

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



**Diseño de un Sistema de Protección para el control manual de una
grúa móvil *Link-Belt HTC-8665***

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de
Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

Adolfo Sánchez Miranda

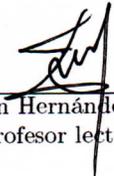
Cartago, 2011

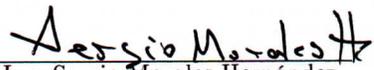
Adolfo Sánchez: *Diseño de un Sistema de Protección para el control manual de una grúa móvil Link-Belt HTC-8665*, IE-ITCR, © Mayo, 2011

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal


Ing. Marvin Hernández Cisneros
Profesor lector


Ing. Sergio Morales Hernández
Profesor lector


Ing. Gabriela Ortiz León
Profesor asesor

Los miembros de este tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica.

Cartago, 02 de mayo 2011

Declaratoria

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios. En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas. En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 02 de mayo 2011



Adolfo Sánchez Miranda
Céd.: 1-1284-0302

Diseño de un Sistema de Protección para el control manual de una grúa móvil *Link-Belt HTC-8665*

Adolfo Sánchez Miranda

Optando por el grado de licenciatura en Ingeniería Electrónica
Mayo, 2011

Resumen

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) requiere del uso de grúas hidráulicas para las labores de construcción. Una de los componentes más importantes de las grúas es el sistema de control de carga, éste se encarga de monitorear el estado del levantamiento de cargas y bloquear los movimientos en caso de presentarse una situación en que se sobrepasen las especificaciones de seguridad.

El objetivo de este proyecto es diseñar un sistema de control de pesos para una grúa, que permita ser adaptado a distintos equipos. El sistema debe diseñarse tomando como base la grúa Link-Belt HTC8665, cuyo sistema de control original, el MG414 sufrió una avería que requirió el reemplazo del sistema.

El camión cuenta con transductores de presión hidráulica, elevación de la pluma y extensión de la pluma, con los datos de estos transductores se desarrolló una expresión matemática para calcular el peso que carga la grúa. También se desarrolló una expresión matemática para calcular es radio de carga.

Se diseñó un programa para almacenar los datos de las tablas de peso en memoria ROM. El peso y el radio de carga, se compara con los datos de las curvas y se determina si se está operando en una condición segura, en caso contrario se envía una señal que activa los relés que bloquean los movimientos de la Link-Belt.

El sistema se implementó usando un PLC S7-200 de Siemens con un módulo analógico EM-231 y una pantalla táctil TP277 que permite visualizar información de levantamiento, o desplegar mensajes de alerta cuanso se presenta una condición insegura.

Palabras clave: Grúa, Peso, Radio de Carga, Tablas de Carga, Transductores



Design of a Security System for the manual control of an Hydraulic Truck Crane *Link-Belt HTC8665*

Adolfo Sánchez Miranda

Submitted for a degree on Electronic Engineering
May, 2011

Abstract

The Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) requires the use of hydraulic cranes for carrying out various construction works. One of the most important components of cranes is the load control system, this system is responsible for monitoring the status of lifting loads and blocking the movements of the crane in a case in which they exceed the specifications of the manufacturer.

The objective of this project is to design a load control system for a crane, capable to be adapted to different equipments of the institution. The system should be based on the crane Link-Belt HTC8665, whose original control system, the MG414 was damaged and had to be replaced.

The truck has transducers for hydraulic pressure , boom angle and boom extension, with the data from these transducers was developed a mathematical expression that allows to know the weight of the crane load at any given time. Also was developed an expression to calculate the load radius of the crane.

A program was designed to store the data of the load charts of the crane in ROM. The weight and load radius calculated by the mathematical expressions are compared with data from the charts and it is determined whether it is operating in a safe condition, otherwise it sends a trigger signal that activates the relays to block the movements Link-Belt.

The system was implemented using a S7-200 PLC of Siemens with an analog module EM-23 and a TP277 touch-screen that displays information about the lifting, or display warning messages when an unsafe condition occurs.

Keywords: *Crane, Load Charts, Load Radius, Weight, Transducers*

*A mis padres,
por ser mi inspiración:
un ejemplo de lucha y fortaleza*
Adolfo Sánchez Miranda.

Agradecimiento

Gracias infinitas primero a Dios, por acompañarme en cada paso a lo largo de estos años de estudio, y durante los momentos difíciles de mi vida y en la realización de este proyecto.

Al MET-ICE, por abrirme las puertas para poder realizar el proyecto de graduación, y convertirse en parte de nuestro hogar los últimos meses.

Al asesor en la empresa, Ing. Édgar Varela Cascante y mis compañeros del Taller de Electrónica Adrián Eduarte y Damián Zamora, por su valiosos consejos y su apoyo.

A la profesora Ing. Gabriela Ortíz León, por la orientación recibida.

A todo el personal del Taller Eléctrico, por su ayuda, sus consejos y sobre todo por su gran compañerismo y solidaridad, que siempre me hicieron sentir bienvenido en el lugar.



Índice general

Índice de figuras	XVIII
Índice de tablas	XX
1. Motivación y explicación del proyecto	1
2. Meta y Objetivos	3
2.1. Meta	3
2.2. Objetivo General	3
2.3. Objetivos Específicos	4
3. Principios teóricos relacionados con la operación de una grúa hidráulica	5
3.1. Conceptos generales sobre grúas hidráulicas	5
3.1.1. Secciones principales de una grúa	6
3.1.2. Características de la grúa Link-Belt HTC8665	8
3.1.3. El plan de levantamiento y la tabla de pesos	8
3.2. Hidráulica	12
3.3. Principios mecánicos relacionados con el levantamiento de cargas	16
3.3.1. Torque	16
3.3.2. Equilibrio Estático	17
3.4. Transductores	18
3.4.1. Transductor de Presión	18
3.4.2. Transductor de Ángulo	20
3.4.3. Transductor de Extensión	21
3.4.4. Sensor de Doble Bloqueo	22
4. Desarrollo de una expresión para el cálculo del peso de la carga	23
4.1. Datos necesarios para el cálculo de la expresión	23
4.2. Análisis de la Estructura	28
5. Diseño y selección del Hardware y programación de las rutinas del Sistema	31
5.1. Descripción del Hardware	31

5.1.1. Selección del Hardware	32
5.2. Descripción del Software	36
5.2.1. Rutinas del PLC	37
5.2.2. Programa del panel táctil	42
5.2.3. Rutinas del PC	49
6. Análisis de Resultados	50
6.1. Linealización del transductor de inclinación	50
6.2. Linealización del transductor de extensión	52
6.3. Resultados del peso calculado por la expresión matemática y el peso calculado por el PLC	53
6.4. Mediciones del equipo antes de la aplicación de los factores de corrección	55
6.5. Resultados de mediciones del equipo con factores de corrección	56
6.6. Análisis de Costos	57
6.7. Proyección	59
7. Recomendaciones y Conclusiones	61
7.1. Conclusiones	61
7.2. Recomendaciones a la empresa	62
Bibliografía	63
Apéndice	65
A.1. Glosario, abreviaturas y simbología	65
A.2. Implementación del protocolo de comunicación PC-PLC empleando el modo Freeport	66
A.3. Tablas de datos para empleados para la linealización de los transductores	69
A.4. Tablas de datos para dimensiones secundarias	70
A.5. Tablas de peso calculado por la expresión matemática y el peso calculado por el PLC	71
A.6. Mediciones realizadas sin el factor de corrección.	78
A.7. Resultados experimentales luego de la aplicación del factor de corrección	79
Anexos	81
Datos PLC	81
Datos módulo analógico	85

Índice de figuras

1.1. Diagrama de bloques del sistema	2
3.1. Partes principales de una grúa. [10]	7
3.2. Tabla con capacidades de carga de una grúa Terex RT345[1]	10
3.3. Diagrama de levantamiento de una grúa Terex RT345[1]	11
3.4. Sistema Hidráulico Simple[3]	12
3.5. Multiplicación de fuerza en un sistema hidráulico[3]	12
3.6. Componentes principales de un pistón de doble efecto[4]	14
3.7. Carrera del pistón (a) Empuje, (b) Retracción[4]	14
3.8. Distintas configuraciones de válvulas direccionales	15
3.9. Mecanismos de accionamiento de válvulas hidráulicas	15
3.10. Generación de torque en un cuerpo rígido[15]	16
3.11. Condición en equilibrio e inestable para un vehículo[16]	17
3.12. Configuración típica de una galga extensiométrica[21]	18
3.13. Sensor de presión tipo diafragma[16]	19
3.14. Puente de Wheatstone para el transductor de presión[12]	19
3.15. Esquema del transductor de ángulo de la grúa Link-Belt	20
3.16. Componentes de un transductor de extensión por cable	21
3.17. Condición de Doble Bloqueo en una grúa [15]	22
4.1. Esquema básico con las partes más importantes del camión grúa.	24
4.2. Dimensiones auxiliares de la grúa	24
4.3. Diagramas de inventor para una inclinación de 10,25 y 50 grados	26
4.4. Dimensiones auxiliares vs. inclinación de la pluma	27
4.5. Diagrama de fuerzas actuando sobre la pluma	29
4.6. Diagrama con dimensiones para la grúa Galion	30
5.1. Esquema del hardware del sistema diseñado	32
5.2. Transductor de presión MSP 300 [11]	34
5.3. Estructura general del software	36
5.4. Diagrama de flujo de la rutina principal	38
5.5. Diagrama de flujo de la rutina de almacenamiento	39
5.6. Áreas de almacenamiento de datos en el PLC	39
5.7. Diagrama de flujo de la rutina para la determinación de la zona de operación	40

5.8. Diagrama de flujo de la rutina para los bloqueos de seguridad de la grúa	41
5.9. Comunicación de las rutinas del panel táctil y el PLC	43
5.10. Imagen para la calibración del transductor de extensión	44
5.11. Vista general de alarmas	45
5.12. Imagen de alarma de sobrepesos	45
5.13. Imagen de Inicio para el software del panel táctil	46
5.14. Imagen principal	46
5.15. Imagen de escalas	47
5.16. Área de variables del panel táctil	47
5.17. Tabla de símbolos del programa del S7-200	48
5.18. Distribución de los bits de bandera en la variable de alarmas. . .	49
6.1. Valores medidos por el EM235 para diferentes inclinaciones	51
6.2. Curva característica de los datos para distintos valores de distancia del transductor de extensión	53
6.3. Tabla de Estado del Software MicroWIN	54
6.4. Porcentaje de error máximo en función del peso	57
6.5. Módulos que deben modificarse en el Sistema para adaptarlo a otro equipo	59
6.6. Sistema adaptado para funcionar con una grúa de pluma en enrejado	60
6.7. Sistema adaptado para funcionar con una grúa de pluma en enrejado	60
A.1. Opciones de Configuración del registro SMB30 para modo Freeport [18]	66
A.2. Formato de un mensaje en modo Freeport empleando los registros SMB88 y SMB89	67
A.3. Protocolo para la transmisión de curvas	68
A.4. Configuración de interruptores DIP para el cable RS232/PPI . . .	68

Índice de cuadros

3.1. Características principales de la grúa	8
4.1. Datos del Cilindro de Levantamiento	28
5.1. Consumo de potencia estimado del sistema	35
6.1. Valores medidos por el PLC y el módulo EM231 para distintos valores de inclinación del sensor de ángulo	50
6.2. Valores obtenidos para la caracterización del transductor de extensión	52
6.3. Desviaciones máximas entre el peso calculado y el peso mostrado por el PLC	54
6.4. Factores de corrección para las longitudes de pluma medidas	55
6.5. Porcentaje de error máximo para los pesos de prueba	56
6.6. Estimación de costos del Sistema Comercial Railco-Wylie	58
6.7. Estimación de costos para el Sistema Diseñado	58
A.1. Registros de Control de Recepción modo Freeport	67
A.2. Palabra de datos vs. inclinación medidos a partir con el PLC y el módulo EM-231	69
A.3. Datos de tensión vs. distancia para el transductor de extensión	69
A.4. Datos para las distancias auxiliares calculados por el software Inventor para la Link-Belt	70
A.5. Datos para las distancias auxiliares calculados por el software Inventor para la Galion	70
A.6. Diferencia entre peso teórico y peso mostrado en el PLC para 0°	71
A.7. Diferencia entre peso teórico y peso mostrado en el PLC para 10°	72
A.8. Diferencia entre peso teórico y peso mostrado en el PLC para 20°	73
A.9. Diferencia entre peso teórico y peso mostrado en el PLC para 30°	74
A.10. Diferencia entre peso teórico y peso mostrado en el PLC para 40°	75
A.11. Diferencia entre peso teórico y peso mostrado en el PLC para 50°	76
A.12. Diferencia entre peso teórico y peso mostrado en el PLC para 60°	77
A.13. Promedio de pesos obtenidos para una carga de 100kg	78
A.14. Promedio de pesos obtenidos para una carga de 150kg	78
A.15. Promedio de pesos obtenidos para una carga de 200kg	78

A.16.Promedio de pesos obtenidos para una carga de 250kg	78
A.17.Mediciones para un peso de 50kg	79
A.18.Mediciones para un peso de 100kg	79
A.19.Mediciones para un peso de 150kg	79
A.20.Mediciones para un peso de 200kg	79
A.21.Mediciones para un peso de 250kg	79
A.22.Mediciones para un peso de 300kg	80



Capítulo 1

Motivación y explicación del proyecto

La sección de Maquinaria Equipo y Talleres (MET) del ICE se encuentra ubicado en la planta de La Garita, se dedica al mantenimiento, reparación y reconversión de maquinaria para excavación de túneles, maquinaria de construcción de represas y cualquier equipo que el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) requiera para la realización de nuevos proyectos eléctricos o para labores de mantenimiento.

El MET posee distintos tipos de camiones grúa para sus actividades, entre ellas pose una sola unidad Link-Belt HTC-8665. La computadora original de este equipo dañó, por lo que se implementó un sistema basado en electroválvulas, que son accionadas por botones pulsadores. El sistema permite al operador controlar directamente el sistema hidráulico del equipo por medio de los pulsadores y realizar los movimientos básicos de la pluma (extender, retraer, elevar la pluma y bajar la pluma), pero, a diferencia del sistema original; no muestra información relevante para el operador, como el peso que está levantando la grúa, el radio de operación de la grúa o la elevación de la pluma, ni es capaz de bloquear los movimientos del equipo cuando se generar una condición riesgosa.

Los cálculos para determinar la seguridad del un levantamiento, se realizan manualmente por los operarios, con base en las especificaciones de la “tabla de pesos”¹. No obstante, con éste método existen factores que pueden influir en el cálculo y que pasen desapercibidos por parte del operario como deformaciones en la pluma o variaciones en el peso de la carga debido a factores ambientales (por ejemplo aumento del peso debido a la absorción de humedad).

El personal del MET evaluó dos opciones para la reparación del equipo da-

¹ *Lifting Chart*

ñado: solicitarle al fabricante original del equipo, la empresa Link-Belt, el envío de repuestos para ese modelo, o realizar una licitación para un nuevo sistema que cumpla con los mismos requerimientos de seguridad que el sistema original. La primera opción tiene un coste de \$32000 ya que el modelo HTC-8665 está discontinuado y sólo se puede fabricar por pedido especial, la segunda opción tiene un costo aproximado de \$12000. El MET desea evaluar la viabilidad de desarrollar su propio sistema de control de peso, que pueda ser adaptado a sus equipos, en el caso de que los sistemas de control de peso originales resulten dañados, con el consiguiente ahorro de recursos tanto económicos, como de tiempo de reparación de los equipos.

El sistema posee tres transductores, que permiten conocer la extensión de la pluma, el ángulo de elevación y la presión en el brazo de levante de la grúa. El sistema implementa una expresión matemática que permite con base en los datos de los transductores calcular el peso y el radio de carga que la grúa se encuentra levantando en este momento, una vez que se conocen estas dos variables, el sistema lo compara con los datos del fabricante de la grúa que se encuentran almacenados en la memoria y determina si la grúa se encuentra operando dentro de una zona segura, si la grúa está trabajando fuera de las condiciones de operación dadas por el fabricante se bloquean los movimientos de la grúa.

En la figura 1.1, se observa un diagrama de bloques del sistema. Este consta de cuatro bloques principales, un bloque que permite leer los datos de los transductores y calcular el peso y el radio de carga de la grúa, un bloque compara los datos del fabricante y los datos del usuario y determinar si hay alguna condición de riesgo, un bloque que permite activar los bloqueos de la grúa y una interfaz gráfica para desplegar información para el usuario de la grúa.

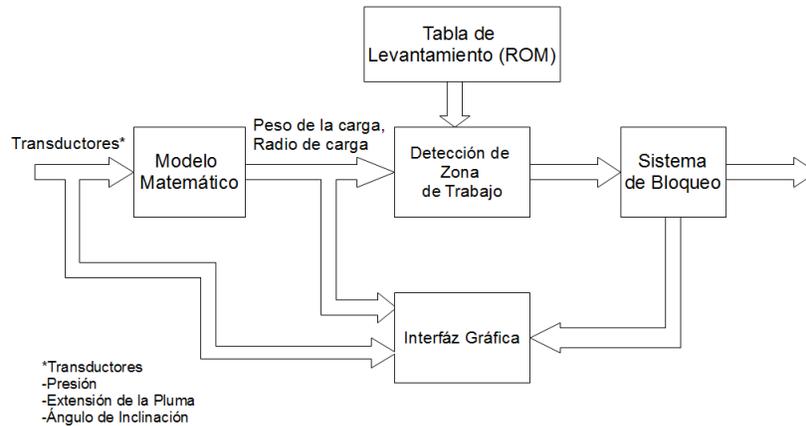


Figura 1.1: Diagrama de bloques del sistema

Capítulo 2

Meta y Objetivos

2.1. Meta

Dotar al MET-ICE de un Sistema de Seguridad para la grúa móvil Link-Belt HTC-8665, de bajo costo, que evite que la grúa opere más allá de su capacidad y que presente información útil sobre la operación de la grúa al operario, de forma que pueda ser operada de manera segura, con el mecanismo de control actual, sin la necesidad de recurrir a otra empresa para la construcción de un sistema de control

2.2. Objetivo General

Diseñar un Sistema de Seguridad para la grúa móvil Link-Belt HTC-8665, que pueda acoplarse al sistema manual que se está utilizando actualmente, que indique al operario el peso que carga el equipo, el ángulo de elevación, la extensión de la pluma y el radio de trabajo y que evite que la grúa opere en condiciones inseguras.

2.3. Objetivos Específicos

- Obtener una expresión matemática para el peso que carga la grúa en función de la presión, el ángulo de elevación de la pluma y la extensión de la pluma.

Indicador: Los resultados del modelo matemático presentan un error máximo de $\pm 100\text{kg}$ respecto al valor esperado.

- Diseñar un experimento con la grúa que permita validar experimentalmente los resultados de la expresión matemática.

Indicador: Los resultados del modelo matemático y los resultados del experimento difieren un 5 % como máximo.

- Diseñar la circuitería necesaria para interfazar el sistema con los componentes eléctricos de la grúa relacionados con las operaciones de levantamiento

Indicador: El circuito cumple con las condiciones de alimentación para cada componente del sistema, los niveles máximos y mínimos de los transductores acondicionados se encuentran dentro del rango que maneja el PLC.

- Diseñar e implementar las rutinas necesarias para el cálculo del peso y el radio de carga y reconocimiento de condiciones inseguras.

Indicador: El sistema se bloquea ante simulaciones de condiciones riesgosas que sobrepasan las especificaciones de la tabla de pesos de la grúa dada por el fabricante.

- Diseñar e implementar las rutinas necesarias para el desarrollo de una interfaz gráfica entre el PLC y el Panel Táctil.

Indicador: La pantalla muestra al usuario la inclinación del brazo en grados, la extensión del brazo en metros, el radio de carga y el peso, además despliega mensajes de alerta cuando se genera un bloqueo en la grúa.

Capítulo 3

Principios teóricos relacionados con la operación de una grúa hidráulica

3.1. Conceptos generales sobre grúas hidráulicas

Una grúa hidráulica, es un tipo de grúa que emplea los principios de la hidráulica para manejar el levantamiento de las cargas, mediante el uso de uno o más cilindros hidráulicos. Todos los sistemas hidráulicos requieren al menos de una fuente de poder, una bomba y un actuador para funcionar. Las grúas hidráulicas móviles obtienen la energía de un motor diésel, este motor se usa para alimentar las bombas hidráulicas.

Bomba principal Esta bomba es la más potente de todas, y se encarga de manejar los cilindros que proveen la fuerza de levantamiento, el cilindro telescópico que extiende la pluma de la grúa y el circuito hidráulico que permite la rotación de la superestructura.

Bomba de contrapesos Las grúas usan un sistema de contrapesos para dar estabilidad durante el levantamiento, estos contrapesos se añaden o se remueven por un sistema hidráulico que cuenta con su propia bomba para funcionar.

Bomba de estabilizadores Las grúas usan un sistema de estabilizadores para realizar las operaciones de levantamiento, la grúa se apoya sobre los estabilizadores en lugar de las llantas para maximizar el área de la grúa.

