

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Área Académica de Ingeniería Mecatrónica



Diseño de un sistema automático para la creación y extracción de marquetas de hielo

Proyecto de graduación para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura

Isaac Araya Rojas

2015071118

Cartago, Agosto de 2020

This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
ACTA DE APROBACIÓN

El Profesor Asesor, da fe de que el presente Proyecto de Graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Carrera de Ingeniería Mecatrónica como requisito para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Estudiante: Isaac Josué Araya Rojas

Nombre del Proyecto: Diseño de un sistema automático para la creación y extracción de marquetas de hielo

X 

Ing. Ana María Murillo Morgan
Profesor Asesor
Firmado por: ANA MARIA MURILLO MORGAN (FIRMA)

Cartago, lunes 10 de agosto del 2020.

Declaratoria de Autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema y asesoramiento técnico de miembros del equipo de mantenimiento de la empresa Hielo Liga S.A.

Asumo completa responsabilidad sobre el trabajo realizado y por el correspondiente contenido.



Cartago, Agosto 2020

Isaac Josué Araya Rojas

Céd: 2-0771-0632

Resumen

El proceso productivo de creación y extracción del hielo en marqueta en la empresa Hielo Liga S.A. es el que genera mayor gasto. Actualmente, la empresa cuenta con tres trabajadores los cuales dedican el 75% de su día a esta actividad. El trabajo es en su mayoría manual el cual se basa en llenar los moldes de marqueta con agua, sujetarlos con la grúa pórtico que se tiene desde una posición de inicio; y moverlos manualmente hasta las coordenadas deseadas, entre otras actividades.

Como una solución al problema, se rediseñó la grúa pórtico con el que cuenta la empresa; además, se diseñó la automatización de los movimientos a través del área de trabajo, el llenado automático del molde y la sujeción de los moldes de dos en dos. Todo esto controlado por un PLC, el cual es el cerebro de todo el sistema, y a través del cual, mediante un HMI, el usuario tiene total control. Por último, se creó una alerta automática para las variables críticas de temperatura y conductividad eléctrica del agua donde se lleva el proceso productivo

Palabras clave: grúa pórtico, automatización, mecatrónica, fábrica de hielo, marqueta de hielo

Abstract

The production process involving the creation and extraction of ice blocks in the company Hielo Liga S.A. is the one that generates the highest expense. Currently, the company has three workers who dedicate 75% of their shift to this activity. The task is mostly manual, which is based on filling the molds with water, holding them with the gantry crane from a starting position, and manually moving them to the desired coordinates, among other activities.

To provide a solution to their situation, the gantry crane that the company has was redesigned. In addition, the automation of movements through the work area, the automatic filling of the mold and the clamping of the molds two by two were also designed. All these improvements were controlled by a PLC, which is the brain of the entire system, and which by means of an HMI the user has total control of. Finally, an automatic alert was created for the critical variables of temperature and electrical conductivity of the water where the production process takes place.

Keywords: gantry crane, automation, mechatronics, ice factory, ice block

Dedicatoria

Dedico el presente proyecto de graduación a mis padres, Xiomara y Henry, por el apoyo incondicional que me han dado a lo largo de mi vida y carrera universitaria. Por todos, los sacrificios que significa vivir lejos de casa. Agradecerles por toda la disciplina y trabajo duro que me enseñaron desde mi infancia. Gracias por acompañarme en la finalización de mi carrera y siempre recordando que cada éxito mío también es un éxito de ellos.

A mis demás amigos y familiares por poner ese granito de arena que siempre se ocupa cuando no se está en el mejor momento. Cada palabra de apoyo fue vital para cargarme de energía y enfrentar todos los problemas.

A mis amigos de universidad: Heiner B., Kevin, Rubén, Carlos F., Heiner G., Carlos M., Gabriel, Esteban, Luis y Sebas, por ser el mejor equipo posible y ser una amistad inigualable en todo este proceso.

Agradecimientos

Agradecer profundamente a la empresa Hielo Liga S.A., su dueño José Araya, por abrirme las puertas, y a todos sus colaboradores por el apoyo y ayuda que tuve durante el desarrollo del proyecto.

Al ingeniero José David Vega por ser mi tutor de empresa y por darme todas las herramientas necesarias para la finalización exitosa de mi proyecto. También, por estar ahí desde el día uno apoyándome.

A la profesora Ana María Murillo, por ser mi tutora ayudándome en derribar cualquier pared que se me ponía en frente; además, de los excelentes consejos que me brindó.

Índice General

Capítulo 1 . Introducción.....	18
1.1 Entorno del proyecto	18
1.2 Definición del problema.....	18
1.2.1 Generalidades.....	18
1.2.2 Justificación	19
1.2.3 Síntesis del problema	19
1.3 Enfoque de la solución.....	19
1.4 Objetivo General	21
1.5 Objetivos Específicos.....	21
Capítulo 2 . Marco Teórico	22
2.1 Introducción.....	22
2.2 Proceso productivo de maqueta de hielo.....	22
2.2.1 Sistemas de refrigeración	22
2.2.2 Componentes de un sistema de refrigeración	22
2.2.3 Refrigeración Salmuera (o indirecta)	23
2.2 Diseño mecánico.....	24
2.2.1 Motores eléctricos.....	24
2.2.2 Servomotores CC	25
2.2.2 Servomotores CA.....	25
2.2.3 Piñón y cremallera	25
2.2.4 Fórmula de Lewis para engranes.....	27
2.2.5 Deslizador de rodamiento lineal.....	28
2.2.6 Rueda y guía angular.....	29
2.2.7 Tornillo de avance.....	29

2.2.8 Tornillo de bola	30
2.2.9 Mecanismo de bandas.....	30
2.2.10 Yugo Escocés.....	31
2.2.10 Agarre magnético.....	31
2.8.11 Válvula solenoide.....	32
2.2.12 Ventaja mecánica	32
2.2.13 Relación de velocidad.....	33
2.3 Automatización.....	33
2.3.1 Controlador Lógico Programable	34
2.3.2 Human-Machine Interface (HMI).....	35
2.3.3 Sistemas a lazo cerrado	35
2.4 Internet of Things (IoT).....	36
2.4.1 Sensores de Conductividad Eléctrica de Contacto	37
2.4.2 Sensores de Temperatura	37
2.4.3 Microcontroladores	38
2.4.4 Thingspeak	38
Capítulo 3 .Descripción del Proceso Productivo y Alcance del Proyecto	39
3.1 Aspectos generales.....	39
3.2 Creación de la maqueta de hielo	41
3.2.1 Paso 1. Colocación del molde	42
3.2.2 Paso 2. Llenado del molde	43
3.2.3 Paso 3. Activación del sistema de refrigeración.....	44
3.3 Extracción de la maqueta de hielo	44
3.3.1 Paso 4. Extracción del molde del tanque de Salmuera.....	45
3.3.2 Paso 5. Extracción de la maqueta del molde.....	47

3.3.3 Paso 6. Almacenaje de la marqueta en la cámara de refrigeración.....	47
3.4 Estado del arte.....	47
3.5 Gastos actuales.....	49
3.6 Lista de requerimientos.....	49
Capítulo 4 . Alternativas de Solución.....	51
4.1 Selección de mecanismos de transmisión de movimiento ejes XYZ.....	52
4.2 Selección del mecanismo de sujeción automático del molde.....	55
4.2 Selección de controlador general.....	57
4.3 Motores a utilizar para el movimiento XYZ.....	58
4.4 Selección del sensor de conductividad eléctrica.....	59
4.5 Selección del sensor de temperatura.....	60
4.6 Selección de microcontrolador de variables críticas.....	62
Capítulo 5 . Descripción de la Solución.....	65
5.1 Rediseño de la grúa pórtico.....	65
5.1.1 Movimiento XY.....	66
5.1.2 Mecanismo de agarre del molde.....	72
5.1.3 Configuración del llenado automático del molde.....	73
5.1.4 Movimiento en Z.....	75
5.2 Diseño de la automatización.....	80
5.2.1 Configuración.....	80
5.2.2 Programación Lógica.....	87
5.3 Diseño de aplicación IoT.....	97
5.3.1 Configuración.....	97
5.3.2 Programación Lógica.....	100
Capítulo 6 .Resultados.....	103

6.1 Rediseño de la grúa pórtico	103
6.2 Diseño de la automatización	109
6.3 Diseño de aplicación IoT	116
6.4 Rentabilidad del proyecto.....	118
Capítulo 7 Conclusiones y Recomendaciones	120
7.1 Conclusiones.....	120
7.2 Recomendaciones	121
Referencias Bibliográficas	122
Apéndices.....	125
Apéndice A.1	125
Apéndice A.2.....	126
Apéndice A.3.....	127
Apéndice A.4.....	128
Apéndice A.5.....	129
Anexos	136
Anexo B.1	136
Anexo B.2	137
Anexo B.3	138
Anexo B.4	139
Anexo B.5	140
Anexo B.6	141

Índice de Figuras

Figura 1.1 Fases en el desarrollo de un producto. [1]	20
Figura 2.1 Esquema sistema de refrigeración. [2]	23
Figura 2.2 Nomenclatura de los dientes de engranes rectos. [5].....	26
Figura 2.3 Configuración de piñón y cremallera. [5]	27
Figura 2.4 Descripción de un deslizador de rodamientos lineal. [6].....	29
Figura 2.5 Rueda con canal angular.....	29
Figura 2.6 Configuración de un tornillo de avance.	30
Figura 2.7 Configuración de un tornillo de bola. [6]	30
Figura 2.8 Transmisión de potencia por medio de bandas. [5].....	31
Figura 2.9 Yugo escocés. [4].....	31
Figura 2.10 Funcionamiento válvula solenoide. [7].....	32
Figura 2.11 Diagrama de un PLC. [8]	34
Figura 2.12 Diseño de un sistema a lazo cerrado. [8]	36
Figura 2.13 Sensor Conductivo de Contacto. [9].....	37
Figura 3.1 Espacio de trabajo del proceso productivo. (Elaboración propia).....	39
Figura 3.2 Diagrama de flujo general del proceso productivo. (Elaboración propia)	40
Figura 3.3 Configuración de cuadrícula de los moldes. (Elaboración propia).....	41
Figura 3.4 Diagrama de flujo para la creación de marquetas. (Elaboración propia)	42
Figura 3.5 Colocación del molde. (Elaboración propia)	43
Figura 3.6 Llenado del molde. (Elaboración propia)	44
Figura 3.7 Diagrama de flujo para la extracción de marquetas. (Elaboración propia)	45
Figura 3.8 Actual grúa pórtico. (Elaboración propia)	46
Figura 3.9 Teclé de control de giro del motor. (Elaboración propia)	46
Figura 3.10 Sujeción de los moldes. (Elaboración propia)	47
Figura 3.11 Modelo de línea de producción refrigeración salmuera. [13]	48
Figura 4.1 Diagrama guía para la selección de propiedades. [14].....	60
Figura 5.1 Base del Sistema Pórtico. (Elaboración Propia).....	66

Figura 5.2 Momentos relacionados al deslizador de rodamiento lineal. [15]	67
Figura 5.3 Plato para el movimiento horizontal. (Elaboración Propia)	71
Figura 5.4 Configuración para el movimiento en X. (Elaboración Propia)	71
Figura 5.5 Yugo escocés. [4].....	72
Figura 5.6 Yugo Escocés Modificado. (Elaboración Propia).....	73
Figura 5.7 Configuración tubería y válvula solenoide. (Elaboración Propia)	74
Figura 5.8 Diseño para guía de mangueras. (Elaboración Propia).....	75
Figura 5.9 Abrazadera de la manguera. [16]	75
Figura 5.10 Configuración tornillo de bola. (Elaboración Propia).....	76
Figura 5.11 Plato de Unión eje YZ. (Elaboración Propia)	76
Figura 5.12 Configuración con la unión Eje YZ. (Elaboración Propia).....	77
Figura 5.13 Configuración del brazo de movimiento en Z. (Elaboración propia) ..	77
Figura 5.14 Soporte base. (Elaboración Propia).....	78
Figura 5.15 Configuración final para el movimiento en Z. (Elaboración Propia) ...	78
Figura 5.16 Configuración inicial. (Elaboración Propia)	81
Figura 5.17 Conexión servomotores. (Elaboración Propia)	82
Figura 5.18 Configuración inicial de los amplificadores. (Elaboración Propia)	83
Figura 5.19 Configuración de mecanismo ejes X y Y. (Elaboración Propia).....	84
Figura 5.20 Configuración de mecanismo ejes Z. (Elaboración Propia)	84
Figura 5.21 Configuración Básica Servomotor. (Elaboración Propia).....	85
Figura 5.22 Fase del pulso de salida del codificador. (Elaboración Propia)	85
Figura 5.23 Configuración de parte de componentes. (Elaboración Propia)	86
Figura 5.24 Configuración HMI. (Elaboración propia).....	87
Figura 5.25 Diagrama de flujo bloque Manual. (Elaboración propia).....	91
Figura 5.26 Diagrama de flujo bloque Home. (Elaboración propia)	92
Figura 5.27 Diagrama de flujo del bloque AUTO. (Elaboración Propia)	93
Figura 5.28 Diagrama de flujo del proceso de creación. (Elaboración Propia)	94
Figura 5.29 Diagrama de flujo del proceso de extracción. (Elaboración Propia) ..	95
Figura 5.30 Diagrama de conexión.....	98
Figura 5.31 Configuración del canal en ThingSpeak. (Elaboración propia)	99
Figura 5.32 Configuración en IFTTT. (Elaboración propia).....	100

Figura 5.33	Diagrama de flujo programación ESP32. (Elaboración Propia)	102
Figura 6.1	Rediseño final del sistema de grúa pórtico. (Elaboración Propia)	103
Figura 6.2	Configuración de simulación de la estructura. (Elaboración propia)..	104
Figura 6.3	Configuración del plato horizontal. (Elaboración propia)	105
Figura 6.4	Configuración del plato horizontal 2. (Elaboración propia)	105
Figura 6.5	Configuración del plato de unión eje YZ. (Elaboración propia).....	106
Figura 6.6	Configuración del brazo de extensión. (Elaboración propia)	107
Figura 6.7	Configuración de la extensión de agarre. (Elaboración propia).....	108
Figura 6.8	Configuración Base Soporte. (Elaboración propia).....	108
Figura 6.9	Pantalla de menú. (Elaboración propia)	110
Figura 6.10	Pantalla de AUTO. (Elaboración propia)	110
Figura 6.11	Pantalla de falla. (Elaboración propia).....	111
Figura 6.12	Pantalla FALLA HISTORIAL. (Elaboración propia).....	111
Figura 6.13	Pantalla MANUAL-1. (Elaboración propia)	112
Figura 6.14	Pantalla MANUAL-2. (Elaboración propia)	112
Figura 6.15	Pantalla SERVO CONFIG. (Elaboración propia).....	113
Figura 6.16	Pantalla SERVO EJE Z INICIO. (Elaboración Propia).....	113
Figura 6.17	Pantalla SERVO EJE X&Y POS CONFIG. (Elaboración Propia)	114
Figura 6.18	Pantalla ACTIVAR SERVO POS. (Elaboración Propia)	115
Figura 6.19	Pantalla SERVO EJES X,Y ACTIVACION (CREACION). (Elaboración Propia).....	115
Figura 6.20	Pantalla E/S MONITOR. (Elaboración Propia)	116
Figura 6.21	Pantalla Información. (Elaboración Propia)	116
Figura 6.22	Circuito prueba. (Elaboración Propia).....	117
Figura 6.23	Pruebas graficadas en ThingSpeak. (Elaboración propia)	117
Figura 6.24	Correo de notificación. (Elaboración propia)	118

Índice de Tablas

Tabla 3.1	Gastos operativos para la producción de la maqueta de hielo.	49
Tabla 3.2	Lista de requerimientos.	50
Tabla 4.1	Etapas automatizables.	51
Tabla 4.2	Opciones de mecanismos de transmisión de potencia.	52
Tabla 4.3	Selección final movimiento XY.	54
Tabla 4.4	Selección final movimiento Z.	55
Tabla 4.5	Opciones sujeción automático del molde.	56
Tabla 4.6	Selección final agarre automático del molde.	57
Tabla 4.7	Modelo para PLC y HMI.	58
Tabla 4.8	Ventajas y desventajas de los servomotores.	58
Tabla 4.9	Selección servomotores.	59
Tabla 4.10	Opciones del sensor de temperatura.	61
Tabla 4.11	Selección final sensor de temperatura.	62
Tabla 4.12	Opciones de microcontrolador.	63
Tabla 4.13	Selección microcontrolador.	64
Tabla 5.1	Detalles generales.	65
Tabla 5.2	Atributos del piñón y cremallera.	66
Tabla 5.3	Momentos relacionados al deslizador de rodamiento lineal.	67
Tabla 5.4	Atributos del dimensionamiento del motor en el eje X.	68
Tabla 5.5	Atributos del servomotor en el eje X.	69
Tabla 5.6	Atributos cálculo del piñón y cremallera.	70
Tabla 5.7	Atributos del dimensionamiento del motor en el eje Y.	71
Tabla 5.8	Atributos del servomotor.	73
Tabla 5.9	Atributos del servomotor.	79
Tabla 5.10	Componentes preseleccionados.	80
Tabla 5.11	Amplificadores seleccionados.	82
Tabla 5.12	Modelos de dispositivo por eje.	86
Tabla 5.13	Función de cada bloque del diagrama de escalera.	88
Tabla 5.14	Mapeo de entradas.	89
Tabla 5.15	Sub-bloques de MAIN.	90

Tabla 5.16	Sub-bloques de MRJ4_Z-AXIS, MRJ4_X-AXIS y MRJ4_Y-AXIS.	96
Tabla 5.17	Bibliotecas necesarias.	98
Tabla 5.18	Llaves API para solicitud http.	99
Tabla 5.19	Variables para inicializar.	101
Tabla 6.1	Resultados de la simulación para la estructura.	104
Tabla 6.2	Resultados de la simulación para el plato horizontal.	105
Tabla 6.3	Resultados de la simulación para plato horizontal 2.	106
Tabla 6.4	Resultados de la simulación del plato de unión eje YZ.	106
Tabla 6.5	Resultados de la simulación para el brazo de extensión.	107
Tabla 6.6	Resultados de la simulación para la extensión de agarre.	108
Tabla 6.7	Resultados de la simulación para la Base Soporte.	109
Tabla 6.8	Cotización de inversión inicial.	118
Tabla 6.9	Flujo de caja.	119
Tabla 6.10	Indicadores económicos del proyecto.	119

Capítulo 1 . Introducción

1.1 Entorno del proyecto

El proyecto presentado en este escrito se realizó en la empresa Hielo Liga S.A. ubicada en el cantón central de Alajuela, fundada en el año 2000 por el señor José Araya Marín. Dicha empresa, se dedica a la producción y venta de hielo en sus diferentes presentaciones, como lo son: hielo en cubos, hielo molido y marqueta de hielo. Según la definición de PYME dada por el Ministerio de Economía, Industria y Comercio (MEIC), la empresa es calificada como PYME MICRO Empresa debido a la cantidad promedio de trabajadores, las ganancias anuales y los activos que poseen.

Actualmente la empresa cuenta con siete máquinas de hielo en cubitos las cuales son completamente automáticas; pero de manera contraria, el proceso de la obtención de la marqueta de hielo es en su mayoría manual. Además, son cinco los trabajadores que realizan todos los procesos de producción y empaquetamiento del hielo en sus diferentes presentaciones.

1.2 Definición del problema

1.2.1 Generalidades

En la empresa Hielo Liga S.A. se tienen dos espacios destinados a la producción de marquetas de hielo, los cuales cuentan con la capacidad de almacenar 72 moldes de marquetas de hielo con dimensiones de (40x 20 x 80) cm por ciclo de producción con una duración de 30 horas por ciclo. El proceso es manual y les toma 4 horas diarias a tres trabajadores dedicados exclusivamente a esta labor. Otro aspecto por considerar es que Hielo Liga ofrece un precio mayor por unidad de marqueta que la competencia, esto debido a que al ser una PYME no cuenta con el poder adquisitivo de la competencia, lo que lleva a que no sean capaces de renovar su maquinaria constantemente por otras más eficientes o que puedan automatizar en ningún nivel sus procesos productivos.

El proceso de creación de marquetas de hielo no siempre es exitoso, ya que este depende de variables críticas como lo son la temperatura y salinidad.

Actualmente no se tiene un procedimiento definido a seguir para poder tener los valores adecuados de esta variable, se utiliza la experiencia de los colaboradores, lo que causa que por error humano en la medición se pueda perder producto terminado.

1.2.2 Justificación

El proceso de producción de marquetas de hielo es el proceso productivo más caro que tiene la empresa Hielo Liga S.A. por lo que es de urgencia disminuir los costos de producción. Actualmente dos trabajadores gastan alrededor de 4 horas diarias en esta actividad distribuidas entre las etapas iniciales o finales del proceso, esto genera un costo de personal de alrededor de ¢ 375 000 mensuales solo para esta actividad.

Además, pérdidas debida a la baja calidad de la marqueta, ocasionadas por factores como la baja salinidad del agua o incorrecta temperatura, provocan pérdidas de ¢ 100 000 mensuales, generando que el precio por unidad se eleve ¢ 1000 por encima de la competencia. Con respecto a lo anterior, se tiene la necesidad de automatizar este proceso para disminuir costos y ser más competitivos en precio, pero siempre manteniendo la calidad que caracteriza a la empresa.

1.2.3 Síntesis del problema

El actual proceso manual que se tiene para la producción de marquetas de hielo genera altos costos para Hielo Liga S.A. perdiendo competitividad en el mercado por el precio unitario del producto.

1.3 Enfoque de la solución

Para llevar a cabo la solución del presente proyecto, se utilizó como base el diseño y desarrollo de producto explicado por K. Ulrich y S. Eppinger en su libro llamado "Diseño y desarrollo de productos". En la Figura 1.1, se puede notar las diferentes fases que se tienen para llegar a un producto final.



Figura 1.1 Fases en el desarrollo de un producto. [1]

La etapa de planeación (fase 0) se basó en realizar un diagnóstico acerca de la grúa pórtico que se tiene actualmente, al igual que un análisis de cómo se realiza el proceso productivo y cuáles son sus variables críticas. A partir de esto, se generaron necesidades que a su vez dieron a requerimientos con los que se empezó la fase uno o de desarrollo de concepto. Esta fase se enfocó en la creación de diferentes alternativas de solución que pudieran cumplir con los requerimientos propuestos. Se hicieron bocetos, diagramas de flujo y modelado en 3D de las diferentes opciones. Se plantearon las ventajas y desventaja de cada alternativa para seleccionar la solución adecuada y así empezar a desarrollar la fase dos.

Una vez seleccionada la solución adecuada se diseñaron los diferentes subsistemas que tiene la solución (rediseño de la grúa pórtico, automatización y aplicación de IoT). Se realizó una selección preliminar de los componentes de cada subsistema. En la fase tres, se dimensionaron todos los componentes seleccionados anteriormente para crear un diseño detallado de la solución. Además, se hizo la programación de la automatización y la aplicación de IoT.

Por último, se realizaron simulaciones de cada uno de los subsistemas para realizar la validación de la solución, al igual que entrar en un proceso de refinamiento para cumplir completamente las expectativas del producto esperadas por la empresa.

1.4 Objetivo General

Diseñar un sistema automatizado de creación y extracción de marquetas de hielo con la medición de variables de temperatura y salinidad del agua para la verificación de la calidad del producto.

1.5 Objetivos Específicos

- Diagnosticar el estado actual de los mecanismos con los cuales se realiza la extracción de la marqueta de hielo.

Entregable: levantamiento de requisitos y estado del arte.

- Seleccionar los mecanismos adecuados para el cumplimiento de los requerimientos para la grúa pórtico.

Entregable: Tablas comparativas entre diferentes opciones de mecanismos

- Establecer un sistema mecatrónico que realice las rutinas de automatización y actualización de los datos en la nube en tiempo real.

Entregable: programación del CPU y correo de notificación de las variables críticas.

- Validar con los expertos en el proceso y de mantenimiento de la empresa, la integración de los sistemas para el éxito de los resultados.

Indicador: pruebas de concepto y validación por medio de simulaciones con los encargados de la empresa.

Capítulo 2 . Marco Teórico

2.1 Introducción

El marco teórico que se desarrolla a continuación permite al lector conocer los conceptos básicos necesarios para entender el desarrollo de la solución. Se inicia con el entendimiento de los diferentes factores que hay que considerar en el proceso productivo de la maqueta de hielo. Seguidamente, la descripción de los mecanismos a utilizar para cambiar el actual sistema pórico con el que cuenta la empresa. De igual forma, los conceptos de resistencia mecánica y movimiento dinámico claves en la solución. Después, se mencionarán los conceptos relevantes para comprender de inicio a fin el proceso de automatización descrito en la solución. En resumen, se dividirá en cuatro grupos por conceptos relacionados con el tema de: proceso productivo de la maqueta de hielo, diseño mecánico, automatización y IoT.

2.2 Proceso productivo de maqueta de hielo

2.2.1 Sistemas de refrigeración

Refrigeración es un término utilizado para describir sistemas térmicos que mantienen un espacio de proceso o material a una temperatura inferior a la disponible en condiciones ambientales. El calor se transfiere de los materiales a enfriar a una sustancia de baja temperatura denominada refrigerante. El refrigerante se enfría por procesos físicos que bombean calor al ambiente. Estos aplican varios fenómenos físicos, tales como cambios de fase, calentamiento sensible, efectos termoeléctricos, extracción de trabajo por dispositivos mecánicos y reacciones químicas endotérmicas. La energía almacenada en forma de hielo, la sublimación de dióxido de carbono sólido y los líquidos fríos se incluyen en los procesos descritos por la palabra refrigeración. [2]

2.2.2 Componentes de un sistema de refrigeración

En la Figura 2.1 se muestra el esquema base para cualquier sistema de refrigeración:

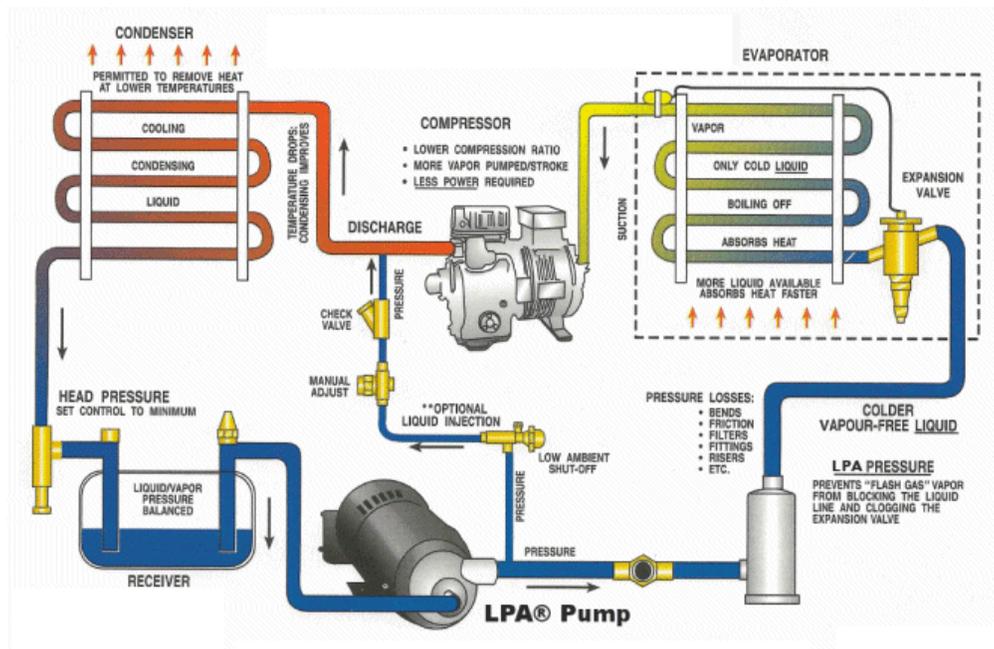


Figura 2.1 Esquema sistema de refrigeración. [2]

- Compresor: la función principal del compresor en el proceso de refrigeración es extraer el vapor a baja temperatura y presión del evaporador a través de la línea de presión.
- Evaporador: la función principal del evaporador es eliminar el exceso de calor del producto que se está enfriando, a través del refrigerante líquido.
- Condensador: el condensador extrae calor del refrigerante al aire exterior. El vapor de alta presión dentro del condensador se enfría hasta el punto en que se convierte en un refrigerante líquido una vez más, mientras retiene algo de calor. El líquido refrigerante fluye desde el condensador a la línea de líquido.
- Válvula de expansión: la válvula luego reduce la presión del refrigerante a medida que pasa a través del orificio, que se encuentra dentro de la válvula.
- Refrigerante: el tipo de refrigerante utilizado dependerá de las capacidades de presión del sistema y las temperaturas que deben alcanzarse durante la refrigeración.

