



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL
ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍAS
APLICADAS**

**MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL Y MODIFICACIÓN
DEL PROCESO DE LAVADO Y ENCERADO DE UN PUENTE DE
LAVADO AUTOMÁTICO PARA BUSES**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MECATRÓNICA**

PATRICIO JAVIER CUEVA JACOME

DIRECTOR: VERÓNICA GREFA, MSc

D.M. QUITO

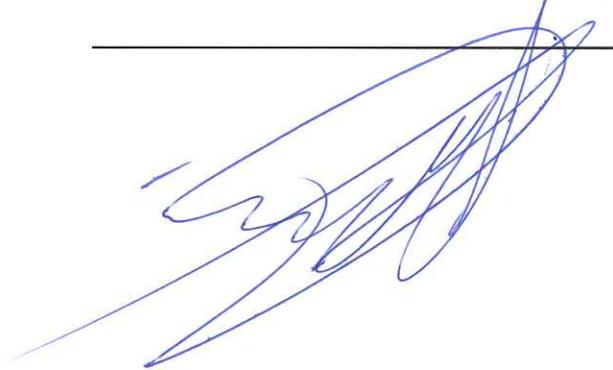
2016

DECLARACIÓN

Yo PATRICIO JAVIER CUEVA JACOME declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que se ha investigado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Internacional del Ecuador, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por su normativa institucional vigente.

Patricio Javier Cueva Jacome



CERTIFICACIÓN

El docente de la Escuela de Ciencias Exactas y Tecnologías Aplicadas
Msc. Verónica Grefa A.

CERTIFICA QUE:

El proyecto de investigación “MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL Y MODIFICACIÓN DEL PROCESO DE LAVADO Y ENCERADO DE UN PUENTE DE LAVADO AUTOMÁTICO PARA BUSES”, fue desarrollado por: Carla Rocío Yépez Jiménez y ha sido debidamente revisado y está en condiciones de ser entregado para que siga lo dispuesto por la escuela de Ciencias Exactas y Tecnologías Aplicadas, correspondiente a la sustentación y defensa del mismo.

Msc. Verónica Grefa A

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
1 Capítulo I Parte teórica y estado del arte.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación e Importancia.....	1
1.3 Objetivo general.....	2
1.4 Objetivos específicos.....	2
1.5 Lavado automático de vehículos	2
1.6 Alcance del proyecto	7
1.6.1 Estado inicial de componentes mecánicos	8
1.6.2 Estado inicial de los componentes eléctricos.....	13
1.6.3 Estado inicial de los componentes de control	17
1.7 Marco teórico	18
1.7.1 Elementos de control.....	19
1.7.2 Sensores	22
1.7.3 Protecciones a las salidas del PLC.....	27
1.7.4 Actuadores neumáticos	28
2 Capítulo II análisis y selección de alternativas.....	31
2.1 Casa de la calidad	31
2.1.1 Voz del usuario	32
2.1.2 Voz del ingeniero	34
2.1.3 Desarrollo de la casa de la calidad	35
2.1.4 Análisis y conclusiones de la casa de la calidad.....	35
2.2 Análisis y selección de alternativas.....	36

2.2.1	Formulación de especificaciones técnicas	36
2.2.2	Diseño conceptual	38
2.2.3	Ventajas y desventajas de posibles soluciones para los Módulos 1 y 2	40
2.2.4	Matriz morfológica	46
2.2.5	Matrices de ponderación	46
3	Capítulo III Diseño de la propuesta	60
3.1	Remoción de la conexión inicial del cableado de control del puente de lavado	60
3.2	Identificación del cableado de potencia del puente de lavado	61
3.3	Comprobación del correcto funcionamiento de los elementos y actuadores iniciales	63
3.4	Diseño del sistema de control	64
3.4.1	Obtención de datos emitidos por el sensor de efecto Hall	65
3.4.2	Dimensionamiento del PLC y desarrollo del programa.....	67
3.4.3	Diseño del programa del plc.....	70
3.4.4	Diseño del cableado de control	83
3.5	Dimensionamiento del dosificador de jabón y cera	88
4	Capítulo IV Pruebas y resultados	90
4.1	Ajustes al programa	90
4.1.1	Calibración de los cepillos verticales y horizontales	90
4.1.2	Timers calibrados en pruebas	90
4.2	Timers suplementarios añadidos en pruebas.....	93
4.3	Costos del proyecto.....	98
5	Conclusiones.....	100
6	Recomendaciones.....	102
7	Referencias Bibliográficas.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Primera patente de lavado automático (US 3038481 A)	3
Figura 1.2 a) Lavado sin contacto, vehículo estático, b) Lavado sin contacto, maquina estática, ambos marca EYNA	4
Figura 1.3 a) vista superior frontal, b) vista lateral. Ambos Patente #US3421169.	5
Figura 1.4 Puente de lavado Patente US3601833 A.....	6
Figura 1.5 Puente de lavado OttoChrist	6
Figura 1.6 Estado inicial de los motores de traslado	9
Figura 1.7 Estado inicial del sistema neumático de apertura de cepillos verticales	10
Figura 1.8 Estado inicial Sistema piñón cadena para el movimiento traslacional del cepillo horizontal.....	10
Figura 1.9 Cepillo horizontal desarmado, estado inicial	11
Figura 1.10 Bomba de 15 kW, para lavado de llantas y chasis	11
Figura 1.11 Bomba de agua para lavado de carrocería	12
Figura 1.12 Sistema inicial de dosificación de jabón y cera.	12
Figura 1.13 Contactores de control originales.....	13
Figura 1.14 Contactores de potencia y guarda motores.....	14
Figura 1.15 Cableado en la regleta de control original	15
Figura 1.16 Cableado de control	15
Figura 1.17 Estado inicial del cableado de potencia	16
Figura 1.18 Fines de carrera para inclinación de cepillo vertical	16
Figura 1.19 Botonera de control de proceso original.....	18
Figura 1.20 Cableado de botonera de control de proceso original	18
Figura 1.21 PLC S7 1200 1212c	20
Figura 1.22 Características principales CPUs S7-1200.....	21
Figura 1.23 Módulo 16 DI/ 16 DO RELE	21
Figura 1.24 Contactor GMC-32 LG	22
Figura 1.25 Fin de carrera Bernstein Limit Switch 16a 500v NA y NC, del puente de lavado.	23
Figura 1.26 Configuración clásica de un sensor de efecto Hall.....	24
Figura 1.27 Sensor láser de perfil	25

Figura 1.28 Datos de sensor laser 2D M2iLAN-2	25
Figura 1.29 Recorrido de la señal en un sensor opto-electrónico de distancia	26
Figura 1.30 Representación esquemática de un diodo láser.....	27
Figura 1.31 Placa de Relés opto-acoplados.....	28
Figura 1.32 Esquema de placa de 16 relés opto-acoplados Sain Smart.....	28
Figura 1.33 Ejemplo de válvula 5/2	30
Figura 1.34 Ejemplo de válvula 5/3	30
Figura 2.1 Necesidades de Cliente arrojadas por la Casa de la Calidad.....	35
Figura 2.2 Parámetros de Diseño arrojados por Casa de la Calidad	36
Figura 2.3 Análisis funcional Módulo nivel 0.....	38
Figura 2.4 Análisis funcional Módulos nivel 1	39
Figura 2.5 Sentido de rotación del cepillo horizontal a favor del movimiento del puente de lavado	42
Figura 2.6 Sentido de rotación del cepillo horizontal en contra del movimiento del puente de lavado	43
Figura 2.7 Sentido de rotación de los cepillos verticales a favor del movimiento del puente de lavado.....	45
Figura 2.8 Sentido de rotación de los cepillos verticales en contra del movimiento del puente de lavado.....	45
Figura 3.1 Sistema de control Original	61
Figura 3.2 Puente de lavado sin sistema de control	61
Figura 3.3 Cableado de potencia hasta las regletas	62
Figura 3.4 Bomba de presión, para lavado de llantas y chasis	64
Figura 3.5 Bomba de presión desarmada	64
Figura 3.6 Toma de datos de consumo de corriente del motor de rotación del cepillo horizontal	65
Figura 3.7 Consumo de corriente del motor de rotación del cepillo horizontal	65
Figura 3.8 Características del sensor LEM LA-100P.....	66
Figura 3.9 Voltaje arrojado por el sensor de corriente Vs la corriente consumida por el motor de rotación del cepillo Horizontal	67
Figura 3.10 Caso en el que el cepillo horizontal tiene que superar un perfil poco usual de un vehículo	72
Figura 3.11 Consumo de corriente de contactores de control.	84

Figura 3.12 Placas de relés ya conectadas a todos los actuadores, en la parte inferior se observan los relés de activación para C1, C2 y C4.	85
Figura 3.13 Fuentes de alimentación 24/12/5 VDC	87
Figura 3.14 Cableado eléctrico hacia el PLC	88
Figura 3.15 Cableado eléctrico de sensores hasta las regletas	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Descripción y alcance del sistema mecánico	8
Tabla 1.2 Descripción y alcance del sistema eléctrico	13
Tabla 1.3 Alcance del sistema de control	17
Tabla 2.1 Demandas Vs Preguntas (Voz del usuario).....	34
Tabla 2.2 Voz del usuario Vs Voz del ingeniero	34
Tabla 2.3 Formulario de especificaciones técnicas	37
Tabla 2.4 Ventajas y Soluciones de las posibles soluciones para el desarrollo del proyecto	40
Tabla 2.5 Ponderación de criterios.....	47
Tabla 2.6 Ponderación de electroválvulas bajo el criterio de funcionalidad	48
Tabla 2.7 Ponderación de electroválvulas bajo el criterio de robustez.....	48
Tabla 2.8 Ponderación de electroválvulas bajo el criterio de fácil mantenimiento.....	49
Tabla 2.9 Ponderación de electroválvulas bajo el criterio de Costo	49
Tabla 2.10 Ponderación de la solución de las electroválvulas	50
Tabla 2.11 Ponderación del sensor para el cepillo horizontal bajo el criterio de Funcionalidad.....	51
Tabla 2.12 Ponderación del sensor para el cepillo horizontal bajo el criterio de Robustez	52
Tabla 2.13 Ponderación del sensor para el cepillo horizontal bajo el criterio de fácil mantenimiento	52
Tabla 2.14 Ponderación del sensor para el cepillo horizontal bajo el criterio de Costo.....	53
Tabla 2.15 Ponderación de la solución del sensor del cepillo horizontal.....	53
Tabla 2.16 Ponderación del sentido de rotación del cepillo horizontal bajo el criterio de Funcionalidad.....	54

Tabla 2.17 Ponderación del sentido de rotación del cepillo horizontal bajo el criterio de Robustez	55
Tabla 2.18 Ponderación del sentido de rotación del cepillo horizontal bajo el criterio de Fácil mantenimiento	55
Tabla 2.19 Ponderación del sentido de rotación del cepillo horizontal bajo el criterio de Costo	56
Tabla 2.20 Ponderación de la solución sentido de rotación del cepillo horizontal	56
Tabla 2.21 Ponderación del sentido de rotación del cepillo vertical bajo el criterio de Funcionalidad	57
Tabla 2.22 Ponderación del sentido de rotación del cepillo vertical bajo el criterio de Robustez	58
Tabla 2.23 Ponderación del sentido de rotación del cepillo vertical bajo el criterio de fácil mantenimiento	58
Tabla 2.24 Ponderación del sentido de rotación del cepillo vertical bajo el criterio de Costo	59
Tabla 2.25 Ponderación de la solución del sentido de rotación del cepillo vertical	59
Tabla 3.1 Tabla de actuadores	62
Tabla 3.2 Tabla de optimización del uso de agua	64
Tabla 3.3 Entradas digitales de PLC	68
Tabla 3.4 Tabla de salidas del PLC	69
Tabla 3.5 Salidas y Entradas requeridas	70
Tabla 3.6 Tabla de variables del PLC	78
Tabla 3.7 Tabla de Timers y contadores	79
Tabla 3.8 Dispositivos que requieren alimentación 24VDC	85
Tabla 3.9 Dispositivos que requieren alimentación a 12VDC / 5VDC	86
Tabla 4.1 Timers calibrado en pruebas	91
Tabla 4.2 Timers colocados en pruebas	93
Tabla 4.3 Tabla de costos del proyecto	99

RESUMEN

El presente proyecto es el diseño e implementación de un sistema de **control automático** para el puente de lavado de la empresa “ESTACIÓN DE SERVICIO MOBIL CENTRAL” para vehículos pesados y livianos, el cual se encuentra obsoleto y se requiere un proceso 100% automatizado.

