulo de visión será:

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = 53,13^\circ + 84,26^\circ = 137,39^\circ$$

Los límites para el conteo de particiones del ángulo serán:

$$(90 - \alpha) \leq \alpha \leq 90^\circ$$

$$(90 - 137,39^\circ) \leq \alpha \leq 90^\circ$$

$$-47,39^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$$

El factor de forma F_{12} se calcula a partir de la introducción de todos los datos y ecuaciones ilustrados anteriormente en un código de MATLAB que se presenta a continuación:

%CÁLCULO DEL FACTOR DE VISIÓN F12.

%Dimensiones del reflector [cm].

```
a=8;
b=4.5;
c=7;
d=15;
e=3;
f=50;
```

%Cálculo del diferencial de área 1.

```
r_L=0.5; %Radio de la superficie 1[cm].
alpha_1=acosd(e/(sqrt(e^2+(a/2)^2))); %Ángulo del primer triangulo.
alpha_2=acosd(r_L/(sqrt(e^2+(a/2)^2))); %Ángulo del segundo triangulo.
d_alpha=((alpha_1+alpha_2)/150); %Diferencial de ángulo superficie 1.
dY_1=1; %Diferencial en Y para la superficie 1[cm].
dA_1=r_L*d_alpha*(pi/180)*dY_1; %Diferencial de área superficie 1[cm^2].
```

%Cálculo del diferencial de área 2.

```
Z_2=e; %Posición en Z del diferencial de área 2[cm].
dX_2=0.5; %Diferencial en el eje X para la superficie 2[cm].
dY_2=1; %Diferencial en el eje Y para la superficie 2[cm].
dA_2=dX_2*dY_2; %Diferencial de área de la superficie 2 [cm^2].
```

%Inicialización de la variable F.

```
F=0;
```

%Conteo de particiones en el eje Y para el diferencial de área 1 [cm].

```
for Y_1=0:dY_1:f
```

```
    %Conteo de particiones del ángulo alpha para el diferencial de área 1 [degree].
```

```
    for alpha=(90-(alpha_1+alpha_2)):d_alpha:90
```

```
        %Conteo de particiones en el eje Y para el diferencial de área 2 [cm].
```

```
        for Y_2=0:dY_2:f
```

```
            %Conteo de particiones en el eje X para el diferencial de área 2 [cm].
```

```

for X_2=-(a/2):dX_2:(a/2)

X_1=r_L*cosd(alpha); %Posición en el eje X del diferencial área 1 [cm].
Z_1=r_L*sind(alpha); %Posición en el eje Z del diferencial área 1 [cm].
n_1X=X_1; %Componente en X del vector normal al área 1.
n_1Y=0; %Componente en Y del vector normal al área 1.
n_1Z=Z_1; %Componente en Z del vector normal al área 1.
n_1=sqrt(n_1X^2+n_1Y^2+n_1Z^2); %Magnitud vector normal al área 1.
n_2X=0; %Componente en X del vector normal al área 2.
n_2Y=0; %Componente en Y del vector normal al área 2.
n_2Z=-Z_2; %Componente en Z del vector normal al área 2.
n_2=sqrt(n_2X^2+n_2Y^2+n_2Z^2); %Magnitud vector normal al área 2.
R_X=(X_2-X_1); %Componente en X del vector R.
R_Y=(Y_2-Y_1); %Componente en Y del vector R.
R_Z=(Z_2-Z_1); %Componente en Z del vector R.
R=sqrt(R_X^2+R_Y^2+R_Z^2); %Magnitud del vector R.

%Cálculo del coseno del ángulo entre los vectores n_1 y R (thetha1).
cos_theta1=(n_1X*R_X+n_1Y*R_Y+n_1Z*R_Z)/(n_1*R);
ang=acosd(cos_theta1); %Cálculo del ángulo thetha1.

%Cálculo del coseno del ángulo entre los vectores n_2 y R (thetha2).
cos_theta2=(n_2X*R_X+n_2Y*R_Y+n_2Z*R_Z)/(n_2*R);

%Diferencial del factor de visión entre las superficies 1 y 2.
dF_12=dA_1*dA_2*cos_theta1*cos_theta2/(pi*R^2);

if ang<=90
    F=F+abs(dF_12)
end
end
end
end
end

A_1=2*pi*r_L*f; %Área superficial de la lampara infrarroja (superficie 1).
F_12=2*(F/A_1) %Cálculo del factor de visión entre las superficies 1 y 2.

```

Dónde:

$$F_{12} = 0,3006$$

Al igual que el anterior se calculan F_{13a} , F_{14a} y F_{16} mediante la utilización de MATLAB. Por simetría geométrica se establece que F_{13a} y F_{14a} son equivalentes a F_{13b} y F_{14b} respectivamente, éstos resultados son:

$$F_{13a} = F_{13b} = 0,1357$$

$$F_{14a} = F_{14b} = 0,1013$$

$$F_{16} = 0,2149$$

Recordando la regla de la suma del factor de forma:

$$\sum_{j=1}^N F_{ij} = 1$$

Bajo este principio, el factor de forma F_{11} es igual a cero ya que la lámpara tiene una superficie convexa, es decir que no se ve a si misma:

$$F_{11} = 0$$

Entonces, en el caso particular de la superficie 1 la regla de la suma será:

$$\sum F_{1j} = 1$$

$$F_{11} + F_{12} + F_{13a} + F_{13b} + F_{14a} + F_{14b} + F_{15a} + F_{15b} + F_{16} = 1$$

Nuevamente por simetría se tiene:

$$F_{15a} = F_{15b}$$

Reemplazando en la sumatoria anterior:

$$F_{11} + F_{12} + F_{13a} + F_{13b} + F_{14a} + F_{14b} + 2 * F_{15a} + F_{16} = 1$$

$$F_{15a} = \frac{1 - (F_{11} + F_{12} + 2 * (F_{13a} + F_{14a}) + F_{16})}{2}$$

$$F_{15a} = \frac{1 - (0 + 0,3006 + 2 * (0,1357 + 0,1013) + 0,2149)}{2}$$

$$F_{15a} = F_{15b} = 0,0053$$

Teniendo en cuenta la relación de reciprocidad del factor de visión y aplicándola en el cálculo del factor de forma F_{21} se tiene:

$$A_i * F_{ij} = A_j * F_{ji}$$

$$A_1 * F_{12} = A_2 * F_{21}$$

$$F_{21} = \frac{A_1 * F_{12}}{A_2} = \frac{0,0157 [m^2] * 0,3006}{0,04 [m^2]}$$

$$F_{21} = 0,1180$$

En conclusión, todos los factores de visión fueron calculados como se expuso anteriormente mediante la implementación del software MATLAB y el uso de varias propiedades matemáticas. Con el fin de que el análisis sea mas concreto, no se presentan los cálculos de los factores entre las demás superficies debido a que se realizó el mismo proceso mostrado con la superficie 1. Entonces, La tabla que resume toda esta información se presenta a continuación:

Tabla 7. Factores de forma de las superficies internas del horno.

Factor de visión	Magnitud	Factor de visión	Magnitud	Factor de visión	Magnitud
F11	0	F21	0,1180	F3a1	0,0748
F12	0,3006	F22	0	F3a2	0,1044
F13a	0,1357	F23a	0,0744	F3a3a	0
F13b	0,1357	F23b	0,0744	F3a3b	0,1441
F14a	0,1013	F24a	0,1507	F3a4a	0,0564
F14b	0,1013	F24b	0,1507	F3a4b	0,1206
F15a	0,0053	F25a	0,0257	F3a5a	0,0301
F15b	0,0053	F25b	0,0257	F3a5b	0,0301
F16	0,2149	F26	0,3804	F3a6	0,4394
F3b1	0,0748	F4a1	0,0455	F4b1	0,0455
F3b2	0,1044	F4a2	0,1268	F4b2	0,1268
F3b3a	0,1441	F4a3a	0,0459	F4b3a	0,0982
F3b3b	0	F4a3b	0,0982	F4b3b	0,0459
F3b4a	0,1206	F4a4a	0	F4b4a	0,2103
F3b4b	0,0564	F4a4b	0,2103	F4b4b	0
F3b5a	0,0301	F4a5a	0,0581	F4b5a	0,0581
F3b5b	0,0301	F4a5b	0,0581	F4b5b	0,0581
F3b6	0,4394	F4a6	0,3572	F4b6	0,3572
F5a1	0,0055	F5b1	0,0055	F61	0,0450
F5a2	0,0691	F5b2	0,0691	F62	0,2029
F5a3a	0,0577	F5b3a	0,0577	F63a	0,1670
F5a3b	0,0577	F5b3b	0,0577	F63b	0,1670
F5a4a	0,1365	F5b4a	0,1365	F64a	0,1667
F5a4b	0,1365	F5b4b	0,1365	F64b	0,1667
F5a5a	0	F5b5a	0,3234	F65a	0,0424
F5a5b	0,3234	F5b5b	0	F65b	0,0424
F5a6	0,2136	F5b6	0,2136	F66	0

Calor emitido por las lámparas infrarrojas

El sistema de calefacción debe ser basado en lámparas de radiación infrarroja de 13 W/cm. El ancho establecido para la banda transportadora equivale a 50 cm, por lo que se requiere que las lámparas tengan esa longitud para que el calor se distribuya uniformemente sobre las prendas. La potencia de cada lámpara será:

$$Pot_{lampara} = 13 \left[\frac{W}{cm} \right] * 50 [cm]$$

$$Pot_{lampara} = 650 [W]$$

Siguiendo el desarrollo conceptual, se establece un número total de tres reflectores dentro del horno. De esta manera, cada reflector será ubicado sobre una lámpara infrarroja, lo que establece un número total de tres lámparas. La potencia total de calefacción es:

$$Pot_{calefacción} = Pot_{lampara} * N_{lamparas}$$

$$Pot_{calefacción} = 650 \left[\frac{W}{lampara} \right] * 3 [lamparas]$$

$$Pot_{calefacción} = 1950 [W]$$

Distribución de temperaturas superficiales

Para establecer el intercambio de energía entre las superficies es necesario conocer sus temperaturas. Sin embargo, la única conocida es la establecida por el límite mayor del rango control de temperatura del equipo, que equivale a 190°C y se expone en las especificaciones de diseño. Entonces, se propone una distribución de temperaturas superficiales asumidas y con ellas se analiza su transferencia de calor. Esta distribución se presenta en la siguiente tabla junto con el material propuesto y la emisividad térmica de cada superficie:

Tabla 8. Propiedades térmicas de las superficies del reflector.

Superficie	Material	Emisividad (ϵ)	Temperatura [°C]
1	Cuarzo	0,93	-
2	Acero Inoxidable	0,22	135
3a	Acero Inoxidable	0,22	115
3b	Acero Inoxidable	0,22	115
4a	Superficie Libre	1	27
4b	Superficie Libre	1	27
5a	Acero Inoxidable	0,22	95
5b	Acero Inoxidable	0,22	95
6	Tela	0,9	190

Cálculo de la transferencia de calor por radiación

La aplicación del modelo de radiación a las superficies asociadas con el reflector permite conocer la distribución del calor generado por las lámparas infrarrojas. Es así, que se determina el calor absorbido por cada superficie mediante la suposición de su temperatura superficial. Al sustituir los datos de cada superficie en la ecuación general del modelo de radiación, se genera un sistema ecuaciones balanceado que es posible de solucionar utilizando una ayuda computacional.

En el caso de la superficie 1 se conoce la cantidad de calor emitida que equivale a la potencia de las lámparas infrarrojas (650 W). Respecto a las superficies 4a y 4b, como son espacios abiertos su emisividad superficial equivale a la de un cuerpo negro ($\epsilon = 1$). En consecuencia, no hay resistencia radiativa para estas superficies ($R_i = 0$), y su radiosidad será equivalente a la potencia emisiva de cuerpo negro generada por la misma superficie, como se muestra a continuación:

$$J_{4a} = E_{b4a}$$

$$J_{4a} = \sigma * T_{4a}^4$$

Por simetría, la temperatura de la superficie 4b debe ser igual a la temperatura de la superficie 4a. Por consiguiente:

$$T_{4a} = T_{4b}$$

$$J_{4b} = \sigma * T_{4b}^4 = \sigma * T_{4a}^4$$

$$J_{4b} = J_{4a}$$

Entonces, se reemplaza la información obtenida para la superficie 1 en la ecuación de la sumatoria de calores, donde todas las radiosidades son desconocidas, lo que queda de la siguiente manera:

$$Q_1 = \sum_{j=1}^N A_1 * F_{1j} * (J_1 - J_j)$$

$$Q_1 = A_1 * F_{11} * (J_1 - J_1) + A_1 * F_{12} * (J_1 - J_2) + A_1 * F_{13a} * (J_1 - J_{3a}) + \dots + A_1 * F_{15b} * (J_1 - J_{5b}) + A_1 * F_{16} * (J_1 - J_6)$$

Aplicando la ecuación del equilibrio térmico en los demás nodos se tiene:

$$\frac{(E_{bi} - J_i)}{R_{Ti}} = \sum_{j=1}^N A_i * F_{ij} * (J_i - J_j)$$

$$\frac{(E_{bi} - J_i)}{R_{Ti}} = A_i * F_{i1} * (J_i - J_1) + A_i * F_{i2} * (J_i - J_2) + A_i * F_{i3a} * (J_i - J_{3a}) + \dots + A_i * F_{i5b} * (J_i - J_{5b}) + A_i * F_{i6} * (J_i - J_6)$$

$$\frac{E_{bi}}{R_{Ti}} = \frac{J_i}{R_{Ti}} + A_i * F_{i1} * (J_i - J_1) + A_i * F_{i2} * (J_i - J_2) + A_i * F_{i3a} * (J_i - J_{3a}) + \dots + A_i * F_{i5b} * (J_i - J_{5b}) + A_i * F_{i6} * (J_i - J_6)$$

Agrupando los términos que contienen a las variables A_i y J_i queda:

$$\frac{E_{bi}}{R_{Ti}} = \frac{J_i}{R_{Ti}} + A_i * (F_{i1} + F_{i2} + F_{i3a} + \dots + F_{i5b} + F_{i6}) - A_i * J_1 - A_i * J_2 - A_i * J_{3a} - \dots - A_i * J_{5b} - A_i * J_6$$

Desarrollando nuevamente la regla de la suma de los factores de forma, se obtiene:

$$\frac{E_{bi}}{R_{Ti}} = \frac{J_i}{R_{Ti}} + A_i - A_i * J_1 - A_i * J_2 - A_i * J_{3a} - \dots - A_i * J_{5a} - A_i * J_{5b} - A_i * J_6$$

Se procede a reemplazar los valores para cada superficie en las expresiones expuestas anteriormente para el cálculo del calor. En consecuencia, se genera un sistema de nueve ecuaciones y nueve incógnitas las cuales se presentan en forma matricial, que se ilustra de la siguiente manera:

$$[A] * [B] = [C]$$

$$[A] =$$

$$\begin{bmatrix} A_1 - A_1 * F_{11} & -A_1 * F_{12} & -A_1 * F_{13a} & \dots & -A_1 * F_{16} \\ -A_2 * F_{21} & A_2 + \left(\frac{1}{R_2}\right) - A_2 * F_{22} & -A_2 * F_{23a} & \dots & -A_2 * F_{26} \\ -A_{3a} * F_{3a1} & -A_{3a} * F_{3a2} & A_{3a} + \left(\frac{1}{R_{3a}}\right) - A_{3a} * F_{3a2} & \dots & -A_{3a} * F_{3a6} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -A_6 * F_{61} & -A_6 * F_{62} & -A_6 * F_{63a} & \dots & A_6 + \left(\frac{1}{R_6}\right) - A_6 * F_{66} \end{bmatrix}$$

$$[A] * \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_{3a} \\ J_{3b} \\ J_{4a} \\ J_{4b} \\ J_{5a} \\ J_{5b} \\ J_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ E_{B2}/R_2 \\ E_{B3a}/R_{3a} \\ E_{B3b}/R_{3b} \\ E_{B4a}/R_{4a} \\ E_{B4b}/R_{4b} \\ E_{B5a}/R_{5a} \\ E_{B5b}/R_{5b} \\ E_{B6}/R_6 \end{bmatrix}$$

Al ejecutar esta operación, los resultados más importantes para el intercambio de calor entre superficies se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 9. Resultados del calor requerido por cada superficie.

Superficie	Q [W]	T [°C]	J [W/m ²]
1	650	688,6	45383
2	-52,05	135	6185
3a	-31,32	115	5181
3b	-31,32	115	5181
4a	-159	27	459,2
4b	-159	27	459,2
5a	-5,763	95	2412
5b	-5,763	95	2412
6	-187,7	190	2883

Análisis del modelo de transferencia de calor por convección

Este análisis utiliza los datos de intercambio de calor obtenidos en el análisis del modelo de radiación, con el fin de calcular un flujo de aire de refrigeración que ayude a mantener esa transferencia a un nivel constante. Por este motivo, se ejecuta el modelo de convección hasta determinar el flujo de aire adecuado que permita la selección de los ventiladores.

Cálculo del coeficiente de convección según el calor transferido

Se procede a calcular el coeficiente de calor por convección necesario para evacuar el calor absorbido por la superficie 3a:

$$Q_{3a} = h_{3a} * A_{3a} * (T_{3a} - T_{amb})$$

$$31,32 \text{ [W]} = h_{3a} * 0,0285 \text{ [m}^2\text{]} * (115 - 27) \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$h_{3a} = 12,49 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}} \right]$$

Suposición del flujo de aire requerido

Inmediatamente se asume el flujo de aire que circula sobre la superficie y a partir de este se inicia el proceso para el cálculo el coeficiente de calor por convección.

El modelo de transferencia de calor por convección es el de una placa plana con flujo sobre ella mediante convección forzada. El flujo volumétrico entre la cubierta del reflector y la superficie 3a será:

$$\dot{V}_{3a} = A_{3at} * V_{3a}$$

Dónde:

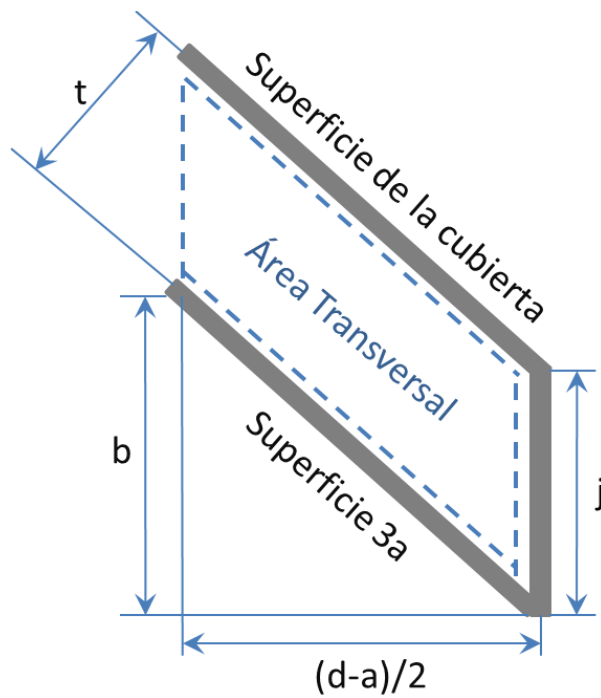
V_{3a} : Flujo volumétrico sobre la superficie 3a.

A_{3at} : Área transversal correspondiente al flujo de aire.

V_{3a} : Velocidad de aire.

Para determinar el flujo del aire se observa el área transversal entre la superficie 3a y la superficie de la cubierta.

Figura 58. Área transversal entre la superficie 3a y la cubierta.



El espacio transversal entre la superficie 3a y la superficie de la cubierta tiene forma de paralelogramo y se área se calcula así:

$$A_{T3a} = t * \sqrt{b^2 + \left(\frac{d-a}{2}\right)^2}$$

$$A_{T3a} = 0,025 [m] * \left(\sqrt{0,045^2 + \left(\frac{0,15 - 0,08}{2}\right)^2} \right) [m]$$

$$A_{T3a} = 1,425 \times 10^{-3} [m^2]$$

Tomando un valor de $9,73 \times 10^{-4} [m^3/s]$ para el flujo de aire, se halla la velocidad V_{3a} :

$$V_{3a} = \frac{\dot{V}_{3a}}{A_{T3a}}$$

$$V_{3a} = \frac{9,73 \times 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s}\right]}{1,425 \times 10^{-3} [m^2]}$$

$$V_{3a} = 0,683 \left[\frac{m}{s}\right]$$

Calculo de propiedades del aire

Se utiliza una temperatura de referencia para calcular las propiedades del aire, y esta misma se puede hallar con la siguiente expresión:

$$T_{r3a} = (T_{3a} - 0.5 * (T_{3a} - T_{amb})) [^{\circ}C]$$

$$T_{r3a} = (115 - 0.5 * (115 - 27)) [^{\circ}C]$$

$$T_{r3a} = 71 [^{\circ}C]$$

Las propiedades del aire para esta temperatura se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10. Propiedades del aire a 71°C.

Temperatura del aire: 71 [°C]			
Propiedad	Representación	Magnitud	Unidades
Viscosidad dinámica	μ_{3a}	$2,057 \times 10^{-5}$	[kg/(m*s)]
Densidad	ρ_{3a}	0,9095	[kg/m ³]
Conductividad térmica	k_{3a}	0,02888	[w/(m*k)]
Número de Prant	Pr_{3a}	0,7175	-

Calculo del número de Reynolds

Se utiliza la última ecuación para el número de Reynolds expuesta en el modelo de convección:

$$Re_{3a} = \frac{\rho_{3a} * V_{3a} * Lc_{3a}}{\mu_{3a}}$$

Para esto se requiere determinar la longitud característica:

$$Lc_{3a} = \sqrt{b^2 + \left(\frac{d-a}{2}\right)^2} = \left(\sqrt{0,045^2 + \left(\frac{0,15 - 0,08}{2}\right)^2}\right) [m]$$

$$Lc_{3a} \approx 0,057 [m]$$

El valor dado para la longitud característica es 0,057 [m], y con este, la velocidad del flujo y las propiedades del aire se calcula el número de Reynolds:

$$Re_{3a} = \frac{\rho_{3a} * V_{3a} * Lc_{3a}}{\mu_{3a}}$$

$$Re_{3a} = \frac{0,9095 * 0,683 * 0,057}{2,057 \times 10^{-5}}$$

$$Re_{3a} = 1721$$

Cálculo del número de Nusselt

El número de Reynolds obtenido indica que el flujo de aire sobre la superficie 3a es laminar. A continuación, se aplica la correlación para flujo laminar del número de Nusselt:

$$Nu_{3a} = 0.664 * Re_{3a}^{1/2} * Pr_{3a}^{1/3}$$

$$Nu_{3a} = 0.664 * (1721)^{1/2} * (0,7175)^{1/3}$$

$$Nu_{3a} = 24,66$$

Con el valor de Nusselt se recalcula el coeficiente de transferencia de calor:

$$h_{3ap} = \frac{Nu_{3a} * k_{3a}}{Lc_{3a}}$$

$$h_{3ap} = \frac{24,66 * 0,02888 \left[\frac{w}{m \cdot k} \right]}{0.057 [m]}$$

$$h_{3ap} = 12,49 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

Comparación de los coeficientes de convección

El último resultado indica que el coeficiente equivale a 12,49 [W/(m².°C)] el cual es idéntico al calculado al inicio. En consecuencia, el flujo volumétrico propuesto es acertado para este caso y su valor es de:

$$V_{3a} = 9,73 \times 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$V_{3a} = 9,73 \times 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right] * \frac{1 [ft^3]}{(0,3048)^3 [m^3]} * \frac{60 [s]}{1 [min]} * \frac{[CFM]}{[ft^3/min]}$$

$$V_{3a} = 2,06 [CFM]$$

Flujo de aire total

El flujo de aire total será la suma de los flujos requeridos para la refrigeración de las superficies del reflector de calor, las cuales según la numeración establecida previamente son la 2, 3a, 3b, 5a y 5b. Por simetría geométrica, solo será calculado el flujo de las superficies 2, 3a y 5a.

Se repite este mismo procedimiento para determinar los flujos volumétricos requeridos sobre las superficies 2 y 5a, y sus resultados son:

$$\dot{V}_2 = 24,18 [CFM]$$

$$\dot{V}_{5a} = 1,77 [CFM]$$

El flujo volumétrico total por cada reflector será:

$$\dot{V}_T = \dot{V}_2 + 2 * \dot{V}_{3a} + 2 * \dot{V}_{5a}$$

$$\dot{V}_T = (24,18 + 2 * 2,06 + 2 * 1,77)[CFM]$$

$$\dot{V}_T = 31,84 [CFM]$$

Selección de tipo y cantidad de ventiladores

La elección se realiza mediante la inspección del catálogo de ventiladores axiales de corriente alterna del fabricante FONSONING. Observando la información, el modelo que cumple los requerimientos para la ventilación y de alimentación eléctrica monofásica es el FSY8025HA1BL ya que permite un flujo de aire de 33 [CFM]. Como se ha establecido un total de tres conjuntos de lámparas infrarrojas y reflectores de calor, para los cuales se requiere un ventilador por cada conjunto, se tiene como resultado un total de tres ventiladores de esta referencia para el horno de curado.

4.3.2 Diseño mecánico

El análisis mecánico está direccionado hacia el dimensionamiento y selección de componentes estructurales y mecanismos. En esta parte el aspecto más importante será el estudio realizado para el sistema motriz, el cual consiste en una banda transportadora encargada de llevar el material de trabajo a través del horno.

4.3.2.1 Especificaciones mecánicas

El desarrollo conceptual enseña los diferentes elementos de la banda transportadora, como son los rodillos, apoyos, transmisión mecánica, motor y mecanismo tensor. Para determinar las características de los componentes anteriores, se necesitan cuantificar las variables involucradas con su respectivo funcionamiento. Con este fin, se enuncian los requerimientos para el diseño mecánico partiendo de las especificaciones de diseño:

- ✓ Sistema de transporte con velocidad variable correspondiente al tiempo de curado de las tintas textiles (entre 0 y 150 cm/min).
- ✓ Alimentación eléctrica monofásica de 120 V.
- ✓ Banda transportadora con dimensiones de 0,5 m de ancho por 1,5 m de largo.

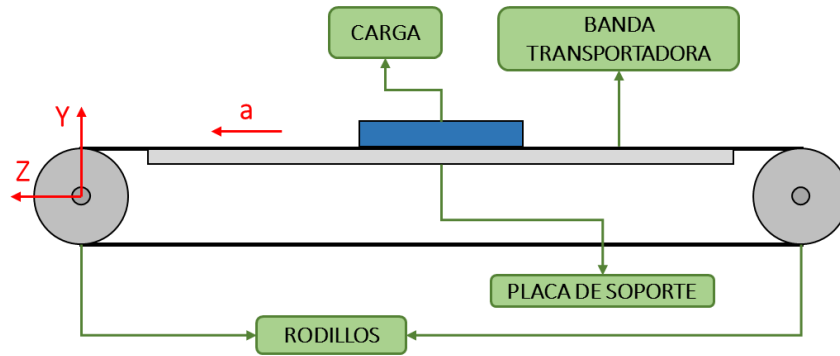
4.3.2.2 Modelado mecánico

La banda transportadora es el mecanismo principal que va a ser modelado bajo el diseño mecánico. Esto radica en que esta contiene muchos elementos que se deben fabricar o seleccionar para completar su construcción. Entonces, en esta sección se plantea un modelo dinámico de la banda para el análisis de las fuerzas, torque y potencia del sistema motriz. Con este fin, se desea desarrollar un análisis que permita dimensionar los componentes como son los rodillos y seleccionar elementos estandarizados como el motor, la transmisión mecánica y los apoyos.

Modelo Dinámico

La banda transportadora deberá llevar una carga de prendas textiles a través de ella a la velocidad mencionada en las especificaciones mecánicas. Entonces, realizando un esquema en conjunto de sus componentes y analizando su interacción, se dará inicio al estudio de su condición dinámica.

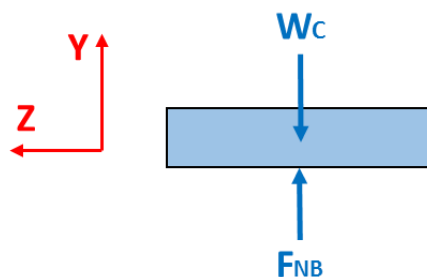
Figura 59. Esquema básico de la banda transportadora.



Teniendo el esquema básico, se procede a realizar los diagramas de cuerpo libre de cada componente y en cada uno de ellos aplicar las leyes de Newton de la mecánica clásica.

En el caso de la carga de la banda transportadora, las fuerzas sobre la prenda de vestir serán:

Figura 60. Diagrama de cuerpo libre de la carga.



Realizando la sumatoria de fuerzas en el eje y , que en este caso equivale a cero por no haber desplazamiento vertical:

$$\sum F_Y = 0$$

$$F_{NB} - W_C = 0$$

$$F_{NB} = W_C = m_C * g$$

Dónde:

F_{NB} : Fuerza normal ejercida por la banda transportadora sobre la carga [N].

W_C : Peso de la carga [N].

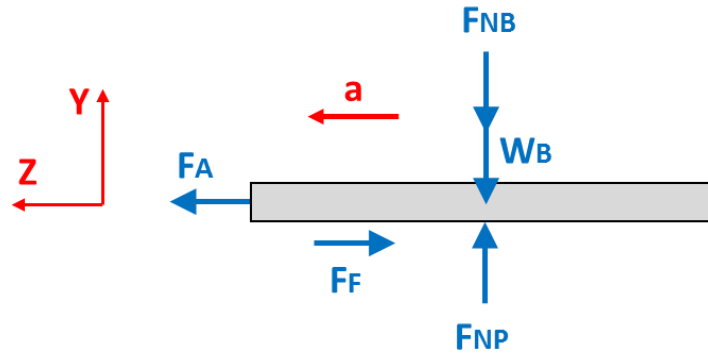
m_C : Masa de la carga [kg].

g : Gravedad promedio sobre el planeta tierra [9,8 m/s²]¹².

Después de revisar la condición de la carga, se analiza la sección de la banda transportadora que se encuentra soportada sobre la placa intermedia, mediante el siguiente diagrama de cuerpo libre:

¹² SERWAY, Raymond; JEWETT, John W. Física para ciencias e ingenierías. 6 ed. México: Editorial Thomson, 2005.

Figura 61. Diagrama de cuerpo libre de la banda transportadora.



Realizando la sumatoria de fuerzas en el eje y, se tiene:

$$\sum F_Y = 0$$
$$F_{NP} - F_{NB} - W_B = 0$$

El peso de la banda viene dado por la expresión:

$$W_B = m_B * g$$

Dónde:

F_{NP} : Fuerza normal ejercida por la placa de soporte sobre la banda transportadora [N].

W_B : Peso de la sección de banda transportadora que se encuentra apoyada sobre la placa de soporte [N].

m_B : Masa de la sección de banda transportadora que se encuentra apoyada sobre la placa de soporte [kg].

Remplazando el peso de la banda y la fuerza normal de la banda en la sumatoria de fuerzas del eje Y para la banda transportadora se tiene:

$$F_{NP} - F_{NB} - W_B = 0$$

$$F_{NP} - m_C * g - m_B * g = 0$$

$$F_{NP} = g * (m_C + m_B)$$

Ahora se analizan las fuerzas involucradas con la sección banda transportadora en el eje Z. Como el arranque del equipo se inicia desde el reposo hasta una velocidad de régimen establecida, se presentará una aceleración que caracteriza un comportamiento dinámico. En consecuencia, el análisis de fuerzas en el eje Z será:

$$\sum F_Z = m_T * a$$

$$F_A - F_F = m_T * a$$

$$F_A = m_T * a + F_F$$

Dónde:

F_A : *Fuerza arranque*

a : *Aceleración de la banda transportadora.*

m_T : *Masa total.*

F_F : *Fuerza de fricción entre la placa de soporte y la banda.*

La masa total acelerada es:

$$m_T = (m_C + m_B)$$

La aceleración viene dada por:

$$a = \frac{V}{t}$$

Dónde:

V : *Velocidad final de la banda transportadora.*

t : *Tiempo de aceleración.*

La fuerza de fricción entre la placa de soporte y la banda es:

$$F_F = \mu * F_{NP}$$

Donde μ es el coeficiente de fricción entre la banda transportadora y la placa de soporte. Entonces, reemplazando la fuerza normal a la placa en la fuerza de fricción se tiene:

$$F_F = \mu * g * (m_C + m_B)$$

Sustituyendo la masa total, la aceleración y la fuerza de fricción en la sumatoria de fuerzas en Z para la banda transportadora, se tiene:

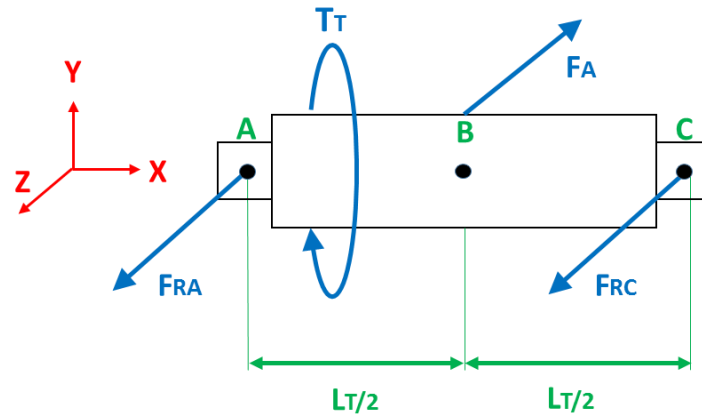
$$F_A = m_T * a + F_F$$

$$F_A = (m_C + m_B) * \frac{V}{t} + [\mu * g * (m_C + m_B)]$$

$$F_A = (m_C + m_B) * \left(\frac{V}{t} + \mu * g \right)$$

Ahora, terminado el análisis de la carga y de la banda transportadora, se realiza el análisis de los elementos rotacionales. Es decir, los rodillos que brindan apoyo a la banda (motriz y tensor) para examinar las condiciones de torque y potencia requeridos en el sistema. A continuación se presenta el diagrama de cuerpo libre del tambor motriz:

Figura 62. Diagrama de cuerpo libre del tambor motriz.



Realizando la sumatoria de fuerzas en el eje Z se tiene:

$$\sum F_Z = 0$$

$$F_{RA} + F_{RC} - F_A = 0$$

Dónde:

F_{RA} : Fuerza de reacción en el apoyo A

F_{RC} : Fuerza de reacción en el apoyo C

Por simetría geométrica se tiene:

$$F_{RA} = F_{RC}$$

Remplazando las fuerzas de reacción de los apoyos del tambor en la sumatoria de fuerzas en el eje Z para el mismo, se tiene:

$$F_{RA} + F_{RC} - F_A = 0$$

$$F_{RA} + F_{RA} - F_A = 0$$

$$2F_{RA} - F_A = 0$$

$$2F_{RA} = F_A$$

$$F_{RA} = \frac{F_A}{2}$$

El torque del sistema se puede analizar por la sumatoria de momentos en el eje X en donde se presenta una aceleración angular:

$$\sum M_X = \sum T = J_T * \alpha$$

$$T_T - F_A * \frac{D_T}{2} = J_T * \alpha$$

$$T_T = J_T * \alpha + F_A * \frac{D_T}{2}$$

Dónde:

T_T : Torque total necesario para mover el tambor.

D_T : Diámetro del tambor motriz.

Teniendo en cuenta una eficiencia mecánica (η) para el sistema, la ecuación del torque total queda:

$$T_T = \frac{J_T * \alpha + F_A * \frac{D_T}{2}}{\eta}$$

Para calcular el torque necesario por el motor (T_M), es necesario introducir un factor de seguridad (K_S) para garantizar el buen funcionamiento del mismo evitando sobrecargarlo. Así, la expresión queda de la siguiente manera:

$$T_M = T_T * K_S$$

Finalmente, la potencia consumida por el sistema motriz será el producto del torque necesario para el motor (T_M) por la velocidad angular (ω):

$$Pot = T_M * \omega$$

4.3.2.3 Análisis mecánico

El análisis mecánico se enfoca en resolver la dinámica planteada en el modelo mecánico, estableciendo los resultados para cada variable propuesta. Con base en eso, se desean establecer los componentes que harán conjunto en el sistema de la banda transportadora. Para lo anterior, hay que realizar las siguientes acciones:

1. Realizar la asignación, cálculo y consulta de algunas variables físicas y geométricas presentadas en el modelo dinámico:
 - Establecer el peso de la carga.
 - Consultar el peso del material de la banda transportadora y su coeficiente de fricción con el acero.
 - Dimensionar los rodillos de la banda transportadora y especificar su construcción interna.
 - Asignar valores a la eficiencia mecánica y al factor de seguridad.

2. Realizar el análisis dinámico del sistema mecánico:
 - Calcular las fuerzas de aceleración y de reacción en los apoyos de los rodillos.
 - Calcular los momentos de inercia de la carga, de la banda transportadora y de los rodillos.
 - Determinar el valor del torque total, el torque requerido para el motor y la potencia del sistema.
 - Realizar los diagramas de fuerza cortante, torque y momento flector.

3. Dimensionamiento y selección de componentes:

- Establecer el diámetro mínimo de los ejes de los rodillos.
- Seleccionar el motor, apoyos y transmisión mecánica.

Asignación de variables primarias

En esta etapa se introducen los datos que sirven como base de cálculo de todo el proceso de análisis mecánico. Es decir, se realiza un procedimiento de asignación de variables primarias por medio de cálculos, investigación o proposición.

La masa de la carga es una variable crucial porque es precisamente lo que se desea transportar. En este caso de diseño, la carga siempre serán prendas de vestir previamente estampadas. Teniendo en cuenta un límite superior, las prendas más robustas que se deben trabajar en el taller son los jeans para hombre de tallas grandes (38-40), con un peso equivalente a 1 kg. La longitud de un jean plegado sobre sí mismo es de 30 cm o 0,3 m. Entonces, La carga máxima se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Cantidad de prendas} = \frac{L_{BT}}{L_p} = \frac{1,5 [m]}{0,3 [m/Prenda]} = 5 [Prendas]$$

$$m_c = \text{Cantidad de prendas} * m_p$$

$$m_c = 5 [\text{Prendas}] * 1 \left[\frac{kg}{\text{prenda}} \right]$$

$$m_c = 5 [kg]$$

Dónde:

L_{BT}: Longitud de la banda transportadora [m].

L_p: Longitud de la prenda plegada [m].

m_p: Masa de cada prenda [kg/prenda].

m_c: Masa de la carga total [kg].

En el diseño conceptual se menciona la selección de una malla PTFE como material de la banda transportadora gracias a sus propiedades térmicas. Este material consiste en una mezcla de fibra de vidrio recubierta con teflón. Como la banda se va a apoyar y trasladar sobre una lámina de acero, se debe establecer el coeficiente de fricción (μ) entre este último y el teflón, que para este caso equivale a 0,04. Por otro lado, este material tiene un peso de 13.3 [oz/yd²] según su catalogo, y este dato se utiliza para calcular el peso total del material de la banda transportadora:

$$m_B = A_B * 13.3 \left[\frac{oz}{yd^2} \right] * \left[\frac{1 [kg]}{35,274 [oz]} * \frac{1 [m^2]}{1,094 [yd^2]} \right]$$

$$m_B = (0,5 * 3)[m^2] * 13.3 \left[\frac{oz}{yd^2} \right] * \left[\frac{1 [kg]}{35,274 [oz]} * \frac{1 [m^2]}{1,094 [yd^2]} \right]$$

$$m_B = 0,52 [kg]$$

Dónde:

m_B : Masa del material de la banda transportadora.

A_B : Área del material de la banda transportadora.

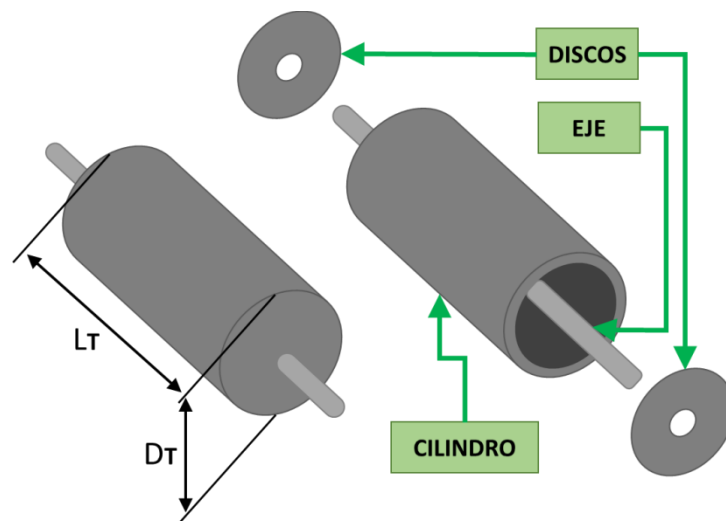
Teniendo en cuenta que este material se construye con refuerzos laterales y un gancho de unión que permite enlazar sus extremos, la masa de la banda se aproxima a 1 kg:

$$m_B = 1 [kg]$$

Los rodillos son los elementos que le dan soporte a los extremos del material flexible de la banda transportadora, los cuales giran solidarios a ella. Entonces, su dimensionamiento se relaciona con las cotas de la banda, y para este caso, su ancho debe ser igual al de la misma, el cual equivale a 50 cm. Por otra parte, el diámetro mínimo de los rodillos recomendado por los fabricantes del material de la banda transportadora es de 10 cm. Esto se debe a que la malla PTFE tiene un coeficiente de fricción bajo y una flexibilidad media. Es por esto que si se utilizan rodillos de diámetros menores su desplazamiento puede llegar a comprometerse o podría influirse negativamente en la vida útil del material.

Se desea realizar la construcción de los rodillos de una manera práctica y económica. Para esto, se plantea un conjunto de cuatro partes unidas por soldadura que son un cilindro, dos discos laterales y una barra de perfil redondo, los cuales se ilustran a continuación:

Figura 63. Construcción del tambor de la banda transportadora.



Teniendo en cuenta lo anterior, se propone la utilización de dos tramos de tubería de 4 pulgadas de diámetro exterior con un espesor de 3 mm como cilindro base. Además, utilizar dos discos cortados de una lamina de acero estructural de $\frac{1}{4}$ de pulgada de espesor. Entonces, las dimensiones básicas de los rodillos y de sus componentes son:

$$L_T = 50 [cm] = 0,5 [m]$$

$$D_T = 4 [in] = 0,1016 [m]$$

$$D_{CIL} = D_T$$

$$e_{CIL} = 3 [mm] = 3 \times 10^{-3} [m]$$

$$D_{DISCO} = D_{CIL} - 2 * e_{CIL}$$

$$D_{DISCO} = 0,1016 [m] - 2 * 3 \times 10^{-3} [m]$$

$$D_{DISCO} = 0,0956 [m]$$

$$e_{DISCO} = \frac{1}{4} [in] = 6,35 \times 10^{-3} [m]$$

Donde:

L_T : Longitud del tambor.

D_T : Diámetro del tambor.

D_{CIL} : Diámetro del cilindro.

D_{DISCO} : Diámetro del disco.

e_{CIL} : Espesor del cilindro.

e_{DISCO} : Espesor del disco.

La eficiencia mecánica (η) y el factor de seguridad (K_S) son variables que se tienen en cuenta en torno a garantizar que el sistema funcione correctamente y no quede sobrecargado. Usualmente se toman eficiencias mecánicas de valores entre el 85% y 95% y factores de seguridad entre 1,5 y 2. Buscando un enfoque conservador se plantea lo siguiente:

$$\eta = 85\%$$

$$K_S = 2$$

Análisis dinámico

Esta sección contiene los cálculos que conciernen las características dinámicas del sistema expuestas en el modelo previsto. Es así, que se determinan por medio de procesos matemáticos las variables más importantes que dan pie al proceso de selección de los elementos del sistema mecánico.

Teniendo en cuenta el modelo dinámico, las especificaciones de diseño y la asignación de variables presentada anteriormente, se resumen los datos de entrada del análisis en la siguiente tabla:

Tabla 11. Variables físicas para el inicio del análisis dinámico.

Variable	Descripción	Valor	Unidades
g	Gravedad promedio del planeta tierra	9,81	$\left[\frac{m}{s^2}\right]$
V	Velocidad máxima de la banda transportadora	150	$\left[\frac{cm}{min}\right]$
t	Tiempo de aceleración	0,5	[s]
m_C	Masa de la carga	5	[kg]
m_B	Masa de la banda transportadora	1	[kg]
k	Coefficiente de fricción teflón-acero	0,04	-
L_T	Longitud del tambor	0,5	[m]
D_T	Diámetro del tambor	0,1016	[m]
D_{CIL}	Diámetro del cilindro del tambor	0,1016	[m]
D_{DISCO}	Diámetro del disco del tambor	0,0956	[m]
e_{CIL}	Espesor del cilindro del tambor	3×10^{-3}	[m]
e_{DISCO}	Espesor del disco del tambor	$6,35 \times 10^{-3}$	[m]
ρ_{ACERO}	Densidad promedio del acero	7850	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
η	Eficiencia mecánica	0,85	-
K_S	Factor de seguridad para el torque	2	-

Como el objetivo de este análisis es seleccionar un motor y una transmisión mecánica, se requiere establecer su torque y potencia necesarios. Siguiendo el modelo mecánico, para establecer el torque total primero hay que hallar las fuerzas e inercias involucradas:

$$F_A = (m_C + m_B) * \left(\frac{V}{t} + \mu * g \right)$$

$$F_A = (5 + 1)[kg] * \left(\frac{150 \left[\frac{cm}{min} \right] * \left[\frac{1 m}{100 cm} \right] * \left[\frac{1 min}{60 s} \right]}{0,5 [s]} + 0,04 * 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right] \right)$$

$$F_A = 2,65 [N]$$

Continuando con el cálculo de fuerzas, las reacciones en los apoyos de los rodillos serían:

$$F_{RA} = F_{RC}$$

$$F_{RA} = \frac{F_A}{2}$$

$$F_{RA} = F_{RC} = \frac{2,65 [N]}{2} = 1,33 [N]$$

La ecuación del torque menciona un momento de inercia total, que es la suma de los momentos de inercia de la carga, de la banda transportadora y de los rodillos. En el caso de los rodillos, el momento de inercia será la suma de las inercias de sus componentes, es decir, las inercias del cilindro y de los discos laterales (el eje no se tiene en cuenta porque no se han definido sus dimensiones). Entonces, para el caso de un cilindro hueco el momento de inercia viene dado por la expresión:

$$J = \frac{1}{2} * m * (R^2 + r^2)$$

O también:

$$J = \frac{1}{2} * m * \left(\left(\frac{D}{2} \right)^2 + \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right)$$

$$J = \frac{1}{2} * m * \left(\frac{1}{4} * (D^2 + d^2) \right)$$

$$J = \frac{1}{8} * m * (D^2 + d^2)$$

En la ecuación anterior las variable (m) es la masa del cilindro mientras que (D) y (d) son el diámetro exterior e interior del cilindro respectivamente. Entonces, para este caso se puede decir:

$$J_{CIL} = \frac{1}{8} * m_{CIL} * (D_{CIL}^2 + (D_{CIL} - 2 * e_{CIL})^2)$$

La masa se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$m_{CIL} = \rho_{ACERO} * v_{CIL}$$

Donde (v_{CIL}) es el volumen del cilindro y se puede determinar así:

$$v_{CIL} = \frac{\pi}{4} * (D_{CIL}^2 + (D_{CIL} - 2 * e_{CIL})^2) * L_{TM}$$

$$v_{CIL} = \frac{\pi}{4} * (0,1016^2 + (0,1016 - (2 * 3 \times 10^{-3}))^2) [m^2] * 0,5 [m]$$

$$v_{CIL} = 4,646 \times 10^{-4} [m^3]$$

Así, la masa del cilindro será:

$$m_{CIL} = \rho_{ACERO} * v_{CIL}$$

$$m_{CIL} = 7850 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 4,646 \times 10^{-4} [m^3]$$

$$m_{CIL} = 3,647 [kg]$$

Y por ende, el momento de inercia del cilindro será:

$$J_{CIL} = \frac{1}{8} * m_{CIL} * (D_{CIL}^2 + (D_{CIL} - 2 * e_{CIL})^2)$$

$$J_{CIL} = \frac{1}{8} * 3,647 [kg] * (0,1016^2 + (0,1016 - (2 * 3 \times 10^{-3}))^2) [m^2]$$

$$J_{CIL} = 8,872 \times 10^{-3} [kg * m^2]$$

Por otra parte, el momento de inercia de los discos se puede calcular como el de un cilindro macizo:

$$J = \frac{1}{2} * m * R^2$$

O también:

$$J = \frac{1}{8} * m * D^2$$

Que para este caso es:

$$J_{DISCO} = \frac{1}{8} * m_{DISCO} * D_{DISCO}^2$$

Siendo la masa del disco:

$$m_{DISCO} = \rho_{ACERO} * v_{DISCO}$$

De donde su volumen se calcula así:

$$v_{DISCO} = \frac{\pi}{4} * D_{DISCO}^2 * e_{DISCO}$$

$$v_{DISCO} = \frac{\pi}{4} * 0,0956^2 [m^2] * 6,35 \times 10^{-3} [m]$$

$$v_{DISCO} = 4,558 \times 10^{-5} [m^3]$$

Entonces la masa del disco es:

$$m_{DISCO} = \rho_{ACERO} * v_{DISCO}$$
$$m_{DISCO} = 7850 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 4,558x10^{-5} [m^3]$$
$$m_{DISCO} = 0,3578 [kg]$$

Ahora, el momento de inercia del disco es:

$$J_{DISCO} = \frac{1}{8} * m_{DISCO} * D_{DISCO}^2$$
$$J_{DISCO} = \frac{1}{8} * 0,3578 [kg] * 0,0956^2 [m^2]$$
$$J_{DISCO} = 4,087x10^{-4} [kg * m^2]$$

Finalmente, el momento de inercia total del rodillo será:

$$J_R = J_{CIL} + 2 * J_{DISCO}$$
$$J_R = [8,872x10^{-3} + 2 * 4,087x10^{-4}] [kg * m^2]$$
$$J_R = 9,69x10^{-3} [kg * m^2]$$

Ahora bien, conociendo el momento de inercia de los rodillos, se procede a calcular los de la carga y la banda transportadora. En esta situación como ambas cosas no giraran sobre su propio eje, sino que esto ocurrirá sobre el eje de los rodillos, se aplicará el teorema de ejes paralelos:

$$J = \bar{J} + m * r^2$$

Donde la inercia total viene expresada como la suma de la inercia del objeto \bar{J} con el producto de su masa (m) por el cuadrado de la distancia entre los ejes de rotación (r^2). Como se mencionó anteriormente, ni la carga ni la banda rotan sobre su propio eje, lo que elimina el término \bar{J} de la ecuación:

$$J = m * r^2$$

Teniendo en cuenta que la distancia (r) es el radio del tambor, se tiene:

$$J = m * \left(\frac{D_T}{2}\right)^2$$

$$J = \frac{1}{4} * m * D_T^2$$

Utilizando la expresión anterior para el cálculo de la inercia de la carga:

$$J_C = \frac{1}{4} * m_C * D_T^2$$

$$J_C = \frac{1}{4} * 5 [kg] * 0,1016^2 [m^2]$$

$$J_C = 1,29x10^{-2} [kg * m^2]$$

Mientras que la inercia del material de la banda será:

$$J_B = \frac{1}{4} * m_B * D_T^2$$

$$J_B = \frac{1}{4} * 1 [kg] * 0,1016^2 [m^2]$$

$$J_B = 2,58x10^{-3} [kg * m^2]$$

Finalmente, la inercia total del sistema será la suma de la inercia de los dos rodillos, la carga y la banda transportadora:

$$J_T = 2 * J_R + J_C + J_B$$

$$J_T = (2 * 9,69x10^{-3} + 1,29x10^{-2} + 2,58x10^{-3}) [kg * m^2]$$

$$J_T = 3,486x10^{-2} [kg * m^2]$$

Después de haber culminado el proceso del cálculo de las inercias y siguiendo el planteamiento elaborado en el modelo dinámico, se puede terminar el valor del torque total del sistema. Recordando la ecuación del torque total planteada anteriormente:

$$T_T = \frac{J_T * \alpha + F_A * \frac{D_T}{2}}{\eta}$$

Donde la aceleración angular es:

$$\alpha = \frac{a}{\frac{D_T}{2}} = \frac{2 * a}{D_T} =$$

$$\alpha = \frac{2 * V}{D_T * t}$$

$$\alpha = \frac{2 * 150 \left[\frac{cm}{min} \right] * \left[\frac{1 m}{100 cm} \right] * \left[\frac{1 min}{60 s} \right]}{0,1016 [m] * 0,5 [s]}$$

$$\alpha = 0,984 \left[\frac{rad}{s^2} \right]$$

Remplazando este valor en la ecuación para el cálculo del torque total, se tiene:

$$T_T = \frac{J_T * \alpha + F_A * \frac{D_T}{2}}{\eta}$$

$$T_T = \frac{3,486 \times 10^{-2} [kg * m^2] * 0,984 \left[\frac{rad}{s^2} \right] + 2,65 [N] * \frac{0,1016 [m]}{2}}{0,85}$$

$$T_T \approx 0,2 [N * m]$$

Teniendo en cuenta el factor de seguridad, el torque del motor será:

$$T_M = T_T * K_S$$

$$T_M = 0,2 [N * m] * 2$$

$$T_M = 0,4 [N * m]$$

En conclusión, la potencia requerida por el sistema es:

$$Pot = T_M * \omega$$

$$Pot = T_M * \frac{2 * V}{D_T}$$

$$Pot = 0,4 [N * m] * \frac{2 * 150 \left[\frac{cm}{min} \right] * \left[\frac{1 m}{100 cm} \right] * \left[\frac{1 min}{60 s} \right]}{0,1016 [m]}$$

$$Pot = 0,2 [W]$$

Para resumir el análisis dinámico, los diagramas de fuerza cortante, momento flector y torque sobre el eje del rodillo se muestran a continuación:

Figura 64. Diagrama de fuerza cortante sobre el eje del tambor.