2.2.3 Refrigeración Salmuera (o indirecta)

Este sistema incorpora un líquido intermedio para transportar líquido refrigerado entre el equipo de refrigeración y el proceso. Se emplea donde el

espacio o producto a enfriar se separa del equipo de condensación. El agua, la salmuera o algún otro líquido adecuado se enfría mediante un refrigerante de expansión directa y se bombea a los espacios o productos que se refrigeran. En estas aplicaciones, el líquido enfriado se llama refrigerante secundario. Los refrigerantes secundarios circulan directamente al producto o recipiente para refrigerarlos o indirectamente a varios lugares utilizando bobinas de transferencia de calor de enfriamiento por aire. [2]

La ventaja de la refrigeración indirecta es que el proceso de enfriamiento se mantiene separado del producto o recipiente que se está enfriando. Este método es útil cuando la fuga de refrigerante y aceite de la tubería causaría una contaminación indeseable o daños al producto. [2]

2.2 Diseño mecánico

2.2.1 Motores eléctricos

Una máquina eléctrica es un enlace entre un sistema eléctrico y un sistema mecánico. El proceso de convertir energía de una de estas formas a la otra es la conversión de energía electromecánica. En estas máquinas, el proceso es reversible. Si la conversión es de mecánica a eléctrica, la máquina está actuando como un generador, y si la conversión es de eléctrica a mecánica, la máquina está actuando como un motor. [3]

Tres tipos de máquinas eléctricas se utilizan ampliamente para la conversión de energía electromecánica: DC, inducción y motores síncronos. Otros tipos de motores son el imán permanente (PM), la histéresis y los motores paso a paso. La conversión de energía eléctrica a mecánica se basa en dos principios electromagnéticos: cuando un conductor se mueve dentro de un campo magnético, se induce voltaje en el conductor; simultáneamente, cuando un conductor que transporta corriente se coloca en un campo magnético, el conductor experimenta una fuerza mecánica. [3]

En un motor, un sistema eléctrico hace que la corriente fluya a través de conductores colocados en el campo magnético y se ejerce una fuerza sobre cada

conductor. Si los conductores se colocan en una estructura que puede girar libremente, se produce un par electromagnético que hace que la estructura gire. Esta estructura giratoria se llama rotor. La parte de la máquina que no se mueve y proporciona la fuerza magnética se llama estator. Por lo general, este es el marco exterior de la máquina o el motor, con la excepción de casos especiales como rodillos motorizados. [3]

2.2.2 Servomotores CC

Los servomotores más populares son los servomotores de CC de imán permanente (PM) que se han adaptado de los motores convencionales de PM DC. Estos servomotores generalmente se clasifican en tipo cepillo y sin cepillo. Los servomotores PM DC de tipo cepillo incluyen aquellos con rotores de heridas y aquellos con armaduras de tipo bobina de disco y copa de menor inercia y menor peso. Los servomotores sin escobillas tienen rotores PM y estatores de heridas. [4]

2.2.2 Servomotores CA

Los servomotores que más se utilizan en aplicaciones industriales, ya que en pequeños prototipo u diseños no harían sentido debido a sus características, son los de corriente alterna (CA). Estos aunque tienen baja eficiencia, presentan adaptabilidad a un par fuerte y condiciones de trabajo de alta velocidad. Existen servomotores CA los cuales utilizan codificadores incorporados con controladores para proporcionar retroalimentación y control de lazo cerrado sobre su posición, lo que genera alta precisión en sus movimientos. [4]

2.2.3 Piñón y cremallera

Los engranes rectos tienen dientes paralelos al eje de rotación y se emplean para transmitir movimiento de un eje a otro eje paralelo. De todos los tipos, el engrane recto es el más sencillo, razón por la cual se usa para desarrollar las relaciones cinemáticas básicas de la forma de los dientes, las cuales se listan a continuación. [5]

$$P = \frac{N}{D} \quad (2.1)$$

$$m = \frac{d}{N} \quad (2.2)$$

$$p = \frac{\pi * d}{N} = \pi * m \quad (2.3)$$

Donde P es el paso diametral (dientes por pulgada), N es el número de dientes, d es el diámetro de paso (pulg), m es el módulo (mm), d es el diámetro de paso (mm) y p es el paso circular (mm). En la Figura 2.1 se muestra de forma visual la localización de cada variable mencionada anteriormente.

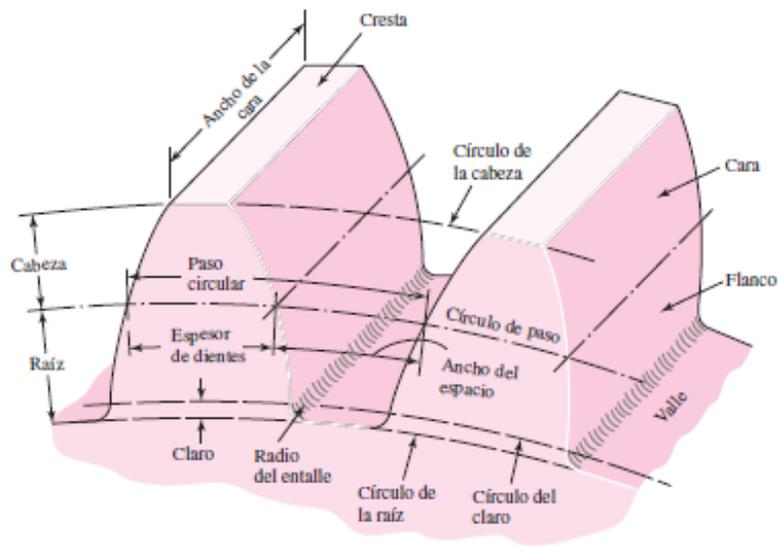


Figura 2.2 Nomenclatura de los dientes de engranes rectos. [5]

Un piñón es el menor de dos engranes acoplados. Se puede considerar a una cremallera como un engrane recto con un diámetro de paso infinitamente grande. Por consiguiente, la cremallera tiene un número infinito de dientes y un círculo base que se localiza a una distancia infinita desde el punto de paso. Los lados de los dientes de involutas de una cremallera son líneas rectas que forman un ángulo respecto de la línea entre centros igual al ángulo de presión. La configuración de cremallera y piñón se muestra en la Figura 2.3. [5]

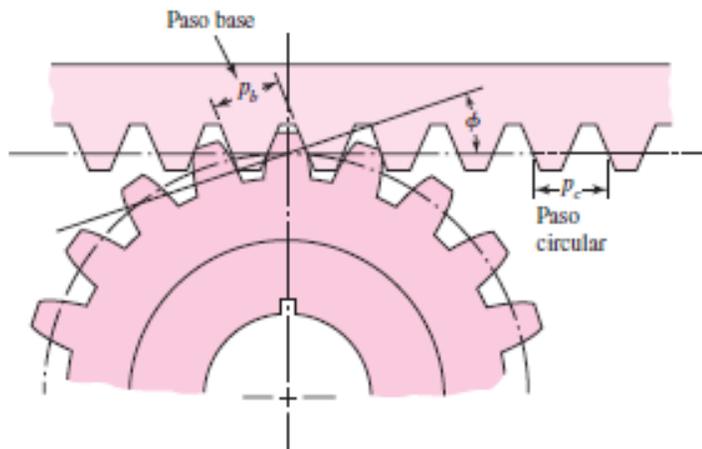


Figura 2.3 Configuración de piñón y cremallera. [5]

2.2.4 Fórmula de Lewis para engranes

Wilfred Lewis introdujo una ecuación para estimar el esfuerzo de flexión en dientes de engranes en la que interviene la forma de los mismos. La ecuación, que fue dada a conocer en 1892, aún sigue siendo la base de la mayoría de los diseños de engranes [5]. La cual tiene como forma final lo siguiente:

$$\sigma = \frac{W^t * P}{F * Y} \quad (2.4)$$

$$Y = \frac{2 * x * P}{3} \quad (2.5)$$

Donde

- σ es el esfuerzo máximo.
- W^t es la fuerza tangencial en la punta del engranaje
- P es el paso diametral
- X es el punto donde ocurre el esfuerzo máximo
- F es el ancho del diente
- Y es el factor de forma de Lewis

El empleo de la ecuación (2.5) para Y significa que sólo se considera la flexión del diente y que se ignora la compresión debida a la componente radial de la fuerza.

También implica que los dientes no comparten la carga y que la fuerza mayor se ejerce en la punta de ellos. Si los engranes se cortan con suficiente precisión, la condición de carga en la punta no es la peor, porque otro par de dientes estará en contacto cuando dicha condición ocurra. El análisis de los dientes asentados muestra que las cargas más pesadas se presentan cerca de la mitad del diente. Por lo tanto, lo probable es que el esfuerzo máximo ocurra mientras un solo par de dientes soporta la carga completa, en un punto donde otro par se encuentra a punto de hacer contacto. [5]

Además de lo mencionado anteriormente, hay otras variables por considerar. Esta corresponde a los efectos dinámicos que existen a la hora de usar el engrane. Cuando un par de engranes se impulsa a velocidad moderada o alta y se genera ruido, con toda seguridad se presentan efectos dinámicos. Para esto a la ecuación (2.4) se introduce un factor de velocidad K_V . En la ecuación (2.6), donde V está en m/s, se muestra esta constante para el caso en el que engrane sea de hierro fundido y de perfil moldeado. [5]

$$K_V = \frac{3.05 + V}{3.05} \quad (2.6)$$

Tomando en cuenta este factor la fórmula en SI a utilizar es la siguiente:

$$\sigma = \frac{K_V * W^t}{F * M * Y} \quad (2.7)$$

2.2.5 Deslizador de rodamiento lineal

Los rodillos son los elementos que se deslizan sobre los rieles y que soportan cargas. Los carros (o bloques) son componentes en los que los patines se pueden arreglar para formar sistemas de guía más complejos. El laminado lineal consiste en componentes que proporcionan precisión, velocidad o rigidez en aplicaciones que requieren movimiento lineal. Incluyen productos como transferencia de bolas, husillos, rodamientos, guías, módulos o guías. La configuración del deslizador se muestra en la Figura 2.4. [6]

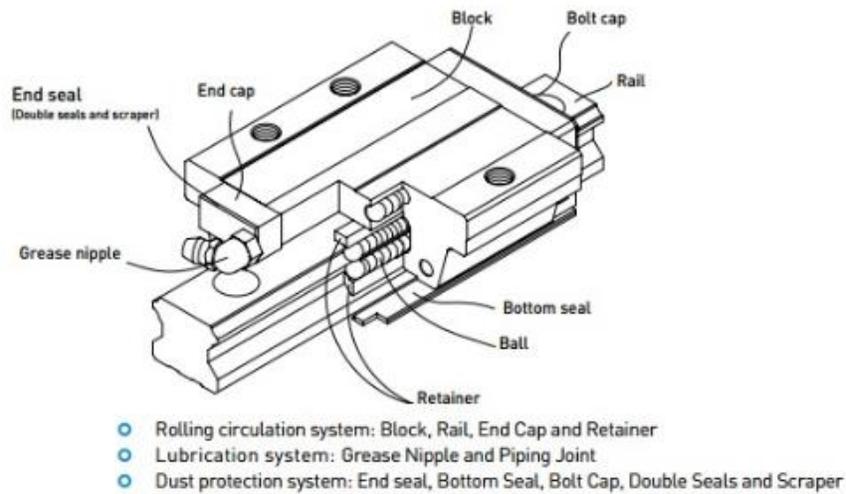


Figura 2.4 Descripción de un deslizador de rodamientos lineal. [6]

2.2.6 Rueda y guía angular

Este mecanismo se basa en una rueda, como la mostrada en la Figura 2.5, donde se ensambla con una guía línea con el mismo angular y de esta manera se realiza el movimiento deseado moviendo el eje de la rueda.



Figura 2.5 Rueda con canal angular. [6]

2.2.7 Tornillo de avance

El tornillo de avance es una varilla roscada con una tuerca, en términos generales. Si se evita que la tuerca gire mientras se gira la varilla roscada, la tuerca se moverá a lo largo de la varilla roscada. En la Figura 2.6 se muestra la configuración para un tornillo de avance.



Figura 2.6 Configuración de un tornillo de avance. [6]

2.2.8 Tornillo de bola

La ranura en el tornillo es similar a la ranura en un tornillo estándar, pero se corta para permitir que un rodamiento de bolas ruede libremente en la ranura. En la Figura 2.7 se muestra la configuración para un tornillo de bola. [6]

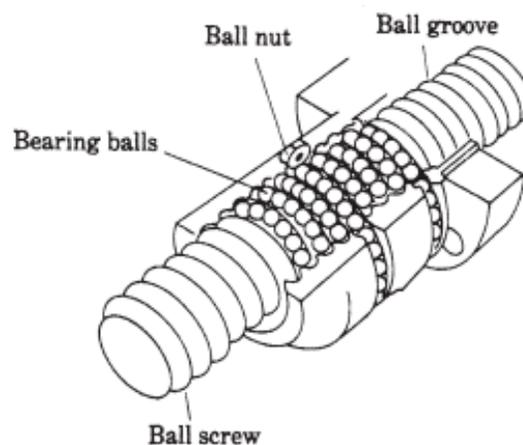


Figura 2.7 Configuración de un tornillo de bola. [6]

2.2.9 Mecanismo de bandas

Existen cuatro tipos distintos de bandas: plana, redonda, tipo V y de sincronización. En todos los casos, para que su operación resulte adecuada, los ejes de las poleas deben estar separados por cierta distancia mínima, que depende del tipo y tamaño de la banda. Otra característica de las bandas es que se pueden emplear para transmitir potencia y movimiento cuando se tienen distancias grandes entre centros, excepto en el caso de las bandas de sincronización. Esto se debe a que existe un cierto deslizamiento y fluencia que hace que la relación de la velocidad

angular entre los ejes impulsor e impulsado no sea constante ni exactamente igual a la relación de los diámetros de las poleas. En algunos casos se requiere de una polea guía o tensora para evitar ajustes en la distancia entre centros, que por lo general se necesitan debido al envejecimiento o a la instalación de bandas nuevas. En la Figura 2.8 se muestra la configuración para un mecanismo de transmisión por banda. [5]

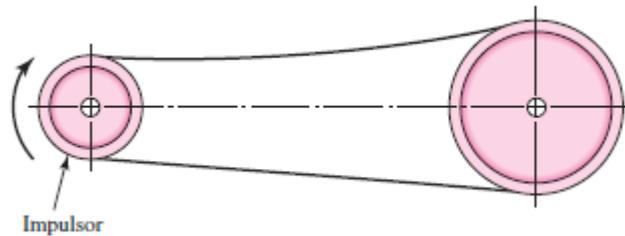


Figura 2.8 Transmisión de potencia por medio de bandas. [5]

2.2.10 Yugo Escocés

El mecanismo de yugo escocés, representado en la Figura 2.9, funciona de manera similar a la del mecanismo de manivela simple, excepto que su movimiento de salida lineal es sinusoidal. Cuando la rueda A gira, el pasador en su periferia ejerce un par dentro del yugo cerrado B; esto hace que la barra deslizante adjunta se mueva, trazando una forma de onda sinusoidal. [4]

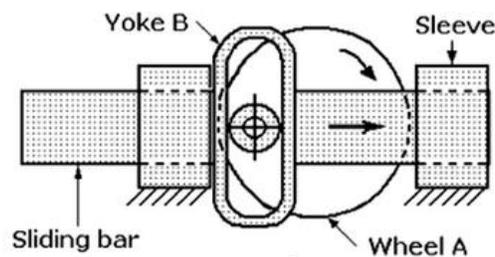


Figura 2.9 Yugo escocés. [4]

2.2.10 Agarre magnético

Los agarres magnéticos se usan más comúnmente en un robot como un efector final para agarrar los materiales ferrosos. Es otro tipo de manejo de las piezas de trabajo que no sean las pinzas mecánicas y las pinzas de vacío. Se

pueden clasificar en dos tipos comunes: electroimanes y magnetos permanentes. [6]

2.8.11 Válvula solenoide

Las válvulas solenoides son válvulas de cierre operadas eléctricamente. Probablemente la más común es la válvula normalmente cerrada (NC), pero también están disponibles las válvulas normalmente abiertas (NO). Con ambos tipos, la presión del sistema funciona para mantener la válvula cerrada cuando se desea esa posición. Las válvulas solenoides pueden resistir altas presiones aguas arriba, pero no restringirán mucha presión en la dirección inversa. [7]

En la válvula solenoide de acción directa, como se muestra en la Figura 2.10, la fuerza magnética desarrollada por la bobina eléctrica extrae el vástago y el émbolo conectado del puerto de la válvula cuando se energiza la bobina. Algunos solenoides están diseñados para permitir que el vástago comience su movimiento antes de enganchar el émbolo que está asentado contra la presión del sistema. El impulso del vástago ayuda a abrir la válvula. Cuando la bobina se desenergiza, el émbolo cae en la posición cerrada por gravedad, y / o un resorte ligero ayuda al cierre. [7]

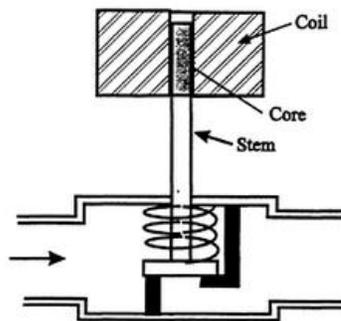


Figura 2.10 Funcionamiento válvula solenoide. [7]

2.2.12 Ventaja mecánica

La ventaja mecánica de un mecanismo o sistema es la relación de la carga o el peso W dividido por el esfuerzo o la fuerza F ejercida por la entidad u operador iniciador. Si se ha considerado la fricción o se conoce a partir de pruebas reales, la ventaja mecánica de una máquina es [4]:

$$VM = \frac{W}{F} \quad (2.8)$$

2.2.13 Relación de velocidad

Las máquinas y los mecanismos se utilizan para traducir una pequeña cantidad de movimiento o distancia en una mayor cantidad de movimiento o distancia. Esta propiedad se conoce como la relación de velocidad. Se define como la relación de la distancia recorrida por el esfuerzo por segundo dividida por la distancia recorrida por la carga por segundo para una máquina o mecanismo. Es ampliamente utilizada para determinar la ventaja mecánica de engranajes o poleas. [4]

$$RV = \frac{\text{Distancia movida por esfuerzo/seg}}{\text{Distancia movida por la carga/seg}} \quad (2.9)$$

2.3 Automatización

La automatización es el uso de comandos de programación lógica y equipos mecanizados para reemplazar la toma de decisiones y las actividades manuales de los seres humanos. Históricamente, la mecanización, como el uso de un mecanismo de sincronización para disparar una palanca, ayudó a los humanos a realizar los requisitos físicos de una tarea. Sin embargo, la automatización lleva la mecanización un paso más allá, reduciendo en gran medida la necesidad de requisitos sensoriales y mentales humanos, al tiempo que optimiza la productividad. [3]

Algunas ventajas y desventajas de la automatización son las siguientes [3]:

Ventajas

- Actividades que requieran trabajo físico pesado puede ser reemplazado.
- Evita que las personas estén en ambientes peligrosos.
- Producción se suele dar más rápido y el costo puede ser menos por producto.

Desventajas

- Algunas tareas siguen siendo más sencillas hacerlas manualmente.
- El costo de la automatización es difícil de predecir en un inicio.
- Costos iniciales son relativamente altos

2.3.1 Controlador Lógico Programable

Un PLC es una computadora industrial que recibe como entradas señales de distintos dispositivos, luego evalúa estas entradas en relación con la lógica del programa almacenado y genera salidas para controlar dispositivos de salida periféricos. Los módulos de E / S y un diagrama de bloques funcional del PLC se muestran en la Figura 2.11. Los dispositivos de entrada se muestrean y la Tabla de imágenes del PLC se actualiza en tiempo real. El programa del usuario, cargado en la memoria del PLC a través del dispositivo de programación, resuelve la lógica de aplicación predefinida y actualiza la Tabla de lógica interna de salida. Los dispositivos de salida se controlan en tiempo real de acuerdo con los valores actualizados de la Tabla de salida. [8]

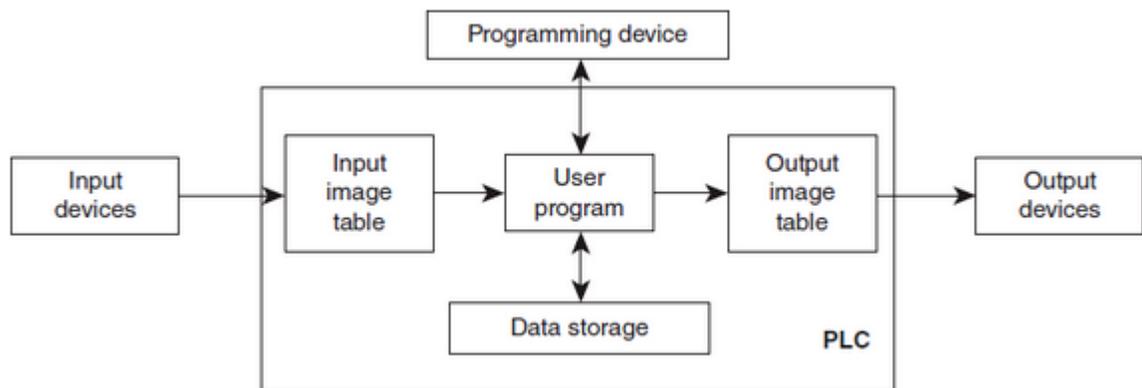


Figura 2.11 Diagrama de un PLC. [8]

Las interfaces estándar para dispositivos de entrada y salida están disponibles para la automatización de cualquier aplicación existente o nueva. Estas interfaces son viables con todos los tipos de PLC, independientemente del proveedor seleccionado. Los sensores y actuadores permiten que el PLC se conecte a todo tipo de dispositivos analógicos y de encendido / apagado mediante el uso de módulos de E / S digitales, convertidores de analógico a digital, convertidores de digital a analógico y circuitos de aislamiento adecuados. Además

de la entrada de la fuente de alimentación y las interfaces de E / S, todas las señales dentro del PLC son digitales y de baja tensión. [8]

2.3.2 Human-Machine Interface (HMI)

En los procesos industriales, la HMI es la colección de hardware y software utilizado por el operador y otros usuarios para monitorear e interactuar con el sistema de control y con el proceso a través del sistema de control. La HMI se compone de tres componentes principales: el usuario humano, el hardware y el software. El diseño de una HMI debe incluir las mejores prácticas y estándares para optimizar la seguridad del proceso y la funcionalidad de cada uno de estos tres componentes. Los sistemas basados en estándares permiten a las empresas reducir los costos de diseño asociados con la personalización, mejorar la comunicación entre los componentes del sistema, aplicar un conocimiento más amplio de la industria a las aplicaciones locales y, en última instancia, lograr la excelencia operativa a través de interfaces de proceso mejoradas. [9]

El hardware de la HMI debe diseñarse no solo en torno a las tareas de los usuarios, sino también teniendo en cuenta las condiciones ambientales en el lugar de trabajo de los usuarios, incluidos, entre otros, la iluminación, el sonido y el diseño de la sala. El software HMI debe proporcionar una conciencia y una comprensión adecuadas del sistema y el estado del proceso en la situación existente, así como proporcionar una indicación de la dirección que está tomando el proceso. El diseño de cualquier HMI de proceso industrial debe incluir objetivos apropiados de hardware y software que proporcionen el mejor sistema para todas las tareas del operador del proceso. Una vez que se completa la configuración de la HMI y se instala el sistema, se deben establecer e implementar prácticas de trabajo para cumplir con los objetivos de software y hardware según lo diseñado. [9]

2.3.3 Sistemas a lazo cerrado

Un sistema de control es una colección de hardware y software diseñado para producir el comportamiento deseado del proceso en tiempo real. La Figura 2.12 muestra el diagrama de bloques funcional para un control de proceso de lazo cerrado de variable única. El lazo del sistema de control incluye el proceso, el

elemento de control final, el controlador, el detector de errores y un elemento de medición. Las siguientes son las variables clave y la acción asociada en el ciclo cerrado [8]:

- El punto de ajuste es el valor deseado definido por el usuario de la variable controlada, que es la variable de proceso que se debe regular.
- La salida del elemento de medición indica el estado de la variable controlada, también llamada variable de salida del proceso o señal de retroalimentación.
- El error es la diferencia entre el punto de ajuste y la variable controlada.
- La salida es una indicación producida por el controlador para iniciar la acción que debe tomar el elemento de control final para corregir el error.
- El elemento de control final es el actuador, que produce los cambios en el proceso y la variable controlada seleccionada. La salida del elemento de control final se denomina variable de control o manipulación del proceso.

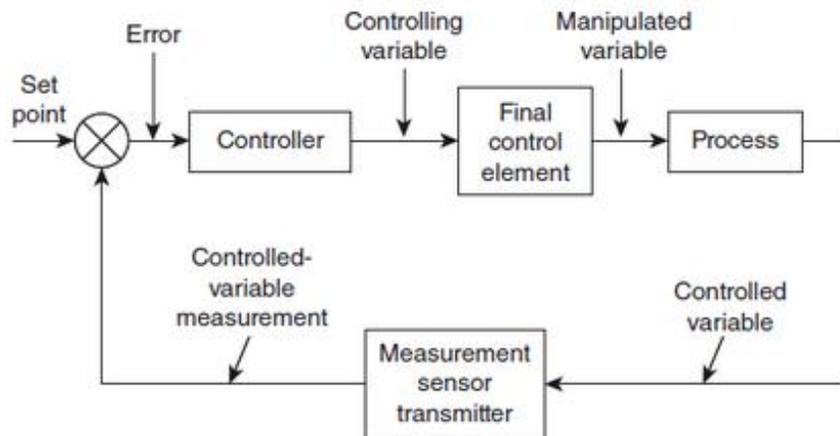


Figura 2.12 Diseño de un sistema a lazo cerrado. [8]

2.4 Internet of Things (IoT)

El Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) es una terminología de medios para tomar lo que se consideran dispositivos electrónicos tontos y conectarlos a Internet. Una vez conectado a Internet, puede controlar estos dispositivos a través de un navegador web, que enviará las solicitudes del Protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP) a un servidor web y devolverá la información que se solicita. [10]

2.4.1 Sensores de Conductividad Eléctrica de Contacto

Los sensores conductivos de contacto usan placas paralelas para medir la conductividad, como se muestra en la Figura 2.13. El líquido de proceso fluye por la parte inferior del sensor y sale por la parte superior. El acercamiento en la esquina superior izquierda muestra las placas paralelas. El electrodo interno, que contiene un RTD para la medición y compensación de temperatura, es el centro del sensor, y el electrodo externo es la vaina metálica. Estas dos placas o electrodos se utilizan para medir la cantidad de corriente en el líquido del proceso. [9]

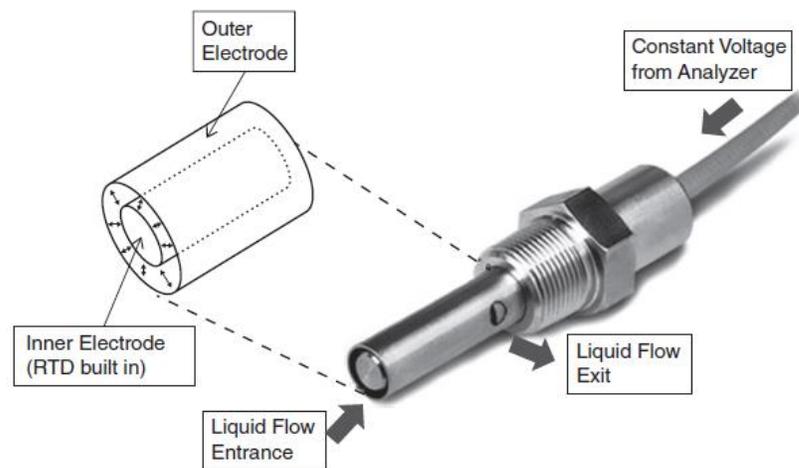


Figura 2.13 Sensor Conductivo de Contacto. [9]

2.4.2 Sensores de Temperatura

La temperatura es uno de los parámetros más importantes a controlar en casi todas las plantas industriales, ya que afecta directamente las propiedades del material y, por lo tanto, la calidad del producto. Durante los últimos años, se han desarrollado varios sensores de temperatura para su uso en entornos hostiles eléctrica o químicamente. Entre estos, los sensores de temperatura prácticos, que ahora están disponibles comercialmente, se clasifican en dos grupos: (1) sensores de baja temperatura con un rango de -100 a $+400$ ° C que utilizan materiales de detección específicos como fósforos, semiconductores y líquidos cristales y (2) sensores de alta temperatura con un rango de 500 a 2000 ° C basado en la radiación del cuerpo negro. [11].

2.4.3 Microcontroladores

Un microcontrolador es esencialmente una computadora que puede controlar múltiples entradas y salidas utilizando alguna forma de lenguaje de programación. Los microcontroladores convencionales modernos se pueden conectar a una computadora mediante un bus serie universal (USB) para alimentar la placa, así como para programar el microcontrolador; sin embargo, también se pueden quitar fácilmente del USB una vez que el programa se ha cargado y alimentado con algún tipo de dispositivo de batería portátil y funciona de forma independiente [10]

2.4.4 Thingspeak

ThingSpeak es un servicio de plataforma de análisis de IoT que le permite agregar, visualizar y analizar flujos de datos en vivo en la nube. Este servicio proporciona visualizaciones instantáneas de los datos publicados por sus dispositivos en ThingSpeak. Con la capacidad de ejecutar código MATLAB en directamente en la plataforma, puede realizar análisis y procesamiento en línea de los datos a medida que ingresan. ThingSpeak a menudo se usa para prototipos y sistemas de prueba de concepto de IoT que requieren análisis. [12]

Capítulo 3 .Descripción del Proceso Productivo y Alcance del Proyecto

3.1 Aspectos generales

El proceso productivo en el que se enfoca este proyecto es el de la creación y extracción de la marqueta de hielo. Este proceso se realiza en un espacio dedicado únicamente al mismo, el cual cuenta con un área de (5x5) m y una altura de alrededor de 6 m, como se muestra en la Figura 3.1.



Figura 3.1 Espacio de trabajo del proceso productivo. (Elaboración propia)

La fabricación del hielo en bloques (o marquetas) consiste en rellenar moldes de metal con agua y sumergirlos en un baño de salmuera refrigerada a una temperatura muy inferior a la de congelación del agua. Generalmente se utiliza para ello cloruro sódico o cálcico. Las dimensiones de los moldes y la temperatura de la salmuera se seleccionan para que el periodo de congelación dure entre 8 y 30 horas ya que la congelación demasiado rápida produce hielo quebradizo. Luego, una grúa levanta una fila de moldes y los transporta a un tanque de descongelación donde los sumerge en agua para que el hielo se desprenda.

Los moldes se voltean para que salgan los bloques, se rellenan de nuevo con agua dulce y se colocan nuevamente en el tanque de salmuera. Se trata de una

operación discontinua, por lo que necesita mano de obra para una atención continua de todas las operaciones.

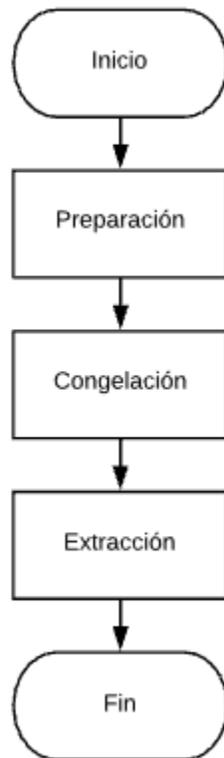


Figura 3.2 Diagrama de flujo general del proceso productivo. (Elaboración propia)

Como se mencionó anteriormente, se utiliza la congelación por Salmuera para producir la marqueta de hielo, esto da como resultado que sea de suma importancia verificar los valores de salinidad del agua y temperatura con el que se hace el proceso productivo. Por experiencia de los trabajadores se requiere tener una alta salinidad, la manera actual de conocer la salinidad es por medio de la densidad, se sabe que para que el procedimiento sea exitoso la solución de salmuera debe de tener una densidad de 290 kg/m^3 . La temperatura es vital ya que esto define cuánto va a durar en congelarse el agua y formar la marqueta. Se debe de tener en cuenta que entre más tiempo esté encendido el sistema de refrigeración más consumo de energía se tiene.

Cada área de trabajo en la empresa Hielo Liga cuenta con capacidad para 72 moldes con dimensiones de (40x20x80) cm, los cuales se colocan en una cuadrícula de metal para que el molde no se hunda, por diferencia de densidades, mientras se crea la maqueta. En la Figura 3.3 se muestra parte del arreglo en cuadrícula que se hace.