Se realiza un análisis de los procesos de lavado y encerado, para el diseño de un sistema de control fiable que no cause daños sobre los vehículos a lavar y encerar, que siga el perfil superior y lateral con los cepillos, el análisis sobre el sentido de rotación de los cepillos de lavado para evitar que estos dañen espejos, plumas, placas, etc. Se seleccionó un sensor de corriente de efecto Hall para la medición de corriente del cepillo horizontal y así determinar la presión que este ejerce sobre el vehículo. Se diseña también un sistema de control completamente nuevo para remplazar el sistema de control obsoleto original. Mediante un controlador lógico programable PLC Siemens S7-1200 se procesan las señales emitidas por los sensores y por doce fines de carrera. Este sistema de control activa 2 actuadores neumáticos de doble efecto para abrir y cerrar los cepillo verticales, 2 motores de traslado del puente de lavado, 3 motores para la rotación de los cepillos, 2 dosificadores para cera y jabón, 1 motor para subir y bajar el cepillo horizontal, 1 bomba de agua, 1 solenoide para el paso de agua. El Puente de lavado consta de una consola de control con tres botones, para el INICIO Y FIN, y para el traslado del puente de lavado cuando este no se encuentra funcionando. Para lograr este funcionamiento óptimo del puente de lavado fue requerido un tiempo aproximado 4 meses en desarrollo y de 3 meses de calibración y de desarrollo de ciertos ajustes en el programa. El tiempo que conlleva el proceso de lavado y encerado es de 300 segundos en vehículos livianos y 700 segundos por vehículos pesados.

ABSTRACT

In the present project, an automatic control system was designed and implemented which controls the washing bridge for heavy and light vehicles, all the process y automatized and is property of the company "ESTACION DE SERVICIO MOBIL CENTRAL"

An analysis of the washing and waxing process is performed to design a reliable control system which will not cause damage on washing and waxing vehicles, that continue with brushes the top and side of the vehicle, the analysis of the rotation of the washing brushes to prevent these damaging mirrors, antennas, plaques, etc. Hall Effect current for measuring horizontal brush current sensor was selected, and thus determine the pressure that this exerts on the vehicle. A control system completely new which replaced the original outdated control is designed. signals from sensors and from 12 limit switches, are processed using a programmable logic controller Siemens S7-1200 PLC, the system activates two double-acting pneumatic actuators to open and close the verticals brushes, 2 shuttle motors of the washing bridge, 3 motors for rotating brushes, 2 dispensers for shampoo and wax, 1 motor for up and down the horizontal brush, 1 water pump, 1 solenoid for the passage of water. The washing bridge consists of only with a keypad for START AND STOP the process, and for the transfer of the washing arch when not functioning, to get an excellent result, was spend 4 months in development and 3 months, in calibration and modification off software, wash a small car takes 300 s and to a heavy duty cars takes 700s.

CAPÍTULO I

PARTE TEÓRICA Y ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se describe las generalidades del proyecto de titulación, los diferentes tipos de lavados automáticos de vehículos existentes, la evolución de estos, el estado inicial del puente de lavado de propiedad de ESTACIÓN DE SERVICIO MOBIL CENTRAL y los alcances de automatización deseados.

1.1 ANTECEDENTES

La ESTACIÓN DE SERVICIO MOBIL CENTRAL desde 1964 ha buscado brindar un servicio de lavado y encerado con altos estándares de calidad, optimizando tiempos de servicio y recursos. Para llegar a cumplir este objetivo la compañía adquirió un puente de lavado semi-automático para vehículos livianos y pesados en el año 1979, lavando en un promedio 70 carros diarios hasta el año 1995, a partir de esta fecha quedó en desuso. Al aumentar el mercado nuevamente en el sector, la compañía se ve en la necesidad de restaurar el puente de lavado que brindo tanto rédito en años pasados. Para esto es necesario utilizar la tecnología y la ingeniería, que permita rehabilitar completamente el puente de lavado, con la finalidad de cumplir y satisfacer los requerimientos del lavado tanto para vehículos livianos como pesados, todo esto repotencializando esta máquina de lavado.

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

En el mercado actual de lavadoras de vehículos es muy importante el tiempo de espera del cliente para obtener su vehículo limpio, para que este servicio trascienda en el mercado es necesario la utilización de nuevas tecnologías que optimicen el proceso.

Utilizar un puente de lavado, permite optimizar el tiempo de espera. Al empezar a valorar el tiempo que se emplea en la limpieza manual de un autobús tras cada recorrido o ruta que este realiza se justifica el uso de un lavado automático.

La norma RTE INEN 043:2010 que especifica: “las dimensiones de las carrocerías de autobuses”, en función de estas es factible desarrollar un lavado completamente automático para estos.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Analizar, diseñar e implementar un sistema de control para el proceso de lavado y encerado de un puente de lavado para vehículos pesados y livianos.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Identificar toda la conexión eléctrica de potencia del puente de lavado y restituir completamente el cableado de control.
- II. Dimensionar los componentes eléctricos y de instrumentación del sistema.
- III. Diseñar e implementar un sistema de control mediante PLC para realizar el proceso de lavado y encerado de vehículos en forma automática.
- IV. Optimizar el volumen de recurso hídrico que utiliza el puente de lavado.

1.5 LAVADO AUTOMÁTICO DE VEHÍCULOS

El lavado automático se origina en el año 1962 cuando la empresa Augsburgischer Kleindienst GmbH & Co. KG desarrolla el primer túnel de lavado automático que fue diseñado por Brechtel Robert [1], Figura 1.1, generando un gran cambio en el criterio del lavado tradicional de un vehículo, para el cual se necesitaba una gran cantidad de tiempo/hombre y a medida que el número de vehículos que requerían este servicio aumentaba, la optimización de este proceso era requerida a brevedad.

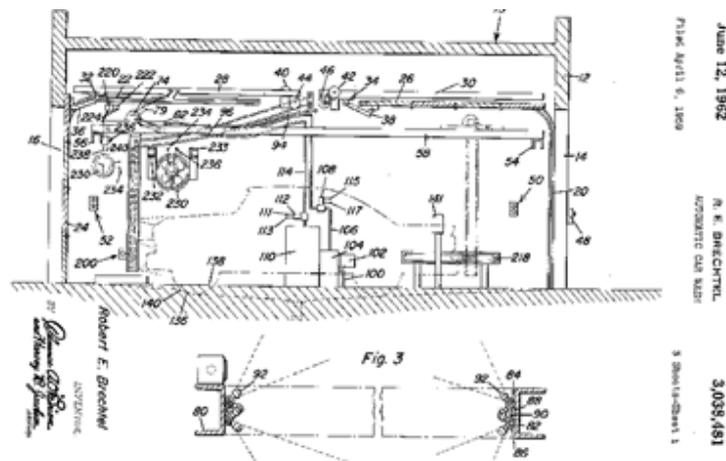


Figura 1.1 Primera patente de lavado automático (US 3038481 A) adaptada de [1]

Las expectativas de los clientes en cuanto al lavado de automóviles exigen la excelencia en la calidad del lavado. Un factor mandatorio para acudir a este servicio es el tiempo y costo que este conlleva. Esto genera una competencia ardua entre los prestadores de servicios para poder satisfacer las necesidades y prestaciones que pide el mercado actual, por lo que definitivamente la automatización del proceso de lavado es la mejor opción para obtener un posicionamiento en el mercado. Hoy en día en la prestación de servicios de lavado de automóviles existen muchas técnicas tradicionales y automáticas para lavar, encerar y secar el automotor, siendo el puente de lavado una de las máquinas más completas para desarrollar este proceso.

1.5.1.1 Tipos de lavado automático

Existen varios tipos de lavados automáticos, estos son clasificados de acuerdo a la categoría del vehículo y el número de vehículos a lavar por hora, estos son:

- Lavado sin contacto.
- Túneles de lavado.
- Puentes de lavado.

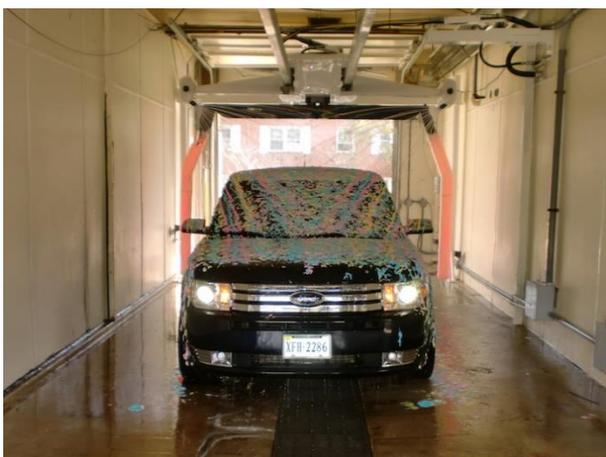
1.5.1.1.1 Lavado sin contacto

El lavado sin contacto es considerado el “mejor proceso de lavado automático desde el año 1999” según la marca EYNA. Este sistema fue construido por primera vez en 1989 por Mark Carlson [2], este tiene dos maneras típicas de funcionar:

- a) La máquina se mueve suavemente sobre rieles y el vehículo permanece estático en medio de ella, ver Figura 1.2 (a).
- b) El vehículo es trasladado por una especie de túnel. En el recorrido del vehículo sobre este túnel se activan secuencialmente diferentes sistemas para realizar un lavado y secado óptimo, ver Figura 1.2 (b).