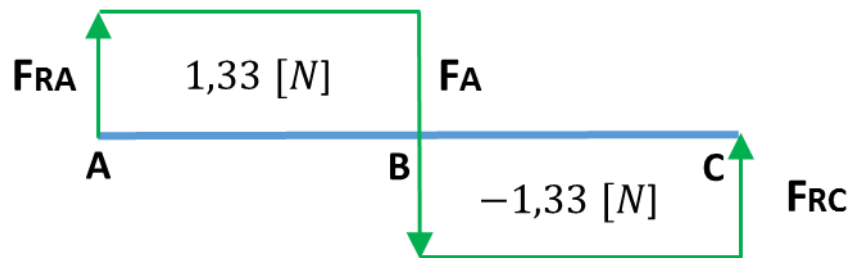


Figura 65. Diagrama de momento flector sobre el eje del tambor.

$$M_Y = F_{RA} * \left(\frac{L_T}{2}\right) = 1,33 \text{ [N]} * \frac{0,5 \text{ [m]}}{2}$$

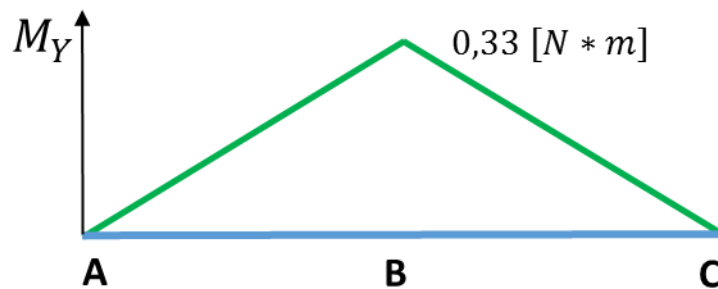
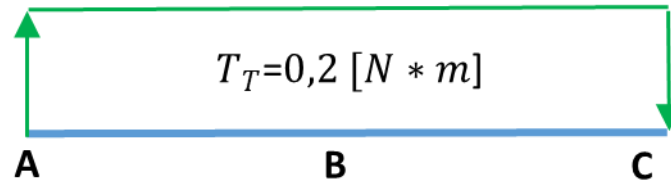


Figura 66. Diagrama de torque sobre el eje del tambor.



Dimensionamiento y selección de componentes

El análisis dinámico indicó los valores de las constantes claves para el diseño mecánico. Por lo cual se sigue al dimensionamiento y selección de componentes de la banda transportadora del túnel de secado.

Diámetro de los ejes de los rodillos

El principal factor a establecer es el diámetro de los ejes de los rodillos, éste parte de los resultados calculados para la fuerza cortante, momento flector y torque total. Cuyos respectivos valores son:

$$F_{RA} = 1,33 [N]$$

$$M = 0,33 [N.m]$$

$$T_T = 0,2 [N.m]$$

Revisando estos resultados anteriores, se puede determinar que sus magnitudes son mínimas. Esto ocurre debido a que los requerimientos del sistema en torno a la carga son muy bajos, otorgando un resultado que solicita una muy baja potencia mecánica.

Entonces, para este caso resultará poco provechoso realizar el cálculo del diámetro mínimo de los ejes de los rodillos, ya que el resultado daría muy pequeño y nada viable para la construcción. Es decir, desde el diseño se debe proyectar la construcción de la máquina siguiendo el diseño virtual presentado en el desarrollo conceptual. En este último, se evidencia que los apoyos para los rodillos mas prácticos para el ensamble son las chumaceras tensoras y las de pared, para las cuales el diámetro mínimo estandarizado equivale a ½ pulgada. Es así, que es preferible establecer el diámetro mínimo del eje a este valor y sobredimensionarlo con respecto a la carga, con el fin de favorecer la manufactura y el ensamble del equipo. Para esto se propone utilizar el acero AISI / SAE 1020 como material de los ejes de los rodillos debido a su bajo costo y accesibilidad. Por lo tanto, el diámetro del eje de los rodillos será:

$$D_{EJE} = \frac{1}{2} [in] = 0,0127 [m]$$

Selección el motor, apoyos y transmisión mecánica

Como se menciona anteriormente, los apoyos proyectados para el equipo son las chumaceras de pared y tensoras. Siguiendo el planteamiento del diámetro mínimo estandarizado, se deben escoger las de ½ pulgada. Por lo cual las referencias seleccionadas son la chumacera de pared UCF201-8 y la chumacera tensora UCST201-8 que utilizan rodamientos de la referencia UC201-8.

La selección del motor se debe hacer analizando el torque motriz (T_M), la velocidad angular (ω) y la potencia requerida por el sistema mecánico. Cuyos valores obtenidos en el análisis dinámico se presenta a continuación:

$$T_M = 0,4 \text{ [N.m]}$$

$$\omega = \frac{2 * V}{D_T} = \frac{2 * 150 \left[\frac{cm}{min} \right] * \left[\frac{1 m}{100 cm} \right] * \left[\frac{1 min}{60 s} \right]}{0,1016 \text{ [m]}}$$

$$\omega = 0,4921 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

$$\omega = 0,4921 \left[\frac{rad}{s} \right] * \left[\frac{1 rev}{2\pi rad} \right] * \left[\frac{60 s}{1 min} \right]$$

$$\omega = 4,7 \text{ [RPM]}$$

$$Pot = 0,2 \text{ [W]}$$

De lo anterior se puede observar que tanto el torque, como la velocidad angular y la potencia son sumamente bajos. Bajo esta observación, cualquier motor eléctrico de corriente directa o de corriente alterna, debería estar conectado a un reductor de velocidad de gran reducción para lograr obtener la salida deseada. Es por esto, que en la página 91 correspondiente a la selección de alternativas del desarrollo conceptual se propone el uso de un motor paso a paso de corriente directa. El motivo de esa sugerencia radica en que este tipo de motores se puede controlar mediante una programación sencilla, energizando sus bobinas según sean los requerimientos de velocidad y sentido de giro. Entonces, utilizando los resultados obtenidos y consultando la disponibilidad de este elemento en el mercado local, se he decidido escoger el motor de la marca wantai motor referencia 57BYGH420. El cual presenta las siguientes características:

Figura 67. Motor paso a paso unipolar 57BYGH420.



Fuente: Disponible en internet: <<http://hannahmishin.com/blog/2014/1/20/step-motor-research>>

- ✓ Tipo: Motor paso a paso unipolar.
- ✓ Paso: 1.8°
- ✓ Voltaje nominal: 3V.
- ✓ Corriente nominal: 2A/fase.
- ✓ Torque máximo: 9 kg*cm.
- ✓ Forma: NEMA 23

Por ultimo, se debe establecer el tipo de transmisión mecánica utilizada en la banda transportadora del túnel de secado. Para esto se deben tener en cuenta dos aspectos muy importantes, que son la ubicación del motor sobre uno de los perfiles en C y el hecho de que el sistema requiere de un control de velocidad. Entonces, si el motor estará ubicado en forma paralela al tambor, la forma mas efectiva y sencilla de conectarlos será por medio de una transmisión flexible, ya se por correa o cadena. Sin embargo, al tener en cuenta el segundo aspecto, se debe garantizar que el control de velocidad sea efectivo, por lo que la transmisión deberá ser sincrónica.

La solución que cumple con estos dos aspectos es implementar una cadena como transmisión mecánica, en donde la de menor potencia es la cadena tipo 25B. Como se habla de un control de velocidad de lazo abierto, se ha decido implementar una reducción entre el motor y el tambor para dar una mayor resolución al control. Utilizando una reducción de 2:1 el tambor girará una vuelta por cada una que realice el motor, lo que brinda un rango más amplio de control y favorece el torque entregado por el motor. Finalmente, se escogen las ruedas dentadas para cadena 25B marca INTERMEC de referencias 25B30 y 25B15.

4.3.3 Diseño eléctrico

El diseño eléctrico se encarga en su mayor parte de la elección de los componentes eléctricos y electrónicos necesarios para el funcionamiento del horno de curado. Debido a que se han seleccionado previamente actuadores estandarizados como las lámparas infrarrojas y el motor paso a paso, no se diseñará ningún pre-actuador electrónico, simplemente se designarán los elementos requeridos para la puesta en marcha de los anteriores. Entonces, las actividades del diseño eléctrico no necesitan el planteamiento de un modelo teórico, sino actividades que permitan establecer el diagrama eléctrico de las conexiones de los sistemas del equipo.

4.3.3.1 Especificaciones eléctricas

Para poder realizar un análisis eléctrico que permita determinar los componentes del sistema y la distribución eléctrica, es necesario tener en cuenta las especificaciones de diseño. Por esta razón, se nombran los requerimientos primarios que están relacionados de alguna manera con el sistema eléctrico:

- ✓ Sistema de transporte con velocidad variable correspondiente al tiempo de curado de las tintas textiles (entre 0 y 150 cm/min).
- ✓ Sistema de calefacción basado en lámparas de radiación infrarroja de 13 W/cm.
- ✓ Sistema de control de temperatura de ambiente de horno (entre 70°C y 190°C).
- ✓ Alimentación eléctrica monofásica de 120 V.

4.3.3.2 Análisis eléctrico

Este proceso indica las acciones necesarias para el desarrollo del circuito eléctrico total del túnel de secado textil. Enunciando los elementos requeridos para complementar la funcionalidad de los sistemas, como son los sensores, pre-actuadores y controladores, el tipo de cableado y otros componentes electrónicos. Con base en lo anterior, se establecen los diagramas para el diseño eléctrico que permitan la construcción del circuito general. Entonces, las etapas de este análisis junto con sus labores se nombran a continuación:

1. Selección de componentes:

- Elegir el pre-actuador, sensor y controlador del sistema térmico.
- Escoger el pre-actuador y controlador del sistema mecánico.
- Determinar que otro tipo de elementos son necesarios para acoplar los sistemas principales a una alimentación de corriente alterna monofásica.
- Establecer el tipo de cableado requerido para las conexiones eléctricas.

2. Creación de diagramas eléctricos.

- Explicar las conexiones localizadas para el sistema eléctrico y el sistema mecánico mencionando sus componentes electrónicos.
- Asignar de las protecciones eléctricas internas y externas al equipo.
- Realizar los diagramas para el circuito de potencia, los circuitos de control y el esquema general de conexiones eléctricas.

Selección de componentes

El diseño eléctrico está direccionado hacia la selección de elementos que complementen la funcionalidad de aquellos previamente seleccionados en el diseño térmico y el diseño mecánico. Esto se hace con el fin de completar la interacción entre los actuadores del sistema con los demás componentes involucrados en las labores de control de temperatura y de velocidad.

Sistema térmico

Se ha mencionado múltiples veces en el diseño térmico que las lámparas infrarrojas serán la base del sistema de calefacción. Estas trabajan a corriente alterna monofásica, consumiendo una potencia eléctrica de 650 W cada una. Entonces, para ejecutar la acción de control de temperatura se requiere de un elemento que pueda regular su encendido interrumpiendo el paso de corriente. Los dispositivos empleados generalmente para esta función son los relés de estado sólido, utilizados en muchas aplicaciones industriales de control. Teniendo en cuenta que se utilizarán tres lámparas conectadas en paralelo, la corriente consumida por ellas será:

$$I_{TL} = \frac{Pot_L * N_L}{V_{AC}}$$

Donde:

I_{TL} : Corriente total consumida por las lámparas infrarrojas.

P_{ot_L} : Potencia consumida por una lámpara infrarroja.

N_L : Número de lámparas infrarrojas.

V_{AC} : Voltaje de alimentación monofásica.

$$I_{TL} = \frac{650 [W] * 3}{110 [V]} \approx 18 [A]$$

Por lo anterior, el requerimiento de corriente para el relé de estado solido debe ser superior a 18 amperios. Indagando en el mercado local, la referencia encontrada SASSIN ZG3NC-240B permite controlar una corriente de 40 amperios para un voltaje de trabajo de 30-240 VAC, teniendo un rango voltaje de entrada de 3-32 VDC que es muy utilizado en los controladores de temperatura.

Figura 68. Relé de estado solido ZG3NC-240B.



Fuente: Disponible en internet: <<http://cdn.pollin.de/article/big/G340398.JPG>>

En el funcionamiento de la máquina, la lectura de temperatura es una de las funciones más importantes porque según ella se ejecuta el control. En el caso del horno de curado, el rango de operación oscila entre los 70°C y 190°C. Debido a esto se requiere un sensor que se permita registrar temperaturas iguales o superiores a las especificadas. Una opción de fácil accesibilidad, confiabilidad y de uso amplio en aplicaciones industriales son los termopares. Entonces, seleccionando uno de estos sensores por su economía y disponibilidad, se llegó a la conclusión de implementar la termocupla tipo J 56100 cuyas características son:

Figura 69. Termocupla tipo J 56100.



Fuente: Disponible en internet: < <http://www.electricasbogota.com/detalles/temperatura/310-56100>>

- ✓ Tipo: J
- ✓ Temperatura de trabajo: 450° (máx.)
- ✓ Alambre de extensión: 2m (en fibra de vidrio - enmallado)
- ✓ Diámetro interno copa bayoneta: 12.40mm
- ✓ Dimensiones bulbo: Ø4.8mm x 15mm

Existen unos dispositivos que tienen características específicas para el control de temperatura. Éstos contienen la caracterización de varios tipos de termopares y otros sensores, además, permiten una programación con diferentes estrategias de control como ON-OFF o PID. Entonces, un controlador de temperatura que se adecúa al tipo de sensor y de pre-actuador seleccionados es el HANYOUNG NUX AX7-1A. Éste permite la selección de la termocupla tipo J como entrada y establece un relé de estado sólido como salida enviándole una señal de corriente continua (12 VDC) según como lo indique la acción de control.

Figura 70. Controlador de temperatura HANYOUNG NUX AX7-1A.



Fuente: Disponible en internet: <http://www.sah.rs/Termoregulatori/AXSerija_eng.html>

Sistema mecánico

El análisis eléctrico para el sistema mecánico se establece para definir los dispositivos que harán parte del control de velocidad. Como se mencionó anteriormente en el desarrollo conceptual, este control empleará una estrategia de control de lazo abierto, es decir, sin realimentación. Esto indica, que para este caso no será necesario el uso de ningún sensor, lo que implica que solo se tendrá en cuenta la selección del pre-actuador y del controlador de velocidad.

El motor de pasos escogido en el diseño mecánico funciona al energizar cada una de sus bobinas en un orden específico. Para realizar esta labor, existen unas tarjetas controladoras estandarizadas. La de mayor accesibilidad en el mercado local es la BL-TB6560-V2 y permite controlar un motor de hasta 3 amperios.

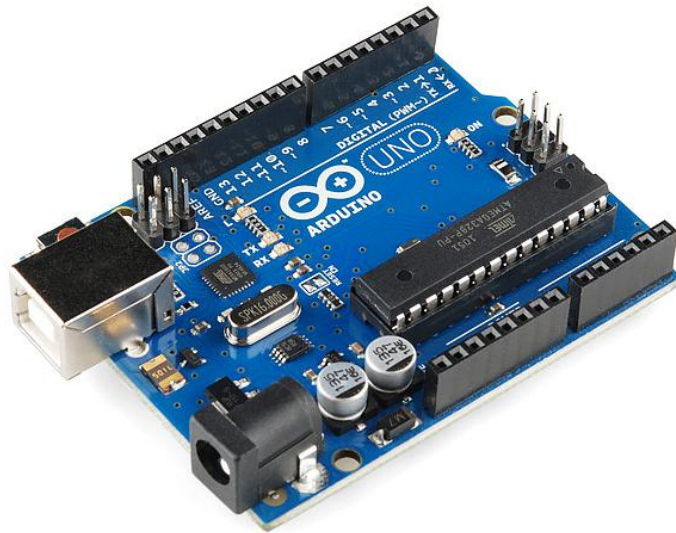
Figura 71. Driver de motores de pasos BL-TB6560-V2.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.uctronics.com/tb6560-3a-stepper-motor-driver-board-of-single-axis-controller-p-1726.html>>

Ahora, se necesita un controlador que le envíe una señal de pulsos al driver del motor para regular su velocidad. Esto podría implementarse mediante la elaboración de un circuito electrónico pequeño. Sin embargo, para agilizar la implementación y garantizar mayor confiabilidad, se decide escoger una tarjeta controladora ARDUINO UNO R3. La anterior es de fácil programación y permite conectarse a un computador para leer datos, lo que la hace favorable en la etapa de pruebas.

Figura 72. Tarjeta controladora ARDUINO UNO R3.



Fuente: Disponible en internet:

<http://5hertz.com/index.php?main_page=product_info&products_id=390>

Otros elementos

Hay que considerar que todo el equipo debe funcionar con una alimentación de corriente alterna monofásica. En contraste, se han elegido dos tarjetas para el control de velocidad, las cuales trabajan con diferentes voltajes de corriente directa. Es así, que el driver de motores de pasos trabaja a 24 VDC, lo que requiere de una fuente que tenga una salida a esta tensión. Gracias a esto, se selecciona la fuente Meanwell S-150-24 para alimentar el driver. Por otro lado, la tarjeta controladora Arduino Uno R3 trabaja con un rango de entrada de 7 a 12 VDC. Es por esto que se ha escogido como fuente el adaptador Techman AD-912 con una salida de 9 VDC y 1200 mA.

Figura 73. Fuente de 24 VDC Meanwell S-150-24.



Fuente: Disponible en internet: <<https://octopart.com/s-150-24-mean+well-3992017>>

Figura 74. Adaptador de 9 VDC Techman AD-912.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.techman-usa.com/products-page/acdc-adaptors/ad-912/>>

Cableado

La selección del cableado de las lámparas infrarrojas es muy importante porque estará sometido a altas temperaturas dentro de la cámara del horno de curado, y además, deberá soportar una corriente de 18 amperios. Es por esto que se escoge el cable siliconado calibre 10 que soporta una corriente de 30 amperios y una temperatura de 200°C para las conexiones de las lámparas dentro del horno. De resto, se utilizarán cables estándar AWG calibre 10 para las conexiones de las lámparas por fuera del horno y cables calibre 16 para las conexiones de los otros implementos.

Diagramas eléctricos

En esta sección se explicarán las conexiones eléctricas básicas del sistema térmico y el sistema mecánico. Posteriormente, se establecerán las protecciones necesarias para el sistema eléctrico, y después, se crearán los diagramas finales para los circuitos de control, de potencia y el diagrama eléctrico general.

Sistema térmico

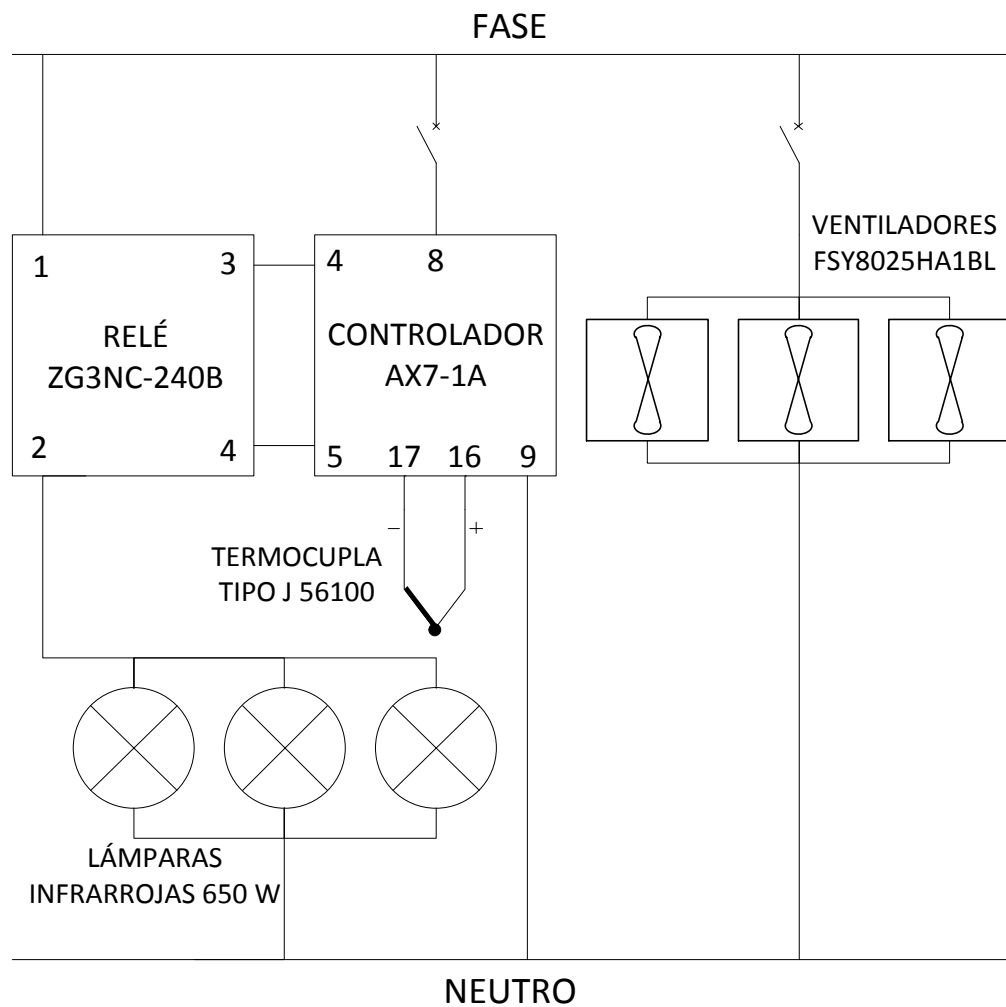
El sistema térmico se compone de cinco tipos de elementos eléctricos principales, los cuales se han seleccionado previamente, éstos son:

- ✓ Lámparas infrarrojas monofásicas de 650 [W].
- ✓ Ventiladores axiales monofásicos FONSONING FSY8025HA1BL.
- ✓ Relé de estado sólido SASSIN ZG3NC-240B.
- ✓ Termocupla tipo J 56100.
- ✓ Controlador de temperatura HANYOUNG NUX AX7-1A.

De los anteriores, los elementos que requieren de alimentación eléctrica monofásica son las lámparas infrarrojas, los ventiladores y el controlador de temperatura. Mientras tanto, el relé de estado sólido y la Termocupla tipo J simplemente se conectan al controlador intercambiando señales de corriente directa.

En torno a la funcionalidad. Se desea controlar el encendido de los ventiladores y de controlador, ya que este último controla el accionamiento del relé y por ende de las lámparas. Es por esto que se decide implementar un interruptor redondo de dos posiciones anterior a estos elementos. Entonces, el diagrama básico del sistema térmico queda de la siguiente manera:

Figura 75. Diagrama eléctrico del sistema térmico.



Sistema mecánico

El sistema mecánico comprende al motor de pasos, dos tarjetas controladoras y dos fuentes de corriente directa, cuyas referencias son nombradas a continuación:

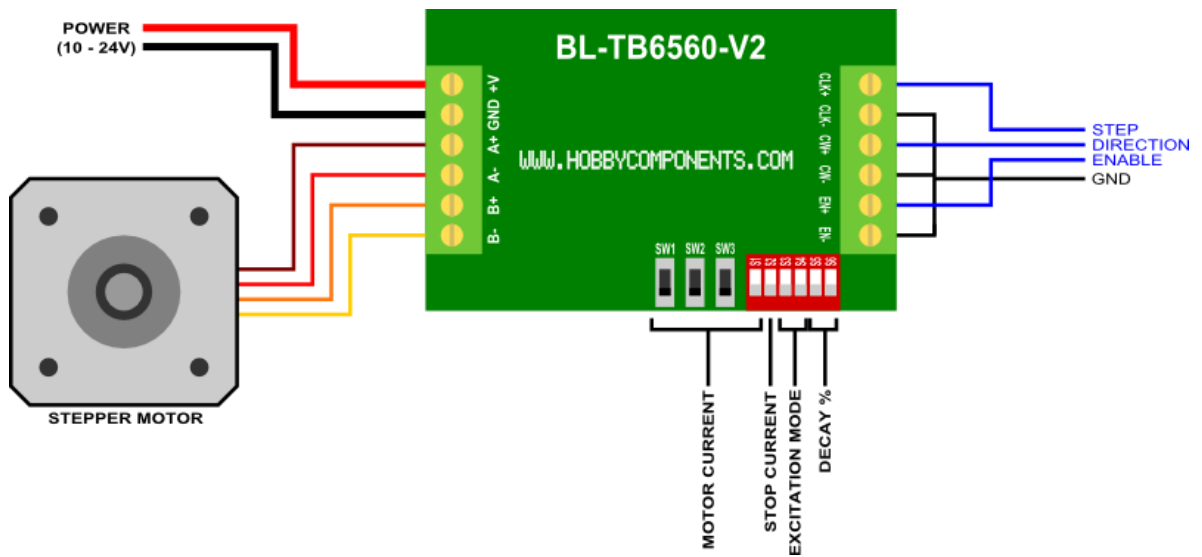
- ✓ Motor de pasos unipolar 57BYGH420 de Wantai Motor.
- ✓ Driver de motores de pasos BL-TB6560-V2.
- ✓ Tarjeta controladora ARDUINO UNO R3.
- ✓ Fuente de 24 VDC Meanwell S-150-24.
- ✓ Adaptador de 9 VDC Techman AD-912.

El motor de pasos 57BYGH420 es unipolar, es decir, consta de dos bobinas y cada una de ellas a su vez tiene un puerto común, lo que se equivale a 6 cables. Éste tipo de motores es muy versátil porque permiten conectarse también como un motor de pasos bipolar, lo que sucede al conectar solo las bobinas dejando al aire los puertos comunes.

El Driver BL-TB6560-V2 consta de los puertos A+, A-, B+, B- que corresponden a los terminales de conexión de las dos bobinas de un motor bipolar. Éste último se energiza a 24 VDC y tiene puertos de entrada de datos para la habilitación (EN+, EN-), velocidad (CLK+, CLK-) y sentido de giro del motor (CW+, CW-). En donde estas trabajan a 5 VDC, por lo que se usará la tarjeta ARDUINO UNO R3 para suministrar esta tensión. Para controlar el encendido del motor y su sentido de

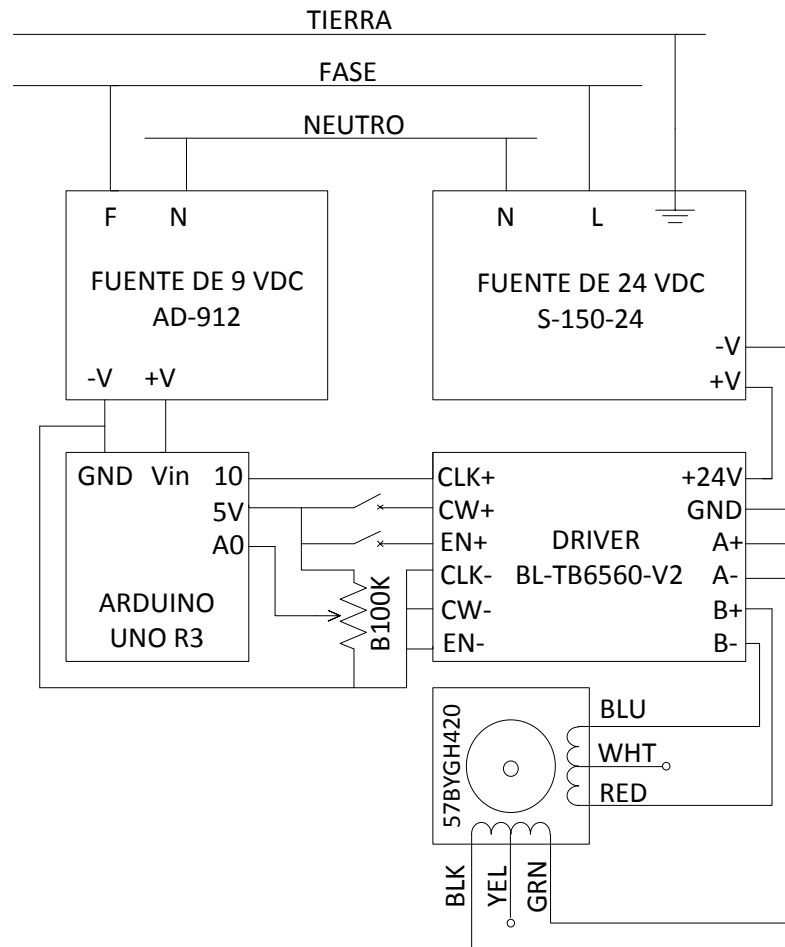
giro, se ubicaran interruptores redondos de dos posiciones antes de los puertos de estas entradas. Mientras tanto, para regular la velocidad se enviará una señal de pulsos mediante un puerto digital de la tarjeta ARDUINO, la cual será seleccionada mediante la lectura de un valor analógico establecido por un potenciómetro B100K. Entonces, para explicar mejor lo anterior se presentan los siguientes diagramas:

Figura 76. Conexiones del driver BL-TB6560-V2.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.usinages.com/electronique-specifique-cnc/moteur-pap-carte-arduino-t65163.html>>

Figura 77. Diagrama eléctrico del sistema mecánico.



Protecciones eléctricas

Los diferentes elementos del sistema eléctrico son muy importantes para la vida útil y funcionalidad de todo el equipo, por lo que es necesario tener algunas precauciones para evitar daños considerables. Es por esto, que se desean

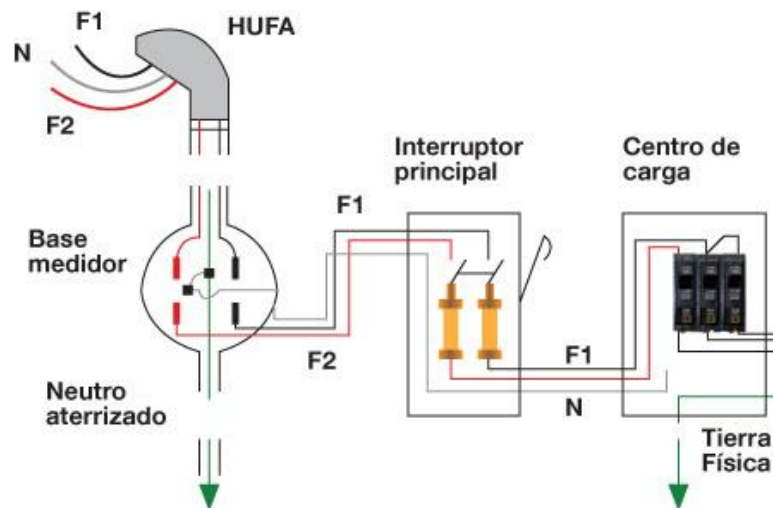
implementar diferentes protecciones en el circuito del equipo. Las protecciones internas, serán encargadas de proteger el sistema ante cortos circuitos, y estarán ubicadas en la línea de fase de cada elemento monofásico. Este tipo de protecciones serán fusibles, los cuales estarán calibrados a una corriente un poco superior a la consumida por cada componente. Los fusibles para cada dispositivo se especifican a continuación:

- ✓ Lámparas infrarrojas: Como la corriente consumida por las tres lámparas equivale a 18 amperios, se decide utilizar un fusible de 25 amperios.
- ✓ Ventiladores axiales: Su ficha técnica indica que cada ventilador consume 0,1 amperios, por lo que los tres consumirán 0,3 amperios. Para lo anterior se escoge un fusible de 1 amperio.
- ✓ Controlador de temperatura: El manual de este dispositivo recomienda usar un fusible de 0,5 amperios.
- ✓ Fuente de 24 VDC: Según el catalogo de la marca, la entrada de corriente es de 3,2 amperios. Por lo que se establece un fusible de 3,5 amperios.
- ✓ Adaptador de 9 VDC Techman AD-912: Su potencia eléctrica consumida es de 11 W, siendo tan pequeña se propone un fusible de 1,5 amperios.

Por otro lado, se sabe que el equipo está proyectado para trabajar dentro de un taller de estampados en una empresa de confecciones, el cual se encuentra ubicado en una zona residencial. Por lo anterior, se cumple el requerimiento de alimentación eléctrica monofásica para el equipo. Sin embargo, puede que la caja de protecciones del lugar no este adecuada para el consumo de corriente del horno de curado, que es un valor cercano a los 20 amperios. Es así, que se propone que el lugar de trabajo contenga en su acometida eléctrica un interruptor principal con fusibles de 30 amperios, seguida de un centro de carga con un

interruptor termo-magnético de 25 amperios, y utilizarlo únicamente para la carga del túnel de secado.

Figura 78. Acometida eléctrica monofásica residencial.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.0grados.com.mx/instalacion-electrica-de-equipos-hvacr/>>

Figura 79. Interruptor termo-magnético de 25 amperios.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.eurocontrolperu.com/interruptor%20termomagnetico.html>>

Diagrama general

Realizando la combinación de los diagramas básicos de los dos sistemas principales, y agregando las protecciones mencionadas anteriormente, se establece el diagrama general de conexiones eléctricas. Para este, se agregará un botón pulsador de emergencia normalmente cerrado de referencia CHEKMAN ZB2-BS54, el cual abrirá el contacto de la línea de fase en caso de ser accionado. Adicionalmente, se instalará una pequeña lámpara indicadora de corriente en el tablero, que se active cuando el botón de emergencia es librado.

Diagrama de control a 5 VDC

Analizando la secuencia de control, en el sistema mecánico se tendrá un control a 5 VDC, el cual es establecido por la señal de PWM enviada por la tarjeta ARDUINO al driver BL-TB6560-V2.

Diagrama de control a 12 VDC

El control de temperatura se efectúa mediante una señal de 12 VDC enviada desde el controlador Hanyoung Nux hacia el relé de estado sólido, el cual se cierra al ser energizado permitiendo el paso de corriente alterna hacia las lámparas.

Figura 80. Diagrama general de conexiones eléctricas.

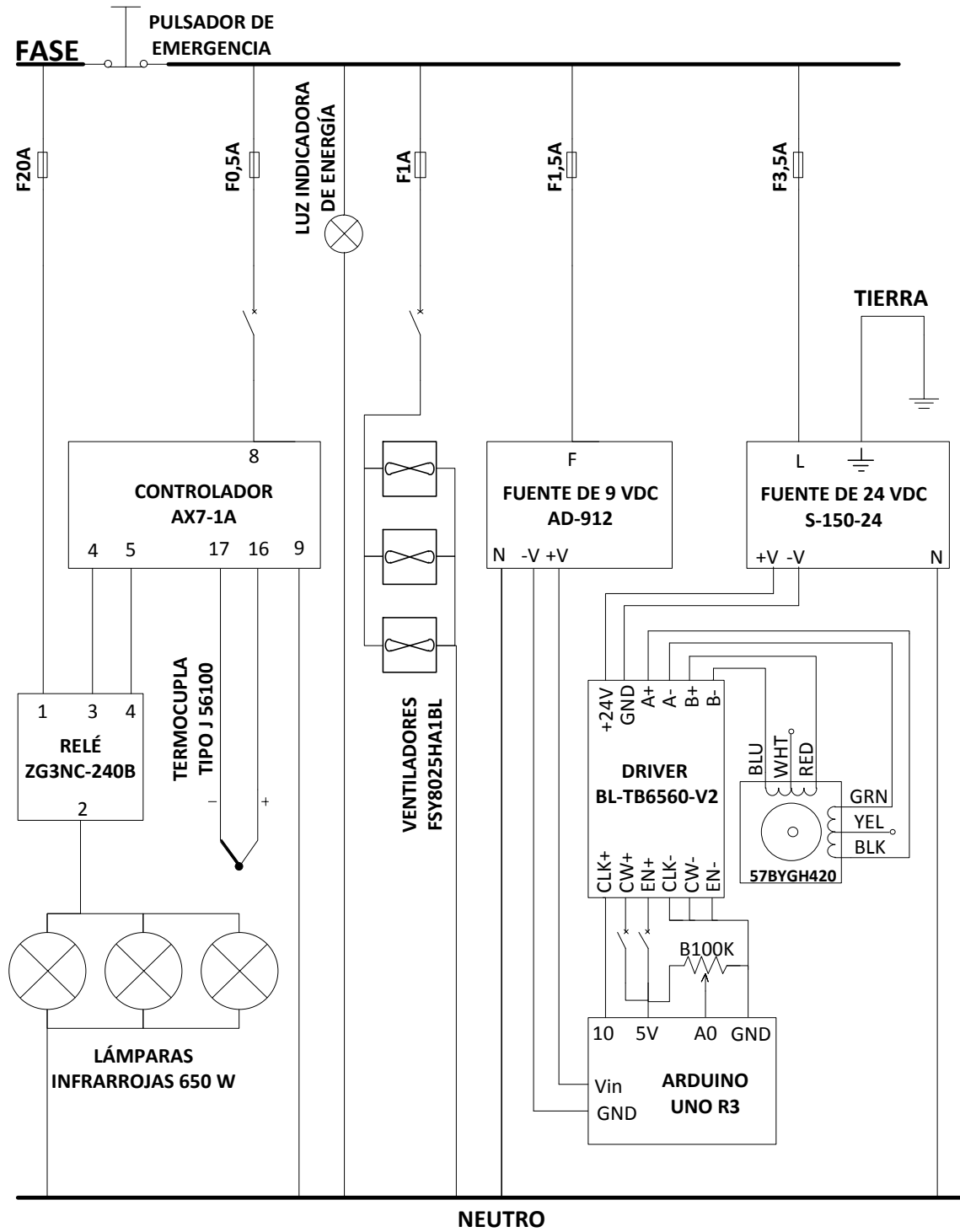


Figura 81. Diagrama del circuito de control a 9 VDC.

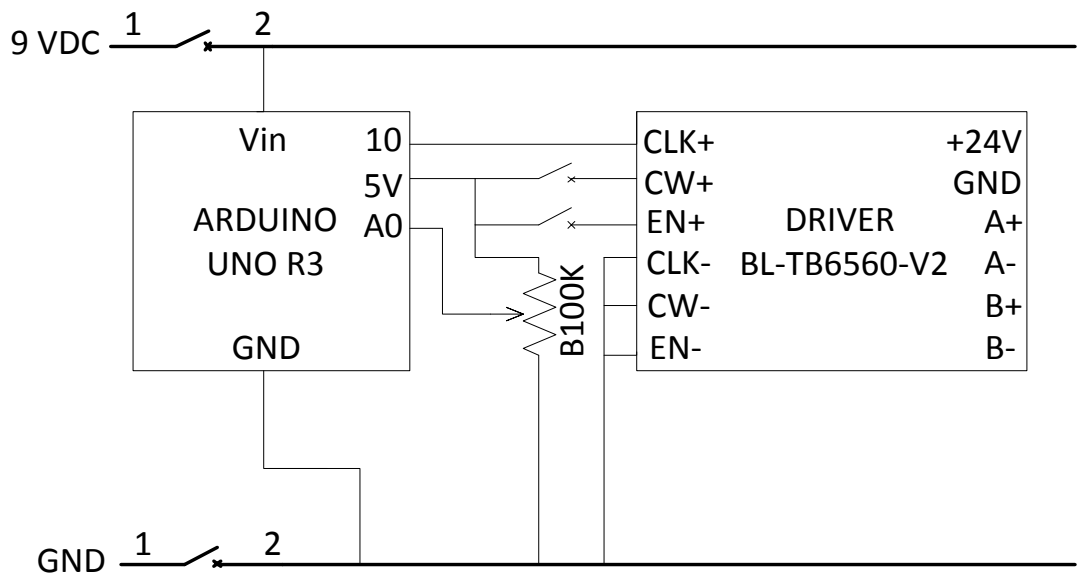
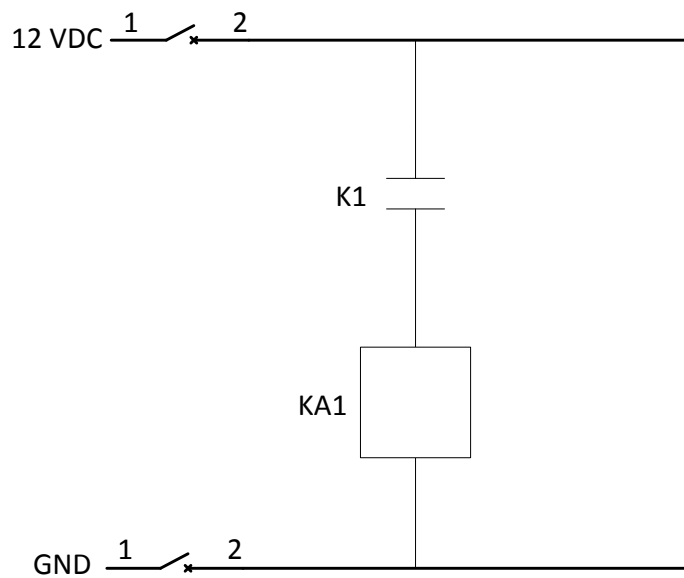


Figura 82. Diagrama del circuito de control a 12 VDC.



El pre-actuador del sistema mecánico, es decir, el driver BL-TB6560-V2, trabaja a 24 VDC y suministra la corriente necesaria para energizar las bobinas del motor y generar su desplazamiento angular. Es por esto que se realiza en siguiente diagrama de control:

Figura 83. Diagrama del circuito de control a 24 VDC.

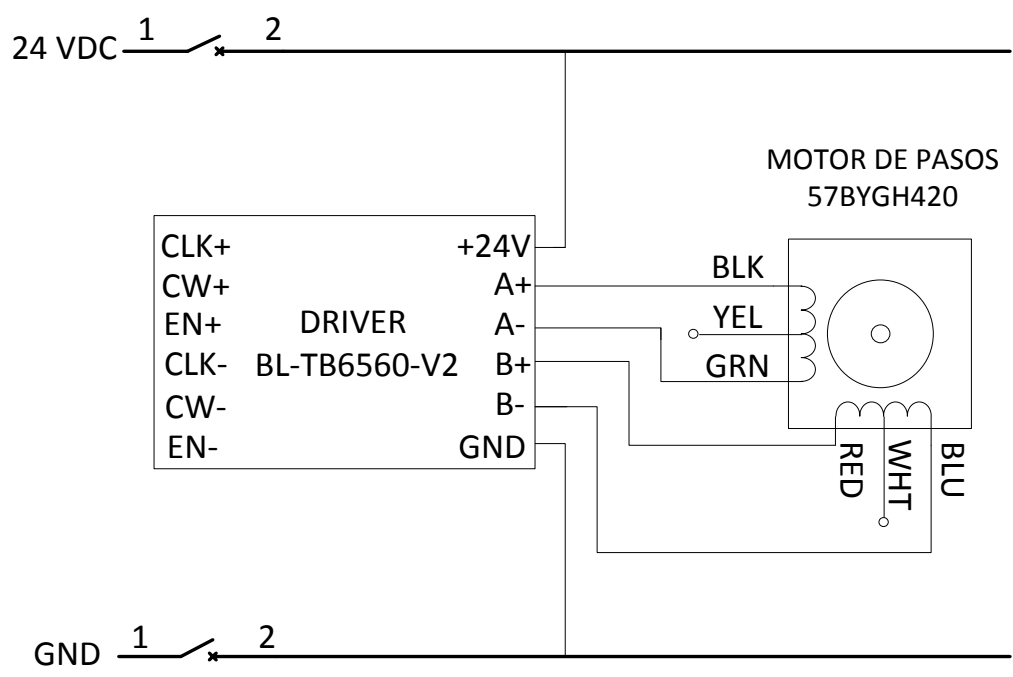
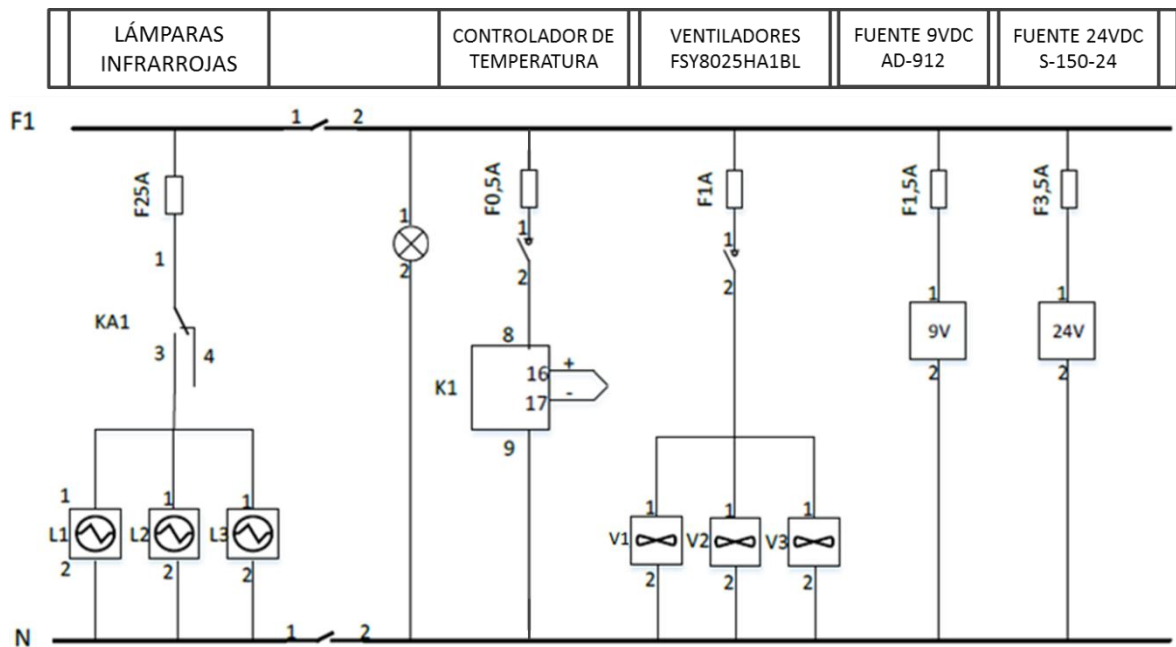


Diagrama de potencia

Finalmente, se establece el circuito de potencia, el cual muestra la carga de corriente alterna en relación a los controles previstos anteriormente.