Figura 3.3 Configuración de cuadrícula de los moldes. (Elaboración propia)

3.2 Creación de la maqueta de hielo

La etapa de creación de maquetas de hielo, se resume en tres principales pasos, como se muestra en la Figura 3.4. El paso uno es donde se coloca el molde dentro de la cuadrícula mencionada anteriormente; seguidamente se debe llenar cada molde con agua y hacer este ciclo hasta que se tengan llenos los 72 espacios disponibles. Por último, se debe activar el sistema de refrigeración, esperar hasta que se solidifique el agua y se creen las maquetas de hielo, y finalmente proceder a su extracción. Todos estos pasos son realizados manualmente en su mayoría. A continuación se explicará con mayor profundidad cada paso.

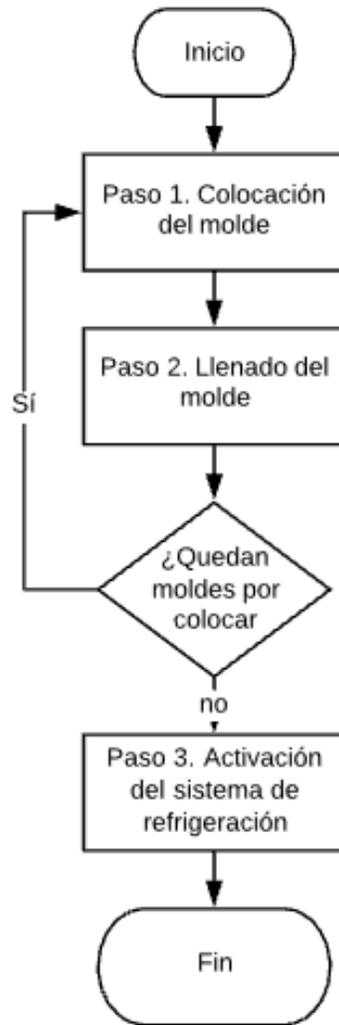


Figura 3.4 Diagrama de flujo para la creación de marquetas. (Elaboración propia)

3.2.1 Paso 1. Colocación del molde

Se procede a colocar cada molde dentro del tanque de Salmuera de forma manual, para esto se alzan y se transportan por el área de trabajo uno a uno los 72 moldes. Este primer paso, como se puede denotar, requiere bastante esfuerzo de los colaboradores para poder acomodar a través del área de trabajo los 72 moldes. Un ejemplo de este paso se muestra en la Figura 3.5, donde se ve al colaborador moviendo manualmente un molde.



Figura 3.5 Colocación del molde. (Elaboración propia)

3.2.2 Paso 2. Llenado del molde

Seguidamente se procede a llenar los moldes con agua dulce y, por medio de diferencia de densidad del agua del tanque de Salmuera con el agua de llenado del molde, esta baja hasta quedar 90% sumergido dentro del tanque y así comenzar el proceso de refrigeración. Una situación muy particular de este paso es que no se pueden llenar los moldes hasta el tope ya que esto causaría grandes problemas en la extracción debido a que no se podría sujetar el molde por adentro. Además, que entre más llenos estén los moldes la duración del ciclo de congelación va a tardar más y gastará más electricidad, causando mayores costos.

Por ende, los colaboradores intentan llenar aproximadamente 70% del molde con agua dulce ya que esto después de la congelación, da una masa promedio de 40 kg por bloque, que es la masa de venta. La empresa cuenta con una tubería de 3 in por la cual se transporta el agua desde la bomba al área de trabajo, después de una llave de paso se utiliza una manguera de 1.5 in para llenar los moldes. La Figura 3.6 muestra el proceso de llenado de los moldes que actualmente se hace.

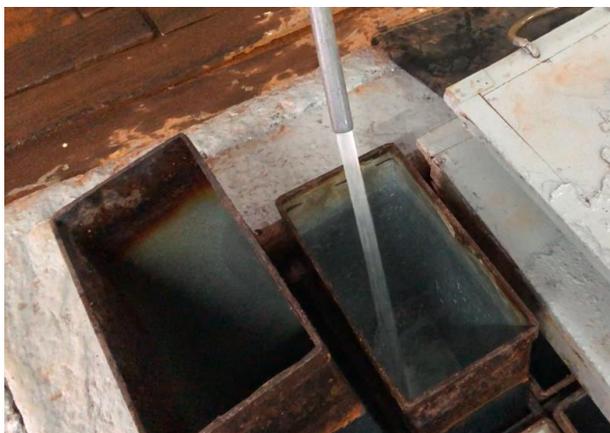


Figura 3.6 Llenado del molde. (Elaboración propia)

3.2.3 Paso 3. Activación del sistema de refrigeración

Una vez hecho el paso 1 y 2 para los 72 moldes, se procede a la activación del proceso de refrigeración. Para esto se ponen en funcionamiento el compresor y el condensador. Se esperan 30 horas aproximadamente, si las condiciones de temperatura y salinidad son idóneas, para que el agua se solidifique en el molde. Cada 10 horas se hace una inspección visual de cómo va el proceso para saber si está siendo exitoso o hubo algún fallo.

3.3 Extracción de la maqueta de hielo

Una vez completadas las 30 horas de congelación de las maquetas viene el proceso de extracción. Al igual que el de creación, este se base en 3 pasos que se pueden ver en la Figura 3.7. Por limitaciones con la que cuenta la grúa pórtico y espacio de movilidad dentro de la empresa, sólo se pueden extraer de dos en dos los moldes.

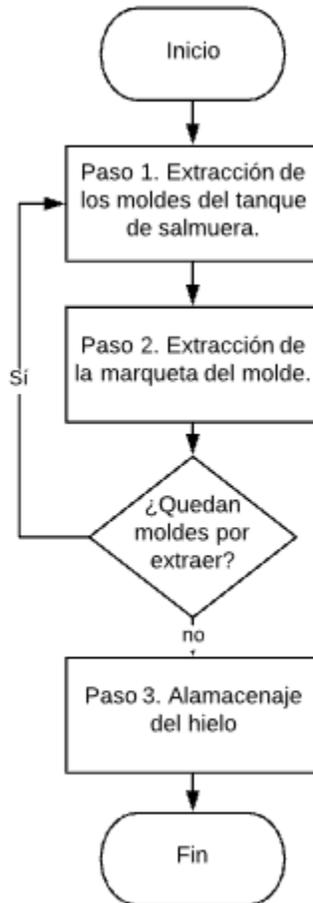


Figura 3.7 Diagrama de flujo para la extracción de marquetas. (Elaboración propia)

3.3.1 Paso 4. Extracción del molde del tanque de Salmuera

Una vez completado el proceso de congelación de la marqueta de hielo, se procede con el primer paso de la extracción. Este se basa en que por medio de un mecanismo de grúa pórtico, mostrado en la Figura 3.8, se extrae el molde con el hielo del tanque de Salmuera. La grúa pórtico utiliza un motor AC de 1 hp, controlado por un teclé que tiene 2 botones, esto para elegir la dirección de rotación del motor. El teclé se muestra en la Figura 3.9.



Figura 3.8 Actual grúa pórtico. (Elaboración propia)



Figura 3.9 Teclé de control de giro del motor. (Elaboración propia)

La actual grúa pórtico no es capaz de moverse sola por el área de trabajo, los colaboradores tienen que empujar la grúa hasta llegar al punto de extracción. Además la sujeción de los moldes, como se ve en la Figura 3.10, la tienen que realizar los colaboradores.



Figura 3.10 Sujeción de los moldes. (Elaboración propia)

3.3.2 Paso 5. Extracción de la marqueta del molde

Una vez sujetos el par de moldes que se van a extraer, se activa el motor con la botonera para que la grúa alce los moldes. Al igual que en el paso anterior, el colaborador tiene que mover la grúa junto con los moldes a través del área de trabajo hasta llegar el “punto de extracción”. Esto es un movimiento lento y que se tiene que hacer con mucho cuidado ya que hay un alto riesgo de caída si se pone un pie en falso. Además, siempre hay que estar pendiente de que la sujeción esté bien ya que la caída de un molde de estos podría generar un accidente laboral grave.

3.3.3 Paso 6. Almacenaje de la marqueta en la cámara de refrigeración

Una vez movido el par de moldes se procede a sumergirlo en un balde con agua a temperatura ambiente para que el bloque de hielo se despegue con mayor facilidad del molde. Seguidamente se desliza el bloque por unos canales del metal hasta ser acomodado en la cámara de refrigeración para su almacenamiento y su posterior venta.

3.4 Estado del arte

Los largos períodos necesarios para producir bloques de hielo han llevado al desarrollo de lo que se conoce como máquinas de hielo en bloques de fabricación rápida. El objetivo de estas máquinas es producir bloques de hielo en pocas horas. Su principio es que en lugar de sumergir los moldes para el hielo en un depósito de salmuera, el agua del molde se congela mediante un refrigerante que circula por la

camisa externa de cada molde, así como por un sistema de tuberías que recorre el interior de los moldes. De esta manera, se forma hielo simultáneamente en todas las superficies refrigeradas en contacto con el agua. Una vez finalizado el ciclo de congelación, los bloques se liberan rápidamente del molde mediante un sistema de descongelación con gas caliente y se extraen por gravedad. [13]

Las principales ventajas de estas máquinas son el poco espacio que requieren en comparación con las máquinas de hielo en bloques tradicionales, así como la relativa sencillez de las operaciones de puesta en marcha y parada, cuya duración es menor que en las máquinas de hielo en bloques tradicionales. Como desventaja está en que los costos de la adquisición, el funcionamiento y el mantenimiento son más altos que los de las máquinas convencionales. [13]

Aunque existen estas máquinas modernas de fabricación rápida del molde de hielo, la refrigeración indirecta ha intentado actualizarse en los últimos años. Las líneas de producción de bloques con grúas pórticos más avanzados han llegado a algunas empresas de producción de hielo alrededor del mundo. En la Figura 3.11 se muestra un modelo de línea de producción que habitualmente se usa, donde se tiene una grúa rodante y se toman los moldes línea a línea para su transporte, tanto, dentro como fuera del al tanque de salmuera.

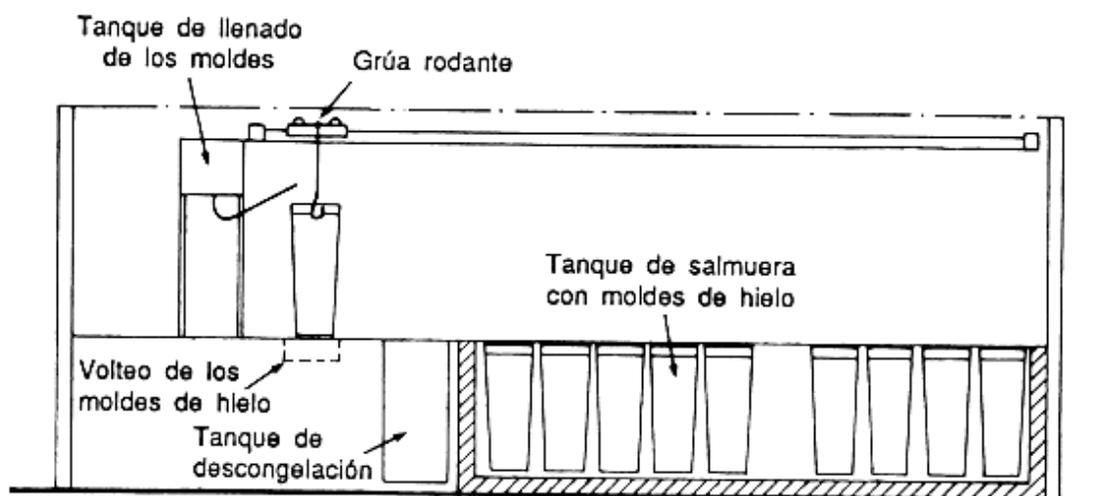


Figura 3.11 Modelo de línea de producción refrigeración salmuera. [13]

3.5 Gastos actuales

Actualmente la empresa cuenta con dos procesos productivos los cuales son la producción de marquetas y de cubitos. Según un estudio hecho por el administrador de la empresa el proceso de marquetas representa un 70% de los costos operativos, y los cubitos el restante 30%. Estos gastos mensuales de producción se desglosan como muestra la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Gastos operativos para la producción de la marqueta de hielo.

Atributo	Costo (₡)
Alquiler de área de trabajo	1 300 000
Mano de obra (3 colaboradores)	1 125 000
Recibo eléctrico	1 000 000
Recibo de Agua	85 000
Mantenimiento	100 000
Total	3 610 000
Total Anual	43.320.000

El alcance del proyecto presentado en este escrito pretende atacar el atributo de mano de obra y de mantenimiento. Además de mejorar los tiempos de producción, que actualmente se dura tres horas en la creación y, otras, tres horas en la extracción. Por último, se pretende siempre tener control de las variables críticas para que el proceso sea exitoso en cada ciclo de producción.

3.6 Lista de requerimientos

Una vez entendido el proceso productivo y los costos relacionados a este, se discutió junto con los encargados de la empresa sobre las necesidades que se tienen. A partir de dicha discusión se definieron los requerimientos mínimos para la automatización de este proceso. En la Tabla 3.2 se resumen los diferentes requerimientos tomados en cuenta para el desarrollo del proyecto:

Tabla 3.2 Lista de requerimientos.

Requerimiento	La solución debe ser capaz de...
Negocio	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitar el proceso productivo de creación y extracción de marquetas.
Usuario	<ul style="list-style-type: none"> • Controlar el proceso de creación y extracción a partir de una unidad central de procesamiento. • Configurar los puntos a donde se tiene que mover la grúa pórtico. • Usar la grúa en modo automático o manual. • No requerir esfuerzo manual
Funcionales	<ul style="list-style-type: none"> • Mover la grúa pórtico por el área de trabajo de (5x5) m sin necesidad de esfuerzo manual. • Sujetar y trasladar los moldes de dos en dos. • Llenar el molde con agua hasta un 90 % del volumen del mismo. • Extraer los moldes después del proceso de congelación. • Alertar por correo cuando la temperatura sea mayor a 0 °C o la conductividad eléctrica menor a 10 mS/cm • Poder trasladar 400 kg en el eje X. • Poder trasladar 200 kg en el eje Y. • Poder trasladar 400 kg en el eje Z. • Poder mover el eje Z 2 m desde el nivel del suelo • Activar el modo de emergencia desde un botón.
Calidad	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar mecanismos y dispositivos fáciles de conseguir y estándares. • Tener poco mantenimiento, pero larga vida útil

Capítulo 4 . Alternativas de Solución

En el presente capítulo se van a explorar las diferentes alternativas que se tienen para las distintas etapas que se quiere llegar a automatizar del proceso productivo de creación y extracción de la marqueta de hielo. En la Tabla 4.1 se presentan los pasos del proceso productivo explicado en el Capítulo 3 y se definen las partes que se encuentran dentro del alcance del presente proyecto para automatizar. Como se puede notar, el 50% de los pasos se automatizaron con el proyecto, pero sí cabe destacar que son los pasos que requieren mayor presencia manual en el proceso. También, es importante mencionar que aunque este proyecto no abarque la automatización del Paso 3,5 y 6 no quiere decir que no se pueda realizar.

Tabla 4.1 Etapas automatizables.

Etapa del Proceso Productivo	¿Se va a automatizar?
Paso 1. Colocación del molde	Sí
Paso 2. Llenado del molde	Sí
Paso 3. Activación del sistema de refrigeración	No
Paso 4. Extracción del molde del tanque de Salmuera	Sí
Paso 5. Extracción de la marqueta del molde	No
Paso 6. Almacenaje de la marqueta en la cámara de refrigeración	No

Los pasos anteriores se subdividieron en selecciones que se van a llevar a cabo con el fin cumplir con el objetivo. Dichas subdivisiones serían:

- Selección de mecanismos de transmisión de movimiento ejes XYZ.
- Selección del mecanismo de agarre automático del molde.
- Selección de motor a utilizar para movimiento eje XYZ
- Selección de motor de sujeción automático.
- Selección de controlador general.

- Selección de sensor de temperatura.
- Selección de sensor de conductividad.
- Selección de microcontrolador de variables críticas.

4.1 Selección de mecanismos de transmisión de movimiento ejes XYZ

Se decidió evaluar las siguientes cinco opciones para el movimiento de los tres ejes del sistema pórtico, se van a valorar ventajas y desventajas de estos y al final realizar una Tabla comparativa donde se encuentra cuál sería la mejor solución para los tres ejes. En la Tabla 4.2 se muestran las opciones tomadas en cuenta.

Tabla 4.2 Opciones de mecanismos de transmisión de potencia.

Número	Mecanismo	Ventajas	Desventajas
1	Mecanismo de cremallera y piñón con rueda y guía angular.	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor capacidad de carga que el equivalente de guía de bola • Alta precisión • Diseño compacto • Poca fricción 	<ul style="list-style-type: none"> • Costoso • Causa problemas con contaminación alrededor. • No tan fácilmente disponible como el rodamiento lineal
2	Mecanismo de cremallera y piñón con deslizador de rodamiento lineal	<ul style="list-style-type: none"> • Alta precisión • Soporta grandes momentos • Compacto • Muy baja fricción y fricción de arranque 	<ul style="list-style-type: none"> • Causa problemas con contaminación alrededor. • Necesita lubricación • El deslizador puede ser costoso
3	Mecanismo de tornillo de bola	<ul style="list-style-type: none"> • Menor fricción • Alta durabilidad con el correcto mantenimiento • Requiere menos torque • Alta eficiencia (90%) 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere lubricación • Requieren mecanismos de frenado para eliminar el retroceso • Más costoso que el tornillo de avance

4	Mecanismo de tornillo de avance	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo. • No requiere mecanismo de frenado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja eficiencia (20% aprox) • No tienen tanta durabilidad como el tornillo de bola. • Alta fricción
5	Mecanismo de bandas	<ul style="list-style-type: none"> • Alta eficiencia • Bajo Costo • Mantenimiento de bajo costo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja durabilidad. • Baja precisión • La relación de velocidad varía debido al deslizamiento de la faja.

La selección final se va a dividir en Movimiento XY y Movimiento Z. Para el primer caso, de la Tabla anterior, se van a tomar en cuenta los mecanismos 1,2 y 5, ya que el 3 y 4 no hace sentido tenerlos en cuenta debido al largo del área de trabajo (5 m) ya que esta dimensión generaría un momento de flexión muy grande a ser soportado por un tornillo. Para comparar a los distintos mecanismos se va a tomar en cuenta lo siguiente:

- Costo de adquisición: se buscó tener una inversión inicial lo más baja posible.
- Eficiencia: esta característica define cuanta energía se está perdiendo a través de todo el mecanismo cuando se ponga en funcionamiento. Esto a su vez se traslada a consumo energético de los actuadores, y al final, en dinero.
- Costo de Mantenimiento: se buscó utilizar mecanismos que tengan poco costo de mantenimiento para disminuir gastos fijos.
- Precisión: el mecanismo tiene que ser capaz de moverse con los movimientos más precisos, de lo contrario podría generar comportamiento indeseable en la automatización.
- Durabilidad: Se buscó que la inversión inicial sea lo más duradera posible sin tener que hacer una reinversión por dispositivos de baja calidad.

Cada una de estas propiedades se va a evaluar de 1 a 5, siendo 5 lo que más peso le va a dar a la característica y 1 la que menos. En el caso de costo de adquisición un 1 representaría un costo elevado mientras que un 5 un costo bajo, para la eficiencia un 1 sería una pésima eficiencia de transmisión de potencia y un 5 una excelente, para el costo de mantenimiento un 5 representa un costo bajo y un 1 un costo alto. En el caso de la precisión un 5 representa una buena precisión de movimiento y un 1 una pésima y, por último, un 5 en durabilidad indica que podrá ser utilizado por un largo periodo y un 1 que presenta alta probabilidad de dañarse en poco tiempo.

Para el movimiento XY, en la Tabla 4.3, se muestran los valores dados a cada uno de los mecanismos según cada criterio anterior. Esa clasificación se realizó basada en la Tabla 4.2. Se nota que la mejor selección para el movimiento XY es el mecanismo de cremallera y piñón con deslizador de rodamiento lineal.

Tabla 4.3 Selección final movimiento XY.

Mecanismo	Propiedades					Total
	Costo de adquisición	Eficiencia	Costo de Mantenimiento	Precisión	Durabilidad	
Mecanismo de cremallera y piñón con rueda y guía angular.	1	3	3	4	4	15/25 (60%)
Mecanismo de cremallera y piñón con deslizador de rodamiento lineal	3	5	3	5	5	21/25 (84%)
Mecanismo de bandas	4	5	3	2	2	16/25 (64%)

Para el movimiento Z, en la Tabla 4.4, se muestran los valores dados a cada uno de los mecanismos según cada criterio anterior. Esa clasificación se realizó basada en la Tabla 4.2. Se nota que la mejor selección para el movimiento Z es el

mecanismo de tornillo de bola, cabe destacar que aunque esta es la mejor opción se tiene que corregir el problema retroceso que presenta este mecanismo.

Tabla 4.4 Selección final movimiento Z.

Mecanismo	Propiedades					Total
	Costo de adquisición	Eficiencia	Costo de Mantenimiento	Precisión	Durabilidad	
Mecanismo de tornillo de bola	3	5	3	4	5	20/25 (80%)
Mecanismo de tornillo de avance	3	1	3	4	3	14/25 (56%)

4.2 Selección del mecanismo de sujeción automático del molde

En el caso del agarre automático del molde se exploraron dos posibilidades: mecanismo Yugo Escocés y el mecanismo magnético. Esto debido, al espacio tan limitado que se tiene en área de trabajo de (5x5) m, son las opciones que mejor se adaptan a las condiciones como que tienen que ser mecanismos que sean de agarre interno o superior. Las ventajas y desventajas de los mecanismos se muestran en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Opciones sujeción automático del molde.

Número	Mecanismo	Ventajas	Desventajas
1	Mecanismo Yugo Escocés	<ul style="list-style-type: none"> • Pocas piezas • Suave funcionamiento • Más tiempo en la posición de reposo, lo que en los motores puede mejorar ligeramente la eficiencia. • Alto par de apriete con cilindro de pequeño tamaño. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere una guía adecuada para el movimiento alternativo del brazo • El alto desgaste producido debido a la fricción por deslizamiento y la alta presión de contacto.
2	Agarre magnético	<ul style="list-style-type: none"> • Solo necesita una superficie para agarrar el objeto. • Requiere un mantenimiento mínimo • La velocidad de agarre es rápida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando se mueve rápidamente, la pieza puede salirse del efector final. • Solo un poco de aceite en la superficie puede reducir la resistencia del efector final. • Las piezas manipuladas pueden quedar magnetizadas.

Para la sujeción se van a tomar en cuenta propiedades de: adaptabilidad, debido a que el mecanismo se tiene adecuar a las condiciones de espacio con el que se cuenta actualmente, costo de mantenimiento, riesgo de soltera, costo de adquisición y durabilidad, siendo 5 la que mejor condición presenta y 1 la peor.

En la Tabla 4.6, se muestran los valores dados a cada uno de los mecanismos según cada criterio anterior. Esa clasificación se realizó basada en la Tabla 4.5. Se nota que la mejor es el mecanismo de Yugo escocés. Cabe destacar que se tienen que hacer una modificación al diseño original ya que no cumple con los requisitos de poder agarrar dos moldes simultáneamente.

Tabla 4.6 Selección final agarre automático del molde.

Mecanismo	Propiedades				Total	
	Adaptable	Costo de Mantenimiento	Riesgo de soldadura	Costo		Durabilidad
Mecanismo Yugo Escocés	3	3	4	5	5	20/25 (80%)
Agarre magnético	3	4	1	3	3	14/25 (56%)

4.2 Selección de controlador general

Como en todo sistema de automatización tiene que existir una unidad de procesamiento central con la capacidad de activar los diferentes funcionamientos y tomar decisiones conforme se tenga retroalimentación de los sensores de la grúa pórtico. Por la naturaleza industrial de la aplicación tratada en este documento se recomienda utilizar un PLC, el cual cumple con todos los requerimientos mencionados; además, de ser lo de más fácil acceso que se encuentra en el mercado actualmente.

La sinergia entre el PLC y HMI le permite al usuario configurar y seleccionar cada una de las acciones (extracción, movimiento en área de trabajo, llenado del molde, entre otras). Por recomendación de la empresa Hielo Liga S.A. y comparando costos en el mercado nacional se eligió utilizar un PLC y HMI de la marca Mitsubishi los cuales se muestran en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7 Modelo para PLC y HMI

Dispositivo	Modelo	Especificaciones Generales
PLC	FX5U-32MR/ES	<ul style="list-style-type: none"> • Tensión de alimentación de 100–240 V AC • 16 salidas • 16 entradas • Tipo de salida de relé • 30 W de consumo de energía
HMI	HMI-GT2107	<ul style="list-style-type: none"> • 7" de tamaño de la pantalla • Tensión de alimentación 24 VDC • ROM 9 MB • Resolución de 800x480 • LED

4.3 Motores a utilizar para el movimiento XYZ

El movimiento en los ejes XYZ debe de estar accionado por un motor con la capacidad de poder controlar su velocidad de giro; además de poder conocer y cambiar su posición a convenir, por lo cual se va a utilizar un servomotor. En la Tabla 4.8 se muestran las ventajas y desventajas de los servomotores a tomar en consideración.

Tabla 4.8 Ventajas y desventajas de los servomotores.

Número	Mecanismo	Ventajas	Desventajas
1	Servomotor AC	<ul style="list-style-type: none"> • Relación torque-peso alta. • Alta eficiencia. • Alta precisión y confiabilidad. • Alta durabilidad • Relativamente silencioso en funcionamiento. • Muchas opciones en el mercado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costoso • Mayor complejidad de funcionamiento
2	Servomotor DC	<ul style="list-style-type: none"> • Barato • Fácil uso 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto mantenimiento. • Baja eficiencia. • No muy precisos.

Para la selección se utilizaron los mismos criterios de selección que para los mecanismos de movimiento. En la Tabla 4.9 se muestran los valores dados a cada uno de estos criterios con lo cual da como resultado que se utilice un servomotor AC para el movimiento de los 3 ejes. De esta forma, aunque no es necesario pero sí recomendado, se van a emplear servomotores de la misma marca del PLC que es Mitsubishi. Esta decisión se toma para que la sinergia entre los dispositivos sea natural y sean fáciles de unir al PLC.

Tabla 4.9 Selección servomotores.

Mecanismo	Propiedades					Total
	Costo de adquisición	Eficiencia	Costo de Mantenimiento	Precisión	Durabilidad	
Servomotor AC	5	4	3	5	4	21/25 (84%)
Servomotor DC	3	2	1	1	2	9/25 (36%)

4.4 Selección del sensor de conductividad eléctrica

La selección correcta del sensor de conductividad se centra en las características química que tenga la probeta como lo son el rango de conductividad eléctrica y la constante de celda (K). Como se puede apreciar en la Figura 4.1 hay diferentes valores K que puede tener la probeta para medir un rango de conductividad eléctrica.

Electrical conductivity of solutions

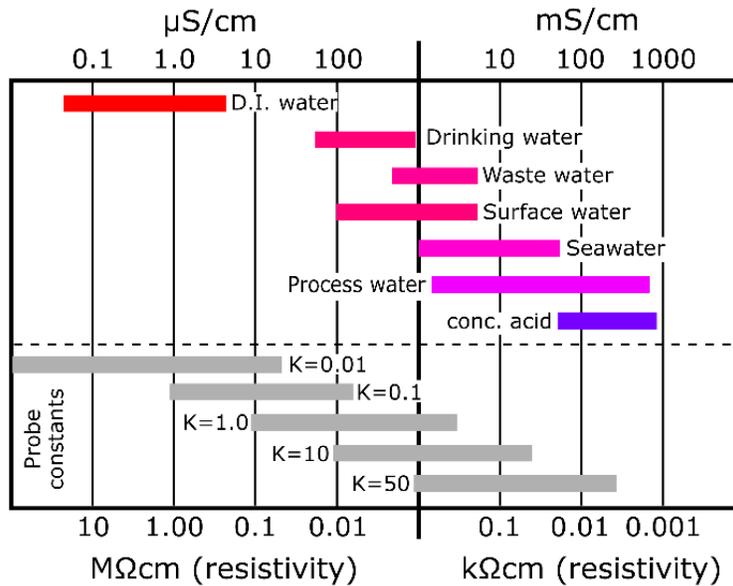


Figura 4.1 Diagrama guía para la selección de propiedades. [14]

En el caso del proyecto, se usa una solución llamada Salmuera, la cual presenta muy altos valores de conductividad debido a su alta concentración de cloruro de Sodio (NaCl). Esta característica hace que pueda tener un valor de entre 10-100 mS/cm, con lo cual se ocuparía una probeta de K igual a 50 o 10. Se va a escoger la de K=10 debido a que lo que se quiere es medir el límite y no el valor en sí. Es importante mencionar que otra característica importante que se ocupa es que el sensor pueda operar a temperaturas bajo 0 °C a la hora de realizar la medición.

4.5 Selección del sensor de temperatura

Para el sensor de temperatura se tomarán en cuenta las ventajas y desventajas de los dispositivos mostrados en la Tabla 4.10 para validar cuál es la mejor opción.

Tabla 4.10 Opciones del sensor de temperatura.

Número	Tipo	Ventajas	Desventajas
1	Termocupla J	<ul style="list-style-type: none"> • Económicas • Físicamente rígidas • Amplio rango de temperatura (-180 a 1370 °C) 	<ul style="list-style-type: none"> • El sitio de medición no puede estar más de 10 m del instrumento. • Tensión de salida susceptible a interferencia eléctrica. • No da lectura muy precisa. • Oxidación de los metales de la unión podrían generar lecturas falsas
2	Termistor Pt100	<ul style="list-style-type: none"> • Alta precisión de lectura. • Se puede colocar a más de 30 m del medidor. • Rango de Medición entre -100 a 200 °C 	<ul style="list-style-type: none"> • Más costosa que la termocupla. • No muy rígida físicamente.

Para esta selección se tomará en cuenta las propiedades de precisión, costo, uso a larga distancia, facilidad de reemplazo y durabilidad. Siguiendo el mismo flujo que los casos anteriores donde 5 es donde se tienen una buena calificación (mayor peso) y 1 siendo la peor calificación (menor peso), se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11 Selección final sensor de temperatura.

Dispositivo	Propiedades					Total
	Precisión	Costo	Larga distancia	Facilidad de reemplazo	Durabilidad	
Termocupla J	2	5	2	5	2	16/25 (64%)
Termistor PT100	5	3	5	5	5	23/25 (92%)

4.6 Selección de microcontrolador de variables críticas

Para el caso de la lectura de las variables críticas del proceso se decidió no utilizar el PLC ya que esto generaría un costo muy alto debido a que se tendría que integrar un módulo de conexión inalámbrica o un PLC que tenga incluida esta característica. Por ende, se explora la posibilidad de usar una placa de desarrollo como: Raspberry Pi, Arduino y ESP32. En la Tabla 4.12 se muestran las ventajas y desventajas de cada una de estas alternativas de solución.

Tabla 4.12 Opciones de microcontrolador.