3. Principios teóricos relacionados con la operación de una grúa hidráulica

Los estabilizadores son controlados por una tercera válvula independiente que permite extenderlos y fijarlos o retraerlos. Cuando no se está haciendo un levantamiento esta bomba se emplea para el sistema de dirección del camión.

3.1.1. Secciones principales de una grúa

Todas las gruas móviles se dividen en dos secciones principales, la estructura inferior o transportador (*carrier* en inglés) encargada de transportar la estructura y de actuar como base de soporte durante los levantamientos y la estructura superior o *superestructura* que es la que se encarga del movimiento de las cargas.

En el caso de una grúa hidráulica las componentes principales son:

Pluma Barra de acero que actúa como un brazo para elevar la carga.

Plumín Estructura enrejada en el extremo final del brazo, es un aditamento opcional que se usa para extender el radio de trabajo, aunque reduce significativamente la capacidad de carga de la grúa.

Aparejos Los aparejos incluyen la estructura final de la pluma (o nariz) así como la pasteca o gancho se usa para tensar las cuerdas en ausencia de cargas y para enganchar a la carga a levantar.

Cable de acero reforzado Se extienden desde a lo largo de la pluma, los cables son los que soportan el peso que carga la grúa, generalmente se requieren varios cables para alcanzar el peso especificado por la grúa, todos los cables se unen al final en un gancho cuya función es la de mantener todos los cables tensados cuando no hay carga.

Contrapesos Pesos de concreto que se añaden en la parte posterior de la grúa, para incrementar la estabilidad estructural durante el levantamiento de una carga.

Malacate Cilindro en el que se enrollan los cables de la grúa, el operador controla por medio de un motor la extensión o retracción de los cables

Cilindro de Levantamiento Cilindro hidráulico que eleva y baja el brazo y genera la fuerza necesaria para las operaciones de levantamiento de la carga.

Engrane rotativo Un engrane controlado por un motor hidráulico, se sitúa en la base de la cabina y permite mover la pluma hacia la izquierda o hacia la derecha hasta un rango de 360°.

3. Principios teóricos relacionados con la operación de una grúa hidráulica

Estabilizadores Soportes que se extienden desde los costados para balancear y dar soporte a la grúa durante las operaciones de carga.

En la figura 3.1, se observan los secciones anteriormente definidas, en un camión grúa Link-Belt HTC-8665.

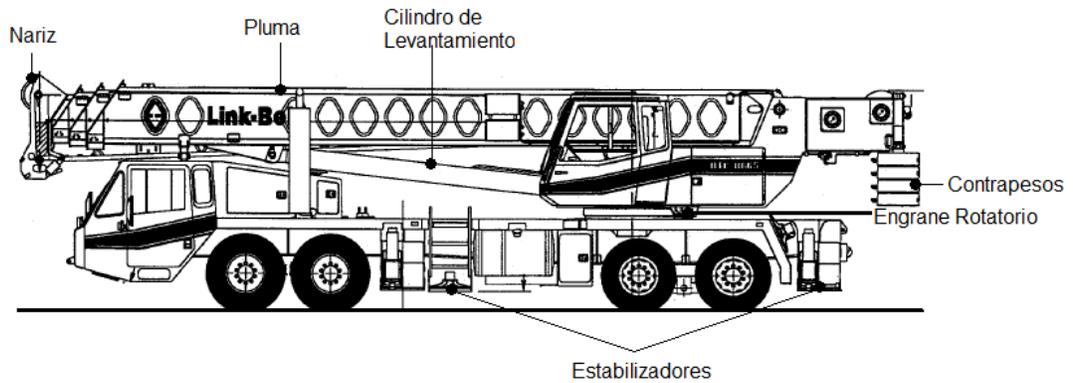


Figura 3.1: Partes principales de una grúa. [10]

3.1.2. Características de la grúa Link-Belt HTC8665

En la tabla 3.1, se muestran las principales características de la grúa HTC-8665. Las características físicas de la grúa deben tomarse en cuenta en el momento de elegir los transductores más adecuados para el sistema, por ejemplo, la longitud máxima de la pluma debe tomarse en cuenta para elegir la longitud del sensor de extensión y la presión de la bomba debe de contemplarse al momento de elegir los transductores de presión. Las distintas opciones de contrapesos, estabilizadores y otros dispositivos de levantamiento adicionales influyen en la elección de la tabla de peso que debe ser utilizada al momento de operar la grúa.

Tabla 3.1: Características principales de la grúa

Bomba	Una bomba hidráulica con cuatro secciones de 3500psi cada una.
Pluma	Una pluma telescópica extendible, de tres secciones, con una longitud de entre 10.82m a 33.53m
Plumines	Un plumín de 10.36m configurable a 1º, 15º y 30º
Cilindro	Un cilindro con un diámetro de 0.254m y una longitud de entre 3.048m y 5.1816m
Contrapesos	Cuatro secciones de concreto, de 1388kg cada una. Se pueden usar combinaciones de 1,2,3 o hasta 4 secciones
Estabilizadores	Estabilizadores, con tres posiciones, completamente extendidos, intermedios o completamente retraídos

3.1.3. El plan de levantamiento y la tabla de pesos

Para realizar un levantamiento se requiere una cuidadosa planificación de todos los movimientos que se han de realizar por parte de la grúa o las grúas involucradas de forma que se realice de la forma más eficiente y segura posible. La planificación de un levantamiento debe tomar en cuenta los siguientes aspectos[14]:

- Terreno: Es el suelo lo suficientemente fuerte para soportar la grúa y la carga, la superficie está lo suficientemente nivelada, obstáculos que hay en el terreno, presencia de líneas de alta tensión, donde se ubica la carga y a donde hay que moverla, en donde se ubicará la grúa para mover la carga de forma que el radio sea el mínimo posible.

3. Principios teóricos relacionados con la operación de una grúa hidráulica

- Personal: Cuántas personas se necesitan para realizar la operación y cuáles serán sus responsabilidades, cómo se comunicaran el operador de la grúa y los señalistas, y qué pasos se deben tomar para mantener al personal y al equipo innecesario fuera del área de trabajo.
- Carga: Cuál es el peso de la carga, dónde se ubica el centro de gravedad de la misma antes y durante el levantamiento, superficie de vela¹ de la carga.
- Clima: Condiciones meteorológicas adversas cómo: presencia de vientos fuertes, lluvia, frío extremo o neblina.
- Grúa: Qué tipo de grúa es necesario usar, cómo se transportará la grúa hasta el lugar de trabajo, es necesario usar accesorios adicionales para realizar el trabajo, cuál es la configuración más adecuada en la que debe trabajar la grúa.

La tabla de pesos

Como se puede apreciar para el plan de levantamiento, una parte muy importante es elegir el tipo de grúa más adecuado, ya que una mala elección puede llevar al uso de grúas con insuficiente capacidad de carga, o por el contrario sobredimensionar la grúa con su consecuente desperdicio de recurso. Para elegir el tipo de grúa más adecuada y la forma en que esta debe ubicarse para realizar el levantamiento la Tabla de Pesos de la grúa es una herramienta indispensable que todos los involucrados en el levantamiento deben conocer, la Tabla de Pesos contiene información vital dada por el fabricante para el usuario de la grúa.

Interpretación de la tabla de pesos[1]

Tanto en el proceso de planificación como el de levantamiento la tabla de cargas juega un rol muy importante, es la que permite determinar si la grúa es adecuada y puede realizar los movimientos necesarios para realizar la tarea y permite determinar los movimientos de extensión, retracción o elevación que debe realizar la grúa.

Las tablas de peso de las grúas constan de las mismas secciones principales: dimensiones, las capacidades de carga y rango de levantamiento.

Dimensiones: Especifican las principales dimensiones estructurales de la grúa, el peso de la grúa así como la distribución de peso en cada uno de los

¹Es la superficie máxima superficie de empuje que le ofrece la carga al viento

3. Principios teóricos relacionados con la operación de una grúa hidráulica

ejes, así como las capacidades de maniobras de la grúa. Esta información permite decidir como se va a transportar la grúa hasta el terreno, por que rutas puede transitar, si debe ser transportada en un camión, etc.

Capacidades de carga: Esta es una de las partes más importantes de una tabla de pesos, las capacidades de carga para una grúa, son el resultado que el fabricante hace de la capacidad estructural de la grúa, siguiendo los criterios de seguridad dados por órganos reguladores como la OSHA, es importante seguir al pie de la letra las indicaciones dadas en esta sección y nunca rebasarlas. En la figura 3.2, se observa una tabla de capacidades de carga, la columna del extremo izquierdo se tienen los valores correspondientes al radio de trabajo, la fila superior muestra la extensión de la pluma requerida. Usualmente las grúas poseen varias tablas para los distintos modos de operación, dependiendo de cuantos contrapesos se usen, y de la posición de los estabilizadores, esta tabla es para una grúa con 6.5ton de contrapesos y los estabilizadores extendidos en una configuración de 22'x22.3'

También hay tablas de capacidades de carga para configuraciones especiales, como cuando se usan extensiones de la pluma o cuando la grúa levanta una carga y se pone en movimiento.

Ejemplo: Se desea levantar una carga de 15 toneladas (30000 libras), que se encuentra a una distancia de 25 pies, una vez que se ha determinado el radio se busca el peso máximo para este valor, en este caso 31600 libras. Una vez determinado se sabe que hay que extender la pluma 45 pies para realizar el levantamiento.

		Boom Extension Required								
		33.75 ft	45.0 ft	57.0 ft	69.0 ft	81.0 ft	93.0 ft	105.0 ft		
ft	9	90000	-	-	-	-	-	-	ft	9
	10	64400	46500	-	-	-	-	-		10
	12	58000	46500	46500	-	-	-	-		12
	15	50700	46500	44500	41600	-	-	-		15
	20	40400	38200	36400	34800	30600	-	-		20
	25	30600	31600	31000	29400	26000	23400	-		25
	30	-	25000	25600	25600	22500	20300	18600		30
	35	-	20300	20900	21300	19600	17700	16200		35
	40	-	16700	17400	17800	17400	15600	14400		40
	45	-	-	14700	15100	15300	14100	12900		45
	50	-	-	12400	12900	13100	12600	11600		50
	55	-	-	-	11100	11300	11500	10400		55
	60	-	-	-	9500	9800	9900	9500		60
	65	-	-	-	-	8400	8500	8600		65
	70	-	-	-	-	7200	7300	7400		70
	75	-	-	-	-	6100	6300	6400		75
	80	-	-	-	-	-	5500	5600		80

Figura 3.2: Tabla con capacidades de carga de una grúa Terex RT345[1]

Rango de levantamiento: Es un diagrama que especifica cuanto se debe extender la pluma para llevar una carga a un punto determinado, el diagrama

3. Principios teóricos relacionados con la operación de una grúa hidráulica

usa un sistema de dos coordenadas, altura y distancia respecto al centro de giro.

Ejemplo: Se desea levantar una carga que esta a 25 pies a un edificio de 5 pisos que esta a 65 pies de altura, entonces según el diagrama se requiere extender la pluma 69 pies (ver figura 3.3).

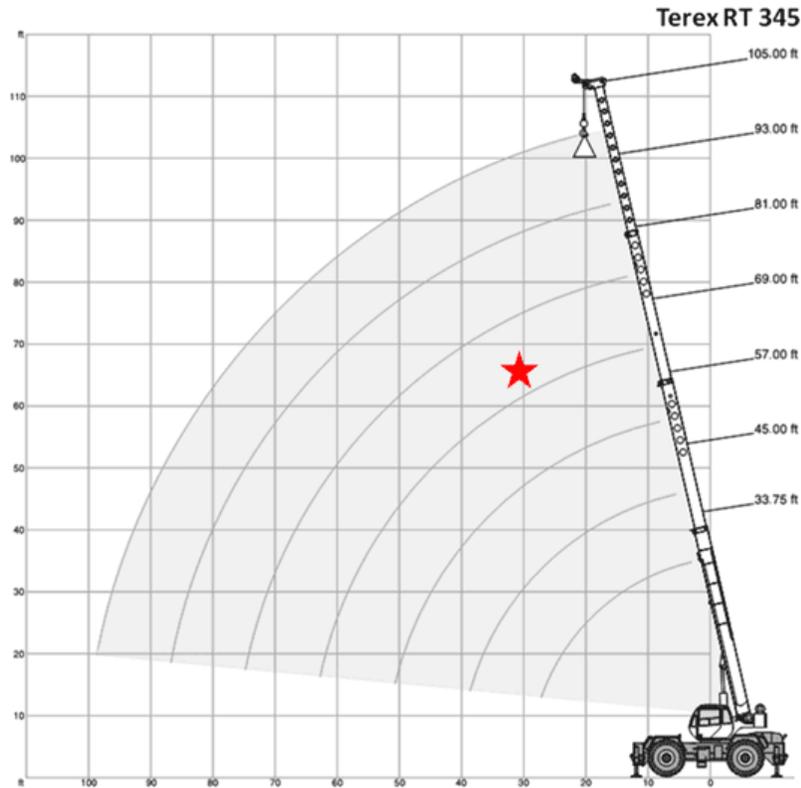


Figura 3.3: Diagrama de levantamiento de una grúa Terex RT345[1]

Otros datos: Otra información relevante que suele incluirse en las tablas de datos, es el peso de los ganchos y accesorios para levantamientos. Y las *reducciones* o *deducciones*, que son reducciones del peso máximo que puede levantar la grúa cuando las extensiones no se utilizan o cuando las extensiones se fijan en la sección principal de la pluma.

3.2. Hidráulica

La hidráulica se basa en un principio de funcionamiento simple, la fuerza que se aplica en un punto se transmite a otro punto por medio de un fluido incompresible (generalmente algún tipo de aceite). En la figura 3.4 se observa el sistema hidráulico más sencillo. La fuerza aplicada en uno de los pistones se transmite por medio de un tubo lleno de aceite hacia el otro pistón.

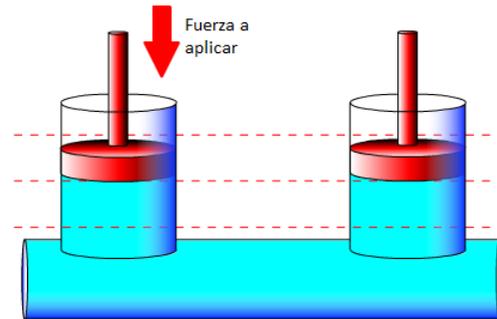


Figura 3.4: Sistema Hidráulico Simple[3]

Una de las ventajas de los sistemas hidráulicos es que el contenedor que separa los dos pistones puede tener cualquier forma, lo que le permite evitar fácilmente cualquier obstáculo que se encuentre entre los pistones. Además los sistemas hidráulicos permiten realizar fácilmente división o multiplicación de fuerzas, al intercambiar fuerza por distancia. Por ejemplo en la figura 3.5 al aplicar 100N en el cilindro de 9 centímetros de longitud, se obtendrá una fuerza de 900N y un desplazamiento de 1 centímetro en el cilindro de la derecha

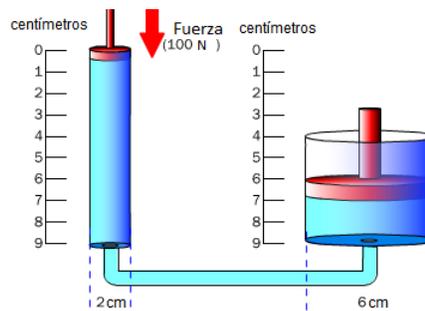


Figura 3.5: Multiplicación de fuerza en un sistema hidráulico[3]

3. Principios teóricos relacionados con la operación de una grúa hidráulica

Los principales componentes de cualquier máquina hidráulica son [3, 19] :

Motor Suministra potencia para que el sistema funcione.

Bomba hidráulica Genera el flujo de aceite de alta presión necesario para que el sistema funcione

Tanque Almacena el aceite necesario para el sistema

Válvulas Regulan la dirección y la intensidad del flujo de aceite en el sistema

Actuadores Transforman la energía hidráulica en otro tipo de energía, los tres tipos de actuadores hidráulicos son cilindros, motores y motores oscilantes²

Cilindros hidráulicos[19]

Un cilindro hidráulico es un actuador que transforma energía hidráulica en movimiento lineal. Todos los cilindros se componen de tres partes principales: camisa cilíndrica, pistón y vástago. El pistón se encuentra dentro de la camisa y se conecta con el vástago. El extremo inferior de la camisa se denomina cabezal, y el extremo superior (por donde sale el vástago) se denomina buje.

El vástago comienza desplazarse conforme el fluido se inyecta por la parte inferior del cilindro e impulsa al pistón; a este proceso se le llama *carrera de empuje*. En el proceso inverso el fluido es desplazado hacia el tanque por el pistón, este proceso es conocido como *carrera de retracción*. De ésta forma se genera el movimiento lineal en el cilindro.

Los cilindros de acuerdo a su funcionamiento se pueden clasificar en dos tipos[19]:

Cilindros de efecto simple El aceite se inyecta por la parte inferior para desplazar el vástago hacia afuera, pero el vástago se retrae por medio de un resorte o por medio de una fuerza mecánica externa

Cilindros de efecto doble El aceite se inyecta para desplazar el pistón en ambos sentidos (ver figura 3.6).

²el movimiento de rotación del eje se debe al movimiento oscilatorio de un pistón

FIG. 6-1

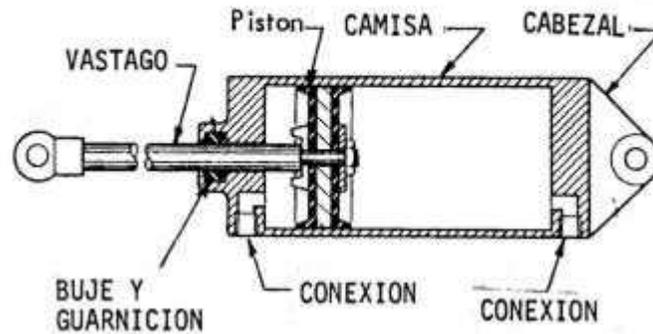


Figura 3.6: Componentes principales de un pistón de doble efecto[4]

Cálculo de la fuerza en un cilindro hidráulico

Las figuras 3.7a y 3.7b muestran el empuje y la retracción del cilindro. La fuerza sobre el pistón depende del área efectiva del pistón que esté sometida a la presión y de la presión que se ejerza sobre el mismo.

$$F_H = P \cdot A_{efectiva} \quad (3.1)$$

Es importante observar en la figura 3.7b que el área efectiva del pistón durante la retracción es menor debido que no se ejerce presión directamente sobre la unión con el vástago.

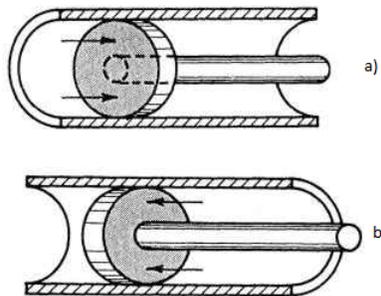


Figura 3.7: Carrera del pistón (a) Empuje, (b) Retracción[4]

Válvulas Direccionales

Las válvulas direccionales son válvulas discretas, que al ser accionadas permiten redirigir el flujo hidráulico hacia distintas partes del circuito, se les llama direccionales porque sólo producen un cambio en el sentido del flujo y no en su intensidad.

Las válvulas direccionales se caracterizan por el número de puertos, el número de posiciones y el mecanismo de accionamiento. El número de puertos es la cantidad de entradas o salidas que la válvula tiene disponible. El número de posiciones indica cuantas configuraciones diferentes tiene la válvula, en la figura 3.8 se pueden ver distintos tipos de válvulas de direccionamiento. En la figura 3.9 se pueden ver distintos tipos de mecanismos de accionamiento.