Figura 84. Diagrama del circuito de potencia a 120 VAC.



4.3.4 Diseño lógico

El estudio lógico para el funcionamiento del túnel de secado se encarga de establecer la programación y calibración de sus dos sistemas de control. En esta fase se expondrá la forma en que interactúan los diferentes componentes de los sistemas y la codificación característica de sus operaciones. Todo con el fin de satisfacer las especificaciones de diseño previstas con anterioridad. Cabe resaltar, que en esta etapa de diseño solo se hará mención del modelo lógico y no de su análisis. Esto se debe, a que el modelo planteado se evaluará detalladamente en la sección de pruebas operativas y análisis de resultados.

4.3.4.1 Especificaciones lógicas

Los requerimientos en este caso están direccionados hacia las labores de control de las variables temperatura del horno y velocidad de la banda transportadora. Por ende, los parámetros de control expuesto en las especificaciones de diseño se nombran a continuación:

- ✓ Sistema de transporte con velocidad variable correspondiente al tiempo de curado de las tintas textiles (entre 0 y 150 cm/min).
- ✓ Sistema de control de temperatura de ambiente de horno (entre 70°C y 190°C).

4.3.4.2 Modelo lógico

El modelo lógico consiste en establecer las características metódicas de programación para los componentes del sistema térmico y el sistema mecánico. Es así, que se enunciarán las propiedades de las estrategias y acciones de control, seguidas de la calibración o sintonización según se requiera en cada caso.

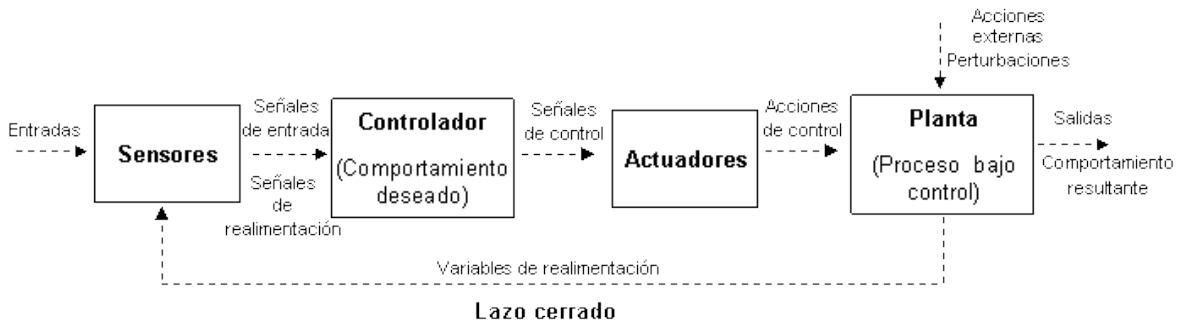
Control de temperatura

El control de temperatura es una parte crucial para la función de secado porque establece el límite máximo de calentamiento dentro del horno. Para esto, fueron seleccionados previamente los componentes principales del sistema térmico. Con el fin de realizar una distribución bajo una estrategia de control de lazo cerrado, implementando una acción de control PID (proporcional-integral-derivativa).

Organizando los diferentes componentes del control térmico mediante su función se tendrá:

- ✓ **Controlador:** HANYOUNG NUX AX7-1A.
- ✓ **Pre-actuador:** Relé de estado sólido SASSIN ZG3NC-240B.
- ✓ **Actuador:** Lámparas infrarrojas de 650 W.
- ✓ **Planta o proceso:** Cámara del horno de curado.
- ✓ **Sensor:** Termocupla tipo J 56110

Figura 86. Diagrama general de control en lazo cerrado.

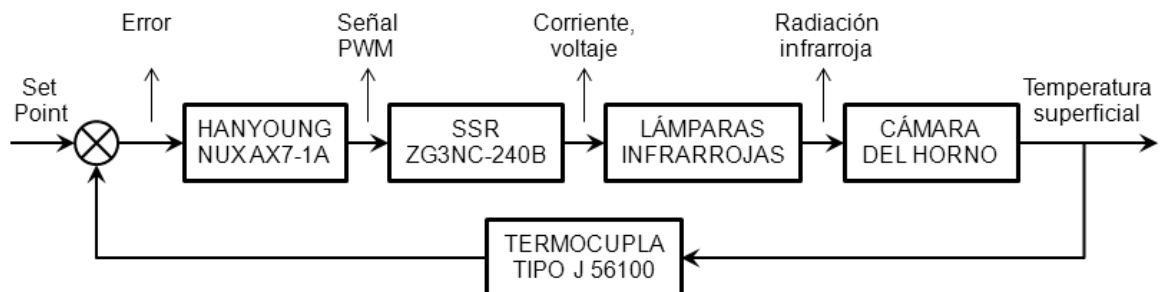


Fuente: Disponible en internet:

<<http://campus.belgrano.ort.edu.ar/educaciontecnologica/articulo/522492/sistemas-de-lazo-cerrado>>

Teniendo en cuenta la organización general de una estrategia de lazo cerrado y la definición de los componentes principales del control de temperatura, se puede establecer el siguiente diagrama:

Figura 87. Diagrama de lazo cerrado del control de temperatura.



En el diagrama anterior las variables involucradas en la función de control de temperatura son:

- ✓ **Punto de consigna o set point:** Valor de temperatura establecido en la pantalla del controlador de temperatura.
- ✓ **Error:** Diferencia entre el valor de consigna y la lectura del sensor, donde el comparador es un elemento interno del controlador.
- ✓ **Señal de control:** Señal de pulsos (PWM) a 12 VDC enviada desde el controlador hacia el relé de estado sólido.
- ✓ **Variable manipulada principal:** Paso de corriente alterna utilizada para la alimentación de las lámparas infrarrojas, la cual circula cuando se energiza el relé de estado sólido.
- ✓ **Variable manipulada secundaria:** Calor generado al energizar las lámparas infrarrojas, el cual es transferido mediante radiación.
- ✓ **Variable controlada:** Temperatura de la superficie inferior de la cámara del horno.
- ✓ **Señal de lectura:** Señal en mV correspondiente a la lectura de temperatura registrada por la termocupla.

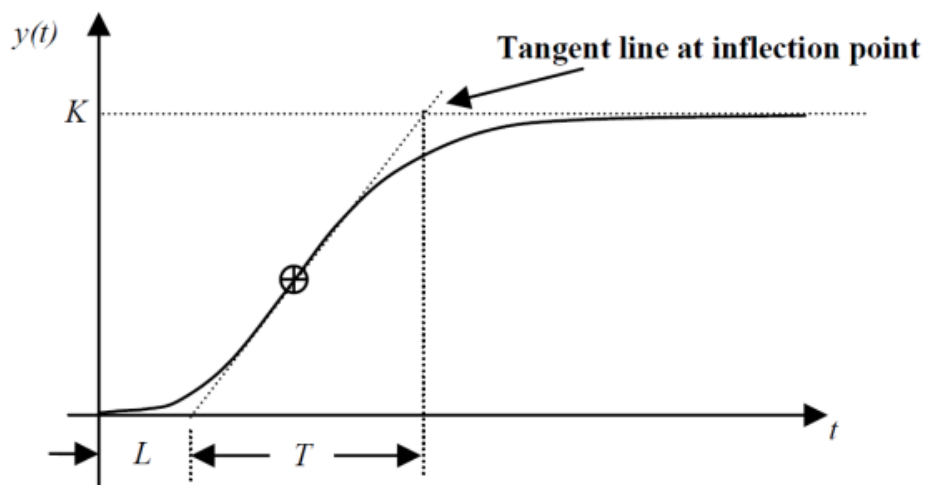
Sintonización del control PID

El control PID en un lazo cerrado ejecuta las acciones proporcional, integral y derivativa para manipular la salida realizando correcciones en la señal de control. Donde la constante proporcional genera una actuación correctiva proporcional al error, la constante integral disminuye el error entre el valor de consigna y el valor del proceso, y la constante derivativa genera un efecto estabilizante. Entonces, la

sintonización de un control PID se trata de establecer unos valores óptimos para las tres constantes de operación del controlador, por lo que se requiere la aplicación de algún método matemático para determinarlas.

Resulta práctico evaluar las constantes del controlador PID una vez se han realizado pruebas de funcionamiento observando la respuesta del sistema ante una entrada escalón. Es decir, suministrar corriente eléctrica a las lámparas infrarrojas tomando los datos de la variación de temperatura respecto del tiempo hasta lograr la estabilización. Entonces, dicha sintonización se realizará siguiendo la teoría del método de la curva de respuesta de Ziegler-Nichols. Este último plantea un procedimiento matemático a partir del análisis de la línea tangente al punto de inflexión de la curva de respuesta al escalón.

Figura 88. Método de la curva de respuesta al escalón



Fuente: Disponible en internet: <http://article.sapub.org/image/10.5923.j.ajis.20120205.04_004.gif>

En la curva de respuesta se debe observar el valor al cual se estabiliza la temperatura, y luego, registrar el tiempo de dicha medida. Después, se calcula el 28,3% del valor de estabilización y para este resultado, se ubica el tiempo de medición en la curva de respuesta, que será el límite inferior de la recta tangente al punto de inflexión conocido como t_1 . El límite superior t_2 será establecido por el tiempo de la medida equivalente al 63,2%. Finalmente, los valores necesarios para calcular las constantes del PID son L y T , el primero representa el tiempo de retardo del sistema, mientras que el segundo es el tiempo transcurrido entre los límites de la recta tangente al punto de inflexión de la curva de respuesta. Estos valores se calculan así:

$$L = t_1$$

$$\tau = t_2 - t_1$$

Finalmente, las constantes se determinan por según la siguiente tabla:

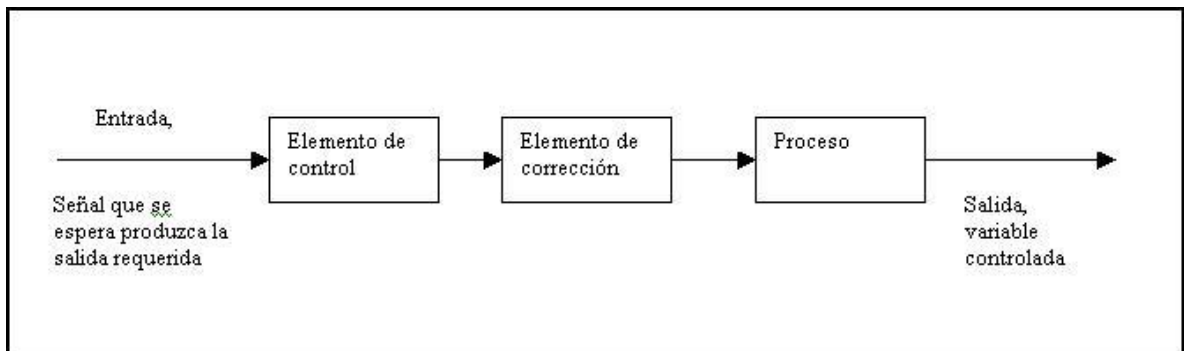
Tabla 12. Constantes del PID según la curva de respuesta de Ziegler –Nichols.

TIPO DE CONTROLADOR	K_C	T_i	T_d
P	$\frac{\tau}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{\tau}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{\tau}{L}$	$2L$	$0,5L$

Control de velocidad

En este caso, se requiere controlar la velocidad lineal de la banda transportadora, ya que influye en el tiempo transcurrido por el paso de la prenda a través el horno. Anteriormente, se han seleccionado los componentes electrónicos para este control específico. El cual fue propuesto mediante una estrategia de control de lazo abierto, siguiendo el orden expuesto en el siguiente diagrama:

Figura 89. Diagrama general de control en lazo abierto.



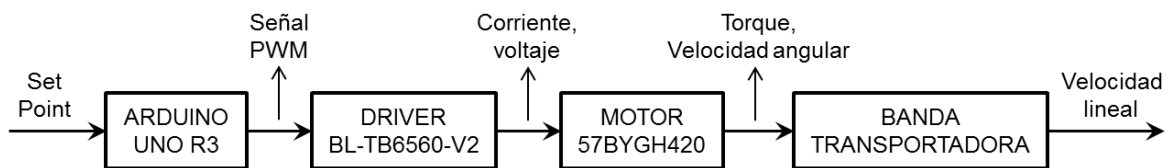
Fuente: Disponible en internet: <<http://varpertecnology.com/sistemas-de-lazo-cerradoabierto/>>

Siguiendo el esquema anterior, se pueden definir los componentes principales del lazo de control para la regulación de la velocidad, los cuales son:

- ✓ **Controlador:** ARDUINO UNO R3.
- ✓ **Pre-actuador:** DRIVER BL-TB6560-V2.
- ✓ **Actuador:** Motor de pasos 57BYGH420.
- ✓ **Planta o proceso:** Banda transportadora.

Según esto, el diagrama el diagrama de control de lazo abierto para la banda transportadora es:

Figura 90. Diagrama de control para la banda transportadora.



Observando el diagrama anterior, se puede evidenciar la presencia de ciertas variables que intervienen con la interacción entre los diferentes elementos presentes. Estas variables pueden ser tanto como características físicas como señales eléctricas digitales o analógicas. Entonces, las variables involucradas en este caso serán:

- ✓ **Punto de consigna o set point:** Nivel de velocidad establecido al girar el vástago del potenciómetro que irá conectado a la tarjeta ARDUINO.
- ✓ **Señal de control:** Señal de pulsos (PWM) a un ciclo de trabajo del 50%.
- ✓ **Variable manipulada principal:** Corriente de alimentación del motor suministrada por el driver BL-TB6560-V2.
- ✓ **Variable manipulada secundaria:** Potencia mecánica representada por el torque y la velocidad angular entregados por el motor.
- ✓ **Variable controlada:** Velocidad lineal de la banda transportadora.

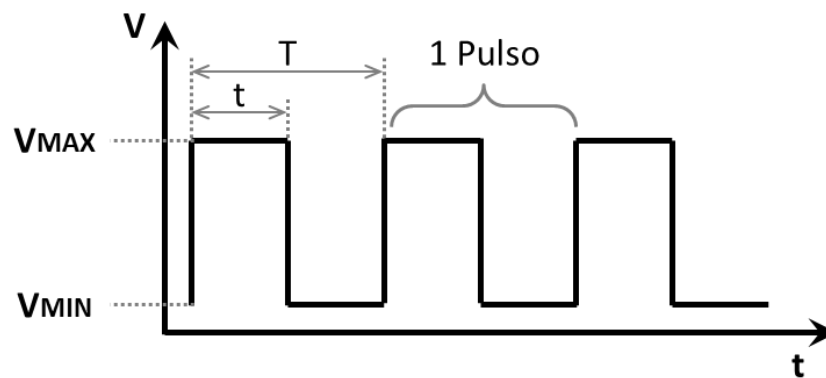
Calibración del control en lazo abierto

Se sabe que una estrategia de control de lazo abierto carece de realimentación, y por esto, el controlador no ejercerá ninguna acción correctiva ante las posibles perturbaciones presentadas en el sistema. En este caso, se ha decidido implementar esta estrategia debido a que no se presentarán perturbaciones considerables. Aun así, la calibración será de vital importancia, ya que en ella radica la acción de control sobre la salida del proceso.

Observando el driver BL-TB6560-V2, se evidencia la presencia de dos puertos relacionados con la señal de pulsos para el control de velocidad del motor, que son CLK+ y CLK-. Entonces, se debe conectar CLK- al puerto GND de la tarjeta ARDUINO, y CLK+ a un puerto digital programándolo con una señal binaria de pulsos. Es así, que por cada pulso generado por el controlador el motor girará un paso, y su velocidad angular dependerá de la frecuencia de la señal de pulsos.

Para esta señal, se establecerá un ciclo de trabajo del 50%, en donde los tiempos en donde la salida se mantiene en un valor alto o bajo son iguales.

Figura 91. Estructura general de una señal PWM.



En el gráfico anterior $V_{MÁX}$ equivale al voltaje máximo que representa la salida binaria en estado alto, mientras que V_{MIN} será el voltaje mínimo o la salida en estado bajo, que para este caso serán 5V y 0V respectivamente. Por otro lado, se entiende que el ciclo de trabajo se expresa mediante la siguiente expresión:

$$\text{Ciclo de trabajo} = \frac{t}{T}$$

Donde:

t: Tiempo de la salida en estado alto dentro de un pulso [s].

T: Periodo del pulso [s].

Como en este caso se recomienda un ciclo de trabajo del 50%, el periodo será:

$$T = \frac{t}{\text{Ciclo de trabajo}}$$

$$T = \frac{t}{0,5}$$

$$T = \frac{t}{1/2} = 2 * t$$

En una señal PWM la frecuencia es una característica muy importante ya que describe la cantidad de pulsos generados en un segundo. Esta se calcula de la siguiente manera:

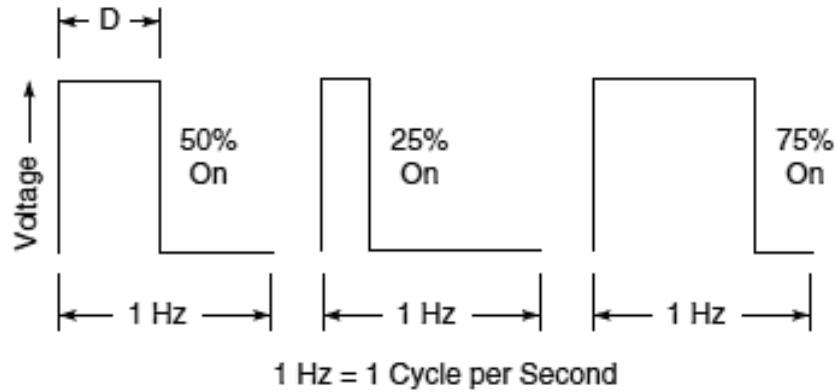
$$f = \frac{1}{T}$$

Donde:

f: Frecuencia de la señal [Hz].

T: Periodo del pulso [s].

Figura 92. Diferentes ciclos de trabajo con la misma frecuencia.



Fuente: Disponible en internet: <http://www.hydraforce.com/Electro/ElecCont_html/3-440-1_Elec_Mobile_Equip/PWM_Grph.gif>

4.3.4.3 Análisis lógico

En el modelo lógico se plantearon las estrategias y las acciones de control para ambos sistemas. En esta etapa, se enfoca el análisis lógico hacia la calibración y sintonización de dichos controles, mediante el estudio y observación de las variables involucradas en cada uno de ellos. Por otro lado, la sintonización del control PID se realizará en la etapa de pruebas, ya que esta debe realizarse con la curva real de respuesta al escalón la cual hace parte de la experimentación.

Control de Velocidad

Recordando la expresión para el periodo con un ciclo de trabajo del 50% en relación a la frecuencia:

$$f = \frac{1}{2 * t}$$

Ahora bien, el motor de pasos tiene una resolución de $1,8^\circ$ por paso, es decir, que por cada pulso otorgado por el controlador el motor rotará dicha distancia angular. Entonces, la relación entre la resolución y el arco de una revolución realizada por el motor de pasos será:

$$\frac{360^\circ/rev}{1,8^\circ/Pulso} = 200 \left[\frac{Pulsos}{rev} \right]$$

En la sección del diseño mecánico se establece la velocidad angular máxima del tambor motriz y la relación de velocidades de la transmisión mecánica, la cual equivale a una reducción de 2:1. Por lo anterior, la velocidad angular máxima del motor será:

$$\omega_{T.MAX} = 4,7 [RPM]$$

$$\omega_{M.MAX} = 2 * \omega_{T.MAX}$$

$$\omega_{M.MAX} = 2 * 4,7 [RPM] = 9,4 [RPM]$$

Donde:

ω_M : Velocidad angular del motor [RPM].

ω_T : Velocidad angular del tambor motriz [RPM].

Calculando la frecuencia máxima de la señal PWM según las pulsaciones requeridas por la velocidad angular del motor, se tiene:

$$f_{MAX} = 200 \left[\frac{\text{Pulsos}}{\text{rev}} \right] * \omega_{M.MAX}$$
$$f_{MAX} = 200 \left[\frac{\text{Pulsos}}{\text{rev}} \right] * 9,4 \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right] * \left[\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right]$$
$$f_{MAX} = 31,33 \left[\frac{\text{Pulsos}}{\text{s}} \right] = 31,33 \text{ [Hz]}$$

La frecuencia de los pulsos de la señal de control para la velocidad máxima equivale a 31,33 [Hz]. Con este valor, se determina el valor del tiempo mínimo para los estados binarios de la siguiente manera:

$$f_{MAX} = \frac{1}{2 * t_{MIN}}$$

$$t_{MIN} = \frac{1}{2 * f_{MAX}}$$

$$t_{MIN} = \frac{1}{2 * 31,33 [1/s]}$$

$$t_{MIN} = 1,59x10^{-2} [s] \approx 16 [ms]$$

Como la velocidad mínima mencionada para el rango de regulación de la velocidad de la banda transportadora es de 0 [cm/min], la velocidad mínima de rotación del motor será de $\omega_{M.MIN} = 0 [RPM]$, y por ende la frecuencia mínima de pulsaciones tiende a cero:

$$f_{MIN} = 200 \left[\frac{Pulsos}{rev} \right] * \omega_{M.MIN}$$

$$f_{MIN} = 200 \left[\frac{Pulsos}{rev} \right] * 0 = 0$$

Sin embargo esto no resulta aplicable en la práctica, por lo que se decide establecer una velocidad de rotación muy baja, con el fin de que la velocidad lineal de la banda transportadora se aproxime a cero. Entonces, se propone lo siguiente:

$$\omega_{M.MIN} = 0,5 [RPM]$$

Por lo anterior, la frecuencia mínima será:

$$f_{MIN} = 200 \left[\frac{Pulsos}{rev} \right] * \omega_{M.MIN}$$
$$f_{MIN} = 200 \left[\frac{Pulsos}{rev} \right] * 0,5 \left[\frac{rev}{min} \right] * \left[\frac{1 min}{60 s} \right]$$
$$f_{MIN} = 1,67 \left[\frac{Pulsos}{s} \right] = 1,67 [Hz]$$

Despejando el tiempo máximo para los estados binarios de los pulsos de la frecuencia mínima, se tiene:

$$f_{MIN} = \frac{1}{2 * t}$$
$$t_{MAX} = \frac{1}{2 * f_{MIN}}$$
$$t_{MAX} = \frac{1}{2 * 1,67 [1/s]}$$
$$t_{MAX} = 0,299 [s] \approx 300 [ms]$$

Finalmente, al tener los límites de tiempo de las pulsaciones se puede generar la señal de control que establece el rango de velocidad de la banda transportadora. Entonces, se plantea el siguiente código en ARDUINO que establece la salida PWM según un valor de consigna otorgado por la lectura de un potenciómetro:

```
// CÓDIGO ARDUINO PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR PASO A PASO
```

```
// REALIZADO MEDIANTE EL ENVIO DE PULSOS AL DRIVER BL-TB6560-V2
```

```
int Pot;           // Variable de lectura del potenciómetro

                  // Terminal medio conectado al pin análogo A0 y extremos
                  // conectados a tierra y +5V

int Tiempo=0;     // Variable de tiempo de las pulsaciones (microsegundos)

void setup() {
  Serial.begin(9600);           // Configuración del serial
  pinMode(10, OUTPUT);        // Selección del pin 10 como salida digital
}

void loop() {
  Pot= analogRead(A0);        // Lectura del pin de entrada analógica A0
  Tiempo= ((300-16)/1023)*Pot+16; // Conversión del valor de lectura de la
                                  // variable Pot equivalente al tiempo
                                  // Rango de tiempo de 16-300 milisegundos
  Serial.println(tiempo);     // Imprimir en la pantalla del serial el valor del tiempo
  digitalWrite(10, HIGH);    // Enviar al pin 10 una señal de valor alto (+5V)
  delay(tiempo);             // Tiempo establecido para la acción anterior
  digitalWrite(10, LOW);    // Enviar al pin 10 una señal de valor bajo (GND)
  delay(tiempo);             // Tiempo establecido para la acción anterior
}
```

5. PRUEBAS OPERATIVAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo se fundamenta en la experimentación y el análisis de resultados de la operación del equipo y la calidad del producto final. Según lo anterior, se establecerán una serie de pruebas que establezcan el cumplimiento de los requerimientos del equipo propuestos en los objetivos del proyecto. También, se analizará el resultado del secado de los estampados mediante una serie de pruebas para observar la penetración de la tinta en las fibras textiles y su anclaje.

5.1 FUNCIONAMIENTO

En esta sección se desea realizar descripción general del procedimiento empleado para operar la máquina, con el fin de brindar una introducción a su funcionamiento. Entonces, los pasos a seguir son los siguientes:

- ✓ **Energizar el equipo:** Primero, se debe revisar que la acometida eléctrica del taller posea un interruptor termo-magnético de 25 amperios o superior. Entonces, se procede a conectar el equipo revisando que el botón de emergencia se encuentre presionado, y luego, liberarlo.

- ✓ **Control de velocidad:** En la parte izquierda del panel de control se encuentra la sección para el control de velocidad de la banda transportadora. Allí, se encuentran dos interruptores redondos que permiten el encendido del motor y la selección del sentido de giro de la banda, también hay una perilla marcada donde se establece el nivel de velocidad.

- ✓ **Control de temperatura:** El encendido del control de temperatura se tiene en sección la derecha del panel de control. Donde se encuentran dos interruptores que permiten el encender los ventiladores y el controlador de temperatura. Este último solo requiere el establecimiento del valor de consigna y a partir de esto, trabaja automáticamente.
- ✓ **Parámetros de operación:** La selección del nivel de velocidad de la banda transportadora y de la temperatura de trabajo del horno de curado son los aspectos primordiales para su operación. Estos parámetros dependen del tipo de tinta a estampar principalmente, y se abordaran con detenimiento al final del capítulo de pruebas y análisis de resultados.

Figura 93. Túnel de secado para estampación textil.



Figura 94. Túnel de secado textil en vista lateral.



Figura 95. Tablero de control.



5.2 PRUEBAS FUNCIONALES

La funcionalidad del equipo determina si el proceso de diseño fue planteado correctamente, trasladando los planteamientos teóricos hacia la aplicación real corroborando su veracidad. Entonces, se realizarán una serie de pruebas térmicas, mecánicas y lógicas con el fin de comparar sus resultados con los parámetros de diseño.

5.2.1 Pruebas térmicas

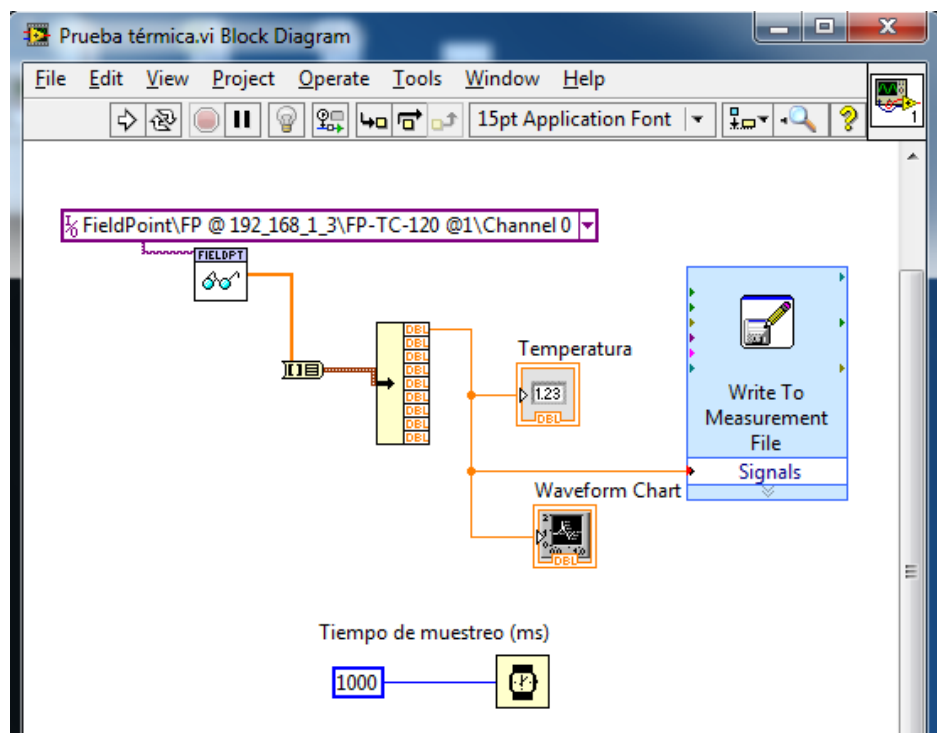
En esta sección se realizarán pruebas para cuantificar las condiciones de operación planteadas en el diseño térmico. Estas corresponden específicamente a la medición de las temperaturas superficiales dentro de la cámara del horno.

5.2.1.1 Distribución de temperaturas en el recinto del horno

La medición de las temperaturas superficiales de los componentes internos del horno de curado permite ratificar la teoría establecida en el diseño térmico. Entonces, se emplea la termocupla tipo J para medir la temperatura de la lámina de soporte de la banda transportadora, y un termómetro de rayos infrarrojos para medir las temperaturas de las superficies del reflector de calor.

La información obtenida debe ser registrada periódicamente según un intervalo de tiempo que permita realizar la lectura sin inconvenientes. Sin embargo, la termocupla tipo J puede ser conectada a un Field Point que este unido a un módulo para termopares, registrando la medida de manera continua al enviar los datos directamente al computador por un cable de Ethernet. Utilizando la plataforma LabVIEW junto a los complementos de National Instruments para la implementación del Field Point, se realiza un diagrama de bloques para la medición de la temperatura de la lámina respecto al tiempo. Por otro lado, se emplea la pistola de temperatura o termómetro infrarrojo para registrar las temperaturas superficiales del reflector de calor cada dos minutos.

Figura 96. Diagrama en LabVIEW para medición de temperatura.

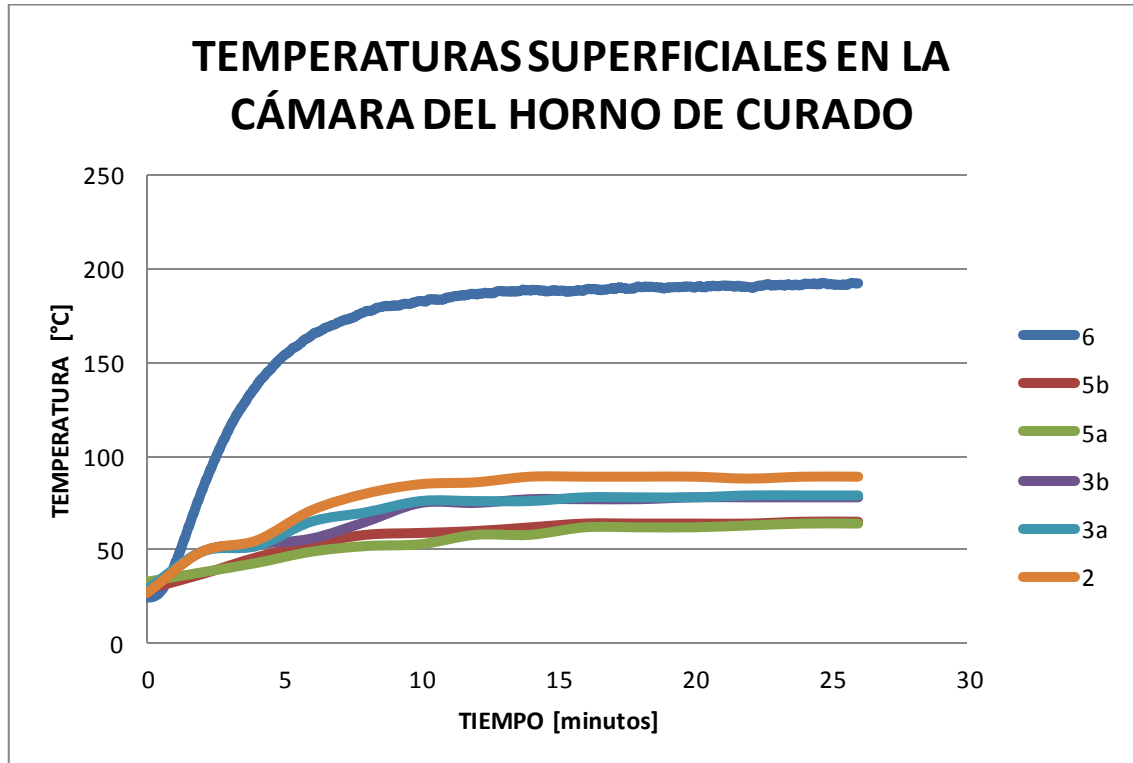


Las temperaturas registradas para las superficies mencionadas anteriormente se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 13. Medición de temperaturas superficiales dentro del horno.

TIEMPO [minutos]	TEMPERATURAS SUPERFICIALES EN EL RECINTO DEL HORNO [°C]					
	2	3a	3b	5a	5b	6
0	27	29	27	33	29	25
2	49	49	49	38	37	82
4	55	52	53	43	46	137
6	71	65	56	49	53	164
8	80	70	65	52	58	177
10	85	76	75	53	59	183
12	86	76	75	58	60	186
14	89	76	77	58	62	188
16	89	78	77	62	64	189
18	89	78	77	62	64	190
20	89	78	78	62	64	190
22	88	79	78	63	64	190
24	89	79	78	64	65	192
26	89	79	78	64	65	192

Figura 97. Medición de temperaturas superficiales dentro del horno.



Resulta muy evidente en las mediciones anteriores que la superficie seis, es decir, la lámina de soporte de la banda transportadora, se encuentra sometida a un mayor calentamiento. Esto se puede explicar fácilmente gracias a las propiedades térmicas de los materiales internos del horno. Como se ha mencionado antes, el reflector de calor está fabricado de acero inoxidable, que es un material altamente reflectante lo que conlleva a que su emisividad superficial sea muy baja. Mientras tanto, la lámina de soporte está hecha con acero regular y fue pintada de un color negro mate, en búsqueda de absorber gran parte del calor. Adicionalmente, los textiles a estampar tienen una emisividad superficial muy alta, por lo que absorberán el calor al igual que la lámina inferior, logrando que el calentamiento sea eficiente.

En la tabla expuesta a continuación se presenta la comparación entre las temperaturas obtenidas al estabilizarse el sistema y las propuestas en el diseño térmico:

Tabla 14. Comparación temperaturas internas del horno de curado.

FACTORES	SUPERFICIES INTERNAS DEL HORNO DE CURADO					
	2	3a	3b	5a	5b	6
Temperaturas Teóricas [°C]	135	115	115	95	95	190
Temperaturas Reales [°C]	89	79	78	64	65	192
Error absoluto [°C]	46	36	37	31	30	2
Error relativo	51,7%	45,6%	47,4%	48,4%	46,2%	1%

Como se puede observar en la tabla anterior se presentan errores en entre los valores teóricos y reales de las temperaturas superficiales del recinto. Sin embargo, estos no son significativos para el funcionamiento del equipo ya que se obtuvo la temperatura de trabajo para el secado, es decir, 190°C sobre la superficie de la lámina de soporte. Estos errores se pueden explicar mediante la realización de la prueba, en donde se tuvo que retirar la cubierta del horno para exponer los reflectores de calor. Esto incidió en el aumento de la transferencia de calor de los mismos hacia sus alrededores, que es muy diferente a la que se presentaría dentro de un recinto cerrado. Igualmente, se concluye que la prueba es satisfactoria, todo gracias a que se logró alcanzar el límite superior establecido por el rango el control de temperatura.

Figura 98. Medición de temperatura sobre el reflector de calor.



5.2.2 Pruebas mecánicas

Estas pruebas están enfocadas a garantizar las condiciones de operación de la banda transportadora, lo que radica en el aporte de potencia mecánica por parte del elemento motriz y la transmisión. Es por esto que se plantean las pruebas de funcionamiento mecánico en donde se evalúa el torque motriz.

5.2.2.1 Torque motriz

El torque motriz es el torque requerido por el motor para vencer la inercia del sistema y transportar la carga de trabajo. Como ya se han seleccionado los componentes del sistema mecánico, se proceden a realizar las pruebas de funcionamiento, en donde la banda debe desplazarse por la acción del motor y la transmisión.

Entonces, se realiza el ensamble del sistema mecánico ubicando los rodillos, la malla PTFE, la transmisión por cadena con reducción de 1:2 y el motor paso a paso. Después, se procede a energizar el motor para comprobar que funcione correctamente. Al empezar a trabajar, el sistema mecánico hace desplazar la banda transportadora sin problemas. Sin embargo, en el momento en que el gancho de unión de la malla alcanza el extremo de la banda transportadora para girar sobre un rodillo, la banda se detiene y es necesario detener la prueba. Analizando la situación, se observa que el gancho de unión es mucho más rígido que la malla PTFE, y se requiere de un torque adicional para hacerlo girar sobre el tambor. Por esta razón, se decide medir el torque requerido para desplazar la banda por la acción del gancho de unión.

El montaje de las pruebas consiste en valerse de la cadena para soportar una fuerza tangencial. Esto se hace, separando el eslabón de unión de la misma para ubicar sobre uno de sus extremos un peso conocido, y teniendo en cuenta el radio de la rueda dentada, calcular el torque. Así, el montaje se muestra a continuación:

Figura 99. Montaje mecánico para las pruebas de torque.



De esta forma se pudo evidenciar cuales son los pesos mínimo y máximo necesarios para lograr desplazar la banda transportadora, en el antes y después del efecto del gancho de unión de la malla. De esta manera, los resultados fueron:

$$\tau_{MIN} = W_{MIN} * \frac{D_{PC}}{2}$$

Donde:

τ_{MIN} : *Torque mínimo necesario para desplazar la banda transportadora.*

W_{MIN} : *Peso mínimo requerido para desplazar la banda transportadora.*

D_{PC} : *Diámetro del piñón conducido 25B30 [64,2 mm].*

El peso mínimo para desplazar la banda equivale a 2,5 libras, por lo que el torque mínimo será:

$$\tau_{MIN} = 2,5 [lb] * \left[\frac{4,448 N}{1 lb} \right] * \frac{64,2 [mm]}{2} * \left[\frac{1 m}{1000 mm} \right]$$

$$\tau_{MIN} = 0,36 [N * m]$$

Así mismo, el peso máximo fue el que logró desplazar la unión sobre el tambor de la banda transportadora y corresponde a 6,25 libras. Entonces, el torque máximo será:

$$\tau_{MAX} = W_{MAX} * \frac{D_{RC}}{2}$$

$$\tau_{MAX} = 6,25 [lb] * \left[\frac{4,448 N}{1 lb} \right] * \frac{64,2 [mm]}{2} * \left[\frac{1 m}{1000 mm} \right]$$

$$\tau_{MAX} = 0,89 [N * m]$$

Por ende, el torque adicional o que induce la rigidez de la unión será:

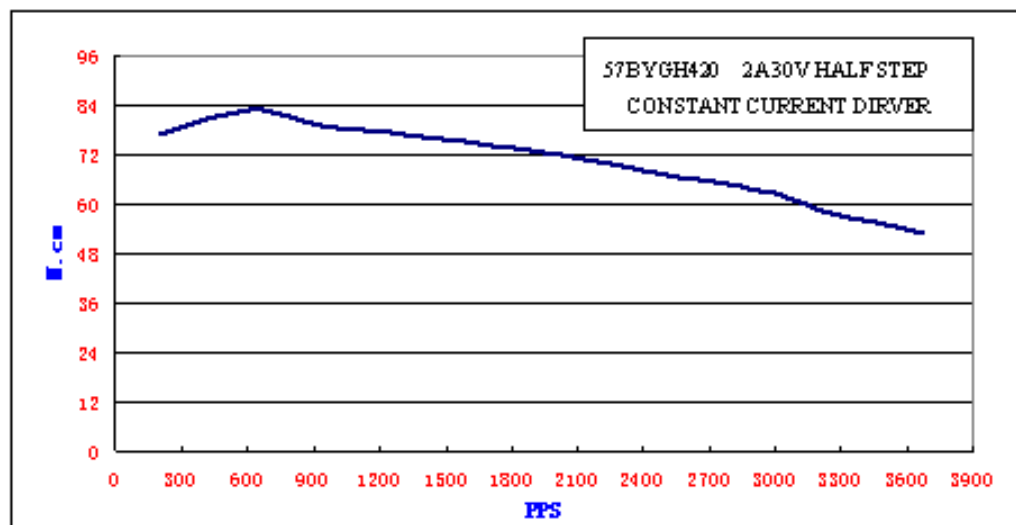
$$\tau_A = \tau_{MAX} - \tau_{MIN}$$

$$\tau_A = (0,89 - 0,36) [N * m] = 0,53 [N * m]$$

Este torque adicional inducido por el factor expuesto genera un aumento del 147,2% del requerimiento de torque, lo resulta extremadamente significativo.

La ficha técnica del motor de pasos menciona que el torque máximo que este entrega es de 0,9 [N*m], lo que sería suficiente para desplazar el sistema. Sin embargo, el valor real de la salida es un poco menor y disminuye a medida que se aumenta su velocidad angular, lo que se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 100. Curva de torque del motor de pasos 57BYGH420.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.wantmotor.com/ProductsView.asp?id=160&pid=80>>

Para plantear una estrategia que de solución a este inconveniente, se decide implementar una segunda etapa de reducción de velocidad y realizar pruebas antes de tomar la decisión de cambiar el motor. Entonces, se agrega un pequeño reductor de velocidad planetario con una relación de 1:8 entre sus ejes de entrada y salida. Después, se realizará una prueba al conjunto primario motor-reductor para evaluar la carga máxima que puede levantar, mediante el siguiente montaje:

Figura 101. Acople del motor de pasos y el reductor de velocidad.



Realizando esta prueba, se pudo establecer que el conjunto motor-reductor pudo levantar una carga de 17,5 libras, que corresponde a 2,8 veces el peso máximo necesario para desplazar la banda transportadora. Finalmente, el torque entregado por este conjunto motriz será:

$$\tau_M = W_{FINAL} * \frac{D_{PM}}{2}$$

Donde:

τ_M : Torque motriz entregado por el conjunto motor-reductor.

W_{FINAL} : Carga total levantada por el conjunto motor-reductor.

D_{PM} : Diámetro del piñón motriz 25B15 [33,7 mm].

De esta manera, el torque motriz sería:

$$\tau_M = 17,5 [lb] * \left[\frac{4,448 N}{1 lb} \right] * \frac{33,7 [mm]}{2} * \left[\frac{1 m}{1000 mm} \right]$$
$$\tau_M = 1,31 [N * m]$$

Teniendo en cuenta la segunda reducción, el torque entregado al tambor de la banda transportadora es el producto de la carga final por el radio del piñón conducido 25B30, y se calcula así:

$$\tau_T = W_{FINAL} * \frac{D_{PC}}{2}$$
$$\tau_T = 17,5 [lb] * \left[\frac{4,448 N}{1 lb} \right] * \frac{64,2 [mm]}{2} * \left[\frac{1 m}{1000 mm} \right]$$
$$\tau_T = 2,5 [N * m]$$

Este torque real entregado al tambor corresponde a 2,8 veces el torque requerido según la primera prueba. Esto concluye que la implementación del reductor primario fue acertada, ya que multiplica en torque entregado por el motor permitiendo el funcionamiento de la banda transportadora. Finalmente, se puede hacer un cuadro comparativo que contenga el torque requerido teórico, el torque requerido real y el que es entregado por la transmisión mecánica final, de la siguiente manera

:

Tabla 15. Cuadro comparativo para el torque requerido por el tambor motriz.

TORQUE	DESCRIPCIÓN	RELACIÓN DE REDUCCIÓN	TORQUE EN EL TAMBOR	INCREMENTO DE TORQUE
TEÓRICO	Requerimiento ideal	2:1	0,4	-
PRUEBA 1	Requerimiento real	2:1	0,89	222,5%
PRUEBA 2	Solución real	16:1	2,5	625%

Como se puede observar en el cuadro anterior, existe un incremento del 625% para el torque real otorgado según el requerimiento teórico. Esto se debe a la implementación del reductor de velocidad, que permitió mantener la selección del motor intacta, lo que garantiza que esta fuese correcta. Cabe resaltar que las pruebas de levantamiento de carga por parte del conjunto motor-reductor se realizaron teniendo en cuenta la velocidad máxima de operación. Debido a que la velocidad del motor de pasos depende principalmente de la programación lógica del control, se analizará la magnitud de esta variable con detenimiento en las pruebas lógicas.

5.2.3 Pruebas lógicas

Las pruebas lógicas consisten en la programación necesaria para ejecutar las acciones de control previstas anteriormente en el proceso de diseño. Por ende, se realiza la calibración del control de velocidad y después, la sintonización del control de temperatura.

5.2.3.1 Calibración del control de velocidad

En el diseño lógico se planteó la calibración del control de velocidad según una señal de control PWM generada por la tarjeta ARDUINO UNO R3. A partir de esto, se realizarán una serie de pruebas para caracterizar dicha señal según el rango de control de velocidad.

Primero que todo, hay que tener en cuenta que la calibración planteada en anterioridad comprendía únicamente la reducción de velocidad de 2:1 de la transmisión por cadena. Es así, que al adicionar el reductor de velocidad en las pruebas mecánicas, la relación de velocidades total de la transmisión será de 16:1 y se requerirán cambios del límite superior del rango de frecuencia.

El montaje de la prueba consiste en acoplar la transmisión mecánica y cargar a la tarjeta ARDUINO el código planteado anteriormente. Entonces, se toman las lecturas de la velocidad angular del tambor motriz y se ajustan los límites de los tiempos entre pulsaciones hasta alcanzar el rango de trabajo. Finalmente, luego de ajustar las constantes de tiempo, el código final queda:

```
// CÓDIGO ARDUINO PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR
PASO A PASO
```

```
// REALIZADO MEDIANTE EL ENVIO DE PULSOS AL DRIVER BL-TB6560-V2
```

```
int Pot;           // Variable de lectura del potenciómetro
```

```
// Terminal medio conectado al pin A0 y extremos conectados a tierra y +5V
```

```
int Tiempo=0;     // Variable de tiempo de las pulsaciones (microsegundos)
```

```
void setup() {
```

```
    Serial.begin(9600);           // Configuración del serial
```

```
    pinMode(10, OUTPUT);         // Selección del pin 10 como salida digital
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
    Pot= analogRead(A0);         // Lectura del pin de entrada analógica A0
```

```
    Tiempo= ((16000-25)/1023)*Pot+25; // Conversión del valor de lectura de la
                                        variable Pot equivalente al tiempo
```

```
                                        // Rango de tiempo de 25-16000 microsegundos
```

```
    Serial.println(tiempo);      // Imprimir en la pantalla del serial el valor del tiempo
```

```
    digitalWrite(10, HIGH);      // Enviar al pin 10 una señal de valor alto (+5V)
```

```
    delayMicroseconds(tiempo);   // Tiempo establecido para la acción anterior
```

```
    digitalWrite(10, LOW);       // Enviar al pin 10 una señal de valor bajo (GND)
```

```
    delayMicroseconds(tiempo);   // Tiempo establecido para la acción anterior
```

```
}
```

Las variables medidas a través de la experimentación se registran a continuación:

Tabla 16. Resultados de velocidad de la banda transportadora.

NIVEL DE PERILLA	ω_{TAMBOR} [RPM]	V_{BANDA} [cm/min]	NIVEL DE PERILLA	ω_{TAMBOR} [RPM]	V_{BANDA} [cm/min]
0	0,586	18,71	4,2	1,105	35,26
0,2	0,590	18,82	4,4	1,145	36,56
0,4	0,593	18,93	4,6	1,225	39,12
0,6	0,597	19,04	4,8	1,310	41,81
0,8	0,617	19,68	5	1,398	44,62
1	0,643	20,53	5,2	1,484	47,36
1,2	0,653	20,84	5,4	1,686	53,82
1,4	0,678	21,63	5,6	1,750	55,85
1,6	0,704	22,48	5,8	1,935	61,76
1,8	0,717	22,88	6	2,187	69,82
2	0,740	23,63	6,2	2,396	76,48
2,2	0,766	24,44	6,4	2,648	84,52
2,4	0,794	25,35	6,6	2,934	93,65
2,6	0,816	26,04	6,8	3,154	100,67
2,8	0,844	26,94	7	3,398	108,46
3	0,869	27,74	7,2	3,618	115,48
3,2	0,895	28,58	7,4	3,816	121,81
3,4	0,948	30,25	7,6	4,036	128,83
3,6	0,979	31,24	7,8	4,405	140,60
3,8	1,023	32,65	8	4,625	147,62
4	1,066	34,02	8,2	4,913	156,82

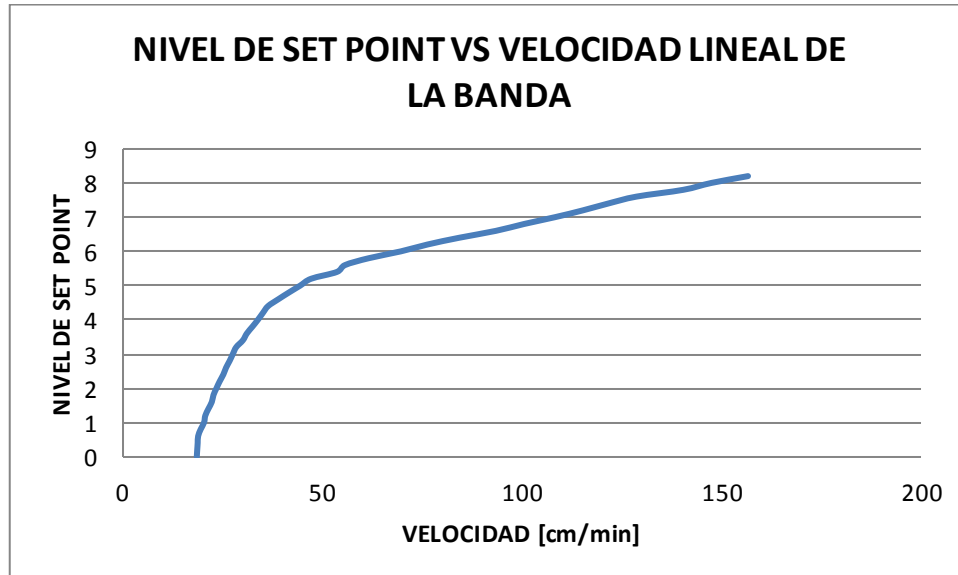
En la tabla anterior el nivel de perilla indica la distancia angular a la cual se gira el vástago del potenciómetro para establecer el valor de consigna. La sección del tablero de control encargada de la regulación de la velocidad se muestra a continuación:

Figura 102. Controles de velocidad en el tablero del equipo.