Número	Tipo	Ventajas	Desventajas
1	Arduino Uno	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo precio • Fácil funcionamiento. • Se puede usar saliendo de la caja. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe de comprar módulo externo para conectividad WiFi
2	Raspberry Pi 3b+	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor poder de procesamiento • Conectividad WiFi incorporada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Precio relativamente alto.
3	ESP32	<ul style="list-style-type: none"> • Muy bajo precio. • Conectividad WIFI incorporada. • Diseñado exclusivamente para conexiones inalámbricas. • Funcionamiento en condiciones difíciles de ambiente. • Fácil de cambiar 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo procesamiento

Para la selección se van a tomar en cuenta los criterios de costo y funcionalidad inalámbrica, únicamente. Ya que como sólo se van a medir dos sensores no justifica tener un alto procesamiento o capacidad de soportar mayor cantidad de entradas analógicas. En la Tabla 4.13, se muestran los valores asignados a los diferentes criterios de selección, lo que dio como resultado que la mejor elección sea el ESP32.

Tabla 4.13 Selección microcontrolador.

Dispositivo	Propiedades		Total
	Costo	Conexión Inalámbrica	
Arduino Uno	4	2	6/10 (60%)
Raspberry Pi 3b+	1	5	6/10 (60%)
ESP32	5	5	10/10 (100%)

Capítulo 5 . Descripción de la Solución

5.1 Rediseño de la grúa pórtico

A continuación se va a detallar el proceso de dimensionamiento y selección de los diferentes elementos mecánicos y mecanismos a utilizar en el replanteamiento del sistema pórtico con el que cuenta actualmente la empresa. A parte de la selección que se hizo en el capítulo anterior, se van a tomar las siguientes condiciones:

- Selección de partes estándares
- Factor de seguridad
- Facilidad de adquisición

Además los siguientes detalles son de gran relevancia para el diseño de los diferentes mecanismos:

Tabla 5.1 Detalles generales.

Atributo	Valor Dimensional
Área de trabajo	(5x5) m
Altura del área de trabajo	6 m
Molde	(40x20x80) cm
Grosor del molde	1 cm
Masa de la maqueta de hielo	40 kg
Maqueta de hielo	(28x18x65) cm

Tomando en cuenta las condiciones anteriores, para comenzar con el diseño se necesita una base que cubra el área de trabajo, para esto se va a utilizar lo ya disponible en la empresa donde se cuenta con 4 columnas dándole soporte al sistema pórtico actual, como se muestra en la Figura 5.1:

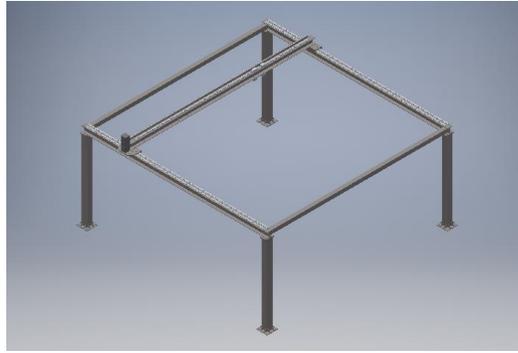


Figura 5.1 Base del Sistema Pórtico. (Elaboración Propia)

5.1.1 Movimiento XY

A partir de la base que se tiene en la Figura 5.1, y lo seleccionado en el capítulo anterior, se tiene que para movimiento XY se va a utilizar un mecanismo de cremallera y piñón con deslizador de rodamiento lineal. Primeramente, se investigó sobre las diferentes opciones que hay en mercado con la longitud necesaria y se escogió la cremallera y piñón de acero con las siguientes características:

Tabla 5.2 Atributos del piñón y cremallera.

Atributo	Valor Dimensional
Módulo cremallera	1.5 mm
Largo por pieza de cremallera	1 m
Paso de la cremallera	4.71 mm
Profundidad del diente	3.375 mm
Dientes del piñón (D_{dp})	40
Distancia del centro del piñón al inferior de la cremallera	48.5 mm
Diámetro de paso del piñón (D)	60 mm
Coefficiente de fricción (Acero) (μ)	0.5

Con los datos proporcionados en la Tabla 5.2, y sabiendo que es necesario mover en el eje Y 200 kg y en el eje X 400 kg, se obtiene que el torque (T) para cada eje es de:

$$T_Y = \mu * M * g * \frac{D}{2} = 0.5 * 200 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \frac{0.06 \text{ m}}{2} = 29.43 \text{ Nm} \quad (5.1)$$

$$T_x = \mu * M * g * \frac{D}{2} = 0.5 * 400 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \frac{0.06 \text{ m}}{2} = 58.86 \text{ Nm} \quad (5.2)$$

El deslizador de rodamiento lineal seleccionado es el modelo standard HGH35HA el cual cuenta con los valores de momento nominal estático mostrados en la Figura 5.2 y tabulados en la Tabla 5.3.

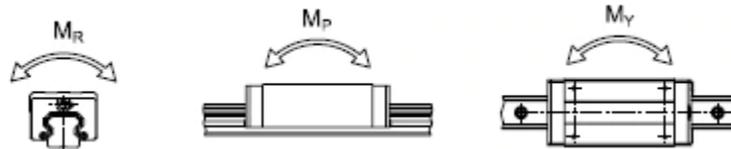


Figura 5.2 Momentos relacionados al deslizador de rodamiento lineal. [15]

Tabla 5.3 Momentos relacionados al deslizador de rodamiento lineal.

Momento	Valor (kN-m)
M _R	1.54
M _P	1.40
M _Y	1.40

Comparando el valor de M_R con T_x se tiene una relación de 26:1, respectivamente. Esto da para saber que este modelo puede soportar lo suficiente cualquier esfuerzo alrededor del mismo.

En el capítulo anterior se mencionó que se va a utilizar un mecanismo de cremallera y piñón con deslizador de rodamiento lineal para los movimientos XY del sistema. Para dimensionar el servomotor en X a utilizar, se tienen las condiciones mostradas en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Atributos del dimensionamiento del motor en el eje X.

Atributo	Valor Dimensional
Máxima carga (M)	400 kg
Coeficiente de fricción (Acero) (μ)	0.5
Diámetro de paso del piñón (D)	60 mm
Velocidad angular (ω)	2500 rpm
Toque Requerido (T)	58.8 Nm
Potencia del motor (P)	Incógnita

Con las condiciones anteriores y el resultado de la ecuación (5.1) se tiene que P es:

$$P = T_x * \omega = 58.8 \text{ Nm} * 2500 \text{ rpm} * \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} = 14.4 \text{ kW} \quad (5.3)$$

Con el resultado anterior, se denota la clara necesidad de utilizar una caja reductora ya que el motor calculado requiere tener una potencia muy alta (14.4 kW o 20 HP aproximadamente) generando altos costos y dificultad de adquisición. La caja reductora permitirá dimensionar un motor de menor potencia que el actualmente calculado. Se va a utilizar una relación de 8:1 para la caja reductora. Tomando en cuenta los resultados de la ecuación (5.3) se tiene que:

$$T = \frac{58.8 \text{ Nm}}{8} = 7.36 \text{ Nm} \quad (5.4)$$

$$P = 7.36 \text{ Nm} * 2500 \text{ rpm} * \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} = 1.93 \text{ kW} \quad (5.5)$$

Con el resultado anterior se requiere un motor con potencia mínima de 1.93 kW (2.6 hp). Tomando en consideración que el factor de carga sea de 50%, con el máximo rendimiento al 75%, se tiene que la potencia del motor debería ser de:

$$Potencia\ real\ motor = \frac{1.93\ kW}{0.75} = 2.57\ kW \quad (5.6)$$

Este valor es la guía a la hora de comparar con motores estándar. Como se mencionó en el capítulo anterior se va a utilizar la marca Mitsubishi para los componentes de PLC por lo que es recomendable usar la misma marca, además que ofrecen el mejor precio para el motor. El servomotor más próximo a la potencia necesitada es el HG-SR352 con las características generales tabuladas en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5 Atributos del servomotor en el eje X.

Atributo	Valor Dimensional
Potencia de Salida	3.5 kW
Fuente de alimentación	230 V/1 fase
Velocidad de rotación nominal	2500 rpm

Una vez seleccionado el motor se revisó el diseño del piñón y cremallera para asegurar que estos son los adecuados para los torques calculados anteriormente. Como se va a utilizar el mismo modelo para el eje X y Y, se va a tomar el valor de T_x , ya que es el más alto, para conocer si lo propuesto en la Tabla 5.2 se puede realizar. Se utilizó la fórmula de Lewis para engranes (Ecuación 2.7) para conocer si este es capaz de soportar el esfuerzo generado por el servomotor, para resolver esta ecuación, en la Tabla 5.6, se muestran las variables que se tomaron a consideración.

Tabla 5.6 Atributos cálculo del piñón y cremallera.

Atributo	Valor Dimensional
Fuerza tangencial (W^t)	1962 N
Resistencia a la flexión AISI 1045 (σ_o)	655 MPa
Ancho del piñón (F)	20 mm
Modulo (m)	1.5 mm
Velocidad Lineal (V)	Desconocido
Factor de Forma (Y)	0.3892 (por Tabla)
Factor de Velocidad (K_v)	Desconocido

Se tienen que conseguir cada uno de los valores desconocidos para usar la fórmula de Lewis de engranes, por lo que se tiene para la V y K_v , respectivamente:

$$V = \frac{D}{2} * \omega = \frac{0.06 \text{ m}}{2} * 2500 \text{ rpm} * \frac{2\pi \text{ rad}}{8 * 60 \text{ s}} = 1 \text{ m/s} \quad (5.7)$$

$$K_v = \frac{3.05 + 1}{3.05} = 1.328 \quad (5.8)$$

Una vez adquiridos todos los valores se tiene que la resistencia a la flexión mínima es de:

$$\sigma = \frac{1.328 * 1962 \text{ N}}{0.02 * 0.0015 * 0.3892} = 223 \text{ MPa} \quad (5.9)$$

Lo cual comparándolo con el valor del material SAE 1045 se tiene cociente de 2.94, lo cual indica que es capaz de soportar los esfuerzos a lo que es sometido.

Una vez seleccionados todos los componentes para el movimiento del eje X, se plantea la utilización de un plato horizontal para la unión de los componentes mecánicos descritos anteriormente, como se muestra en la Figura 5.3. Una vez diseñado esto, se procede a la configuración final presentada en la Figura 5.4.

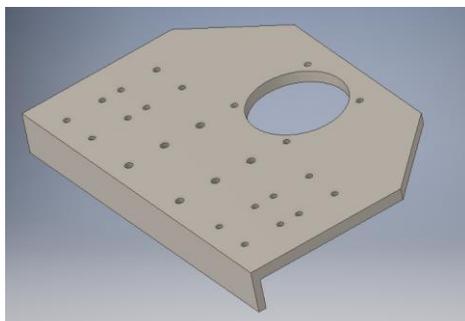


Figura 5.3 Plato para el movimiento horizontal. (Elaboración Propia)

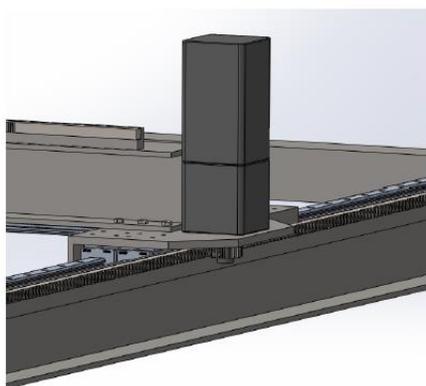


Figura 5.4 Configuración para el movimiento en X. (Elaboración Propia)

Para dimensionar el motor en Y a utilizar, se tienen las condiciones mostradas en la Tabla 5.7:

Tabla 5.7 Atributos del dimensionamiento del motor en el eje Y.

Atributo	Valor Dimensional
Máxima carga (M)	200 kg
Coefficiente de fricción (Acero) (μ)	0.5
Diámetro de paso del piñón (D)	60 mm
Velocidad angular (ω)	2500 rpm
Toque Requerido (T)	29.43 Nm
Potencia del motor (P)	Incógnita

Con los datos anteriores y el resultado de la ecuación (5.2) se tiene que P es:

$$P = T_Y * \omega = 29.43 \text{ Nm} * 2500 \text{ rpm} * \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} = 7.7 \text{ kW} \quad (5.10)$$

Con el resultado anterior, se denota la clara necesidad de utilizar una caja reductora ya que el motor calculado requiere tener una potencia muy alta (7.7 kW o 10 HP aproximadamente) generando altos costos y dificultad de adquisición. La caja reductora permitirá dimensionar un motor de menor potencia que el actualmente calculado. Se va a utilizar una relación de 4:1 para la caja reductora. Tomando en cuenta los resultados de la ecuación (5.10) se tiene que:

$$T = \frac{29.43 \text{ Nm}}{4} = 7.36 \text{ Nm} \quad (5.11)$$

$$P = 7.36 \text{ Nm} * 2500 \text{ rpm} * \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} = 1.93 \text{ kW} \quad (5.12)$$

Comparando estos resultados con los de la ecuación (5.4) y (5.5), son exactamente los mismos, por lo que se puede utilizar el mismo servomotor, cuyo modelo es el HG-SR352.

5.1.2 Mecanismo de agarre del molde

En el caso del agarre automático del molde, se va a utilizar un mecanismo llamado Yugo Escocés, pero para la aplicación que se requiere se necesita hacer una modificación al diseño original. Este diseño tiene el fin de que solo uno de los lados esté en posición extendido mientras que el otro lado estará en posición contraída, como lo muestra la Figura 5.5, lo cual va en contraposición a lo requerido que es que ambos lados se encuentren en la misma posición, ya sea extendida o contraída.

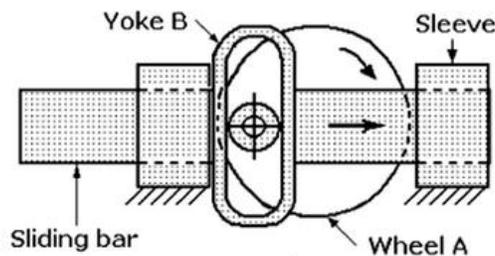


Figura 5.5 Yugo escocés. [4]

Con respecto a lo anterior, para llegar a esta funcionalidad se hará un cambio donde se tendrán dos brazos independientes entre sí; además, no se hará el giro completo del plato guía, bastará con un giro de 90°. También se usará un bloque de rodamiento lineal SC16LUU como guía de las extremidades del Yugo escocés. Con estos cambios se asegura el funcionamiento propuesto en los requerimientos. En la Figura 5.6 se muestra la nueva configuración.

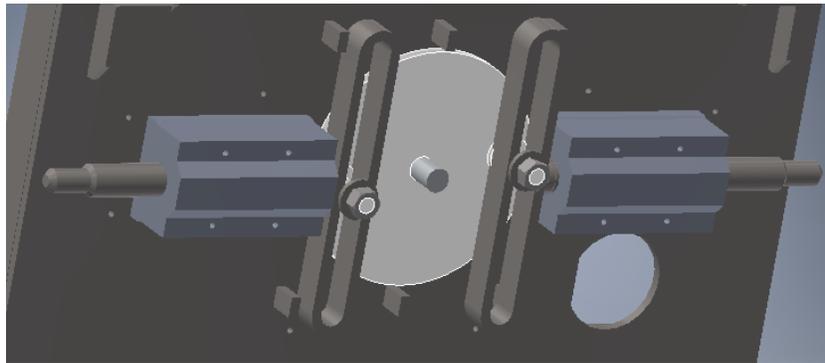


Figura 5.6 Yugo Escocés Modificado. (Elaboración Propia)

Para el accionamiento del mecanismo se va a utilizar un motor a pasos NEMA 23 con las siguientes características mostradas en la Tabla 5.8. Con este motor, lo que se busca es que sea el encargado de girar el plato guía 90°, que serán 50 pasos del mismo.

Tabla 5.8 Atributos del servomotor.

Atributo	Valor Dimensional
Alimentación	24 VDC
Ángulo de paso	1.8°
Torque estático	12.6 Kg-cm
Inercia del rotor	280 g-cm

5.1.3 Configuración del llenado automático del molde

Para el caso del llenado automático del molde se va a tomar como base la configuración ya existente de tubería desde la bomba de agua hasta el área de

trabajo. No se va a detallar en ello ya que está fuera del alcance de este proyecto, se va a modelar como si se tuviera una tubería recta desde la bomba hasta el área de trabajo, sin pérdidas. Dicho esto, lo que se desea es que cuando la grúa pórtico esté en la posición indicada se llene el molde, para llevar a cabo dicha tarea se van a utilizar dos válvulas solenoide Baomain 2W-400-40 de acción directa normalmente cerrada.

Estas válvulas estarán conectadas a tubería de 1.5 pulg en su entrada y salida, pero con una tubería principal de 3 pulg que transporta el agua hasta la grúa, como se denota en la Figura 5.7. Se van a utilizar los mismos tamaños de tubería y mangueras que los mencionados en el Capítulo 3 (1.5 pulg y 3 pulg).

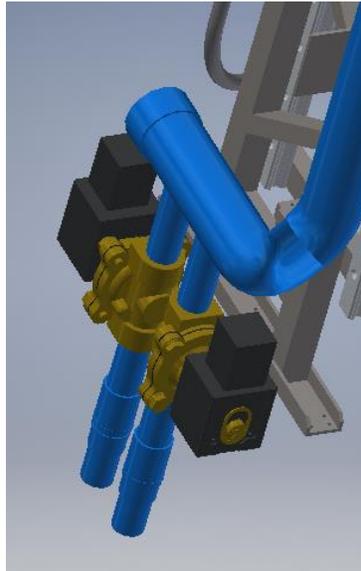


Figura 5.7 Configuración tubería y válvula solenoide. (Elaboración Propia)

Un punto importante a tomar en cuenta es que la tubería está en un mecanismo que se encuentra en constante movimiento por el área de trabajo, por lo que se requiere el uso de mangueras, ya que estas presentan flexibilidad. En la Figura 5.8, se presenta el diseño que se va a utilizar para atacar este problema. Esta se base en un tubo externo que se instalará por debajo de la viga, donde por medio de una abrazadera, como la mostrada en la Figura 5.9, se deslizará la manguera con libertad. Esta configuración también se utilizará para los cables de los dispositivos electrónicos dentro de la grúa.

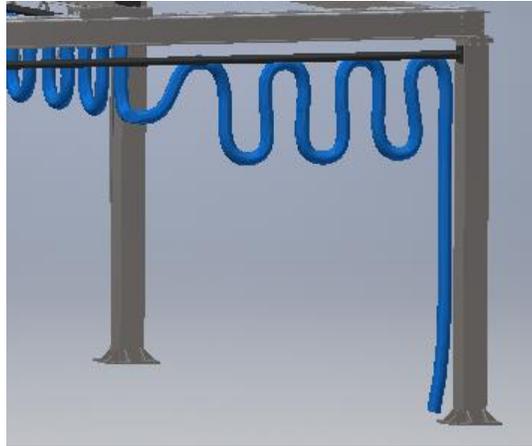


Figura 5.8 Diseño para guía de mangueras. (Elaboración Propia)



Figura 5.9 Abrazadera de la manguera. [16]

5.1.4 Movimiento en Z

A partir de lo seleccionado en el capítulo anterior, se usó un mecanismo de tornillo de bola para cumplir con el movimiento en Z. La Figura 5.10 muestra la configuración inicial que se utilizó para el tornillo de bola, a partir de esta se agregaron los demás componentes como el mecanismo de agarre y llenado del molde hasta llegar a la estructura final.

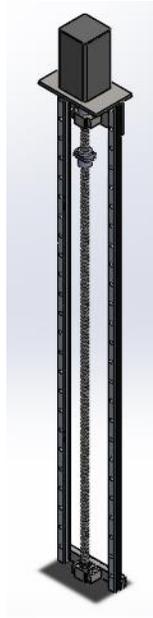


Figura 5.10 Configuración tornillo de bola. (Elaboración Propia)

Se tiene que diseñar, primeramente una estructura en el eje Y donde se pueda ensamblar la configuración para el movimiento en el eje Z. Para esto se planteó el plato de la Figura 5.11, en el cual va ensamblado el motor del eje Y y el tornillo de bola de la Figura 5.10. La Figura 5.12, muestra la configuración mencionada.

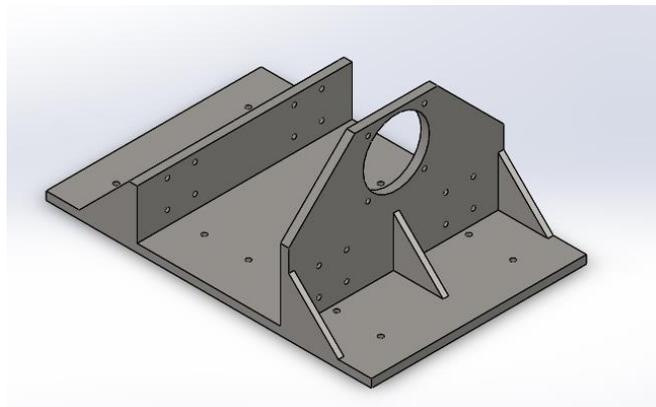


Figura 5.11 Plato de Unión eje YZ. (Elaboración Propia)

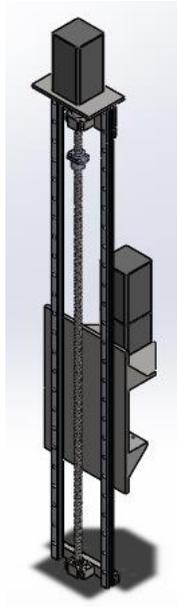


Figura 5.12 Configuración con la unión Eje YZ. (Elaboración Propia)

Una vez obtenida la configuración de la Figura 5.12, se diseñó un brazo el cual va a estar unido al tornillo de bola para subir y bajar, dependiendo de la rotación del motor, la Figura 5.13 muestra esta configuración. Además es importante mencionar que se le agregó una guía lineal en ambos extremos del brazo donde en conjunto con cuatro bloques con deslizador de rodamiento lineal ayuda a que los esfuerzos radiales que se puedan generar no se carguen al tornillo provocando un fallo del mismo.

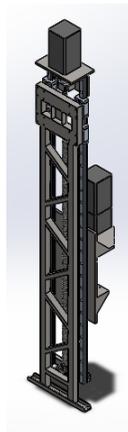


Figura 5.13 Configuración del brazo de movimiento en Z. (Elaboración propia)

Seguidamente, teniendo como base lo mostrado en la Figura 5.13, se diseñó una estructura donde se pueda tener unido tanto el sistema de agarre automático como el de llenado del molde, la misma se muestra en la Figura 5.14.

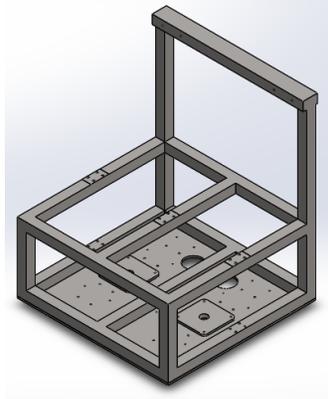


Figura 5.14 Soporte base. (Elaboración Propia)

La Figura 5.15 muestra la configuración final para el movimiento en Z, donde se puede notar que se unen los mecanismos antes mencionados de llenado y agarre automático del molde.

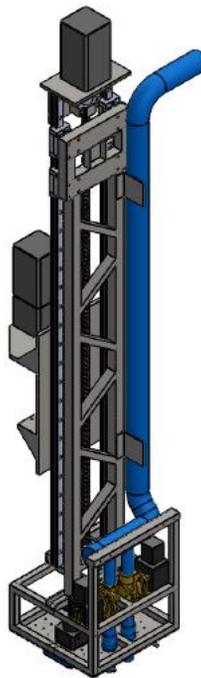


Figura 5.15 Configuración final para el movimiento en Z. (Elaboración Propia)

Seguidamente se dimensionaron tanto el tornillo de bola como el motor necesario para el eje Z. En la Tabla 5.9 se muestran las características del tornillo de bola, se utilizará un modelo SFU 2005, debido a que en el mercado es el que presenta las condiciones de tamaño necesarias para cumplir los requerimientos del movimiento Z, además de ser fácil de conseguir.

Tabla 5.9 Atributos del tornillo de bola.

Atributo	Valor Dimensional
Longitud	1900 mm
Diámetro de paso	25 mm
Paso	10 mm
Diámetro de bola	3.175 mm

Una vez definidas las características y sabiendo que tiene que ser capaz de poder ascender y descender una carga de 120 kg, se obtuvo la relación de velocidad (RV), el ángulo de inclinación de cada hilo (α), el ángulo de fricción (β), la eficiencia (η) y la ventaja mecánica (VM) para luego obtener el torque (T) necesario para el desplazamiento de la carga antes mencionada.

$$RV = \frac{\pi * D}{L} = \frac{\pi * 25 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 7.85 \quad (5.13)$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{L}{\pi * D}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{10}{\pi * 25}\right) = 7.256^\circ \quad (5.14)$$

$$\beta = \tan^{-1}(f) = \tan^{-1}(0.5) = 26.565^\circ \quad (5.15)$$

$$\eta = \frac{\tan(\alpha)}{\tan(\alpha + \beta)} = \frac{\tan(7.256^\circ)}{\tan(7.256^\circ + 26.565^\circ)} = 0.19 \quad (5.16)$$

$$VM = RV * \eta = 7.85 * 0.19 = 1.49 \quad (5.17)$$

$$T = \frac{M * g * D}{VM * 2} = \frac{120 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 * 0.025}{1.49 * 2} = 9.88 \text{ Nm} \quad (5.17)$$

Con el torque obtenido de la ecuación (5.17), se define que el motor con una velocidad de 2000 rpm requiere una potencia de salida de:

$$P = T * \omega = 9.88 Nm * 2000 rpm * \frac{2\pi rad}{60} = 2 kW \quad (5.18)$$

Por ende, para este caso se decidió utilizar el motor modelo HG-SR202B ya que satisface todas las necesidades mecánicas para llevar a cabo el movimiento. Un aspecto importante de este modelo que se consideró, fue que este cuenta con un freno automático y esto es de vital importancia ya que una de las desventajas que presentaba el mecanismo de tornillo de bola es el retroceso que se puede dar.

5.2 Diseño de la automatización

Teniendo una vez definido el modelo mecánico de la grúa pórtico, se procedió con la configuración y programación lógica del PLC, para esto se utilizó el software llamado GX Works 3 que pertenece a la marca Mitsubishi. La Tabla 5.10, muestra los componentes escogidos en secciones anteriores, estos servirán como base para crear el diseño final de automatización.

Tabla 5.10 Componentes preseleccionados

Dispositivo	Modelo
Motor Eje X	HG-SR352
Motor Eje Y	HG-SR352
Motor Eje Z	HG-SR202B
Motor a pasos agarre automático	Nema 23
PLC	FX5U-32MR/ES
HMI	GT2107
Válvula Solenoide	Baomain 2W-400-40

5.2.1 Configuración

El primer pasó que se hizo fue la configuración total del sistema en el software. Se procedió a GX Works 3, se creó un nuevo proyecto y se seleccionó el modelo FX5U-32MR/ES como CPU. El PLC por sí mismo no puede controlar los

motores, se ocupa de componentes externos para realizar este control. En la Figura 5.16 se muestra la configuración inicial que se debe de tener donde como CPU se tiene el PLC antes mencionado y el dispositivo externo marcado con un “1” es un módulo de movimiento simple, modelo FX5-40SSC-S. El software configuró automáticamente el CPU con las características del PLC escogido, por lo que no requirió ninguna modificación extra.

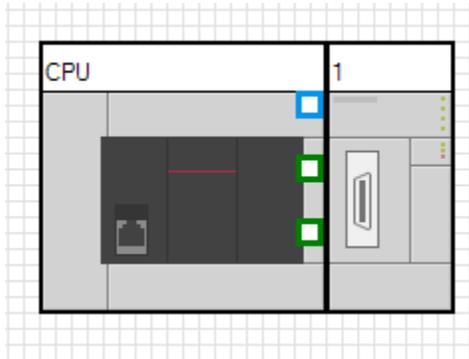


Figura 5.16 Configuración inicial. (Elaboración Propia)

El módulo de movimiento simple ayuda como el cerebro del control de los motores de los tres ejes, permitiendo que estos funcionen de manera sincrónica con su característica de comunicación sincrónica. Aparte del módulo de movimiento simple, se necesitan de amplificadores los cuales se conectan directamente a los servomotores, como se muestra en la Figura 5.17. El software creó una configuración estándar de los componentes, en este caso se deshabilitó el cuarto eje que permite el módulo de movimiento simple, ya que solo se necesitaron tres.

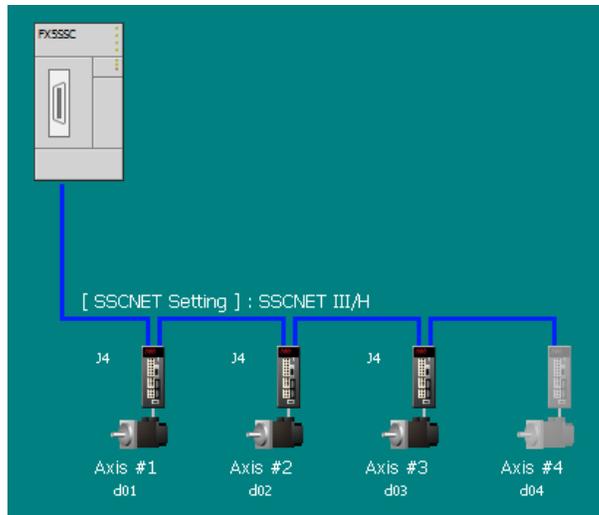


Figura 5.17 Conexión servomotores. (Elaboración Propia)

Los amplificadores a utilizar se muestran en la Tabla 5.11, los cuales fueron configurados en el software. El propósito de un amplificador en un sistema de control de movimiento es proporcionar una cantidad controlada de corriente o tensión eléctrica a un motor en función de una señal de comando del controlador de movimiento. En la Figura 5.18, se muestra la configuración que se utilizó para ingresar al software.