Este tipo de lavado se caracteriza por utilizar alta presión de agua y utilizar químicos para la limpieza del vehículo en vez de cepillos. Este tipo de máquinas constan de un control de seguimiento de contorno del vehículo para colocar las toberas (artefacto por donde sale el agua, cuyo orificio de salida es de menor diámetro que el de entrada) en un ángulo donde la limpieza sea óptima dependiendo de las características de cada vehículo. Al no tener contacto con el vehículo, este tipo de máquinas tiene un alargado tiempo de vida de los componentes del sistema.

a)



b)

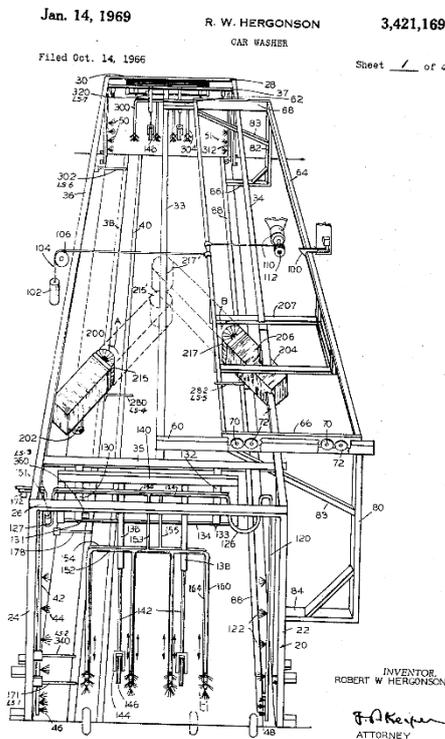


Figura 1.2 a) Lavado sin contacto, vehículo estático, b) Lavado sin contacto, maquina estática, ambos marca EYNA

1.5.1.1.2 Túnel de lavado

Los túneles de lavado tienen como objetivo ser el mejor sistema de lavado posible para un número muy grande de lavadas por hora, logrando lavar hasta 150 vehículos por hora. En este tipo de lavadoras la máquina es estática y el vehículo es trasladado dentro de ella mediante una cadena de arrastre, Figura 1.3 a y b, llevando al vehículo por diferentes etapas de lavado, encerado y secado [4].

a)



1.5.1.2 Reseña histórica del lavado automático

- 1908 La línea de producción de la marca Ford se podría suponer como la primera vez que se automatizó una línea de producción [7].
- 1962 El primer sistema de lavado de coches desarrolla Wesumat, presenta el primer lavado totalmente automático cepillo-coche. Se trata de un gran éxito, hasta 1968, los sistemas se fabrican en MBB bajo licencia. La empresa se expande imparable antes de comenzar a fabricar por sí mismo en 1970 [1].
- 1963 Una nueva tecnología revoluciona el lavado de vehículos A. Rohe GmbH. fundada en 1946, desarrolla el primer pórtico de tres cepillos y sienta las bases para el lavado de automóviles rentable. En 1965, la empresa de Augsburgo Kleindienst GmbH & Co. KG desarrolla el primer túnel de lavado de coches propio [8].
- 1967 El primer sistema de lavado de vehículos comerciales aparece en el mercado. Con una altura libre de 3 m, con operación manual, este primer sistema de lavado para vehículos comerciales era utilizable dentro de sus limitaciones. Fue seguido en 1974 por el primer sistema de lavado totalmente automático con una altura libre de 4,10 m [5].
- 1984 se desarrolla la hidrolavadora de alta presión portátil, con lo cual se crea la línea de productos domésticos [9].
- 1989 se desarrolla el primer túnel de lavado y adquiere la empresa estadounidense American Kleaner [4].

1.6 ALCANCE DEL PROYECTO

Se busca obtener un sistema de control, mediante PLC que permitirá realizar un lavado automático. Las señales de sensores tipo “fin de carrera” ubicados originalmente en lugares estratégicos y un sensor de corriente de efecto Hall detectarán el perfil del vehículo mientras el puente de lavado avanza sobre sus rieles. Cuando se tenga la presión adecuada de los cepillos sobre el vehículo estos se abrirán de manera independiente; los cepillos verticales se abrirán o cerrarán mediante dos válvulas solenoides, y el cepillo horizontal subirá o bajará mediante un sistema de

piñón-polea controlado por un motor trifásico. En caso de que alguno de los cepillos no pueda seguir el perfil del vehículo el puente de lavado se detendrá para evitar daños en el mismo. Debido al estado del puente de lavado se realizará un análisis de los sistemas mecánicos y eléctricos, de ser necesario se rediseñará o cambiará los sistemas.

1.6.1 ESTADO INICIAL DE COMPONENTES MECÁNICOS

En la Tabla 1.1 se detalla el alcance del proyecto en cuanto a cada sistema mecánico perteneciente al puente de lavado, posteriormente se da una breve explicación de su funcionamiento y del estado inicial de los sistemas.

Tabla 1.1 Descripción y alcance del sistema mecánico

Sistema	de traslado del puente de lavado	de apertura de cepillos horizontales	telescópico del cepillo horizontal	de bombas de agua	de dosificación de jabón y cera
Acción a tomar	Verificar el correcto funcionamiento de los motores reductores trifásicos de traslado del puente de lavado, si es necesario cambiarlos	Dar mantenimiento al sistema neumático de apertura de los cepillos, cambiar todos los componentes que sean necesarios para el nuevo sistema de control	Verificar el correcto funcionamiento del sistema, cambiar todos los elementos que sean necesarios	Verificar el correcto funcionamiento del sistema, cambiar todos los elementos que sean necesarios y si es el caso dimensionar nuevas bombas	Verificar el correcto funcionamiento del sistema, cambiar todos los elementos que sean necesarios y si es el caso diseñar un nuevo sistema de dosificación

1.6.1.1 Estado inicial del sistema de traslado del puente de lavado y su alcance

El puente de lavado consta de dos motores ubicados sobre los rieles laterales del puente de lavado, estos motores-reductores trifásicos de 42 VAC constan de elementos mecánicos los cuales han permanecido estáticos por un largo periodo de tiempo, por tal motivo es necesario realizar su mantenimiento y comprobar su correcto funcionamiento y si es necesario cambiar los motores-reductores. Ver Figura 1.6.



Figura 1.6 Estado inicial de los motores de traslado

1.6.1.2 Estado inicial del sistema de apertura de cepillos horizontales y su alcance

El puente de lavado consta de dos pistones neumáticos de doble efecto para la apertura de los cepillos verticales, ubicados en la parte superior, Figura 1.7. Estos se encuentran remordidos y el sistema de electroválvulas 5/2 a 42 VAC y mangueras de aire comprimido se encuentran obsoletos, por lo que se requiere un mantenimiento completo del sistema neumático del puente de lavado, si es necesario se cambiarán los elementos no operativos.



Figura 1.7 Estado inicial del sistema neumático de apertura de cepillos verticales

1.6.1.3 Estado inicial del sistema telescópico del cepillo horizontal y su alcance

El cepillo horizontal consta de un sistema de piñón cadena para subirlo y bajarlo, Figura 1.8, este sistema tiene como objetivo vencer la inercia del cepillo para producir el movimiento ascendente-descendente, es decir, a un lado de la cadena tiene colocado un contrapeso equivalente al peso del cepillo. Este sistema se encuentra desmontado, por lo que será necesario instalarlo nuevamente, Figura1.9.



Figura 1.8 inicial Sistema piñón cadena para el movimiento traslacional del cepillo horizontal



Figura 1.9 Cepillo horizontal desarmado, estado inicial

1.6.1.4 Estado inicial del sistema de bombas de agua y su alcance

El puente de lavado consta de una bomba de 1200 l/min ($0.0483 \frac{m^3}{s}$) de 3.102 MPa) y 15kW de potencia, Figura 1.10, actualmente se encuentra remordida; ésta se utiliza para el lavado de chasis y llantas. El puente de lavado también consta de una bomba de 6kW, cuyo estado se desconoce y es utilizada para lavar la carrocería, Figura 1.11. La acción que se llevará a cabo es desmontar las bombas y comprobar su funcionamiento. Si es necesario se dimensionará una nueva bomba que supla la original.



Figura 1.10 Bomba de 15 kW, para lavado de llantas y chasis



Figura 1.11 Bomba de agua para lavado de carrocería

1.6.1.5 Estado inicial del sistema de dosificación de jabón y cera, y su alcance

La dosificación de jabón y cera original consta de una bomba de 1.5 kW, Figura 1.12, para cada elemento, esto no permite una correcta dosificación químicos durante el lavado; dando como resultado que el jabón y cera sean mezclados con excesiva agua ya que el sistema no permite regular la dosificación de manera óptima, debido a esto se dimensionará un sistema de dosificación apropiado a petición del cliente.



Figura 1.12 Sistema inicial de dosificación de jabón y cera.

1.6.2 ESTADO INICIAL DE LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS

En la Tabla 1.2 se detalla el alcance del proyecto en cuanto a cada sistema eléctrico perteneciente al puente de lavado, posteriormente se da una breve explicación de su funcionamiento y del estado inicial de los sistemas.

Tabla 1.2 Descripción y alcance del sistema eléctrico

Sistema	Contactores de control	Contactores de potencia	Cableado de control	Cableado de potencia	Sensores
Acción a tomar	Eliminar todos los contactores del control del puente de lavado, estos se encuentran obsoletos.	Dar mantenimiento a todos los contactores de potencia y cambiarlos si es necesario.	Reemplazar completamente por un cableado correspondiente al nuevo sistema de control.	Verificar el correcto funcionamiento del cableado, identificar y si es necesario reemplazar por un nuevo cableado.	Verificar el correcto funcionamiento e identificar el correcto cableado de los mismos y si es necesario dimensionar nuevos sensores.

1.6.2.1 Contactores de control

El sistema de control original consta de 101 contactores ver Figura 1.13, este sistema de control será reemplazado por uno completamente nuevo, basado en el uso de un PLC.

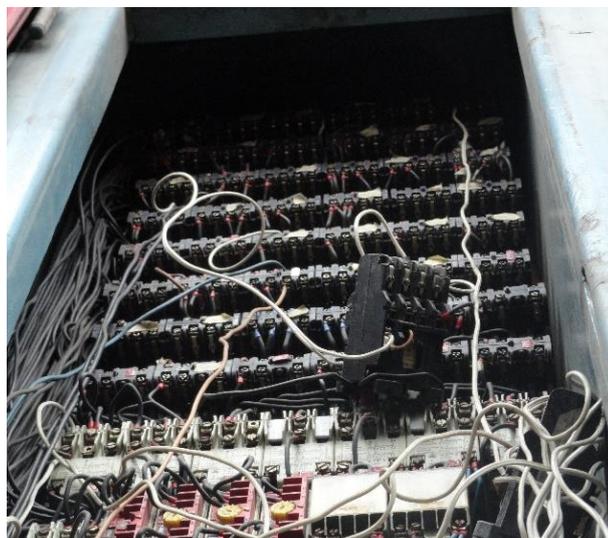


Figura 1.13 Contactores de control originales.

1.6.2.2 Contactores de potencia

El sistema de activación de los diferentes actuadores como: bombas de agua, electroválvulas, motores, etc., se realiza mediante contactores, ver Figura 1.14, este sistema mantendrá su configuración original, se dará un mantenimiento y se cambiarán los elementos que sean necesarios.



Figura 1.14 Contactores de potencia y guarda motores

1.6.2.3 Cableado de control

El cableado original será remplazado completamente, este se encuentra en un deterioro total, sin identificación, Figura 1.15 y se encuentran una gran cantidad de elementos desconectados, Figura 1.16, el nuevo cableado de control estará diseñado e acuerdo a las nuevas necesidades de control.



Figura 1.15 Cableado en la regleta de control original

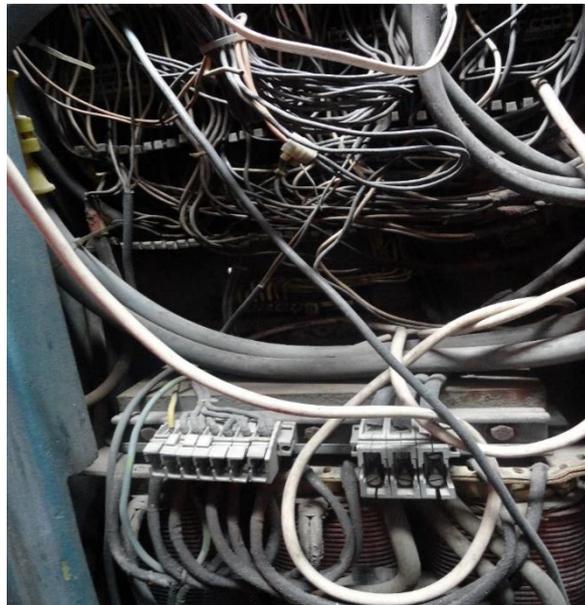


Figura 1.16 Cableado de control

1.6.2.4 Cableado de potencia

El cableado de potencia del puente de lavado no tiene numeración o alguna identificación, se asume que se encuentra en buenas condiciones. Se identificará y enumerará todo el cableado de potencia del puente de lavado y se comprobará su correcto funcionamiento, si es necesario se remplazará los segmentos dañados, ver Figura 1.17.