En conclusión, a pesar de haber tenido que calibrar la programación del control de velocidad de forma experimental, la estructura del código planteado es correcta y funciona perfectamente. Esto se debe a que se ha logrado alcanzar una velocidad lineal máxima para la banda equivalente a 156,82 [cm/min], superando de forma leve el requerimiento del sistema. Finalmente, la curva de velocidad lineal de la banda transportadora en respuesta al nivel de selección del potenciómetro es:

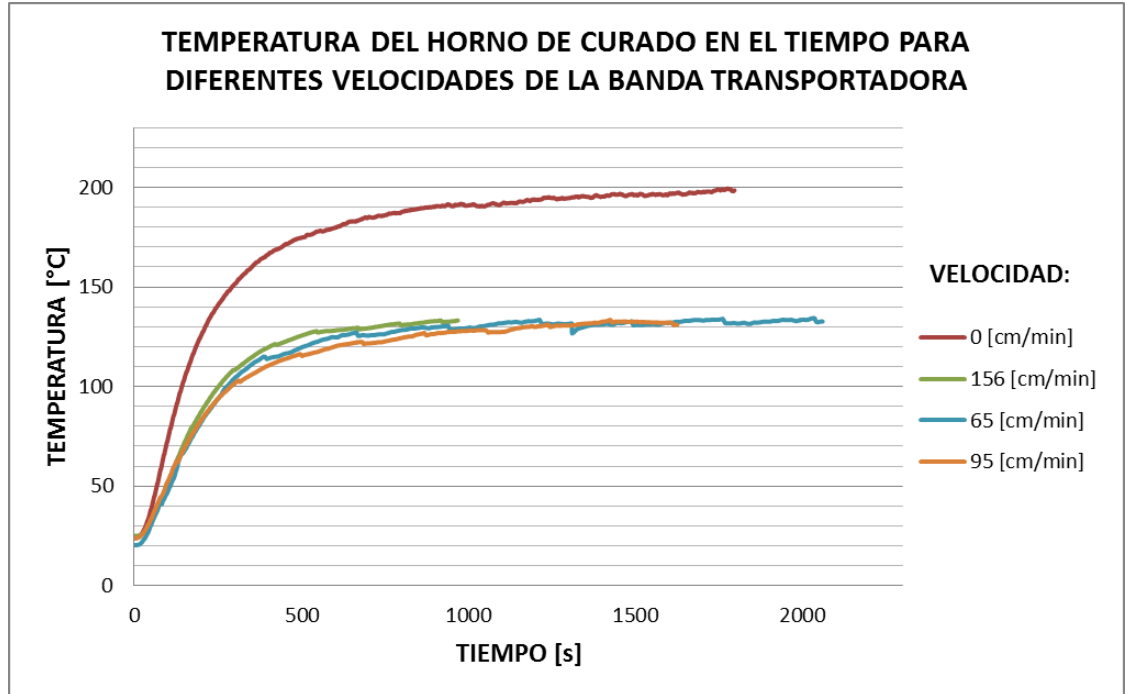
Figura 103. Set Point vs velocidad de la banda transportadora.



5.2.3.2 Sintonización del control de temperatura

La sintonización del control PID para la regulación de la temperatura de la cámara del horno de curado, será realizada mediante el método de la curva de respuesta al escalón de Ziegler-Nichols como se mencionó anteriormente. Es sí, que utilizando nuevamente la plataforma de LabVIEW y el Field Point de NATIONAL INSTRUMENTS junto con un módulo de termocuplas, se realiza la medición de temperatura en respuesta al escalón. Esta prueba se realiza a diferentes velocidades de la banda transportadora, estudiando el comportamiento de la temperatura en el tiempo en relación ante esta variable.

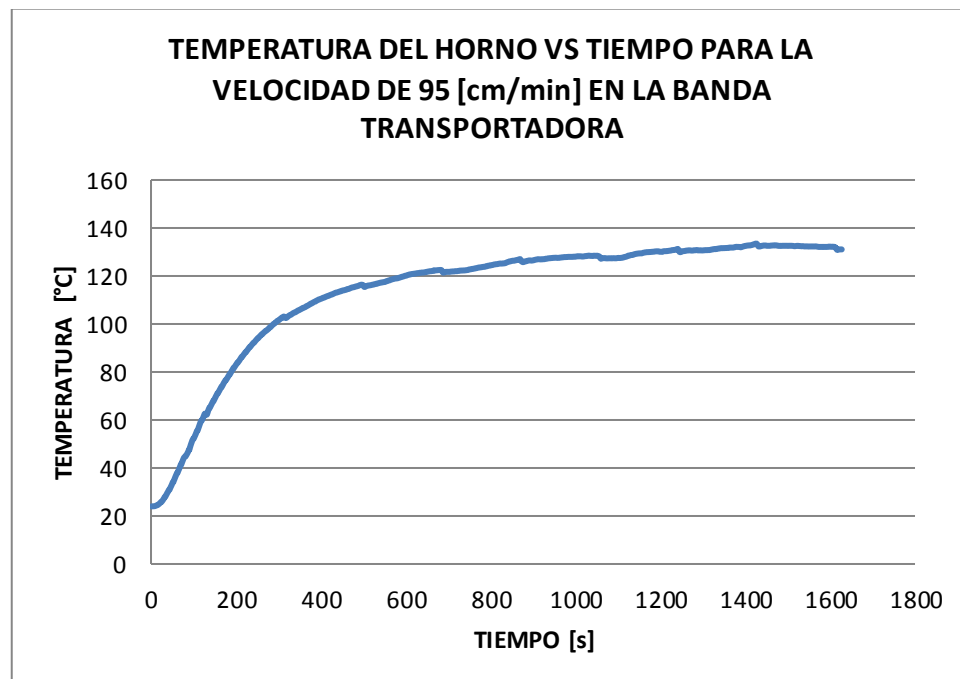
Figura 104. Temperatura del horno para diferentes velocidades.



En la gráfica anterior se puede evidenciar que a velocidad cero la curva de respuesta alcanza temperaturas cercanas a los 200°C. Mientras que, al activar la banda transportadora a diferentes velocidades el sistema se estabiliza a temperaturas entre 130°C y 140°C. Como se puede observar, tanto a velocidades bajas, medias y altas, la medida de temperatura es muy cercana. Es decir, cuando la banda transportadora se desplaza a través del horno la lectura será menor que cuando ésta se encuentra estática, sin embargo, la lectura no cambiará significativamente entre las diferentes velocidades de operación. Esto se puede explicar según el ensamble de la cámara del horno, en donde el sensor se encuentra ubicado sobre la placa de soporte de la banda transportadora. Por lo anterior, cualquier variación sobre la banda incidirá en la medición de temperatura.

Existe una gran similitud entre las curvas de respuesta a diferentes velocidades, por lo que se decide utilizar una de ellas para la sintonización del control PID. Por esta razón, se escoge la curva de respuesta al escalón tomada a la velocidad de la banda transportadora equivalente a 95 [cm/min].

Figura 105. Curva para la sintonización del control PID.



Siguiendo el proceso previsto en el diseño lógico, específicamente en el modelado del control de temperatura, se identifica el valor de estabilización para esta variable. Revisando los datos y la gráfica expuesta, la magnitud de la temperatura a la cual se presenta estabilidad en el sistema es de 132°C.

Entonces, la temperatura la estabilización del sistema es:

$$T_e = 132 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Estableciendo el límite inferior de la recta tangente al punto de inflexión de la curva de temperatura como el 28,3% del valor de estabilización, se tiene:

$$T_1 = 0,283 * T_e$$

$$T_1 = 0,283 * 132 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_1 = 37,4 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Según los datos obtenidos, el tiempo en el cual la lectura alcanza el límite inferior de temperatura (T_1) equivale a 60 segundos:

$$t_1 = 60 \text{ [s]}$$

Por otro lado, el límite superior de la recta tangente al punto de inflexión de la curva se calcula con el 63,2% del valor de estabilización, así:

$$T_2 = 0,632 * T_e$$

$$T_2 = 0,632 * 132 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_1 = 83,4 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Este límite superior se alcanza a un tiempo de 202 segundos según la información obtenida en la experimentación:

$$t_2 = 202 \text{ [s]}$$

Entonces, se calculan los factores para la determinación de las constantes del control PID, que son L y τ , éstos se calculan así:

$$L = t_1$$

$$L = 60 \text{ [s]}$$

$$\tau = t_2 - t_1$$

$$\tau = 202 \text{ [s]} - 60 \text{ [s]}$$

$$\tau = 142 \text{ [s]}$$

Finalmente, se procede a calcular las constantes proporcional (K_c), integral (T_i) y derivativa (T_d) para la operación del control PID:

$$K_c = 1,2 \frac{\tau}{L}$$

$$K_c = 1,2 * \frac{142 [s]}{60 [s]}$$

$$K_c = 2,84$$

$$T_i = 2L$$

$$T_i = 2 * 60$$

$$T_i = 120$$

$$T_d = 0,5L$$

$$T_d = 0,5 * 60$$

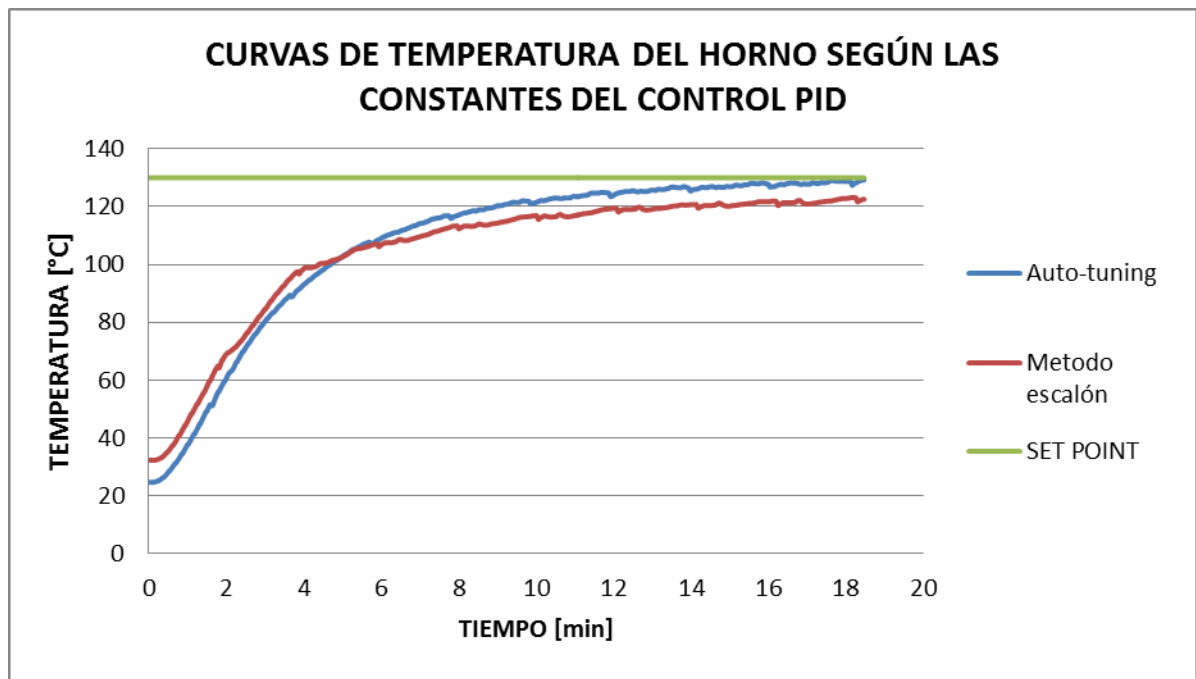
$$T_d = 30$$

En conclusión, se tiene que las constantes calculadas para el control PID son $K_c = 2,84$, $T_i = 120 [s]$ y $T_d = 30 [s]$, las cuales serán puestas a prueba en la operación del horno de curado. Por otro lado, el controlador de temperatura Hanyoung Nux AX7-1A tiene una función de auto sintonización que establece los valores recomendados para las constantes del PID a partir de una medición inicial. A partir de esto, se ejecuta una prueba con esta función para determinar las constantes implantadas por el controlador. Como resultado de lo anterior, se obtiene el siguiente grupo de constantes:

$$K_c = 5,9 \quad T_i = 35 \quad T_d = 9$$

Elaborando pruebas para cada grupo de constantes, se tiene:

Figura 106. Curvas según las constantes de control PID.



El comportamiento de la curva resultante de las constantes obtenidas por el método de respuesta al escalón es insuficiente para el control de temperatura. Aunque al inicio su conducta es creciente, ésta se estabiliza a una magnitud inferior a la del valor de consigna de 130°C. En contraste, las constantes generadas por la función de auto sintonización del controlador AX7-1A otorgan una salida óptima que permite igualar el valor de consigna al estabilizarse. Por lo anterior se decide implementar estas últimas en el control de térmico del horno de curado.

5.3 PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD DE LOS ESTAMPADOS

El control de calidad del secado de los estampados textiles consiste en realizar diferentes pruebas sobre el producto terminado revisando ciertas características, las cuales se relacionan con su estética, calidad y durabilidad. Las propiedades más importantes a revisar son el color y tonalidad, la penetración de la tinta en las fibras textiles y su adherencia o anclaje sobre las mismas. Entonces, se plantea una serie de ensayos sobre los diferentes tipos de tintas principales, que son las tintas acrílicas y las tintas sintéticas.

5.3.1 Tintas acrílicas

Las tintas acrílicas textiles son una de las alternativas más utilizadas en la estampación debido a su textura, versatilidad y accesibilidad. Esto radica en que se pueden mezclar sus componentes para obtener un color y una tonalidad específicos, además del mejoramiento de ciertas propiedades que se consiguen al agregar algunos aditivos químicos. Este tipo de tinta consiste básicamente en una mezcla homogénea, donde los principales compuestos son el pigmento y la base. Sin embargo, se pueden agregar catalizadores y retardantes, o en el caso del método descarga, un agente activador que decolora el teñido de las prendas oscuras.

Anteriormente en el capítulo tres, se mencionan las aplicaciones, factores de selección y características de trabajo de este tipo de tinta. Resumiendo estos factores, se puede decir que esta pintura se utiliza para telas tanto naturales como sintéticas, ya sea en colores claros y oscuros, secándose al aire, al horno o en

plancha térmica. Todo lo anterior depende de los componentes presentes en la mezcla y del tipo de aplicación proyectada para el estampado.

5.3.1.1 Tinta base agua con aditivo catalizador

Esta tinta se compone de una base transparente en su mayor parte, hasta un 5% de pigmento y entre el 1% y 3% de aditivo catalizador. Éste último se utiliza para disminuir el tiempo de secado al aire, que se reduce de 72 a 48 horas. Posteriormente, se debe curar la prenda en el horno a una temperatura de 150°C.

El control de calidad para los estampados con tinta base agua se ejecuta para revisar el color, la textura, la penetración y el anclaje de la tinta. Para esto, se plantean las siguientes pruebas:

- ✓ aplicación de tiras de registro irreversible de temperatura.
- ✓ Inspección visual total y local ampliada hasta 11,5X.
- ✓ proceso de lavado o desgastado industrial.

Tiras de registro irreversible de temperatura

Como el control de temperatura no puede medir directamente esta variable sobre las prendas que pasan a través del horno, se adhieren sobre ellas unas tiras de registro irreversible de temperatura las cuales se revelan según su calibración. Éstas serán empleadas para verificar que las telas alcancen la temperatura requerida por la tinta, y con esto, establecer los niveles de operación del equipo.

Figura 107. Tiras de registro irreversible de temperatura.



Figura 108. Tiras de registro en un estampado con tinta base agua.



Como se puede observar en la imagen anterior, el color negro de los cuadros de registro indica que la superficie de la tela alcanzó una temperatura cercana a los 166°C. Esto se presentó al trabajar con el nivel de 5,8 del potenciómetro regulador de velocidad y la temperatura de consigna de 130°C en el controlador AX7-1A. Por consiguiente, en relación a esta variable se concluye que la prueba fue exitosa y que esos son los parámetros de operación para las tintas base agua.

Inspección visual total y local ampliada hasta 11,5X

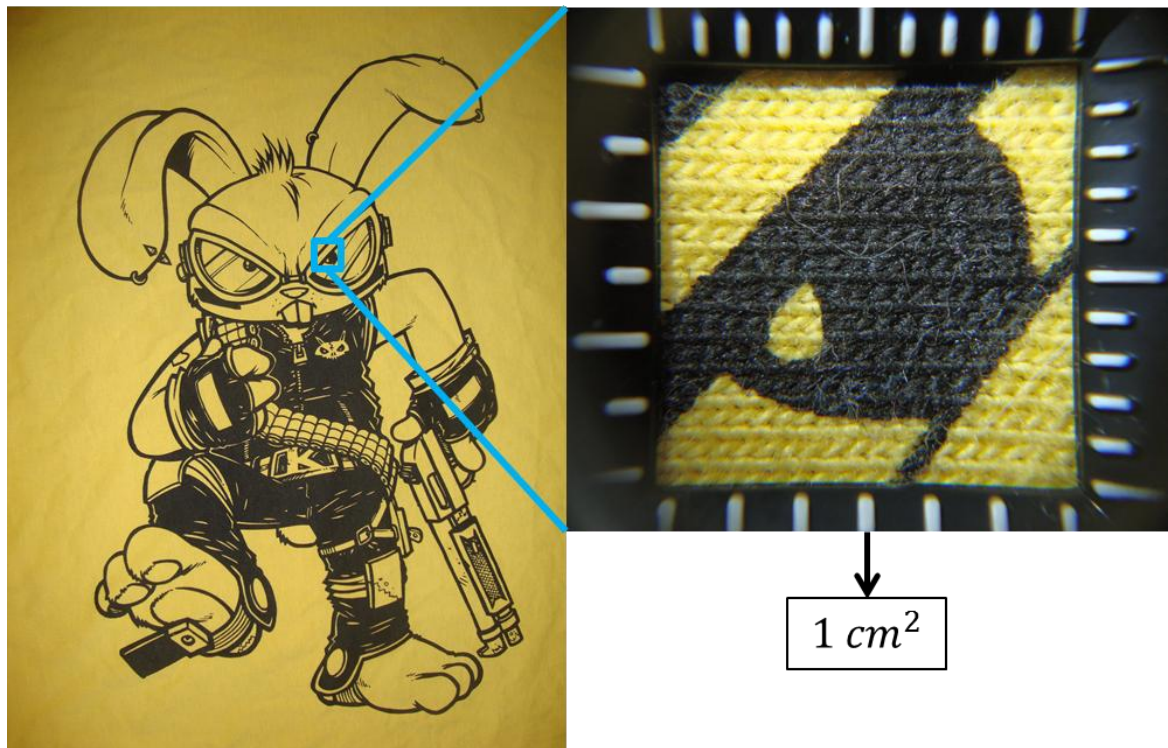
La inspección visual sirve para determinar la uniformidad del color, la textura del estampado y la penetración de la tinta sobre las fibras. En primer lugar, se revisa el estampado en su totalidad identificando posibles fallas por falta o exceso de tinta, manchas o algún otro tipo de desperfectos.

Figura 109. Inspección visual de un estampado con tinta base agua.



En la imagen anterior no se evidencia la presencia de parches, quiebres o ausencia de tinta en el contorno y relleno del estampado. Al tacto, la prenda se siente suave y flexible, y la textura del estampado es casi imperceptible en comparación con la de la tela. En la inspección visual general, la impresión parece estar realizada correctamente, por lo que se procede a realizar la inspección visual ampliada:

Figura 110. Vista ampliada de un estampado con tinta base agua.

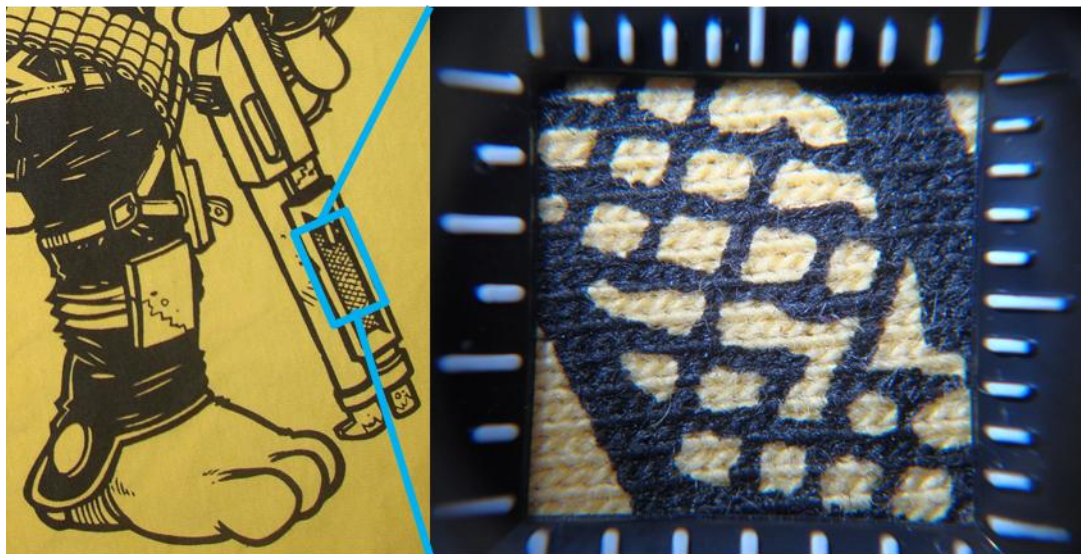


En la imagen anterior se puede ver en detalle de una sección de un centímetro cuadrado ampliada a 11,5X utilizando una lupa cuenta-hilos. Aquí se puede evidenciar que el contorno del estampado es muy detallado y el color es plano y uniforme. Además, el cubrimiento de la tinta es excelente, ya que no se alcanza a apreciar el color de la tela debajo de su pigmento.

Proceso de lavado o desgastado industrial

Esta prueba consiste en someter a las prendas a un proceso de lavado industrial agresivo que puede llegar a quebrar o desprender el estampado si este no ha sido curado correctamente. Entonces, se introducen las prendas en una lavadora industrial bajo un ciclo largo de lavado. Al finalizar, se ejecuta otra inspección visual para determinar si hay desprendimiento de tinta o pérdida de color.

Figura 111. Resultado de lavado industrial para la tinta base agua.



En la imagen anterior se puede observar que no se ha perdido tonalidad y el color se mantiene uniforme. A su vez, la definición de los contornos es muy buena permitiendo que la imagen sea muy clara y detallada.

5.3.2 Tintas plastisol

Las tintas plastisol son un tipo de tintas sintéticas las cuales están compuestas de partículas de PVC que se funden al estar sometidas a cierta temperatura. Estas son muy utilizadas por los acabados que permiten su fácil manejo. Requieren de un pre-secado entre colores con una unidad flash y de un curado final a 160°C en un horno infrarrojo.

5.3.2.1 Tinta plastisol estándar

Este tipo de tintas es altamente comercializado y a diferencia de la base agua no requiere prepararse antes de usar, es decir, su composición ya ha sido establecida por el fabricante. Esto no indica que no se puedan agregar algunos aditivos que permitan generar texturas y efectos diferentes para mejorar su estética, es solo que no se requiere de una preparación básica ya que la tinta esta estandarizada.

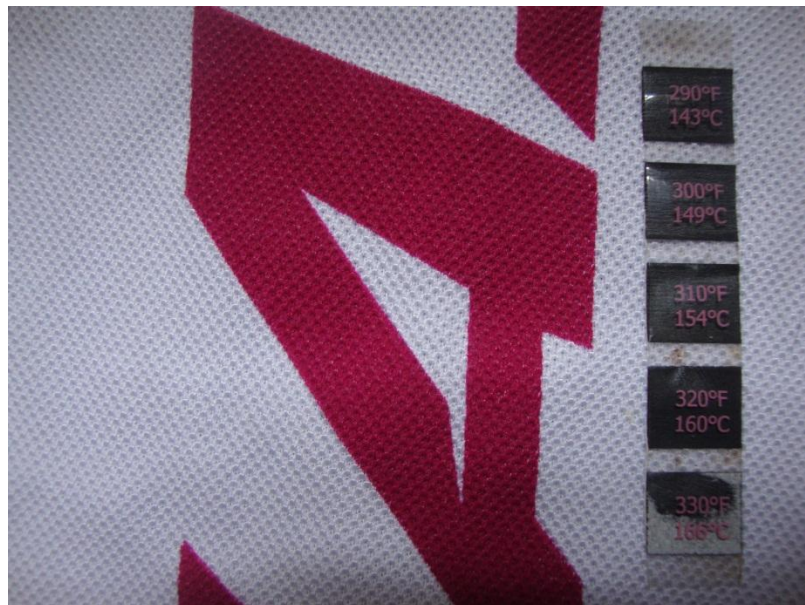
El control de calidad para los estampados con tinta plastisol se ejecuta de la misma manera que las tintas base agua. Lo que conlleva a las siguientes pruebas:

- ✓ aplicación de tiras de registro irreversible de temperatura.
- ✓ Inspección visual total y local ampliada hasta 11,5X.
- ✓ proceso de lavado o desgastado industrial.

Tiras de registro irreversible de temperatura

Esta prueba se repite para el caso de los estampados realizados con tinta plastisol, identificando la temperatura de secado de los mismos por medio de las tiras de registro irreversible:

Figura 112. Tiras de registro en un estampado con tinta plastisol.



Las tiras registran que la superficie de la tela alcanzó una temperatura de 160°C. Para esto, se seleccionó el nivel 7,8 de velocidad y un valor de consigna de 130°C en el controlador de temperatura. Al alcanzar la temperatura establecida en las especificaciones, se concluye que los resultados son correctos y establecen los parámetros de operación.

Inspección visual total y local ampliada hasta 11,5X

Se procede a realizar la inspección visual sobre el estampado con tinta plastisol para observar la uniformidad y la textura del estampado.

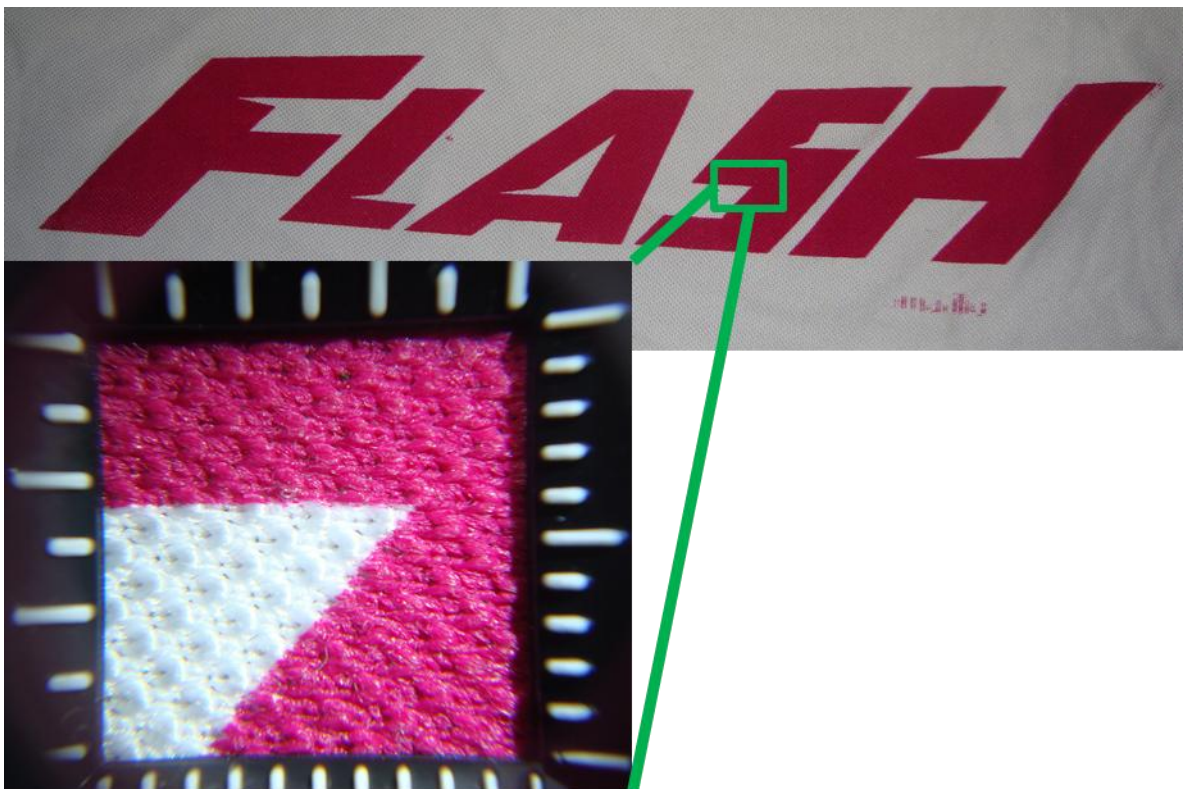
Figura 113. Inspección visual de un estampado con tinta plastisol.



En la imagen anterior se puede visualizar la diferencia de esta tinta a comparación de la base agua, ya que presenta mayor relieve y brillo. En este caso, tampoco se evidencian parches y defectos en el relleno y contorno del estampado. La textura percibida al tacto es más rígida, lo que es normal para este tipo de pintura. Se

aprueba la impresión en la inspección visual general, y se procede a realizar la inspección visual ampliada:

Figura 114. Vista ampliada de un estampado con tinta plastisol.

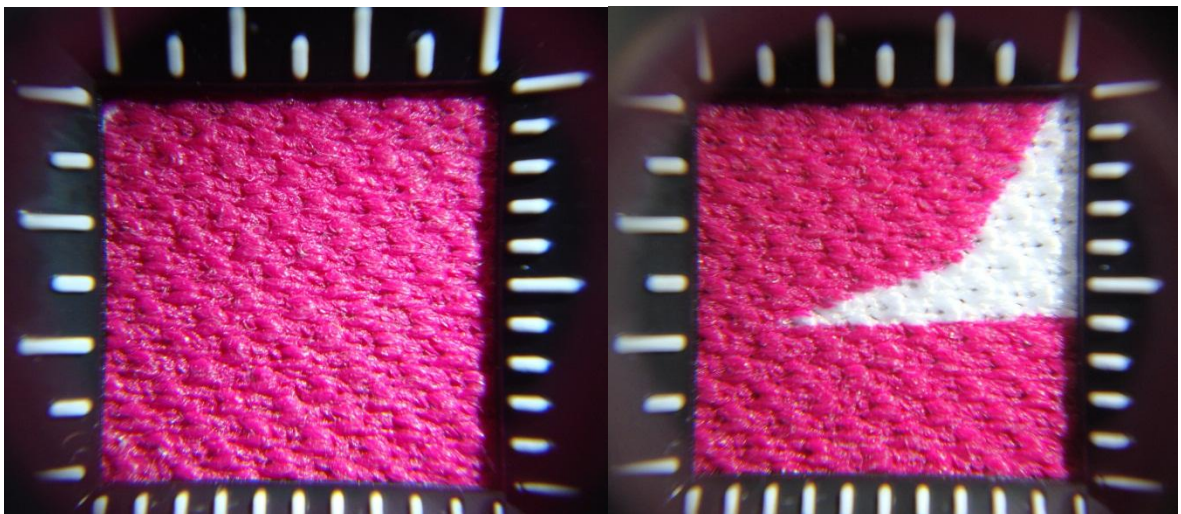


La sección cuadrada ampliada a 11,5X muestra la calidad de los contornos los cuales se ven muy definidos con un color uniforme. Se puede observar como penetró la tinta en las fibras de la tela con un color muy cubriente en toda el área del estampado.

Proceso de lavado o desgastado industrial

Se procede a introducir las piezas estampadas en la lavadora industrial para luego ejecutar una inspección visual nuevamente y observar los resultados.

Figura 115. Resultado de lavado industrial para la tinta plastisol.



En las ampliaciones anteriores se puede visualizar que el color se mantiene uniforme sin haber perdido su brillo y tonalidad. Así mismo, la definición del contorno permanece muy bien delineada y el cubrimiento de la tinta es total.

5.3.2.2 Tinta plastisol con aditivo Puff

Esta tinta consiste en realizar una mezcla de tinta plastisol estándar con un aditivo Puff desde un 14% a un 16% del peso total. Este último presenta una reacción al curarse que genera que el estampado crezca y brinde una apariencia esponjosa con alto relieve. Como se trata de tinta plastisol, la temperatura de curado se mantendrá cercana a los 160°C, y se recomienda realizar esta labor en un tiempo entre 20 y 35 segundos en el horno infrarrojo.

Nuevamente, se aplican las diferentes pruebas para el control de calidad de los estampados:

- ✓ aplicación de tiras de registro irreversible de temperatura.
- ✓ Inspección visual total y local ampliada hasta 11,5X.
- ✓ proceso de lavado o desgastado industrial.

Tiras de registro irreversible de temperatura

Se ubican sobre la tela del estampado plasti-puff las tiras de registro irreversible de temperatura antes de realizar el curado, con el fin de identificar que esta variable llegue a ser cercana a los 160°C.

Figura 116. Tiras de registro en un estampado con tinta plasti-puff.



Como se evidencia en la imagen anterior, las tiras registran una temperatura de 166°C sobre la superficie de la tela. Esto se debe a que hubo que reducir el nivel de velocidad a 7 para lograr la activación del aditivo Puff contribuyendo al inflado del estampado. Así mismo, como en las pruebas anteriores, el Set Point de temperatura para el controlador estuvo establecido en 130°C. Finalmente, se establece que el parámetro de velocidad varía un poco en relación a la tinta plastisol estándar, pero se garantiza que la temperatura se mantenga cerca al valor requerido.

Inspección visual total y local ampliada hasta 11,5X

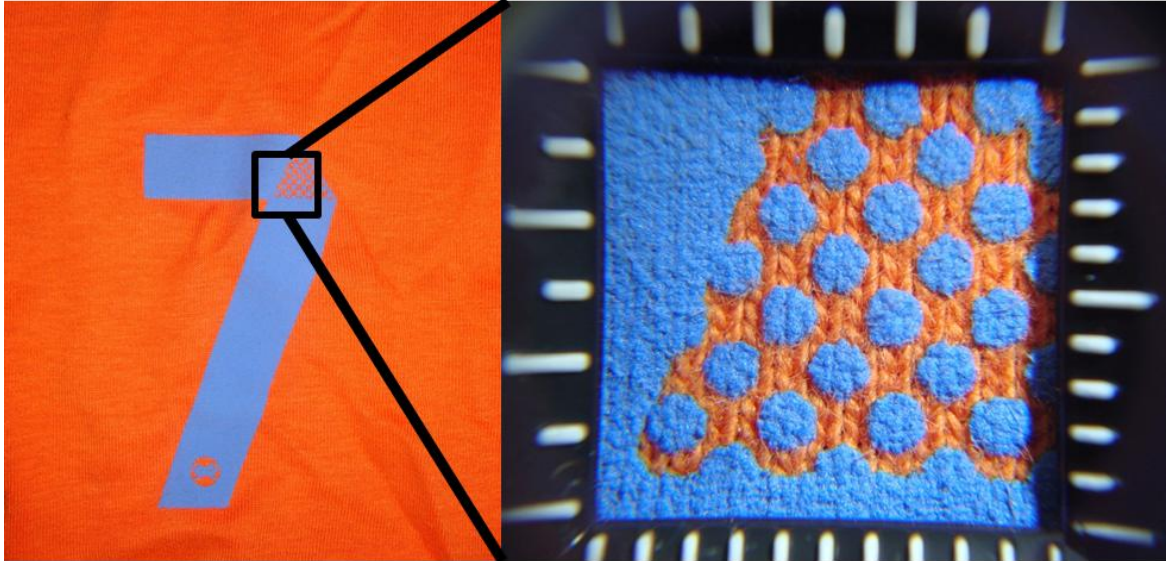
Se realiza una inspección visual general sobre el estampado realizado con la tinta plasti-puff para identificar los posibles errores o desperfectos.

Figura 117. Inspección visual de un estampado con tinta plasti-puff.



Se puede visualizar el efecto de crecimiento del aditivo puff el cual ocasiona que el estampado presente un alto relieve. A su vez, el contorno es uniforme y no presenta grietas ni parches. A continuación se ilustra una imagen de la inspección visual ampliada:

Figura 118. Vista ampliada de un estampado con tinta plasti-puff.

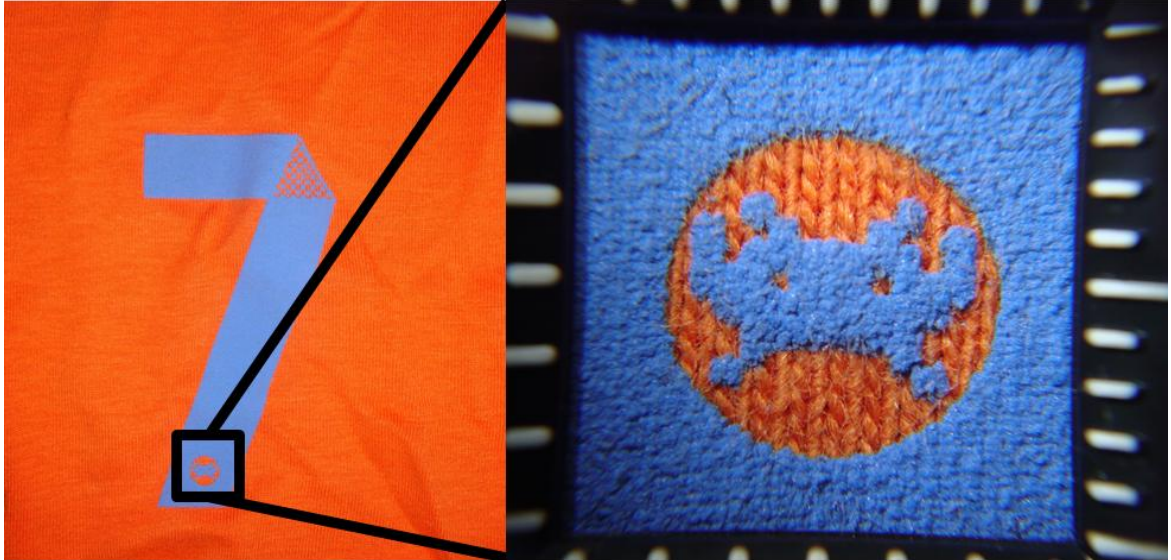


En la imagen ampliada a 11,5X muestra que el alto relieve generado por el aditivo puff actúa inclusive en las secciones pequeñas. Adicionalmente, se presenta un contorno muy detallado y parejo, con un color uniforme. Por otro lado, el cubrimiento de la tinta sobre la tela es excelente generando un gran contraste de colores.

Proceso de lavado o desgastado industrial

En esta prueba, se introducen las prendas estampadas con plasti-puff en la lavadora industrial, para después realizar la comparación entre el resultado previo y el actual al proceso de desgastado.

Figura 119. Resultado del lavado industrial para la tinta plasti-Puff.



Luego de realizar el lavado, se puede observar que se mantiene el anclaje de la tinta, ya que no se encuentra ningún desprendimiento ni grieta en el diseño del mismo. En la imagen ampliada, se presenta una gran definición de la figura la cual contiene el relieve característico generado por el aditivo Puff.

5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta etapa se analiza toda la información obtenida gracias a las pruebas funcionales y a las de control de calidad de los estampados. La finalidad de esto es evaluar la eficacia del equipo, comprobando que se hayan cumplido las especificaciones de diseño planteadas en los objetivos del proyecto.

5.4.1 Análisis funcional

En cuanto a la funcionalidad de los sistemas pertenecientes al horno se curado, se puede decir que el resultado es satisfactorio puesto que los parámetros de operación fueron corregidos hasta cumplir con los rangos de diseño. En consiguiente se presentan algunas conclusiones respecto a la puesta en marcha de los sistemas:

- ✓ La distribución de temperaturas dentro del recinto de la cámara del horno permite enfocar mayor parte del calor emitido por las lámparas sobre la superficie inferior. Esto es gracias a la selección del material de los reflectores y de la lámina de apoyo de la banda transportadora, que en conjunto permiten al horno alcanzar la temperatura secado propuesta en las especificaciones.
- ✓ El planteamiento del modelo mecánico junto a los cálculos realizados en el diseño fueron motivo de revisión al no concordar exactamente con los resultados reales. Sin embargo se comprobó que no eran incorrectos debido a que el sistema pudo trabajar hasta cierto punto, lo que sucedió antes de identificar el torque inducido por el gancho de unión de la banda transportadora. De todas formas, la selección de los componentes fue adecuada y las acciones correctivas no acarrearón el remplazo de ninguno de ellos.
- ✓ El modelo lógico del control de velocidad en lazo abierto fue bien estructurado en torno a la variable de tiempo que determinaba la frecuencia de operación. Sin embargo, se tuvo que realizar la calibración de los límites de esa especificación por medio de ensayos prácticos en vez de análisis teóricos.

5.4.2 Análisis de calidad de los estampados

La calidad de los estampados depende de muchos factores pertenecientes a las diferentes etapas del proceso de impresión por serigrafía. En este caso, se hace un enfoque únicamente establecido para la labor del curado o secado final. Por esta razón, se implanta el análisis de calidad en torno a las pruebas de secado de los estampados textiles, las cuales presentan los siguientes razonamientos:

- ✓ Se realizaron pruebas de tintas acrílicas y plastisol puesto que son las más comúnmente utilizadas en la impresión textil. Aunque existe una amplia gama de pinturas textiles, suelen ser derivaciones de las mencionadas anteriormente, y se preparan mediante la adición de diferentes compuestos químicos que modifican algunas de sus propiedades.
- ✓ Las tintas acrílicas requieren de un secado al aire de entre 48 y 72 horas, y de un curado final temperaturas de 150°C a 175°C por un tiempo aproximado de un minuto. De no cumplirse lo anterior, el diseño estampado aparentemente seco podría no tener un buen anclaje lo que ocasiona un desprendimiento del mismo por algún esfuerzo mecánico, como lo es el uso regular y el lavado de la prenda.
- ✓ Las tintas plastisol son relativamente fáciles y rápidas de secar, con excelentes propiedades como el anclaje y el cubrimiento. No penetran tanto en las fibras en comparación con las tintas base agua, pero su adherencia es muy buena lo que genera amplia durabilidad.
- ✓ El aditivo Puff para tintas textiles brinda cuerpo, volumen y cubrimiento. En torno al curado, se debe tener en cuenta que el tiempo necesario será un poco mayor que el de la tinta estándar de la mezcla.

A partir de las pruebas de secado de los estampados textiles, se pueden establecer los parámetros de operación según los tipos de tinta previstos:

Tabla 17. Parámetros de operación para diferentes tintas textiles.

TIPO DE TINTA	TEMPERATURA DE LA PRENDA	SET POINT		TIEMPO DE SECADO
		Velocidad	Temperatura	
Base agua	166°C	Nivel 5,8 (62 cm/min)	130°C	53 [s]
Plastisol	160°C	Nivel 7,8 (141 cm/min)	130°C	23 [s]
Plastipuff	166°C	Nivel 7 (109 cm/min)	130°C	30 [s]

Teniendo en cuenta los tiempos de secado para los diferentes tipos de tinta se puede determinar la rata producción por hora para cada una de ellas. Asumiendo un tiempo de 10 segundos para la ubicación de la prenda sobre la banda transportadora del horno, se tiene:

$$Producción_{Base\ agua} = \frac{3600 [s/hora]}{63 [s/prenda]} = 57 \left[\frac{prendas}{hora} \right]$$

$$Producción_{Plastisol} = \frac{3600 [s/hora]}{33 [s/prenda]} = 109 \left[\frac{prendas}{hora} \right]$$

$$Producción_{Plastipuff} = \frac{3600 [s/hora]}{40 [s/prenda]} = 90 \left[\frac{prendas}{hora} \right]$$

6. ANÁLISIS ECONÓMICO

Este estudio consiste en establecer la viabilidad del proyecto al contemplar el aumento de la producción estableciendo las ganancias futuras. Para esto, se analiza la rentabilidad del equipo al realizar un balance económico mensual que determine el incremento de las ganancias obtenidas.

6.1 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN

Los costos de construcción equivalen los gastos realizados por adquisición de los componentes del túnel de secado. Estos incluyen materiales estructurales, elementos de fijación mecánica, dispositivos electrónicos, cableados y accesorios eléctricos y materiales para estampación textil, entre otros. Debido a que el listado de costos es tan amplio y variado, se ha decidido dividirlo en las siguientes categorías:

- ✓ Componentes mecánicos.
- ✓ Componentes eléctricos.
- ✓ Mano de obra.
- ✓ Materiales para pruebas de estampación textil

Luego de establecer el valor total de cada categoría, se realizará la suma de ellos para determinar el total de costos de construcción.

Tabla 18. Tabla de costos de componentes mecánicos.

TABLA DE COSTOS DE COMPONENTES MECÁNICOS			
DESCRIPCIÓN	CANT.	SUBTOTAL	TOTAL
Motor paso a paso 57BYGH420	1	\$ 75.000	\$ 75.000
Chumaceras de parche de 1/2" diámetro interno	2	\$ 15.000	\$ 30.000
Chumaceras tensoras de 1/2" de diámetro interno	2	\$ 19.000	\$ 38.000
Reductor de velocidad	1	\$ 50.000	\$ 50.000
Piñón 25B30	1	\$ 35.000	\$ 35.000
Piñón 25B15	1	\$ 21.000	\$ 21.000
Cadena 25-1	1	\$ 8.000	\$ 8.000
Barra de acero 1020 de 1/2" diámetro x 60 cm	2	\$ 5.500	\$ 11.000
Perfil C 150mmx50mmx6m	1	\$ 70.100	\$ 70.100
Perfiles en ángulo de 1 1/2"x 1 1/2"x 6m	2	\$ 25.000	\$ 50.000
Tubos de 4" de diámetro x 50 cm de largo	2	\$ 11.000	\$ 22.000
Barra roscada de 5/8" de diámetro x 1m	1	\$ 13.400	\$ 13.400
Platina 1/8"x2"x1m	1	\$ 5.000	\$ 5.000
Varilla cuadrada 12mm x 1m	1	\$ 4.500	\$ 4.500
Malla metálica 30x60cm	1	\$ 7.000	\$ 7.000
Lamina de aluminio calibre 20 por 1 m ²	1	\$ 27.000	\$ 27.000
Cortes de lámina de acero inoxidable calibre 20	1	\$ 82.000	\$ 82.000
Cortes de lámina negra calibre 20	1	\$ 58.000	\$ 58.000
Cortes de lámina cold rolled de 1/4" de espesor	1	\$ 19.500	\$ 19.500
Malla PTFE de 50 cm de ancho por 3 m de largo	1	\$ 407.150	\$ 407.150
Rodachinas giratorias con frenos	4	\$ 7.800	\$ 31.200
Caja metálica INDUMAN C-90	1	\$ 25.600	\$ 25.600
Aislante en fibra de vidrio por 1 m ²	1	\$ 21.500	\$ 21.500
Acrílico tablero de control	1	\$ 150.000	\$ 150.000
Tornillos, tuercas y arandelas en general	1	\$ 58.300	\$ 58.300
Pinturas, brochas y thinner	1	\$ 67.200	\$ 67.200
TOTAL DE COSTOS DE COMPONENTES MECÁNICOS			\$ 1.387.450

Tabla 19. Tabla de costos de componentes eléctricos.

TABLA DE COSTOS DE COMPONENTES ELÉCTRICOS			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SUBTOTAL	TOTAL
Arduino uno R3	1	\$ 65.000	\$ 65.000
Driver BL-TB6560-V2	1	\$ 51.500	\$ 51.500
Fuente 24VDC S-150-24	1	\$ 65.000	\$ 65.000
Fuente de 9VDC Techman AD-912	1	\$ 12.500	\$ 12.500
Lámparas infrarrojas de 50cm de largo, 650W	3	\$ 105.550	\$ 316.650
Controlador Hanyuon Nux AX7-1A	1	\$ 150.000	\$ 150.000
Termocupla tipo J 56100	1	\$ 15.000	\$ 15.000
Relé de estado sólido SASSIN ZG3NC-240B	1	\$ 60.000	\$ 60.000
Disipador de calor para el relé	1	\$ 20.000	\$ 20.000
Ventiladores FONSONING FSY8025HA1BL	3	\$ 23.000	\$ 69.000
Botón pulsador de emergencia	1	\$ 13.500	\$ 13.500
Cable siliconado calibre 12 por metro	2	\$ 6.650	\$ 13.300
Porta fusibles	6	\$ 1.000	\$ 6.000
Fusibles	24	\$ 100	\$ 2.400
Conectores, cables y accesorios en general	1	\$ 93.850	\$ 93.850
TOTAL DE COSTOS DE COMPONENTES ELECTRICOS			\$ 953.700

Tabla 20. Tabla de costos de mano de obra.