Tabla 5.11 Amplificadores seleccionados

Dispositivo	Modelo
Motor Eje X	MR-J4-350B
Motor Eje Y	MR-J4-350B
Motor Eje Z	MR-J4-200B

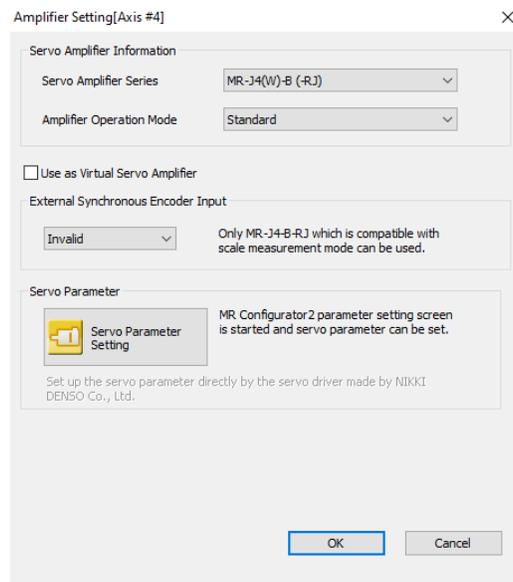


Figura 5.18 Configuración inicial de los amplificadores. (Elaboración Propia)

Una característica importante que nos brinda el módulo de movimiento simple junto con los amplificadores es que se puede configurar el mecanismo que va a ser accionado por el motor correspondiente. En el capítulo 4 se escogieron los mecanismos correspondientes para cada eje, en el caso de los ejes X y Y se va a utilizar un mecanismo de piñón y cremallera y para el eje Z un mecanismo de tornillo de bola, los cuales ya fueron dimensionados en el capítulo 5 y se van a utilizar para la configuración del sistema. En la Figura 5.19 se muestra el resultado para los ejes X y Y y en la Figura 5.20 el del eje Z.

Dentro del software primero se escogió el mecanismo correspondiente a cada eje, luego se colocó la medida de diámetro del piñón y paso del tornillo de bola. En el caso del eje X y Y se está utilizando una caja reductora por lo cual se procedió a colocar el valor de reducción. Por último, ya se tenía cargado el valor del codificador ya que este se obtuvo del modelo del amplificador de cada servomotor.

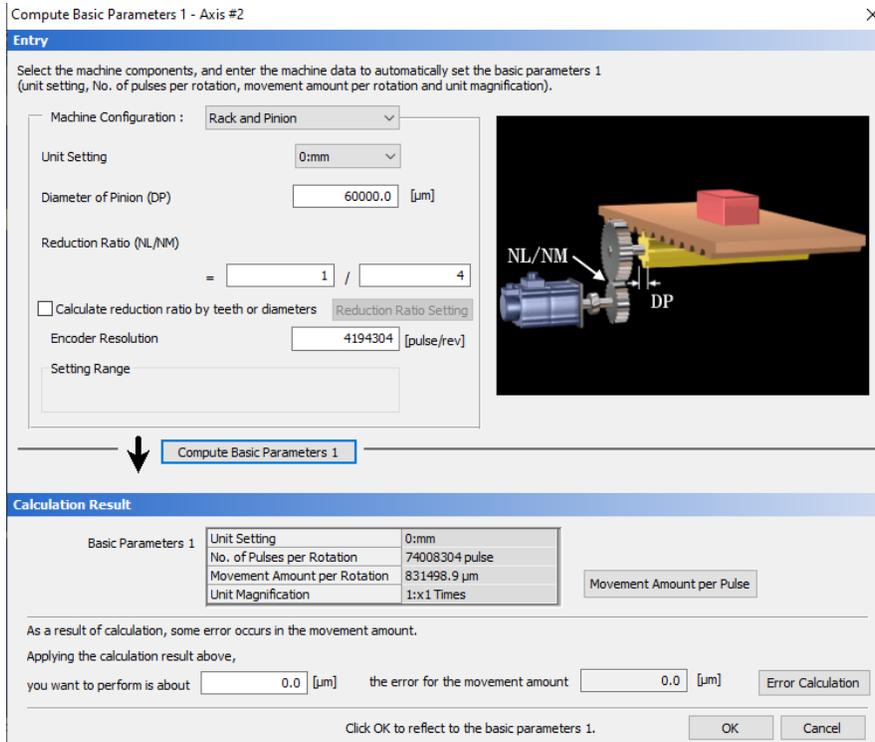


Figura 5.19 Configuración de mecanismo ejes X y Y. (Elaboración Propia)

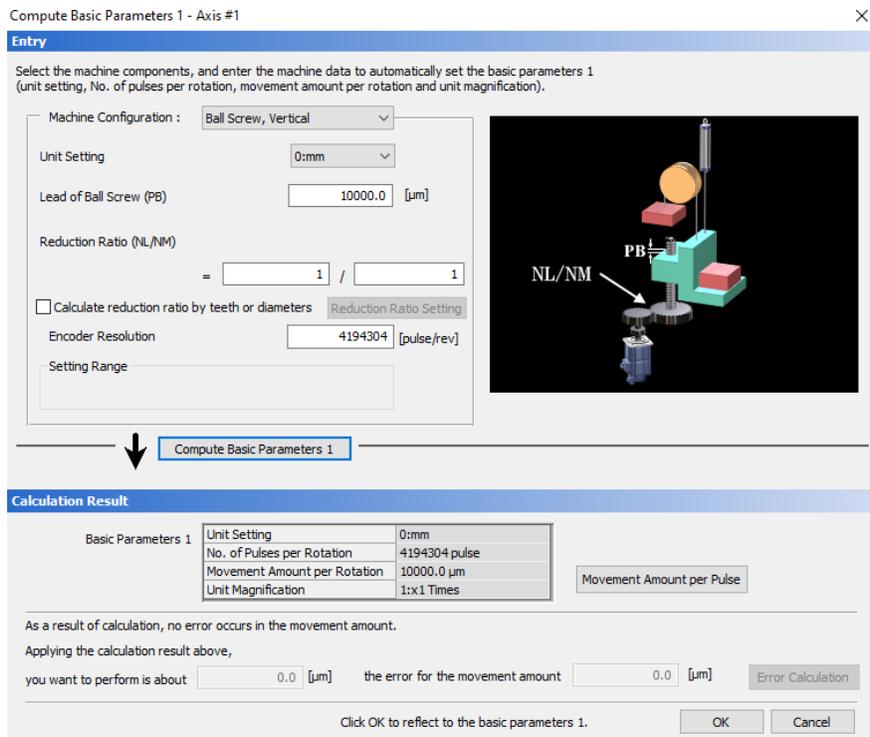


Figura 5.20 Configuración de mecanismo ejes Z. (Elaboración Propia)

Seguidamente se procedió con la configuración básica del servomotor, la cual se muestra en la Figura 5.21. Se elige que motor inicialmente debería avanzar en sentido contrario del reloj o CCW (*counterclockwise*, por su significado en inglés). También, se desactivó el atributo de parada forzada debido a que el modelo de amplificador no cuenta con entradas EM1 y EM2. Por último, se seleccionó que la fase del pulso de salida del codificador sea en ventaja de la fase A en unos 90°, como se muestra en la Figura 5.22.

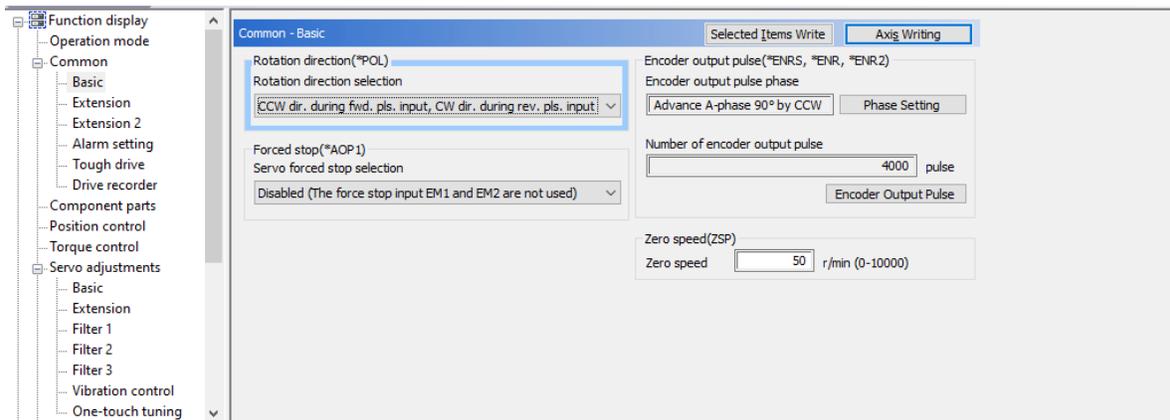


Figura 5.21 Configuración Básica Servomotor. (Elaboración Propia)

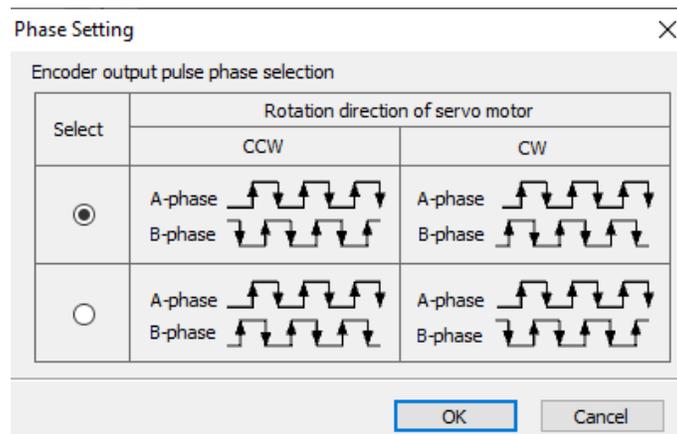


Figura 5.22 Fase del pulso de salida del codificador. (Elaboración Propia)

La siguiente configuración corresponde a los componentes externos que se utilizan. Se escogió la opción de que un regenerador no se va a utilizar. Además, se activa el sistema de detección de la posición absoluta con el que cuenta el modelo de amplificador seleccionado. Para el eje Z, Figura 5.23, se activa la opción de la

salida del freno electromagnético (*Brake output*). Esta es la única diferencia entre los ejes X y Y y el eje Z. Otro aspecto importante es que se usó un modelo de dos cables para la comunicación del codificador con el amplificador.

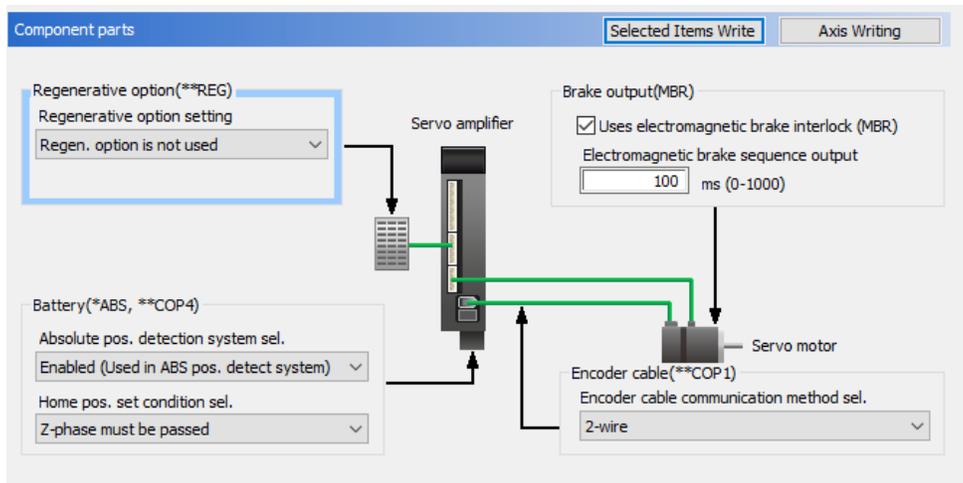


Figura 5.23 Configuración de parte de componentes. (Elaboración Propia)

A modo resumen, en la Tabla 5.12, se muestran los diferentes dispositivos para que exista el correcto funcionamiento de los servomotores dependiendo del eje. Se toman en cuenta también los cables de conexión debido a que estos son especiales para que se tenga una comunicación rápida y sin ruido.

Tabla 5.12 Modelos de dispositivo por eje.

Dispositivo	Eje Z	Eje X	Eje Y
Amplificador	MR-J4-200B	MR-J4-350B	MR-J4-350B
Motor	HG-SR202B	HG-SR352	HG-SR352
Cable del codificador	MR-J3ENSCBL10M-L	MR-J3ENSCBL10M-L	MR-J3ENSCBL10M-L
Cable de alimentación del motor	MR-PWCN55	MR-PWCN55	MR-PWCN55
Cable del freno electromagnético	MR-BKCNS1	No Aplica	No Aplica

Por último, la configuración del HMI se va a realizar en el software llamado GT Designer 3. Primero, se tiene que elegir el modelo de HMI correspondiente con

la configuración de color; luego, la familia del PLC que se va eligió, como se muestra en la Figura 5.24.

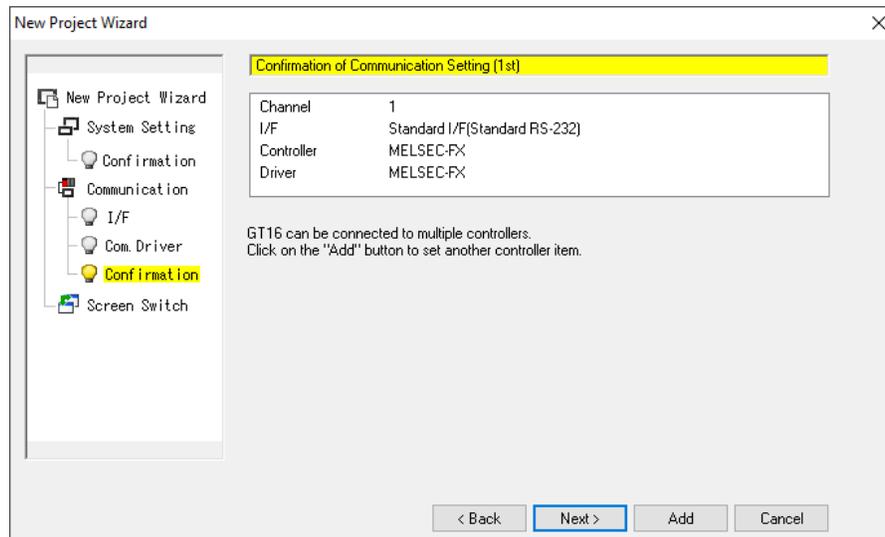


Figura 5.24 Configuración HMI. (Elaboración propia)

5.2.2 Programación Lógica

Una vez que se definió la configuración de cada uno de los elementos se procedió con la creación del diagrama de escalera el cual tiene la lógica de todo el funcionamiento de la automatización. Cabe mencionar que el diagrama de escalera y la lista de dispositivos se encuentran en la parte de Apéndices del presente escrito, por lo que se recomienda al lector leer esta subsección tomando en cuenta el diagrama de escalera. En la Tabla 5.13 se muestra las subdivisiones o bloques que se hicieron dentro del programa principal y además de la función de cada uno, se irá desarrollando cada bloque a lo largo de esta subsección.

En la presenta subsección también se nombraron los diferentes dispositivos usados para realizar el diagrama de escalera. Por ende, en la Tabla 5.14 se muestran las distintas abreviaciones y su descripción.

Tabla 5.13 Función de cada bloque del diagrama de escalera.

Bloque	Función
INPUT_MAP	Contiene la asignación de cada entrada externa a una memoria dentro del CPU.
MAIN	Contiene la lógica general para activar el modo manual o automático de creación o extracción y verifica que las condiciones de la lógica se encuentren en las condiciones correctas.
MANUAL	Contiene todas las acciones manuales que se puede realizar; por ejemplo: mover la grúa pórtico por el área de trabajo.
HOME	Contiene las condiciones de la rutina para llegar a la posición inicial o <i>Home</i> .
AUTO	Contiene todas las condiciones para que se haga el movimiento automático de la grúa pórtico.
MRJ4_Z-AXIS	Contiene lo lógica que activa el movimiento en el eje Z.
MRJ4_X-AXIS	Contiene lo lógica que activa el movimiento en el eje X.
MRJ4_Y-AXIS	Contiene lo lógica que activa el movimiento en el eje Y.
OUTPUTS	Contiene la señal de salida de cada uno de los sensores de proximidad y de la válvula solenoide.
FAULT	Contiene la lógica que avisa si existe algún fallo en el sistema
HMI	Contiene la lógica de interacción entre el CPU y el HMI

El bloque de mapeo de entradas se basa en la asignación de cada entrada externa al PLC a una memoria. En la Tabla 5.14 se muestra cómo se mapeó cada entrada con la memoria correspondiente. Esta es una práctica estándar que se realiza en la mayoría de diagramas de escalera en automatización industrial.

Tabla 5.14 Mapeo de entradas.

Nombre de entrada	Descripción	Memoria
Gripper-1 in proxy	Sensor de proximidad que detecta el correcto agarre del molde 1	M10
Gripper-1 out proxy	Sensor de proximidad que detecta la correcta soltura del molde 1	M11
Gripper-2 in proxy	Sensor de proximidad que detecta el correcto agarre del molde 1	M12
Gripper-2 out proxy	Sensor de proximidad que detecta la correcta soltura del molde 1	M13
Auto/Manual UAL SSW	Selecciona el modo de actuar del sistema entre modo automático y manual.	M16
Reset PB	Borra todas las memoria	M18
EM-STOP PB	Activa/desactiva el botón de emergencia	M19

Una vez desarrollado el bloque de mapeo de entradas, se procedió con la creación del bloque principal. Este bloque se divide en sub-bloques, que se muestran en la Tabla 5.15, cada uno con una función diferente.

Tabla 5.15 Sub-bloques de MAIN.

Sub-bloque	Descripción
Main	Se activa un relé SM400 el cual siempre está activo, para indicar la conexión entre PLC y HMI. Además de activar la memoria M1360 como bandera de activación del PLC.
Auto/Manual Mode Select	Se lee la M16 la cual define el modo que estará activo, ya sea Automático (M101) o manual (M100).
Mode Change Reset	Se define si en el HMI se selecciona el modo opuesto en el cual se está y que el PLC cambie al mismo modo. (M110)
Machine OK Condition	Se revisa que se cumplan las condiciones básicas del funcionamiento de la máquina las cuales son: <ul style="list-style-type: none">• Bandera de activación PLC (M1360).• Botón de emergencia desactivado (M19).• Mode Change Reset desactivado (M110).• Que no haya ninguna falla detectada. (M18)

El bloque siguiente es el de MANUAL, este bloque contiene la lógica que permite al usuario utilizar la grúa pórtico a su deseo y no depende de posiciones precargadas. En la Figura 5.25, se muestra es diagrama de flujo que se utilizó para realizar el diagrama de escalera de este bloque. Esta Figura sirve de referencia para comprender el diagrama de escalera de este bloque que se muestra en el Apéndice.

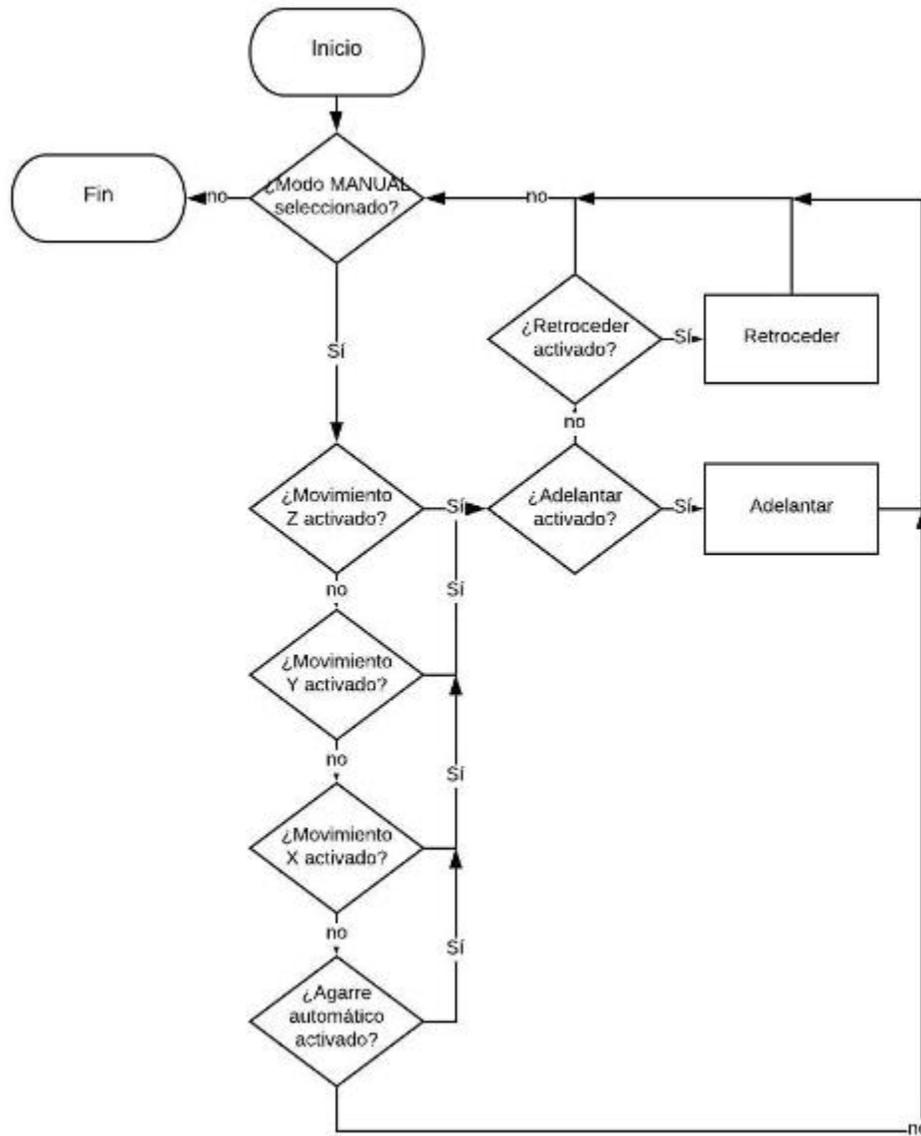


Figura 5.25 Diagrama de flujo bloque Manual. (Elaboración propia)

Para el bloque llamado Home, se utilizó la lógica mostrada en la Figura 5.26. Este está referenciado a un botón dentro del HMI donde el usuario es capaz de que con el hecho de activarlo la grúa pórtico se devuelva a la posición inicial que se programó. En otras palabras, la grúa pórtico pasa de la coordenada (X1,Y1,Z1) a la coordenada (X0,Y0,Z0).

Para realizar este ciclo primero se tiene que corroborar que las condiciones iniciales estén en el estado correcto; es decir, que se haya activado el botón en el

HMI de Inicio, que se tenga guardado en memoria dónde es la posición inicial para los tres ejes y que se esté en modo Manual. Si todas estas condiciones se satisfacen, se enviará la señal a los servomotores para que se muevan a las coordenadas de inicio. Primeramente, moviendo el eje Z para después mover el Y y X.

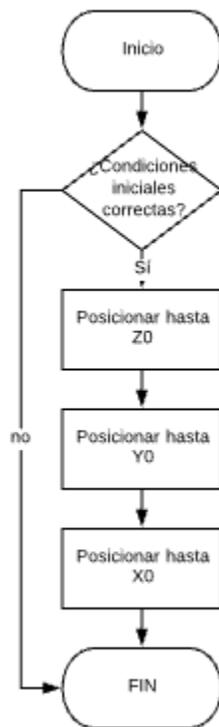


Figura 5.26 Diagrama de flujo bloque Home. (Elaboración propia)

El bloque AUTO es el bloque más complejo de todos. Este se base en toda la rutina de automatización para la creación y extracción de la marqueta de hielo, en la Figura 5.27 se muestra el diagrama de flujo para este bloque. Este se basó en primero confirmar que las condiciones de máquina, mencionadas anteriormente, estuvieran correctas. Una vez hecho, y con el modo Auto activado, se debe de elegir entre los dos subprocesos: creación o extracción.

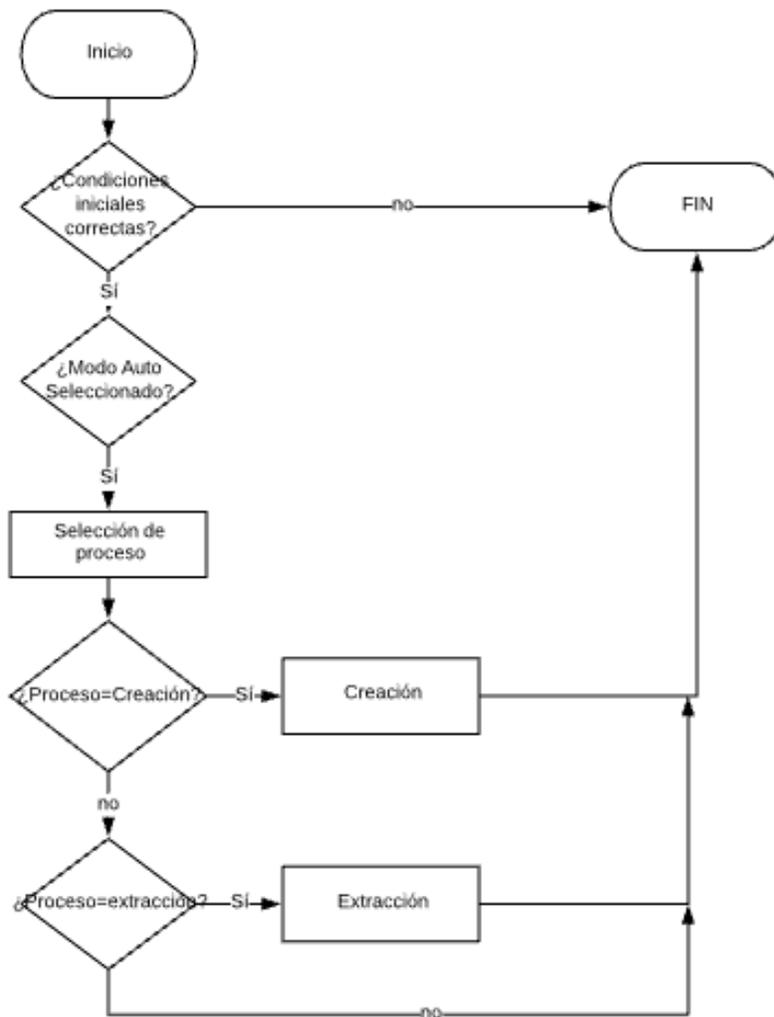


Figura 5.27 Diagrama de flujo del bloque AUTO. (Elaboración Propia)

El subproceso de creación se muestra en la Figura 5.28, este parte del hecho que la grúa se encuentra en la posición de inicio (o *Home*), de lo contrario antes de iniciar se debe de activar la rutina del bloque HOME para cumplir con esta condición. Seguidamente, se hace que la grúa descienda hasta el nivel superior del molde, para de esta manera activar el motor a pasos y que se realice el agarre automático. Se van a tener dos sensores de proximidad inductivo blindado para cada molde, estos indicaran si el agarre fue exitoso o no. Si el agarre fue exitoso la grúa se moverá a la coordenada seleccionada para el par de moldes y se llenará cada uno con el agua activando la válvula solenoide (se parte del hecho que el sistema de

alimentación de agua está encendido). Por último, se coloca el molde en la cuadrícula del tanque de Salmuera y se regresa a la posición de inicio.

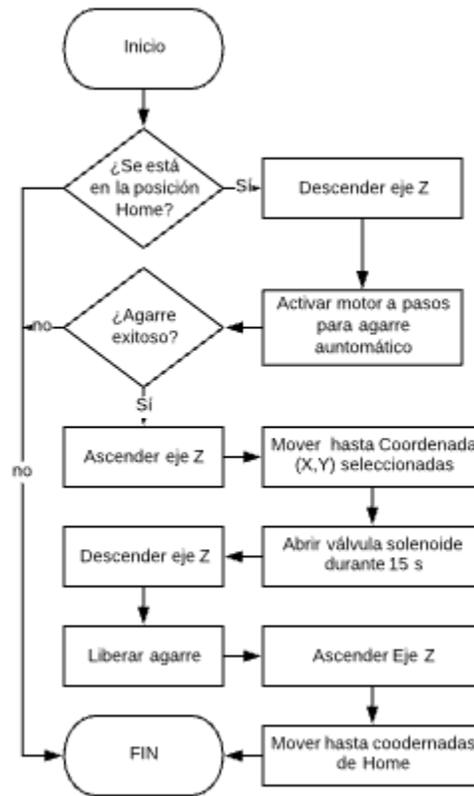


Figura 5.28 Diagrama de flujo del proceso de creación. (Elaboración Propia)

El subproceso de extracción se muestra en la Figura 5.29. El flujo de este subproceso es parecido al de la Figura 5.28, pero haciendo el camino al revés. Se empieza por mover la grúa a las coordenadas deseadas, descender la grúa y realizar el agarre activando el motor a pasos. Una vez asegurado el agarre, se ascienden los moldes con las marquetas y se desplazan hasta la posición de inicio. En este momento, se liberan los moldes para que los colaboradores puedan extraer la marqueta del molde y seguir con el próximo ciclo de extracción. Es de gran importancia destacar que existen 36 posiciones dentro del tanque de salmuera, por lo cual, tanto el proceso de extracción como el de creación se debería realizar la misma cantidad de veces.

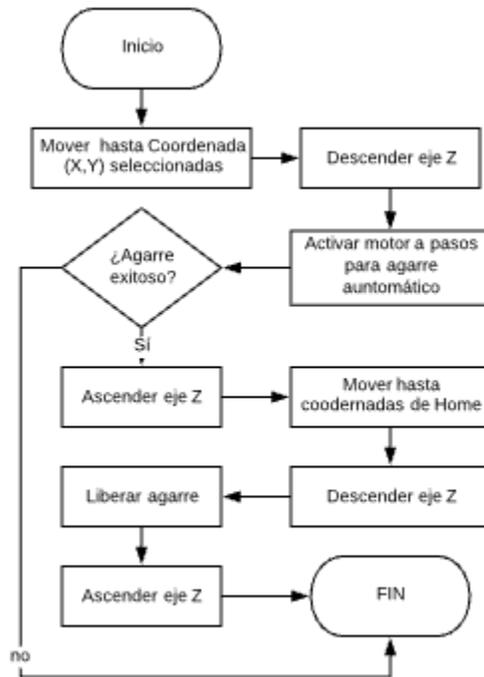


Figura 5.29 Diagrama de flujo del proceso de extracción. (Elaboración Propia)

Los tres bloques siguientes son idénticos entre sí, los cuales son: MRJ4_Z-AXIS, MRJ4_X-AXIS y MRJ4_Y-AXIS. Estos bloques se basan en el accionamiento de los motores de los tres ejes. En la Tabla 5.16, se muestran los sub-bloques que los conforman como su descripción. Todos estos sub-bloques se crearon para que el movimiento de los motores fuera posible, además que son los encargados de la comunicación entre el PLC y módulo de movimiento simple.

Tabla 5.16 Sub-bloques de MRJ4_Z-AXIS, MRJ4_X-AXIS y MRJ4_Y-AXIS.