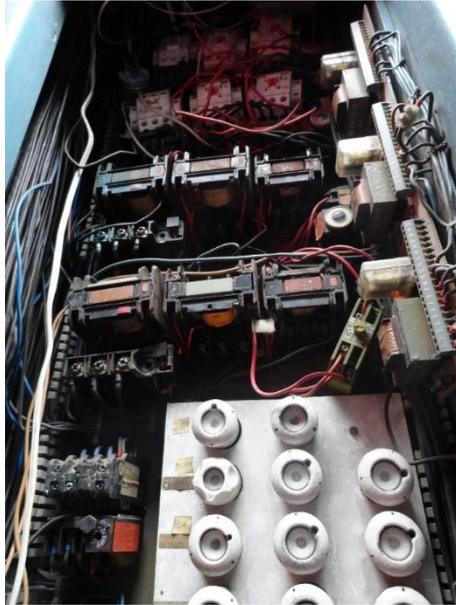


Figura 1.17 Estado inicial del cableado de potencia

1.6.2.5 Sensores tipo fin de carrera

El puente de lavado consta de 12 sensores del tipo fin de carrera ubicados estratégicamente, Figura 1.18, estos no tienen identificación en su cableado y se encuentran deteriorados, se identificará y enumerará el cableado de los sensores y se comprobará el correcto funcionamiento, si es necesario se los remplazará, de igual manera si se requiere se seleccionará y dimensionará un nuevo sensor para alguna aplicación específica.



Figura 1.18 Fines de carrera para inclinación de cepillo vertical

1.6.3 ESTADO INICIAL DE LOS COMPONENTES DE CONTROL

En la Tabla 1.3 se detalla el alcance del proyecto en cuanto al sistema de control perteneciente al puente de lavado, posteriormente se da una breve explicación de su funcionamiento y del estado inicial del sistema.

Tabla 1.3 Alcance del sistema de control

	Controlador	Consola de control
Acción a tomar	Selección del controlador adecuado para la automatización	El requerimiento es un tablero con el cual se pueda iniciar y detener el proceso, además que mueva el puente de lavado hacia delante o hacia atrás cuando no esté lavando ni encerando.

1.6.3.1 Controlador

Se utilizará un controlador lógico programable (PLC) ya que es el más adecuado para ambientes industriales, se programará el control del proceso de lavado y encerado, y se activarán los componentes eléctricos de acuerdo a la secuencia del proceso. Se seleccionará este componente investigando los factores necesarios para el uso de este equipo dimensionado en forma adecuada.

1.6.3.2 Consola de control original

El puente de lavado consta de una consola de control mediante la cual se controla el proceso, apertura de cepillos, elevación del cepillo horizontal, parar el avance de la máquina, selección de bombas, etc. Ver Figura 1.19. La consola de control original conlleva un numeroso cableado, ver Figura 1.20, el cual será eliminado. Se requiere una consola de control con la que se inicie el proceso y se detenga, y que permita mover el puente de lavado cuando este no ejecute el proceso.



Figura 1.19 Botonera de control de proceso original

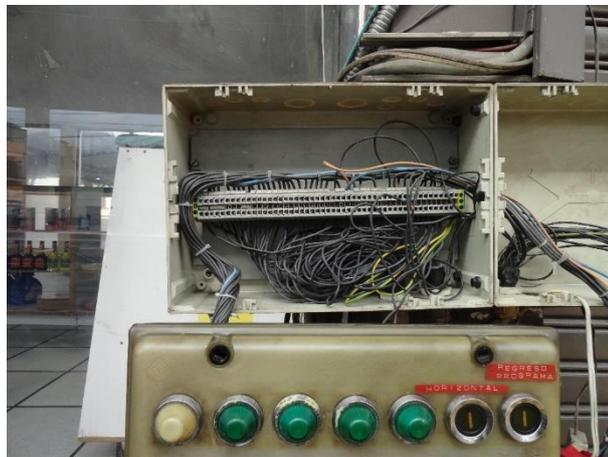


Figura 1.20 Cableado de botonera de control de proceso original

1.7 MARCO TEÓRICO

“Siempre es importante ver al pasado para construir el presente y mirar hacia el futuro. Si la ciencia es un cuerpo de conocimientos sistemático y estructurado, resulta conveniente localizar, obtener y consultar estudios antecedentes, libros, revistas científicas, páginas de Internet, testimonios de expertos y toda aquella fuente que se relacione directamente con nuestro tema o proyecto de investigación” [10].

A continuación se presenta la descripción de los elementos que se utilizarán en el proyecto, todo esto en función de las alternativas propuestas posteriormente.

1.7.1 ELEMENTOS DE CONTROL

En esta sección se describe a los elementos de control, “que sirven para gobernar, de alguna manera predeterminada, la energía eléctrica suministrada a los aparatos a los cuales están conectado”. [11]

El conjunto de elementos eléctricos o electrónicos que accionan contactos, todos interconectados eléctricamente a través de conductores, con el propósito de establecer una función de control sobre un equipo o conjunto de equipos se conocen como elementos de control. La función de control consiste en permitir o cerrar el paso de energía eléctrica al equipo o parte de este.

Los elementos que conforman un sistema de control eléctrico se pueden clasificar de acuerdo a la función que desempeñan. Se definen las siguientes funciones dentro del sistema de control eléctrico:

- Maniobras
- Mando Manual
- Mando Auxiliar o Automático
- Señalización
- Protección

Para la ejecución de cada una de estas funciones existen elementos especializados. Para el desarrollo de este proyecto específicamente se implementará PLC y contactores.

1.7.1.1 Unidad lógica programable PLC

Según lo define la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de los Estados Unidos un PLC – Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable), Figura 1.21, es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como son: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos [12]. En el desarrollo de este proyecto

se presenta como la mejor alternativa ya que se requiere una mayor robustez en el sistema, esto se debe al ambiente de trabajo extremo.



Figura 1.21 PLC S7 1200 1212c
Fuente: mall.industry.siemens.com [13]

Este PLC de la serie S7-1200 dispone de un limitado número de entradas y salidas (8 entradas digitales y 6 salidas digitales de tipo relé), Figura 1.22, pero tiene una gran variedad de módulos adicionales que hay como incorporar al PLC, de esta manera se utiliza de mejor manera el gran potencial que brinda este tipo de CPUs, y no se subutiliza la capacidad de este, se espera utilizar el módulo de 16 entradas y 16 salidas digitales tipo relé (6ES7223 – 1PL32 – 0XB0) especificado en la Figura 1.23, que brindará el número adecuado de entradas y salidas requeridas para el desarrollo de este proyecto, y en caso de ser necesario el CPU mencionado anteriormente tiene la posibilidad de aumentar un módulo más de las mismas características, y un módulo de entradas y salidas análogas brindando un gran capacidad de ampliación del sistema en caso de que sea requerido por el cliente.

Características	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C	CPU 1215C	CPU 1217C
Variantes	DC/DC/DC, AC/DC/relé, DC/DC/relé				
Memoria de trabajo, integrada	50 kbytes	75 kbytes	100 kbytes	125 kbytes	150 kbytes
Memoria de carga integrada	1 Mbyte	1 Mbyte	4 Mbytes	4 Mbytes	4 Mbytes
Tarjeta de memoria	SIMATIC Memory Card (opcional)				
Entradas/salidas digitales integradas	6/4	8/6	14/10	14/10	14/10
Entradas analógicas integradas	2	2	2	2	2
Salidas analógicas integradas	0	0	0	2	2
Memoria imagen del proceso	1024 bytes para entradas, 1024 bytes para salidas				
Ampliación mediante Signal Board	máx. 1	máx. 1	máx. 1	máx. 1	máx. 1
Ampliación mediante Signal Modules	no	máx. 2	máx. 8	máx. 8	máx. 8

Figura 1.22 Características principales CPUs S7-1200, adaptada de [13]

Producto	
Número de artículo (número de mercado)	6ES7223-1PL32-0XB0
Descripción de producto	SIMATIC S7-1200, E/S DIGITAL SM 1223, 16 DI / 16 DO, 16 DI DC 24 V, SINK/SOURCE, 16 DO, RELE 2A
Familia de producto	> Módulo de E/S digitales SM 1223
Ciclo de vida del producto (PLM)	PM300:Producto activo

Figura 1.23 Módulo 16 DI/ 16 DO RELE, adaptada de [14]

1.7.1.2 Contactores

Es un aparato de maniobra clasificado como interruptor, el accionamiento se debe a la fuerza de atracción de un electroimán. Es utilizado en múltiples aplicaciones en las variantes de pequeña, mediana y gran potencia. La sencillez de construcción, unida a su robustez, su reducido volumen y el mantenimiento prácticamente nulo, lo hacen insustituibles [15].

Se podría decir que el contactor electromagnético, Figura 1.24, es el dispositivo de maniobra más utilizado dentro de un sistema de control eléctrico industrial, se constituye en el elemento de potencia a través del cual se realiza, de manera automática o no automática, la conexión, desconexión o cambio del circuito interpuesto entre la fuente de alimentación y la carga. [16]

Sus principales aplicaciones están en el arranque y control de motores eléctricos, la energización de cargas resistivas, banco de capacitores, sistemas de iluminación, entre otras. En el desarrollo de este proyecto se utilizará para la activación de motores.



includes 2 AU-1 auxiliary switches, (2 N.O. / 2 N.C.)

GMC-32		GMC-40	
GMD-32		GMD-40	
kW	A	kW	A
	50		60
7.5	32	11	40
15	32	18.5	40

Figura 1.24 Contactor GMC-32 LG, adaptada de [17]

1.7.2 SENSORES

Esta sección está dedicada a la descripción de los diferentes sensores ya colocados en el puente de lavado tales como los sensores del tipo fin de carrera y los sensores que serán ser ponderados al momento de seleccionar como sensar la presión que ejerce el cepillo horizontal sobre el vehículo.

1.7.2.1 Sensores fines de carrera

Los fines de carrera o sensores de contacto también conocidos como "interruptores de límite", (Figura 1.25), son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados en alguna parte específica del recorrido o de un elemento móvil, por ejemplo una cinta

transportadora, cuando el elemento móvil alcanza el sensor y lo acciona, este envía señales que pueden modificar el estado de un circuito.

Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA), normalmente cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados, de ahí la gran variedad de finales de carrera que existen en el mercado.

En el proyecto estos son utilizados ya que el puente de lavado dispone actualmente de 12 sensores tipo fin de carrera, esta cantidad de sensores podría incrementarse a lo largo del desarrollo del proyecto.



Figura 1.25 Fin de carrera Bernstein Limit Switch 16a 500v NA y NC, del puente de lavado.

1.7.2.2 Sensor de corriente de efecto Hall

El efecto Hall, descubierto por Edwin C. Hall en 1879, consiste en la producción de una caída de voltaje a través de un conductor o semiconductor con corriente, bajo la influencia de un campo magnético externo. Para esto es necesario que la dirección del campo magnético sea perpendicular a la dirección del flujo de corriente.