TABLA DE COSTOS DE MANO DE OBRA	
DESCRIPCIÓN	TOTAL
Mecánica general	\$ 650.000
Corte en plasma para laminas calibre 20	\$ 50.000
Doblado de láminas calibre 20	\$ 100.000
TOTAL DE COSTOS MANO DE OBRA	\$ 800.000

Tabla 21. Tabla de costos de materiales para pruebas de estampación.

TABLA DE COSTOS DE MATERIALES PARA PRUEBAS DE ESTAMPACIÓN			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SUBTOTAL	TOTAL
Tiras de registro irreversible de temperatura	1	\$ 58.650	\$ 58.650
Lupa cuenta-hilos de 11,5X	1	\$ 25.000	\$ 25.000
Tela 100% algodón por kg	1	\$ 28.700	\$ 28.700
Tinta plastisol por kg	2	\$ 15.700	\$ 31.400
Base textil por kg	2	\$ 7.000	\$ 14.000
Pimento por 100 g	5	\$ 2.600	\$ 13.000
Tinta plastipuff por kg	2	\$ 17.000	\$ 34.000
TOTAL DE COSTOS DE MATERIALES PARA PRUEBAS			\$ 204.750

Tabla 22. Tabla de costos de construcción.

TABLA DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN	
DESCRIPCIÓN	TOTAL
Total de costos de componentes mecánicos	\$ 1.387.450
Total de costos de componentes eléctricos	\$ 953.700
Total de costos de mano de obra	\$ 800.000
Total de costos de materiales para pruebas	\$ 204.750
Transporte de material	\$ 174.000
TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN	\$ 3.519.900

Finalmente, se obtiene un total de costos de construcción del horno de curado textil equivalentes a 3.519.900 pesos colombianos.

6.2 RENTABILIDAD

En esta fase se comparan los rangos de producción de prendas actuales con los proyectados a futuro, determinando los beneficios generados al implementar el horno de curado. Después, se ejecuta un balance económico mensual para la operación del equipo, en donde se incluyan las ganancias proyectadas junto con los gastos de operación y de mantenimiento. Finalmente, se calculará el tiempo de recuperación de la inversión según los costos de construcción y el balance económico mensual.

6.2.1 Producción actual

La producción actual de estampados textiles dentro de la empresa es determinada por el tiempo necesario para realizar el proceso de impresión. Por esta razón, se mide esta variable para cada labor realizada en el estampado de una prenda, que son la aplicación de tinta, desplazamientos del operario dentro del lugar de trabajo y el secado o curado final.

Tabla 23. Tiempos de producción actuales para un estampado textil.

TIPO DE TINTA	TIEMPOS DE PRODUCCIÓN [s]			
	Aplicación de tinta	Desplazamientos del operario	Secado	TOTAL
Plastisol	50	30	40	120
Base agua	50	30	70	150

6.2.1.1 Producción mensual actual

La empresa trabaja los estampados textiles diariamente en media jornada bajo el horario de 8:00 am a 12:00 pm, por lo que el tiempo del turno de trabajo equivale a 4 horas. Sin embargo, en el transcurso del turno se pierde cerca de media hora por el tiempo de calentamiento del horno de curado y movimientos del operario dentro de la empresa. En conclusión, se tendrá un total de 3,5 horas efectivas para trabajar las impresiones textiles en el día. Adicionalmente, se sabe que la empresa se enfoca en su mayoría a la confección, por lo que solo trabaja la estampación textil 12 turnos al mes.

La producción de prendas mensual se calcula según el tiempo requerido para producir un estampado, las horas trabajadas por turno y el número de turnos al mes, como se muestra a continuación:

$$Producción = \frac{\text{horas/turno}}{\text{tiempo/prenda}} * \left(\frac{\text{turnos}}{\text{mes}} \right)$$

De la ecuación anterior se establece la producción mensual para estampados realizados con tintas plastisol, en donde el tiempo total para cada uno de estos equivale a 120 segundos.

$$Producción\ actual_{plastisol} = \frac{3,5 \left[\frac{\text{horas}}{\text{turno}} \right]}{120 \left[\frac{\text{s}}{\text{prenda}} \right] * \left[\frac{1\ \text{hora}}{3600\ \text{s}} \right]} * 12 \left[\frac{\text{turnos}}{\text{mes}} \right]$$

$$Producción\ actual_{plastisol} = 1260 \left[\frac{prendas}{mes} \right]$$

De la misma manera se calcula la producción mensual para las prendas estampadas con tintas base agua, las cuales requieren de un tiempo de 150 segundos cada una.

$$Producción\ actual_{base\ agua} = \frac{3,5 \left[\frac{horas}{turno} \right]}{150 \left[\frac{s}{prenda} \right] * \left[\frac{1\ hora}{3600\ s} \right]} * 12 \left[\frac{turnos}{mes} \right]$$

$$Producción\ actual_{base\ agua} = 1008 \left[\frac{prendas}{mes} \right]$$

6.2.2 Producción proyectada a futuro

La producción proyectada a futuro se establece a partir del ahorro de tiempo generado al implementar el horno de curado en el proceso de estampación textil. Se debe tener en cuenta que el túnel de secado no solo reduce el tiempo de curado, sino que también elimina los tiempos de desplazamiento del operario al ser ubicado junto a la estación de trabajo de aplicación de tinta. En la tabla expuesta a continuación se exponen los tiempos futuros de producción de estampados para tintas plastisol y base agua:

Tabla 24. Tiempos de producción futuros para un estampado textil.

TIPO DE TINTA	TIEMPOS DE PRODUCCIÓN [s]		
	Aplicación de tinta	Secado	TOTAL
Plastisol	50	23	73
Base agua	50	53	103

6.2.2.1 Producción mensual futura

Al igual que la producción mensual actual, la proyección a futuro se calcula bajo los mismos parámetros de trabajo dentro de la empresa. Únicamente se reemplazan los parámetros de tiempo de secado de los estampados, los cuales se reducen al implementar el horno de curado.

Utilizando la misma fórmula empleada para la producción actual, se calcula la producción mensual futura para tintas plastisol:

$$Producción = \frac{\text{horas/turno}}{\text{tiempo/prenda}} * \left(\frac{\text{turnos}}{\text{mes}} \right)$$

$$Producción\ futura_{plastisol} = \frac{3,5 \left[\frac{\text{horas}}{\text{turno}} \right]}{73 \left[\frac{\text{s}}{\text{prenda}} \right] * \left[\frac{1\ \text{hora}}{3600\ \text{s}} \right]} * 12 \left[\frac{\text{turnos}}{\text{mes}} \right]$$

$$Producción\ futura_{plastisol} = 2071 \left[\frac{\text{prendas}}{\text{mes}} \right]$$

Así mismo, se calcula la producción mensual futura para las tintas base agua:

$$Producción\ futura_{base\ agua} = \frac{3,5 \left[\frac{horas}{turno} \right]}{103 \left[\frac{s}{prenda} \right] * \left[\frac{1\ hora}{3600\ s} \right]} * 12 \left[\frac{turnos}{mes} \right]$$

$$Producción\ futura_{base\ agua} = 1468 \left[\frac{prendas}{mes} \right]$$

6.2.3 Balance económico mensual

Para analizar la rentabilidad de la adquisición del equipo se realizará un balance económico mensual. Este último incluye las ganancias debidas al aumento de la productividad, los costos operativos y costos de mantenimiento.

6.2.3.1 Aumento productivo

El aumento productivo es el beneficio económico obtenido gracias al rendimiento ofrecido por la máquina. Es decir, las ganancias creadas por la diferencia entre la cantidad de prendas proyectadas a futuro y las producidas actualmente. Consultando con la empresa, el costo promedio de fabricación de una camiseta es de 15.000 pesos, mientras que su precio de venta corresponde a 20.000 pesos,

esto equivale a una ganancia de 5000 pesos por prenda. La expresión para el cálculo del aumento productivo se presenta a continuación:

$$\text{Aumento productivo} = \frac{\text{Ganancia}}{\text{prenda}} * (\text{Producción futura} - \text{Producción actual})$$

Calculando el aumento productivo de estampados con tinta plastisol, se tiene:

$$\text{Aumento productivo}_{\text{Plastisol}} = 5000 \left[\frac{\text{pesos}}{\text{prenda}} \right] * (2071 - 1260) [\text{prendas}]$$

$$\text{Aumento productivo}_{\text{Plastisol}} = 4'055.000 [\text{pesos}]$$

Mientras tanto, el aumento productivo de estampados con tinta base agua es:

$$\text{Aumento productivo}_{\text{Base agua}} = 5000 * (1468 - 1008) [\text{prendas}]$$

$$\text{Aumento productivo}_{\text{Base agua}} = 2'300.000 [\text{pesos}]$$

6.2.3.2 Costos operativos

Los costos operativos consisten en los gastos mensuales que se deben asumir debido al consumo energético del horno de curado. Su cálculo se realiza teniendo en cuenta la potencia consumida por hora, la tarifa del servicio público de energía eléctrica, el total de horas por turno y de turnos al mes. Se sabe que la potencia consumida por el equipo equivale a 2,2 [kW] y la tarifa del servicio público para un sector estrato tres es de 301,2519 [pesos/(kW/hora)], por lo que los costos operativos serán:

$$\text{costos operativos} = \frac{\text{Potencia consumida}}{\text{hora}} * \left(\frac{\text{pesos}}{\text{kW/hora}} \right) * \left(\frac{\text{horas}}{\text{turno}} \right) * \left(\frac{\text{turnos}}{\text{mes}} \right)$$

$$\text{costos operativos} = 2,2 \left[\frac{\text{kW}}{\text{hora}} \right] * 301.2519 \left[\frac{\text{pesos}}{\text{kW/hora}} \right] * 4 \left[\frac{\text{horas}}{\text{turno}} \right] * 12 \left[\frac{\text{turnos}}{\text{mes}} \right]$$

$$\text{costos operativos} \approx 32.000 \left[\frac{\text{pesos}}{\text{mes}} \right]$$

6.2.3.3 Costos de mantenimiento

Los costos de mantenimiento involucran las labores que se deben realizar mensualmente para garantizar el correcto funcionamiento de la máquina. Estas tareas son especificadas en el manual de operación y mantenimiento del horno de curado, el cual se encuentra incluido en la sección de anexos del proyecto. Principalmente se realizan actividades de limpieza de superficies y lubricación de partes móviles, por lo que se requiere una compra mensual de los siguientes productos:

Tabla 25. Costos de productos empleados en el mantenimiento.

PRODUCTO	PRECIO [pesos colombianos]
¼ de Aceite SAE 30	20.000
Paños desechables	4000
Brilla metal	6.000
TOTAL	30.000

De lo anterior, los costos de mantenimiento mensual equivalen a:

$$\text{costos de mantenimiento} = 30.000 \left[\frac{\text{pesos}}{\text{mes}} \right]$$

6.2.3.4 Ganancias mensuales

Las ganancias mensuales son el resultado del cálculo del balance económico, las cuales se expresan mediante la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \text{Ganancias mensuales} \\ &= \text{Aumento productivo} - \text{costos operativos} \\ &\quad - \text{costos de mantenimiento} \end{aligned}$$

Siguiendo este planteamiento, las ganancias mensuales debidas el aumento productivo de los estampados realizados con tintas plastisol son:

$$\begin{aligned} \text{Ganancias mensuales}_{\text{plastisol}} \\ &= \text{Aumento productivo}_{\text{plastisol}} - \text{costos operativos} \\ &\quad - \text{costos de mantenimiento} \end{aligned}$$

$$\text{Ganancias mensuales}_{\text{plastisol}} = (4'055.000 - 32.000 - 30.000)[\text{pesos}]$$

$$\text{Ganancias mensuales}_{\text{plastisol}} = 3'993.000[\text{pesos}]$$

Por otro lado, las ganancias mensuales debidas el aumento productivo de los estampados realizados con tintas base agua son:

$$\begin{aligned}
 \text{Ganancias mensuales}_{base\ agua} & \\
 &= \text{Aumento productivo}_{base\ agua} - \text{costos operativos} \\
 &\quad - \text{costos de mantenimiento}
 \end{aligned}$$

$$\text{Ganancias mensuales}_{base\ agua} = 2'300.000 - 32.000 - 30.000 \text{ [pesos]}$$

$$\text{Ganancias mensuales}_{plastisol} = 2'238.000 \text{ [pesos]}$$

6.2.4 Recuperación de la inversión

Finalmente, el tiempo de recuperación de la inversión será la razón entre los costos de construcción del equipo y las ganancias mensuales calculadas anteriormente:

$$\text{Tiempo de recuperación} = \frac{\text{Costos de construcción}}{\text{Ganancias mensuales}}$$

El tiempo de recuperación de la inversión teniendo en cuenta las ganancias generadas por los estampados con tintas plastisol será:

$$\text{Tiempo de recuperación}_{plastisol} = \frac{3'530.000 \text{ [pesos]}}{3'993.000 \text{ [pesos/mes]}}$$

$$\textit{Tiempo de recuperaci3n}_{plastisol} = 0,9 [\textit{meses}] = 27 [\textit{días}]$$

El tiempo de recuperaci3n de la inversi3n seg3n las ganancias generadas por estampados realizados con tintas base agua ser3:

$$\textit{Tiempo de recuperaci3n}_{base\ agua} = \frac{3'530.000 [\textit{pesos}]}{2'238.000 [\textit{pesos/mes}]}$$

$$\textit{Tiempo de recuperaci3n}_{base\ agua} = 1,57 [\textit{meses}] = 47 [\textit{días}]$$

De lo anterior se concluye que se recuperar3 la inversi3n de los costos de construcci3n del t3nel de secado en un periodo de tiempo de entre 27 y 47 d3as.

7. CONCLUSIONES

- ✓ Se diseñó y construyó un horno de curado para serigrafía textil, el cual consta de un sistema de calefacción basado en lámparas infrarrojas y una banda transportadora con control de velocidad. Este cumple con los parámetros establecidos en los objetivos para el rango de variación de la velocidad entre [0 – 150] cm/min y de control de temperatura entre [70-190] °C. Además, La capacidad de producción real utilizando diferentes tintas textiles superó el valor de 50 prendas por hora propuesto al inicio del proyecto.
- ✓ La calidad resultante de los estampados fue determinada a través de pruebas como la aplicación de tiras de registro irreversible de temperatura, la inspección visual amplificada a 11.5X, y el proceso de lavado o desgastado industrial. En estas se verificaron propiedades del estampado como son la uniformidad del color y la penetración y el anclaje de las tintas textiles sobre las fibras de las telas. En primer lugar, se emplearon las tiras de registro para verificar que el proceso de secado transcurriera a la temperatura requerida por cada tipo de tinta. Después, se realizó una inspección visual general y otra amplificada a 11.5X (con lupa cuenta hilos) para señalar posibles defectos de impresión, falta de cubrimiento o poca penetración de la tinta. Los resultados a lo anterior fueron favorables y brindaron buenas características estéticas. Finalmente, luego del proceso de lavado industrial se pudo apreciar que las impresiones tienen buena resistencia al desgaste y no presentaron ningún desprendimiento de material o pérdida de tonalidad.

- ✓ La inversión realizada en el túnel de secado se recupera en un lapso de tiempo de entre 27 y 47 días, como lo determina el análisis económico. Este cálculo fue realizado de una manera conservadora ya que utilizaron los turnos actuales de la empresa, que corresponden a 4 horas diarias por 12 turnos al mes. En un caso distinto, al emplear la maquina en turnos más largos por una mayor cantidad de días al mes, el rendimiento generado por el horno de curado sería mucho mayor, lo que resultaría una inversión aún más rentable.

- ✓ Fue elaborado y anexado al proyecto un único manual de operación y mantenimiento que incluye los parámetros funcionales y los procesos necesarios para el sostenimiento del equipo. Esto radica en que resulta muy importante conocer la funcionalidad de los diferentes sistemas de la máquina y los métodos de prevención ante su posible deterioro, con el fin de garantizar la calidad del producto final evitando inconvenientes.

- ✓ La realización de este proyecto contribuyó a la formación de los autores en aspectos como el desarrollo personal y el refuerzo académico. Por ejemplo, se presentó un alto nivel de cooperación y de trabajo en equipo para realizar las labores de investigación, diseño, fabricación y ensamble de la máquina. Por otro lado, al ser un proyecto multidisciplinario, se pudieron afianzar conceptos en las ramas de diseño térmico, mecánico, eléctrico y control de sistemas.

8. RECOMENDACIONES

- ✓ Se debe implementar un sistema de potencia mecánica diferente para disminuir los niveles de ruido presentados en el túnel de secado. Este inconveniente es generado por el motor de la banda transportadora, que induce muchas vibraciones debidas a los 200 pasos realizados por cada giro de su eje. Entonces, para futuros prototipos o el mejoramiento del mismo, se debe realizar la selección del motor teniendo en cuenta en el diseño mecánico el factor de ruido o las vibraciones inducidas por el mismo.

- ✓ Para aprovechar el rendimiento productivo del horno de curado e incrementar las ganancias obtenidas, éste debe ser empleado en turnos de trabajo más largos y frecuentes. Como se expuso anteriormente en las conclusiones del proyecto, el hecho de que el equipo pueda estar subutilizado afecta su rentabilidad, la cual podría incrementarse significativamente al trabajar de manera continua.

- ✓ En el manual de operación y mantenimiento se exponen los parámetros de funcionamiento según el tipo de tinta textil utilizada. Sin embargo, en el proceso de secado de impresiones textiles se recomiendan realizar pruebas preliminares, y así, determinar que este se ejecute correctamente evitando errores y manteniendo la calidad del producto. Esto se sugiere debido a que las tintas comercializadas en el mercado local varían de gran manera en cuanto a su composición química, y por esto reaccionaran de manera diferente ante las condiciones de operación del túnel de secado.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ BEER, Ferdinand P; JOHNSTON, E. Russell. Mecánica vectorial para ingenieros: dinámica. 6 ed. México: McGraw Hill, 1998. 760 p. ISBN 970-10-1951-2.

- ✓ BENDURE, Zelma; PFEIFFER, Gladys. America's fabrics: origin and history, manufacture, characteristics and uses. New York: Macmillan, 1947. 688 p.

- ✓ HOLLEN, Norma. Introducción a los textiles. Mexico: Limusa, 2010. 359 p.

- ✓ INCROPERA, Frank P; DeWitt, David P. Fundamentos de transferencia de calor. 4 ed. México: Prentice Hall, 1999. 912 p. ISBN 970-17-0170-4.

- ✓ MOTT, Robert L. Diseño de elementos de máquinas. 4 ed. México: Pearson educación, 2006. 944 p. ISBN 970-26-0812-0.

- ✓ PURCELL, Edwin J.; VARBERG, Dale; RIGDON, Steven E. Cálculo. 9 ed. México: Pearson educación, 2007. 872 p. ISBN 978-970-26-0919-3

- ✓ SERWAY, Raymond; JEWETT, John W. Física para ciencias e ingenierías. 6 ed. Vol. 1. México: Editorial Thomson, 2005. 764 p. ISBN 970-686-423-7.

Anexo A. Manual de operación y mantenimiento

HORNO DE CURADO PARA SERIGRAFÍA TEXTIL CON CONTROL DE TEMPERATURA Y ETAPA DE TRANSPORTE

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO



CONTENIDO




Página

• INFORMACIÓN DE SEGURIDAD	2
• INFORMACIÓN GENERAL	4
• IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES	4
• REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS	5
• CONTROLES	5
• OPERACIÓN DEL EQUIPO	8
✓ Parámetros de secado	8
✓ Funcionamiento	10
• MANTENIMIENTO	12
✓ Preventivo	12
✓ Correctivo	13

INFORMACIÓN DE SEGURIDAD

El manual de operación y mantenimiento junto con las normas de seguridad deben ser leídos y entendidos por cualquiera que opere el túnel de secado para serigrafía textil.

Las alertas declaradas en el manual se clasifican en Peligro, Advertencia y Precaución según su criticidad:

 PELIGRO	indica una situación de peligro inminente que puede ocasionar la muerte o lesiones graves
 ADVERTENCIA	indica una situación potencialmente peligrosa que podría producir la muerte o lesiones graves
 PRECAUCIÓN	indica una situación potencialmente peligrosa que puede inducir lesiones leves o moderadas

PELIGRO

Evitar el contacto del cuerpo con los diferentes cables del equipo si este se encuentra energizado, puesto que existe riesgo de descarga eléctrica.



ADVERTENCIA

- El horno está diseñado para el curado de tintas no inflamables. No implementarse para otro uso, puede ocasionar daños al equipo.
- No retirar ninguna cubierta o la protección de la transmisión mecánica, ni abrir la caja de control mientras la maquina se encuentre conectada al suministro de corriente eléctrica.
- Apagar el panel de control pulsando el botón de emergencia y luego desconectar el cable principal del equipo, antes de realizar cualquier labor de limpieza o mantenimiento.



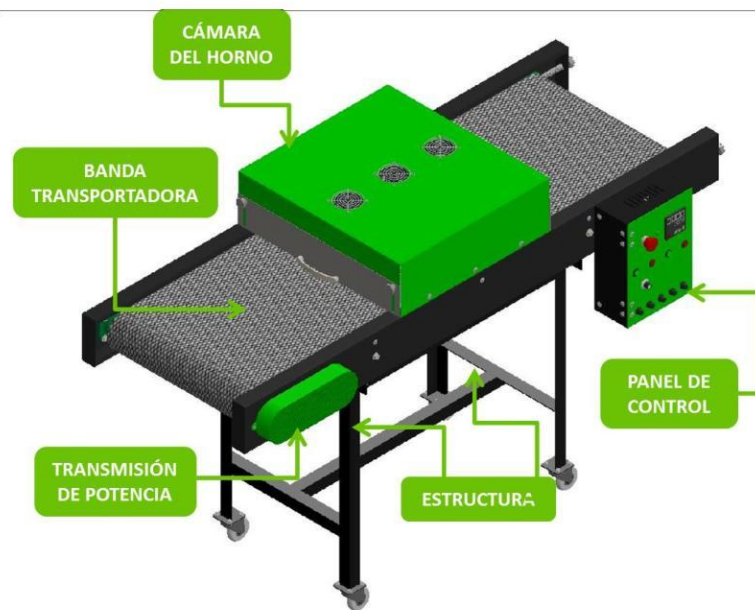
PRECAUCIÓN

- Designar como área de trabajo el espacio alrededor del equipo permitiendo únicamente el ingreso a personal autorizado.
- Mantener alejados del área de trabajo a niños y animales domésticos.
- No ubicar objetos sobre la cámara del horno, las superficies calientes pueden ocasionar daños hacia los mismos.
- Vigilar siempre la operación del equipo
- El operario de estar capacitado en el manejo del panel de control conociendo los parámetros de funcionamiento
- Nunca ubicar una carga pesada sobre la banda transportadora, esto podría infringir graves daños para la misma.
- Encender y comprobar el correcto funcionamiento de la banda transportadora antes de encender el controlador de temperatura
- Para enfriar la cámara del horno se debe apagar el controlador de temperatura y encender los ventiladores durante 10 minutos para refrigerar el horno.

INFORMACIÓN GENERAL

FICHA TECNICA	
Cámara del horno(largo*alto*ancho)	21.65"*6.69"*23.62" (55*17*60 cm)
Potencia	2200 vatios (2.2 kW)
Ancho de banda *Longitud recorrido de transporte	19.69 "(50 cm) x 59" (1,50 m)
Requerimientos De Energía	120V, NEMA 5-15p, 18.4A
Velocidad de curado – Plastisol	109 prendas / hr
Velocidad de curado – base agua	57 prendas / hr *

IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES



REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS



120 Voltios, NEMA 5-15p, 18.4 Amperios

CONTROLES

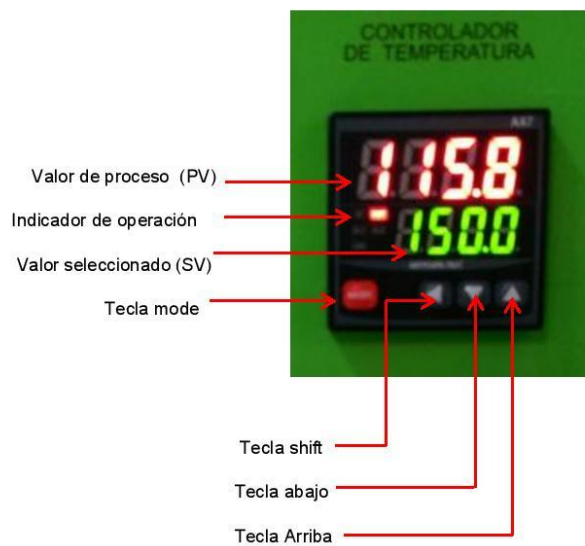


Controlador

Interruptor de encendido del controlador de temperatura.

Controlador de temperatura

Muestra la lectura de temperatura en la superficie inferior del horno (PV) en comparación al valor establecido por el set point (SV).



Nombre	Información
Valor de proceso (PV)	indica la temperatura actual en la pantalla de operación
Valor seleccionado (SV)	indica la temperatura de trabajo programada en la pantalla de operación

Botón de emergencia

Interrumpe la corriente que alimenta los componentes eléctricos principales

Fusibles

Protecciones de los diferentes componentes eléctricos del panel de control

Fusibles	Componentes
0.5 A	CONTROLADOR DE TEMPERATURA
1 A	VENTILADORES
1.5 A	FUENTE DE 9 VOLTIOS
3.5 A	FUENTE DE 24 VOLTIOS
25 A	LAMPARAS INFRAROJAS

OPERACIÓN DEL EQUIPO

Para poder operar el equipo correcta y eficientemente es necesario identificar los parámetros de secado de las tintas textiles, los cuales se establecen mediante los controles del horno de curado. Así mismo, se debe conocer el procedimiento de puesta en marcha del equipo para activar cada dispositivo en un orden específico.

Parámetros de secado

Las variables manipuladas para lograr el secado de las tintas textiles son la temperatura del horno y el tiempo de secado, el cual se establece a partir de la velocidad de la banda transportadora. En la siguiente tabla se muestran los tiempos de secado correspondientes a cada nivel de velocidad de la perilla de selección:

NIVEL	TIEMPO [s]	VELOCIDAD [cm/min]	NIVEL	TIEMPO [s]	VELOCIDAD [cm/min]
0	176,41	18,71	4,2	93,58	134,06
0,2	175,38	18,82	4,4	90,26	140,44
0,4	174,33	18,93	4,6	84,36	146,83
0,6	173,30	19,04	4,8	78,92	153,21
0,8	167,66	19,68	5	73,96	159,59
1	160,72	20,53	5,2	69,68	165,98
1,2	158,37	20,84	5,4	61,31	172,36
1,4	152,57	21,63	5,6	59,09	178,74
1,6	146,83	22,48	5,8	53,43	185,13
1,8	144,21	22,88	6	47,27	191,51
2	139,63	23,63	6,2	43,15	197,90
2,2	135,04	24,44	6,4	39,05	204,28
2,4	130,17	25,35	6,6	35,24	210,66
2,6	126,74	26,04	6,8	32,78	217,05
2,8	122,51	26,94	7	30,43	223,43
3	118,95	27,74	7,2	28,58	229,81
3,2	115,47	28,58	7,4	27,09	236,20
3,4	109,07	30,25	7,6	25,61	242,58
3,6	105,63	31,24	7,8	23,47	248,96
3,8	101,08	32,65	8	22,35	255,35
4	97,01	34,02			

La temperatura de secado de las tintas textiles varía según su tipo y composición química. Para la calibración del equipo fueron realizadas distintas pruebas de secado para diferentes pinturas textiles, determinando los parámetros de operación para cada una de ellas. La información obtenida es expuesta en la siguiente tabla:

TIPO DE TINTA	TEMPERATURA DE LA PRENDA	SET POINT		TIEMPO DE SECADO
		Velocidad	Temperatura	
Base agua	166°C	Nivel 5,8 (62 cm/min)	130°C	53 [s]
Plastisol	160°C	Nivel 7,8 (141 cm/min)	130°C	23 [s]
Plastipuff	166°C	Nivel 7 (109 cm/min)	130°C	30 [s]

El sensor de temperatura está ubicado sobre la lámina de soporte de la banda transportadora, por lo cual su lectura es influenciada por el movimiento de la misma y el paso de las prendas a través del horno. Esto ocasiona que el sensor registre una medida de temperatura menor al valor real que alcanzará la prenda. Por esta razón, se recomienda realizar pruebas preliminares al implementar un nuevo tipo de tinta en los estampados textiles.

Funcionamiento

1. Revisar que los interruptores de los ventiladores, motor y control de temperaturas se encuentren apagados, proceder a conectar el enfunche a la alimentación eléctrica.
2. Tensionar y Comprobar la posición correcta de la banda, retirar cualquier objeto de la misma.
3. Encender el motor de la banda transportadora y verificar su alineación.
4. Seleccionar el sentido de giro deseado con el interruptor.

5. Escoger el nivel de Velocidad de acuerdo con el tipo de tinta y tiempo de secado (revisar tabla parámetros establecidos).
6. Encender el ventilador.
7. Encender el controlador de temperatura, las lámparas se dejan calentar 15 minutos antes de secar la primera prenda.
8. Establecer el valor del set Point en el controlador de temperatura dependiente del tipo de tinta.
9. Se procede a curar las prendas.

Consejos de operación Mientras esté encendido

1. Mientras el controlador este encendido se debe mantener la banda transportado en funcionamiento.
2. Permitir que las lámparas se calienten durante 15 minutos para que alcancen la temperatura de secado, si no alcanzan la temperatura requerida adicionarle 10 minutos de calentamiento a las lámparas.

Apagado del horno de curado

1. Apagar el controlador de temperatura para que las lámparas infrarrojas se enfrien.
2. Dejar 10 minutos en funcionamiento los ventiladores y la banda transportadora mientras la cámara se refrigera.
3. Apagar todos los interruptores, posteriormente quitar la alimentación de energía principal (desenchufar del toma).

MANTENIMIENTO

Para realizar cualquier tipo de mantenimiento se debe tener apagado todo los interruptores y tener desconectada la alimentación eléctrica principal (desenchufar del toma), se debe tener en cuenta todas las precauciones nombradas en el manual.

Preventivo

Las condiciones de operación de la transmisión mecánica por cadena corresponden a requerimientos bajos de carga y velocidad. Por esta razón se plantea una estrategia de lubricación manual la cual puede ser aplicada de 3 maneras diferentes. Se puede realizar por medio de una aceitera o una pistola engrasadora para aplicar el lubricante en la cadena, también se puede utilizar una brocha para hacerlo de una forma más uniforme para obtener una mejor

distribución. El lubricante recomendado para aplicaciones en donde la temperatura del ambiente de trabajo se encuentra en el rango de 5 a 40°C es el aceite SAE 30.

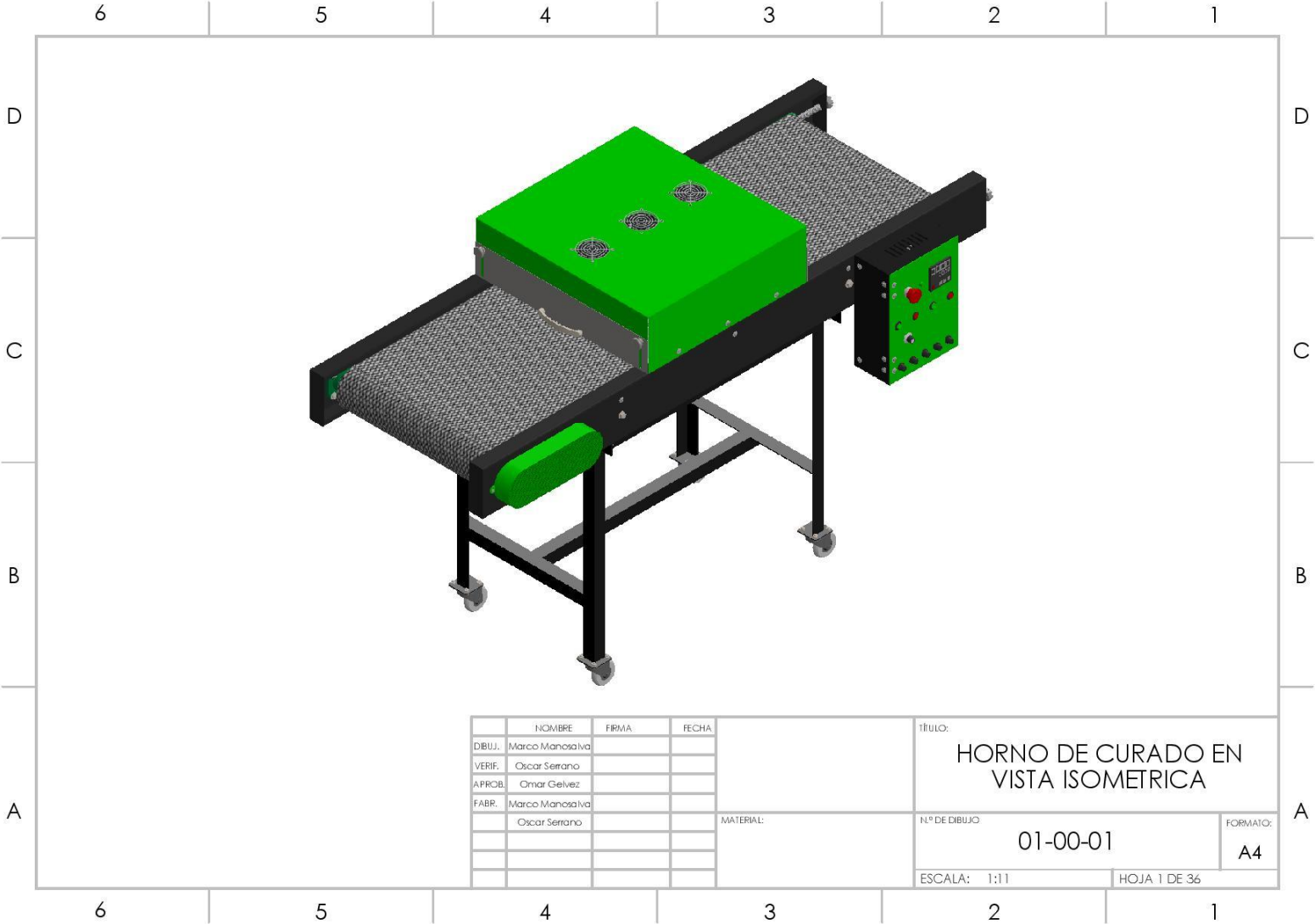
Los reflectores de calor están fabricados en acero inoxidable, por lo que se recomienda hacer una limpieza mensual utilizando paños desechables con brilla metal. Esto se debe a que es necesario conservar la superficie pulida para que se mantenga lo mas reflectiva posible, y así, se aproveche mejor el calor emitido por las lámparas infrarrojas.

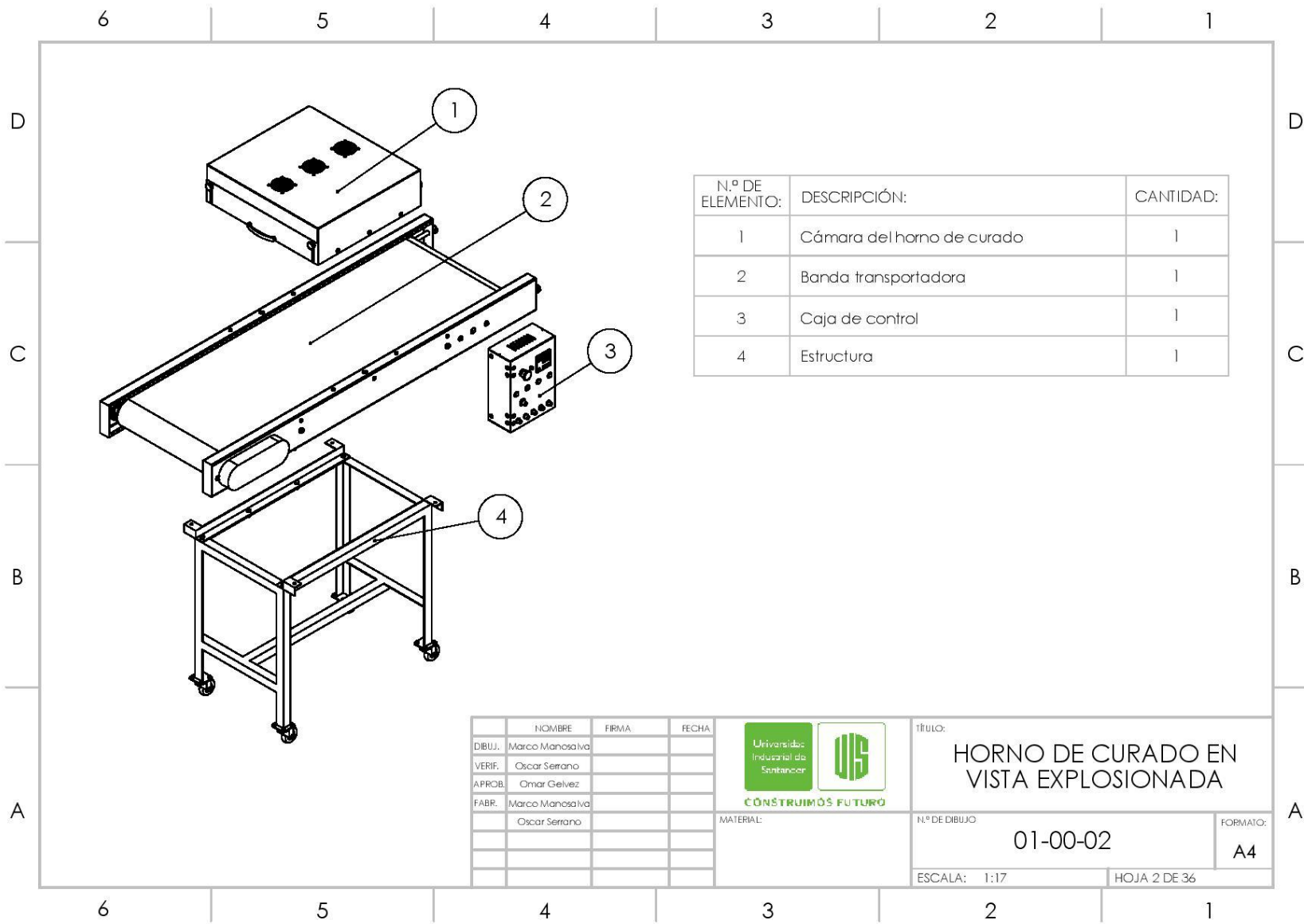
Correctivo

Se deben remplazar los componentes eléctricos en el momento en que presenten fallas funcionales. Éstos podrían ser:

- Lámparas infrarrojas de 1 cm x 50 cm de 650 W.
- Controlador de temperatura Hanyoung Nux AX7-1A.
- Termocupla tipo J 56100.
- Relé de estado sólido SASSIN ZG3NC-240B.
- Ventiladores FONSONING FSY8025HA1BL.
- Motor 57BYGH420.
- Driver BL-TB560-V2.
- Fuente 24 VDC S-150-24.
- Fuente 9 VDC Techman AD-912.
- Tarjeta ARDUINO UNO R3.
- Fusibles.
- Cableado.

Anexo B. Planos del horno de curado





N.º DE ELEMENTO:	DESCRIPCIÓN:	CANTIDAD:
1	Cámara del horno de curado	1
2	Banda transportadora	1
3	Caja de control	1
4	Estructura	1

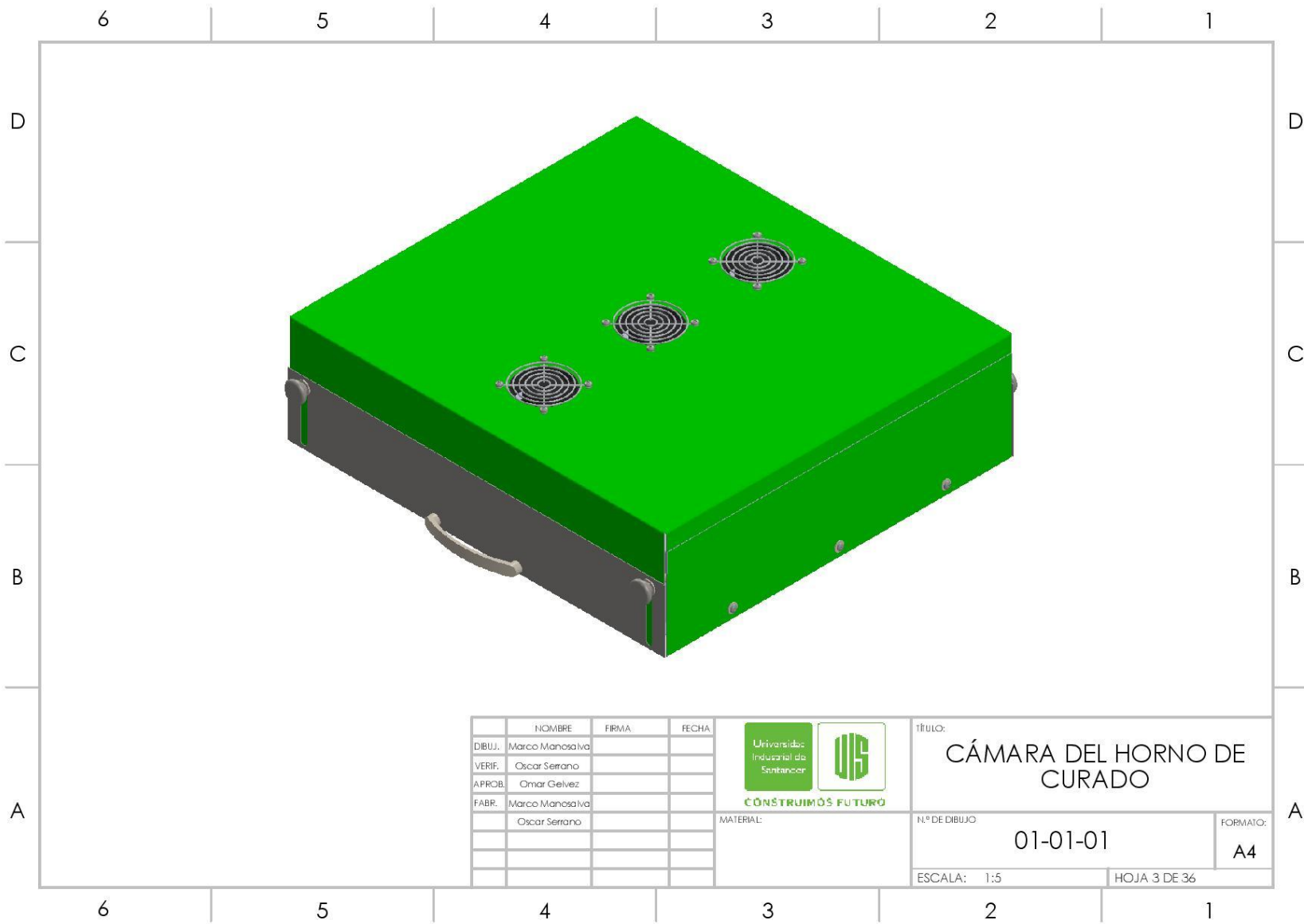
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		



TÍTULO: **HORNO DE CURADO EN VISTA EXPLOSIONADA**

N.º DE DIBUJO: **01-00-02** FORMATO: **A4**

ESCALA: 1:17 HOJA 2 DE 36



	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		

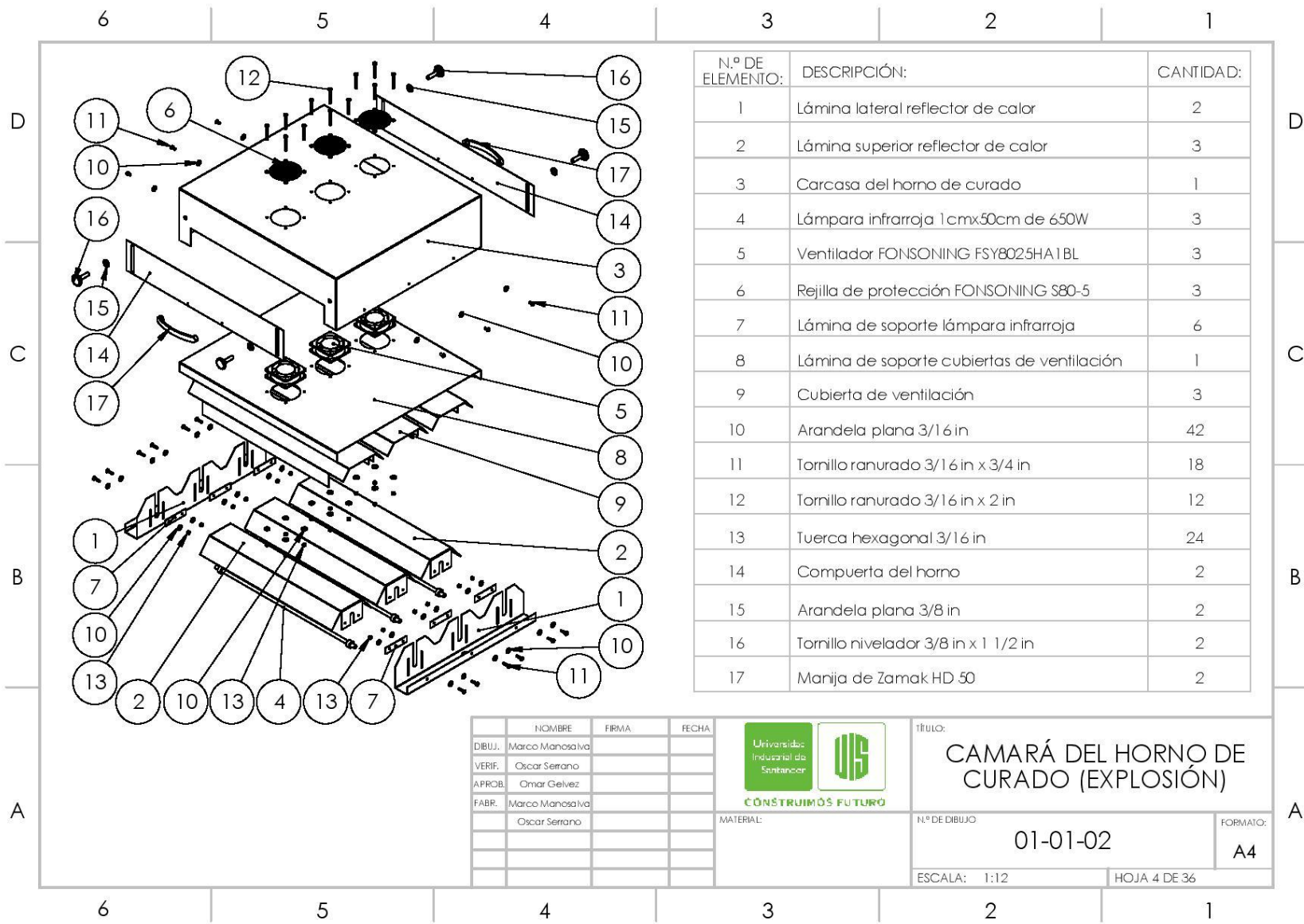


CÓNSTRUIMOS FUTURO

TÍTULO: **CÁMARA DEL HORNO DE CURADO**

Nº DE DIBUJO: **01-01-01** FORMATO: **A4**

ESCALA: 1:5 HOJA 3 DE 36



N.º DE ELEMENTO:	DESCRIPCIÓN:	CANTIDAD:
1	Lámina lateral reflector de calor	2
2	Lámina superior reflector de calor	3
3	Carcasa del horno de curado	1
4	Lámpara infrarroja 1cmx50cm de 650W	3
5	Ventilador FONSONING FSY8025HA1BL	3
6	Rejilla de protección FONSONING S80-5	3
7	Lámina de soporte lámpara infrarroja	6
8	Lámina de soporte cubiertas de ventilación	1
9	Cubierta de ventilación	3
10	Arandela plana 3/16 in	42
11	Tornillo ranurado 3/16 in x 3/4 in	18
12	Tornillo ranurado 3/16 in x 2 in	12
13	Tuerca hexagonal 3/16 in	24
14	Compuerta del horno	2
15	Arandela plana 3/8 in	2
16	Tornillo nivelador 3/8 in x 1 1/2 in	2
17	Manija de Zamak HD 50	2