Sub-bloque	Descripción
Servo Fault	Activa la alerta si existió un fallo en correspondiente eje.
Servo Fault Reset	Reinicia la alarma, la vuelve a estado desactivada.
Servo Axis-# Stop	Desactiva el movimiento del servomotor.
JOG Speeds	Determina la velocidad de rotación del servomotor.
AXIS # MAIN OP	Activa el sentido de giro del servomotor.
SERVO STATUS	Activa la bandera de uso del servomotor y cuando completa su movimiento
AXIS-# SERVO STOP	Envía la señal de paro del servomotor al módulo de movimiento simple.
Servo # HOMING	Rutina para mover el servomotor correspondiente a la posición de inicio.
SERVO # POS CMD	Comandos para el movimiento manual del servomotor.
AXIS # POSI START CMD	Comando para comenzar el posicionamiento del servomotor.
AXIS-# CURRENT POSITION	Obtiene la posición actual del servomotor por medio de módulo de control simple.
Servo-# Dogs	Señales de conexión entre el PLC y el módulo de movimiento simple.
SERVO POSITION SETTING	Se configura las posiciones a la que cada eje llegue, tanto para el modo manual como automático.
SERVO COMMAND POSITION	Se activan el movimiento del servomotor para llegar a la posición seleccionada de las guardadas en el sub-bloque anterior.
HOME POS LIMITS	Se determina los valores de las coordenadas límites de movimiento del motor.

El bloque de OUTPUTS basa su funcionamiento a partir de la lectura de las entradas descritas en la Tabla 5.14. Esta lectura es vital para el correcto funcionamiento del mecanismo ya que de esto dependen las verificaciones, como se muestra en los diagramas de flujo de la Figura 5.27, 5.28 y 5.29, de que el sistema de grúa pórtico está funcionando correctamente.

El bloque de FAULT se base en la activación de alarmas si alguna verificación no fue exitosa; por ejemplo, no se realizó el agarre del molde correctamente ya que el sensor inductivo externo no se activó de la forma adecuada. Además, informa si hubo una falla relacionada a la conexión de los servomotores y se lleva un registro de todas las alarmas actividades durante el funcionamiento del mecanismo.

Por último, el bloque de HMI presenta toda la interacción entre el HMI y el PLC, se define qué hace cada botón dentro del HMI y cómo se verá afectada la lógica del diagrama de escalera por las decisiones que tome el usuario. Se verá más en detalle esta interacción en el capítulo de siguiente.

5.3 Diseño de aplicación IoT

Para la aplicación IoT de medición de variables y envío de correo, se utilizó un ESP32 como microcontrolador; además de un Termistor Pt100 para la medición de temperatura y un kit K10 de conductividad eléctrica de la marca Atlas. Por último, se usó el servicio web ThingSpeak de MathWorks como interfaz de IoT para subir los datos a la nube.

5.3.1 Configuración

Lo primero que se creó fue el diagrama de conexión que indica como se interconecta cada uno de los sensores y sus circuitos con el ESP32, en la Figura 5.30 se muestra esta configuración.

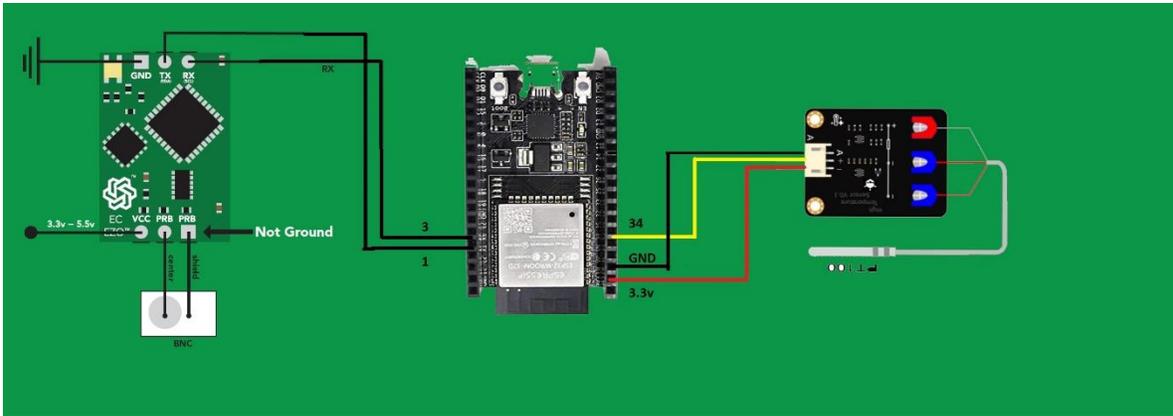


Figura 5.30 Diagrama de conexión.

Una vez definido el circuito, se procedió a instalar las bibliotecas necesarias para crear la programación del ESP32, las cuales se especifican en la Tabla 5.17. Además, es importante tomar en cuenta que la programación del ESP32 se realizó en el ARDUINO IDE, ya que hay compatibilidad entre el software y el microcontrolador.

Tabla 5.17 Bibliotecas necesarias.

Biblioteca	Descripción
WiFi	Se usa para para conectarse a internet. Puede servir como un servidor que acepta conexiones entrantes o un cliente que realiza conexiones salientes.
WiFiMulti	Permite múltiples conexiones del ESP32 a servidores.
DFRobotHighTemperatureSensor	Necesario para la lectura de los valores del circuito eléctrico del sensor de temperatura.
SoftwareSerial	Permite la comunicación en serie con un pin digital que no sea el puerto en serie.

Luego de esto, aún hace falta por configurar la sesión dentro de ThingSpeak. Para esto, primeramente se tiene que crear una cuenta dentro del servicio web. Una vez registrado, se creó un canal, como se ve en la Figura 5.31, donde se le configura un nombre y una descripción; además de los campos que se irán a leer que en este caso sería la temperatura y la conductividad eléctrica.

Channel Settings

Percentage complete 30%

Channel ID 1087161

Name TEMP and CE Alert

Description Critical variables in the ice block production.

Field 1 Temperature

Field 2 Conductivity

Figura 5.31 Configuración del canal en ThingSpeak. (Elaboración propia)

Una vez generado el canal, automáticamente ThingSpeak creó llaves API (API Keys) que sirvieron para poder hacer solicitudes http de escritura o lectura. Estas llaves se muestran en la Tabla 5.18, junto con el comando utilizado.

Tabla 5.18 Llaves API para solicitud http.

Modo	Llave	Comando
Escritura	MTB37ZB5Z FDNY2O8	GET https://api.thingspeak.com/update?api_key=MTB37Z B5ZFDNY2O8&field1=0
Lectura	4PD54E3N GZ4RJJY1	GET https://api.thingspeak.com/channels/1087161/feeds.js on?api_key=4PD54E3NGZ4RJJY1&results=2

Por último, se utilizó otro servicio Web llamado IFTTT para el envío automático del correo por si alguna variable sale de sus límites establecidos en los requerimientos. Se utilizó el comando de lectura, de la Tabla 5.18, para leer los

datos enviados a ThingSpeak. En la Figura 5.32, se muestra la configuración dentro de IFTTT utilizada para el envío del correo automático.

The image shows the IFTTT configuration interface for an email alert. It includes a text input for the event name, a checked checkbox for sending an email, a subject line with a variable, and a body text area with variables and a placeholder for extra data.

Event Name
tempcealert
The name of the event, like "button_pressed" or "front_door_opened"

Send me an email
This Action will send you an HTML based email. Images and links are supported.

Subject
This is an alert mail from " **EventName** "
Add ingredient

Body (optional)
What: **EventName**

When: **OccurredAt**

Extra Data: {{Value1}}, **Value2** ,
Add ingredient

Figura 5.32 Configuración en IFTTT. (Elaboración propia)

5.3.2 Programación Lógica

Una vez configurados ambos servicios web, lo que se realizó fue la programación del ESP32, dentro del software ARDUINO IDE. El código se dividió en tres secciones: Inicialización de variables, función *setup*, función *loop*. Cada una con una función específica y vital para el correcto funcionamiento del sistema.

Primeramente, se inicializan todas las variables que se utilizaron a largo del código. Estas variables se pueden ver en la Tabla 5.19, con su descripción correspondiente.

Tabla 5.19 Variables para inicializar.

Variable	Descripción	Valor Inicial
SSID	Nombre del WiFi.	Depende
Password	Contraseña del WiFi.	Depende
Host	Link de Thingspeak.	api.thingspeak.com
Api_Key	Llave de escritura.	MTB37ZB5ZFDNY2O8
VoltageRef	Tensión eléctrica de referencia.	5
HighTemperaturePin	Pin de lectura del sensor de temperatura.	34
Inputstring	String para guardar datos del PC.	Vacío
sensorstring	String para guardar datos del sensor de conductividad eléctrica.	Vacío
input_string_complete	Booleano de recepción de data de la PC.	Falso
sensor_string_complete	Booleano de recepción de data del sensor de conductividad eléctrica.	Falso
temperature	Valor del sensor de temperatura	0

La función *setup* es la encargada de conectar el ESP32 al WiFi predeterminado; además de inicializar el puerto serial. Si se consigue exitosamente la conexión se procede a la función *loop*, donde sucede la lectura de los sensores y envío de los datos a ThingSpeak. La Figura 5.33 muestra el diagrama de flujo seguido para llegar al código final, el cual se muestra en los Apéndices.

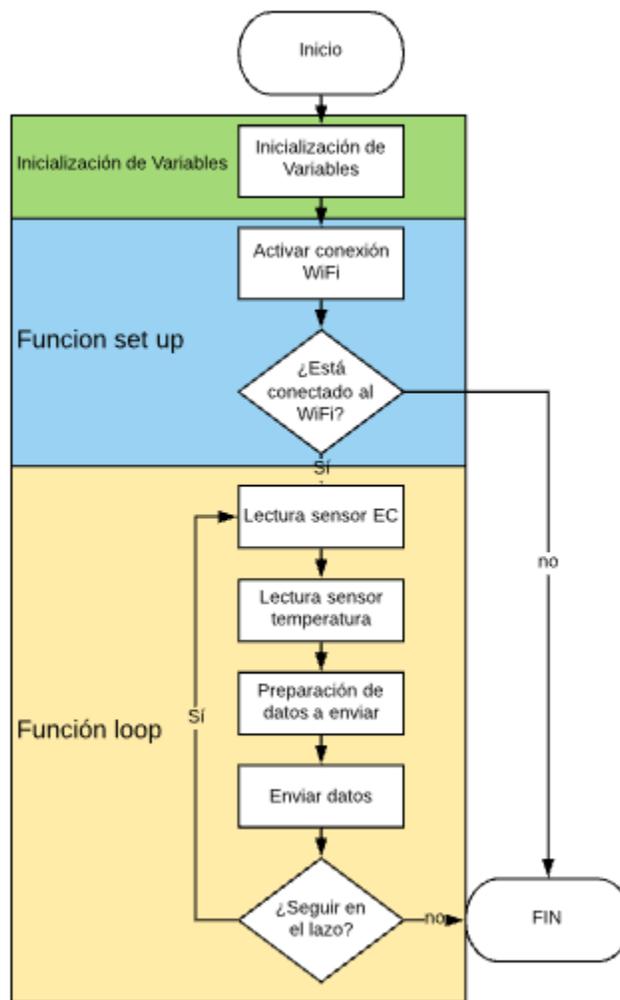


Figura 5.33 Diagrama de flujo programación ESP32. (Elaboración Propia)

Capítulo 6 .Resultados

En el presente capítulo se muestran los resultados de las validaciones que se hicieron para cada etapa del diseño. Estas se basaron en su totalidad en simulaciones que se realizaron con los diferentes softwares que existen en el mercado. Además, se efectuó un análisis económico para conocer la viabilidad de la solución.

6.1 Rediseño de la grúa pórtico

Una vez realizada la configuración de cada uno de los mecanismos descritos en el capítulo anterior se procedió a crear un modelo 3D en el software SolidWorks; además, se realizaron simulaciones estáticas para comprobar deflexión máxima, factor de seguridad mínimo y esfuerzo máximo soportado, como criterio de aceptación se definió que ninguna estructura tuviese un factor de seguridad menor a 5 y que la deflexión generada sea menor a 3 mm. La Figura 6.1 muestra el modelado final del sistema de grúa pórtico. Además, cabe mencionar que para las simulaciones se utilizó un mallado basado en curvatura y el material AISI 1020.

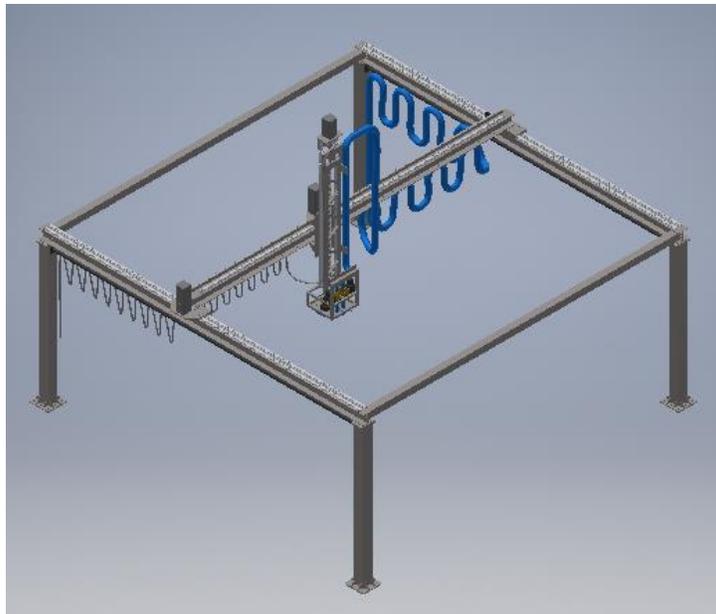


Figura 6.1 Rediseño final del sistema de grúa pórtico. (Elaboración Propia)

Primeramente, se analizó la estructura general que la empresa ya tenía diseñada, enfocándose en la viga que soporta el sistema de grúa, como se muestra

la Figura 6.2. Se puso como estado fijo cada uno de las partes inferiores de la columna para simular los tornillos que irían en ese lugar. Además, se configuró una fuerza en el eje Z donde iría la grúa y se colocó un valor de 2500 N, que sería el peso aproximado según SolidWorks entre el mecanismo en Z más el peso de las marquetas. En la Tabla 6.1, se muestran los resultados obtenidos para esta configuración donde se nota que cumple con los criterios definidos anteriormente, por lo que se aprueba la configuración. Aunque sí se denota que la deflexión es alta.

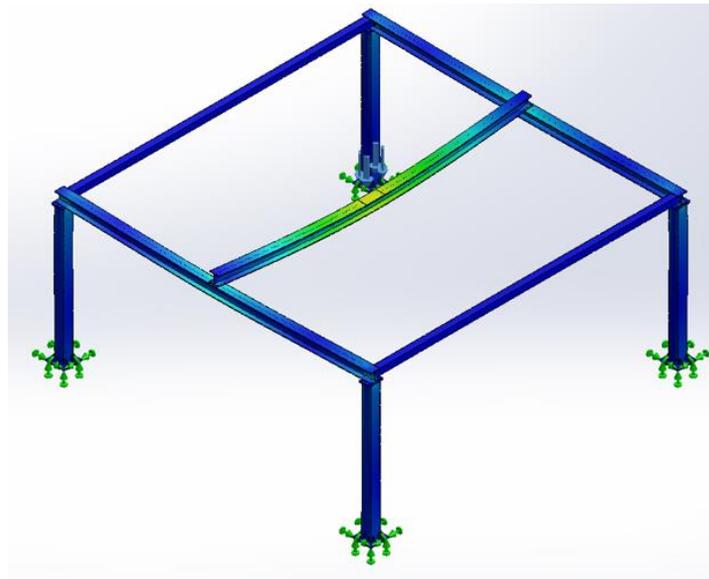


Figura 6.2 Configuración de simulación de la estructura. (Elaboración propia)

Tabla 6.1 Resultados de la simulación para la estructura.

Esfuerzo Máximo (MPa)	Deflexión máxima (mm)	Factor de seguridad
22.23	2.376	15.82

Seguidamente se simuló el plato de la Figura 5.3. La configuración del mismo se basa en el peso que tiene que soportar debido a la viga del movimiento en Y, esta se modeló con una fuerza de 2500 N. Los resultados se muestran en la Tabla 6.2, los cuales nos indican que cumple con las condiciones propuestas con valores de factor de seguridad alto y deflexión baja.

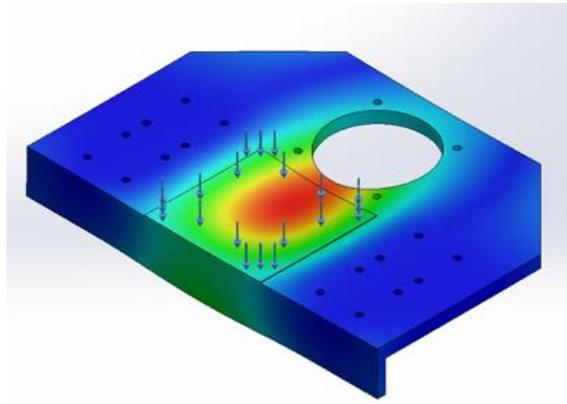


Figura 6.3 Configuración del plato horizontal. (Elaboración propia)

Tabla 6.2 Resultados de la simulación para el plato horizontal.

Esfuerzo Máximo (MPa)	Deflexión máxima (μm)	Factor de seguridad
19.39	7.81	18.13

En la Figura 6.4 se muestra la configuración que se utilizó en el plato horizontal 2, este es el plato que sirve de guía al lado contrario donde está el servomotor para el movimiento en X. El mismo es sumamente parecido al caso anterior con la diferencia de que no presenta un agujero en su estructura debido a que no se dispone en él de un motor. Se modela para que soporte la misma carga de 2500 N. En la Tabla 6.3, se muestran los resultados obtenidos de la simulación la cual indica que ambos platos están en condiciones similares y ambos pasan el criterio con éxito.

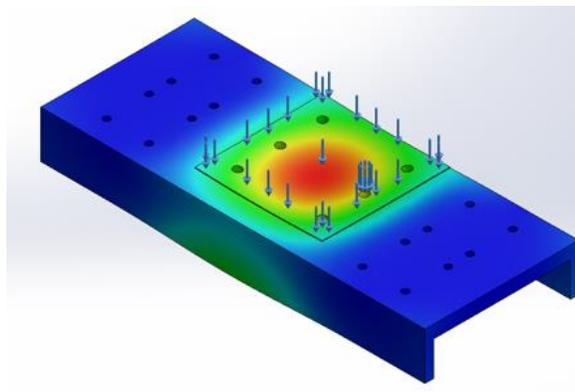


Figura 6.4 Configuración del plato horizontal 2. (Elaboración propia)

Tabla 6.3 Resultados de la simulación para plato horizontal 2.

Esfuerzo Máximo (MPa)	Deflexión máxima (μm)	Factor de seguridad
18.58	6.28	18.92

En la Figura 6.5 se muestra la configuración del plato de unión eje YZ, de la Figura 5.12. Las fuerzas que afectan este plato son mínimas ya que la única función es de soporte de los motores. Por esto, se modeló con la fuerza de reacción que causaría soportar el motor en Y de aproximadamente 8 N. La Tabla 6.4 muestra que el esfuerzo máximo que debe de soportar es sumamente pequeño por lo que el valor de deflexión máxima es sumamente pequeño, mientras que el factor de seguridad es muy grande.

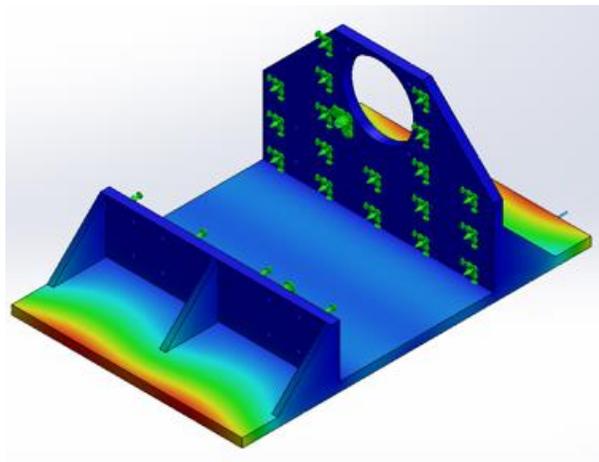


Figura 6.5 Configuración del plato de unión eje YZ. (Elaboración propia)

Tabla 6.4 Resultados de la simulación del plato de unión eje YZ.

Esfuerzo Máximo (kPa)	Deflexión máxima (μm)	Factor de seguridad
0.183	3.48	73.21

Seguidamente, en la Figura 6.6, se muestra la configuración realizada para el brazo de extensión diseñado para sostener los mecanismos en el eje Z, mostrado en la Figura 5.14. A este se le configuró una fuerza externa de 1000 N que es el peso que debería ser capaz de soportar. Asimismo, en la Tabla 6.5 se muestran los

resultados de dicha simulación, los cuales dan valores pequeños para el esfuerzo máximo y deflexión máxima y un valor alto en el factor de seguridad lo cual nos indica que el diseño cumple las condiciones para soportar la carga establecida.



Figura 6.6 Configuración del brazo de extensión. (Elaboración propia)

Tabla 6.5 Resultados de la simulación para el brazo de extensión.

Esfuerzo Máximo (MPa)	Deflexión máxima (μm)	Factor de seguridad
6.978	56.9	50.38

En la Figura 6.7, se presenta la extensión encargada de realizar el agarre del molde. Esta pieza va a estar soportada por un bloque de rodamiento lineal al inicio de su eje y en el extremo tiene que soportar una carga de 200 N, que representaría la mitad del peso de una maqueta de hielo. La Tabla 6.6 indica que el esfuerzo máximo que debe de soportar generaría un factor de seguridad relativamente pequeño, pero aún mayor al criterio de éxito, por lo que la pieza fue aprobada.

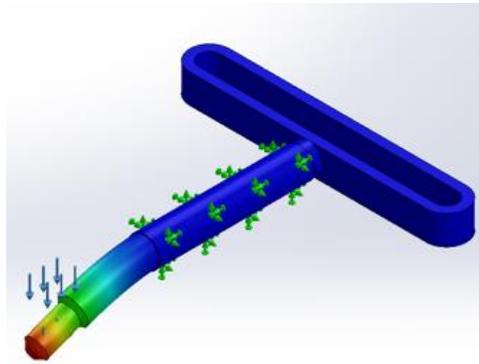


Figura 6.7 Configuración de la extensión de agarre. (Elaboración propia)

Tabla 6.6 Resultados de la simulación para la extensión de agarre.

Esfuerzo Máximo (MPa)	Deflexión máxima (μm)	Factor de seguridad
53.49	20.9	6.57

Por último, se examina la base, de la Figura 5.15, la cual sirve para poder configurar los elementos de agarre y llenado automático. En la Figura 6.8m se muestra la configuración utilizada para la simulación, la cual se basa en que la parte inferior del marco de la base debe de soportar el peso de las marquetas de hielo y los componentes antes mencionados, por lo cual se determinó que debería de soportar una fuerza de 1000 N. La Tabla 6.7 señala que esta configuración cumple con los criterios establecido al inicio de esta sección.

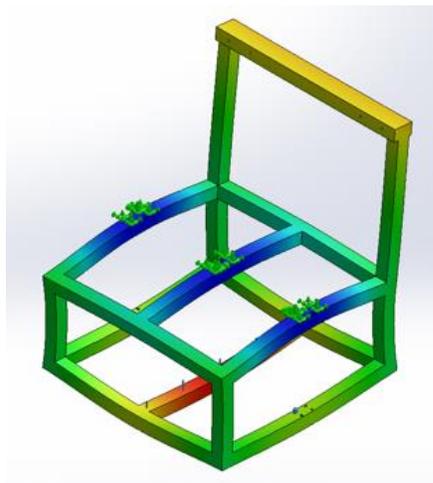


Figura 6.8 Configuración Base Soporte. (Elaboración propia)

Tabla 6.7 Resultados de la simulación para la Base Soporte.

Esfuerzo Máximo (MPa)	Deflexión máxima (μm)	Factor de seguridad
22.18	97.43	15.85

Los resultados de las estructuras mencionadas anteriormente fueron revisados con los encargados de la empresa los cuales dieron su visto bueno a los mismos partiendo del hecho que todas cumplen con los criterios de aceptación.

6.2 Diseño de la automatización

Para la comprobación del sistema de automatización se realizó una simulación de la interacción entre el PLC-HMI, esta se realizó en el software GT Simulador 3. Lo que se hizo es que al modificar las bobinas del PLC manualmente, se pudo simular las entradas de los dispositivos externos. Además, de poder interactuar con las pantallas que se diseñaron en el HMI. En la Figura 6.9 se muestran las opciones de la pantalla principal.

Cabe mencionar que la simulación del movimiento de los motores no se pudo realizar debido a una limitación técnica, la cual es que no existen simuladores para los amplificadores de los servomotores. La comunicación entre servomotor y PLC sucede a través de la memoria intermedia (o *buffer*) del amplificador. Existen varios parámetros que se obtienen de la memoria *buffer* como: la posición real del servomotor, la velocidad, la posición del comando, entre otros. Todos estos parámetros solo se pueden obtener de los amplificadores del servomotor en condiciones reales de funcionamiento.



Figura 6.9 Pantalla de menú. (Elaboración propia)

Para el modo AUTO, se dispone de la pantalla de la Figura 6.10. Esta tiene varias funcionalidades como que se puede elegir el modo de operación entre creación o extracción. Para la verificación se eligió la operación de creación. Una vez seleccionado el modo se elige la coordenada (X,Y) a la que se quiere que la grúa se mueva, luego se presiona el botón “IR”. Una vez hecho esto, el botón se elimina de la pantalla para que el usuario no pueda volver a elegirlo. Por último se activa la señal de “Listo para sujetar”.



Figura 6.10 Pantalla de AUTO. (Elaboración propia)

La pantalla de FALLA será la encargada de mostrar cuando sucede una falla en el sistema. Para este caso, lo que se realizó fue la simulación de la activación

del botón de emergencia. Como se muestra en la Figura 6.11, la pantalla muestra el mensaje de error.



Figura 6.11 Pantalla de falla. (Elaboración propia)

La pantalla de FALLA HISTORIAL, mostrará los distintos fallos que se han dado a lo largo del funcionamiento del sistema de grúa pórtico. Como se muestra en la Figura 6.12, se activó y desactivó el botón de emergencia varias veces y cada una de estas se registró en la pantalla.



Figura 6.12 Pantalla FALLA HISTORIAL. (Elaboración propia)

Para el modo manual se tienen dos pantallas asignadas. La primera se muestra en la Figura 6.13. Una vez que se tuvo activado el modo manual dentro de la lógica del PLC, se eligió que se “moviera” el eje X, lo cual con los botones de

avanzar y retroceder se puede realizar el movimiento del eje seleccionado hasta que este llegue a su límite. Si se oprime el botón “Siguiente”, este pasará a la segunda pantalla, la cual se muestra en la Figura 6.14. Esta página se basa en la activación del llenado y agarre automático de ambos moldes, dependiendo del botón que se escoja se activará la válvula o motor a pasos correspondiente.

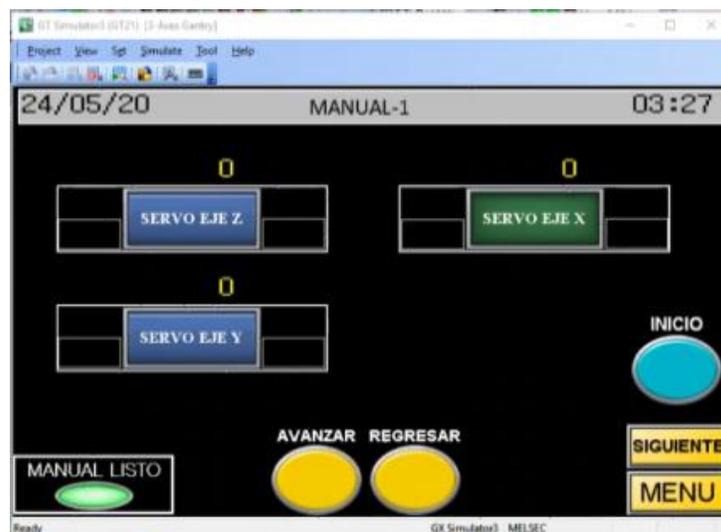


Figura 6.13 Pantalla MANUAL-1. (Elaboración propia)

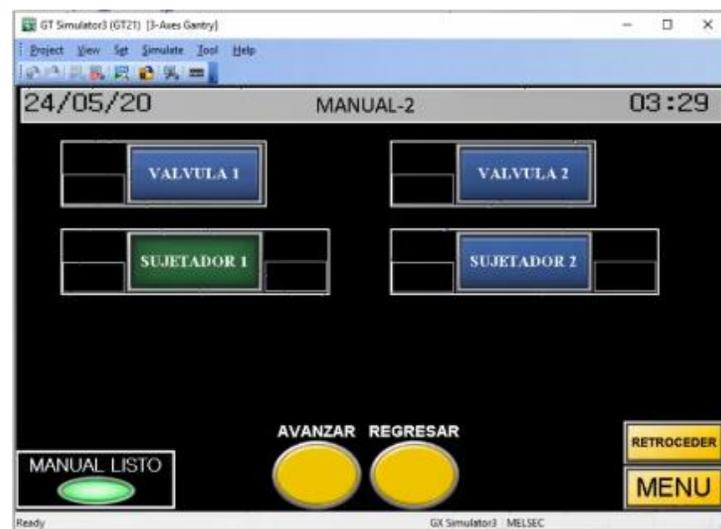


Figura 6.14 Pantalla MANUAL-2. (Elaboración propia)

Seguidamente la pantalla de SERVO CONFIG se subdivide en 6 sub-pantallas, como se muestra en la Figura 6.15. Las tres pantallas de la primera fila

se basan en poder realizar la rutina de regresar a la posición inicial de cada motor dependiendo del punto de inicio que se configure en las pantallas de la fila inferior.

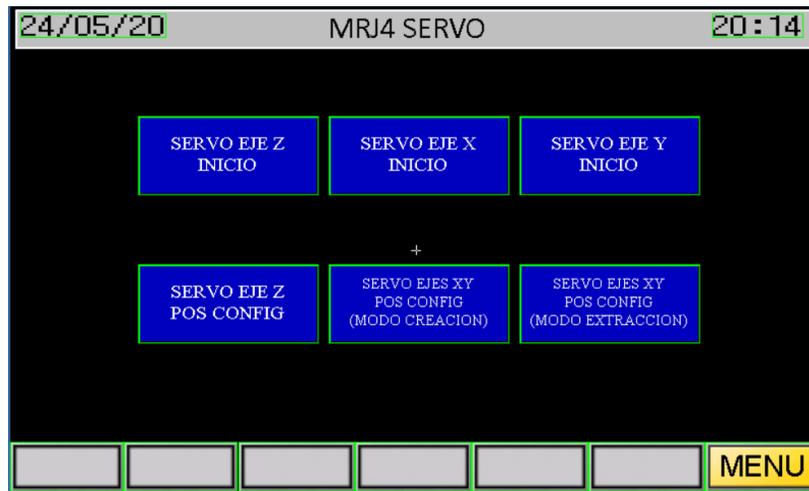


Figura 6.15 Pantalla SERVO CONFIG. (Elaboración propia)

En la Figura 6.16 se muestra la simulación del caso de SERVO EJE Z INICIO, cabe destacar que los demás ejes son idénticos. Para poder activar el regreso a la posición de inicio se debe de oprimir el botón “HABILITAR INICIO”, para que la lógica interna del PLC se prepare para cumplir el ciclo de *HOME*, descrito en el capítulo anterior. Una vez hecho esto, se oprime el botón de “ACTIVAR SERVO” INICIO y esto activaría a los motores hasta llegar a la posición de inicio.