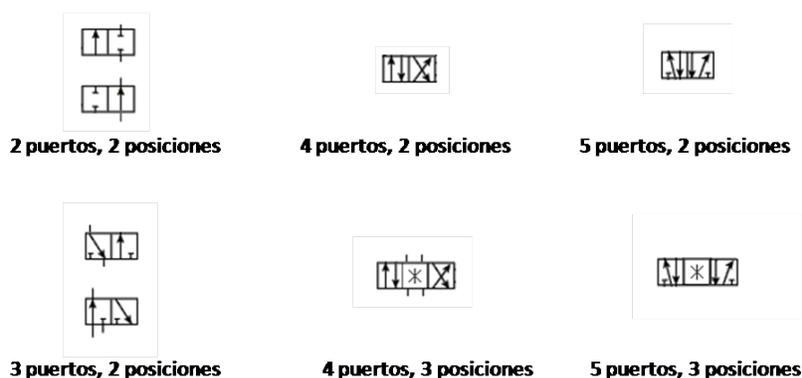


Figura 3.8: Distintas configuraciones de válvulas direccionales

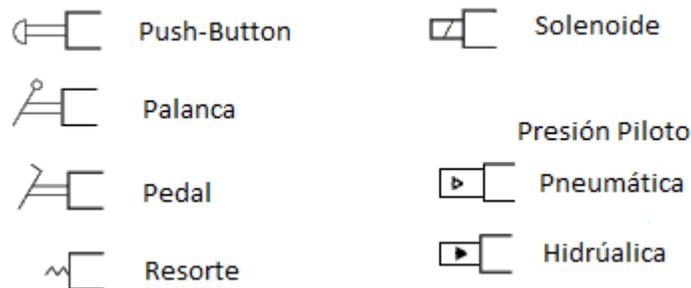


Figura 3.9: Mecanismos de accionamiento de válvulas hidráulicas

3.3. Principios mecánicos relacionados con el levantamiento de cargas

3.3.1. Torque

El torque es un vector que mide la tendencia de una fuerza de hacer rotar un cuerpo rígido al rededor de un eje. En la figura , se tiene un ejemplo sencillo: la fuerza aplicada en el extremo de la herramienta genera una rotación al rededor del eje que pasa por el punto O ; el cálculo del torque viene dado por la expresión:

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{r} \times \mathbf{F} \quad (3.2)$$

La magnitud del torque viene dado por la expresión:

$$\tau = rF \sin(\phi) \quad (3.3)$$

r : distancia del eje al punto de aplicación

F : Fuerza aplicada al cuerpo rígido

ϕ : ángulo entre los vectores \mathbf{r} y \mathbf{F}

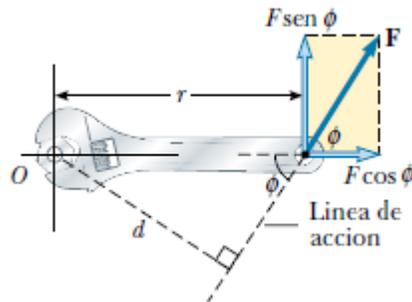


Figura 3.10: Generación de torque en un cuerpo rígido[15]

3.3.2. Equilibrio Estático

Se denomina equilibrio estático a la condición en la cual el efecto de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo rígido se cancelan, de forma que el cuerpo permanece en reposo. Para que un cuerpo rígido se encuentre en reposo debe cumplir con dos requisitos [15]:

1. La resultante de todas la fuerzas externas debe ser cero $\sum F = 0$
2. El torque resultante al rededor de cualquier eje debe ser cero $\sum \tau = 0$

La primera condición asegura que el cuerpo se encuentre en equilibrio traslacional, es decir su aceleración lineal es de 0. La segunda condición cumple con el equilibrio rotacional, es decir su aceleración angular es de 0.

Para que un cuerpo rígido permanezca en equilibrio estático, es necesario que el centro de gravedad del cuerpo se encuentre dentro del área definida por sus puntos de apoyo, de lo contrario el sistema se vuelve inestable. Como se puede observar en la figura 3.11.

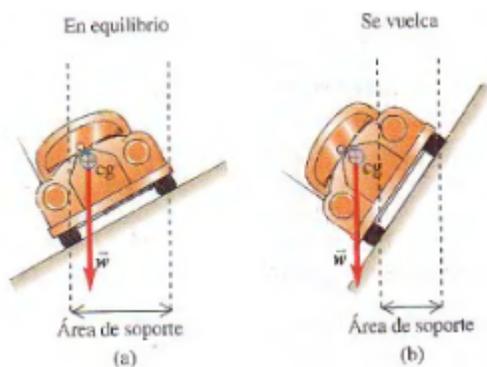


Figura 3.11: Condición en equilibrio e inestable para un vehículo[16]

3.4. Transductores

3.4.1. Transductor de Presión

Galga extensiométrica

Una galga extensiométrica es un dispositivo diseñado para medir la deformación por tensión de un objeto. La galga extensiométrica está construida como un arreglo geométrico de un material aislante montado sobre una hoja metálica delgada, mediante la aplicación de un adhesivo se sujeta la hoja metálica al objeto cuya deformación se desea medir, la deformación del material crea un cambio en la geometría de la película metálica que se expande o se comprime, por lo que genera cambios en la resistencia medida entre las terminales. [13].

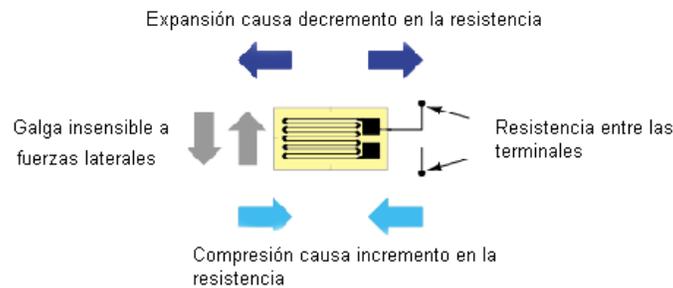


Figura 3.12: Configuración típica de una galga extensiométrica[21]

Un parámetro muy importante para las galgas extensiométricas es el *factor de galga*, este debe estar especificado por el fabricante y es una medida de la sensibilidad de la galga ante la deformación:

$$GF = \frac{\Delta R/R_G}{\varepsilon} \quad (3.4)$$

R_G : Resistencia sin compresión

ΔR : Cambio en la resistencia

ε : Esfuerzo de tensión

Sensor de presión por galga extensiométrica

El transductor de presión está compuesto por un puente de Wheatstone conformado por galgas extensiométricas montadas sobre un diafragma flexible [7]. En la figura 3.13 se observa un diagrama de este tipo de transductores, un lado del diafragma está al vacío o a la presión atmosférica; el otro lado del diafragma se encuentra sometido a la tensión del proceso. Producto de la diferencia de presión las dos galgas centrales sufren un esfuerzo de tensión mientras que las dos galgas de los extremos están sometidas a un efecto de compresión.

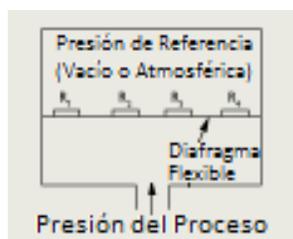


Figura 3.13: Sensor de presión tipo diafragma[16]

En la figura 3.14 se observa el diagrama eléctrico del transductor de presión, para este tipo de sensor la presión es directamente proporcional al esfuerzo de tensión al que están sometidas la galgas (expresión 3.5)[12].

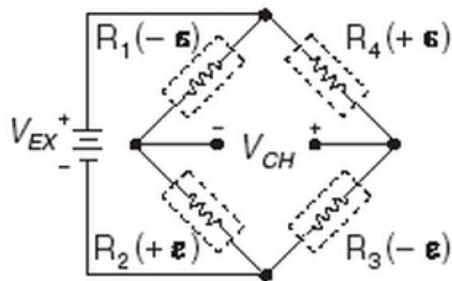


Figura 3.14: Puente de Wheatstone para el transductor de presión[12]

$$P \propto \varepsilon = \frac{V_r}{GF} \quad (3.5)$$

$$V_r = \frac{V_{CH(\text{comprimido})} - V_{CH(\text{sin presión})}}{V_{\text{alimentación}}}$$

3.4.2. Transductor de Ángulo

El transductor de ángulo está basado en el principio del péndulo, consiste en un potenciómetro empleado como divisor de tensión. El eje del potenciómetro está mecánicamente acoplado a un peso metálico; conforme el sensor se inclina, el peso tiende a rotar a la posición más baja, lo que hace que el dial del potenciómetro gire, generando un cambio en la tensión de salida. Además se incorporan dos imanes que reducen las oscilaciones que sufre el peso metálico antes de llegar a la posición de reposo (figura 3.15)

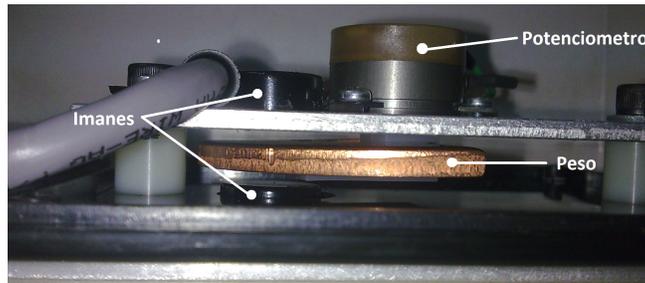


Figura 3.15: Esquema del transductor de ángulo de la grúa Link-Belt

3.4.3. Transductor de Extensión

Las grúas emplean transductores de extensión de cable, conocidos como potenciómetros de cuerda. Este tipo de transductores consta de cuatro partes, la cuerda, el carrete, un resorte de potencia y el transductor rotatorio (ver figura 3.16).

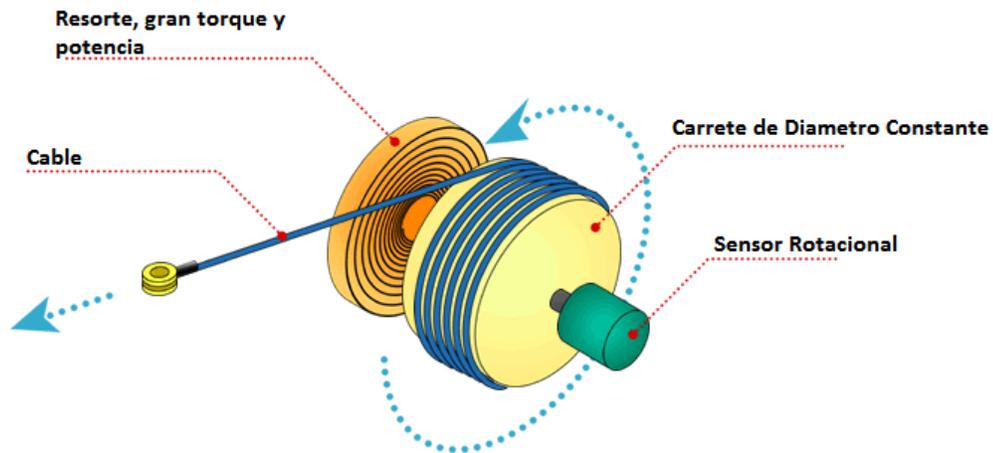


Figura 3.16: Componentes de un transductor de extensión por cable

La cuerda se fija al objeto cuyo desplazamiento se desea medir, conforme aumenta la distancia la cuerda hace girar el carrete, el carrete está fijado al eje de un transductor rotatorio que puede entregar una salida analógica, digital (encoder) o potenciométrica (divisor de tensión). El resorte tiene como función generar resistencia para mantener la cuerda tensa.

3.4.4. Sensor de Doble Bloqueo

El sensor de doble bloqueo consiste en un interruptor normalmente cerrado, acoplado mecánicamente a una pesa, la pesa es generalmente de forma cilíndrica con un agujero en el centro por el que pasa el cable de levantamiento de la grúa, si el gancho comienza a acercarse mucho a la pluma hará que la pesa se levante y abra el interruptor, lo que activará una señal A2B (anti-two-block), como puede verse en la figura 3.17

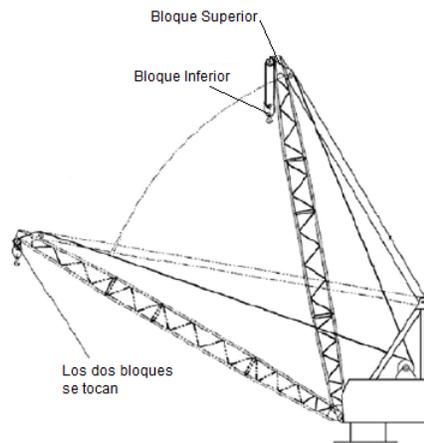


Figura 3.17: Condición de Doble Bloqueo en una grúa [15]

Capítulo 4

Desarrollo de una expresión para el cálculo del peso de la carga

4.1. Datos necesarios para el cálculo de la expresión

Para el desarrollo de la expresión matemática que permita calcular el peso de la carga que esta levantando la grúa se decidió trabajarlo como un problema de estática. Esto es posible debido a la diferencia de velocidad con que el sistema electrónico realiza los cálculos en comparación con la velocidad con que la grúa puede realizar un levantamiento.

En la figura 4.1 se observa un bosquejo de la grúa, para el análisis sólo se tomaran en cuenta las fuerzas que actúan sobre la pluma por lo que la parte inferior (en blanco) se toma como una estructura fija¹.

¹Esto se debe a que el análisis de fuerzas sobre la estructura inferior, así como el análisis de la capacidad estructural de la pluma ya están incluidas dentro de los límites de la tabla de pesos. Ver sección 3.1.3

4. Desarrollo de una expresión para el cálculo del peso de la carga

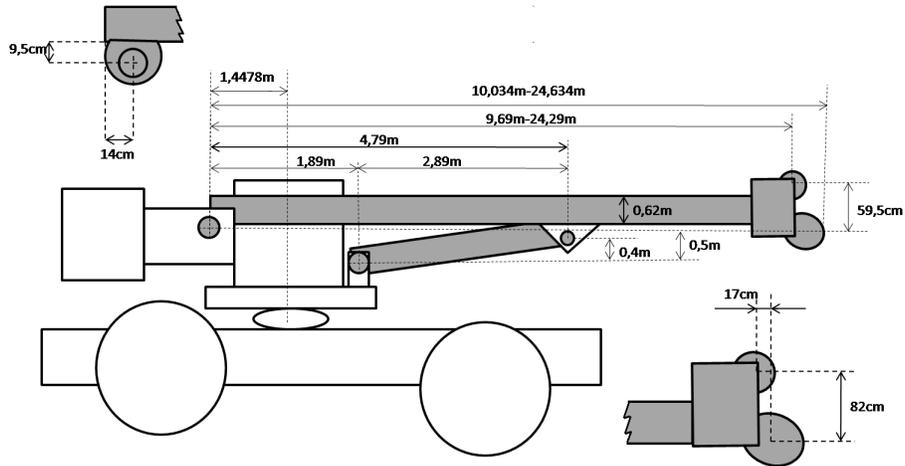


Figura 4.1: Esquema básico con las partes más importantes del camión grúa.

Dimensiones secundarias

Las dimensiones secundarias, son dimensiones necesarias para la obtención de la expresión final, pero que por su naturaleza no pueden ser medidas directamente de la grúa, estas dimensiones se observan en la figura 4.2. Las dimensiones auxiliares son dependientes de la inclinación de la pluma, por lo que para poder calcularlas se desarrollaron expresiones matemáticas en función de α , para cada una de las dimensiones empleando el software Inventor 2010 (ver subsección 4.1)

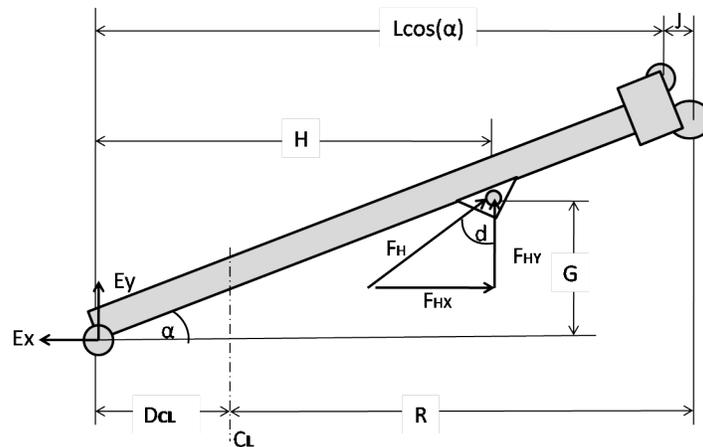


Figura 4.2: Dimensiones auxiliares de la grúa

4. Desarrollo de una expresión para el cálculo del peso de la carga

Las principales dimensiones obtenidas son:

- H:** Distancia horizontal del punto de pivote al punto de aplicación de la fuerza hidráulica
- G:** Distancia vertical del punto de pivote al punto de aplicación de la fuerza hidráulica
- J:** Distancia horizontal desde el fin de la pluma hasta el punto de salida de la cuerda
- D_{CL}:** Distancia desde el punto de pivote al centro de rotación de la grúa
- L:** Longitud de la pluma medida desde el punto de pivote hasta el centro de la polea superior
- L_H:** Longitud horizontal de la pluma medida desde el punto de pivote
- R:** Radio de carga
- d:** Ángulo formado entre la fuerza hidráulica y su componente horizontal

Las distancias G, H, J y el ángulo d se calcularon con Inventor como se podrá ver en la siguiente sección, mientras que el radio de carga se calcula por medio de reglas de trigonometría y aritmética

$$R = L_H + J - D_{CL}$$

↓

$$R = L \cos(\alpha) + J - D_{CL} \tag{4.1}$$

Cálculo de dimensiones auxiliares a partir de Inventor

Inventor es un software de modelado paramétrico de la empresa Autodesk, el modelado paramétrico permite especificar las dimensiones, la geometría y el material del objeto a diseñar de manera que si se altera la geometría, las dimensiones se actualizan automáticamente[20]. En este software se diseñó un esquema básico con las dimensiones del equipo, así como las cotas deseadas (que aparecen entre paréntesis), al variar el valor del ángulo de inclinación α el software calcula el nuevo valor que deben tener las dimensiones auxiliares, como se puede observar en la figura 4.3.

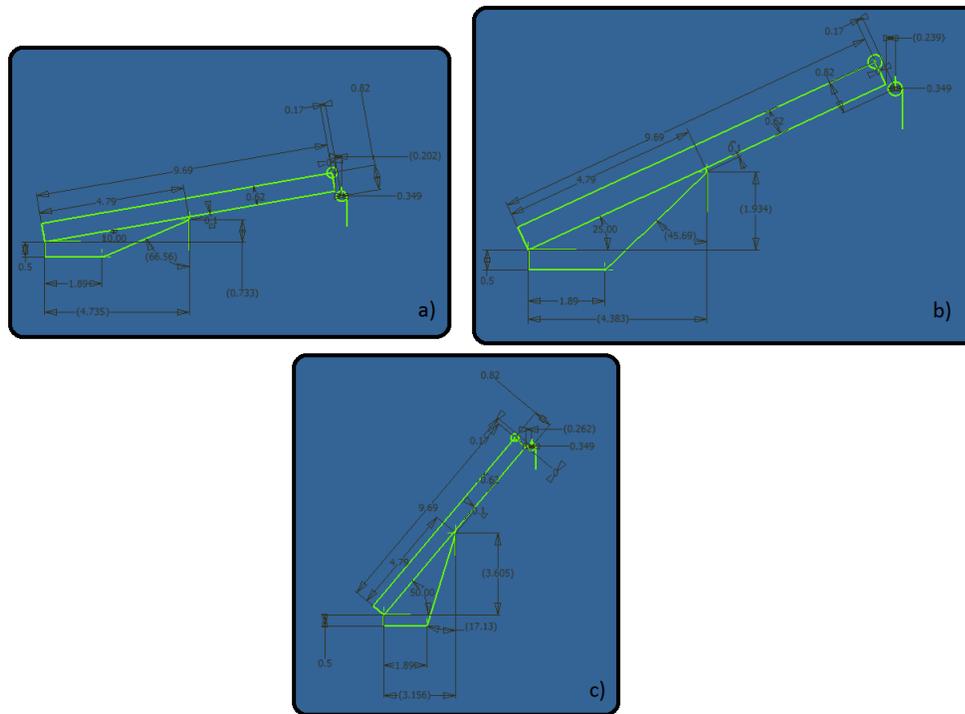


Figura 4.3: Diagramas de inventor para una inclinación de 10,25 y 50 grados

Empleando esta característica se procedió a realizar varias mediciones dentro del rango de inclinación especificado por el fabricante (ver figura 4.4), se empleó regresión polinomial con los datos obtenidos para obtener las expresiones matemáticas que permiten calcular las dimensiones auxiliares en función de la inclinación de la pluma.