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		



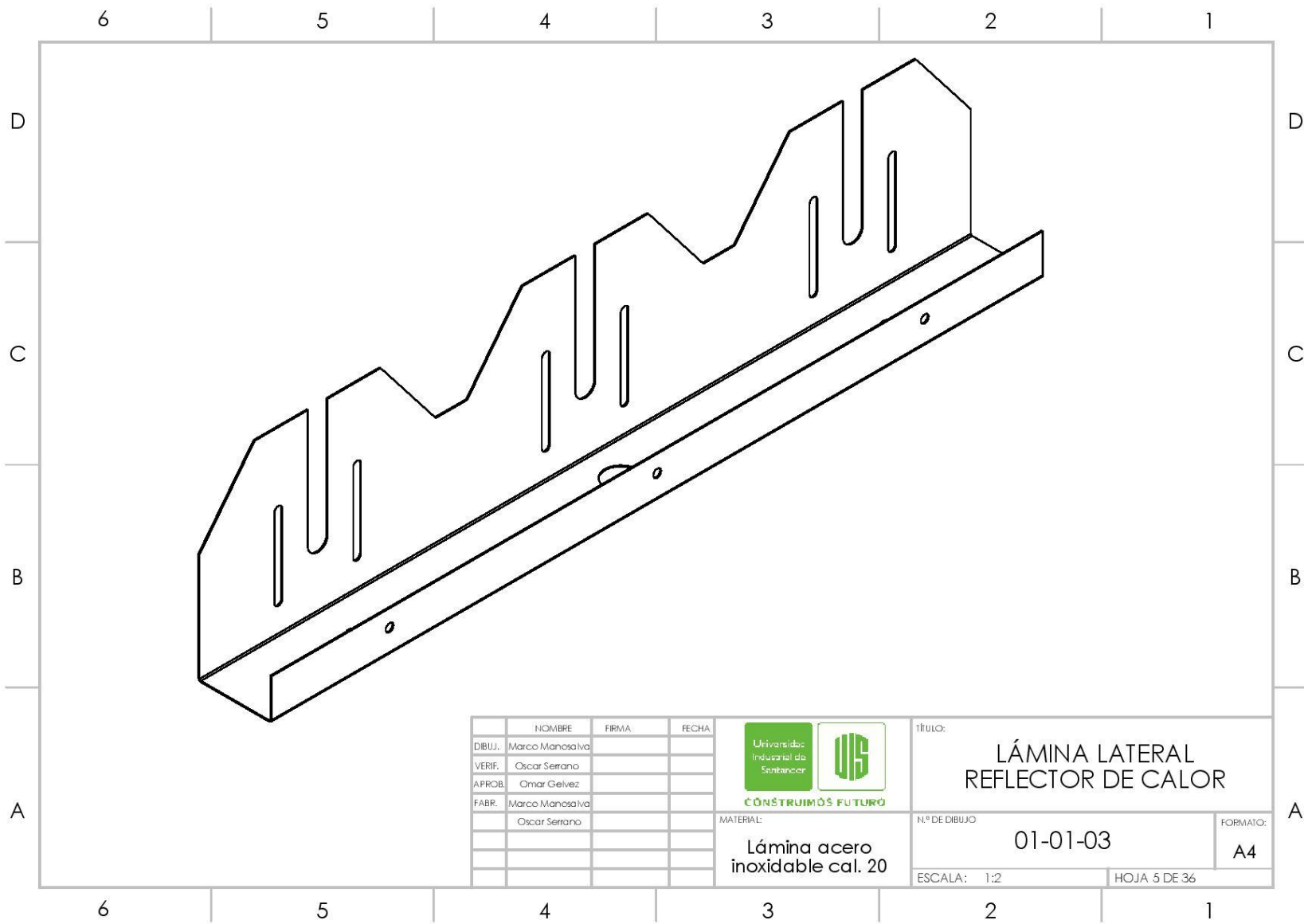
TÍTULO: CAMARÁ DEL HORNO DE CURADO (EXPLOSIÓN)

N.º DE DIBUJO: 01-01-02

FORMATO: A4

ESCALA: 1:12

HOJA 4 DE 36

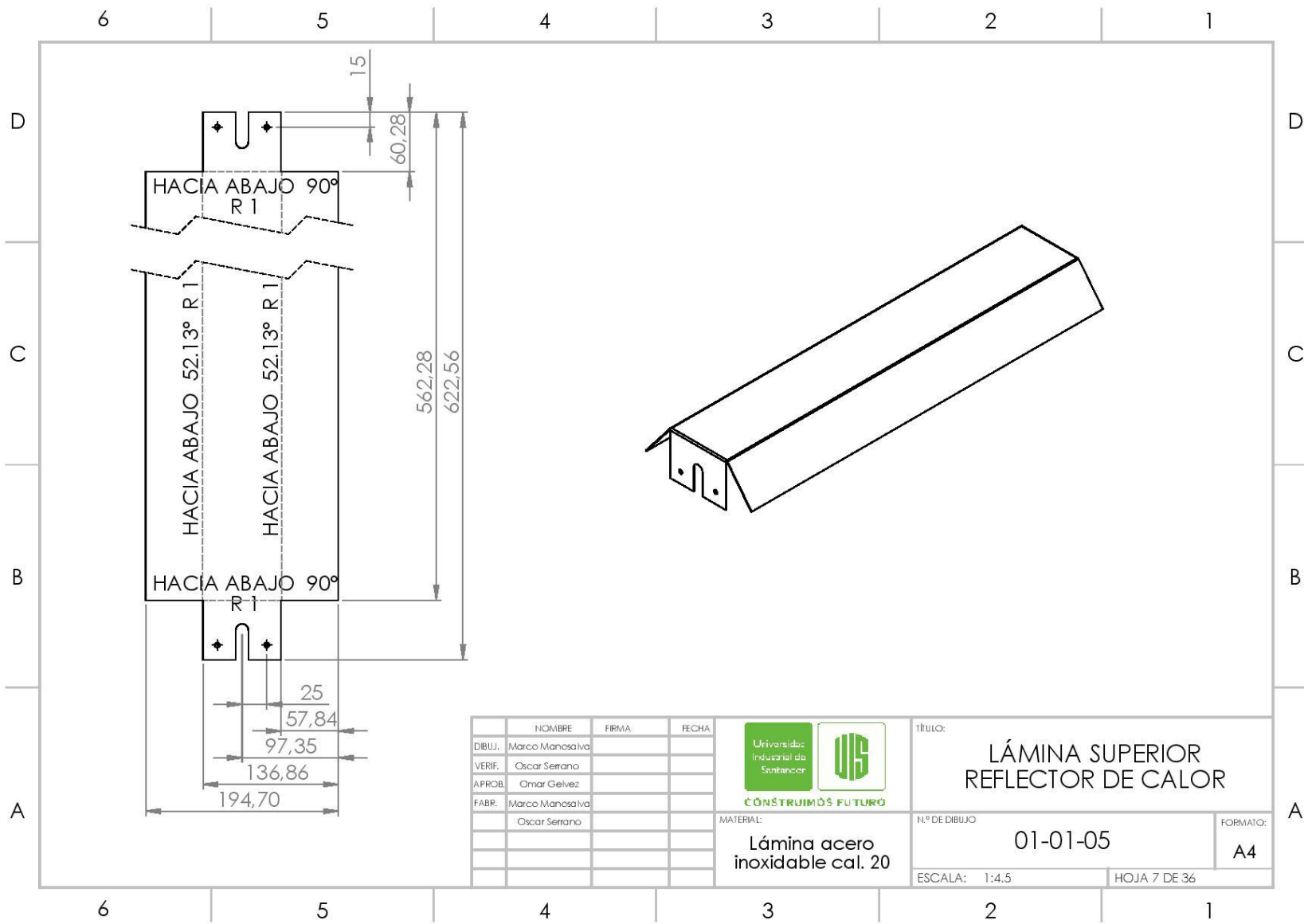


	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		



CÓNSTRUIMOS FUTURO
 MATERIAL:
Lámina acero inoxidable cal. 20

TÍTULO:
LÁMINA LATERAL REFLECTOR DE CALOR
 N.º DE DIBUJO: **01-01-03** FORMATO: **A4**
 ESCALA: 1:2 HOJA 5 DE 36



	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		

CONSTRUIMOS FUTURO

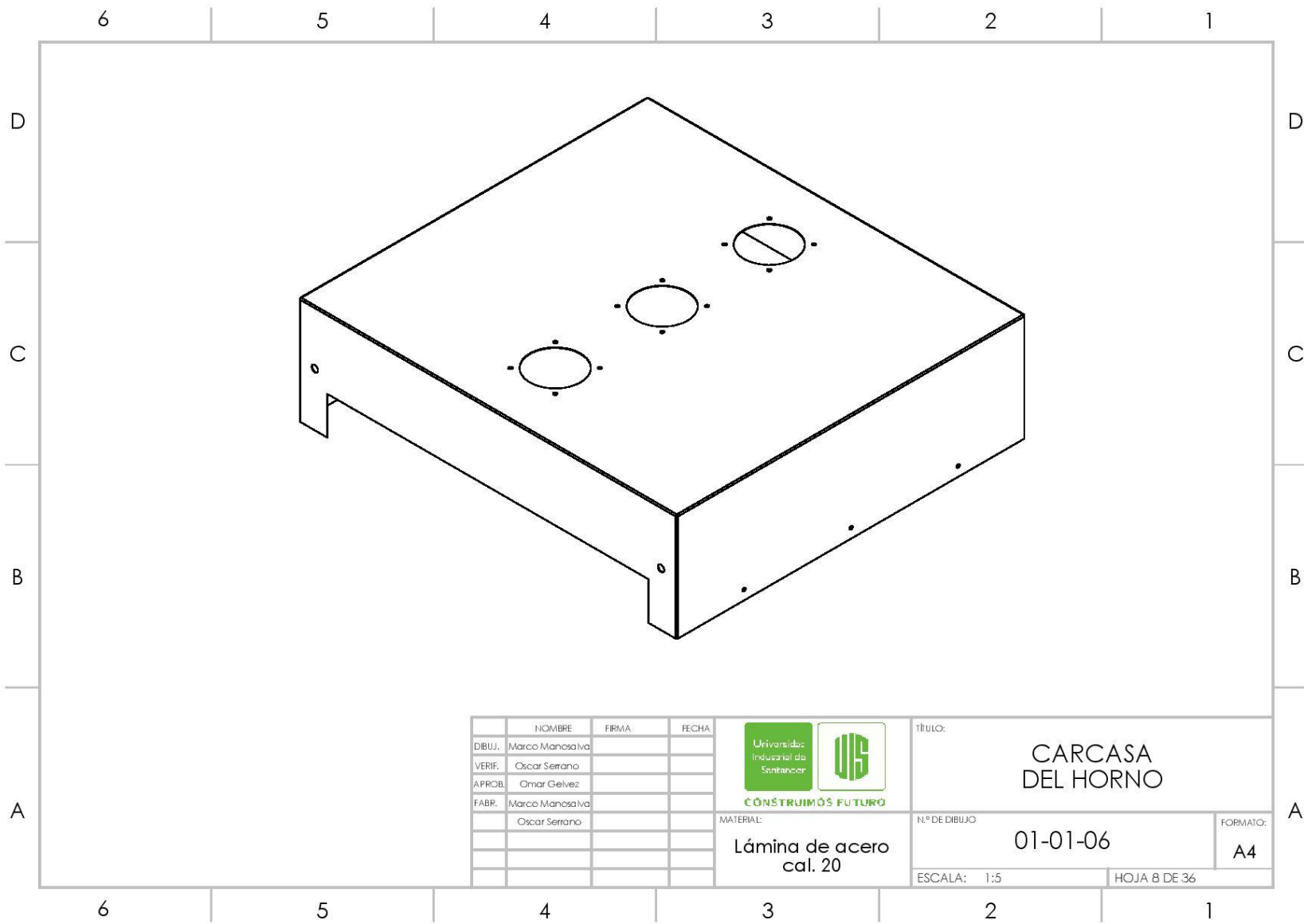
MATERIAL:
Lámina acero inoxidable cal. 20

TÍTULO:

LÁMINA SUPERIOR REFLECTOR DE CALOR

N.º DE DIBUJO: **01-01-05** FORMATO: **A4**

ESCALA: 1:4.5 HOJA 7 DE 36

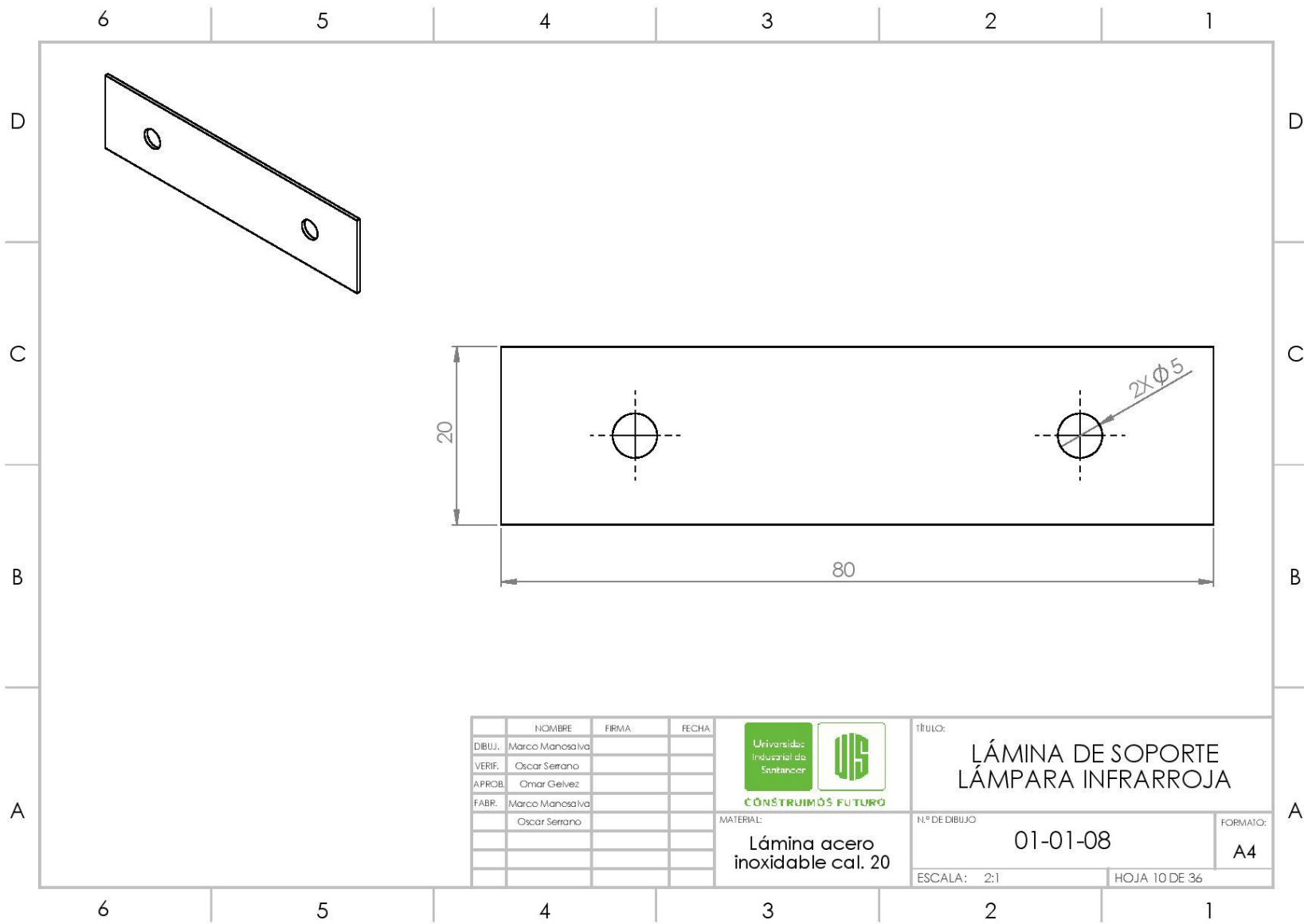


	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		



CÓNSTRUIMOS FUTURO
 MATERIAL: Lámina de acero cal. 20

TÍTULO: **CARCASA DEL HORNO**
 N.º DE DIBUJO: **01-01-06**
 ESCALA: 1:5
 HOJA 8 DE 36
 FORMATO: **A4**

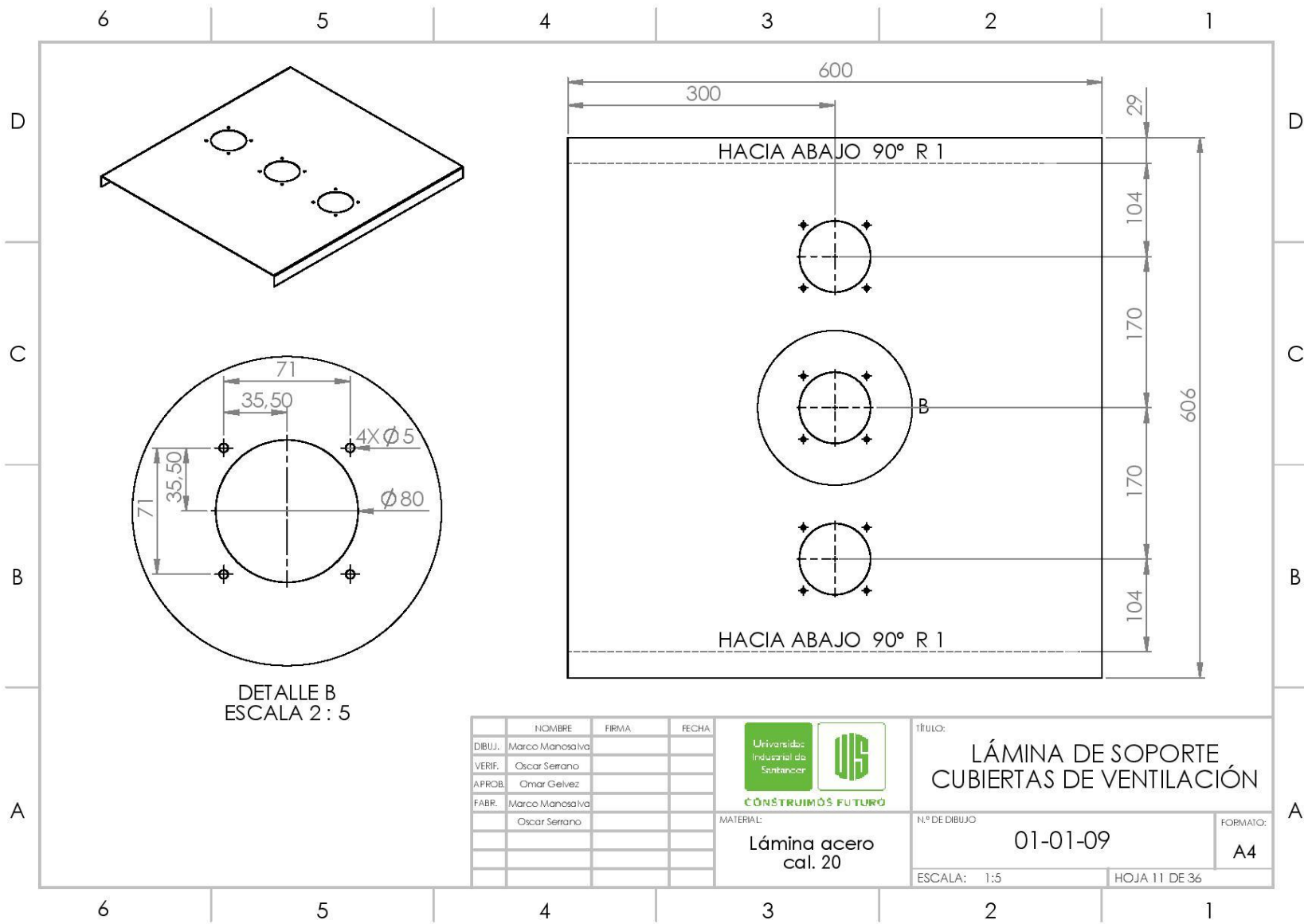


	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		



CÓNSTRUIMOS FUTURO
 MATERIAL:
 Lámina acero
 inoxidable cal. 20

TÍTULO:
**LÁMINA DE SOPORTE
 LÁMPARA INFRARROJA**
 N.º DE DIBUJO: 01-01-08
 ESCALA: 2:1
 HOJA 10 DE 36
 FORMATO:
A4



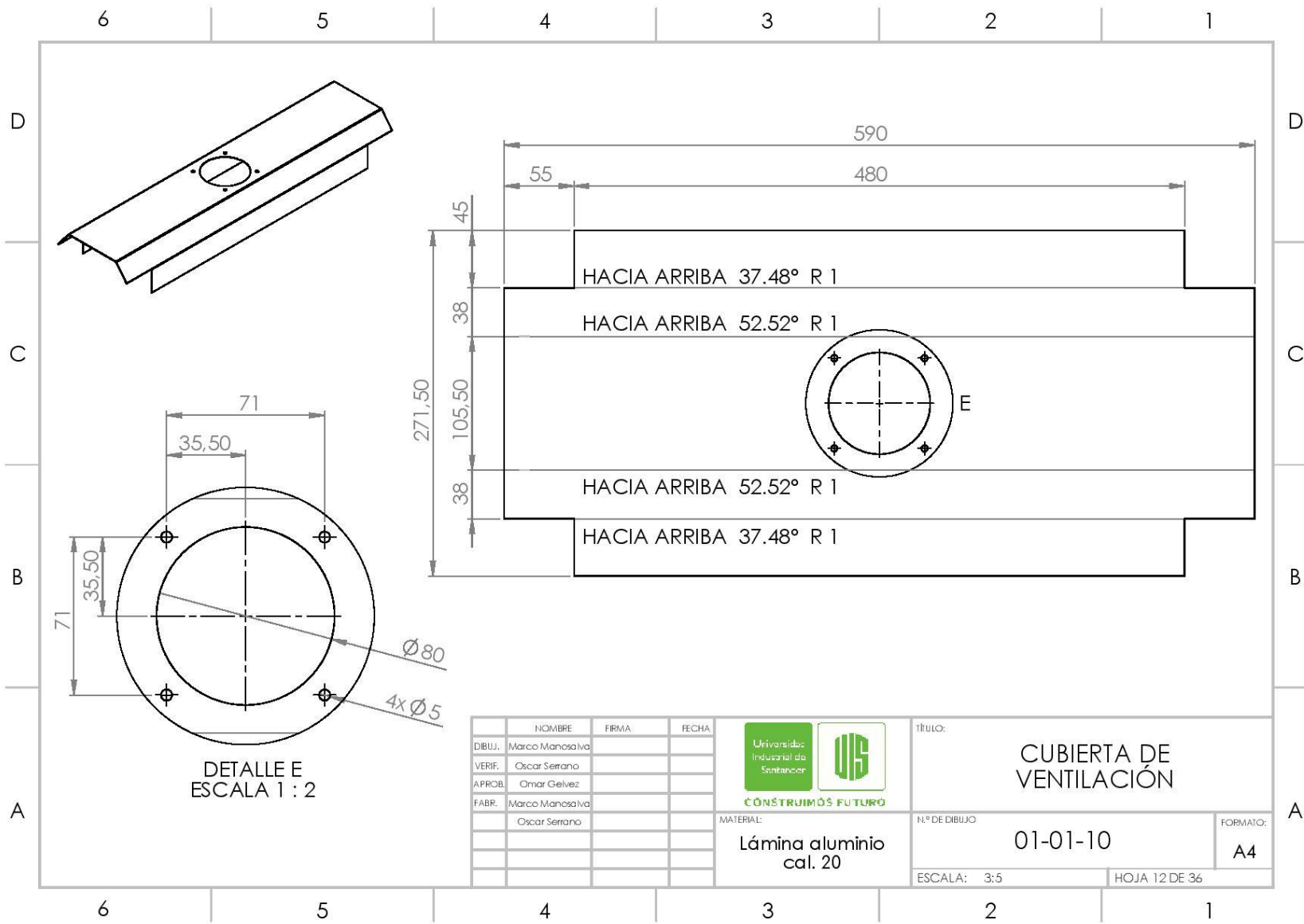
DETALLE B
ESCALA 2 : 5

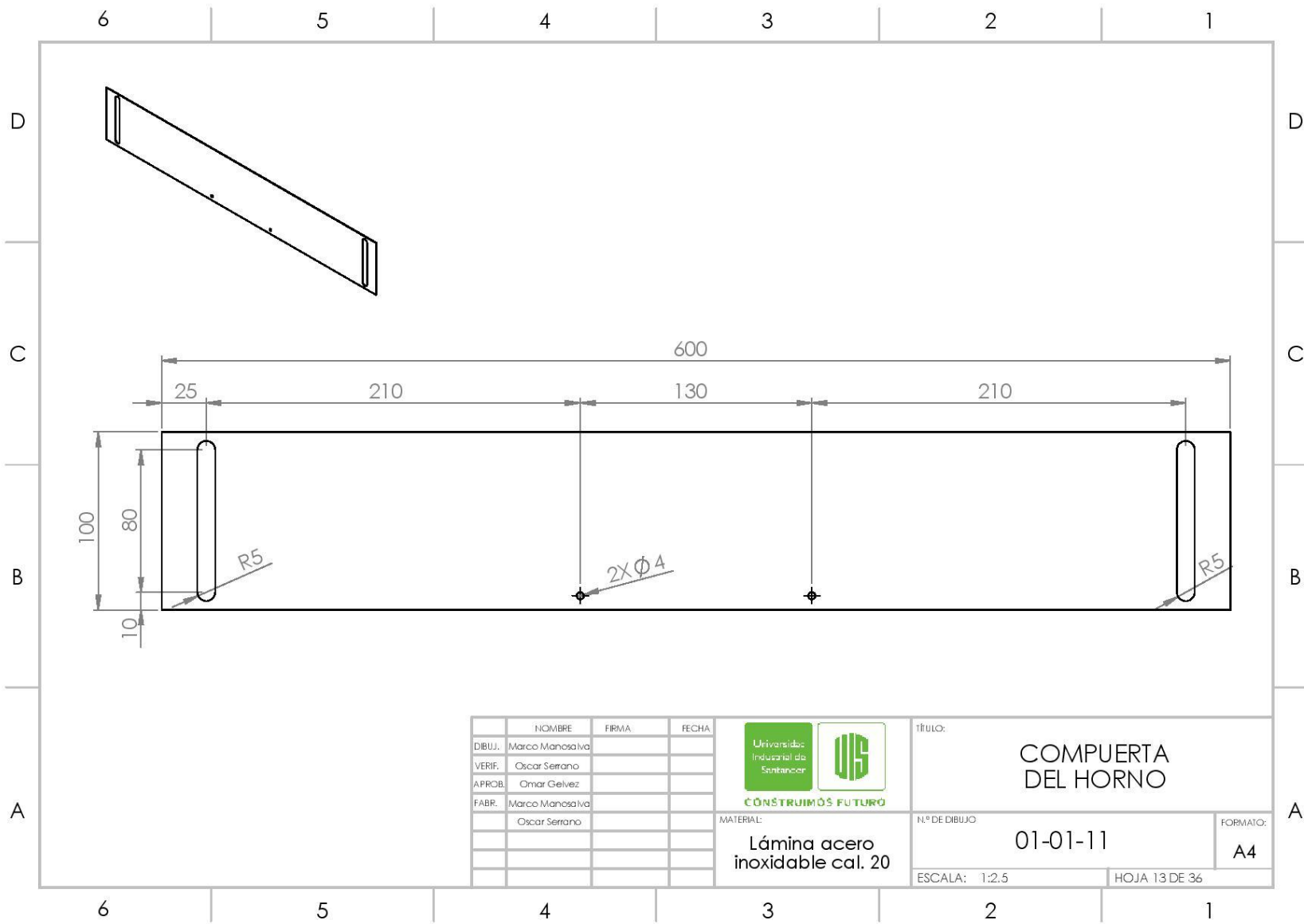
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		



CÓNSTRUIMOS FUTURO
 MATERIAL:
 Lámina acero
 cal. 20

TÍTULO:
**LÁMINA DE SOPORTE
 CUBIERTAS DE VENTILACIÓN**
 N.º DE DIBUJO: 01-01-09
 ESCALA: 1:5
 HOJA 11 DE 36
 FORMATO:
A4



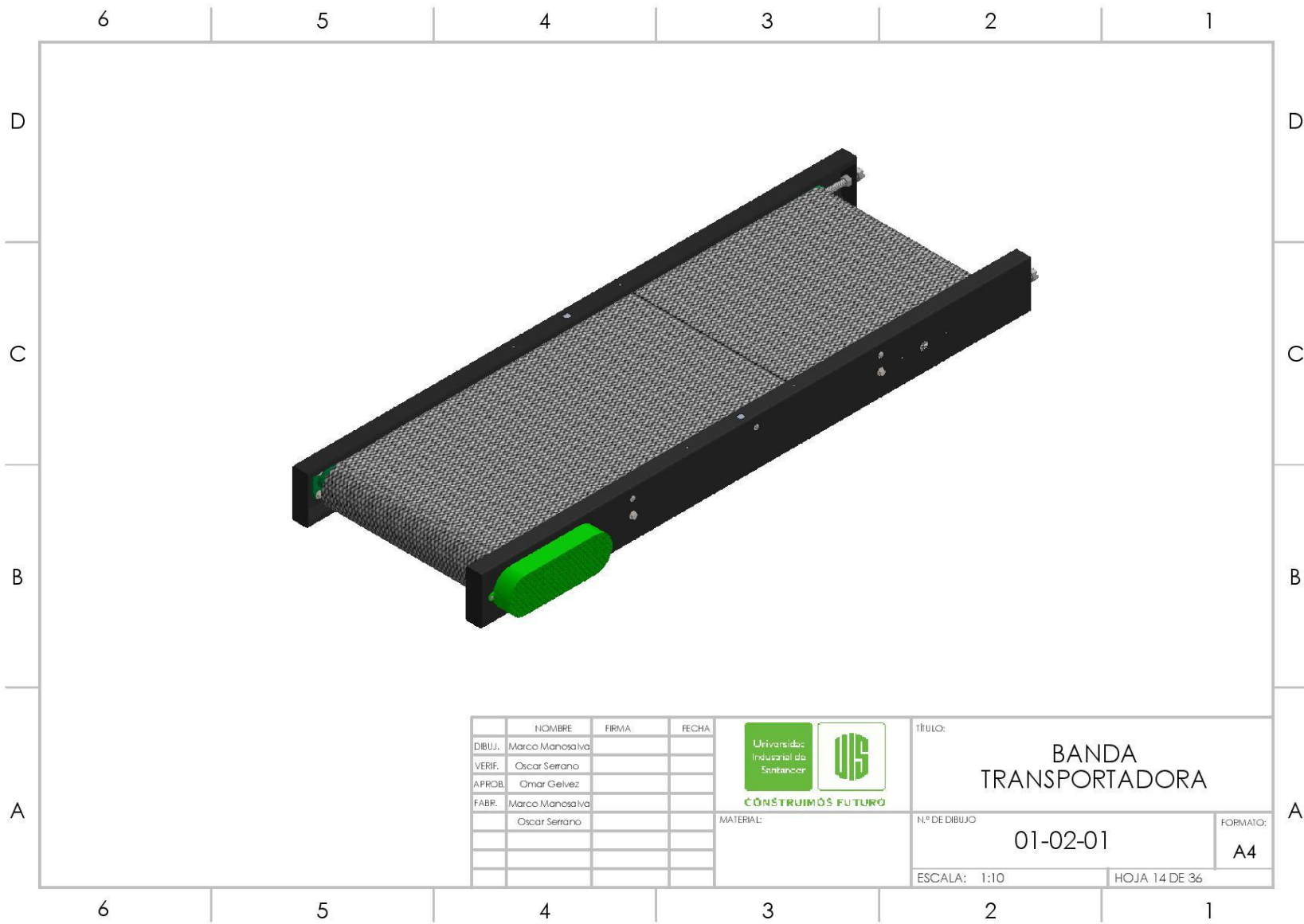


	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		



CONSTRUIMOS FUTURO
 MATERIAL: Lámina acero inoxidable cal. 20

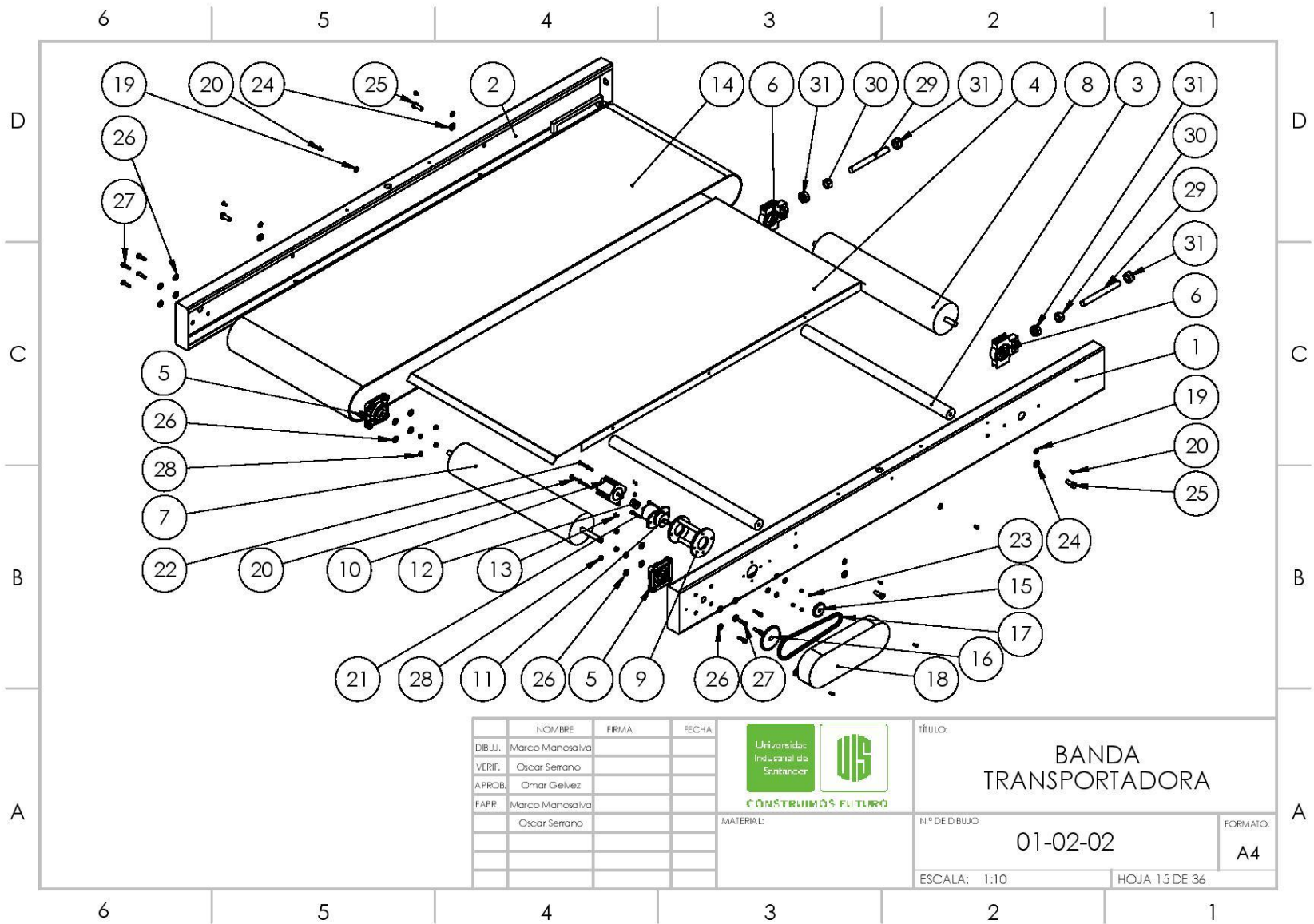
TÍTULO: **COMPUERTA DEL HORNO**
 N.º DE DIBUJO: **01-01-11** FORMATO: **A4**
 ESCALA: 1:2.5 HOJA 13 DE 36



	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		



TÍTULO:	
BANDA TRANSPORTADORA	
Nº DE DIBUJO	FORMATO:
01-02-01	A4
ESCALA: 1:10	HOJA 14 DE 36



	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		

CONSTRUIMOS FUTURO

MATERIAL:

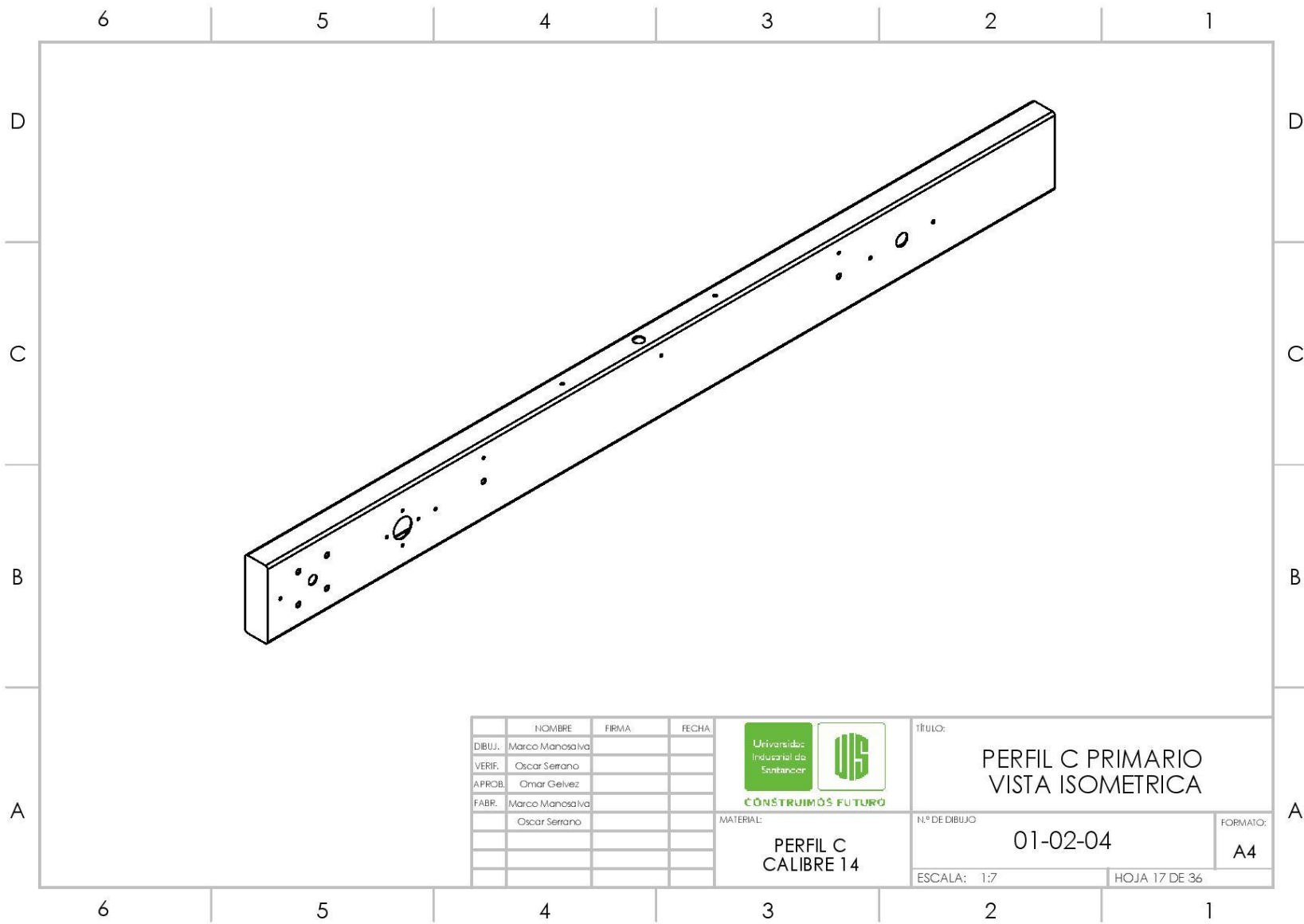
TÍTULO:

BANDA TRANSPORTADORA

N.º DE DIBUJO: **01-02-02** FORMATO: **A4**

ESCALA: 1:10 HOJA 15 DE 36

		6	5	4	3	2	1		
D	N.º DE ELEMENTO:	DESCRIPCIÓN:				CANTIDAD:			
		1	Perfil C primario			1			
	2	Perfil C secundario			1				
	3	Barra transversal			2				
	4	Lámina soporte malla PTFE			1				
	5	Chumacera UCF201-8			2				
	6	Chumacera UCST201-8			2				
	C	7	Rodillo motriz			1			
		8	Rodillo tensor			1			
		9	Soprote del motor			1			
		10	Motor de pasos 57BYGH420			1			
	B	11	Reductor de velocidad ZG-RS775S			1			
		12	Acople motor-reductor			1			
		13	Tornillo prisionero 1/8 in x 5/16 in			4			
		14	Malla PTFE 50 cm x 3 m			1			
		15	Piñon 25B15			1			
16		Piñon 25B30			1				
D	N.º DE ELEMENTO:	DESCRIPCIÓN:				CANTIDAD:			
		17	Cadena 25-1			1			
	18	Protector cadena			1				
	19	Arandela plana 3/16 in			10				
	20	Tornillo ranurado 3/16 in x 3/4 in			10				
	21	Tornillo ranurado 3/16 in x 1 1/2 in			2				
	22	Tornillo ranurado 3/16 in x 3 7/8 in			2				
	23	Tuerca hexagonal 3/16 in			6				
	24	Arandela plana 3/8 in			4				
	25	Perno hexagonal 3/8 in			4				
	26	Arandela plana 1/4 in			16				
	27	Perno hexagonal 1/4 in x 1 in			8				
	28	Tuerca hexagonal 1/4 in			8				
	29	Barra roscada 5/8 in x 6 in			2				
	30	Tuerca hexagonal 5/8			2				
31	Tuerca hexagonal ranurada 5/8 in			4					
A			NOMBRE	FIRMA	FECHA				
	DIBUJ.	Marco Manosalva							
	VERIF.	Oscar Serrano							
	APROB.	Omar Gelvez							
	FABR.	Marco Manosalva							
		Oscar Serrano							
						 CONSTRUIMOS FUTURO		TÍTULO: BANDA TRANSPORTADORA (EXPLOSIÓN)	
						MATERIAL:		N.º DE DIBUJO 01-02-03	
								FORMATO: A4	
						ESCALA:		HOJA 16 DE 36	
		6	5	4	3	2	1		