Figura 6.16 Pantalla SERVO EJE Z INICIO. (Elaboración Propia)

En la Figura 6.17 se muestra la pantalla SERVO EJE X&Y POS CONFIG para el modo de creación, donde se guarda en memoria las 36 posiciones del modo AUTO junto con la localización de la posición de inicio. Para realizar dicha configuración, se debe de activar el botón POS CONFIG DISPONIBLE, seguidamente de digitar la posición y, por último, oprimir el botón CONFIG para que se guarde en memoria. Para el eje Z y el modo de extracción se sigue el mismo proceso.

24/05/20		SERVO EJE X&Y POS CONFIG		03:15	
ACTUAL POS		EJE X	EJE Y		
ATRIBUTO	X-POSICION	Y-POSICION	POS CONFIG		
Inicio (X,Y)	0	0	CONFIG		
Creacion (X1,Y1)	0	0	CONFIG		
Creacion (X2,Y2)	0	0	CONFIG		
Creacion (X3,Y3)	250	0	CONFIG		
Creacion (X4,Y4)	0	0	CONFIG		
Creacion (X5,Y5)	0	0	CONFIG		
Creacion (X6,Y6)	0	0	CONFIG		
Creacion (X7,Y7)	0	0	CONFIG		

POS CONFIG DISPONIBLE [PAGE-1] RETROCEDER MENU SIGUIENTE

Figura 6.17 Pantalla SERVO EJE X&Y POS CONFIG. (Elaboración Propia)

Seguidamente en la pantalla ACTIVAR SERVO POS, la cual se muestra en la Figura 6.18, se tiene la capacidad de realizar únicamente los movimientos a través del área de trabajo, esto sería otra forma de realizar el movimiento para el modo MANUAL. En la Figura 6.19, se muestra la sub-pantalla SERVO EJES X,Y ACTIVACION (CREACION), con la cual al elegir la coordenada a moverse y presionar el botón “INICIAR MOVIMIENTO”, se envía la señal al servomotor correspondiente para que realice el movimiento respectivo.



Figura 6.18 Pantalla ACTIVAR SERVO POS. (Elaboración Propia)



Figura 6.19 Pantalla SERVO EJES X,Y ACTIVACION (CREACION). (Elaboración Propia)

En la Figura 6.20 se muestra la Pantalla de E/S MONITOR, la cual sirve para conocer cuáles entradas y salidas están activas. Si se activa una bobina del PLC, esta se marcará en la pantalla. El caso que se presenta en la Figura es cuando se tiene activado el botón de paro de emergencia.

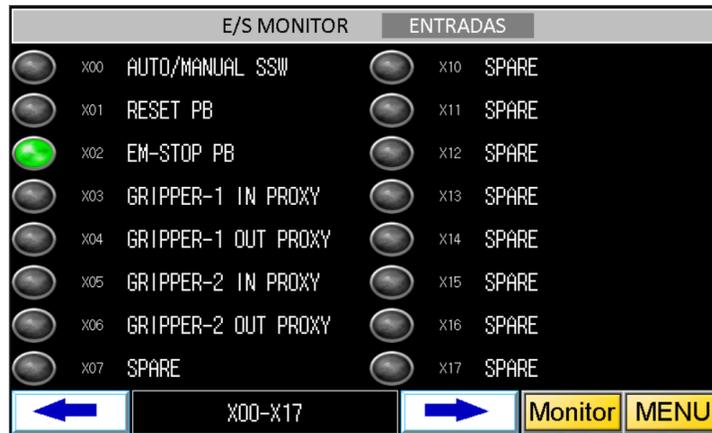


Figura 6.20 Pantalla E/S MONITOR. (Elaboración Propia)

Por último, se agregó una pantalla de información, la cual se muestra en la Figura 6.21. Esta se hizo con el objetivo de permitirle a la empresa agregar datos sobre el sistema. Por el momento, sólo se agregó el nombre del proyecto para comprobar su funcionalidad.



Figura 6.21 Pantalla Información. (Elaboración Propia)

La validación anterior se hizo en conjunto con los encargados de la empresa, los cuales dieron su aprobación al diseño de automatización.

6.3 Diseño de aplicación IoT

Para la verificación de la aplicación de IoT se tuvo que diseñar un circuito prueba el cual se muestra en la Figura 6.22, debido a que los sensores no se pudieron adquirir por la situación económica que aún pasa la empresa por la

pandemia del COVID19. Además, se realizó una pequeña modificación al código en la parte de lectura del sensor, ya que en vez de usar las funciones de las bibliotecas del sensor de conductividad eléctrica y temperatura, se leyó el diferencial de potencial eléctrico en las patillas de potenciómetro mediante la entrada analógica del ESP32.

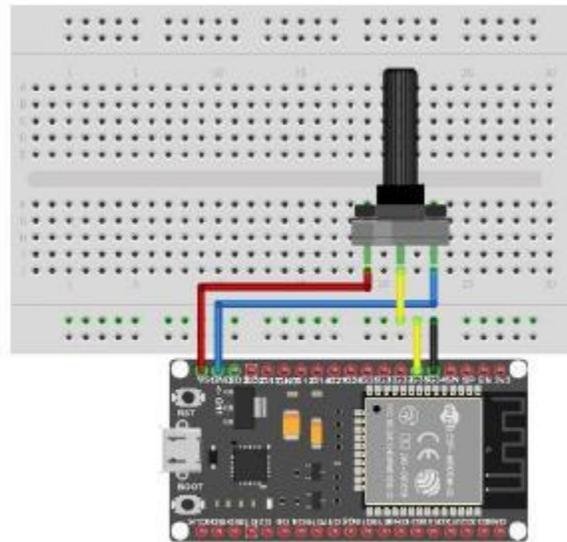


Figura 6.22 Circuito prueba. (Elaboración Propia)

Se procedió a definir valores límites de lectura de 1.5 V para la temperatura y 3 V para la conductividad eléctrica. Por ende, cada vez que sobrepasaba este límite se enviaba el correo. En la Figura 6.23 se muestran, las pruebas graficadas a través del tiempo en ThingSpeak. Por último, la Figura 6.24 enseña la alerta que llega al correo.

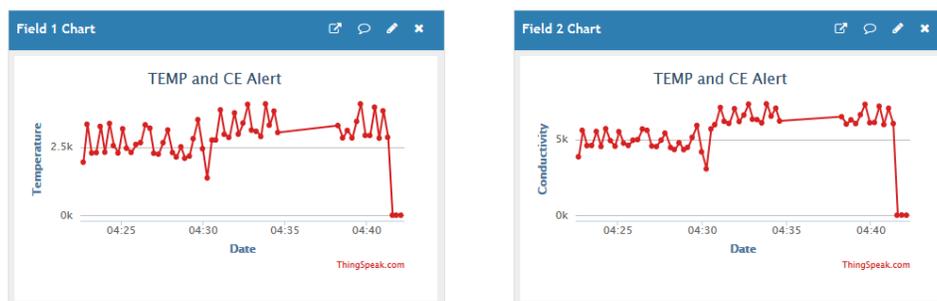


Figura 6.23 Pruebas graficadas en ThingSpeak. (Elaboración propia)

The event named "tempcealert" occurred on the Maker Webhooks service Inbox x



Webhooks via IFTTT <action@ifttt.com> [Unsubscribe](#)
to me ▾

Jun 23, 2020, 4:10 AM

What: tempcealert

When: June 23, 2020 at 03:10PM

Extra Data: %25%25channel_1087161_filed_1%25%25, , ,



[Unsubscribe](#) from these notifications or sign in to manage your [Email service](#).

Figura 6.24 Correo de notificación. (Elaboración propia)

Esta verificación se realizó en conjunto a los encargados de la empresa, los cuales dieron su aprobación para la aplicación de IoT diseñada.

6.4 Rentabilidad del proyecto

La inversión inicial es el punto de partida para conocer la rentabilidad del proyecto. Se realizaron varias cotizaciones y se obtuvieron los costos mostrados en la Tabla 6.8, la cual divide el costo por sección de desarrollo del proyecto. No se va a entrar en detalle debido a la cantidad de productos que tiene cada sección.

Tabla 6.8 Cotización de inversión inicial.

Sección	Costo cotizado (₡)
Rediseño de la grúa pórtico	5 000 000
Diseño de automatización	12 000 000
Diseño de Aplicación IoT	170 000
Costo de mano de obra aproximado	3 000 000
Total	17 170 000

A partir de la implementación del proyecto, se espera disminuir a solo un colaborador participando en el proceso productivo, por lo cual, según la empresa generaría un beneficio de ₡ 9 000 000 por año. Para conocer la rentabilidad del proyecto se van a utilizar tres indicadores económicos: Valor Actual Neto (VAN),

Tasa Interna de Rendimiento (TIR) y Retorno de la inversión (ROI). Estos indicadores tienen un umbral para determinar si es una buena inversión. En el caso del VAN se espera que sea mayor a 0, para el TIR mayor a la tasa de descuento y el ROI que sea mayor a 100%. En la Tabla 6.9, se muestra el flujo de caja esperado por la empresa.

Tabla 6.9 Flujo de caja.

Año	Flujo de caja (₡)
0	-20 170 000
1	9 000 000
2	9 000 000
3	9 000 000
4	9 000 000

El contador de la empresa definió una tasa de descuento del 10% para esta inversión. En la Tabla 6.10 se muestran los resultados de los indicadores económicos del proyecto, dando por entendido que dos de los tres indicadores se cumplen a excepción del ROI. Cabe mencionar que el ROI no cuenta mejoras en el proceso como la verificación de las variables críticas la cuales darían un 100% en el rendimiento del proceso productivo que por el momento no se pueden cuantificar, por esto la empresa aceptó como válido la inversión.

Tabla 6.10 Indicadores económicos del proyecto.

Indicador	Valor	Umbral	¿Cumple?
VAN	₡8,358,789.02	>0	Sí
TIR	28%	>10%	Sí
ROI	78.5%	>100%	No

Capítulo 7 Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Se identificaron las necesidades de la empresa Hielo Liga S.A las cuales fueron transformadas en requerimientos de negocio, usuario, funcionales y de calidad necesarios para la determinación de la conclusión exitosa del proyecto.
- Se comprendió de inicio a fin el proceso productivo de la marqueta de hielo, determinando que este proceso es el que genera mayores gastos de mano de obra en la empresa.
- Se determinó el estado de la actual grúa pórtico la cual cuenta con ningún actuador y se requiere de esfuerzo manual para desplazarse a través del área de trabajo.
- Se generaron alternativas de solución a los diferentes mecanismos y dispositivos electrónicos y mediante criterios basados en los requerimientos se seleccionó la mejor solución a cada caso.
- Se dimensionaron los mecanismos a utilizar; además de diseñar estructuras que sirven como soporte de los motores y unión de mecanismos.
- Se configuró y programó la rutina de automatización de las etapas seleccionadas para automatizar.
- Se desarrolló una aplicación IoT con la cual se logró medir las variables críticas de temperatura y conductividad eléctrica y enviar un correo si sobrepasan los límites.

7.2 Recomendaciones

El presente diseño tiene como punto de partida la interacción usuario-máquina, donde el éxito del funcionamiento del segundo depende del uso que le dé el primero, por lo que es altamente recomendable crear un manual de usuario que sirva de guía o de referencia cuando surja alguna pregunta. Además, se recomienda dar una capacitación del uso de la máquina a las personas que vayan a tener alguna interacción con la misma.

Se recomienda además, crear un plan de mantenimiento preventivo a los diferentes mecanismos y dispositivos utilizados para su larga duración, esto es vital para obtener la mayor durabilidad de los mismos. Tener y seguir un plan de mantenimiento preventivo ayuda a que la inversión inicial se vea reflejada por mucho más tiempo debido a que no se tendría que cambiar ninguna parte por malfuncionamiento. Además, es recomendable tener una lista completa de todos los componentes y contactos de distribuidores de los mismos con los cuales se puedan conseguir.

Por último, en el desarrollo de este tipo de mecanismos se recomienda hacer un modelo a escala del mismo, al igual que caracterizar todos los sensores. En el presente proyecto no se pudo realizar dicha tarea debido a la limitante económica con el cuál se realizó el proyecto como consecuencia de la pandemia del COVID 19.

Referencias Bibliográficas

- [1] K. Ulrich y S. Eppinger, Diseño y Desarrollo de Productos, The McGraw-Hill Companies, 2013.
- [2] A. Sadegh y W. Worek, Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers, 12th Edition ed., McGraw-Hill Education, 2018.
- [3] F. Lamb, Industrial Automation: Hands-On. Automation and Manufacturing, McGraw-Hill Education, 2013.
- [4] N. Sclater, Mechanisms and Mechanical Devices Sourcebook, Fifth Edition ed., McGraw-Hill Education, 2011.
- [5] R. Budynas y K. Nisbett, Diseño en Ingeniería Mecánica de Shingley, México: McGraw Hill, 2008.
- [6] M. Miller y R. Miller, Robots and Robotics: Principles, Systems, and Industrial Applications, McGraw-Hill Education, 2017.
- [7] W. Stoecker, Industrial Refrigeration Handbook, McGraw-Hill, 1998.
- [8] E. Kamel y K. Kamel, Hands-On PLC Programming with RSLogix 500 and LogixPro®. Introduction to PLC Control Systems and Automation, McGraw-Hill Education, 2016.
- [9] G. McMillan y H. Vegas, Process/Industrial Instruments and Controls Handbook, Sixth Edition ed., McGraw-Hill Education, 2019.
- [10] C. Rush, Programming the Photon: Getting Started with the Internet of Things, McGraw-Hill Education, 2016.
- [11] S. Sabrie, Sensors and Control Systems in Manufacturing, Second Edition ed., The McGraw-Hill Companies, 2010.

- [12] «Thingspeak,» [En línea]. Available: https://thingspeak.com/pages/learn_more. [Último acceso: 13 Julio 2020].
- [13] «Food and Agriculture Organization of the United Nations,» [En línea]. Available: <http://www.fao.org/3/t0713s/T0713S05.htm>. [Último acceso: 13 Julio 2020].
- [14] A. Connelly, «Andy J Conelly,» 14 Julio 2017. [En línea]. Available: <https://andyjconnelly.wordpress.com/2017/07/14/conductivity-of-a-solution/>. [Último acceso: 1 Julio 2020].
- [15] «Hiwin,» [En línea]. Available: https://www.hiwin.com/pdf/linear_guideways.pdf. [Último acceso: 10 Julio 2020].
- [16] «HUA WEI,» [En línea]. Available: <https://www.hwlok.com/es/product/Abrazadera-de-manguera-tipo-americano-acero-inoxidable-TAMAO-SAE-8-Rango-38-a-78-/AHC-7-8S.html>. [Último acceso: 10 Julio 2020].
- [17] «Atronika,» [En línea]. Available: http://www.atronika.com/Mitsubishi/PLC/MITSUBISHI_manual_plc_fx5_users.pdf. [Último acceso: 25 Julio 2020].
- [18] «Mitsubishi,» [En línea]. Available: http://sg.mitsubishielectric.com/fa/en/download_files/cnt/mc/MELSEC_iQF_series.pdf. [Último acceso: 15 Mayo 2020].
- [19] «Mitsubishi,» [En línea]. Available: <https://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/servo/sh030106/sh030106q.pdf>. [Último acceso: 25 Mayo 2020].
- [20] «Mitsubishi,» [En línea]. Available: <http://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/catalog/got/l08461eng/l08461enga.pdf>. [Último acceso: 5 Junio 2020].
- [21] [En línea]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf. [Último acceso: 15 Junio 2020].

- [22] «Atlas Scientific,» [En línea]. Available: https://www.atlas-scientific.com/files/EC_EZO_Datasheet.pdf. [Último acceso: 20 Junio 2020].
- [23] I. y. C. Ministerio de Economía, «MEIC Pyme,» 19 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://www.meic.go.cr/meic/web/45/pymes.php>.
- [24] R. Chin, Arduino and Raspberry Pi Sensor Projects for the Evil Genius. Arduino Uno Specifications, McGraw-Hill Education, 2018.
- [25] J. Shingley, C. Mischke y T. Hunter, Standard Handbook of Machine Design, McGRAW-HILL, 1996.

Apéndices

Apéndice A.1

Hoja de información:

- Información del Estudiante:
 - Nombre: Isaac Josué Araya Rojas
 - Cédula: 2-0771-0632
 - Carné ITCR: 2015071118
 - Lugar de Residencia: Central, Alajuela
 - Correo electrónico: isar0397@gmail.com
- Información del Proyecto:
 - Nombre del Proyecto: Diseño de un sistema automático para la creación y extracción de marquetas de hielo.
 - Profesor Asesor: Ing. Ana María Murillo Morgan
 - Nombre de la Empresa: Hielo Liga S.A.
 - Actividad principal: Venta y producción de hielo en cubitos, marqueta y molido.
 - Dirección: Central, Alajuela
 - Teléfono: +506 2440-8746
 - Asesor de la Empresa: Ing. José David Vega Valerio

Apéndice A.2

Diagrama de escalera

<https://drive.google.com/file/d/16XN3LhphZfmGUbFkc-yq0Xrsq257IAqU/view?usp=sharing>

Apéndice A.3

Diagrama eléctrico de la Automatización

<https://drive.google.com/file/d/1jZckXtwW4T6ZigptjIGcLV0Jlzus5t8Q/view?usp=sharing>

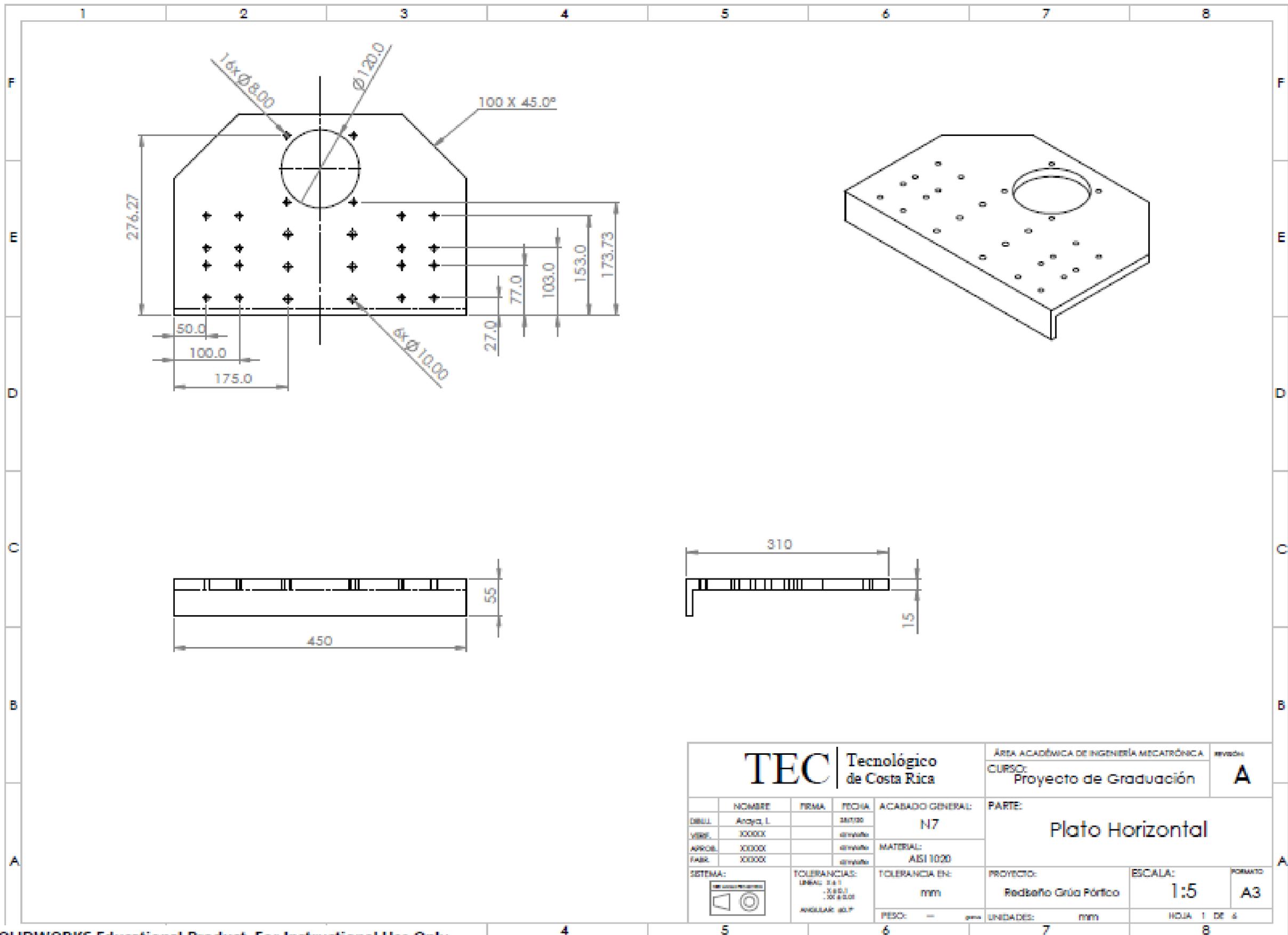
Apéndice A.4

Código para el ESP32

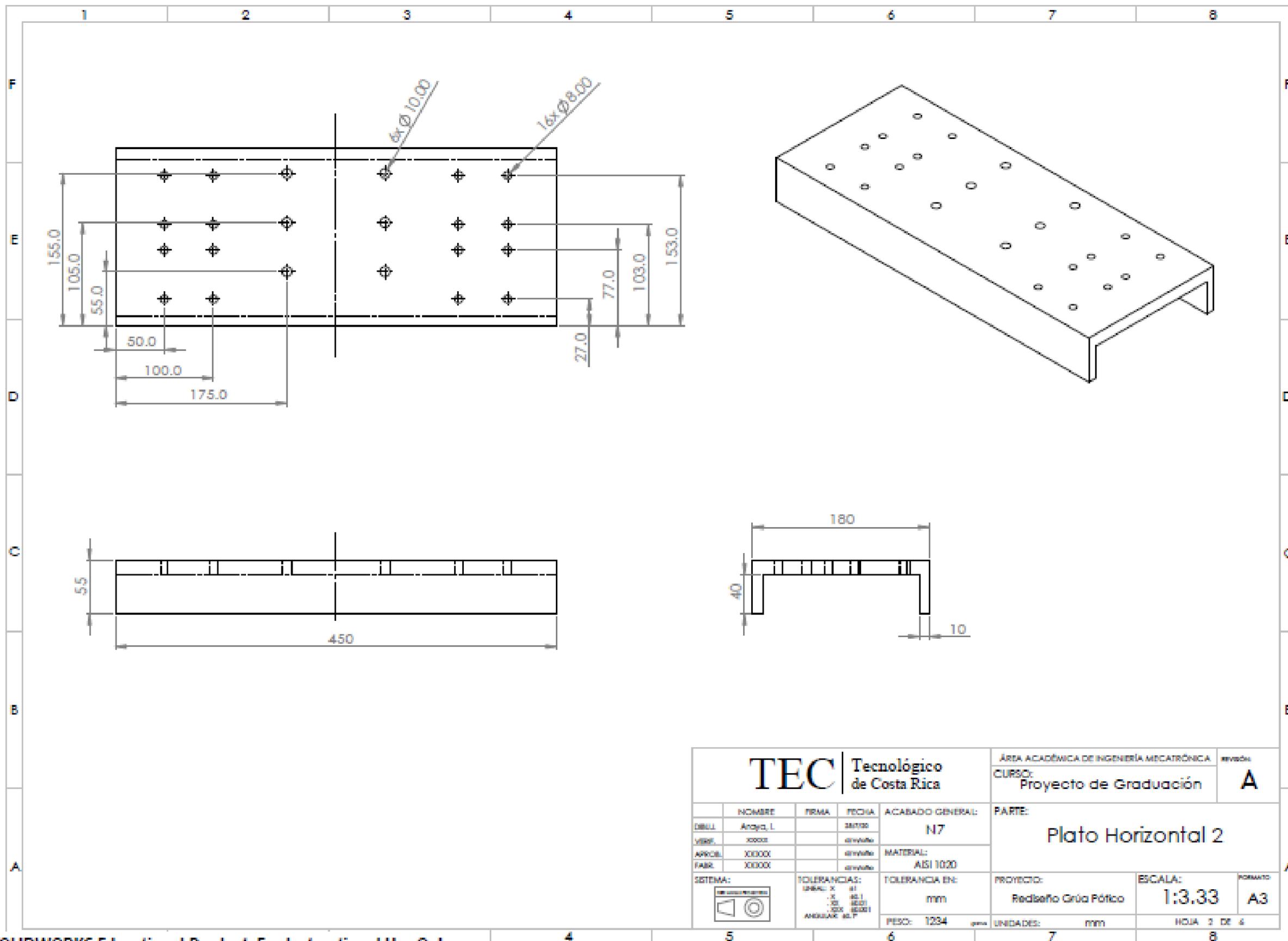
<https://drive.google.com/file/d/1KKfAu0agAD9CvLNM3paV6AZat-QQAruc/view?usp=sharing>

Apéndice A.5

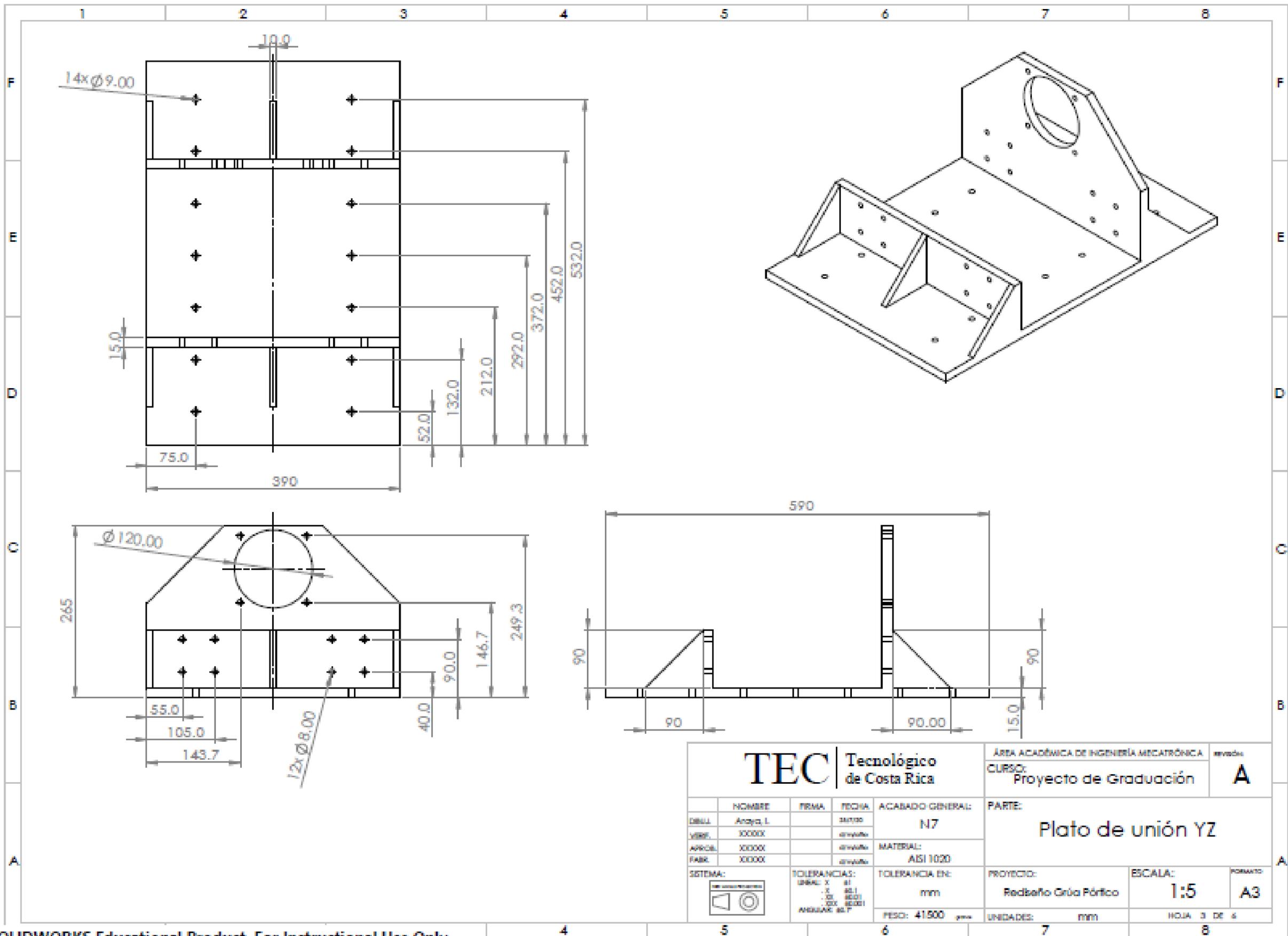
Planos mecánicos



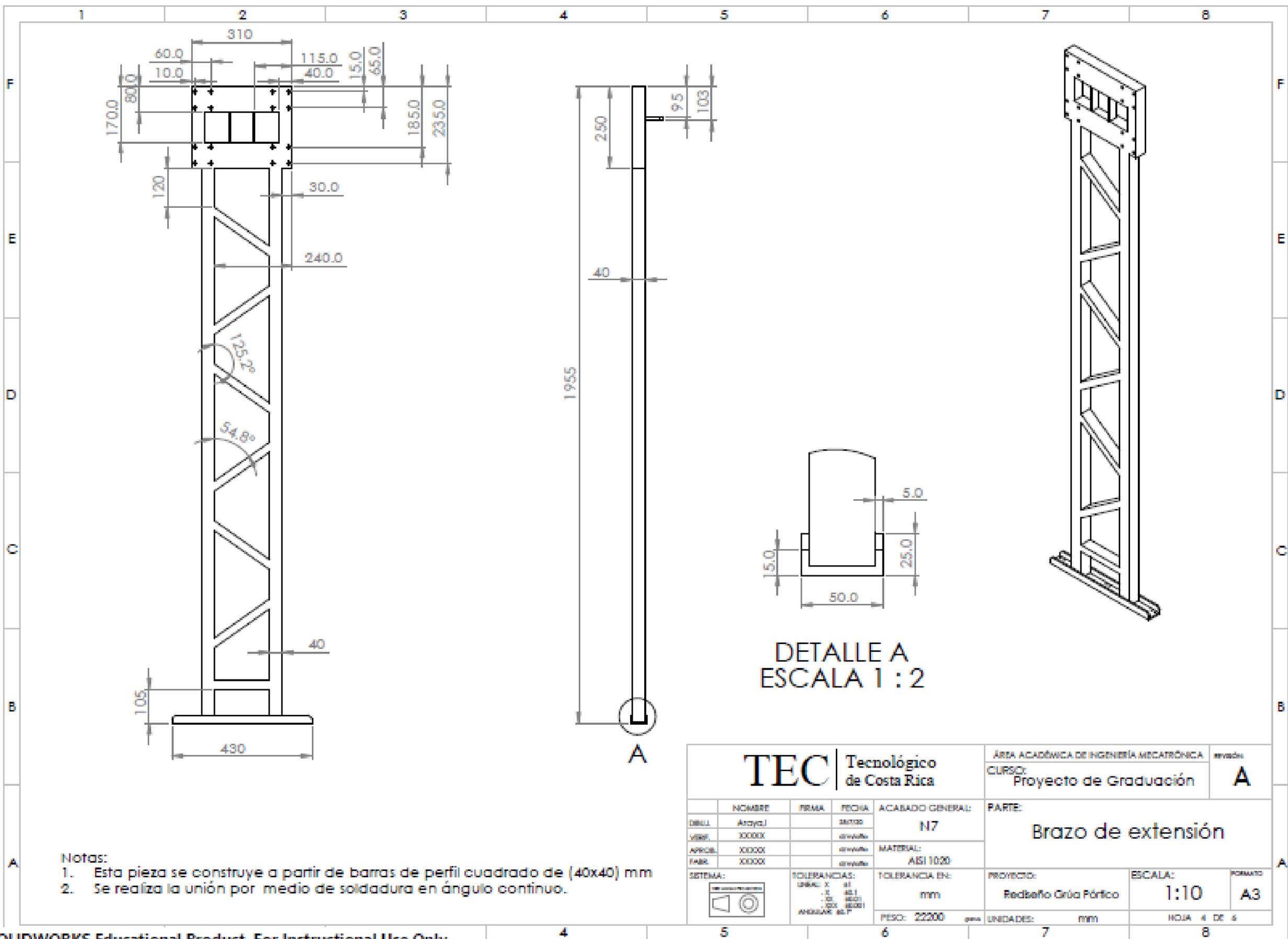
TEC Tecnológico de Costa Rica		ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		revisión
		CURSO: Proyecto de Graduación		A
NOMBRE: Araya, L. FIRMA: [Signature] FECHA: 28/1/20		ACABADO GENERAL: N7		PARTE: Plato Horizontal
VIRG.: XXXXX APROB.: XXXXX FABR.: XXXXX		MATERIAL: AISI 1020		
SISTEMA:		TOLERANCIAS: LINEAL: ±0.1 ANGULAR: ±0.5°		PROYECTO: Rediseño Grúa Pórtico ESCALA: 1:5 FORMATO: A3
		TOLERANCIA EN: mm PESO: --- gr		UNIDADES: mm HOJA 1 DE 4