4. Desarrollo de una expresión para el cálculo del peso de la carga

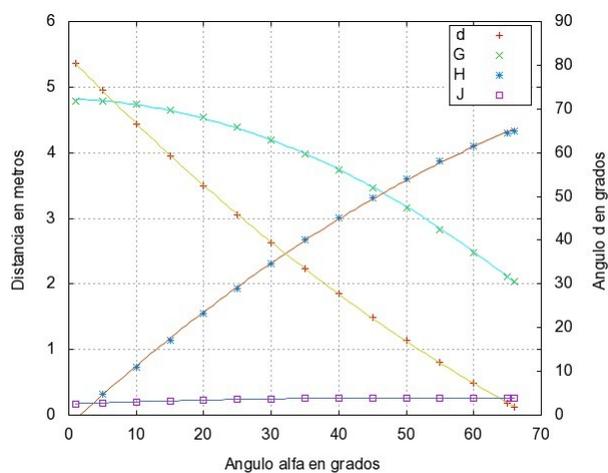


Figura 4.4: Dimensiones auxiliares vs. inclinación de la pluma

Expresiones obtenidas para las dimensiones auxiliares:

$$d^0 = 5,6x10^{-3}\alpha^2 - 1,579\alpha + 81,86 \quad (4.2)$$

$$H = -5,97x10^{-4}\alpha^2 - 2,97x10^{-3}\alpha + 4,82 \quad (4.3)$$

$$G = -3,85x10^{-4}\alpha^2 + 9,38x10^{-2}\alpha^2 - 0,149 \quad (4.4)$$

$$J = -3,77x10^{-5}\alpha^2 + 3,75x10^{-3}\alpha + 0,169 \quad (4.5)$$

4.2. Análisis de la Estructura

Fuerza en el cilindro

Los datos del cilindro dados por el fabricante son los siguientes:

Tabla 4.1: Datos del Cilindro de Levantamiento

Diámetro Interno	0.254m	10"
Longitud mínima	3.048m	10ft
Longitud máxima	5.1816m	17ft
Presión máxima	17236.89kPa	2500psi

A partir de los datos dados y de la ecuación 3.1, se calcula la fuerza hidráulica en el cilindro como una función de la presión

$$F_H = P \cdot A_{efectiva} = P(\text{psi}) \cdot \left(\pi \left(\frac{10\text{in}}{2} \right)^2 \right) \approx 78,5398 \cdot P \text{ [lb]}$$

$$F_H = 78,5398P \cdot 4,45 = 349,502 \cdot P \text{ [N]} \quad (4.6)$$

Cálculo del peso a partir de condiciones de Equilibrio

En la figura 4.5 se observan un diagrama con las fuerzas que actúan sobre la pluma de la grúa, para que el sistema se encuentre en equilibrio, la sumatoria de todos los momentos sobre el punto de pivote de la pluma deben ser iguales a 0 (ver subsección 3.3.2), se procedió a realizar el análisis necesario para encontrar la expresión que permita calcular el peso de la carga (ecuación 4.7)

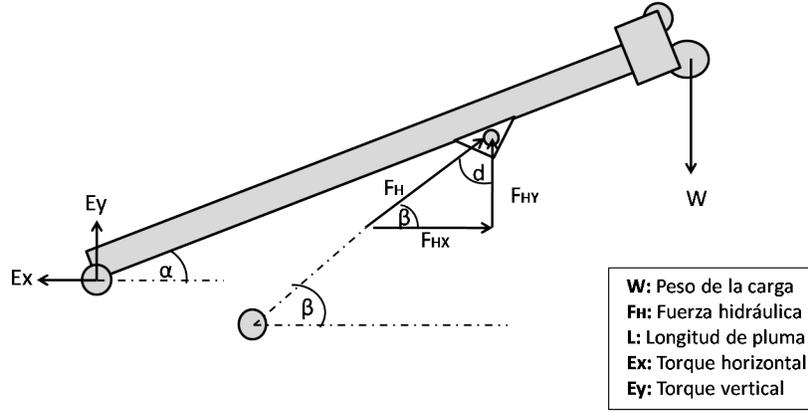


Figura 4.5: Diagrama de fuerzas actuando sobre la pluma

$$\begin{aligned} \sum \tau &= 0 \\ \Downarrow \\ \tau_{HY} - \tau_{Carga} - \tau_{HX} &= 0 \end{aligned}$$

$$\tau_{HY} = F_{HY} \cdot G, \quad \tau_{HX} = F_{HX} \cdot H, \quad \tau_{Carga} = W_{Carga} \cdot g \cdot (L_H + J)$$

$$F_{HY} \cdot G - F_{HX} \cdot H - W_{Carga} \cdot g \cdot (L_H + J) = 0 \Rightarrow W_{Carga} \cdot g \cdot (L_H + J) = F_{HY} \cdot G - F_{HX} \cdot H$$

$$F_{HY} = F_H \cos(d), F_{HX} = F_H \sin(d)$$

$$W_{Carga} = \frac{F_{HY} \cdot G - F_{HX} \cdot H}{g \cdot (L_H + J)} \quad (4.7)$$

Es importante observar que la ecuación 4.7, puede ser aplicada a cualquier grúa hidráulica que emplee un único cilindro de levantamiento, independientemente de sus dimensiones, ya que la geometría de la grúa lo que afecta son las dimensiones auxiliares. En el caso de grúas con un cilindro doble hay que tomar en cuenta que la fuerza hidráulica es la suma de la fuerza aportada por cada uno de los cilindros.

Cálculo de dimensiones auxiliares para la pluma móvil

Como el sistema debe probarse en una pluma móvil, es necesario realizar ajustes en la ecuación para el nuevo sistema físico. La pluma móvil presenta

4. Desarrollo de una expresión para el cálculo del peso de la carga

una geometría muy similar a la de una grúa por lo que el análisis realizado en la sección anterior sigue siendo válido. La única diferencia significativa es que la pluma móvil no tiene poleas por lo que la dimensión auxiliar J no se aplica en este caso. En la figura 4.6 se puede observar un diagrama de la pluma móvil.

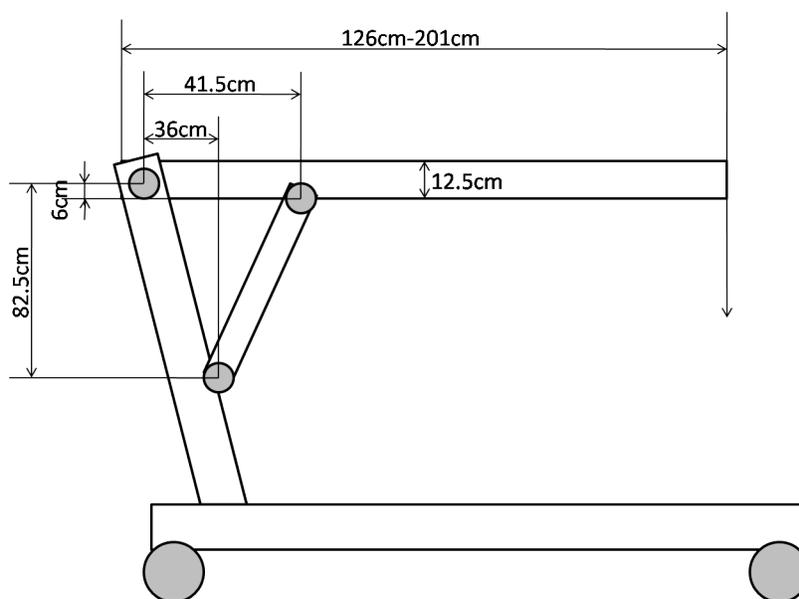


Figura 4.6: Diagrama con dimensiones para la grúa Galion

Con base en las dimensiones medidas y con la ayuda del software Inventor (ver sección A.4) se obtuvieron las expresiones para las nuevas medidas auxiliares.

$$d^0 = -2,38x10^{-3}\alpha^2 - 1,44x10^{-3}\alpha + 94,3 \quad (4.8)$$

$$H = -2,29x10^{-3}\alpha^2 + 7,93x10^{-1}\alpha - 6,14 \quad (4.9)$$

$$G = -5,8x10^{-3}\alpha^2 + 8,5x10^{-2}\alpha + 41,6 \quad (4.10)$$

Capítulo 5

Diseño y selección del Hardware y programación de las rutinas del Sistema

5.1. Descripción del Hardware

En la figura 5.1 se muestra el hardware implementado. El hardware puede dividirse en tres secciones básicas: potencia, adquisición de datos y procesamiento.

Alimentación La etapa de alimentación consiste en un convertidor elevador de 12V a 24V empleado para alimentar el PLC, el módulo de entradas analógicas, el transductor de presión y el panel táctil. El convertidor cuenta con aislamiento galvánico, lo que permite aislar la alimentación del sistema del resto del sistema eléctrico del camión. Adicionalmente se cuenta con un regulador de tensión de 5V necesario para la alimentación de los transductores resistivos.

Adquisición de datos La etapa de adquisición consiste en el módulo de entradas analógicas EM-231, configurado para trabajar en un rango de 0 a 5V, los transductores resistivos de extensión y ángulo y el transductor de presión a tensión de 0 a 2000psi con salida de corriente de 4mA a 20mA. Como el módulo analógico está configurado para leer entradas de tensión, la salida de corriente del módulo se conecta a una resistencia de $250\Omega \pm 1\%$, con lo que se obtiene un

5. Diseño y selección del Hardware y programación de las rutinas del Sistema

rango de 1V a 5V.

Procesamiento La sección de procesamiento contiene el CPU en donde se implementa el sistema y la pantalla táctil que permite enviar información al operador así como recibir información para la configuración del sistema. Adicionalmente el sistema está conectado a entradas digitales que permiten conocer que movimiento está realizando el operador de la grúa en el momento.

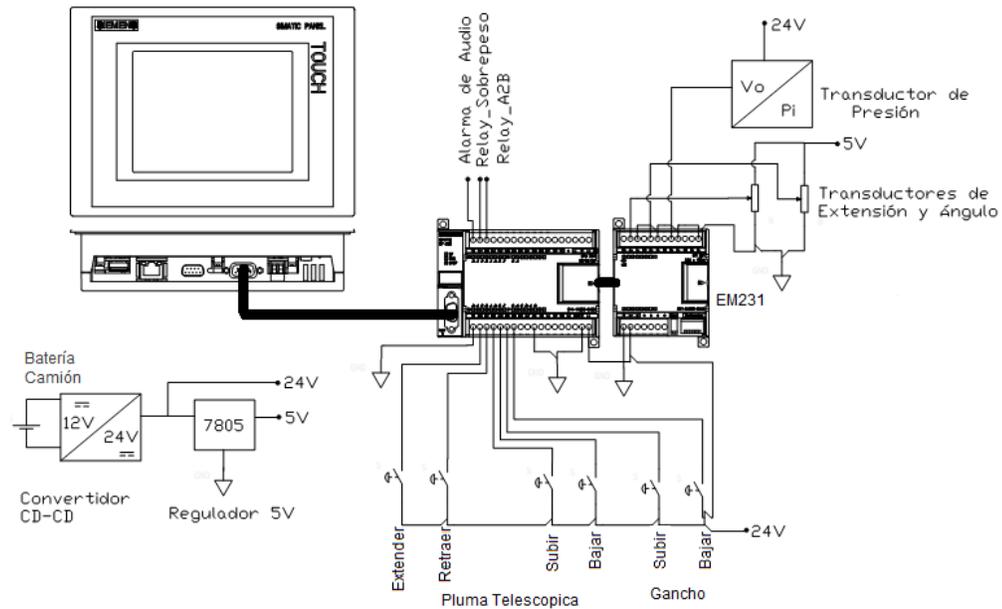


Figura 5.1: Esquema del hardware del sistema diseñado

5.1.1. Selección del Hardware

Selección del CPU

Como requerimiento del MET se debe desarrollar la aplicación con la línea S7-200 de Siemens, dentro de esta línea se procedió a elegir el modelo más adecuado para los requerimientos del proyecto. Las características que se tomaron en cuenta para elegir el modelo más adecuado fueron:

- Alimentación en corriente directa

- Aritmética en coma flotante
- Soporte de funciones trigonométricas
- Soporte de módulos de expansión
- Soporte de un cartucho de expansión de memoria

Los dispositivos de esta serie que cumplen con estas características son los CPU serie 224,224XP y 226 (ver apéndices para mayor información). Debido a la naturaleza del problema, la velocidad de procesamiento no es crítica, por lo que se eligió del dispositivo CPU 224 configuración CD/CD/CD¹, que es el dispositivo más económico de los tres.

Transductores

Los transductores de extensión e inclinación fueron tomados de la grúa Link-Belt HTC-8665. El transductor de presión fue elegido con base al estudio del sistema hidráulico de la grúa y a las restricciones de hardware del sistema.

El sensor de ángulo A220200 es un transductor resistivo tipo péndulo, con un potenciómetro de $1k\Omega$, y diseñado para funcionar a una tensión de 5V. El transductor A210110 es un transductor de extensión potenciométrico con una resistencia de $5k\Omega$ y una tensión de alimentación de 5V [6]

El transductor de presión se eligió con base en las especificaciones máximas de la grúa [8], estas especifican que para el sistema de levantamiento la presión máxima en el sistema es de 2000psi, por lo cual se buscó un transductor con un rango cercano. Además se consideró conveniente que la salida del sensor fuera de tensión, pues esto permite abaratar costos al omitir la etapa de acondicionamiento que requiere un transductor por galga. El transductor seleccionado fue el MSP300 de la empresa Measure Specialities (ver figura 5.2).

Este transductor tiene un rango de presión de 0 a 2000 psi y una salida de 4mA a 20mA, funciona con una alimentación de entre 10V a 36V. [11]. A la salida del transductor se colocó una resistencia en serie de 250Ω , que convierte la salida del transductor a un nivel de tensión de 1V a 5V.

¹Alimentación CD, Entradas CD, Salidas CD

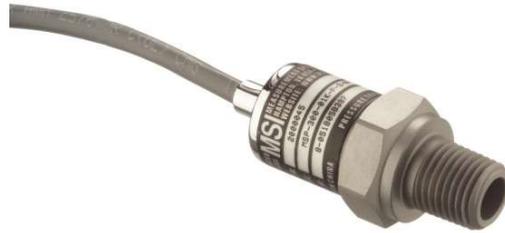


Figura 5.2: Transductor de presión MSP 300 [11]

Módulo analógico

Para la lectura de entradas analógicas se eligió el módulo EM-231 de Siemens, este módulo tiene 4 entradas analógicas configurables para funcionar a distintos rangos. El formato de palabra es de 16 bits, y a máxima escala entrega 32000 en modo unipolar o ± 32000 en modo bipolar. En este caso se configuró para funcionar a una escala unipolar de 0 a 5V, debido a que los transductores de la grúa y el transductor de presión funcionan dentro de esa escala.

5. Diseño y selección del Hardware y programación de las rutinas del Sistema

Alimentación

Para el sistema de alimentación primero se hizo un estudio del consumo de potencia estimado del sistema, este puede verse en la tabla 5.1.

Tabla 5.1: Consumo de potencia estimado del sistema

Componente	Características Eléctricas	Consumo de potencia
PLC S7-200	24V	8W
EM-231	24V	2W
Panel TP-277	24V 740mA	17,76W
Transductor de extensión	5V 5k Ω	5mW
Transductor de ángulo	5V 1k Ω	25mW
Transductor de presión	24V 20mA	720mW
Relés de salida (x3)	24V 70mA	5.04W
Total de consumo		33.55W

En la cabina del camión grúa se cuenta con una tensión de alimentación de 12V, que es un nivel de tensión insuficiente para alimentar los componentes del PLC, por lo que se empleó un convertidor CD-CD. Se decidió adquirir un convertidor comercial con aislamiento; el modelo seleccionado es el CHB50-12S24 de la empresa CINCON, este convertidor tiene una potencia de salida 50Watts y presenta la ventaja de ser una fuente aislada y con protecciones en caso de cortocircuito.

5.2. Descripción del Software

La figura 5.3, muestra la interacción de las principales rutinas de software desarrolladas, los datos de los transductores son acondicionados dentro de una rutina dentro del PLC, luego la información acondicionada se pasa a la rutina que contiene la implementación de la fórmula 4.7, lo que permite el cálculo del peso y el radio de carga de la grúa; estos datos son desplegados en pantalla para informar al operario del estado actual del levantamiento.

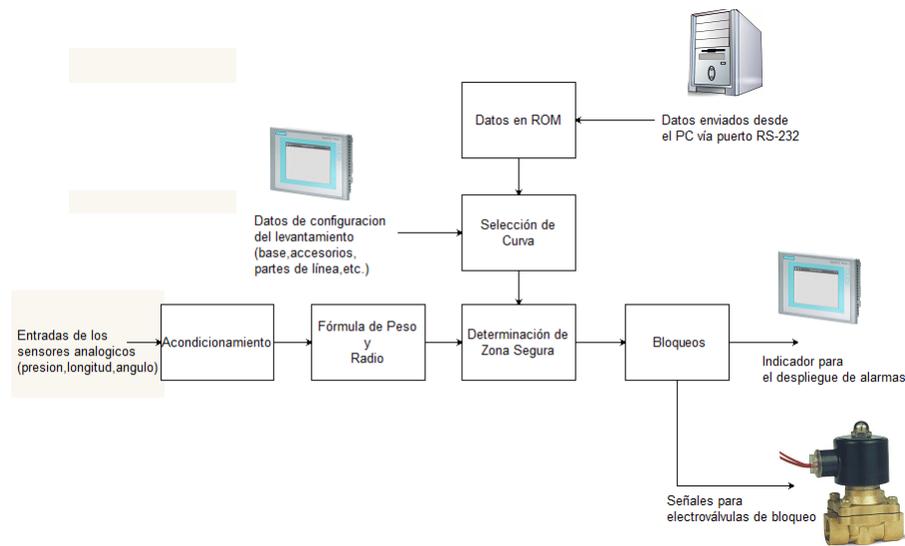


Figura 5.3: Estructura general del software

La rutina *Zona Segura*, se encarga de contrastar la información de peso y radio, con los datos de las tablas de peso del fabricante almacenadas en la ROM del PLC, para determinar si la grúa esta operando en una zona segura o si por el contrario la grúa está operando en una zona de riesgo. La rutina *Selección curva* le indica a la rutina *Zona Segura* cual de las distintas curvas debe elegir para realizar la comparación dependiendo de las opciones de operación de la grúa que el usuario ingrese por medio de la pantalla táctil.

Los datos de la ROM fueron previamente ingresados al PLC por medio de un PC empleando un script en lenguaje Python para realizar comunicación serial.

5. Diseño y selección del Hardware y programación de las rutinas del Sistema

La rutina *Bloqueos* activa las electroválvulas que anulan los movimientos de la grúa en caso de presentarse una situación de operación fuera de zona de seguridad, así como de desplegar información en el panel táctil.

5.2.1. Rutinas del PLC

Es la parte más importante del sistema implementado, se encarga de monitorear los sensores, calcular el peso y el radio de carga, determinar si la grúa opera de forma segura y en caso de riesgo activar los bloqueos de la grúa e informar al operador mediante el uso de una alarma y el despliegue de mensajes en el panel táctil.

Rutina Principal

Rutina encargada de llamar a todas las rutinas necesarias para el funcionamiento del sistema en el PLC. Durante el primer ciclo de trabajo del PLC esta rutina realiza la configuración inicial del sistema, luego debe comprobar si los datos están almacenados², en caso de que no estén almacenados llama a la rutina de Almacenamiento de Curvas. Cuando los datos están almacenados lee los datos de los sensores y calcula el peso y el radio de carga, con estos datos llama a la rutina de Zona de Trabajo para determinar si la grúa está operando en la zona de seguridad, en caso de que se presente una condición de sobrecarga o una condición de Bloqueo Doble (ver sección 3.4.4) se activan los bloqueos de seguridad, por último se despliega la información al operador mediante el panel táctil y vuelve a iniciar el ciclo de operación.

²Los datos deben almacenarse en el PLC mediante una PC antes de su instalación en la grúa

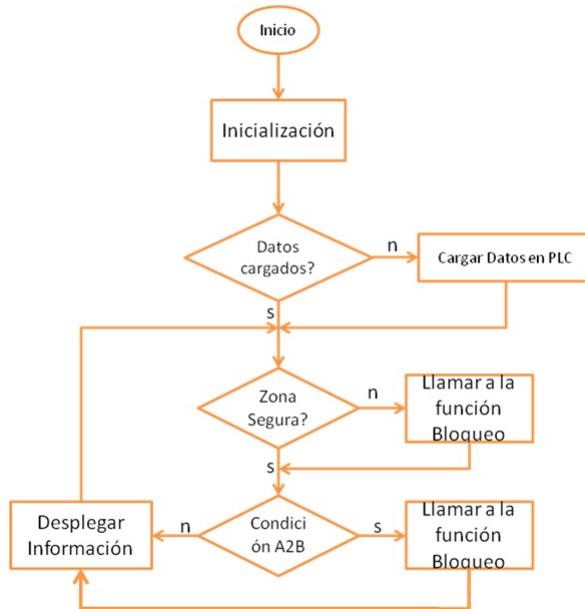


Figura 5.4: Diagrama de flujo de la rutina principal

Rutina de Almacenamiento de Curvas

Rutina encargada de almacenar los datos que la computadora envía por el puerto serie en la memoria del PLC, el protocolo de operación se explica en el apéndice A.2. El sistema hace uso de tres áreas de memoria, una para almacenar los valores de radio (reales) *Rdat* otra para los valores de peso (enteros) *Pdat* y un área de memoria *V* donde se almacenan las direcciones de *offset* que indican el inicio de cada tabla (ver figura 5.6). Cada vez que se envía una señal de nueva curva, se almacena el *offset* en el área de memoria, si el siguiente dato que se recibe es un dato de fin de transmisión el algoritmo termina en caso contrario el algoritmo almacena el valor de radio y peso recibidos en las posiciones de memoria indicadas por *contador* y procede a incrementar el *contador* y actualizar el valor del *offset*.