El campo magnético transversal ejerce una fuerza desviadora (Fuerza de Lorentz) sobre el semiconductor o conductor, esta causa la desviación de los portadores de carga potencial V_{xy} (llamada voltaje de Hall) entre los extremos del conductor. Este voltaje es proporcional a la intensidad del campo magnético aplicado y su polaridad depende del signo de los portadores de carga.

En la Figura 1.26 se puede observar la estructura clásica y simplificada de un sensor de efecto Hall de salida lineal. Debido a que la tensión Hall es muy pequeña, (aproximadamente $30\mu\text{V}/\text{G}$), es requerida una etapa de amplificación, esto se realiza mediante un amplificador diferencial. Además posee compensación térmica y regulación por voltaje, la salida posee un transistor en emisor abierto para realizar la interfaz con cualquier dispositivo [18].

Esta podría ser una buena opción para sensar la presión que ejerce el cepillo horizontal sobre el vehículo, en el capítulo 3 se detalla las características de este elemento y su datasheet.



Figura 1.26 Configuración clásica de un sensor de efecto Hall
Fuente: unsl.edu.ar [18]

1.7.2.3 Sensor láser de perfil 2D

Un sensor láser de dos dimensiones, Figura 1.25, sirve para obtener la medida de un perfil. En diferentes aplicaciones resulta importante obtener la medida de ese perfil en dos dimensiones. Por tratarse de un láser de triangulación, los rangos no son muy adecuados, pero se pueden ampliar con la incorporación de varios cabezales hasta cubrir el ancho deseado. La medida obtenida es una matriz de puntos correspondientes al ancho y la profundidad, estos nos proporcionan el perfil buscado en ancho y alto.

La medida se puede realizar en todo tipo de superficies, ya que el sistema láser de triangulación permite medir en superficies extremas, tanto en gomas mates y negras, como en superficies muy brillantes y pulidas, de ahí que abarque prácticamente todas

las aplicaciones industriales [19]. Podría ser una manera de sensar el perfil superior y lateral del vehículo con suma precisión como se puede observar en la figura 1.28.



Figura 1.27 Sensor láser de perfil
Fuente: www.nortecnica.com.ar [20]

M2-iLAN-2	6/4	10/13	20/10	40/20	60/30	80/40	120/60	220/120	400/200
Measuring Range Z [mm]	6	10	20	40	60	80	120	220	400
Begin of Measuring Range Z [mm]	38	65	55	50	53	63	84	115	330
Begin of Scan Range X [mm]	4	13	10	20	30	40	60	120	200
End of Scan Range X [mm]	4,5	15	13	26	40	55	80	160	280
Resolution Z * [mm]	0.003	0.01	0.02	0.02	0.035	0.045	0.06	0.11	0.2
Resolution X * [mm]	0.0035	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.07	0.14	0.25

Figura 1.28 Datos de sensor laser 2D M2iLAN-2
Fuente: melsensor.de/laser-scanner/m2-gl-6khz.html [21]

1.7.2.4 Sensor láser de distancia

Los sensores de distancia opto-electrónicos están diseñados para proveer una señal de salida que sea proporcional a la distancia independientemente del objeto, del color, y de la reflexión o la composición de la superficie del blanco de detección. Existe una variedad de técnicas diferentes para diseñar sensores de distancia opto-electrónicos. Los métodos más utilizados son: triangulación y medición de tiempo de vuelo. Los

elementos esenciales para el funcionamiento de un sensor de distancia opto-electrónico se pueden observar en la Figura 1.29 [20].

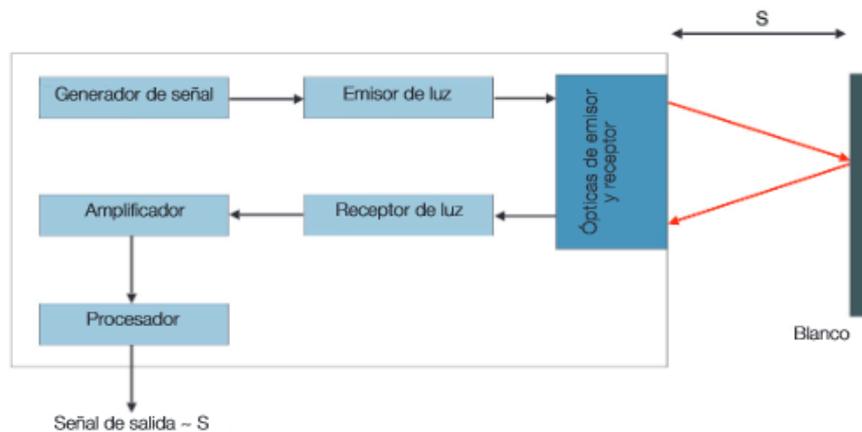


Figura 1.29 Recorrido de la señal en un sensor opto-electrónico de distancia
Fuente: www.nortecnica.com.ar [20]

En general los LED se utilizan como fuentes de luz para sensores binarios de distancia opto-electrónicos. El diodo trabaja emitiendo hacia adelante una luz en un rango espectral particular; puede ser una luz roja (visible) o infrarroja (invisible). El diodo es encapsulado en cuerpos de plástico, la superficie del cuerpo actúa como lente, esta envuelve la luz y por ello hace un efecto de direccionamiento. Debido a los altos requerimientos de la industria, el sensor de distancia opto-electrónico es utilizado frecuentemente. El haz de luz que se emite desde el diodo láser permite la detección de los objetos con una gran precisión, el láser de luz roja añade la ventaja de una fácil visualización, por el ojo humano, esto permite alinear los sensores a grandes distancias.

Los diodos láser que están disponibles comercialmente tienen una estructura como se muestra en la Figura 1.30. El corazón de los componentes es un cristal (chip láser) compuesto de varias capas, el cristal láser está adherido a un bloque de metal el cual disipa el calor resultante, cuando se aplica tensión, una corriente fluye verticalmente hacia las capas, lo que genera fotones análogos hacia el LED. Al exceder el umbral de corriente, se emite en lo alto de la capa que envuelve la barrera una luz amplificada a través de la emisión estimulada. La onda de luz que viaja en esta capa es reflejada parcialmente fuera del extremo brillante y espejado, esta onda reflejada es nuevamente amplificada en la capa, resultando en la actual luz láser – radiación de una longitud de

onda y localización de la fase, finalmente sale por la superficie frontal (generalmente $1 \times 3 \mu\text{m}^2$) con gran luminancia. En la dirección opuesta la luz láser choca con el diodo monitor el cual mide constantemente el flujo luminoso, de esta manera permite que la corriente del chip láser sea regulada para mantener constante la potencia de radiación, este sensor de igual manera que los anteriores puede utilizarse para determinar el perfil superior del vehículo.

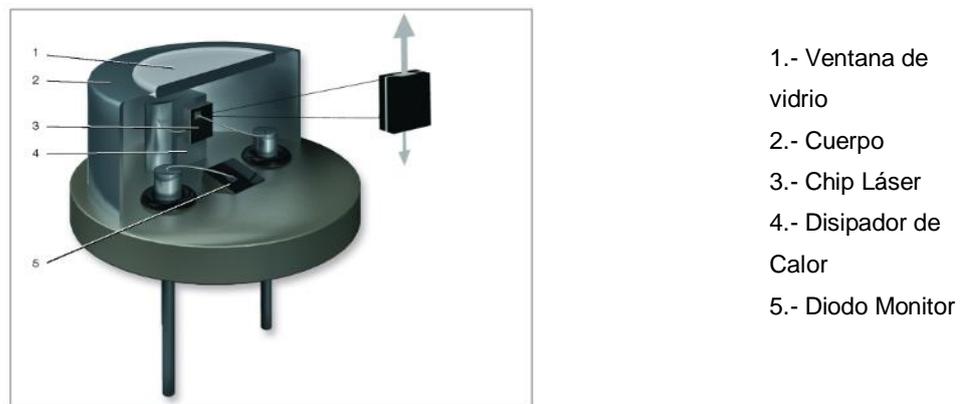


Figura 1.30 Representación esquemática de un diodo láser, adaptada de [20]

1.7.3 PROTECCIONES A LAS SALIDAS DEL PLC

Las salidas del PLC pueden ser dañadas por una sobre carga producida por algún circuito o falla del elemento conectado a éstas, por lo que es necesario proteger las salidas del controlador y una buena opción es la mencionada en la siguiente sección.

1.7.3.1 Placa de relés opto-acoplados

El módulo de relés para conmutación de cargas de potencia puede ser utilizado para protección de las salidas del PLC, Figura 1,31. Los contactos de los relés están diseñados para conmutar cargas de hasta 10A y 250VAC (30VDC), aunque se recomienda usar niveles de tensión por debajo de estos límites. Las entradas de control se encuentran aisladas con opto-acopladores para minimizar el ruido percibido por el circuito de control mientras se realiza la conmutación de la carga, Figura 1.32.

La señal de control puede provenir de cualquier circuito de control TTL o CMOS como en un microcontrolador. [22]

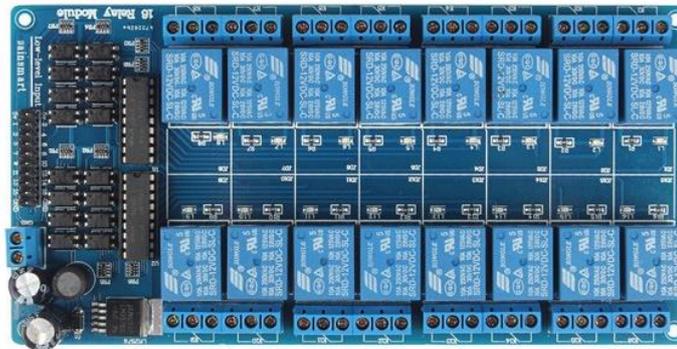


Figura 1.31 Placa de Relés opto-acoplados

Fuente: sainsmart.com [23]

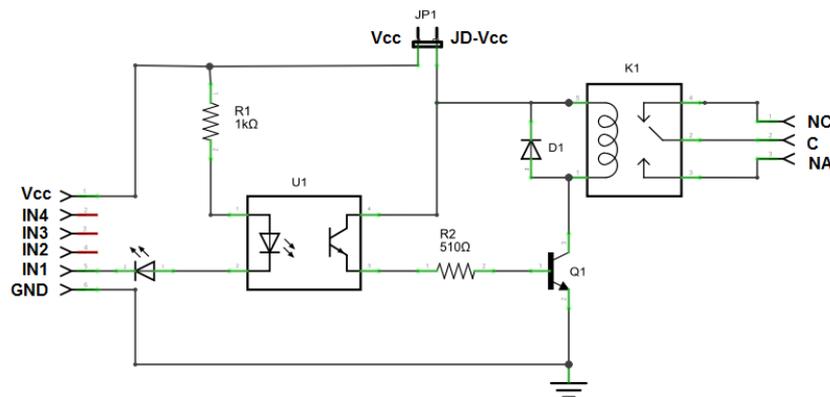


Figura 1.32 Esquema de placa de 16 relés opto-acoplados Sain Smart

Fuente: sainsmart.com [23]

1.7.4 ACTUADORES NEUMÁTICOS

Para realizar la apertura de los cepillos verticales se analizan diferentes opciones de electroválvulas, se analizan solo elementos neumáticos ya que el puente de lavado en su diseño original consta de dos pistones de doble efecto para realizar la apertura de los cepillos, además por las ventajas que presta un sistema neumático en caso de que los cepillos se remuerdan no se contempla un cambio en este sistema.