TEC Tecnológico de Costa Rica				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		revisión
				CURSO: Proyecto de Graduación		A
				PARTE: Plato Horizontal 2		
				ACABADO GENERAL: N7		
				MATERIAL: AISI 1020		
SISTEMA:				TOLERANCIAS:		TOLERANCIA EN:
				UNIC: X .S .25 .125 ANGULAR: 30°		mm
				PESO: 1234 gms		UNIDADES: mm
				PROYECTO: Rediseño Grúa Pórtico		ESCALA: 1:3.33
						FORMATO: A3
						HOJA 3 DE 4

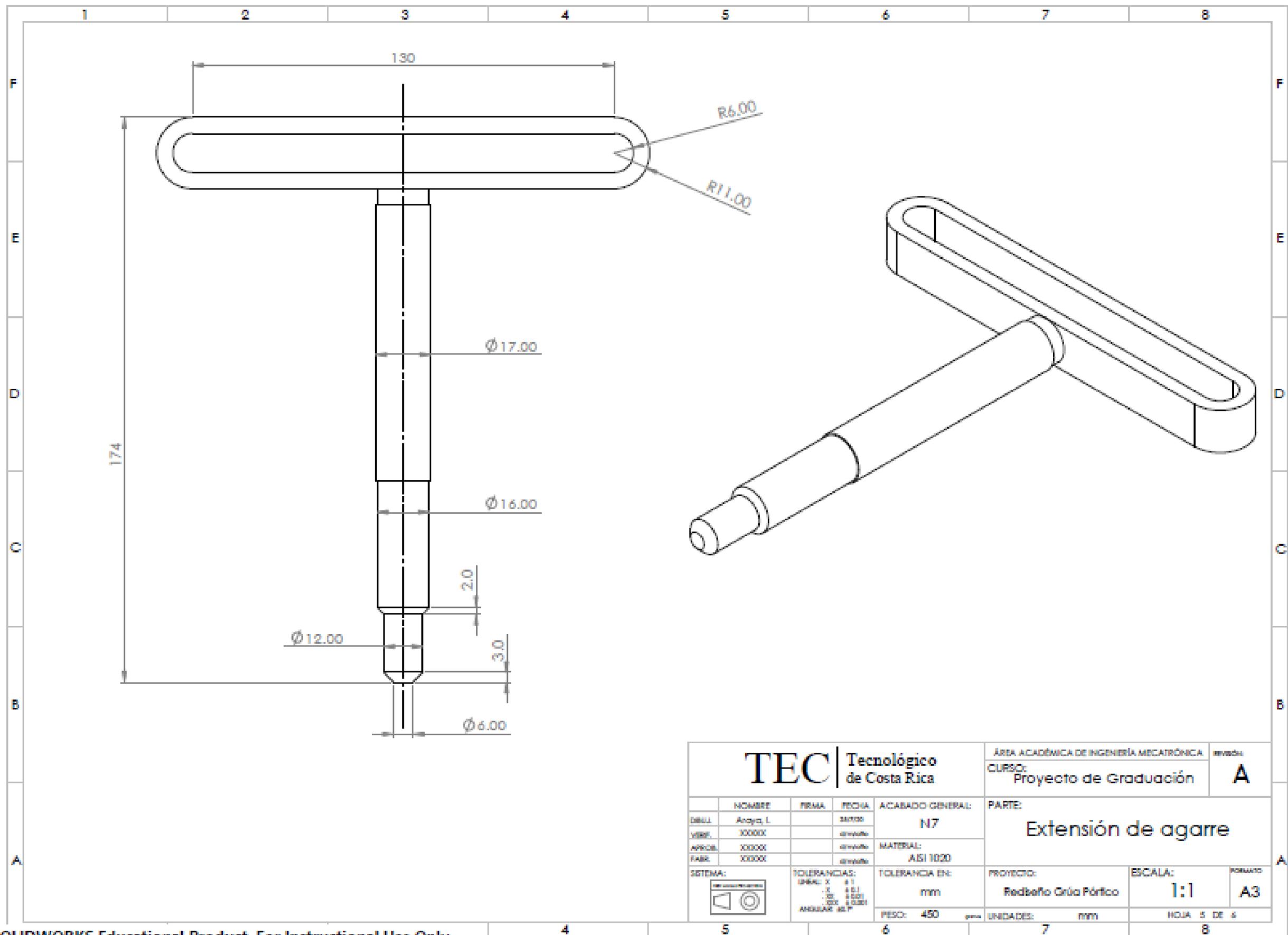


TEC Tecnológico de Costa Rica			ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		revisión	
			CURSO: Proyecto de Graduación		A	
NOMBRE: Araya, L.			ACABADO GENERAL: N7		PARTE: Plato de unión YZ	
VISE: XXXXX			MATERIAL: ASI 1020			
APROB: XXXXX			TOLERANCIA EN: mm			
FABR: XXXXX			PESO: 41500 gms			
SISTEMA:		TOLERANCIAS: UNAL: X 01 - X 01 01 - X 01 01 01 - X 01 01 01 01 ANÁLISIS: 01 P		PROYECTO: Rediseño Grúa Pórtico	ESCALA: 1:5	FORMATO: A3
			UNIDADES: mm		HOJA 3 DE 4	

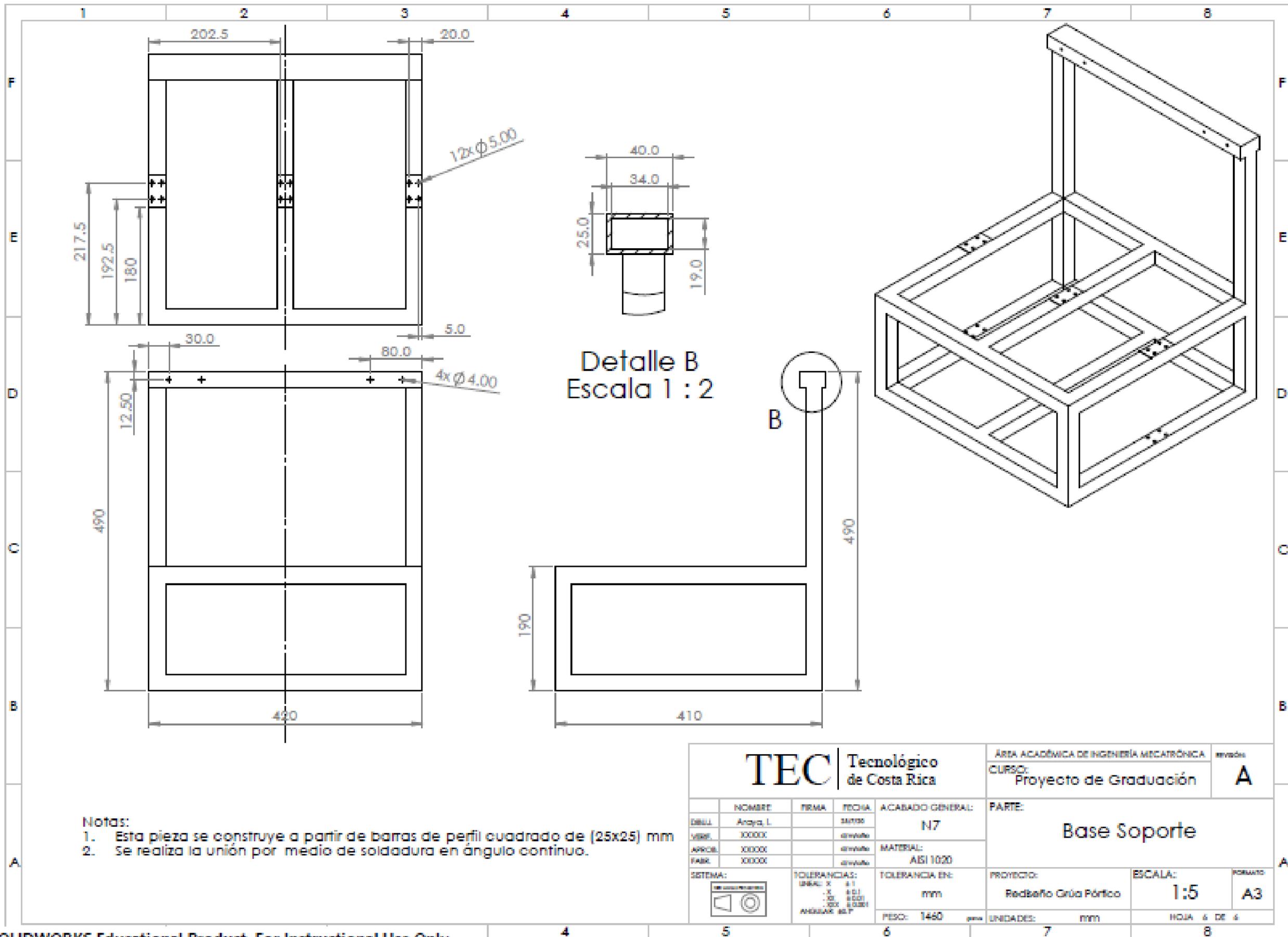


- Notas:
- Esta pieza se construye a partir de barras de perfil cuadrado de (40x40) mm
 - Se realiza la unión por medio de soldadura en ángulo continuo.

TEC Tecnológico de Costa Rica				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		revisión: A	
				CURSO: Proyecto de Graduación			
				ACABADO GENERAL: N7		PARTE: Brazo de extensión	
				MATERIAL: AISI 1020			
SISTEMA:				TOLERANCIAS:		TOLERANCIA EN: mm	
				UNDA: 2 .2 .1 .05 .025 .0125 .0063 .00315 .001575 .0007875		PROYECTO: Rediseño Grúa Pórtico ESCALA: 1:10 FORMATO: A3	
				PESO: 22200 gms		UNIDADES: mm	
						HOJA 4 DE 6	



TEC Tecnológico de Costa Rica			ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		INSTITUCIÓN															
			CURSO: Proyecto de Graduación		A															
<table border="1"> <tr> <th>NOMBRE</th> <th>FIRMA</th> <th>FECHA</th> </tr> <tr> <td>DESA: Andry, L.</td> <td></td> <td>2019</td> </tr> <tr> <td>VERIF: XXXXX</td> <td></td> <td>2019</td> </tr> <tr> <td>APROB: XXXXX</td> <td></td> <td>2019</td> </tr> <tr> <td>FABR: XXXXX</td> <td></td> <td>2019</td> </tr> </table>			NOMBRE	FIRMA	FECHA	DESA: Andry, L.		2019	VERIF: XXXXX		2019	APROB: XXXXX		2019	FABR: XXXXX		2019	ACABADO GENERAL:	PARTE:	
NOMBRE	FIRMA	FECHA																		
DESA: Andry, L.		2019																		
VERIF: XXXXX		2019																		
APROB: XXXXX		2019																		
FABR: XXXXX		2019																		
N7	Extensión de agarre																			
MATERIAL:			PROYECTO:		ESCALA:															
AS1 1020			Rediseño Grúa Pórtico		1:1															
TOLERANCIAS:			TOLERANCIA EN:	FORMATO:																
LINEAL: ± 0.1 ANGULAR: ± 0.05			mm	A3																
SISTEMA:			PESO: 450 g	UNIDADES: mm	HOJA 5 DE 6															



- Notas:
- Esta pieza se construye a partir de barras de perfil cuadrado de (25x25) mm
 - Se realiza la unión por medio de soldadura en ángulo continuo.

TEC Tecnológico de Costa Rica				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA	
				CURSO: Proyecto de Graduación	
				PARTE: Base Soporte	
NOMBRE: Anaya, L.		FECHA: marzo		PROYECTO: Rediseño Grúa Pórtico	
VERSIÓN: XXXXX		ESTADO: diseñado		ESCALA: 1:5	
APROBACIÓN: XXXXX		ESTADO: diseñado		FORMATO: A3	
FABRICATION: XXXXX		ESTADO: diseñado		UNIDADES: mm	
SISTEMA:		TOLERANCIAS: LINEAL: ±0.1, ANGULAR: ±0.5°		PESO: 1480 g	
		TOLERANCIA EN: mm		HOJA 6 DE 6	

Anexos

Anexo B.1

Características generales del FX5U-32MR/ES. [17]

Item	Specifications				
Operating ambient temperature ^{*1}	-20 to 55°C, non-freezing ^{*2,3}				
Storage ambient temperature	-25 to 75°C, non-freezing				
Operating ambient humidity	5 to 95%RH, non-condensation ^{*4}				
Storage ambient humidity	5 to 95%RH, non-condensation				
Vibration resistance ^{*5,6}	—	Frequency	Acceleration	Half amplitude	Sweep count
	Installed on DIN rail	5 to 8.4 Hz	—	1.75 mm	10 times each in X, Y, Z directions (80 min in each direction)
		8.4 to 150 Hz	4.9 m/s ²	—	
	Direct installing	5 to 8.4 Hz	—	3.5 mm	
8.4 to 150 Hz		9.8 m/s ²	—		
Shock resistance ^{*5}	147 m/s ² , Action time: 11 ms, 3 times by half-sine pulse in each direction X, Y, and Z				
Noise durability	By noise simulator at noise voltage of 1000 Vp-p, noise width of 1 μs and period of 30 to 100 Hz				
Grounding	Class D grounding (grounding resistance: 100 Ω or less) <Common grounding with a heavy electrical system is not allowed.> ^{*7}				
Working atmosphere	Free from corrosive or flammable gas and excessive conductive dust				
Operating altitude ^{*8}	0 to 2000 m				
Installation location	Inside a control panel				
Overvoltage category ^{*9}	II or less				
Pollution degree ^{*10}	2 or less				
Equipment class	Class 2				

*1 The simultaneous ON ratio of available PLC inputs or outputs changes with respect to the ambient temperature, refer to  Page 27 Input/Output Derating Curve.

*2 The operating ambient temperature is 0 to 55°C for products manufactured before June 2016. For details on Intelligent function modules, refer to manuals of each product.

*3 In the case where operating ambient temperature is lower than 0°C, the specifications are different from the above description. For details, refer to  Page 173 Precautions for operating ambient temperature.

*4 When used in a low-temperature environment, use in an environment with no sudden temperature changes. If there are sudden temperature changes because of opening/closing of the control panel or other reasons, condensation may occur, which may cause a fire, fault, or malfunction. Furthermore, use an air conditioner in dehumidifier mode to prevent condensation.

*5 The criterion is shown in IEC61131-2.

*6 When the system has equipment which specification values are lower than above mentioned vibration resistance specification values, the vibration resistance specification of the whole system is corresponding to the lower specification.

*7 For grounding, refer to  Page 100 Grounding

*8 The PLC cannot be used at a pressure higher than the atmospheric pressure to avoid damage.

*9 This indicates the section of the power supply to which the equipment is assumed to be connected between the public electrical power distribution network and the machinery within premises. Category II applies to equipment for which electrical power is supplied from fixed facilities. The surge voltage withstand level for up to the rated voltage of 300 V is 2500 V.

*10 This index indicates the degree to which conductive material is generated in the environment in which the equipment is used. Pollution

Anexo B.2

Características generales del FX5-40SSC-S. [18]

Item		Specifications	
		FX5-40SSC-S	
Number of control axes		Up to 4 axes	
Servo amplifier connection method		SSCNET III/H	
Maximum overall cable distance [m(ft.)]		400 (1312.32)	
Maximum distance between stations [m(ft.)]		100 (328.08)	
Peripheral I/F		Via CPU module (Ethernet)	
Manual pulse generator operation function		Possible to connect 1 module	
Synchronous encoder operation function		Possible to connect 4 modules (Total of the Internal interface, via PLC CPU Interface, and servo amplifier interface ^(Note 1))	
Input signals (DI)	Number of input points	4 points	
	Input method	Positive common/Negative common shared (Photocoupler Isolation)	
	Rated input voltage/current	24 VDC/ Approx. 5 mA	
	Operating voltage range	19.2 to 26.4 VDC (24 VDC +10%/ -20%, ripple ratio 5% or less)	
	ON voltage/current	17.5 VDC or more/ 3.5 mA or more	
	OFF voltage/current	7 VDC or less/ 1.0 mA or less	
	Input resistance	Approx. 6.8 kΩ	
	Response time	1 ms or less (OFF→ON, ON→OFF)	
Recommended wire size		AWG24 (0.2 mm ²)	
Forced stop input signal (EMI)	Number of input points	1 point	
	Input method	Positive common/Negative common shared (Photocoupler Isolation)	
	Rated input voltage/current	24 VDC/ Approx. 5 mA	
	Operating voltage range	19.2 to 26.4 VDC (24 VDC +10%/ -20%, ripple ratio 5% or less)	
	ON voltage/current	17.5 VDC or more/ 3.5 mA or more	
	OFF voltage/current	7 VDC or less/ 1.0 mA or less	
	Input resistance	Approx. 6.8 kΩ	
	Response time	4 ms or less (OFF→ON, ON→OFF)	
Recommended wire size		AWG24 (0.2 mm ²)	
Signal Input form		Phase A/Phase B (magnification by 4/magnification by 2/ magnification by 1), PULSE/SIGN	
Manual pulse generator/ Incremental synchronous encoder signal	Differential output type (26LS31 or equivalent)	Input pulse frequency	Up to 1 Mpulse/s (After magnification by 4, up to 4 Mpulse/s)
		Pulse width	1 μs or more
		Leading edge/ trailing edge time	0.25 μs or less
		Phase difference	0.25 μs or more
		Rated input voltage	5.5 VDC or less
		High/Low-voltage	2.0 to 5.25 VDC/0 to 0.8 VDC
		Differential voltage	±0.2V
		Cable length	Up to 30 m (98.43ft.)
	Voltage-output/ Open-collector type (5 VDC)	Input pulse frequency	Up to 200 kpulse/s (After magnification by 4, up to 800 kpulse/s)
		Pulse width	5 μs or more
		Leading edge/ trailing edge time	1.2 μs or less
		Phase difference	1.2 μs or more
		Rated input voltage	5.5 VDC or less
		High/Low-voltage	3.0 to 5.25 VDC/2 mA or less, 0 to 1.0 VDC/5 mA or more
		Cable length	Up to 10m (32.81ft.)
		24 VDC Internal current consumption [A]	
Mass [kg]		0.30	
Exterior dimensions [mm(inch)]		90.0 (3.55)(H) × 50.0 (1.97)(W) × 83.0 (3.27)(D)	

Anexo B.3

Características generales del MR-J4-_B. [19]

Model MR-J4-		10B	20B	40B	60B	70B	100B	200B	350B	500B	700B
Output	Rated voltage	3-phase 170 V AC									
	Rated current [A]	1.1	1.5	2.8	3.2	5.8	6.0	11.0	17.0	28.0	37.0
Main circuit power supply input	Power supply/Frequency	3-phase or 1-phase 200 V AC to 240 V AC, 50 Hz/60 Hz					3-phase 200 V AC to 240 V AC, 50 Hz/60 Hz				
	Rated current [A]	0.9	1.5	2.6	3.2 (Note 6)	3.8	5.0	10.5	16.0	21.7	28.9
	Permissible voltage fluctuation	3-phase or 1-phase 170 V AC to 264V AC					3-phase 170 V AC to 264 V AC				
	Permissible frequency fluctuation	Within $\pm 5\%$									
	Power supply capacity [kVA]	Refer to section 10.2.									
	Inrush current [A]	Refer to section 10.5.									
Control circuit power supply	Power supply/Frequency	1-phase 200 V AC to 240 V AC, 50 Hz/60 Hz									
	Rated current [A]	0.2								0.3	
	Permissible voltage fluctuation	1-phase 170 V AC to 264V AC									
	Permissible frequency fluctuation	Within $\pm 5\%$									
	Power consumption [W]	30								45	
Interface power supply	Voltage/Frequency	24 V DC $\pm 10\%$									
	Power supply capacity [A]	(Note 1) 0.3 (Including CN8 connector signals)									
Load-side encoder interface (Note 5)	Mitsubishi high-speed serial communication										
Control method	Sine-wave PWM control, current control method										
Dynamic brake	Built-in										
Fully closed loop control	Available in the future.										
Communication function	USB	Connection to a personal computer or others (MR Configurator2-compatible)									
Protective functions	Overcurrent shut-off, regenerative overvoltage shut-off, overload shut-off (electronic thermal), servo motor overheat protection, encoder error protection, regenerative error protection, undervoltage protection, instantaneous power failure protection, overspeed protection, error excessive protection, magnetic pole detection protection, linear servo control error protection										
Safety function	STO (IEC/EN 61800-5-2)										
Safety performance	Standards certified by CB (Note 7)	EN ISO 13849-1 category 3 PL d, EN 61508 SIL 2, EN 62061 SIL CL 2, and EN 61800-5-2 SIL 2									
	Response performance (Note 3)	8 ms or less (STO input off → energy shut off)									
	Test pulse input (STO)	Test pulse Interval: 1 Hz to 25 Hz Test pulse off time: Up to 1 ms									
Compliance to standards	CE marking	LVD: EN 61800-5-1 EMC: EN 61800-3 MD: EN ISO 13849-1, EN 61800-5-2, EN 62061									
	UL standard	UL 508C									
Structure (IP rating)	Natural cooling, open (IP20)					Force cooling, open (IP20)			Force cooling, open (IP20) (Note 4)		
Close mounting (Note 2)	Possible								Impossible		

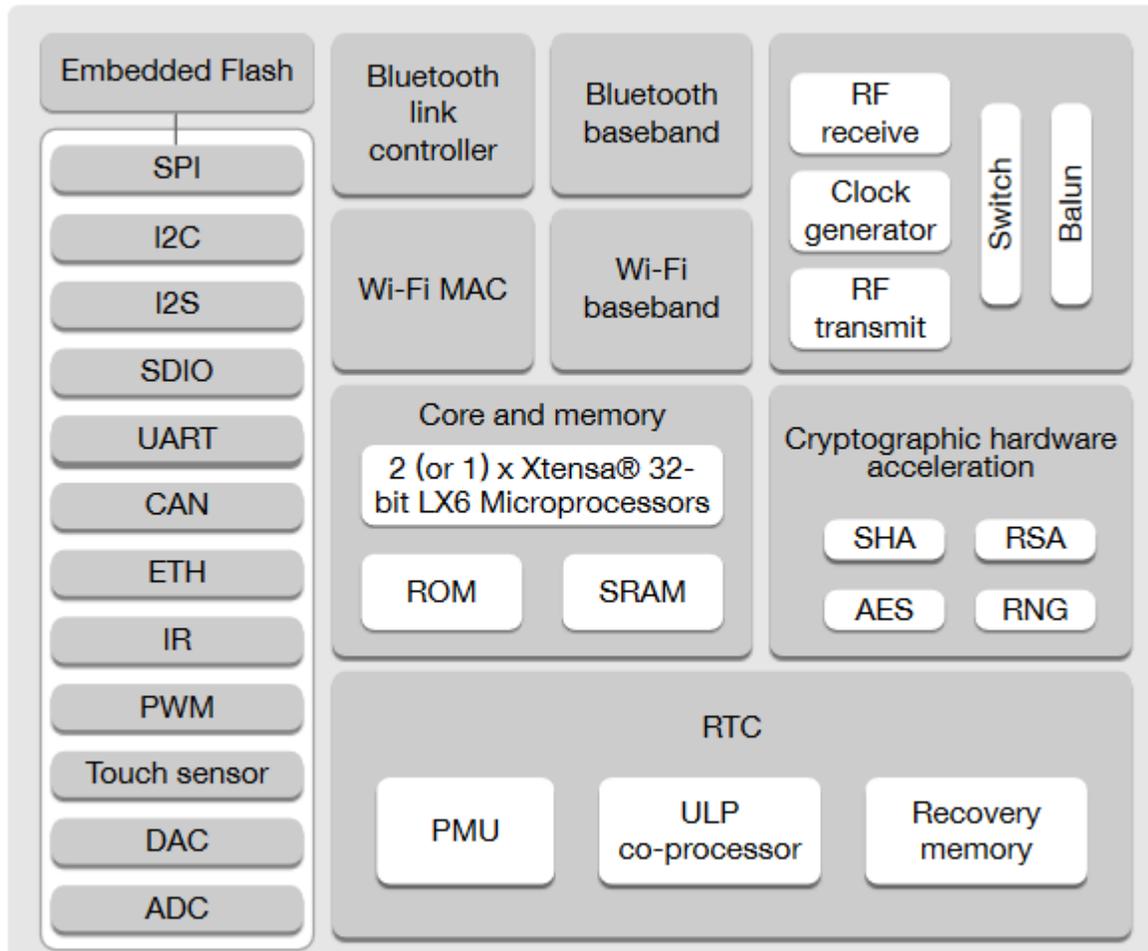
Anexo B.4

Características generales del GT2107. [20]

Item		Specifications	
		GT2107-WTBD	GT2107-WTSD
Display section *1*2	Display device	TFT color LCD	
	Screen size	7" Wide	
	Resolution	WVGA: 800 x 480 dots	
	Display size	152.4(6.00) (W) x 91.44(3.60) (H) mm (inch)	
	Number of displayed characters	16-dot standard font: 50 characters x 30 lines (two-byte characters) 12-dot standard font: 66 characters x 40 lines (two-byte characters)	
	Display color	65536 colors	
	Brightness adjustment	32 levels	
	Backlight	LED (Not replaceable)	
Touch panel *3	Backlight life *4	Approx. 50000 h (operating ambient temperature: 25 °C, display intensity: 50%)	
	Type	Analog resistive film	
	Key size	Minimum 2 x 2 dots *8 (per key)	
	Simultaneous press	Not available *5 (Only 1 point can be touched.)	
Panel color	Life	1 million touches or more (operating force: 0.98 N or less)	
		Black	Silver
User memory	User memory capacity	Memory for storage (ROM): 15 MB	
	Life (number of write times)	100000 times	
Built-in clock precision		±45 seconds/month (ambient temperature: 25 °C)	
Battery		GT11-50BAT lithium battery	
	Life	Approx. 5 years (ambient temperature: 25 °C)	
Built-in interface	RS-232	1 channel Transmission speed: 115200, 57600, 38400, 19200, 9600, 4800 bps Connector shape: D-sub 9-pin (male)	
	RS-422/485	1 channel Transmission speed: 115200, 57600, 38400, 19200, 9600, 4800 bps Connector shape: D-sub 9-pin (female)	
	Ethernet	1 channel Data transfer method: 10BASE-T, 100BASE-TX Connector shape: RJ-45 (modular jack)	
	USB (host)	1 channel (rear face) Maximum transfer rate: Full-Speed 12 Mbps Connector shape: USB-A	
	USB (device)	1 channel (front face) Maximum transfer rate: Full-Speed 12 Mbps Connector shape: USB Mini-B	
	SD memory card	1 channel, SDHC compliant (maximum 32 GB)	
	Wireless LAN communication unit interface	—	
Sound output interface		—	
Buzzer output		Single tone (tone length adjustable)	
POWER LED		—	
Protective structure *6		Front: IP67F *7*9 Inside control panel: IP2X	
External dimensions		189 (7.44) (W) x 142 (5.59) (H) x 48 (1.89) (D) mm (inch)	
Panel cut dimensions		180.5 (7.11) (W) x 133.5 (5.26) (H) mm (inch)	
Weight (excluding a fitting)		0.7 (1.54) kg (lb)	
Compatible software package		GT Works3 Version1.170C or later	

Anexo B.5

Diagrama de bloque del ESP32. [21]



Anexo B.6

Características generales placa EZO-EC. [22]

Reads	Conductivity = $\mu\text{S}/\text{cm}$ Total dissolved solids = ppm Salinity = PSU (ppt) 0.00 – 42.00 Specific gravity (sea water only) = 1.00 – 1.300	
Range	0.07 – 500,000+ $\mu\text{S}/\text{cm}$	
Accuracy	+/- 2%	
Response time	1 reading per sec	
Supported probes	K 0.1 – K 10 any brand	
Calibration	1 or 2 point	
Temp compensation	Yes	
Data protocol	UART & I²C	
Default I ² C address	100 (0x64)	
Operating voltage	3.3V – 5V	