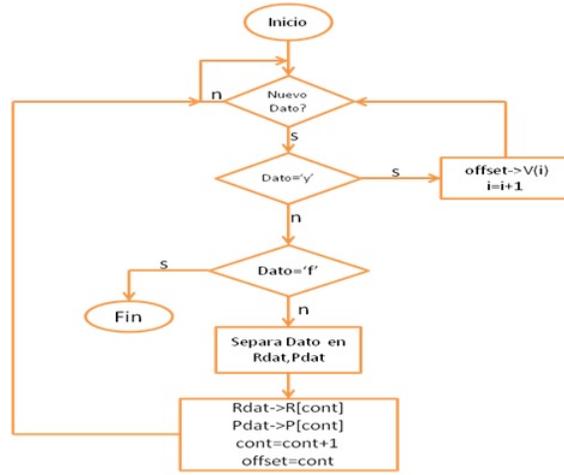


Figura 5.5: Diagrama de flujo de la rutina de almacenamiento

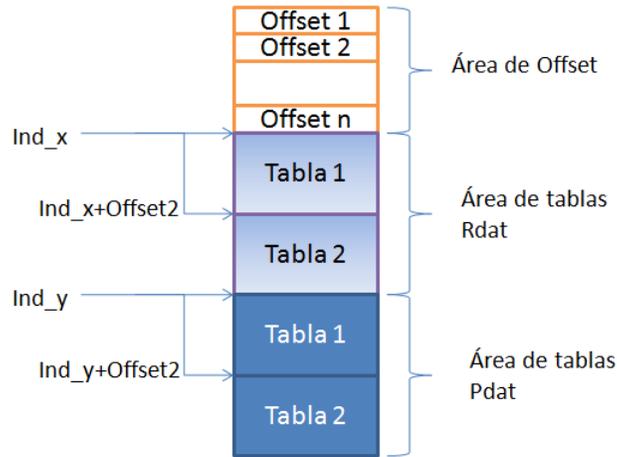


Figura 5.6: Áreas de almacenamiento de datos en el PLC

Rutina Fórmula de Peso y Radio

En esta rutina se da la implementación de la ecuación 4.7, que permite calcular el peso de la grúa y de la ecuación 4.1, que permite calcular el radio de carga. Para el desarrollo de esta fórmula se implementaron subrutinas que permiten resolver ecuaciones cuadráticas así como operaciones con potencias

(ver sección 5.2.1)

Rutina de Determinación de Zona de Trabajo

Esta rutina compara el radio de carga y el peso de la carga actual con respecto a los datos de las curvas de operación almacenadas en la memoria y determina si la grúa se encuentra operando dentro una zona segura. Primero lee el valor del radio obtenido a partir de la expresión matemática e itera en los valores de radio de la curva hasta encontrar un radio que sea mayor o igual, una vez que lo encuentra compara el valor de peso máximo especificado para ese punto con respecto al peso de la carga, si el peso de la carga es menor o igual al peso máximo la grúa opera con normalidad. En caso de que el peso de la carga sea mayor la señal *Status* se iguala a 1 y se activa la bandera *Bloqueo*. Si el radio de carga leído en la entrada es mayor al valor máximo especificado por el fabricante la señal *Status* se le asigna 2 y se activa *Bloqueo*. *Status* se emplea para que el panel táctil pueda desplegar la causa del bloqueo al operador.

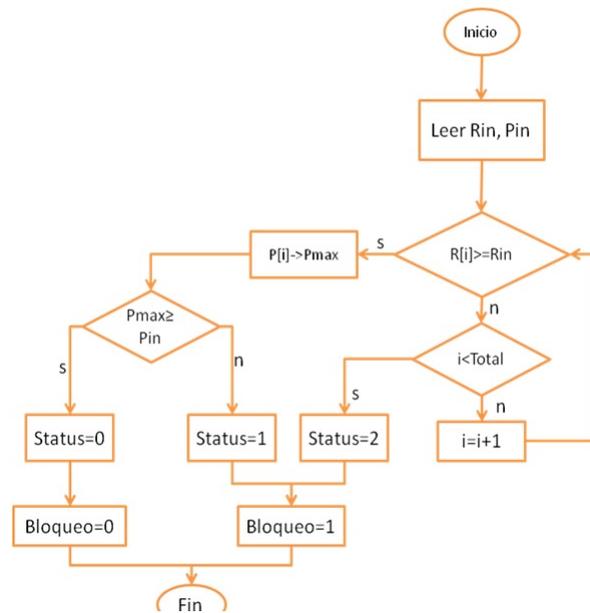


Figura 5.7: Diagrama de flujo de la rutina para la determinación de la zona de operación

Rutina de Bloqueos La rutina de bloqueos en la encargada de activar las alarmas y bloquear los movimientos de la grúa en caso de que se presente una

5. Diseño y selección del Hardware y programación de las rutinas del Sistema

condición insegura. La rutina tienen una entrada booleana llamada *A2B*, que se activa cuando se da una condición de bloqueo doble y una entrada denominada *Sobrepeso* booleana que se activa cuando la rutina de determinación de zona de trabajo indica que la grúa está trabajando en una condición de sobrecarga.

La rutina revisa si hay una condición de bloqueo doble, en caso de que lo haya, activa el *bloqueo A2B* y activa *alarma*, si no hay una condición de bloqueo doble desactiva el *bloqueo A2B* y revisa si hay una condición de sobrepeso, en caso afirmativo activa *bloqueo Sobrepeso* y activa *alarma* si no hay una condición de sobrepeso desactiva *bloqueo Sobrepeso*. La señal *alarma* se desactiva en el momento en que las señales *bloqueo Sobrepeso* y *bloqueo A2B* se encuentren inactivas.

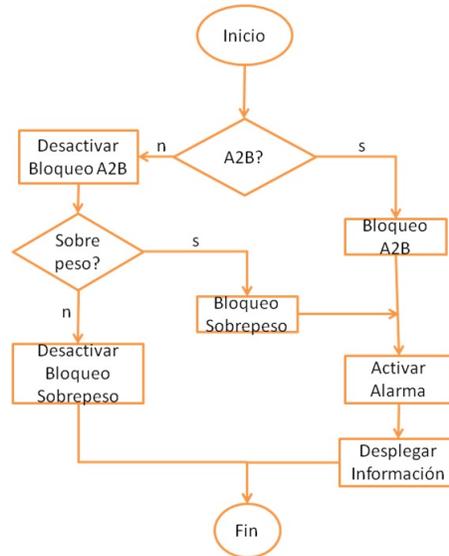


Figura 5.8: Diagrama de flujo de la rutina para los bloqueos de seguridad de la grúa

Rutinas Auxiliares

Rutinas desarrolladas para simplificar las rutinas principales, por su naturaleza no se considera necesario una amplia explicación de las mismas, pero se brinda una breve descripción de su funcionamiento.

Acondicionamiento: Se encarga de acondicionar los datos de los sensores para ser leídos de manera adecuada por la rutina de Cálculo de Peso y Radio.

Almacena_ROM: Rutina encargada de almacenar un arreglo de valores en el EPROM del PLC, empleada para guardar de forma permanente los datos de las tablas de pesos en el PLC.

Cambio_longitud: Incrementa la longitud de la pluma y el radio de trabajo de acuerdo a la configuración de los accesorios adicionales, como plumines o extensiones.

Corrección: Se encarga de aplicar factores de corrección experimentales a los resultados de la formulación teórica con base en los parámetros experimentales.

Func_cuad: Esta rutina entrega el resultado de una ecuación cuadrática de la forma $ax^2 + bx + c$, donde a, b, c y x son parámetros de entrada de la función.

Inicialización: Rutina encargada de configurar los dispositivos del PLC, configurar las interrupciones y asignar valores iniciales a los registros necesarios.

Info_curva: Recibe como entrada el número de tabla e indica el tamaño total de la misma, y el puntero al primer valor de la misma, es necesaria para el funcionamiento de la rutina de *Determinación de Zona de Trabajo*

POW: Esta rutina recibe un real x y un entero y y retorna el resultado de x^y , se para el cálculo del peso.

Reducciones: Se encarga de aplicar las reducciones en la capacidad de carga de la grúa especificadas por el fabricante, en caso de emplear dispositivos adicionales como plumines o extensiones.

Selección_curva: Rutina encargada de indicarle a la rutina de Zona de Trabajo que curva debe emplear, dependiendo de la configuración del levantamiento seleccionada por el operador.

5.2.2. Programa del panel táctil

El panel táctil se programó usando el software de Siemens WinCC flexible 2008³. WinCC es un ambiente gráfico de programación basado en el 'drag & drop', de los diferentes objetos a emplear, cada pantalla llamada imagen se crea y se configura de forma independiente y contiene elementos que permiten al usuario ingresar datos al PLC (elementos de entrada) y elementos que permiten ver los datos del PLC (elementos de salida).

Las imágenes creadas se dividen en tres categorías principales, *Calibración*, *Configuración*, *Avisos de Alerta* y *Principal*. Cada una de estas categorías interactúa con una rutina específica del PLC como se puede ver en la figura 5.9.

³WinCC para abreviar

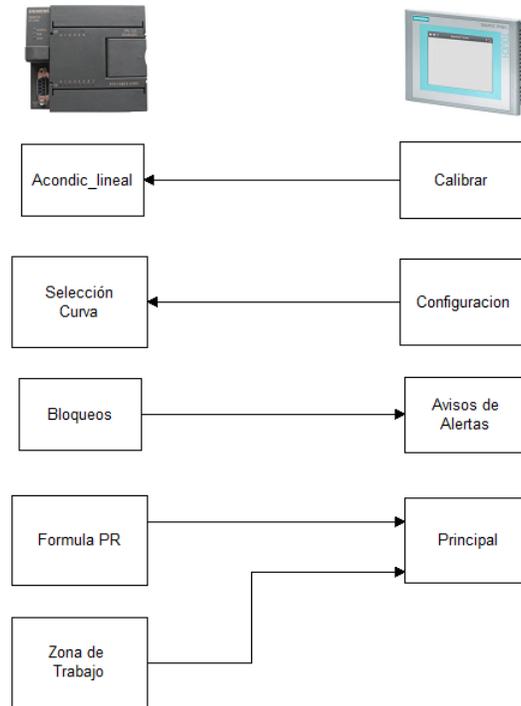


Figura 5.9: Comunicación de las rutinas del panel táctil y el PLC

Calibración

Las imágenes de calibración tienen por objetivo permitirle al PLC calcular la ecuación de la recta para los transductores de extensión y ángulo, las imágenes permiten al operario ingresar dos puntos extremos⁴ para cada uno de los sensores (figura 5.10) de forma que el PLC obtiene la curva característica usando las expresiones.

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

$$b = y_0 - mx_0$$

⁴Puntos máximos y mínimos de extensión y elevación dados por el fabricante.

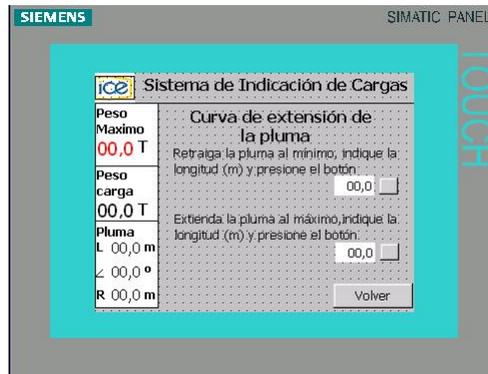


Figura 5.10: Imagen para la calibración del transductor de extensión

Configuración

Las imágenes de configuración indican el modo en que se encuentra la grúa al momento de realizar un levantamiento, para permitir al sistema seleccionar la curva de peso adecuada. Este grupo cuenta con varias imágenes para configurar distintas variables.

Configuración de Chasis Permite seleccionar el punto de apoyo (estabilizadores, llantas o en movimiento), la zona de levantamiento (frontal, lateral, o 360°) y el punto de levantamiento.

Configuración Contrapesos Permite seleccionar las distintas opciones de contrapesos de para la grúa.

Configuración de Pluma Permite seleccionar el modo de operación de la pluma así como el punto del cual se realizará el levantamiento de la carga, sección principal o alguno de los accesorios.

Configuración del malacate Selecciona cual de los malacates se empleará para realizar el levantamiento así como el número de partes de línea que se usarán para realizar el levantamiento.

Reducciones Indica que accesorios están montados en la grúa, pero no son utilizados para realizar las reducciones correspondientes en la tabla de pesos.

Alarmas

La sección de alarmas contiene imágenes que le indican al operador lo que sucede cada vez que se presenta una situación anómala y se bloquean los movimientos de la grúa. Las imágenes de alarmas contiene una opción para desactivar la alarma sonora así como una opción que permite ir a una vista general de todas las alarmas. El botón que desactiva la alarma sonora también permite el desbloqueo manual de la grúa si se deja presionado por más de 5 segundos.

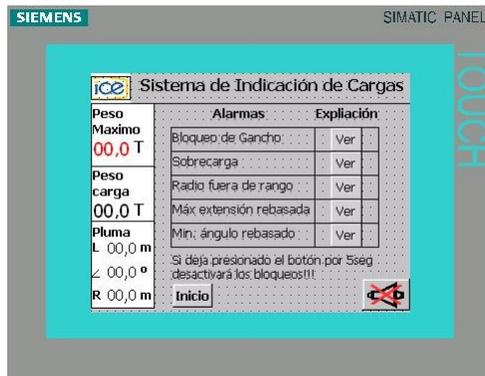


Figura 5.11: Vista general de alarmas

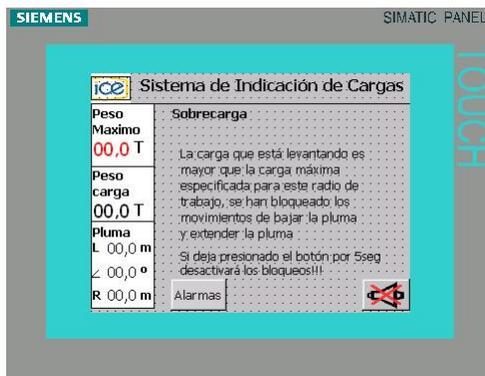


Figura 5.12: Imagen de alarma de sobrepesos

Imágenes misceláneas

Imagen de Inicio Es la primera imagen que se activa al iniciar el sistema, ofrece tres opciones: calibrar los sensores, configurar la grúa para realizar un levantamiento o ir a la imagen principal

5. Diseño y selección del Hardware y programación de las rutinas del Sistema

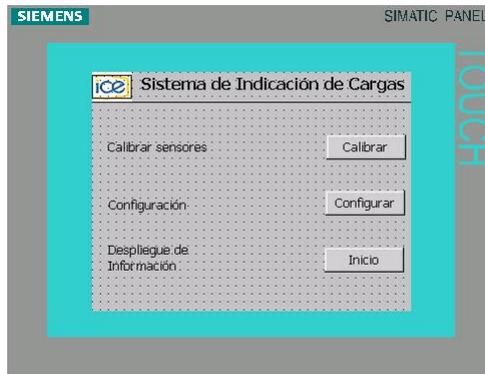


Figura 5.13: Imagen de Inicio para el software del panel táctil

Imagen Principal En esta imagen despliega información al operador constantemente sobre el peso que está levantando, el peso máximo para la configuración seleccionada, la inclinación y longitud de la pluma y el radio de carga.

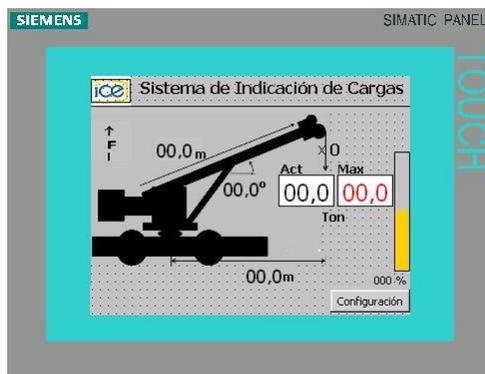


Figura 5.14: Imagen principal

Imagen Escalas Esta pantalla permite escalar el peso máximo (sólo para propósitos de prueba de bloqueos), además permite definir un porcentaje de tolerancia al rededor de peso máximo.

5. Diseño y selección del Hardware y programación de las rutinas del Sistema



Figura 5.15: Imagen de escalas

Configuración del Área de Variables

En el área de variables se configuraron todas las variables necesarias para el funcionamiento de la pantalla, es importante que la dirección de estas áreas coincida con la dirección de las variables en memoria del PLC pues de lo contrario se pueden leer datos incorrectos o se pueden presentar comportamientos inesperados. Se puede comparar la figura 5.16 con la tabla de símbolos del PLC de la figura 5.17, para observar como coinciden las áreas de memoria.

Aunque no hay ningún estándar al respecto, se hizo uso del área de marcas *M* del PLC para intercambiar información respecto al estado del programa, configuración de la grúa y eventos como alarmas, y se usó el área de variables *V* para intercambiar la información con respecto a los parámetros de la grúa.

Nombre	Conexión	Tipo de datos	Dirección	Elementos de ...	Ciclo de adquis...
accesorios	Conexión_1	Byte	MB 11	1	1 s
alarm	Conexión_1	Byte	MB 8	1	1 s
Alarmas	Conexión_1	Word	MW 7	1	1 s
Altura	Conexión_1	Real	VD 212	1	1 s
base	Conexión_1	Byte	MB 9	1	1 s
cuerda	Conexión_1	Byte	MB 12	1	1 s
Duty	Conexión_1	Byte	MB 14	1	1 s
gancho	Conexión_1	Bool	M 13.0	1	1 s
giro	Conexión_1	Byte	MB 10	1	1 s
Inclinacion	Conexión_1	Real	VD 208	1	1 s
Longitud	Conexión_1	Real	VD 220	1	1 s
Peso	Conexión_1	Real	VD 200	1	1 s
Pmax	Conexión_1	Real	VD 216	1	1 s
Prcent	Conexión_1	Byte	VB 224	1	1 s
Radio	Conexión_1	Real	VD 204	1	1 s
Tarar	Conexión_1	Bool	M 15.0	1	1 s

Figura 5.16: Área de variables del panel táctil

5. Diseño y selección del Hardware y programación de las rutinas del Sistema

		Símbolo	Dirección	Comentario
1		A2B	I0.0	Entrada del sensor A2B
2		Cargar_Tabla	I1.5	Entrada para cargar tablas en PLC
3		Presion	AIW4	Entrada del sensor de presión
4		Longitud	AIW6	Entrada del sensor de extensión
5		Inclinacion	AIW8	Entrada del sensor de inclinación
6		RL_subir_pluma	Q0.0	Bloquea la elevación de la pluma
7		RL_bajar_pluma	Q0.1	Bloquea el descenso de la pluma
8		RL_extender_pluma	Q0.2	Bloquea la extensión de la pluma
9		RL_retraer_gancho	Q0.3	Bloquea la retracción del gancho
10		RL_buzzer_alarma	Q0.4	Salida para el Buzzer de alarma
11		Buffer_Com	VB1010	Buffer de comunicación Freeport
12		NDato	VB1000	Variable empleada para conocer el tamaño del mensaje recibi
13		Alarma_TP	MW7	Señales con eventos de alarma para el TP
14		base	MB9	Variable de configuracion 1
15		giro	MB10	Variable de configuracion 2
16		accesorios	MB11	Variable de configuracion 3
17		cuerda	MB12	Variable de configuracion 4
18		gancho	M13.0	
19		Duty	MB14	
20		Tarat	M15.0	
21		Peso_TP	VD200	Peso para desplegar en TP
22		Radio_TP	VD204	Radio para desplegar en TP
23		Inclinacion_TP	VD208	
24		Altura_TP	VD212	Altura para desplegar en TP
25		Prcet	VB224	Prcentage de Carga
26		Peso_max	VD216	
27		Longitud_TP	VD220	

Figura 5.17: Tabla de símbolos del programa del S7-200

VBScripts

El WinCC permite crear scripts de visual basic para el desarrollo de funciones y subrutinas personalizadas, estas rutinas luego pueden asignarse a distintos elementos de la pantalla o asignarse para que ejecuten cada vez que se de un cambio en una variable.

Alarmas El script de alarmas recibe como parámetros un byte del PLC llamado *Alarmas*, cada bit actúa como una bandera para señalar una situación de riesgo (figura 5.18), cuando se activa un bit el script se encarga de desplegar la pantalla correspondiente, una vez que las condiciones anómalas desaparecen la rutina retorna al funcionamiento normal del programa.

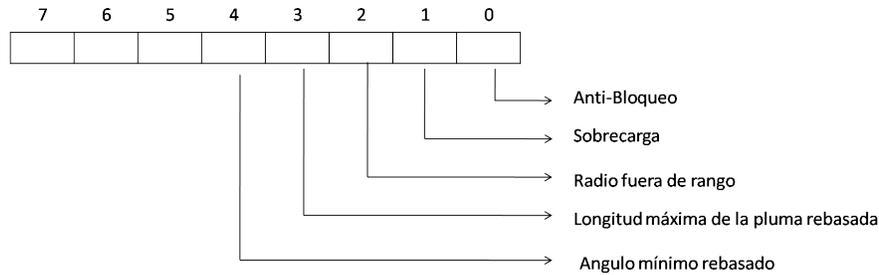


Figura 5.18: Distribución de los bits de bandera en la variable de alarmas.

Asignación_Inicial Este script se encarga de leer el estado de las variables de configuración en el PLC y asignarlo a las variables internas del Panel Táctil cuando se va a dar inicio a una configuración para el levantamiento.

Asignaciones Este script toma el valor de las variables internas del Panel Táctil y las asigna a las variables de configuración del PLC una vez que el usuario ha confirmado que esos son los parámetros de configuración correctos.

5.2.3. Rutinas del PC

La función del PC es la de facilitar la programación de las tablas de peso de la grúa en el PLC. Para ésto se creó una rutina en *Python* encargada de enviar las curvas de la grúa a través del puerto serie al PLC antes de que éste sea instalado en la grúa. El programa recibe como parámetros el número del puerto donde está conectado el PLC y el nombre del archivo⁵ que se desea enviar, a continuación el archivo usa un protocolo de comunicación creado para la aplicación (ver apéndice A.2 modo Freeport) para enviar los datos. Para mayor simplicidad se implementó una interfaz gráfica empleando las librerías de *Tkinter* incorporadas en *Python*.