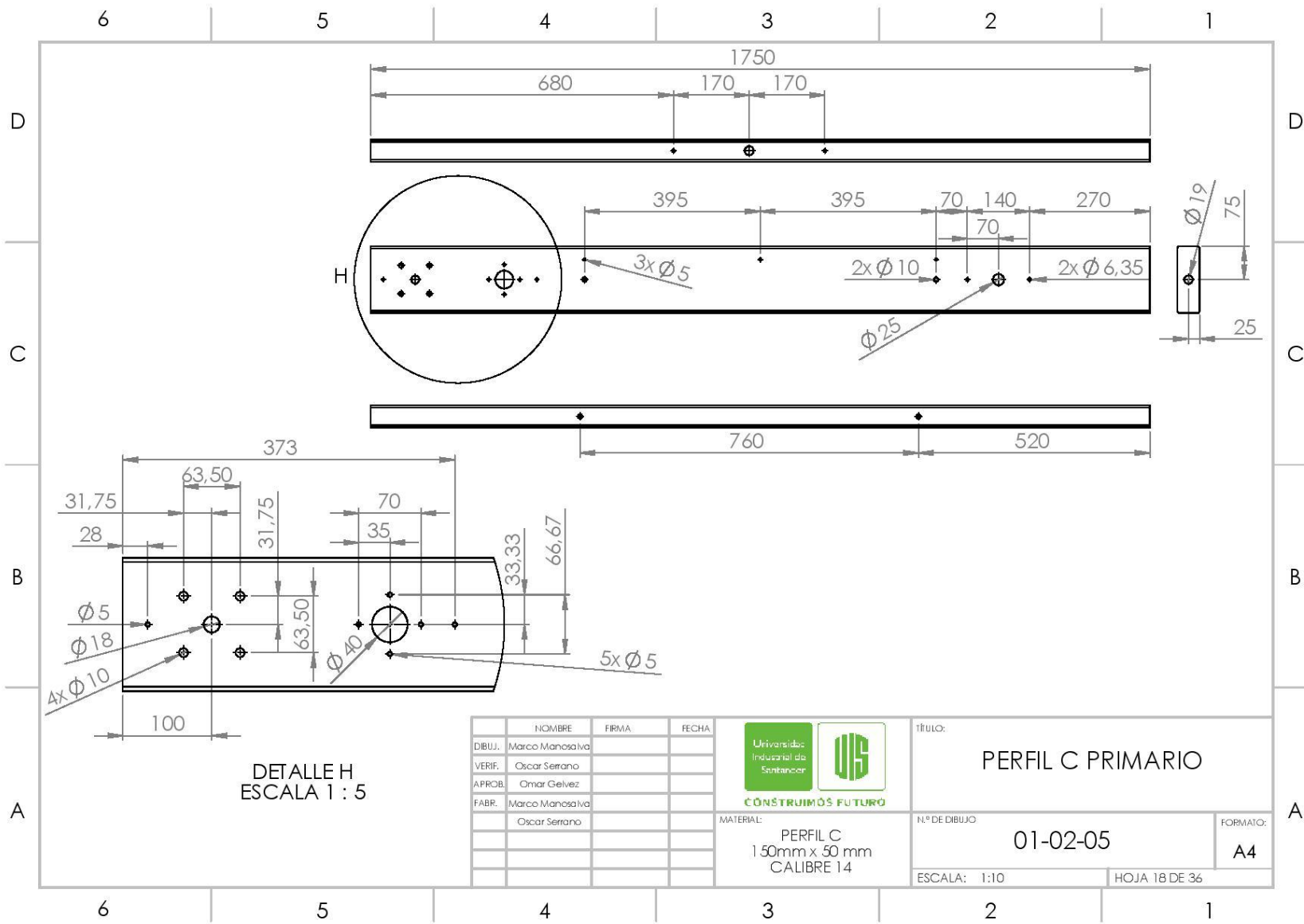


	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		



CONSTRUIMOS FUTURO
 MATERIAL: **PERFIL C CALIBRE 14**

TÍTULO: **PERFIL C PRIMARIO VISTA ISOMETRICA**
 N° DE DIBUJO: **01-02-04** FORMATO: **A4**
 ESCALA: 1:7 HOJA 17 DE 36



	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		



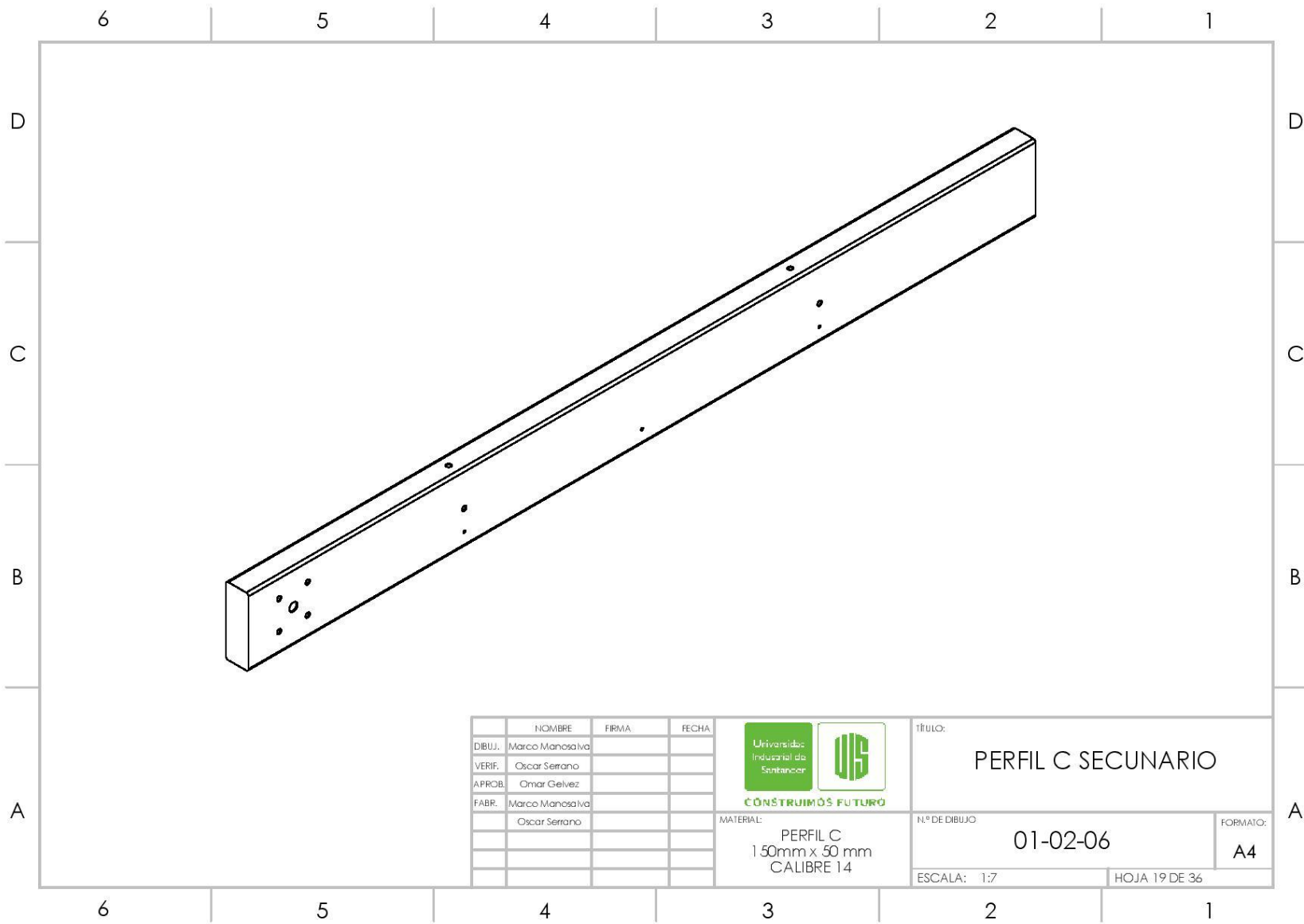

CONSTRUIMOS FUTURO

MATERIAL: PERFIL C
 150mm x 50 mm
 CALIBRE 14

TÍTULO: **PERFIL C PRIMARIO**

Nº DE DIBUJO: **01-02-05** FORMATO: **A4**

ESCALA: 1:10 HOJA 18 DE 36

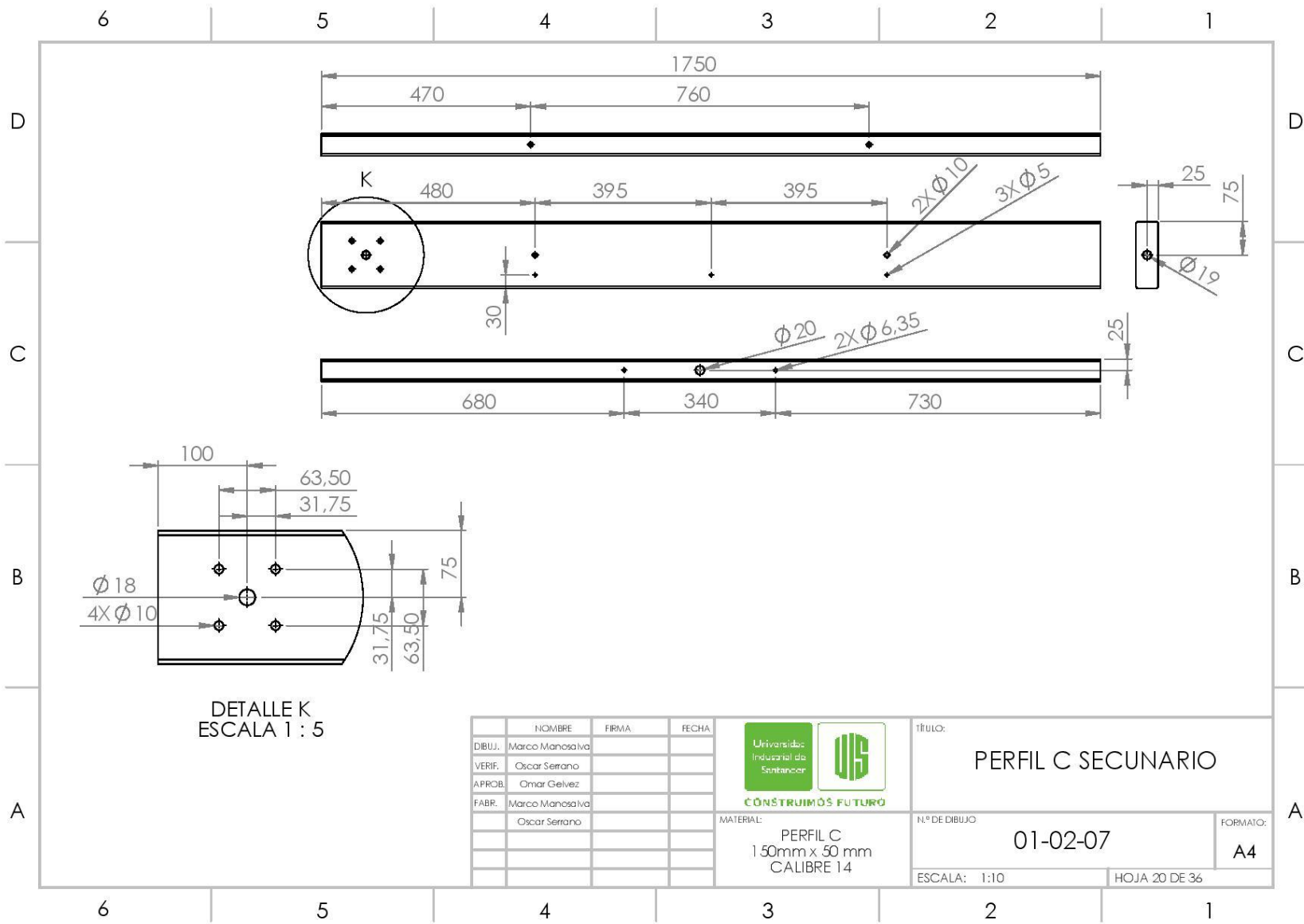


	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		



CONSTRUIMOS FUTURO
 MATERIAL: PERFIL C
 150mm x 50 mm
 CALIBRE 14

TÍTULO: **PERFIL C SECUNARIO**
 N° DE DIBUJO: **01-02-06** FORMATO: **A4**
 ESCALA: 1:7 HOJA 19 DE 36



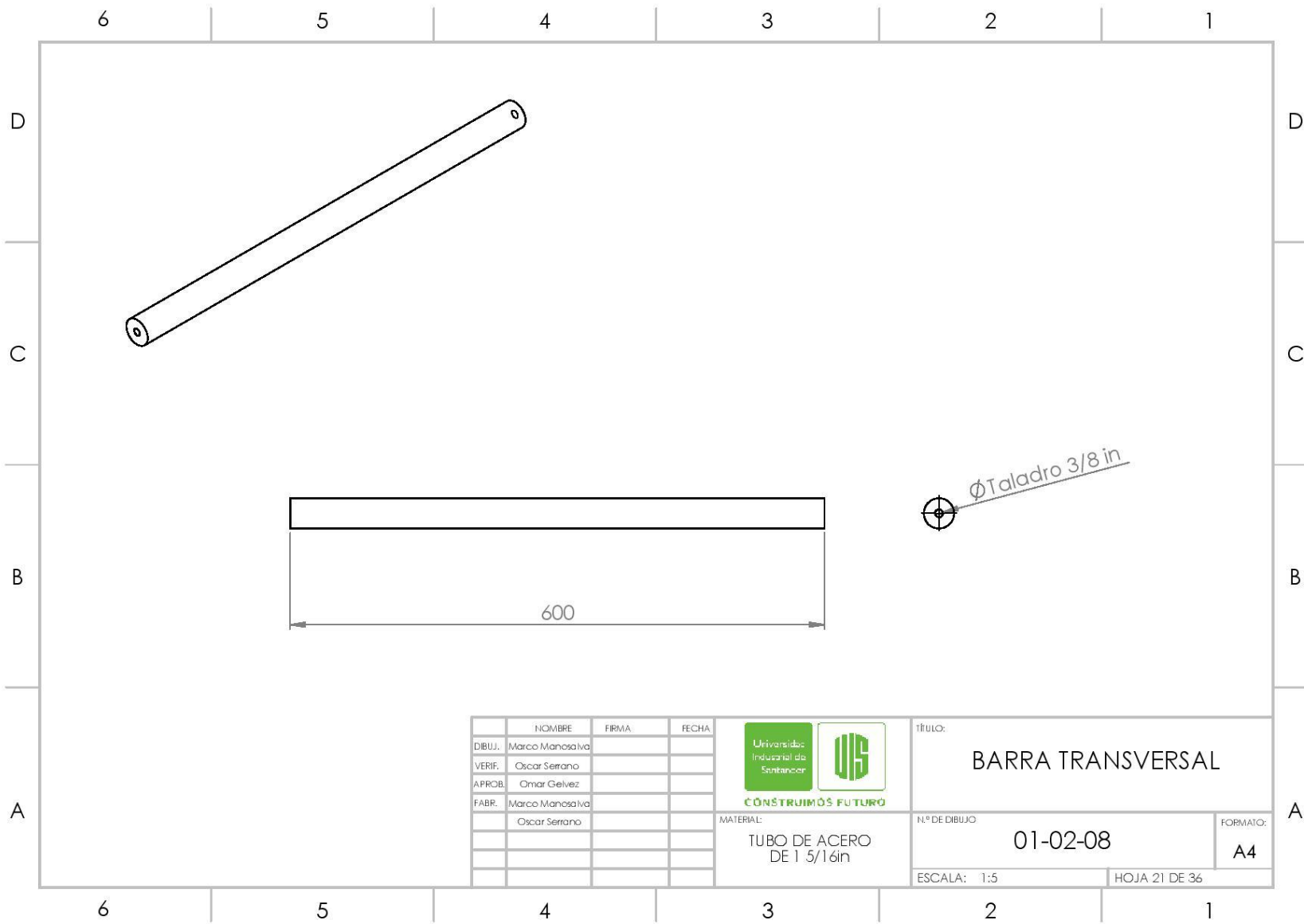
DETALLE K
ESCALA 1 : 5

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		



CONSTRUIMOS FUTURO
 MATERIAL: PERFIL C
 150mm x 50 mm
 CALIBRE 14

TÍTULO: PERFIL C SECUNARIO	
N° DE DIBUJO 01-02-07	FORMATO: A4
ESCALA: 1:10	HOJA 20 DE 36

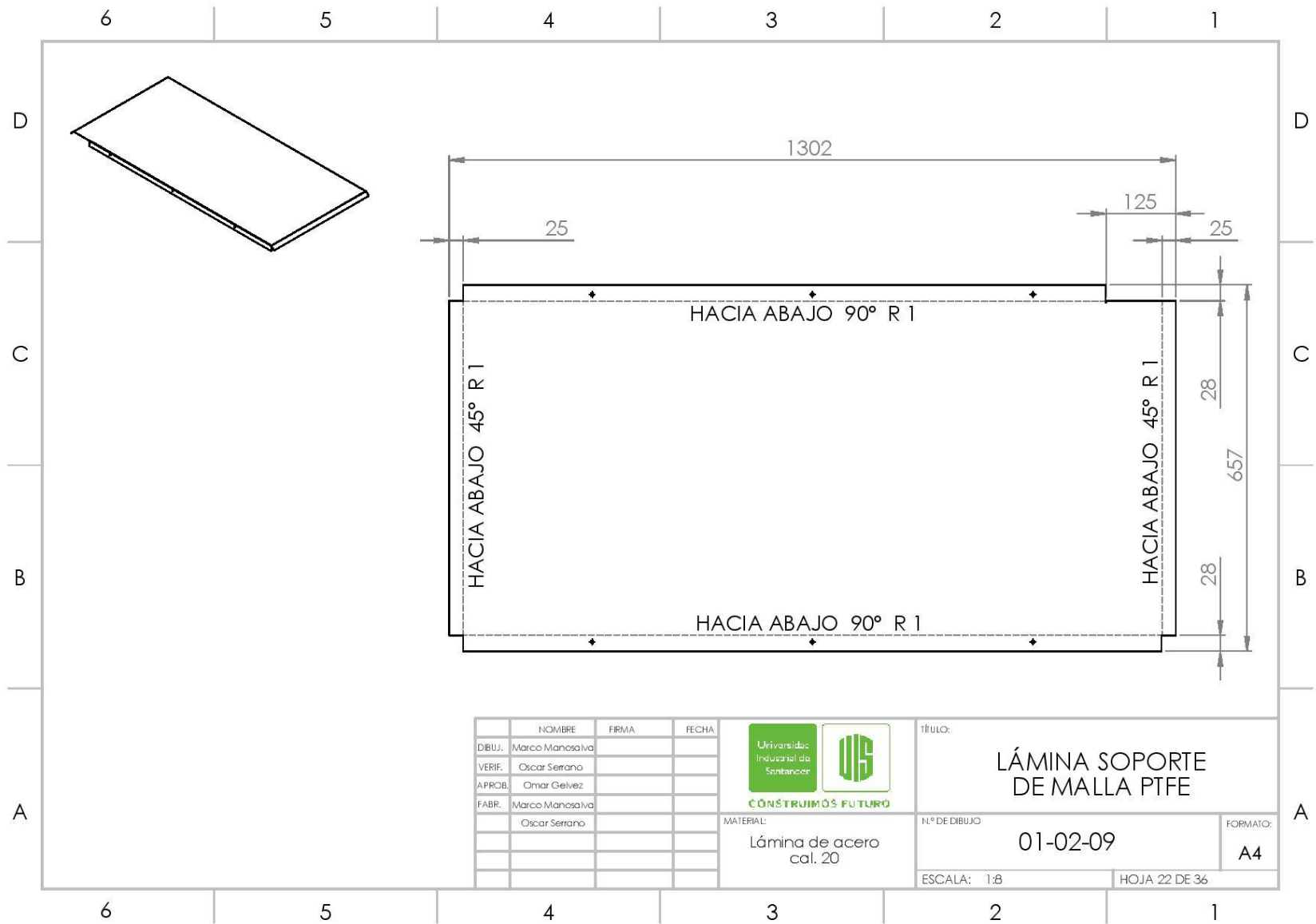


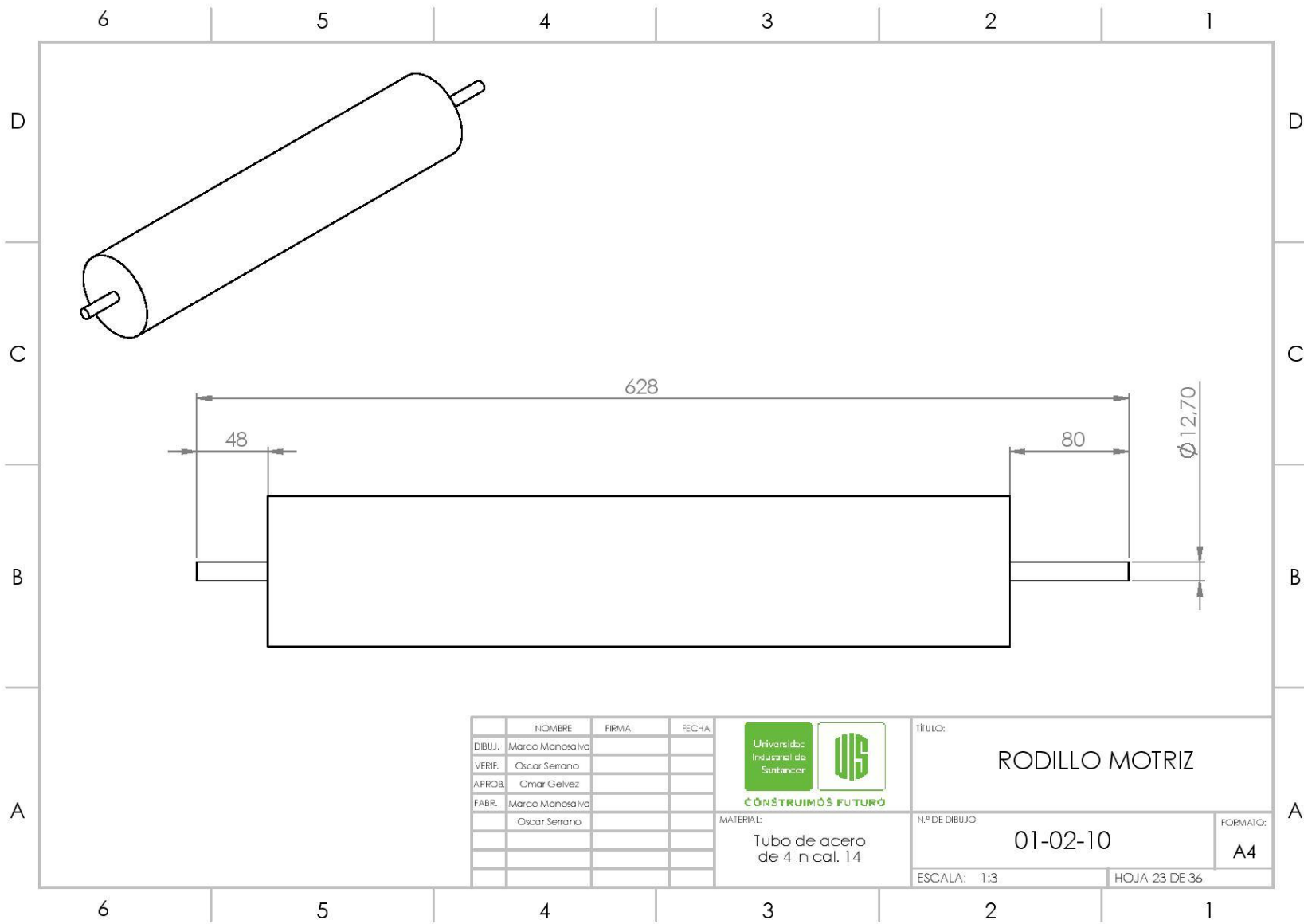
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		



CONSTRUIMOS FUTURO
 MATERIAL:
 TUBO DE ACERO
 DE 1 5/16 in

TÍTULO: **BARRA TRANSVERSAL**
 N.º DE DIBUJO: **01-02-08** FORMATO: **A4**
 ESCALA: 1:5 HOJA 21 DE 36



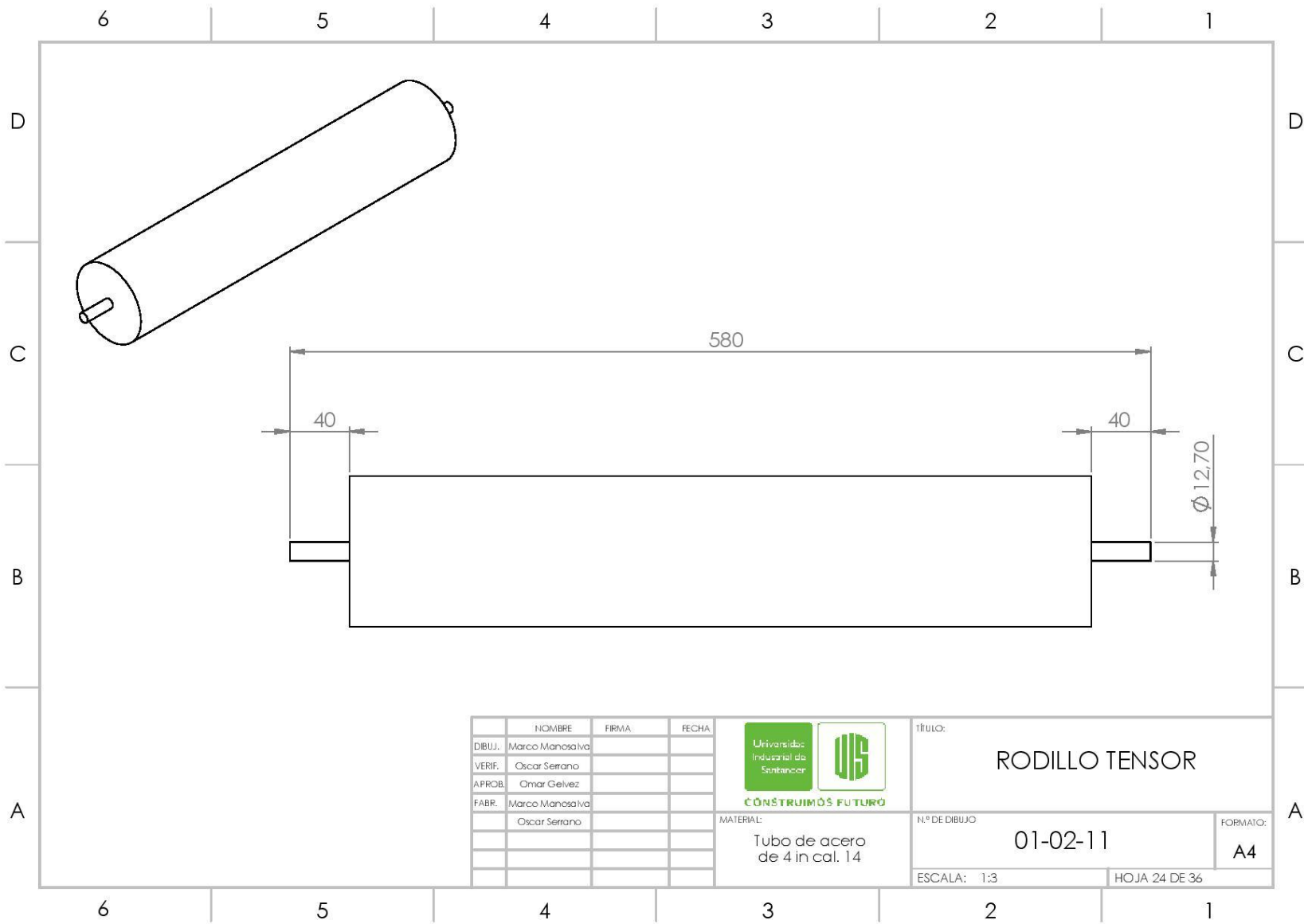


	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		



CONSTRUIMOS FUTURO
 MATERIAL:
 Tubo de acero
 de 4 in cal. 14

TÍTULO: **RODILLO MOTRIZ**
 N.º DE DIBUJO: **01-02-10** FORMATO: **A4**
 ESCALA: 1:3 HOJA 23 DE 36



	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		



CONSTRUIMOS FUTURO
 MATERIAL:
 Tubo de acero
 de 4 in cal. 14

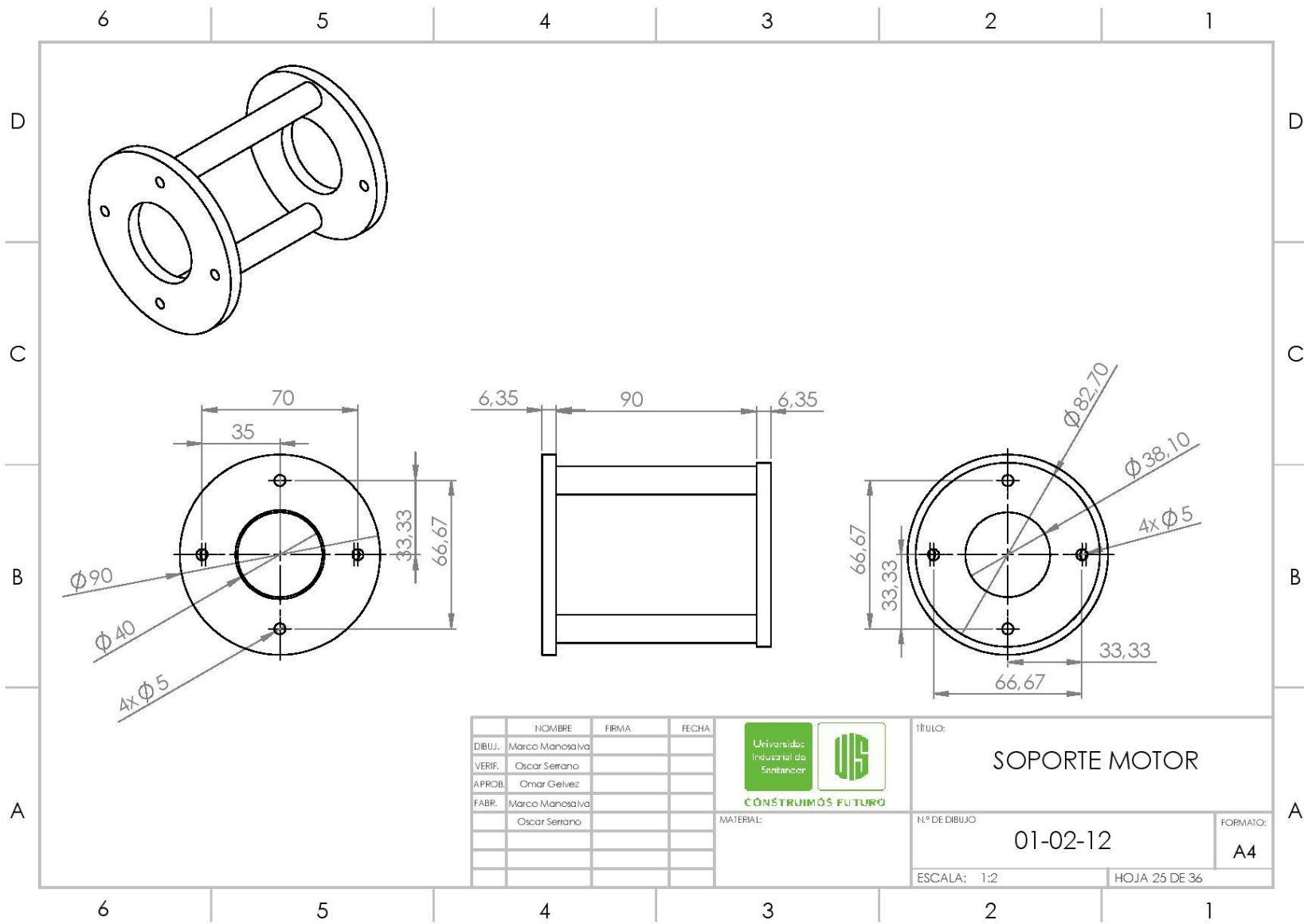
TÍTULO:
RODILLO TENSOR

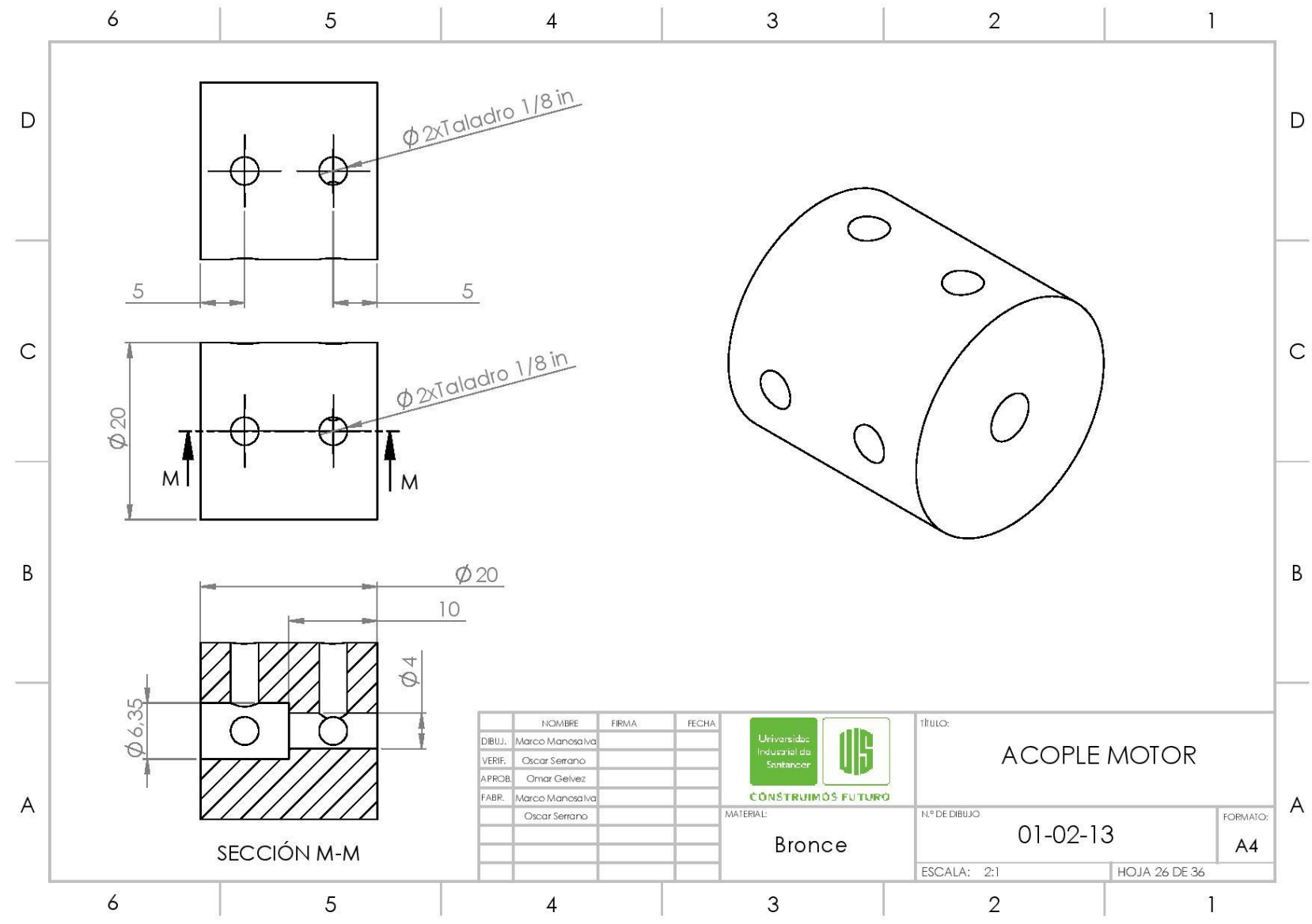
N.º DE DIBUJO: **01-02-11**

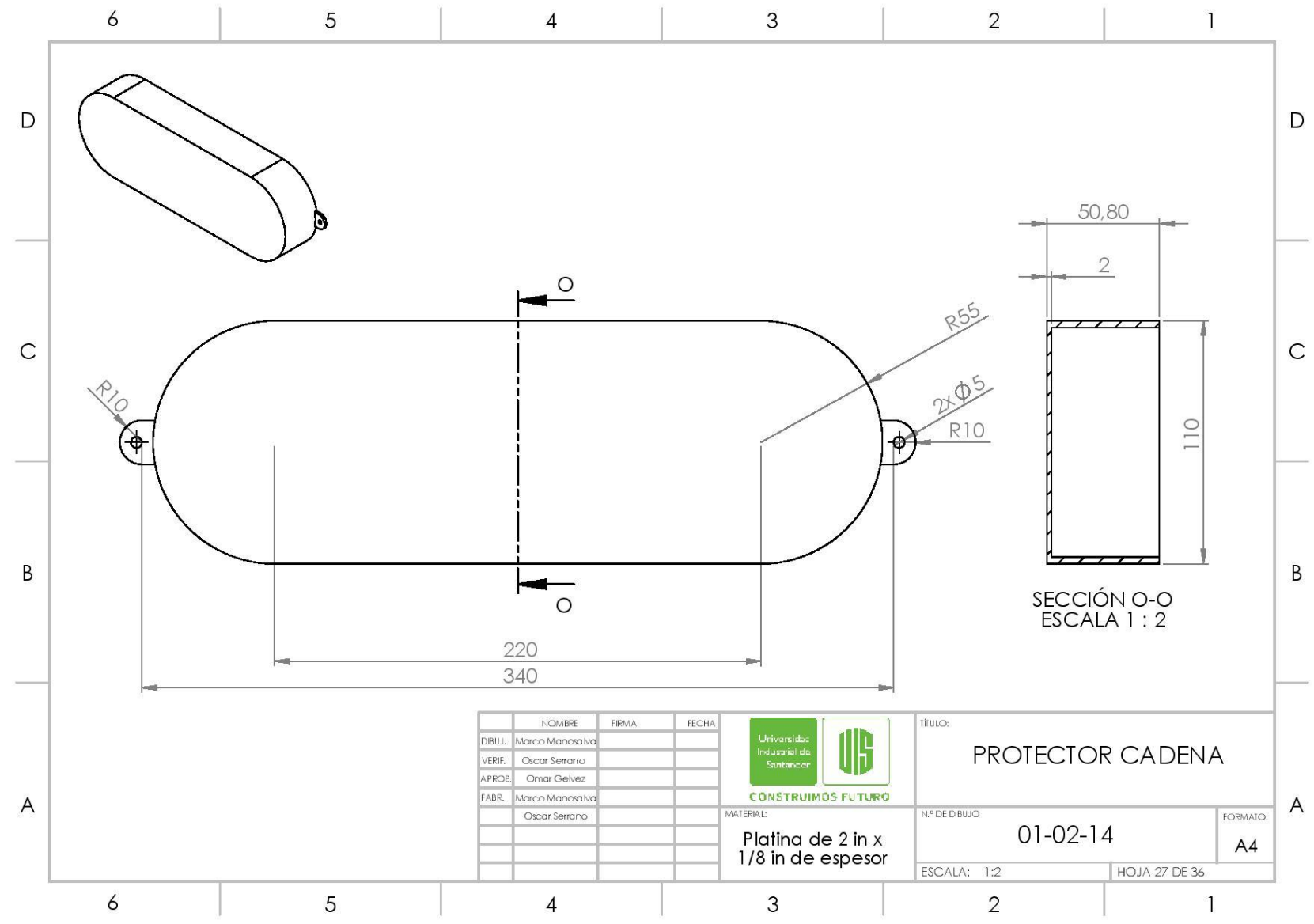
ESCALA: 1:3

HOJA 24 DE 36

FORMATO:
A4








	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		





CÓNSTRUIMOS FUTURO
 MATERIAL: **Platina de 2 in x 1/8 in de espesor**

TÍTULO: **PROTECTOR CADENA**
 N.º DE DIBUJO: **01-02-14** FORMATO: **A4**
 ESCALA: 1:2 HOJA 27 DE 36



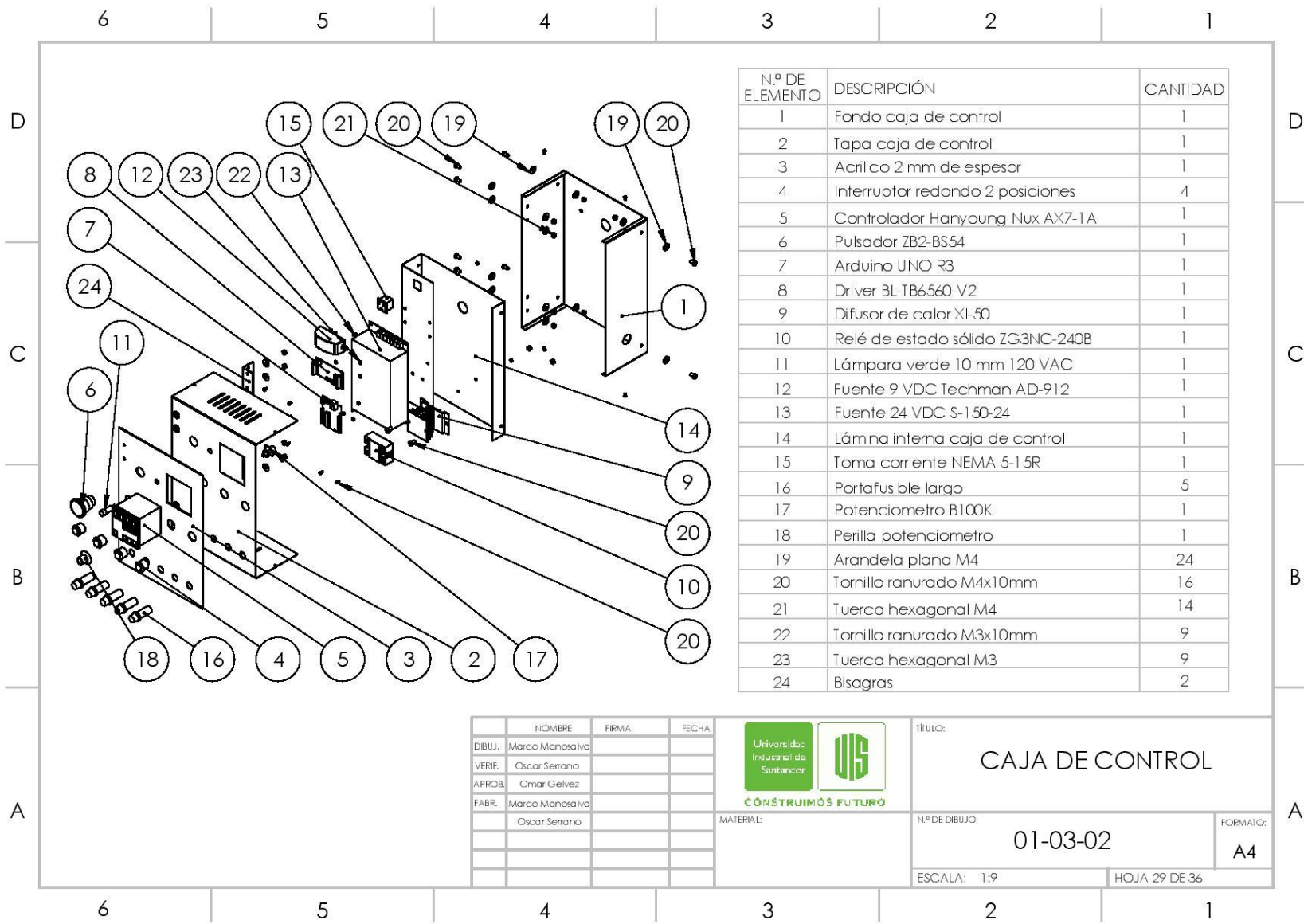
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		



CONSTRUIMOS FUTURO
 MATERIAL:

TÍTULO: **CAJA DE CONTROL**

Nº DE DIBUJO: **01-03-01** FORMATO: **A4**

ESCALA: 1:4 HOJA 28 DE 36



N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Fondo caja de control	1
2	Tapa caja de control	1
3	Acrylic 2 mm de espesor	1
4	Interruptor redondo 2 posiciones	4
5	Controlador Hanyoung Nux AX7-1A	1
6	Pulsador ZB2-BS54	1
7	Arduino UNO R3	1
8	Driver BL-TB6560-V2	1
9	Difusor de calor XI-50	1
10	Relé de estado sólido ZG3NC-240B	1
11	Lámpara verde 10 mm 120 VAC	1
12	Fuente 9 VDC Techman AD-912	1
13	Fuente 24 VDC S-150-24	1
14	Lámina interna caja de control	1
15	Toma corriente NEMA 5-15R	1
16	Portafusible largo	5
17	Potenciometro B100K	1
18	Perilla potenciometro	1
19	Arandela plana M4	24
20	Tornillo ranurado M4x10mm	16
21	Tuerca hexagonal M4	14
22	Tornillo ranurado M3x10mm	9
23	Tuerca hexagonal M3	9
24	Bisagras	2

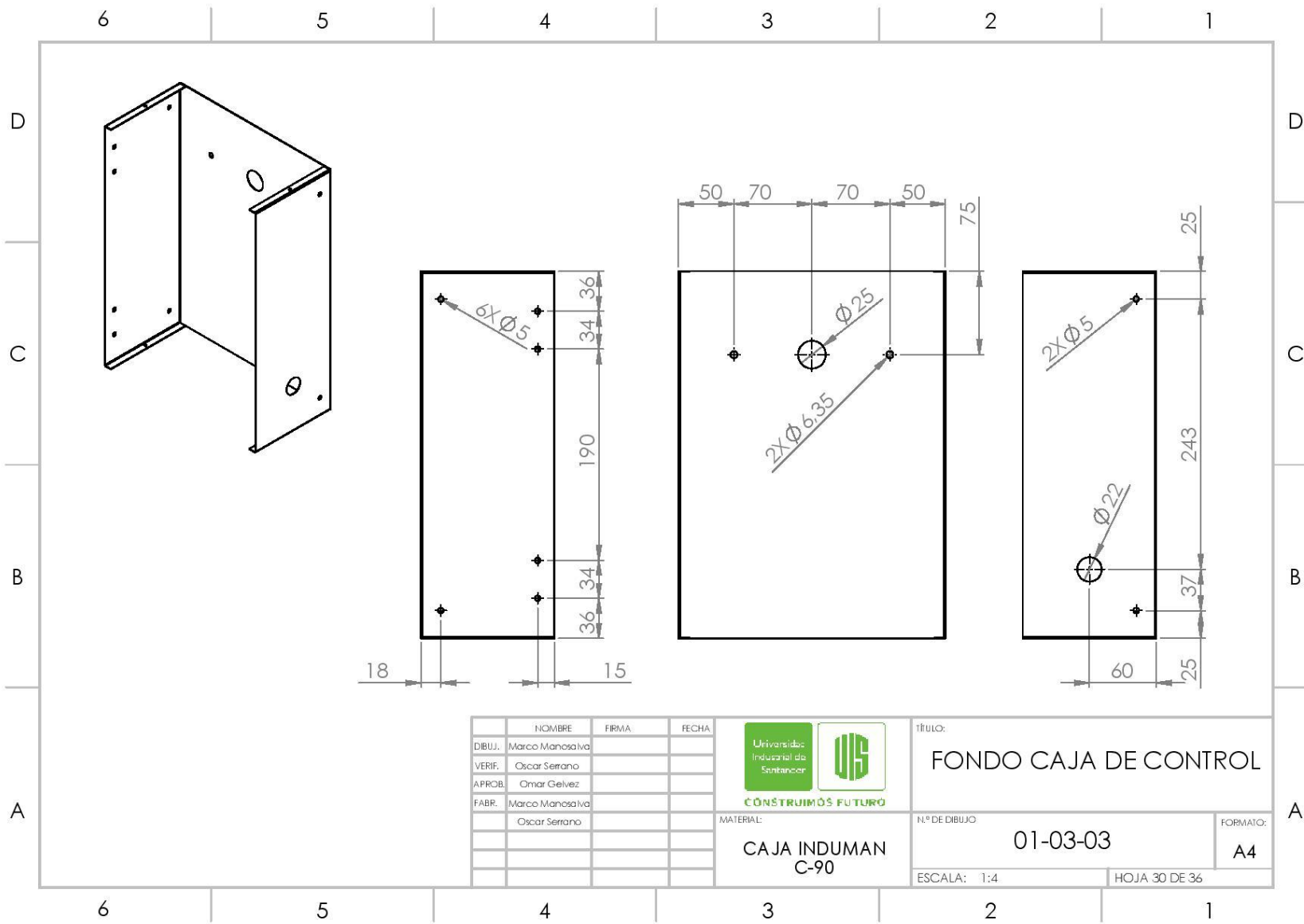
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		