1.7.4.1 Electroválvulas

Es una válvula electromecánica la cual controla el paso de un fluido por su interior, esta funciona mediante un solenoide el cual abre el paso del fluido o lo cierra, estas pueden ser utilizadas para la apertura de los cepillos verticales, para el desarrollo de este proyecto solo se analiza el funcionamiento de estas, ya que se mantendrá las características equivalentes a las originales.

- Válvula 5/2

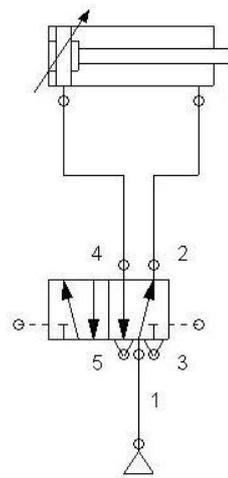
Las válvulas 5/2 o 4/2 se pueden usar indistintamente, la única diferencia existente entre ellas es que la 5/2 tiene 2 conexiones de escape en vez de 1, esto es debido a la construcción interna de la válvula que proporciona un escape a cada salida en vez de un escape común.

Con la válvula 5/2, en la posición de reposo pasa aire desde la entrada de presión a una de las salidas (4), y en el momento en que conmuta el aire pasa hacia la otra (en este caso 2), Figura 1.33.

La aplicación más usual de la válvula 5/2 es controlar el avance y retroceso de un cilindro de doble efecto, en una posición de la válvula el cilindro avanza y en la otra retrocede. En una posición de trabajo la salida 2 tiene aire mientras que la 4 está conectada al escape 5, en la posición contraria la salida 4 tiene aire mientras que la salida 2 está conectada al escape 3 [24].

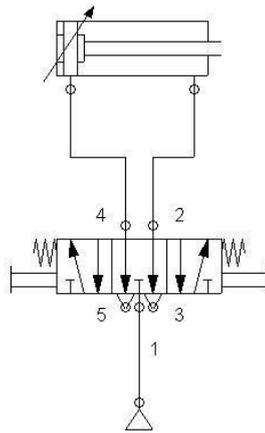
- Válvula 5/3

Además de las funciones de la válvula 5/2, tiene las funciones añadidas de la tercera posición, Figura 1.34. Habitualmente las formas constructivas de la tercera posición, implican el bloqueo del cilindro por bloqueo de sus cámaras, o la puesta a escape de las dos cámaras del cilindro, para permitir moverlo libremente sin presión [24].



- 1.- Entrada de aire
- 2 y 4.- Salida de aire al pistón
- 3 y 5.- Escape de aire

Figura 1.33 Ejemplo de válvula 5/2, adaptada de [24]



- 1.- Entrada de aire
- 2 y 4.- Salida de aire al pistón
- 3 y 5.- Escape de aire

Figura 1.34 Ejemplo de válvula 5/3, adaptada de [24]

CAPÍTULO II

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

En el presente capítulo se detallan los requerimientos del cliente, la función de calidad QFD para el análisis y selección de alternativas, conjuntamente con los criterios de ponderación y las conclusiones relacionadas.

El QFD es un método que busca satisfacer los deseos de los clientes (voz del usuario), en su totalidad, traduciendo estos, en requerimientos técnicos. Este método fue utilizado por primera vez en el 1972 en Japón [25], y posteriormente fue introducido a Estados Unidos, hoy en día es muy utilizado en grandes empresas a nivel mundial. A través de esta información se realiza el proyecto como se describe posteriormente.

2.1 CASA DE LA CALIDAD

La casa de la calidad es una matriz la cual traduce la voz del usuario o cliente, en los requerimientos técnicos de dicho producto y consta de 6 pasos.

- **Voz del Usuario:**
Se describe las demandas del cliente.
- **Análisis de competitividad:**
El usuario o cliente define el grado de satisfacción de sus clientes, en cuanto a sus productos o servicios con respecto a los de la competencia.
- **Voz del ingeniero:**
Se describe las exigencias técnicas para satisfacer la voz del usuario.
- **Correlaciones:**
Correlaciona la voz del usuario con la voz del ingeniero

- Comparación técnica:
Es una comparación del producto con el ofrecido por la competencia.
- Compromisos técnicos:
Establece los compromisos potenciales entre los requerimientos técnicos.

2.1.1 VOZ DEL USUARIO

En el desarrollo de la QFD los requerimientos de los clientes son la base de todo proceso de diseño de un producto o servicio. Estos requerimientos se los puede obtener mediante una lluvia de ideas de los usuarios o basándose en lo que el cliente desea, considerando que el cliente tiene determinados los requerimientos.

2.1.1.1 Demandas básicas

Son aquellas demandas las cuales por ser muy obvias no son mencionadas por el o los usuarios, a pesar de esto cuando no se cumplen causan malestar. ESMC demanda:

- Rehabilitar el puente de lavado, el cual se encuentra obsoleto.

NOTA: No se considera costos, número de vehículos por día, mercado objetivo, ya que el cliente solo desea rehabilitar el puente de lavado para verlo funcionar.

2.1.1.2 Demandas unidimensionales

Son demandas con las cuales la satisfacción del cliente va aumentando proporcionalmente. En esta ocasión ESMC demanda:

- Disminuir el consumo de agua (no hay datos del consumo original).

- Que el puente de lavado sea fácil de usar.
- Lavar sin dañar al vehículo.
- Dejar limpia la carrocería.
- Que el cepillo horizontal no ocasione daños en la parte superior del vehículo.
- Que los cepillos verticales sigan el perfil del vehículo.

2.1.1.3 Demandas estimulantes

- Que sea novedoso.
- Que lave rápido.
- Que el lavado incluya encerado.

2.1.1.4 Análisis de la competencia

“A continuación, hay que plantear al grupo de usuarios las tres preguntas siguientes sobre el análisis de la competencia en relación con cada demanda:

- ¿Qué importancia tiene para usted su cumplimiento?
- ¿En qué grado los productos de la empresa la cumplen?
- ¿En qué grado los productos de la competencia la cumplen?

Una vez obtenidas estas respuestas, mostradas en la Tabla 2.1, (evaluadas generalmente de 1 a 5, 1 poco importante y 5 muy importante), los datos se compilan y los resultados se introducen en la casa de la calidad” [25].

La Tabla 2.1 denota la importancia de las 10 demandas versus las 3 preguntas estipuladas en la teoría del método ordinal corregido de criterios ponderados utilizado.

Tabla 2.1 Demandas Vs Preguntas (Voz del usuario)

Demandas Preguntas	Rehabilitar el puente de lavado.	Disminuir el consumo de agua	Que sea fácil de usar	Lavar sin dañar al	Dejar limpia la	Que el cepillo horizontal no ocasione daños	Que los cepillos verticales sigan el perfil	Que sea novedoso.	Que lave rápido	Que el lavado incluya encerado
¿Qué importancia tiene para usted su cumplimiento?	5	4	5	5	5	5	5	4	4	3
¿En qué grado los productos de la empresa la cumplen?	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1
¿En qué grado los productos de la competencia la cumplen?	5	3	2	4	3	4	4	3	3	3

2.1.2 VOZ DEL INGENIERO

La voz del ingeniero es el paso más importante para el desarrollo de la casa de la calidad, este consta en poner las demandas dadas por los clientes en características técnicas del producto, Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Voz del usuario Vs Voz del ingeniero

Voz del usuario		Voz del ingeniero
Rehabilitar el puente de lavado, el cual se encuentra obsoleto.		Modernización del sistema de control
Disminuir el consumo de agua (no hay datos originales).		Optimizar el proceso
Que la máquina sea fácil de usar.		HMI amigable al usuario
Lavar sin dañar al vehículo.		Sensar el vehículo
Dejar limpia la carrocería.		Calidad
Que el cepillo horizontal no ocasione daños en la parte superior al vehículo.		Sensar la presión del cepillo horizontal
Que los cepillos verticales sigan el perfil del carro.		Sensar cepillos horizontales
Que sea novedoso.		Innovador
Que lave rápido.		Tiempo de lavado
Que el lavado incluya encerado.		Encerar

2.1.3 DESARROLLO DE LA CASA DE LA CALIDAD

El desarrollo de la matriz QFD o casa de la calidad se observa en el ANEXO A.

2.1.4 ANÁLISIS Y CONCLUSIONES DE LA CASA DE LA CALIDAD

Como se muestra en la Figura 2.1 la principal demanda que hay que solucionar para el cliente es el rehabilitar el puente de lavado, así mismo en la Figura 2.2 el resultado indica que el principal parámetro de diseño es modernizar el sistema de control del puente de lavado y posteriormente el sensar la presencia del vehículo.