⁵El archivo debe estar en texto plano

Capítulo 6

Análisis de Resultados

6.1. Linealización del transductor de inclinación

Para realizar la caracterización del transductor de ángulo, se empleó un clinómetro elaborado a partir de una cuadrícula de papel en la que se marcaron los valores de los ángulos con un transportador y un plomo atado al origen de la cuadrícula con una cuerda. La cuadrícula y la cuerda se fijaron al sensor y el sensor se sujeto con un tornillo a una pared, el tornillo cumple la función de punto de pivote, lo que permite mover el transductor a diferentes inclinaciones. Cuando el transductor se inclina, la cuerda y el peso atraídos por la gravedad buscan mantener la posición vertical, por lo que señalan en la cuadrícula la posición a la que se ha inclinado el transductor.

Tabla 6.1: Valores medidos por el PLC y el módulo EM231 para distintos valores de inclinación del sensor de ángulo

θ	Salida Promedio
-15°	0
-10°	429,3
-5°	1828,7
0°	3450,2
15°	7629,1
30°	11779,2
45°	15946,1
60°	20217,6
75°	24342,1
90°	28234,2

*Elaborado con los datos de las tabla A.2

A partir de los datos de la tabla 6.1 se procede a graficar el comportamiento del transductor, como se puede observar en la figura 6.1, tiene un comportamiento lineal, del cual se obtiene por regresión la expresión:

$$y = 276,07x + 3517,5 \quad (6.1)$$

A partir de la expresión 6.1, se obtiene la fórmula que permite la conversión de tensión a inclinación en los transductores.

$$Inclinacion(^{\circ}) = \frac{DatoSensor - 3517,5}{276,07} \quad (6.2)$$

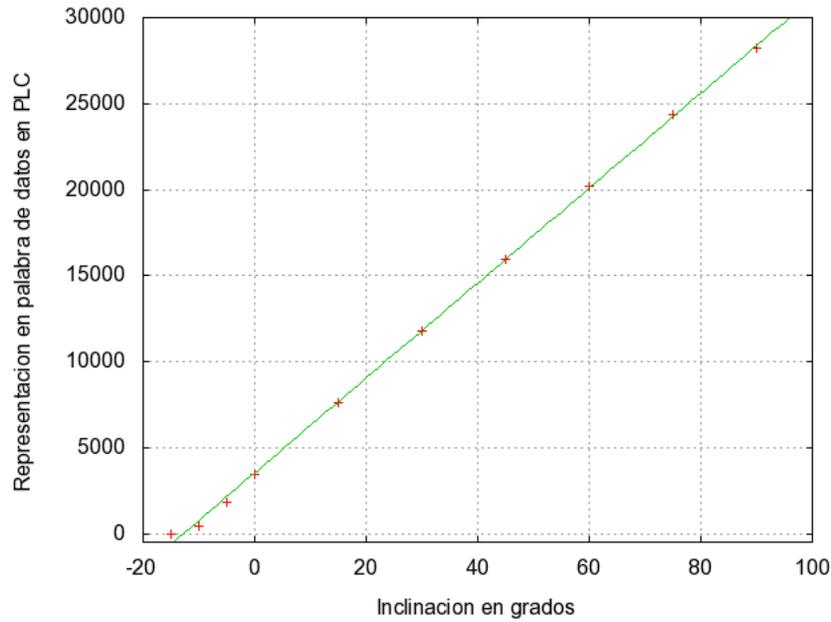


Figura 6.1: Valores medidos por el EM235 para diferentes inclinaciones

6.2. Linealización del transductor de extensión

Para realizar la caracterización del transductor de ángulo se marcaron segmentos lineales de 5m cada uno hasta llegar a los 30m y luego una última medición a los 32m (límite del transductor), el sensor se alimentó con un regulador de tensión 7805, y los datos se leyeron de un multímetro recién calibrado. Las mediciones se repitieron un total de 5 veces para obtener el valor promedio, el resultado de las mediciones se puede observar en la tabla 6.2.

Tabla 6.2: Valores obtenidos para la caracterización del transductor de extensión

Distancia (m)	Tensión promedio (Vo)	Equivalente en Palabra PLC
0	0,002	12,8
5	0,7538	4824,32
10	1,5226	9744,64
15	2,2982	14708,48
20	3,0672	19630,08
25	3,8714	24776,96
30	4,6724	29903,36
32	5,0226	32144,64

*Elaborado con los datos de la tabla A.3

*Los datos del PLC se obtienen de multiplicar la tensión por 6400, para el PLC configurado en escala Unipolar de

0 a 5V

En la figura 6.2 se observa el comportamiento de los datos, la tendencia de los mismos es lineal, por lo que se procede a encontrar la curva de mejor ajuste por medio de regresión lineal.

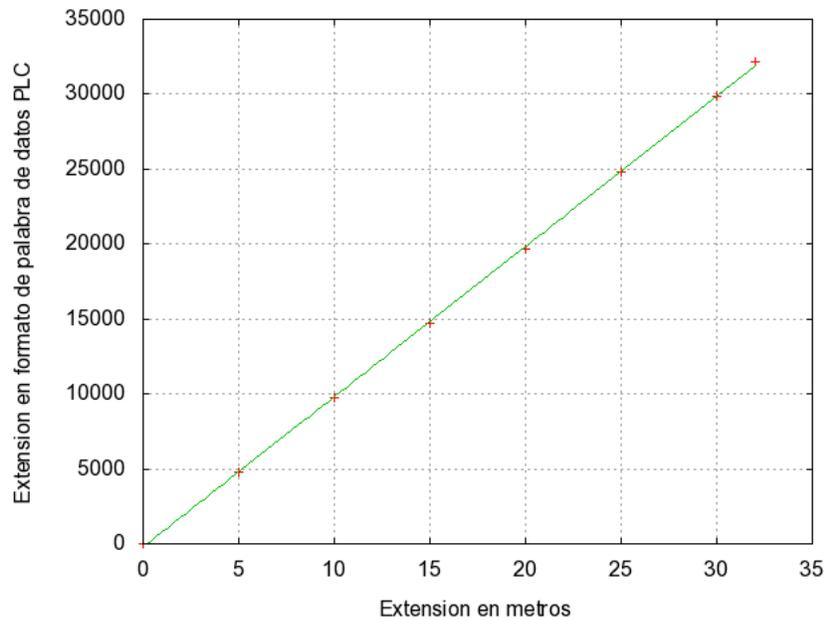


Figura 6.2: Curva característica de los datos para distintos valores de distancia del transductor de extensión

$$y = 1002,56x - 200,64 \quad (6.3)$$

A partir de la expresión, se obtiene la ecuación que permite la conversión de tensión a distancia dentro del software del PLC.

$$Distancia(m) = \frac{DatoSensor + 200,64}{1002,56} \quad (6.4)$$

6.3. Resultados del peso calculado por la expresión matemática y el peso calculado por el PLC

Se realizaron varias mediciones, para comprobar la diferencia entre el peso teórico calculado por medio de la ecuación 4.7, y el resultado obtenido con los mismos datos por medio del PLC. Se recurrió a una característica del software

MicroWIN llamada *Tabla de Estado* que permite forzar valores de distintas variables del PLC.

Forzar y desforzar
entradas

	Dirección	Formato	Valor actual	Nuevo valor
1	Alarma_TP:MB30	Binario		
2	Estado_programa:MB21	Sin signo		
3	base:VB201	Sin signo		
4	giro:VB202	Sin signo		
5	Longitud:AIW2	Con signo		+2000
6	Inclinacion:AIW4	Con signo		+4555
7	Presion:AIW0	Con signo		+8000
8	Peso_max:VD236	Coma flotante		
9	m_ang:VD260	Coma flotante		
10	b_ang:VD264	Coma flotante		
11	m_ext:VD268	Coma flotante		
12	b_ext:VD272	Coma flotante		
13	Peso_TP:VD220	Coma flotante		
14	rueda:VB204	Sin signo		

Valor ingresado para forzar

Figura 6.3: Tabla de Estado del Software MicroWIN

Las mediciones se realizaron desde los 0^o hasta los 60^o de inclinación en intervalos de 10^o, para cada intervalo se probaron distintas combinaciones de presión y extensión de la pluma, para cada variación se calculó el peso según la expresión y se anotó el peso obtenido por medio del PLC. A partir de los datos de las tablas A.6,A.7,A.8,A.9,A.10,A.11 y A.12

En la tabla 6.3 se pueden observar las desviaciones máximas observadas entre las dos fórmulas.

Tabla 6.3: Desviaciones máximas entre el peso calculado y el peso mostrado por el PLC

Inclinación	Diferencia máxima (kg)	% Error
0	3.57	0.0211
10	4.03	0.0233
20	4.37	0.0259
30	5.51	0.0325
40	6.64	0.0424
50	8.24	0.0639
60	12.26	0.1819
	% Promedio	0.0559

De los datos de la tabla se obtuvo una desviación promedio de 0.0559% y una desviación máxima entre el valor teórico y el mostrado por el PLC de 0.1819% que se encuentra dentro de los valores tolerados para el cumplimiento de los objetivos del sistema.

6.4. Mediciones del equipo antes de la aplicación de los factores de corrección

Se tomaron distintas mediciones, para determinar el factor de corrección k , necesario para compensar el peso de la pluma. La inclinación de la grúa se varió de 0° a 20° , con intervalos de 5° y la longitud se varió en intervalos de 14cm aproximadamente y se usaron pesos de 100kg hasta 250kg con variaciones de 50kg^1 ; cada una de las mediciones se repitió diez veces. Se realizó el promedio de los resultados obtenidos para cada peso, el cual puede observarse en las tablas A.13, A.14, A.15 y A.16 (sección A.6).

A partir de los datos obtenidos se procedió a calcular un factor de corrección para cada una de las longitudes de pluma medidas, por medio de una regresión polinomial. Las expresiones obtenidas pueden observarse en la tabla 6.4. Con los factores de corrección calculados, el peso real que debe medir el sistema queda determinado por la expresión 6.5

Tabla 6.4: Factores de corrección para las longitudes de pluma medidas

Longitud de la Pluma (cm)	Factor de corrección k
124,6	$4,57x10^{-2}\alpha^2 - 3,09x10^{-1}\alpha + 48,2$
140	$1,06x10^{-1}\alpha^2 - 1,96\alpha + 49,8$
156	$8,44x10^{-2}\alpha^2 + 6,76x10^{-1}\alpha + 39,9$
172	$3,84x10^{-2}\alpha^2 - 3,35x10^{-1}\alpha + 43,9$
188	$1,41x10^{-2}\alpha^2 + 4,53x10^{-1}\alpha + 30,9$

$$P_R = P_T + k \quad (6.5)$$

¹Es importante notar que se empleó una estructura metálica para sostener los pesos en la grúa, esta estructura adición un peso de 12.6kg a todas los datos.

6.5. Resultados de mediciones del equipo con factores de corrección

En las tablas A.17, A.18, A.19, A.20, A.21 y A.22 de la sección A.7, se pueden observar los resultados de las mediciones para distintas cargas realizadas luego de aplicar el factor de corrección obtenido experimentalmente. Para cada uno de los resultados obtenidos se procedió a calcular el porcentaje de error máximo, los resultados se observan en la tabla 6.5.

Tabla 6.5: Porcentaje de error máximo para los pesos de prueba

Peso(kg)	%Error
50	9,196078431
100	5,643564356
150	5,273333333
200	5,25
250	4,92
300	4,8

En la figura 6.4 se aprecia la curva del error máximo contra el peso, se aprecia que el error de los datos tiende a disminuir conforme se aumenta el peso a medir en la grúa, esto se debe a que las variaciones que inducen error en el sistema (roces mecánicos, fluctuaciones en la presión, deflexión en la pluma, etc.) se vuelven poco significativos para pesos mayores. El punto de mayor error de 9,19% corresponde a una carga de 50kg y se debe a que este peso no está dentro del rango que se usó en las pruebas para determinar el factor de corrección. Los pesos de 100kg a 200kg presentan un error mayor al 5% deseado, esto se debe a que al usar una maqueta factores como el roce mecánico y las fugas² hidráulicas del pistón se vuelven más significativos. Además se empleó un cilindro de efecto simple por lo que el peso de la carga genera pérdidas de presión que van en aumento conforme pasa el tiempo.

²Todos los cilindros presentan un porcentaje de fugas que es considerado aceptable y es especificado por el fabricante. En los cilindros de las grúas el porcentaje es muy bajo, en el caso de la maqueta es porcentaje es alto.

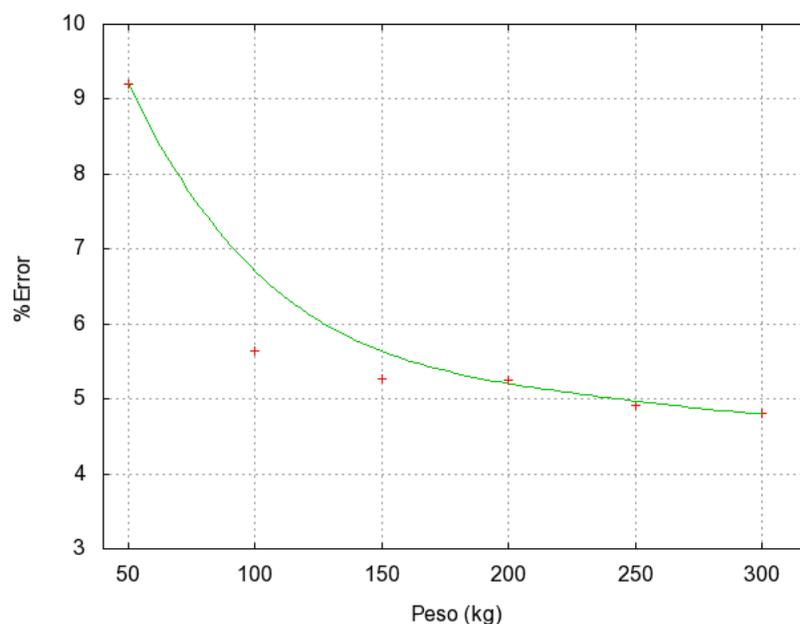


Figura 6.4: Porcentaje de error máximo en función del peso

6.6. Análisis de Costos

En esta sección, se realiza una comparación económica de la implementación del sistema diseñado en comparación con un sistema comercial adquirido por la empresa con el mismo propósito.

En la tabla 6.6 se observa una estimación de los costos del sistema comercial, que emplea un controlador de la empresa Railco-Wilye y en la tabla 6.7 se observa la estimación de los costos del sistema comercial empleado por el ICE. Como se puede observar el sistema comercial supera al sistema diseñado por \$11888,00 dólares.

El costo de los transductores es similar en ambos casos, esto es debido a que los dos sistemas requieren del mismo tipo de transductores para su funcionamiento, siendo el costo del control, el sistema de bloqueos, así como la instalación y calibración, los rubros que elevan más el precio del sistema comercial. El sistema diseñado presenta una mayor ventaja económica, debido al bajo costo del control PLC y además porque la instalación y calibración puede ser realizada por personal de la institución.

Tabla 6.6: Estimación de costos del Sistema Comercial Railco-Wylie

Rubro	Precio
Sistema de Control de Carga	\$10.125,00
Sistema de Bloqueo de Señales	\$2.650,00
Carrete con sensor de ángulo y extensión	\$1.025,00
Final de carrera para malacate principal	\$1.003,00
Servicio de Instalación y Calibración	\$2000,00
Total	\$16803,00

Tabla 6.7: Estimación de costos para el Sistema Diseñado

Rubro	Precio
PLC S7-200	\$404,00
Módulo EM-231 Entradas analógicas	\$233,00
Pantalla táctil TP 277	\$2000,00
Transductor de presión hidráulica	\$250,00
Carrete con sensor de ángulo y extensión	\$1.025,00
Final de carrera para malacate principal	\$1.003,00
Total	\$14915,00

Es importante tomar en cuenta que la pantalla táctil empleada una TP 277 de Siemens, excede las capacidades requeridas por el sistema y se empleó debido a que ya estaba disponible, no obstante puede ser sustituida por modelos más económicos como la TP 170 de SIEMENS (monocromática) o la NP5-SQ001 de Omron (a color), con un precio de \$600 y \$1000 respectivamente.

6.7. Proyección

El sistema de control de pesos fue diseñado de forma modular, como puede verse en la figura 6.5. Para adaptar el sistema a un equipo diferente los únicos módulos que requieren modificarse son los de Configuración, que deben adaptarse a los distintos modos de trabajo del equipo y el módulo de Fórmula de Peso y Radio que requiere adaptarse a las nuevas dimensiones del equipo. Además de programar las tablas del equipo correspondiente. Es importante observar que el sistema puede adaptarse no sólo a grúas, sino también a otros equipos como montacargas hidráulicos.

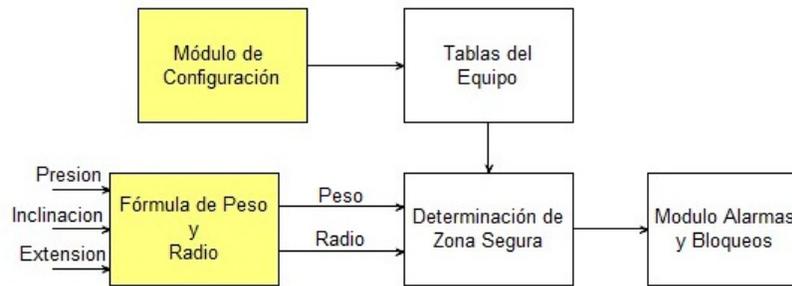


Figura 6.5: Módulos que deben modificarse en el Sistema para adaptarlo a otro equipo

El sistema puede adaptarse a otros tipos de grúas que no son hidráulicas, como grúas de pluma en enrejado o plumas torre. En este caso el sistema debe usar los sensores de tensión de los que disponen estas grúas para calcular el peso de la carga y requiere que se le indique el número de cuerdas por pasteca que se usan en el levantamiento. En las figuras 6.6 y 6.7 puede verse las modificaciones que deberían hacerse al equipo para poder usarlo con este tipo de grúas.

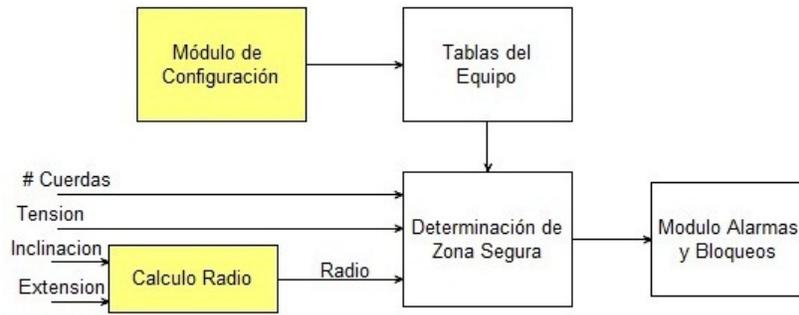


Figura 6.6: Sistema adaptado para funcionar con una grúa de pluma en enrejado

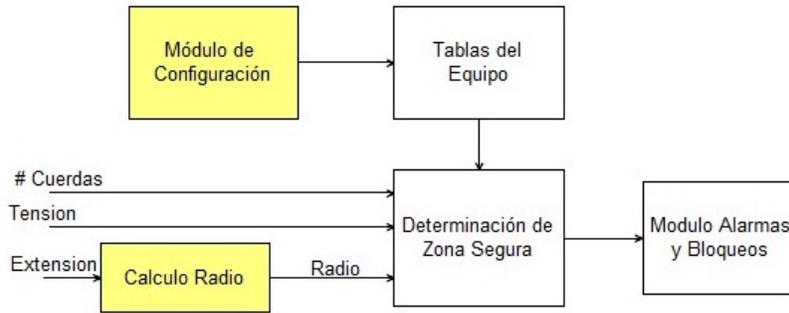


Figura 6.7: Sistema adaptado para funcionar con una grúa de pluma en enrejado

Capítulo 7

Recomendaciones y Conclusiones

7.1. Conclusiones

Usando el principio de equilibrio estático se logró encontrar la expresión 4.7, esta expresión adaptada a las dimensiones de la grúa Link-Belt HTC8665 permite calcular la masa que se está levantando en función de la presión, la longitud y la inclinación.

La expresión 4.7 puede ser adaptada para funcionar en cualquier tipo de grúa hidráulica, adicionalmente puede ser adaptado a otros equipos que usen el mismo principio para el levantamiento, como equipos montacargas.

Con un PLC S7-200 con y el módulo de entradas analógicas EM-231 fue posible implementar el hardware necesario para obtener los datos de presión, longitud e inclinación de los transductores de una grúa, al cual se le pueden programar los datos de las tablas de peso de la grúa por medio del protocolo RS-485. Obteniendo como resultado un Sistema de Control de Peso para una grúa hidráulica que cumple con las funciones de monitoreo de condiciones de riesgo y con la capacidad de bloquear los movimientos de la grúa en caso de que se presenten condiciones inseguras.