TÍTULO: **CAJA DE CONTROL**

N.º DE DIBUJO: **01-03-02** FORMATO: **A4**

ESCALA: 1:9 HOJA 29 DE 36



	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		

CONSTRUIMOS FUTURO

MATERIAL: **CAJA INDUMAN C-90**

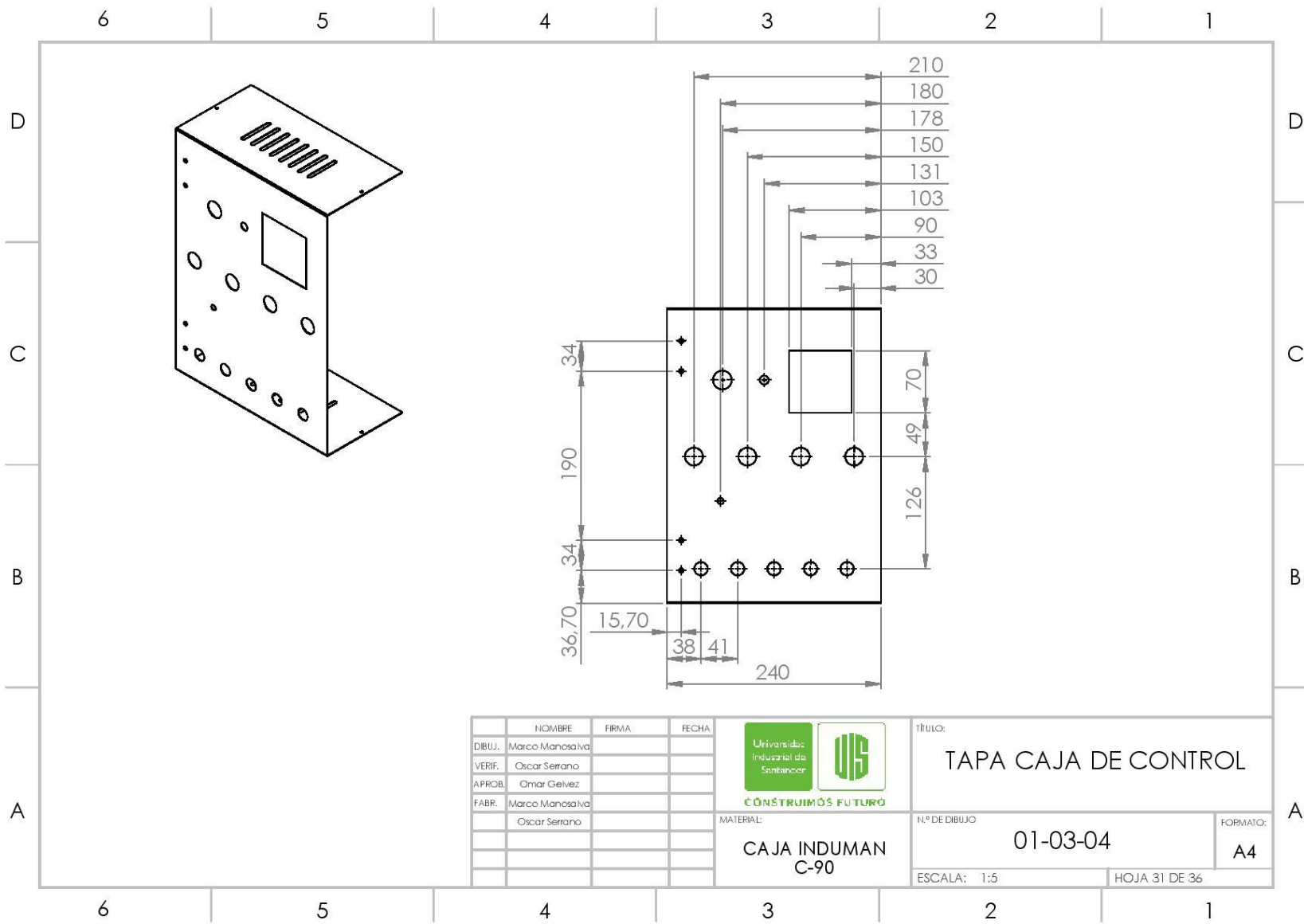
TÍTULO: **FONDO CAJA DE CONTROL**

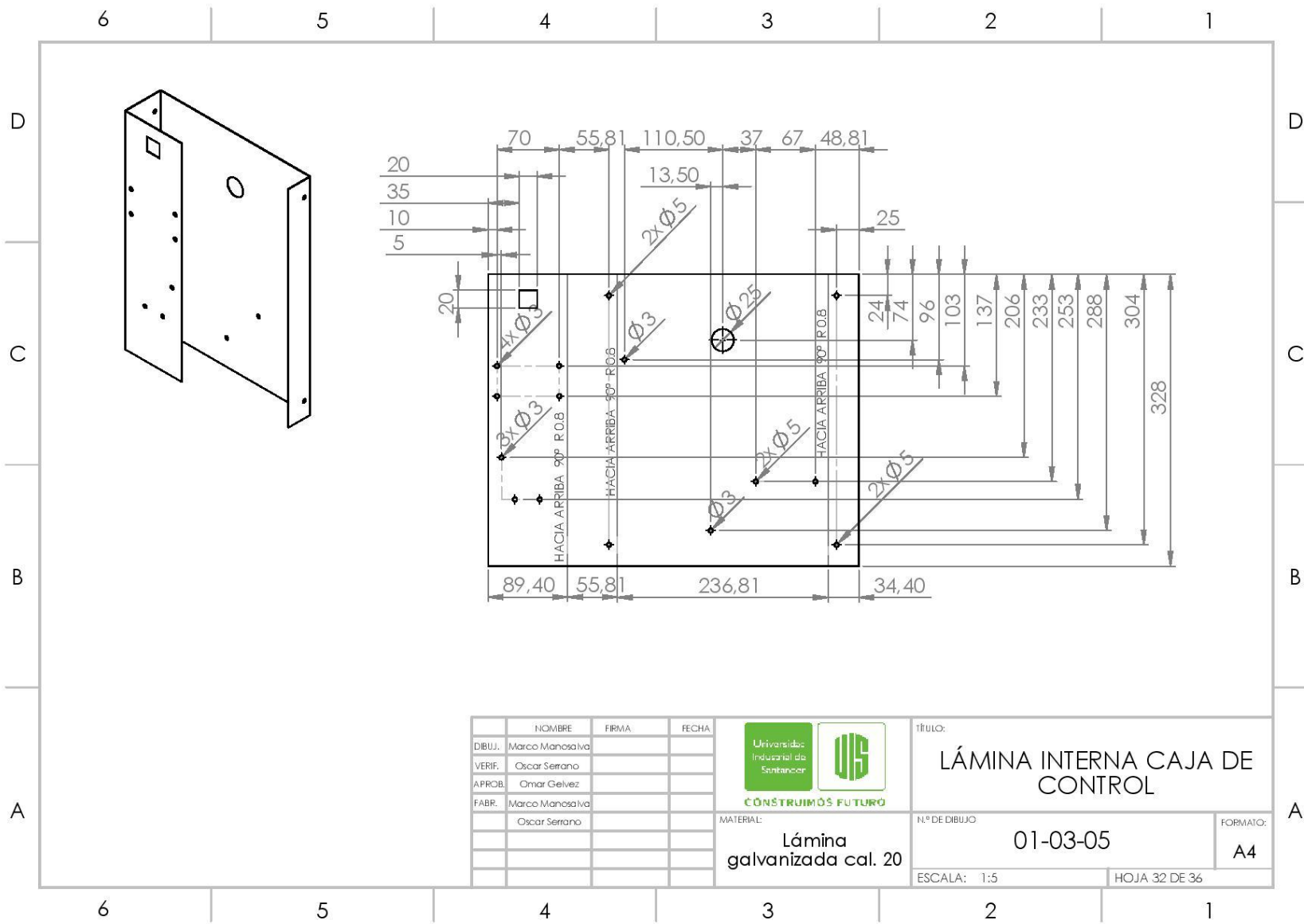
N.º DE DIBUJO: **01-03-03**

ESCALA: 1:4

HOJA 30 DE 36

FORMATO: **A4**





	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		




CONSTRUIMOS FUTURO

MATERIAL: Lámina galvanizada cal. 20

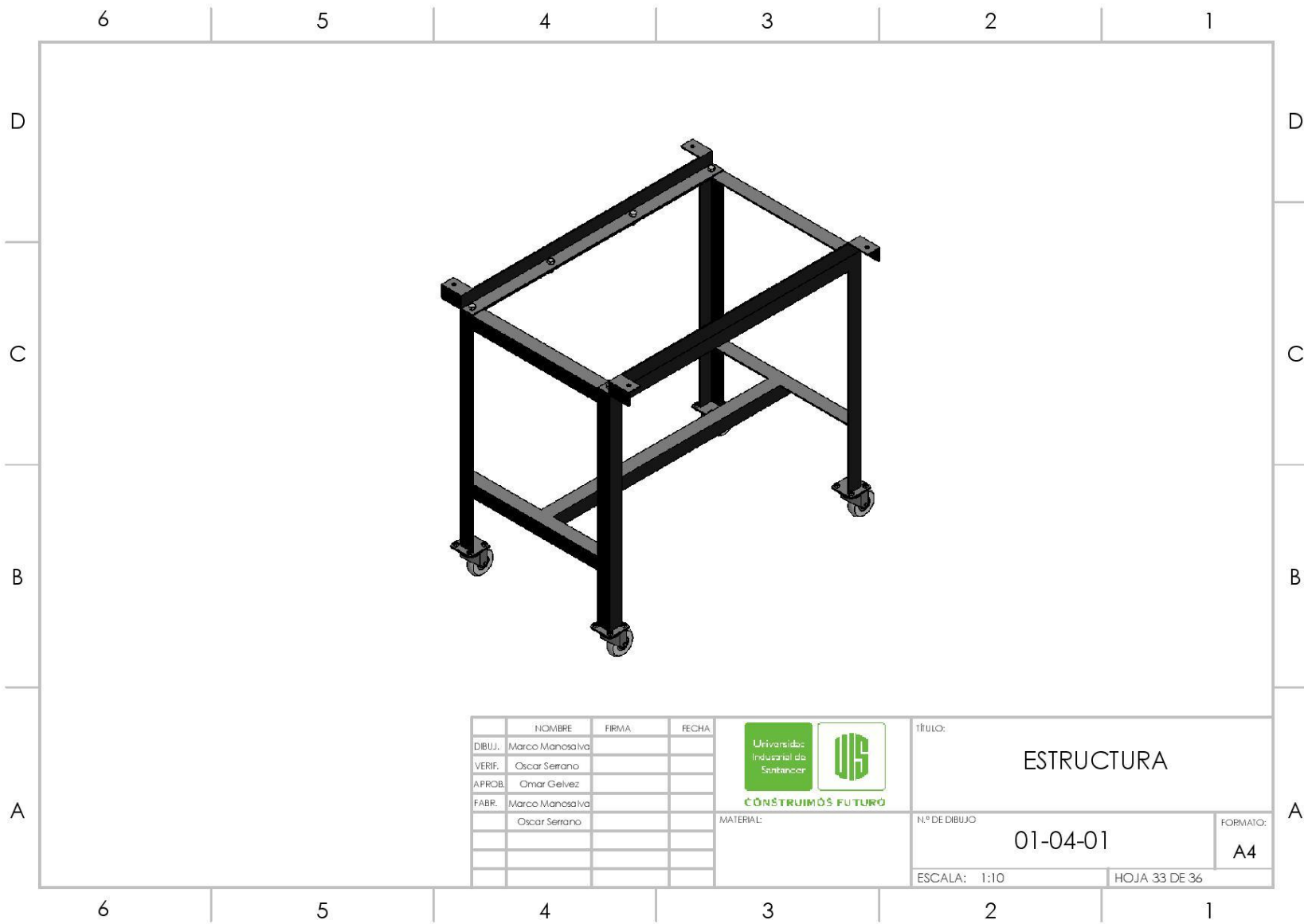
TÍTULO: **LÁMINA INTERNA CAJA DE CONTROL**

N.º DE DIBUJO: **01-03-05**

FORMATO: **A4**

ESCALA: 1:5

HOJA 32 DE 36

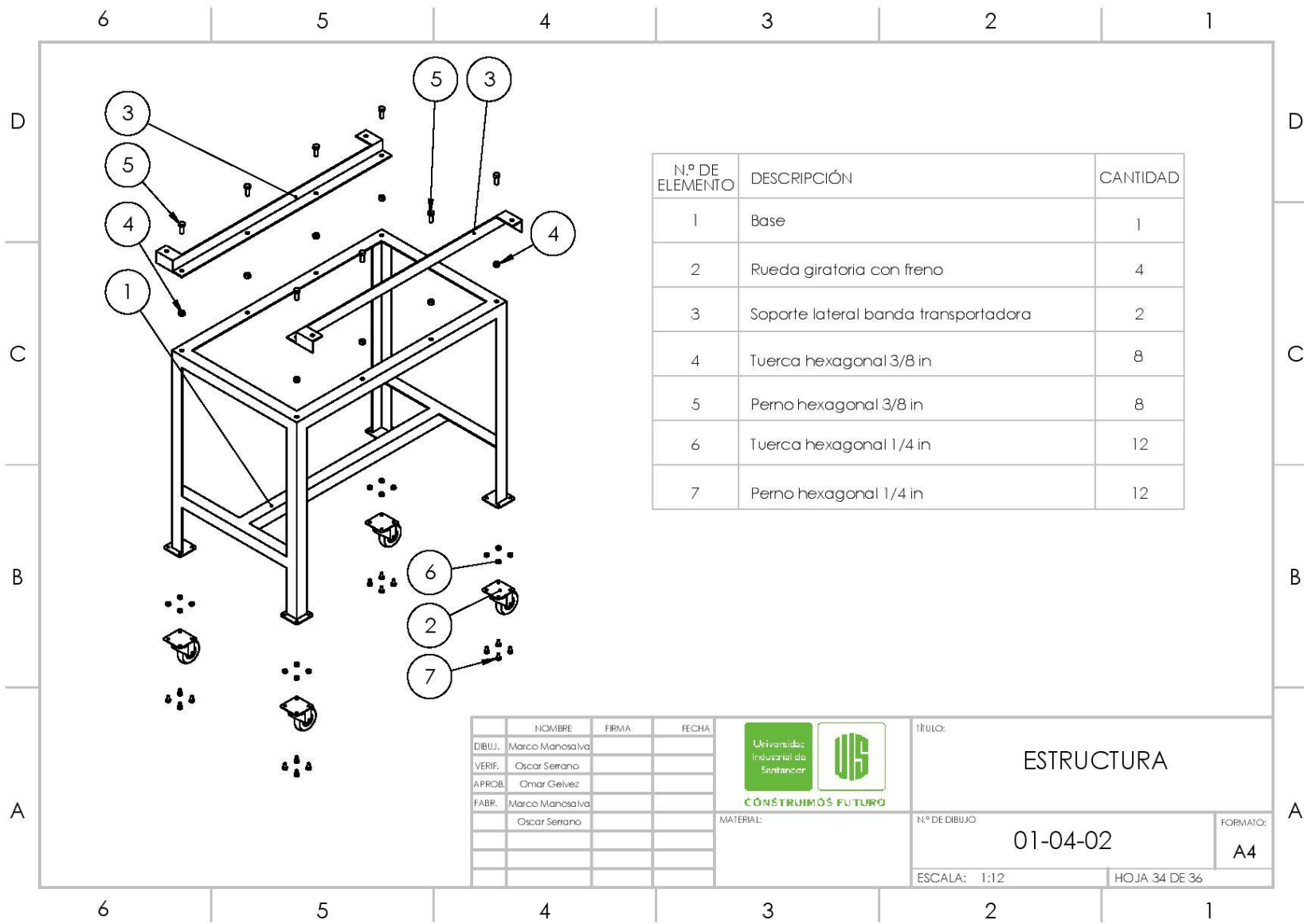


	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		



CONSTRUIMOS FUTURO

TÍTULO:		ESTRUCTURA	
Nº DE DIBUJO	01-04-01	FORMATO:	A4
ESCALA:	1:10	HOJA	33 DE 36

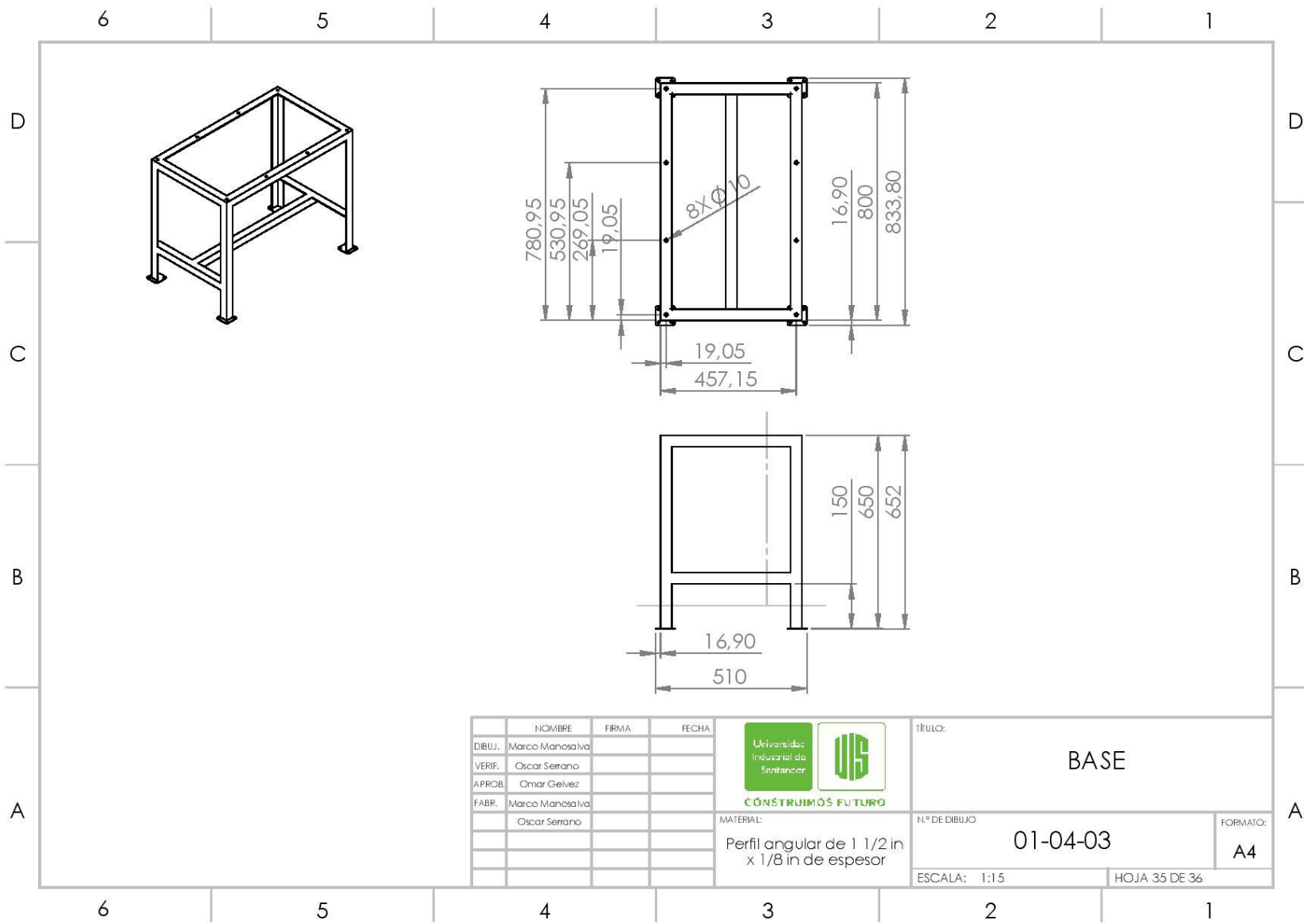


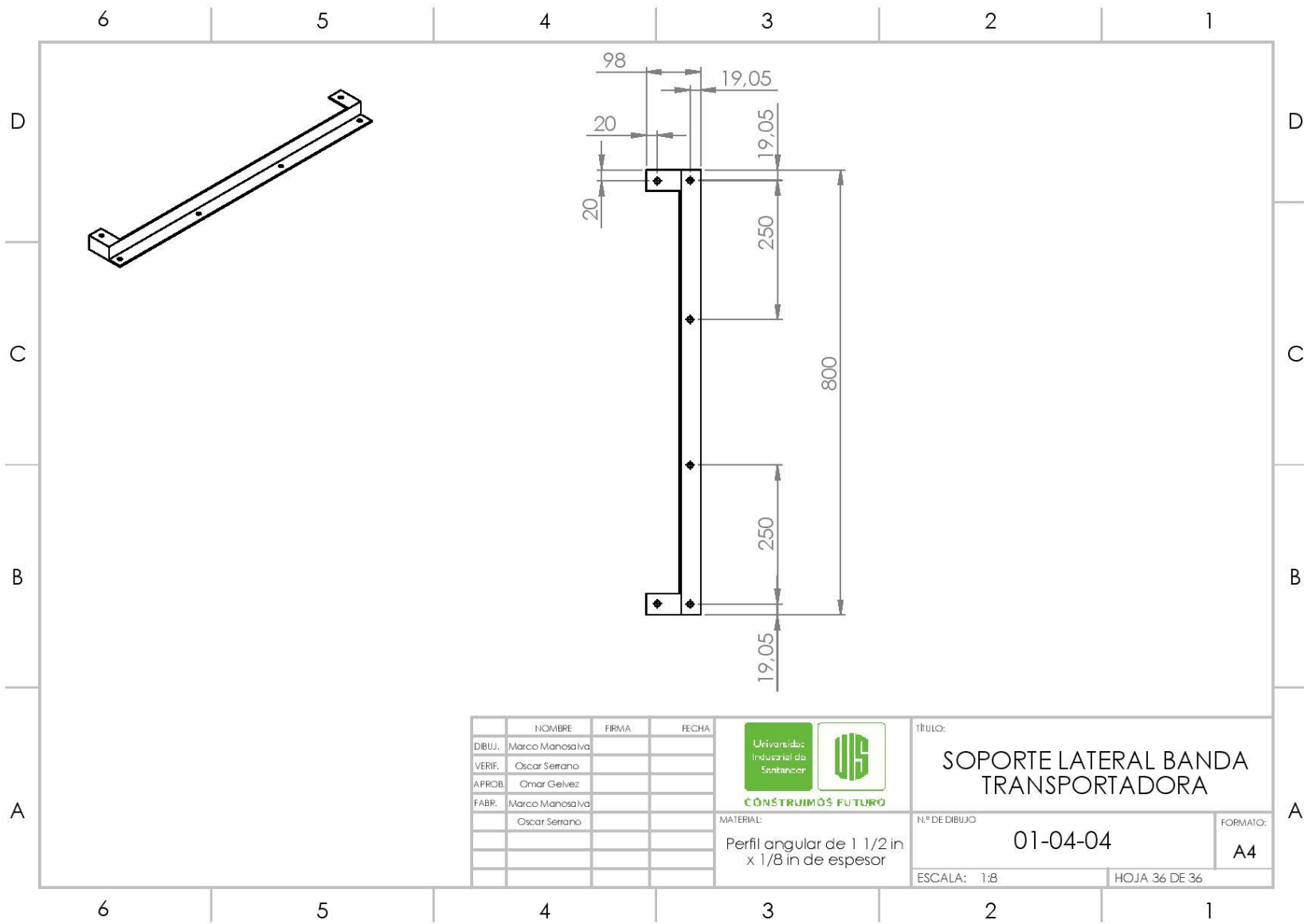
N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Base	1
2	Rueda giratoria con freno	4
3	Soporte lateral banda transportadora	2
4	Tuerca hexagonal 3/8 in	8
5	Perno hexagonal 3/8 in	8
6	Tuerca hexagonal 1/4 in	12
7	Perno hexagonal 1/4 in	12

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		



TÍTULO:		ESTRUCTURA	
N.º DE DIBUJO:		01-04-02	
ESCALA: 1:12		HOJA 34 DE 36	
FORMATO:		A4	





	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Marco Manosalva		
VERIF.	Oscar Serrano		
APROB.	Omar Gelvez		
FABR.	Marco Manosalva		
	Oscar Serrano		



CONSTRUIMOS FUTURO
 MATERIAL:
 Perfil angular de 1 1/2 in
 x 1/8 in de espesor

TÍTULO:
**SOPORTE LATERAL BANDA
 TRANSPORTADORA**
 N.º DE DIBUJO: **01-04-04**
 ESCALA: 1:8
 HOJA 36 DE 36
 FORMATO:
A4

Anexo C. Fichas técnicas de los componentes principales

Digital temperature controller

AX series

INSTRUCTION MANUAL

Thank you for purchasing HANYOUNG product.
Please check whether the product is the exactly same as you ordered.
Before using the product, please read this instruction manual carefully.
Please keep this manual where you can view at any time



HANYOUNG NUX

HANYOUNG CO.,LTD
28, Gilpa-ro 7beon-gil, Nam-gu, Incheon, Korea
TEL : (62-32)676-4697 FAX : (62-32)676-4696 http://www.hynux.com

PT. HANYOUNG ELECTRONIC INDONESIA
Jl. cempaka blok F16, No.02 Delta Silicon II Cikarang Bekasi Indonesia
TEL : 62-21-8911-8120~4 FAX : 62-21-8911-8126

Safety information

Alerts declared in the manual are classified to Danger, Warning and Caution by their criticality

⚠ DANGER	DANGER indicates an imminently hazardous situation which, if not avoided, will result in death or serious injury
⚠ WARNING	WARNING indicates a potentially hazardous situation which, if not avoided, could result in death or serious injury
⚠ CAUTION	CAUTION indicates a potentially hazardous situation which, if not avoided, may result in minor or moderate injury

⚠ DANGER

The electric shock may occur in the input/output terminal so please never let your body and/or conductive substance to be contacted by the input/output terminal.

⚠ WARNING

- Since this product is not designed as a safely used device the user must install double safety equipment when this product is used for equipment with possible fatal accident or large property damage.
- The power switch and fuse are not installed on this product so users need to install them separately on the outside. (Fuse rating : 250 V 0.5 A)
- Please supply in the rated power supply voltage in order to prevent this product from breaking down or damaged.
- To prevent electric shock or device malfunction of this product, do not supply the power until the wiring is completed.
- This is not designed as explosion-protective structure so avoid using this product at places where gas inflammability and explosive gases exist.
- Do not supply in the power until all wiring is fully completed in order to prevent the product from breaking down and prevent users from getting electric shock.
- Do not disassemble, manufacture, upgrade and repair the product by yourself. Doing so will break down the product, generate the electric shock and cause malfunction to occur.
- Please turn OFF the product and disassemble the product. Not doing so will break down the product, generate the electric shock and cause malfunction to occur.
- Electric shock may occur when operating this product so please install this product to the panel and use it

⚠ CAUTION

- The contents of this manual may be changed without prior notification
- Please check for correct model type and specification
- Please check for any damage or abnormally may caused during shipment.
- Please use this product at following range.
Ambient temperature : -5 ~ 50 °C (when installing them close to each other, max. 40 °C) / humidity : 35 ~ 85 % RH (but without dew condensation)
- Please avoid the places where corrosive gas(especially noxious gas, ammonia and etc) and inflammable gas exist
- Please do not use this product at places where the vibration or impact is applied directly.
- Please avoid the places where liquid, oil, medical substances, dust, salt or iron contents exist(avoid place of pollution level 1 or 2)
- Do not clean the product with the organic solvent such as alcohols, benzene and etc. (Use neutral detergents)
- Please avoid the places where huge inductive interference exists and places where static electricity/self noise are generated.
- Please avoid the places where heat accumulates due to the direct sunlight, radiation and etc
- We recommend using it at altitude below the 2000 m.
- If the device is touched or contacted by water then short-circuit and fire may occur so please inspect the device carefully.
- With the thermocouple input, please use the stated compensation cable.
(Using regular compensation cable will generate the temperature error)
- With the RTD input, please use the cable with less lead-wire resistance and no difference in the resistance among 3-wires. (Using regular cable will generate the temperature error)
- For the input signal wire, please avoid from the power line and load line in order to avoid from the induction noise.
- Separate the input signal wire and output signal wire and if separating them from each other is impossible, then please use the shield wire for the input signal wire.
- For the thermocouple, please use it as the un-grounding type.
(When using the grounding type, malfunction may occur due to the electric leakage)
- When there are too much noises generating from the power, we recommend using the insulation Trans and noise filter. Noise filter must be mounted to the panel or etc that is grounded and please try to make the wiring of output and power terminal meter as short as possible.
- Tightly twisting the power line meter will reduce the noise generation
- If alarm function is not set properly, alarm will not be generated when it should so please check for the operation before running the product.
- When replacing the sensor, please turn OFF the power
- If operation frequency is too high (such as proportional operation and etc) and connecting the maximum rated load to output relay will shorten the life expectancy therefore, please use the auxiliary relay. We recommend using the SSR output type in such cases.
- When using the electrical switch: Set proportional cycle min 20 sec
- When using the SSR: Set proportional cycle min 1 sec
- Do not wire anything to the un-using terminal
- Please check the polarity of terminal before wiring.
- When installing this product to the panel, please use the authorized switch or circuit breaker (authorized by IEC60947-1 or IEC60947-3)
- Please install the switch or circuit breaker close to the operator for users' convenience
- Because switch or circuit breaker is being installed, please make a note on the panel that operating the switch or circuit breaker will block the power.
- We recommend the continuous inspection and repair in order to use it safely for a long period of time.

- Some parts in this product have life expectancy and gets old as time elapses.
- The warranty period is one year including the parts only under the condition where the product is used properly.
- It needs the preparation time for contact output when supplying in the power. When applied as signal to the external interlock circuit and etc, please jointly use the delay relay.
- When changing the instrument or if the product broke down, users can replace with the prepared product but even suffix code stays same, operation may differ due to the parameter difference so please check for the compatibility and perform such action.
- Before using a temperature controller, there could be a temperature difference between PV of the temperature controller and the actual temperature so please operate the temperature controller after compensating the temperature difference appropriately.

Suffix code

Model	Code	Information
AX	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Digital temperature controller
Dimension	2	AX2 : 48 X 96 mm
	3	AX3 : 96 X 48 mm
	4	AX4 : 48 X 48 mm
	7	AX7 : 72 X 72 mm
	9	AX9 : 96 X 96 mm
Output selection	1	SSR + Relay1 + Relay2 Relay or SSR as control output(selectable in operator setup mode)
	2	SSR + Relay1 + Relay2 + Relay3
	1B	SSR + Relay1(Form c) + Relay2 Only for AX2, 3, 7, 9
	2B	SSR + Relay1(Form c) + Relay2 + Relay3
	3	4 ~ 20 mA + Relay2 Current output as control output
	4	4 ~ 20 mA + Relay2 + Relay3
Power supply voltage	A	100 ~ 240 V AC 50/60 Hz

※ Form C : Normal close type contact

※ Relay output operates as control output, alarm output and LBA output depending on the internal parameter setting.

Input

Input selection	Multi input (selectable in operator setup mode) • Thermocouple : K, J, R, T (IEC) • RTD : Pt100 Ω(IEC)
Input sampling time	0.1 sec
Input impedance	1 MΩ max
Allowable wiring resistance	10 Ω / 1 wire max (RTD), but resistances among 3 wires should be same
Allowable input voltage	10 V DC max

Performance

Display accuracy	±0.3 % of F.S ±1 digit (in case of R type, ±1.0 % of ±1 digit in the 0 ~ 600 °C range)
Insulation resistance	More than 20 MΩ, 500 V DC for 1min (Primary terminal-Secondary terminal)
Dielectric strength	2300 V AC 50/60Hz, for 1 min (Primary terminal-Secondary terminal)

Range and input code

Classification	Code	Input type	Range	
			Celsius (°C)	Fahrenheit (°F)
Thermocouple	PT	K	-100 ~ 1200	-148 ~ 2192
	PT	J	-100.0 ~ 500.0	-148 ~ 932
	J	J	-100.0 ~ 500.0	-148 ~ 932
	R	R	0 ~ 1700	32 ~ 3092
RTD	E	T	-100.0 ~ 400.0	-148 ~ 752
	PE	Pt100 Ω	-100.0 ~ 400.0	-148.0 ~ 752.0

Control function and output

- Control type : PID control, P control, ON/OFF control
- Auto-tuning : PID operation by the auto-tuning
- ON/OFF control : When PV > SV, it generates 0 % output.
When PV < SV, it generates 100 % output. (Only when control hysteresis is 0)
- Manual reset : Users set within the range from 0 % to 100 %.
- Control output operation : Direct action/Reverse action (selected by the parameter setting)
- Control output : Relay output/voltage pulse output (SSR output) * Selected by the parameter setting

Relay	1a contact, 3 A 240 V AC, 3 A 30 V DC (Resistive load)	
	<ul style="list-style-type: none"> Relay output can be selected maximum 3 and relay control output is displayed as RLY1. Alarm output 2 contacts (AL1, AL2) and LBA output are assigned by the users among RLY1, RLY2 and RLY3 	
S.S.R	CyC	12 – 15 V DC pulse voltage (resistive load min 600 Ω)
	PHA	
4 – 20 mA	Accuracy : 0.5 % of F.S, Ripple Vp-p : 0.3 % of F.S, Resistive load : Max 600 Ω	

Specification

Model	A X2	A X3	A X4	A X7	A X9
Power supply voltage	100 – 240 V AC 50/60 Hz				
Voltage fluctuation	±10 % of power supply voltage				
Power consumption	5.5 VA max				
Ambient temperature	-5 ~ 50 °C				
Ambient humidity	35 ~ 85 % R.H (But without dew condensation)				
Vibration (resistance)	10 – 55 Hz, 0.75 mm, X Y Z each in X, Y and Z directions for 2 hour				
Shock (resistance)	300 m/s ² to 6 directions each 3 times				
Weight	320 g	320 g	180 g	300 g	400 g

* Weight included the weight of box

Function and name of each part



No	Model	Information
①	Process value (PV)	Display the current temperature in the operation screen
②	Set value (SV)	Display the set temperature in the operation screen
③	▲ Up Key	change the operation screen, increase the set value, move to the parameter setting mode
④	▼ Down Key	Decrease the set value, move to the parameter setting mode
⑤	◀ Shift Key	<ul style="list-style-type: none"> Shift to the set value digits Move from operation screen – users Move from operator – setting mode
⑥	MODE Mode Key	<ul style="list-style-type: none"> Move from operation screen – users Move from operator – setting mode
⑦	AIT	Light ON with the PID auto tuning
	OUT	Light ON with the control output operation
	AL1	Light ON with the Alarm1 operation
	AL2	Light ON with the Alarm2 operation
	LBA	Light ON with the Loop break alarm operation

Main function explanation

■ PID auto tuning (A.T) function

Auto tuning function measures, computes and sets the optimum PID or ARW constant automatically. After supplying power in and while temperature is increasing, press the set key **▲** and **▼** key synchronously for 2 sec, to begin the auto tuning. When auto tuning is finished, tuning operation will be ended automatically.

■ **bold** display

When input break (sensor break) occurs or exceeds the maximum temperature range, **bold** will be displayed in the measured value displaying unit.

■ Alarm

● Using the alarm

AX series supports 2 independent alarms (AL1 and AL2). These alarms can allocate AL1 or AL2 signal in the RLY1, RLY2 and RLY3 and be used. If alarm signal is not allocated in the RLY1 to RLY3 then the menu related to the alarm will not be displayed.

● Alarm hold action

If there is no standby action function, supply the power in then the LOW alarm will become ON while temperature is increasing.

In order to prevent the low alarm to become ON during temperature is increasing, add the standby action function so from the point when supplying in the power to until the value goes beyond the set value, it can prevent the low alarm to be operated.

● Alarm output LOCK

If the **RLdH** value is ON, Alarm is not cancelled even if it becomes the alarm cancel condition. If users want to stop the alarm forcibly, please press the **▲** key for approx 2 sec.

■ LBA (Loop Break Alarm)

LBA function starts to measure time from the moment when the PID computed value becomes 0 % or 100 %. Also, from this point, this function detects heater break, sensor break manipulator malfunction and etc by comparing the changed amount of measured value in each set time. Also, it can set the LBA dead band in order to prevent any malfunction to happen in the normal control loop.

① When control output value which obtained by PID operation is 100 %.

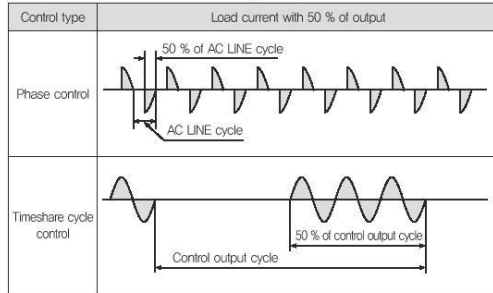
If the temperature does increase more than **LbRu** value within the LBA set time, LBA output will become ON

② When control output value which obtained by PID operation is 0 %.

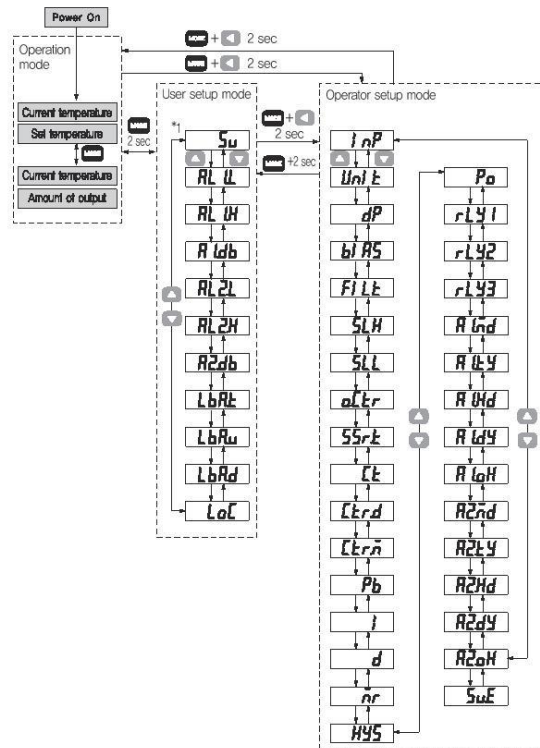
If the temperature does decrease more than **LbRd** value within the LBA set time, LBA output will become ON

■ Timeshare cycle control and phase control of Voltage pulse output

When selecting the control output type as SSR, users will be able to select the types for voltage pulse output. The timeshare cycle control turns ON/OFF the output by proportioning the certain time to an output amount in cycle. Set the cycle of control output in the **Cl** parameter. Within the half cycle of power wave shape, the phase control (depending on an output amount) controls an output amount by computing the output ON phase. However, when using the phase control, users must use the RANDOM ON/OFF type SSR.



Parameter composition



■ Operation mode

Supplying in the power after finish wiring will display the current temperature. Pressing the **mode** key will display the set temperature and output amount alternatively on the set value (SV) displaying unit.

■ User setup mode

User setup mode is the setting mode that sets the set value that is changed by users frequently such as alarm set value and loop break alarm (LBA). It made the parameter of user setup mode to be displayed on the operator setup mode that allows users to set easily (divided the setting level).

■ SV setting

① In Operator Setup Mode, When the value of **SuE** parameter is **on**, you can change the value with **0**, **1**, **2** and press the **mode** key to set up.

② In operator Setup Mode, When the value of **SuE** is **oFF**, you can change the value in **Su** parameter with **0**, **1**, **2** and Press **mode** key to set up.

Symbol (PV)	Lists	Information	Display condition	Default value (SV)
Su	set temperature	EU 0 ~ 100 %	at all times	EU 0%
RL L	Alarm 1 low value	EU 0 ~ 100 % or EUS 0 ~ 100 % (temperature unit)	When RLYn ALn is set	EU 0%
RL H	Alarm 1 high value			EU 100%
Rldb	Alarm 1 dead zone			EU 0%
RL2L	Alarm 2 low value			EU 0%
RL2H	Alarm 2 high value			EU 100%
R2db	Alarm 2 dead zone			EU 0%
LbRt	Loop break alarm time	0 ~ 7200 second	When LBA is set in the RLYn	480
LbRv	Loop break alarm temperature	0 ~ 100 °C (°F)		2
LbRd	Loop break alarm dead zone	0 ~ 100 °C (°F)		2
LoL	KEY LOCK	0 : NO LOCK function 1 : Operator setup mode LOCK, Auto-tuning prohibited 2 : Operator and user setup mode LOCK	at all times	0

■ Operator setup mode

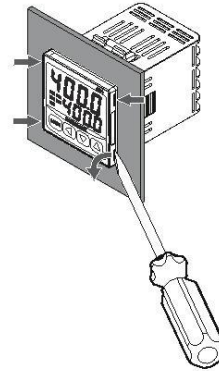
Operator setup mode is the setting mode that sets the specification of temperature controller when engineer installs it for the first time. Pressing the **mode** key and **0** key synchronously in the operation screen or user setup mode will enter into the operator setup **mode** and **0** keys one more time for 2 sec will return to the operation screen.

Symbol (PV)	Lists	Information	Display condition	Default value
INP	Input condition	K1 : K thermocouple (not display the decimal point) K2 : K thermocouple (not display the decimal point) J : J thermocouple R : R thermocouple T : T thermocouple Pt : RTD Pt100 Ω	At all times	K1
Unit t	Temperature unit	°C / °F option	At all times	0C
dP	Decimal point	ON (YES) OFF (NO)	Select decimal point	on
biRS	input compensation	-100 ~ 100 (sensor input value + BIAS)	At all times	0
FlLt	Input filter time	0 ~ 120 sec	At all times	0
SLH	High setting limitation	EU 0 ~ 100 %	At all times	1200
SLL	Low setting limitation	EU 0 ~ 100 %	At all times	-100
oLtr	Control output type	SSr : SSR operating voltage pulse output rLY : Relay output	When output selection 1 or 2	SSr
SSr t	Voltage pulse output type	LYC : Timeshare proportional control PHR : SSR phase control (continuous proportioning)	When selected SSR control output	LYC
Ct	Control output cycle	0 ~ 1000 sec	When SSr t is C/Y or oLtr is RLY	2
Ctrd	Control output action	rEu : Reverse action (heating control) dlr : Direct action (cooling control)	At all times	rEu
Ctrn	Control type	PI d : P,I,D control P : P control (proportional control) onF : ON / OFF control	At all times	PI d
Pb	Proportional band	1 (0.1) ~ EUS 100 %	When it is not ON/OFF control	30
I	Integral time	0 ~ 3600 sec	With PID control	240
d	Derivative time	0 ~ 3600 sec	With PID control	60

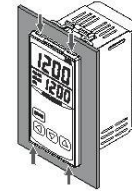
nr	Manual reset	0.0 ~ 100.0 %	With P control	500
HYS	Control hysteresis	EUS 0 ~ 100 % (Temperature unit)	With ON/OFF control	2
Po	Output amount with input break	0 ~ 100 %	At all times	00
rLY1	Relay 1 property	non : Not using RL1 : Alarm 1 output RL2 : Alarm 2 output LbR : LBA output	When output selection is 1 or 2 and oLtr is not RLY	non
rLY2	Relay 2 property	non : Not using RL1 : Alarm 1 output RL2 : Alarm 2 output LbR : LBA output	At all times	RL1
rLY3	Relay 3 property	non : Not using RL1 : Alarm 1 output RL2 : Alarm 2 output LbR : LBA output	At all times (Option)	RL2
R1nd	Alarm 1 mode (Alarm 1 or 2)	non : Not using ---[: High alarm]--- : Low alarm	When AL1 or AL2 is set in RLY 1, 2, 3	---[
R2nd	Alarm 2 mode (Alarm 1 or 2)	---[: Low alarm]--- : Alarm within range]--- : Alarm not within range]---
R1tY	Alarm 1 type	RbS : ABS (Absolute alarm)		RbS
R2tY	Alarm 2 type	dEu : DEV (Deviation alarm)		oFF
R1Hd	Alarm 1 standby mode	oFF : OFF (not using the standby mode)		oFF
R2Hd	Alarm 2 standby mode	on : ON (using the standby mode)		0
R1dY	Alarm 1 delay time	0 ~ 9999 sec		0
R2dY	Alarm 2 delay time			oFF
R1oH	Alarm 1 output LOCK	oFF : Alarm output return action on : Alarm output maintain action		oFF
R2oH	Alarm 2 output LOCK	oFF : No change SV on : Change SV	At all times	on
SuE	Change SV on the operation			

How to disassemble FND from case

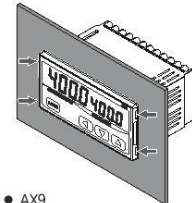
• AX4



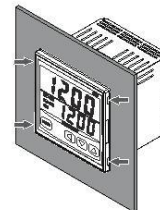
• AX2



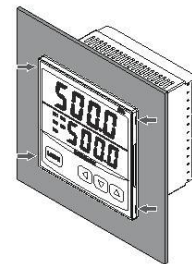
• AX3



• AX7



• AX9

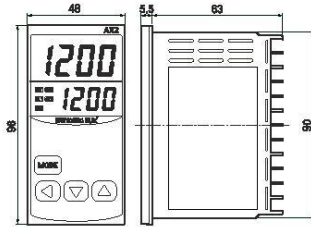


Dimension and panel cutout, connection diagram

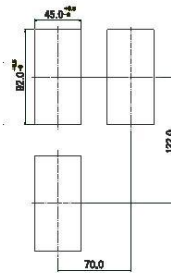
[unit : mm]

AX2

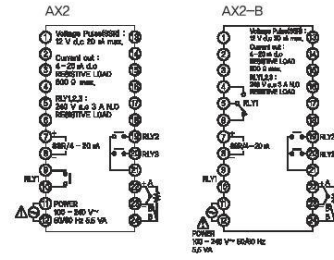
• Dimension



• Panel cutout

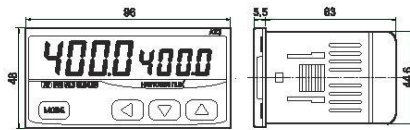


• Connection diagram

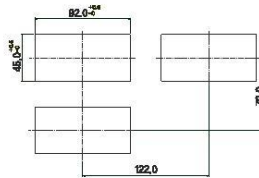


AX3

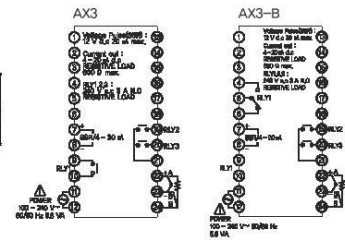
• Dimension



• Panel cutout

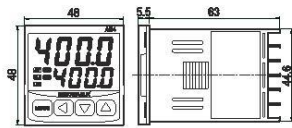


• Connection diagram

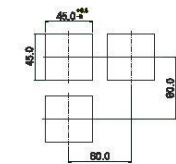


AX4

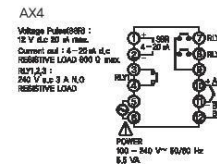
• Dimension



• Panel cutout

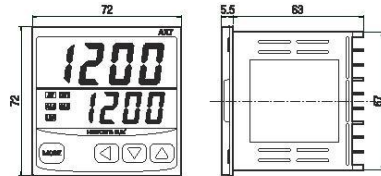


• Connection diagram

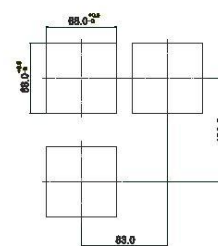


AX7

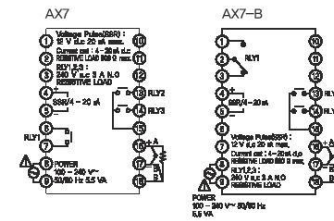
• Dimension



• Panel cutout

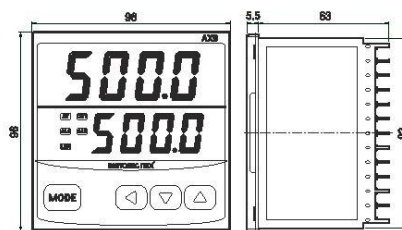


• Connection diagram

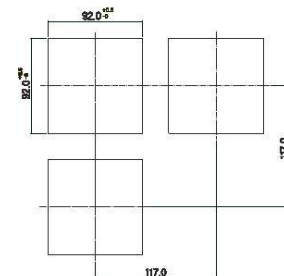


AX9

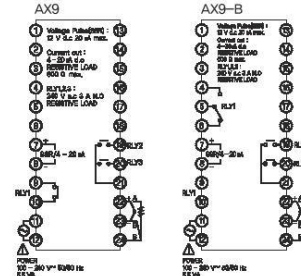
• Dimension



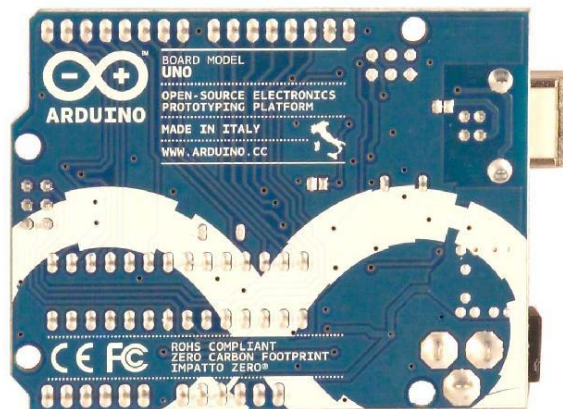
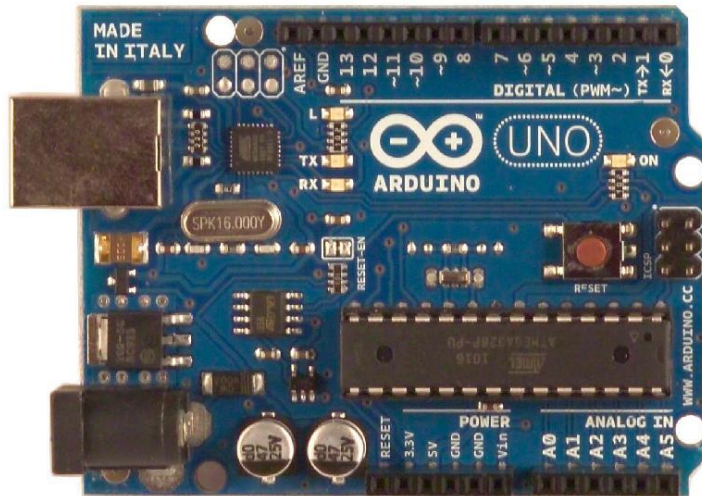
• Panel cutout



• Connection diagram



Arduino Uno



Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz crystal oscillator, a

USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-uno-reference-design.zip](#)

Schematic: [arduino-uno-schematic.pdf](#)

Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN**. The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V**. The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the

board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.

- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB used for the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#).
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **I²C: 4 (SDA) and 5 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega328 ports?](#)

Communication

The Arduino UNO has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega8U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '8U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, [on Windows, a .inf file is required](#). The Arduino

software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega8U2 firmware source code is available . The ATmega8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2. You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

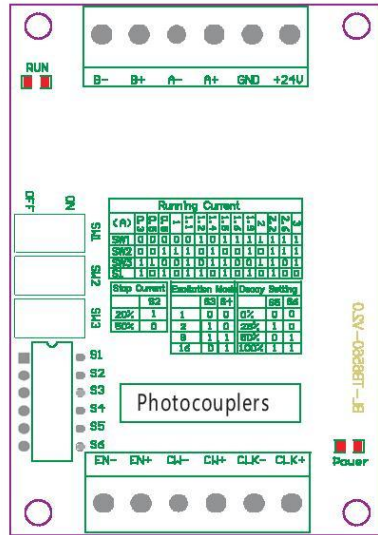
The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the

connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Four screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

Tb6560 stepping motor driver V20



Warning:

1. Check the connection twice! The Tb6560 chipset can be damaged if the motor or the power supply are not connected properly.
2. Dont apply a motor that its rated current is more than 3A to this driver.
3. Do not set the current more than the motor rated current!

Wiring Terminal symbol	Description
+24V, GND	Power positive and negative
A+, A-	Motor phase A
B+, B-	Motor phase B
CLK+, CLK-	Pulse positive and negative
CW+, CW-	Direction positive and negative
EN+, EN-	Enable positive and negative

Note:

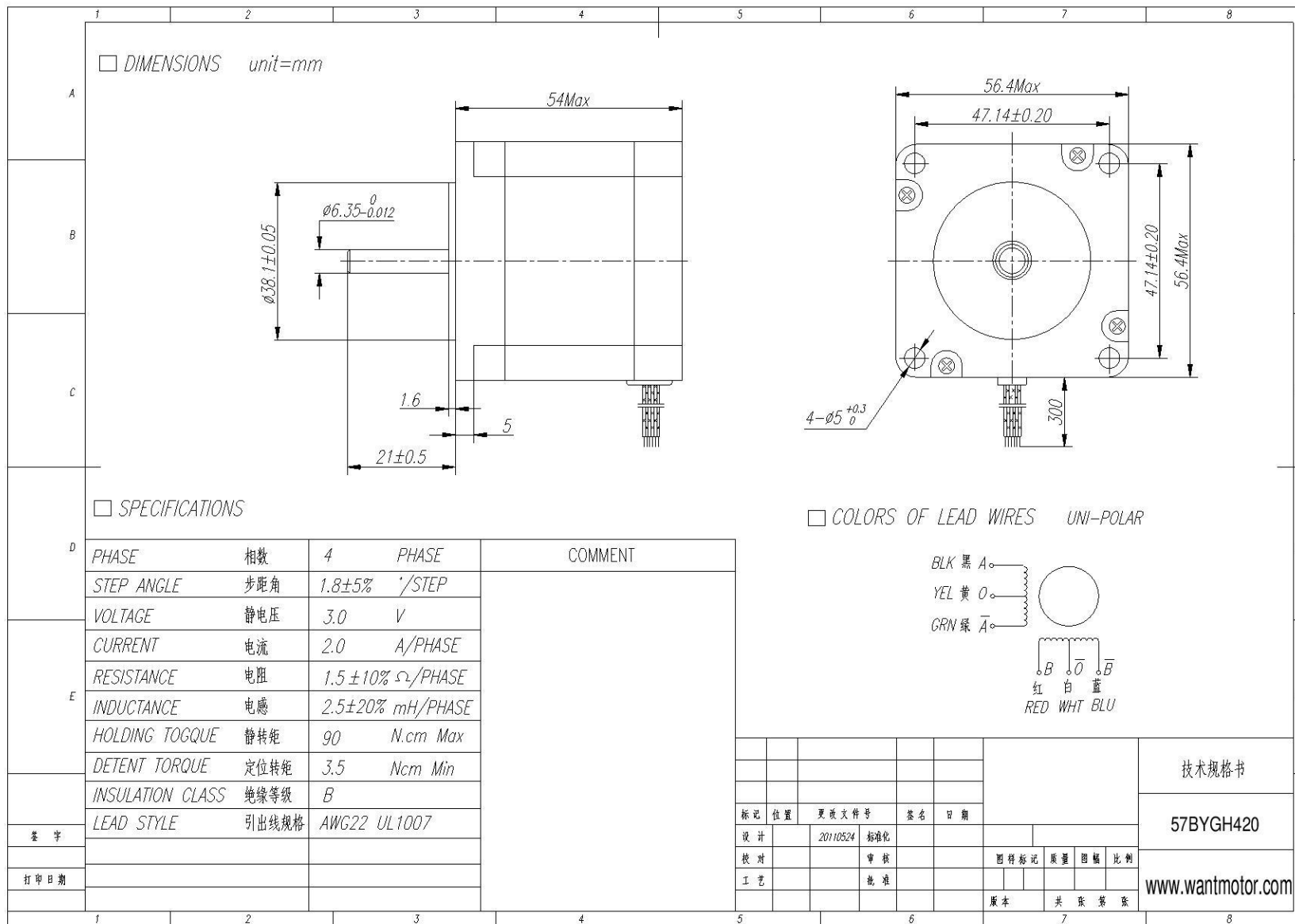
1. 6 input terminals. can be connected as common anode or cathode.
2. The normal input voltage is 5V, if it is more than 5V, than a series resistor is needed. this resistance is 1K case 12V and 2.4K case 24V.
3. when pulse is applied to **CLK**, the stepping motor will rotate, and stop when there is none, and the motor driver will change its current to the half current mode as setting to hold the motor still.
4. Motor rotate clockwise when **CW** is low level and counterclockwise when **CW** is high level.
5. Motor is enable when **EN** is low level and disable when EN is high level.

Running Current														
(A)	0.3	0.5	0.8	1	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.9	2	2.2	2.6	3
SW1	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
SW2	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON
SW3	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	ON
S1	ON	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF

Stop Current	
	S2
20%	ON
50%	OFF

Excitation Mode		
Step	S3	S4
whole	OFF	OFF
half	ON	OFF
1/8	ON	ON
1/16	OFF	ON

Decay Setting		
	S5	S6
0%	OFF	OFF
25%	ON	OFF
50%	OFF	ON
100%	ON	ON



Anexo D. Carta de certificación

Confecciones Peaje Italy

*José Celiar Ropero Torrado – Nit. 5.453.936-0
Calle 3B No. 19A -24B – San Cristóbal Tel. 6550547 - Piedecuesta
Res. DIAN No. 40000186027 Fecha: 2014/01/13 Autoriza del No. 1301 al 1500 habilita
Piedecuesta – Santander*

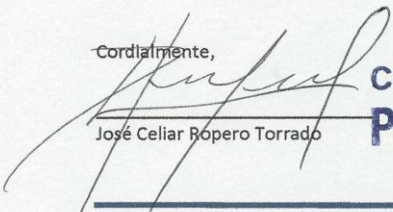
Bucaramanga, 24 de abril de 2015

Ingeniero
David Alfredo Fuentes Díaz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga

Apreciado Ingeniero David Fuentes:

YO José Celiar Ropero Torrado dueño de la empresa CONFECCIONES PEAJE ITALY ubicada en el municipio de Piedecuesta, Santander, me comprometo con la financiación del trabajo de grado titulado "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE CURADO PARA SERIGRAFÍA TEXTIL CON CONTROL DE TEMPERATURA Y ETAPA DE TRANSPORTE PARA CONFECCIONES PEAJE ITALY". El cual será realizado por los estudiantes Oscar Giovanni Serrano Saavedra identificado con el código 2072186 y Marco Antonio Manosalva Collante identificado el código 2072164. Quienes actualmente se encuentran matriculados en el último nivel de ingeniería mecánica, en la Universidad Industrial de Santander.

Cordialmente,


José Celiar Ropero Torrado

**CONFECCIONES
PEAJE ITALY**

Dirección Carrera 32A No. 111-41 barrio el Dorado Floridablanca Celular. 3132463100