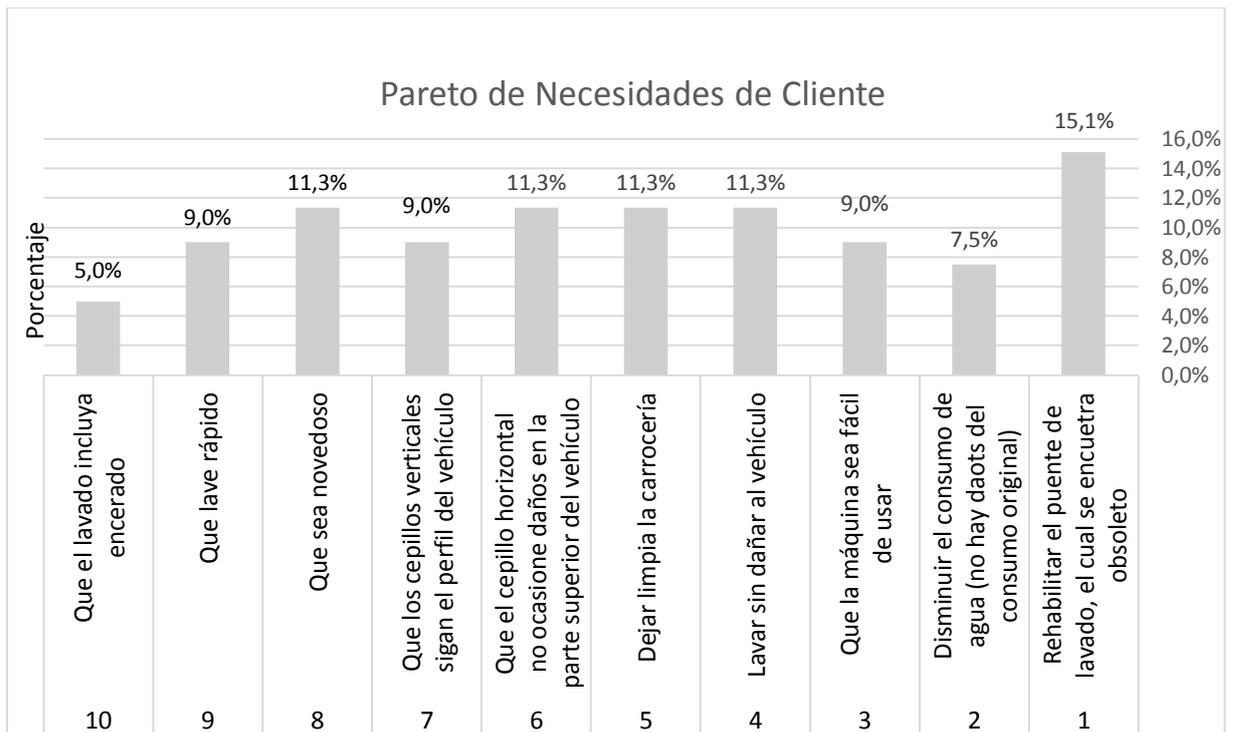


Figura 2.1 Necesidades de Cliente arrojadas por la Casa de la Calidad

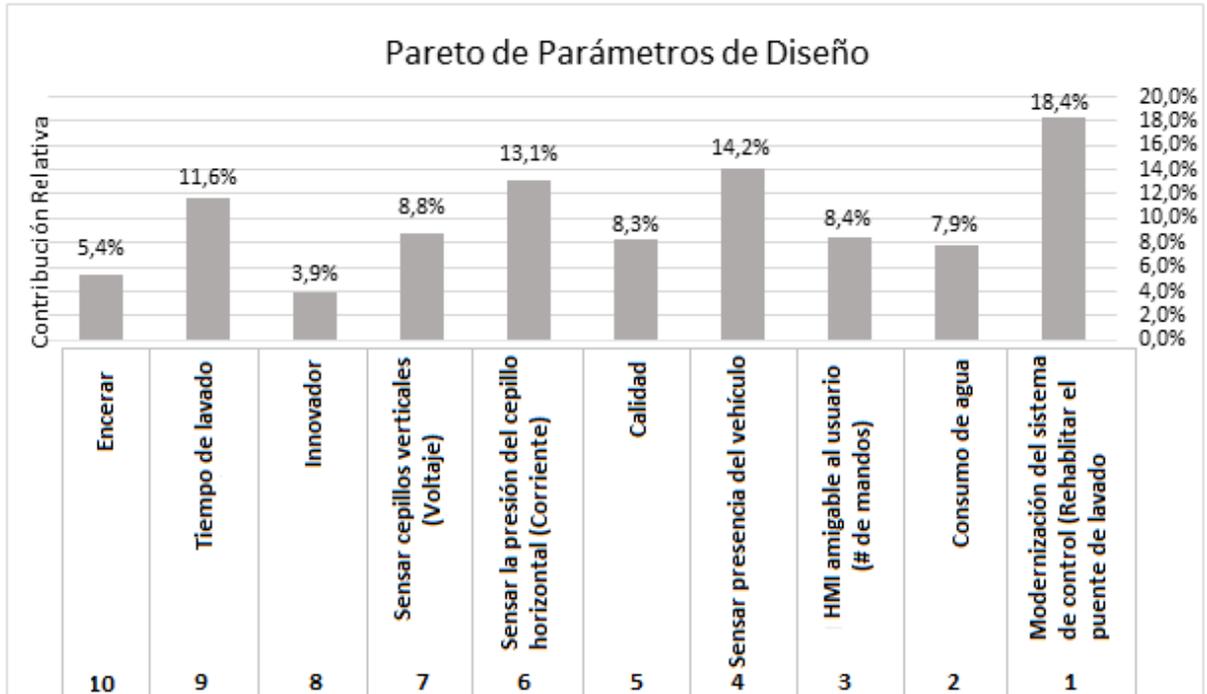


Figura 2.2 Parámetros de Diseño arrojados por Casa de la Calidad

2.2 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

El análisis y selección de alternativas posibilita la correcta selección de alternativas para la solución de problemas, mediante matrices que otorgan un criterio técnico y concreto para realizar esta tarea.

2.2.1 FORMULACIÓN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Después del estudio realizado previamente por la ESTACIÓN DE SERVICIO MOBIL CENTRAL, se realiza la modernización del sistema de control y modificación del proceso de lavado y encerado del puente de lavado automático para buses, esta idea es discutida por el cliente y por el desarrollador del proyecto para establecer la especificación técnica. Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Formulario de especificaciones técnicas

Empresa: ESTACIÓN DE SERVICIO MOBIL CENTRAL		Producto: Re modernizar el puente de lavado		Fecha inicial: 10/10/2014	
Diseñador: Patricio Cueva J.				Última revisión: 03/01/2016	
				Página 1	
Concepto	Fecha	propone	R/D	Descripción	
Función	15/10/2014	C	R	La lavadora tiene que volver a operar	
Función	15/10/2014	C	R	Eliminar el secado y lavado de chasis	
Función	20/11/2014	C	R	Que la máquina sea fácil de controlar	
Función	20/11/2014	C	R	Lavar sin dañar el vehículo	
Función	20/11/2014	C	R	El cepillo horizontal no debe ejercer mucha presión sobre el vehículo.	
Función	20/11/2014	C	R	Los cepillos verticales tiene que seguir el perfil del vehículo	
Función	20/11/2014	C	R	Que sea novedoso	
Función	20/11/2014	C	R	Que lave rápido	
Mantenimiento	10/12/2014	C	R	El mantenimiento tiene que ser fácil	
Desarrollo	18/12/2014	D	NR	Cambiar el sistema de control	
Desarrollo	18/12/2014	D	NR	Cambiar el cableado original	
Desarrollo	18/12/2014	D	NR	Reparar los sistemas mecánicos	
Desarrollo	06/01/2015	D	NR	Montar cepillo horizontal	
Desarrollo	18/12/2014	D	NR	Reparar bombas de agua	
Desarrollo	15/01/2015	D	NR	Dar mantenimiento al sistema neumático	
Desarrollo	20/01/2015	D	NR	Cambiar empaques de pistones, y electroválvulas	
Desarrollo	20/01/2015	D	NR	Identificar el cableado de potencia	
Diseño	21/01/2015	D	NR	Diseñar sistema de control	
Desarrollo	04/03/2015	D	NR	Realizar pruebas de motores	
Desarrollo	11/03/2015	D	NR	Realizar el cableado de control	
Desarrollo	05/05/2015	D	NR	Realizar pruebas de motores	
Desarrollo	12/05/2015	D	NR	Desarrollar el programa	
Donde Propone:					
C = Cliente		M = Marketing		D = Diseño	
Donde R/D (Requerimientos o Deseo)					
R = Requerimiento	MR = Modificación de requerimiento	NR = Nuevo requerimiento	D = Deseo	MD = Modificación de deseo	ND = Nuevo deseo

2.2.2 DISEÑO CONCEPTUAL

Se entiende como proyecto de variante de producto, aquél en que todo o una parte de un producto debe ser resuelto de una forma creativa, tan solo implica la variación de las dimensiones o de su sistema de control, sin que existan cambios significativos de funcionamiento ni de la función. La etapa de diseño conceptual es mínima, mientras que el peso recae en las etapas de diseño de materialización y de detalle [25].

2.2.2.1 Análisis funcional

El análisis funcional es una gran ayuda para establecer la estructura modular de un producto o sistema. El despliegue de las diferentes funciones y de los flujos que las interconectan, componen el marco de referencia a la que cualquier solución de la estructura modular debe satisfacer. [25]

La estructura funcional se puede desplegar en diferentes niveles, el nivel 0, como se ve en la Figura 2.3, representa la tarea global que debe realizar el producto final. Una vez definido el nivel 0 se crean los siguientes niveles, desplegando las funciones y creando nuevos módulos, como se puede ver en la Figura 2.4.

Nivel 0

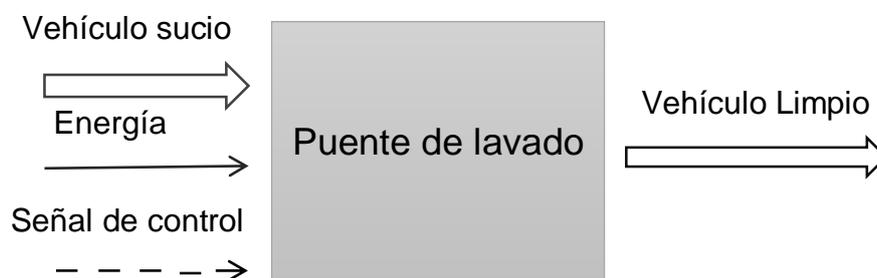


Figura 2.3 Análisis funcional Módulo nivel 0

Nivel 1

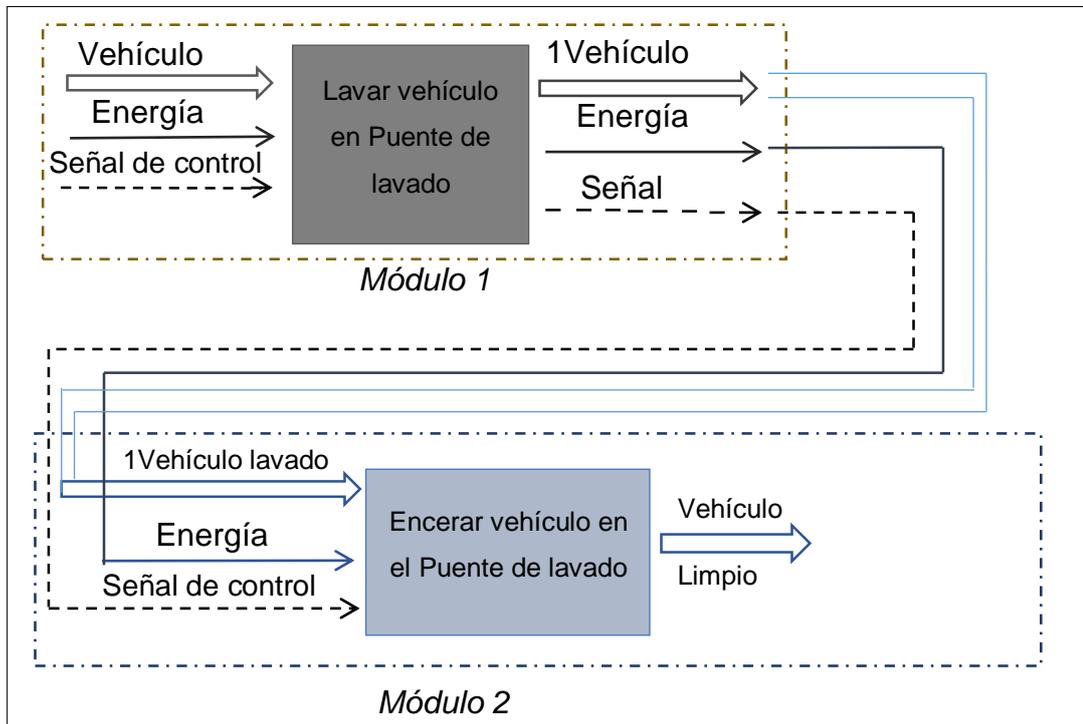


Figura 2.4 Análisis funcional Módulos nivel 1

2.2.2.2 Definición de módulos funcionales

La estructura modular ayuda a especificar cada función y los pasos para lograr llegar a la función global.

- *Módulo 1, Lavado del vehículo*

El módulo 1 se basa en realizar el primer recorrido del puente de lavado lavando el vehículo y se tienen las siguientes actividades:

- Mover el puente de lavado al inicio del recorrido.
- Encender las bombas de agua y de jabón para vehículos.
- Encender los cepillos.
- Recorrer todo el vehículo lavándolo, manteniendo los cepillos sobre la carrocería, sin producir daños en él.

- *Módulo 2, Encerado del vehículo*

El módulo 2 se basa en realizar el segundo recorrido del puente de lavado “encerando el vehículo” y se tienen las siguientes actividades:

- Invertir la dirección del recorrido de la máquina.
- Encender las bombas de agua y de cera líquida para vehículos.
- Invertir el sentido de rotación de los cepillos.
- Recorrer todo el vehículo encerándolo, manteniendo los cepillos sobre la carrocería, sin producir daños en él.