A partir de los resultados experimentales obtenidos, se calcularon factores de corrección para compensar los factores físicos que por simplicidad no se contemplaron en la expresión teórica original, una vez implementados los factores de corrección, el sistema presenta un porcentaje de error inferior al 5 % para

pesos superiores a los 250kg como se puede ver en la tabla 6.5.

Si se usan los transductores adecuados, el sistema puede modificarse para funcionar con otros tipos de grúas, como grúas de pluma en rejilla o grúas torre.

7.2. Recomendaciones a la empresa

Debido a que las grúas más modernas que posee la institución poseen una gran cantidad de opciones para configurar el modo de operación, dichos equipos poseen una gran cantidad de tablas de datos por lo que se recomienda usar la extensión de cartucho de memoria para guardar las tablas de pesos. El cartucho de memoria además facilita la lectura y escritura de datos en el PLC ya que las tablas pueden actualizarse desde el PLC vía el software S7-200 Explorer, que es compatible con Excel.

Para realizar la calibración del equipo en la grúa es importante elegir pesos que sean representativos de todo el rango de capacidades de la grúa, si los pesos elegidos para las pruebas son muy pocos o están muy espaciados, se corre el riesgo de no poder calcular adecuadamente pesos intermedios debido a que el sistema no tiene un comportamiento lineal. Es importante realizar varias repeticiones para cada punto a medir, se recomienda consultar con el personal de Control de Calidad para recibir asistencia para diseñar y ejecutar el proceso de calibración.

El tamaño mínimo de la pantalla que se recomienda es de 6 pulgadas, ya que un tamaño menor haría más lenta y difícil la lectura de la información por parte del gruista. La pantalla TP 277 está sobredimensionada¹ para el proyecto se puede elegir una pantalla de una gama más baja para implementar el sistema, se recomienda usar otra pantalla de la familia SIEMENS como la TP 177A o la TP 177B, pues emplear otra marca requeriría volver a implementar toda la interfaz.

¹La pantalla ya estaba disponible para pruebas y por eso es que se empleó

Bibliografía

- [1] Bigge Crane and Rigging. *How to read a load chart*. (en línea) Consultado agosto 2010. Disponible en <http://www.bigge.com/crane-charts/how-to-read-load-charts.html>
- [2] Bonsor, Kevin. *How Hydraulic Cranes Work*. (en línea) Consultado febrero 2010. Disponible en <http://science.howstuffworks.com/hydraulic-crane.htm>
- [3] Brain, Marshall. *How Hydraulic Machines Work*. (en línea) Consultado febrero 2010. Disponible en <http://www.howstuffworks.com/hydraulic.htm>
- [4] Escola, Iván. *Neumática e Hidráulica. Actuadores Hidráulicos en la Ingeniería Industrial*. (en línea) Consultado marzo 2010. Disponible <http://www.monografias.com/trabajos13/actuadhi/actuadhi.shtml>
- [5] Franco, S; Brito, E. 2005. *Diseño con amplificadores operacionales y circuitos analógicos*. McGraw-Hill Interamericana.
- [6] Greer Company. 1995. *MicroGuard 414. Installation Data*.
- [7] Greer Company. 1995. *MicroGuard 414. Trouble Shooting Manual*.
- [8] Grove Company. 1978. *Grove Crane Model RT625 Service Manual*.
- [9] Grove Company. 1978. *RT625 Specifications*.
- [10] Link-Belt. 1994. *Truck Crane HTC8665. Specifications*. (en línea) Consultado diciembre 2009. Disponible en
- [11] Measurement Specialities. *MSP 300 Pressure Transducer*. (en línea) Consultado junio 2010. Disponible en http://www.meas-spec.com/product/t_product.aspx?id=2888
- [12] National Instruments. *Strain Gauge Configuration Types*. (en línea) Consultado marzo 2010. Disponible en <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/417>

- [13] Omega Engineering Inc. *Strain Gage*. (en línea) Consultado marzo 2010. Disponible en <http://www.omega.com/Literature/Transactions/volume3/strain.html>
- [14] PPM Cranes Inc. 1994. *Safety Operating Practices for Mobile Crane Users*.
- [15] Serway, R. 2002. *Física*. McGraw-Hill.
- [16] Sears et al. 2004. *Física Universitaria*. Pearson Education.
- [17] Seatrax. *Anti-Two-Blocking*. (en línea) Consultado abril 2010. Disponible en <http://www.seatrax.com/PDFS/Anti-Two-Blocking.pdf>
- [18] Siemens. *Manual del Sistema de Automatización S7-200*.
- [19] *Actuador*. (en línea) Consultado marzo 2010. Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Actuador#Actuadores_hidr.C3.A1ulicos
- [20] *Autodesk Inventor*. (en línea) Consultado agosto 2010. Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Autodesk_inventor
- [21] *Strain Gauge*. (en línea) Consultado febrero 2011. Disponible en <http://www.circuitstoday.com/strain-gauge>

Apéndice

A.1. Glosario, abreviaturas y simbología

Aparejos: Máquina compuesta por dos o más poleas y una cuerda que alternativamente va pasando por las diversas garruchas de cada una de aquellas

Chasis portante: Estructura metálica donde se fijan los sistemas de estabilización, dirección y propulsión de la grúa.

Corona de orientación: Parte que une la superestructura con el chasis y que permite la acción de giro de 360°

Electroválvula: Una electroválvula es una válvula electromecánica, diseñado para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería. La válvula está controlada por una corriente eléctrica a través de una bobina senoidal.

Estabilizadores: Superficies de apoyo, empleadas para dar mayor estabilidad a la grúa durante un procedimiento de levantamiento.

Galga: Sensor basado en el efecto piezorresistivo. Un esfuerzo que deforma a la galga producirá una variación en su resistencia eléctrica.

Malacates: Máquina de forma variada compuesta por tambores en donde se enrolla el cable; puede ser de vapor, hidráulica o eléctrica

Nariz: Extremo de la pluma donde se colocan las poleas y aparejos empleados para sujetar y levantar la carga.

Pluma: Parte característica de una grúa, empleada para levantar y mover las cargas, puede ser de tipo enrejado o telescópico y normalmente esta hecha de acero de alta resistencia

Plumín: Estructura de acero de tipo enrejada, que se añade a la nariz (fin de la pluma) para aumentar el radio de trabajo

Tabla A.1: Registros de Control de Recepción modo Freeport

Registro	Nombre	Función	Valor
SMB87	Control de Recepción	Elige la forma en que se determina la recepción de un mensaje ²	0xE0
SMB88	Carácter de Inicio de Transmisión	Almacena el carácter que determina el inicio de un nuevo mensaje	'#'
SMB89	Carácter de Fin de Transmisión	Almacena el carácter que determina el fin de un nuevo mensaje	'*'
SMW90	Timeout de línea de inactividad	El primer carácter recibido una vez transcurrido este tiempo es considerado el inicio del nuevo mensaje	-
SMB94	Número máximo de caracteres a recibir	Indica la cantidad máxima de caracteres que espera recibir por mensaje (siempre debe indicarse)	11

de Recepción y son los registros empleados para configurar aspectos relacionados con la definición del protocolo. Para el sistema diseñado se usó un control de mensaje por medio de caracteres de inicio y fin (figura A.2), por ser esta forma más sencilla de implementar, que el control por tiempo de inactividad. En la tabla A.1 se puede observar una descripción de la función de cada uno de los registros y el valor de configuración empleado.



Figura A.2: Formato de un mensaje en modo Freeport empleando los registros SMB88 y SMB89

En la figura A.3, se observa el formato empleado para la transmisión de las curvas, los datos se envían como strings ASCII, y cada uno debe ir acompañado por los caracteres '#' y '*' que sirven para indicar el inicio y el fin del mensaje. La letra 'y' se emplea para indicar que se va a transmitir una nueva tabla, cada dato de la tabla sigue el formato: *dato de radio+espacio+dato de peso*, el carácter *espacio* permite al PLC separar el string en dos partes y convertirlas a su valor numérico. El carácter 'f' indica el fin de la transmisión. Es necesario enviar una 'y' luego de enviar la última tabla para que el algoritmo *Info_curva* pueda calcular el tamaño de la tabla.

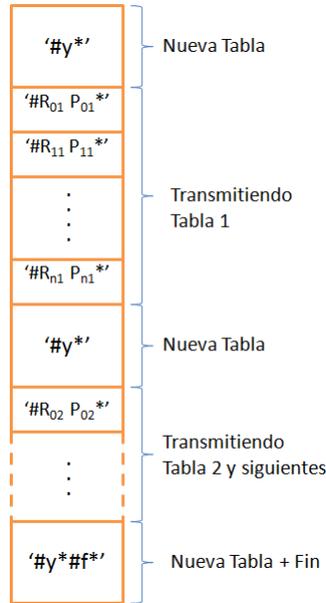


Figura A.3: Protocolo para la transmisión de curvas

El cable multimaestro RS232/PPI³, permite la comunicación con diversos dispositivos que usen el estándar RS232, para esto el cable debe ser configurado empleando los interruptores DIP que incorpora para seleccionar el modo Freepor y la velocidad de trabajo.

Velocidad de transferencia	Tiempo de inversión	Ajustes (1= arriba)
115200	0,15 ms	110
57600	0,3 ms	111
38400	0,5 ms	000
19200	1,0 ms	001
9600	2,0 ms	010
4800	4,0 ms	011
2400	7,0 ms	100
1200	14,0 ms	101

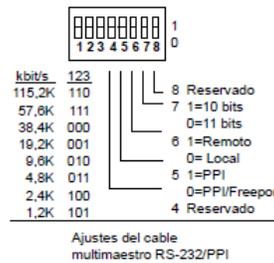


Figura A.4: Configuración de interruptores DIP para el cable RS232/PPI

³empleado para programar el S7-200

A.3. Tablas de datos para empleados para la li- nealización de los transductores

Tabla A.2: Palabra de datos vs. inclinación medidos a partir con el PLC y el módulo EM-231

Ángulo	Medición									
(^o)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-10	416	508	436	555	398	477	314	364	331	494
-5	1865	1616	1875	1492	1848	1850	1830	1916	2114	1881
0	3612	3381	3509	3580	3532	3572	3450	3207	3125	3534
15	7653	7606	7645	7648	7760	7563	7567	7550	7615	7684
30	11960	11738	11775	11790	11828	11670	11774	11892	11738	11627
45	15854	15842	16085	15933	15913	16088	15987	16120	15738	15901
60	20333	19685	20480	20241	20223	20125	20333	20274	20347	20135
75	23894	24235	24684	24394	24450	24251	24359	24224	24579	24351
90	28212	28370	28287	28695	27780	28365	28328	28391	27537	28377

Tabla A.3: Datos de tensión vs. distancia para el transductor de extensión

Distancia (m)	1	2	3	4	5	Promedio
0	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
5	0,76	0,742	0,741	0,77	0,756	0,7538
10	1,535	1,498	1,521	1,542	1,517	1,5226
15	2,316	2,272	2,296	2,31	2,297	2,2982
20	3,085	3,053	3,056	3,074	3,068	3,0672
25	3,881	3,866	3,851	3,881	3,878	3,8714
30	4,683	4,662	4,656	4,683	4,678	4,6724
32	5,026	5,027	5,006	5,027	5,027	5,0226

A.4. Tablas de datos para dimensiones secundarias

Tabla A.4: Datos para las distancias auxiliares calculados por el software Inventor para la Link-Belt

Ángulo a	Ángulo d	Distancia G	Distancia H	Distancia J
1	80.54	4.791	-0.016	0.173
5	74.2	4.78	0.318	0.187
10	66.56	4.735	0.733	0.202
15	59.26	4.653	1.143	0.216
20	52.3	4.535	1.544	0.228
25	45.69	4.383	1.934	0.239
30	39.42	4.198	2.308	0.247
35	33.45	3.981	2.666	0.254
40	27.76	3.734	3.002	0.259
45	22.33	3.458	3.316	0.262
50	17.13	3.156	3.605	0.262
55	12.14	2.829	3.866	0.261
60	7.33	2.482	4.098	0.258
65	2.68	2.115	4.299	0.253
66	1.77	2.04	4.335	0.252

Tabla A.5: Datos para las distancias auxiliares calculados por el software Inventor para la Galion

Ángulo a	Ángulo d	Distancia G	Distancia H	Distancia J
1	90,09	0,862	1,065	0,075
5	90,28	0,865	1,125	0,054
10	90,21	0,864	1,201	0,028
15	89,85	0,857	1,276	0,002
20	89,25	0,842	1,35	-0,024
25	88,46	0,822	1,423	-0,05
30	87,5	0,795	1,493	-0,076
35	86,4	0,762	1,561	-0,101
40	85,19	0,723	1,626	-0,125
45	83,87	0,679	1,687	-0,148
50	82,47	0,629	1,745	-0,171
55	80,99	0,575	1,797	-0,192
60	79,46	0,517	1,845	-0,211

A.5. Tablas de peso calculado por la expresión matemática y el peso calculado por el PLC

Tabla A.6: Diferencia entre peso teórico y peso mostrado en el PLC para 0°

a=0°		Peso (kg)		Diferencia
longitud(m)	presión (psi)	teórico	PLC	
4.5	200	1884.38	1884.77	0.39
4.5	600	5653.14	5654.332	1.19
4.5	1000	9421.90	9423.887	1.99
4.5	1400	13190.66	13193.44	2.78
4.5	1800	16959.42	16962.99	3.57
5	200	1704.31	1704.664	0.36
5	600	5112.92	5113.992	1.08
5	1000	8521.53	8523.321	1.80
5	1400	11930.14	11932.65	2.51
5	1800	15338.75	15341.98	3.23
6	200	1430.84	1431.139	0.30
6	600	4292.51	4293.417	0.90
6	1000	7154.19	7155.695	1.51
6	1400	10015.86	10017.97	2.11
6	1800	12877.54	12880.25	2.71
7	200	1232.99	1233.254	0.26
7	600	3698.98	3699.764	0.78
7	1000	6164.97	6166.273	1.30
7	1400	8630.96	8632.782	1.82
7	1800	11096.95	11099.29	2.34
Diferencia máxima (kg)				3.57

Tabla A.7: Diferencia entre peso teórico y peso mostrado en el PLC para 10^0

a=10 ⁰		Peso (kg)		Diferencia
longitud(m)	presión (psi)	teórico	PLC	
4.5	200	1923.00	1923.421	0.43
4.5	600	5768.99	5770.264	1.28
4.5	1000	9614.98	9617.105	2.13
4.5	1400	13460.97	13463.95	2.98
4.5	1800	17306.96	17310.99	4.03
5	200	1737.38	1737.762	0.38
5	600	5212.13	5213.285	1.15
5	1000	8686.89	8688.809	1.92
5	1400	12161.64	12164.33	2.69
5	1800	15636.40	15639.86	3.46
6	200	1456.25	1456.57	0.32
6	600	4368.74	4369.709	0.97
6	1000	7281.24	7282.849	1.61
6	1400	10193.74	10195.99	2.25
6	1800	13106.23	13109.13	2.90
7	200	1253.43	1253.704	0.28
7	600	3760.28	3761.112	0.83
7	1000	6267.14	6268.521	1.38
7	1400	8773.99	8775.93	1.94
7	1800	11280.85	11283.34	2.49
Diferencia máxima (kg)				4.03

Tabla A.8: Diferencia entre peso teórico y peso mostrado en el PLC para 20°

a=20°		Peso (kg)		Diferencia
longitud(m)	presión (psi)	teórico	PLC	
4.5	200	1929.50	1929.986	0.49
4.5	600	5788.50	5789.997	1.50
4.5	1000	9647.50	9649.928	2.43
4.5	1400	13506.50	13509.9	3.40
4.5	1800	17365.50	17369.87	4.37
5	200	1741.53	1741.973	0.44
5	600	5224.60	5225.918	1.31
5	1000	8707.67	8709.865	2.19
5	1400	12190.74	12193.81	3.07
5	1800	15673.81	15677.76	3.95
6	200	1457.55	1457.921	0.37
6	600	4372.66	4373.64	0.98
6	1000	7287.77	7289.607	1.83
6	1400	10202.88	10205.45	2.57
6	1800	13117.99	13121.29	3.30
7	200	1253.20	1253.519	0.32
7	600	3759.61	3760.557	0.95
7	1000	6266.02	6267.595	1.58
7	1400	8772.43	8774.632	2.21
7	1800	11278.83	11281.67	2.84
Diferencia máxima (kg)				4.37

Tabla A.9: Diferencia entre peso teórico y peso mostrado en el PLC para 30°

a=30°		Peso (kg)		Diferencia
longitud(m)	presión (psi)	teórico	PLC	
4.5	200	1883.49	1884.101	0.61
4.5	600	5650.47	5652.303	1.84
4.5	1000	9417.44	9420.506	3.06
4.5	1400	13184.42	13188.71	4.29
4.5	1800	16951.40	16956.91	5.51
5	200	1698.31	1698.867	0.55
5	600	5094.94	5096.601	1.66
5	1000	8491.57	8494.335	2.76
5	1400	11888.20	11892.07	3.87
5	1800	15284.83	15289.8	4.97
6	200	1419.25	1419.711	0.46
6	600	4257.75	4259.133	1.38
6	1000	7096.25	7098.556	2.31
6	1400	9934.75	9937.978	3.23
6	1800	12773.25	12777.4	4.15
7	200	1218.95	1219.349	0.40
7	600	3656.86	3658.048	1.19
7	1000	6094.77	6096.746	1.98
7	1400	8532.67	8535.444	2.77
7	1800	10970.58	10974.14	3.56
Diferencia máxima (kg)				5.51

Tabla A.10: Diferencia entre peso teórico y peso mostrado en el PLC para 40°

a=40°		Peso (kg)		Diferencia
longitud(m)	presión (psi)	teórico	PLC	
4.5	200	1745.77	1746.507	0.74
4.5	600	5237.30	5239.522	2.22
4.5	1000	8728.84	8732.536	3.70
4.5	1400	12220.38	12225.55	5.17
4.5	1800	15711.91	15718.56	6.65
5	200	1572.38	1573.043	0.67
5	600	4717.13	4719.129	2.00
5	1000	7861.89	7865.214	3.33
5	1400	11006.64	11011.3	4.66
5	1800	14151.39	14157.39	6.00
6	200	1311.80	1312.355	0.56
6	600	3935.40	3937.065	1.67
6	1000	6559.00	6561.775	2.78
6	1400	9182.60	9186.485	3.89
6	1800	11806.20	11811.2	5.00
7	200	1125.31	1125.787	0.48
7	600	3375.93	3377.362	1.43
7	1000	5626.55	5628.937	2.38
7	1400	7877.18	7880.512	3.34
7	1800	10127.80	10132.09	4.29
		Diferencia máxima (kg)		6.65

Tabla A.11: Diferencia entre peso teórico y peso mostrado en el PLC para 50°

a=50°		Peso (kg)		Diferencia
longitud(m)	presión (psi)	teórico	PLC	
4.5	200	1434.30	1435.217	0.92
4.5	600	4302.90	4305.652	2.75
4.5	1000	7171.50	7176.087	4.58
4.5	1400	10040.11	10046.52	6.41
4.5	1800	12908.71	12916.95	8.24
5	200	1289.99	1290.817	0.82
5	600	3869.98	3872.451	2.47
5	1000	6449.96	6454.085	4.12
5	1400	9029.95	9035.718	5.77
5	1800	11609.94	11617.35	7.41
6	200	1073.90	1074.584	0.69
6	600	3221.70	3223.753	2.06
6	1000	5369.49	5372.922	3.43
6	1400	7517.29	7522.089	4.80
6	1800	9665.09	9671.259	6.17
7	200	919.82	920.402	0.59
7	600	2759.45	2761.206	1.76
7	1000	4599.08	4602.011	2.94
7	1400	6438.71	6442.813	4.11
7	1800	8278.34	8283.619	5.28
Diferencia máxima (kg)				8.24

Tabla A.12: Diferencia entre peso teórico y peso mostrado en el PLC para 60°

a= 60°		Peso (kg)		Diferencia
longitud(m)	presión (psi)	teórico	PLC	
4.5	200	748.62	749.986	1.36
4.5	600	2245.87	2249.957	4.09
4.5	1000	3743.12	3749.929	6.81
4.5	1400	5240.37	5249.9	9.53
4.5	1800	6737.61	6749.873	12.26
5	200	671.83	673.048	1.22
5	600	2015.48	2019.145	3.67
5	1000	3359.13	3365.242	6.11
5	1400	4702.78	4711.339	8.56
5	1800	6046.44	6057.436	11.00
6	200	557.45	558.467	1.01
6	600	1672.36	1675.402	3.04
6	1000	2787.27	2792.337	5.07
6	1400	3902.17	3909.272	7.10
6	1800	5017.08	5026.207	9.13
7	200	476.36	477.224	0.87
7	600	1429.07	1431.672	2.60
7	1000	2381.79	2386.12	4.33
7	1400	3334.50	3340.568	6.07
7	1800	4287.22	4295.017	7.80
Diferencia máxima (kg)				12.26

A.6. Mediciones realizadas sin el factor de corrección.

Tabla A.13: Promedio de pesos obtenidos para una carga de 100kg

	124,6	140	156	172	188
5	159,9487595	158,9770508	156,466773	152,4966123	146,3309364
10	165,0186206	162,0242259	158,234167	156,8479633	149,0021413
15	167,2240497	165,7753944	163,1442528	158,7419458	154,0175603
20	171,2701702	165,9771841	164,4360474	163,8245269	158,1027189

Tabla A.14: Promedio de pesos obtenidos para una carga de 150kg

	124,6	140	156	172
5	215,6053582	211,4946553	207,1215678	208,6430271
10	217,2453415	210,8893697	212,5670343	208,10762
15	218,0196222	209,8261997	216,7172776	210,3711452
20	225,0051715	217,2115167	221,0876868	216,7931114

Tabla A.15: Promedio de pesos obtenidos para una carga de 200kg

	124,6	140	156
5	271,2547507	261,7347332	254,8932692
10	270,8039613	260,9083635	258,7488438
15	277,4252068	260,8643204	264,4406631
20	284,776447	276,5763908	272,3793709

Tabla A.16: Promedio de pesos obtenidos para una carga de 250kg

	124,6	140
5	295,8140121	288,1795964
10	293,2688253	281,2488794
15	306,1018259	289,1764412
20	309,7316316	303,0116254

A.7. Resultados experimentales luego de la aplicación del factor de corrección

Tabla A.17: Mediciones para un peso de 50kg

	126	140	156	172	188	201
0	48.39	47.65	48.6	50	48.89	46.59
5	46.31	46.4	50.36	51.97	50.31	49.61
10	48.12	48.57	52.64	53.18	52.9	51.59
15	50.4	51.49	52.6	54.7	52.68	51.48

Tabla A.18: Mediciones para un peso de 100kg

	126	140	156	172	188	201
0	96.19	96.4	95.51	98.24	99.68	97
5	95.3	97.7	98.74	101.25	102.76	101.21
10	99.66	100.92	102.35	104.25	105.86	104.43
15	103.1	104.81	105.81	101.2	100.52	103.38

Tabla A.19: Mediciones para un peso de 150kg

	126	140	156	172	188
0	144.4	146.08	143.5	144.41	147.06
5	147	147.56	147.74	148.6	150.6
10	151.47	152.44	153.38	153.71	156.02
15	157.01	156.15	157	157.45	155.78

Tabla A.20: Mediciones para un peso de 200kg

	126	140	156	172
0	192.7	188.63	192.6	195.01
5	199.67	200.65	200.71	202.77
10	206.02	205.91	206.2	207.9
15	210.86	212.46	211.2	216.3

Tabla A.21: Mediciones para un peso de 250kg

	126	140	156
0	243.47	245.28	244.64
5	250.17	252.34	251.96
10	257.29	255	258.51
15	261.58	259.15	262.3

Tabla A.22: Mediciones para un peso de 300kg

	126	140
0	293.12	297.7
5	301.02	304.63
10	308.31	312.92
15	311.99	313.26

Technical specifications

General Technical specifications SIMATIC S7-200

Degree of protection	IP20 in accordance with IEC 529
Ambient temperature	
<ul style="list-style-type: none"> • Operation (95% relative humidity) <ul style="list-style-type: none"> - With horizontal mounting 0 to 55°C - With vertical mounting 0 to 45 °C • Transport and storage General <ul style="list-style-type: none"> - with 95% relative humidity 25 to 55 °C 	
Isolation	
<ul style="list-style-type: none"> • 5/24 V DC circuits Test voltage 500 V AC • 115/230 V AC circuits to ground Test voltage 1500 V AC • 115/230 V AC circuits to 115/230 V AC circuits Test voltage 1500 V AC • 230 V AC circuits to 5/24 V DC circuits Test voltage 1500 V AC • 115 V AC circuits to 5/24 V DC circuits Test voltage 1500 V AC 	
Electromagnetic compatibility	Requirements of EMC law
<ul style="list-style-type: none"> • Noise immunity to EN 50082-2 • Emitted interference according to EN 50081-1 and EN 50081-2 	<p>Tested according to: IEC 801-2, IEC 801-3, IEC 801-4, EN 50141, EN 50204, IEC 801-5, VDE 0160</p> <p>Tested according to EN 55011, Class A, Group 1 and EN 55011, Class B, Group 1</p>
Mechanical rating	
<ul style="list-style-type: none"> • Vibrations, tested according to/tested with • Shock, tested according to/tested with 	<p>IEC 68, Part 2-6: 10 to 57 Hz; constant amplitude 0.3 mm; 58 to 150 Hz; constant acceleration 1 g (mounted on DIN rail) or 2 g (mounted in control cabinet); type of vibration: frequency cycles with a rate of change of 1 octave/minute; vibration duration: 10 frequency cycles per axis in each direction of the 3 mutually perpendicular axes</p> <p>IEC 68, Part 2-27/half-sine: shock strength 15 g (peak value), duration 11 ms, 6 shocks on each of the 3 mutually perpendicular axes</p>

General Technical specifications SIPLUS S7-200

Ambient temperature	
Temperature	Horizontal mounting: -25 °C to 70 °C Vertical mounting: -25 °C to 50 °C
Relative humidity	5 to 95%; transient condensation permissible, corresponding to relative humidity (RH-) stress grade 2 according to IEC 1131-2 and IEC 721 3-3 Cl. 3K5
Transient icing	-25 °C to 0 °C IEC 721 3-3 Cl. 3K5
Atmospheric pressure	1080 to 795 hPa corresponding to a height of -1000 to 2000 m
Pollutant concentration	SO ₂ : < 0,5 ppm; relative humidity <60% Test: 10 ppm, 4 days H ₂ S: < 0,1 ppm; relative humidity <60% Test: 1 ppm, 4 days (according to IEC 721 3-3; Class 3C3)
Mechanical environmental conditions	
Vibrations	Type of vibration: frequency progressions changing at 1 octave per minute. 2 Hz ≤ f ≤ 9 Hz, constant amplitude 3,0 mm 9 Hz ≤ f ≤ 150 Hz, constant acceleration 1 g; Duration of vibration: 10 frequency progressions per axis in each direction of the three mutually perpendicular axes; Vibration testing according to IEC 68 section 2-6 (Sinus) and IEC 721 3-3, Class 3M4
Shock	Type of shock: semisinusoidal shock strength: 15 g peak value, duration shock direction 11 ms: 3 shocks each in +/- direction on each of the mutually perpendicular axes Shock testing according to IEC 68 section 2-27
Conformity	EN 50155 (railroad applications - electrical device on rail vehicles)

SIMATIC S7-200

Central processing units

CPU 221, 222, 224, 224 XP, 226

Overview

3



- The smart compact solution
- With 10 inputs/outputs on board
- Not expandable



- The compact high-performance CPU
- With 24 inputs/outputs on board
- Expandable with up to 7 expansion modules



- The superior compact solution
- With 14 inputs/outputs on board
- Expandable with up to 2 expansion modules



- The power CPU
- With 24 digital and 3 analog inputs/outputs onboard
- Expandable with up to 7 expansion modules

Overview



- The high-performance package for complex technical tasks
- With additional PPI port for added flexibility and communication options
- With 40 inputs/outputs on board
- Expansion capability for max. 7 expansion racks

Technical specifications

	6ES7 211-0AA23-0XB0	6ES7 211-0BA23-0XB0	6ES7 212-1AB23-0XB0	6ES7 212-1BB23-0XB0
Supply voltages				
Rated value				
- 24 V DC	Yes		Yes	
- permissible range, lower limit (DC)	20.4 V		20.4 V	
- permissible range, upper limit (DC)	28.8 V		28.8 V	
- 120 V AC		Yes		Yes
- 230 V AC		Yes		Yes
- permissible range, lower limit (AC)		85 V		85 V
- permissible range, upper limit (AC)		264 V		264 V
- permissible frequency range, lower limit		47 Hz		47 Hz
- permissible frequency range, upper limit		63 Hz		63 Hz
Voltages and currents				
Load voltage L+				
- Rated value (DC)	24 V	24 V	24 V	24 V
- permissible range, lower limit (DC)	20.4 V	5 V	20.4 V	5 V
- permissible range, upper limit (DC)	28.8 V	30 V	28.8 V	30 V
Load voltage L1				
- Rated value (AC)		100 V; 100 to 230 V AC		100 V; 100 to 230 V AC
- permissible range, lower limit (AC)		5 V		5 V
- permissible range, upper limit (AC)		250 V		250 V
- permissible frequency range, lower limit		47 Hz		47 Hz
- permissible frequency range, upper limit		63 Hz		63 Hz
Current consumption				
• Inrush current, max.	10 A; at 28.8 V	20 A; at 264 V	10 A; at 28.8 V	20 A; at 264 V
• from supply voltage L+, max.	450 mA; 80 to 450 mA		500 mA; 85 to 500 mA, output current for expansion modules (5 V DC) 340 mA	
• from supply voltage L1, max.		120 mA; 15 to 60 mA (240 V), 30 to 120 mA (120 V); output current for expansion modules (5 V DC) 340 mA		140 mA; 20 to 70 mA (240 V), 40 to 140 mA (120 V); output current for expansion modules (5 V DC) 340 mA

SIMATIC S7-200

Central processing units

CPU 221, 222, 224, 224 XP, 226

3

Technical specifications (continued)

	6ES7 211-0AA23-0XB0	6ES7 211-0BA23-0XB0	6ES7 212-1AB23-0XB0	6ES7 212-1BB23-0XB0
back-up battery - Backup time	50 h; (min. 8 h at 40 °C); 200 days (typ.) with optional battery module	50 h; (min. 8 h at 40 °C); 200 days (typ.) with optional battery module	50 h; (min. 8 h at 40 °C); 200 days (typ.) with optional battery module	50 h; (min. 8 h at 40 °C); 200 days (typ.) with optional battery module
Memory/backup				
Memory - Number of memory modules (optional)	1; pluggable memory module, content identical to integral EEPROM, in addition, recipes, data logs and other files can be saved.	1; pluggable memory module, content identical to integral EEPROM, in addition, recipes, data logs and other files can be saved.	1; pluggable memory module, content identical to integral EEPROM, in addition, recipes, data logs and other files can be saved.	1; pluggable memory module, content identical to integral EEPROM, in addition, recipes, data logs and other files can be saved.
•Data memory and program memory - Data memory, max. - Program memory, max.	2 KByte 4 KByte	2 KByte 4 KByte	2 KByte 4 KByte	2 KByte 4 KByte
Backup - available	Yes; Program: entire program maintenance- free in integral EEPROM, programmable via CPU; data: entire DB 1 loaded from PG/PC maintenance-free in integral EEPROM, current values of DB 1 in RAM, retentive flags, timers, counters etc., maintenance free via super capacitor; optional battery	Yes; Program: entire program maintenance- free in integral EEPROM, programmable via CPU; data: entire DB 1 loaded from PG/PC maintenance-free in integral EEPROM, current values of DB 1 in RAM, retentive flags, timers, counters etc., maintenance free via super capacitor; optional battery	Yes; Program: entire program maintenance- free in integral EEPROM, programmable via CPU; data: entire DB 1 loaded from PG/PC maintenance-free in integral EEPROM, current values of DB 1 in RAM, retentive flags, timers, counters etc., maintenance free via super capacitor; optional battery	Yes; Program: entire program maintenance- free in integral EEPROM, programmable via CPU; data: entire DB 1 loaded from PG/PC maintenance-free in integral EEPROM, current values of DB 1 in RAM, retentive flags, timers, counters etc., maintenance free via super capacitor; optional battery
CPU/processing times •for bit instruction, max.	0,22 µs	0,22 µs	0,22 µs	0,22 µs
Timers/counters and their reten- tive characteristics				
S7 counter - Number	256	256	256	256
•of which retentive with battery - adjustable	Yes; via super capacitor or battery			
- lower limit	1	1	1	1
- upper limit	256	256	256	256
•Counting range - lower limit	0	0	0	0
- upper limit	32.767	32.767	32.767	32.767
S7 times - Number	256	256	256	256
•of which retentive with battery - adjustable	Yes; via super capacitor or battery			
- upper limit	64	64	64	64
•Timing range - lower limit	1 ms	1 ms	1 ms	1 ms
- upper limit	54 min; 4 times, 1 ms to 30 s 16 times, 10 ms to 5 min 236 times, 100 ms to 54 min	54 min; 4 times, 1 ms to 30 s 16 times, 10 ms to 5 min 236 times, 100 ms to 54 min	54 min; 4 times, 1 ms to 30 s 16 times, 10 ms to 5 min 236 times, 100 ms to 54 min	54 min; 4 times, 1 ms to 30 s 16 times, 10 ms to 5 min 236 times, 100 ms to 54 min

Datos técnicos de los módulos de ampliación analógicos

Tabla A-15 Números de referencia de los módulos de ampliación analógicos

Nº de referencia	Módulo de ampliación	Entradas del módulo	Salidas del módulo	Bloque de terminales extraíble
6ES7 231-0HC22-0XA0	EM 231, 4 entradas analógicas	4	-	No
6ES7 232-0HB22-0XA0	EM 232, 2 salidas analógicas	-	2	No
6ES7 235-0KD22-0XA0	EM 235 4 entradas analógicas/1 salida analógica	4	1 ¹	No

1 La CPU reserva 2 salidas analógicas para este módulo.

Tabla A-16 Datos técnicos generales de los módulos de ampliación analógicos

Nº de referencia	Nombre y descripción de la CPU	Dimensiones en mm (l x a x p)	Peso	Disipación	Tensión c.c. disponible	
					+5 V c.c.	+24 V c.c.
6ES7 231-0HC22-0XA0	EM 231, 4 entradas analógicas	71,2 x 80 x 62	183 g	2 W	20 mA	60 mA
6ES7 232-0HB22-0XA0	EM 232, 2 salidas analógicas	46 x 80 x 62	148 g	2 W	20 mA	70 mA (ambas salidas a 20 mA)
6ES7 235-0KD22-0XA0	EM 235, 4 entradas analógicas/1 salida analógica	71,2 x 80 x 62	186 g	2 W	30 mA	60 mA (salida a 20 mA)

Tabla A-17 Datos de las entradas de los módulos de ampliación analógicos

Datos generales	6ES7 231-0HC22-0XA0	6ES7 235-0KD22-0XA0
Formato palabra de datos	(v. fig. A-14)	(v. fig. A-14)
Bipolar, rango máx.	-32000 a +32000	-32000 a +32000
Unipolar, rango máx.	0 a 32000	0 a 32000
Impedancia de entrada DC	≥10 MΩ entrada de tensión, 250 Ω entrada de intensidad	≥ 10 MΩ entrada de tensión, 250 Ω entrada de intensidad
Atenuación del filtro de entrada	-3 db a 3,1 kHz	-3 db a 3,1 kHz
Tensión de entrada máxima	30 V c.c.	30 V c.c.
Intensidad de entrada máx.	32 mA	32 mA
Resolución		
Bipolar	11 bits más 1 bit de signo	
Unipolar	12 bits	
Aislamiento (campo a circuito lógico)	Ninguno	Ninguno
Tipo de entrada	Diferencial	Diferencial
Rangos de entradas		
Tensión	Seleccionable (rangos disponibles, v. tabla A-20)	Seleccionable (rangos disponibles, v. tabla A-21)
Intensidad	0 a 20 mA	0 a 20 mA
Resolución de las entradas	V. tabla A-20	V. tabla A-21
Tiempo de conversión analógica/digital	< 250 μs	< 250 μs
Respuesta de salto de la entrada analógica	1,5 ms a 95%	1,5 ms a 95%
Rechazo en modo común	40 dB, c.c. a 60 Hz	40 dB, c.c. a 60 Hz
Tensión en modo común	Tensión de señal más tensión en modo común (debe ser ≤ ±12 V)	Tensión de señal más tensión en modo común (debe ser ≤ ±12 V)
Rango de tensión de alimentación 24 V c.c.	20,4 a 28,8 V c.c. (clase 2, potencia limitada o alimentación de sensores de la CPU)	

Tabla A-18 Datos de las salidas de los módulos de ampliación analógicos

Datos generales	6ES7 232-0HB22-0XA0	6ES7 235-0KD22-0XA0
Aislamiento (campo a circuito lógico)	Ninguno	Ninguno
Rango de señales		
Salida de tensión	± 10 V	± 10 V
Salida de intensidad	0 a 20 mA	0 a 20 mA
Resolución, rango máx.		
Tensión	12 bits más bit de signo	11 bits más bit de signo
Intensidad	11 bits	11 bits
Formato palabra de datos		
Tensión	-32000 a +32000	-32000 a +32000
Intensidad	0 a +32000	0 a +32000
Precisión		
Caso más desfavorable, 0° a 55° C		
Salida de tensión	± 2% de rango máx.	± 2% de rango máx.
Salida de intensidad	± 2% de rango máx.	± 2% de rango máx.
Típico, 25° C		
Salida de tensión	± 0,5% de rango máx.	± 0,5% de rango máx.
Salida de intensidad	± 0,5% de rango máx.	± 0,5% de rango máx.
Tiempo de ajuste		
Salida de tensión	100 µS	100 µS
Salida de intensidad	2 mS	2 mS
Accionamiento máx.		
Salida de tensión	Mín. 5000 Ω	Mín. 5000 Ω
Salida de intensidad	Máx. 500 Ω	Máx. 500 Ω
Rango de tensión de alimentación 24 V c.c.	20,4 a 28,8 V c.c. (clase 2, potencia limitada o alimentación de sensores de la CPU)	

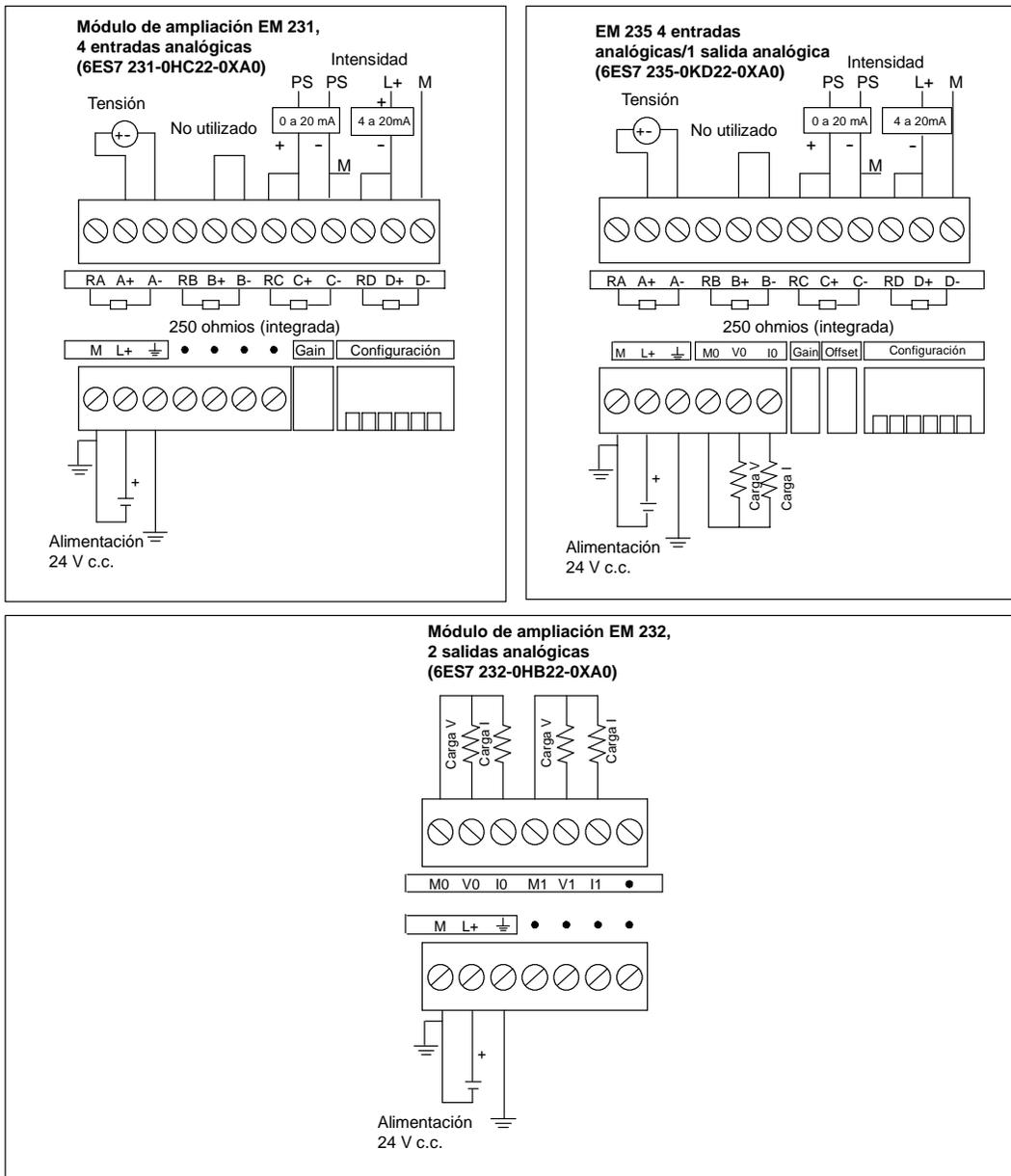


Figura A-12 Diagramas de cableado de los módulos de ampliación analógicos