2.2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE POSIBLES SOLUCIONES PARA LOS MÓDULOS 1 Y 2

En esta sección se analizarán las ventajas y desventajas de las posibles soluciones para el desarrollo del proyecto, Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Ventajas y Soluciones de las posibles soluciones para el desarrollo del proyecto

	Solución	Ventajas	Desventajas
Sistema de control del puente de lavado	Reparar el sistema de control original	<ul style="list-style-type: none"> - Mantener el sistema Original 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de control obsoleto - Elementos no identificables - Elementos de control en mal estado - Planos eléctricos ilegibles
	Uso de PLC	<ul style="list-style-type: none"> - Equipo muy robusto - Permite hacer modificaciones al proceso de una manera sencilla - Sistema Moderno y Modular - Gran capacidad de memoria (4096 Bytes). 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto costo

Continúa

	Solución	Ventajas	Desventajas
Protección de salidas del PLC	Placa relés para proteger las salidas del PLC	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo - Protege a las salidas del PLC - Los relés son opto-acoplados - 16 relés por placa 	<ul style="list-style-type: none"> - Accionamiento a 5 VDC
	Solución	Ventajas	Desventajas
Sistema de apertura de los cepillos verticales	Electroválvula neumática 5/3, centro cerrado	<ul style="list-style-type: none"> - Funciona para pistón doble efecto - Puede detener el cilindro neumático y mantenerlo en esa posición - Permite abrir o cerrar el pistón cuando esté sin presión de aire 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo elevado - No hay mucho stock en el mercado actual
	Electroválvula neumática 5/2	<ul style="list-style-type: none"> - Funciona para pistón doble efecto - Numeroso stock en el mercado actual 	<ul style="list-style-type: none"> - Una vez activada el pistón se abre o cierra completamente
	Solución	Ventajas	Desventajas
Sistema para sensar la presión que ejerce el cepillo	Sensor de corriente efecto Hall (Sensor cepillo horizontal)	<ul style="list-style-type: none"> - Excelente precisión. - Muy buena linealidad - Alta inmunidad externa - Existente en el mercado 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere fuente de 15 VDC - Requiere hacer una analogía entre corriente y distancia, para saber cuánta presión ejerce el cepillo horizontal sobre el vehículo
	Sensor láser 2D de perfil (Sensor cepillo horizontal)	<ul style="list-style-type: none"> - Excelente resolución, de 3 um - Muy buena linealidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilización de software. - Alto costo. - Solamente bajo pedido.
	Sensor de distancia láser (Sensor cepillo horizontal)	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño compacto - Procesamiento digital de valores de medidas - Salida analógica RS 232 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto costo - Solamente bajo pedido

2.2.3.1 Sentido de rotación del cepillo horizontal

El sentido de rotación del cepillo horizontal involucra una gran cantidad de detalles en el proceso de lavado y encerado con respecto al perfil superior del vehículo, se analizan las dos opciones posibles a continuación.

- *Zona de contacto con el vehículo, a favor del movimiento del puente de lavado*

En este sentido de rotación, Figura 2.5, el cepillo ejerce una menor presión sobre el vehículo cuando este entra en contacto con una pendiente en el perfil superior del vehículo, su rotación ayuda al movimiento vertical ascendente reduciendo su efectividad en cuanto a la limpieza, además causa otros efectos como:

- Dobra hacia delante las antenas.
- No dobla la placa delantera.
- Alza las plumas cuando el cepillo pasa sobre ellas.
- El agua sucia es lanzada a la parte ya lavada del vehículo.



Figura 2.5 Sentido de rotación del cepillo horizontal a favor del movimiento del puente de lavado, adaptada de [26]

- Zona de contacto con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado

En este sentido de rotación, Figura 2.6, el cepillo ejerce una mayor presión sobre el vehículo ya que su rotación lo impulsa hacia abajo cuando este entra en contacto con una pendiente del perfil superior del vehículo.

- No dobla las antenas.
- Dobla la placa delantera cuando el vehículo es muy alto.
- No alza las plumas cuando el cepillo pasa sobre ellas.
- El agua sucia es lanzada a la parte aún sucia del vehículo.
-



Figura 2.6 Sentido de rotación del cepillo horizontal en contra del movimiento del puente de lavado, adaptada de [26]

2.2.3.2 Sentido de rotación de los cepillos verticales

Este es uno de las principales consideraciones que hay que tomar en cuenta para un puente de lavado debido a que involucra el perfil lateral de los vehículos a lavar, y conlleva muchos efectos en el lavado y cuidado del vehículo.

- *Zona de contacto con el vehículo a favor del movimiento del puente de lavado*

Esta opción de rotar los cepillos, Figura 2.7, ayuda a la apertura de los mismos cuando entran en contacto con el vehículo pero causa los siguientes efectos:

- El agua sucia es lanzada hacia la parte lavada del vehículo.
 - Los espejos se abren cuando los cepillos pasan sobre ellos.
 - Las antenas situadas a los costados son dobladas.
 - Cuando pasan sobre las llantas son forzados hacia la parte posterior del vehículo.
- *Zona de contacto con el vehículo en contra del movimiento del puente de lavado*

En este sentido de rotación, Figura 2.8, se dificulta la apertura de los cepillos cuando entran en contacto con la parte frontal del vehículo y causa los siguientes efectos:

- EL agua sucia es lanzada hacia la parte no lavada del vehículo.
- Las antenas no son dobladas.
- Cuando pasan los cepillos sobre las llantas son forzados hacia la parte frontal del vehículo.

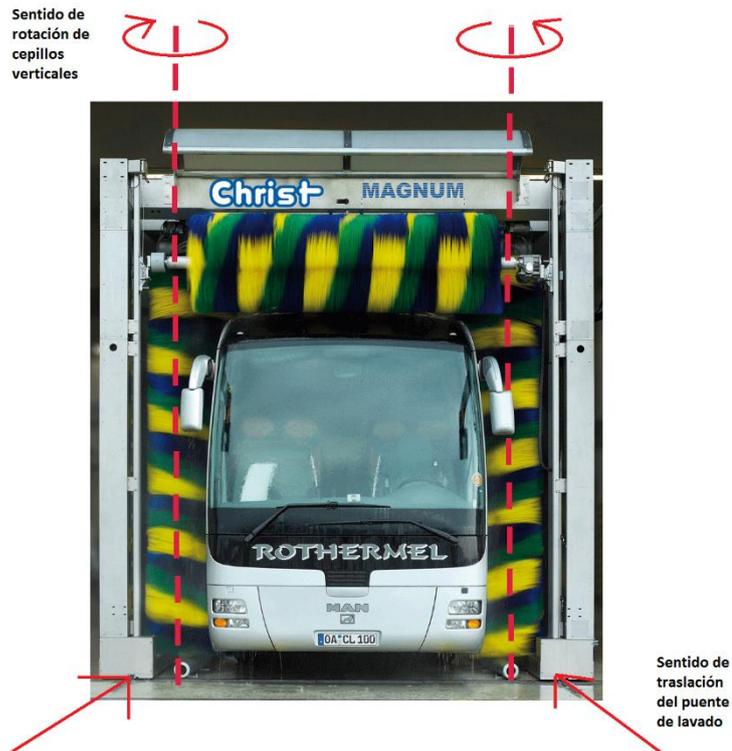


Figura 2.7 Sentido de rotación de los cepillos verticales a favor del movimiento del puente de lavado, adaptada de [26]

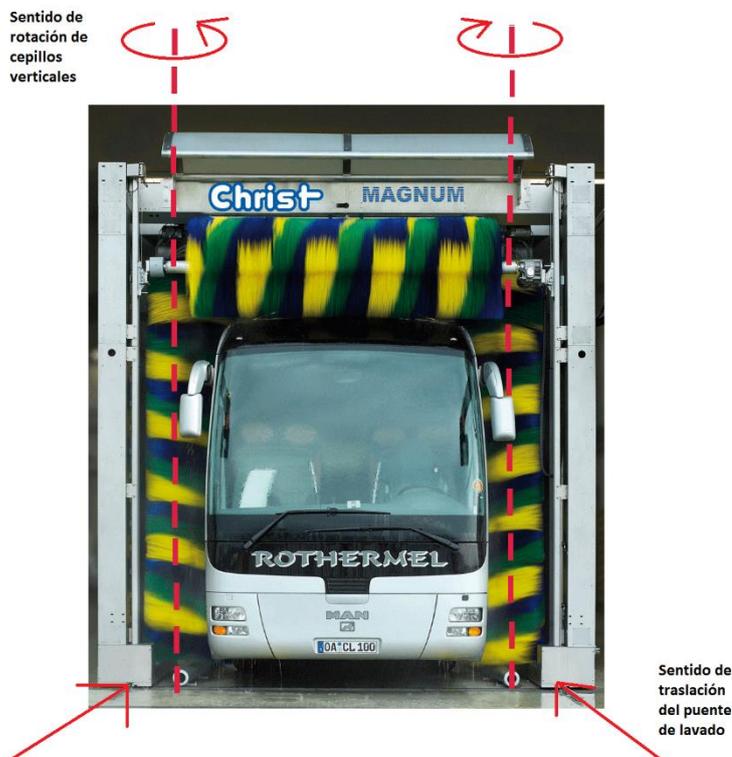


Figura 2.8 Sentido de rotación de los cepillos verticales en contra del movimiento del puente de lavado, adaptada de [26]

2.2.4 MATRIZ MORFOLÓGICA

“Es una técnica combinatoria de ideación creativa consistente en descomponer un concepto o problema en sus elementos esenciales o estructuras básicas. Con sus rasgos o atributos se construye una matriz que nos permitirá multiplicar las relaciones entre tales partes. Así pues, en su forma más básica, el Análisis Morfológico no es más que la generación de ideas por medio de una matriz.” [26]. En el ANEXO B se desarrolla la matriz morfológica que consta de todas las posibles soluciones principales para el desarrollo del proyecto, esta matriz presenta un total de 24 posibles soluciones, posteriormente se escoge la mejor opción mediante matrices de ponderación.

2.2.5 MATRICES DE PONDERACIÓN

En cada etapa del proceso de diseño, posterior al desarrollo de diferentes alternativas, es necesario realizar una evaluación para tomar las decisiones correctas y técnicamente evaluadas, ponderando varios criterios que implican juicios de valor. Para tomar una decisión siempre deben estar presentes los dos elementos siguientes:

- Alternativas:
Como mínimo tiene que disponerse de dos alternativas (lo más recomendable es entre 3 y 6) cuyas características deben ser diferentes.
- Criterios:
Hay que establecer los criterios en base a los cuales las alternativas deberán ser evaluadas, así como también la ponderación relativa existente entre ellas.

Para decidir entre diversas soluciones (especialmente en la etapa de diseño conceptual) basta conocer el orden de preferencia de su evaluación global. Es por ello que utiliza el método ordinal corregido de criterios ponderados que, sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite obtener resultados globales suficientemente significativos.

Se basa en unas tablas donde cada criterio (o solución) se confronta con los restantes criterios (o soluciones) y se asignan los valores siguientes:

“1 Si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor; >) que el de las columnas
 0,5 Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente (=) al de las columnas
 0 Si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor; <) que el de las columnas
 Luego, para cada criterio (o solución), se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) al que se le añade una unidad, para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula; después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio (o solución). Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio”
 [25]

2.2.5.1 Evaluación del peso específico de los criterios estipulados

En esta sección se analizará los criterios mencionados en la tabla 2.5, y su importancia en el sistema, esto ayuda en la selección de alternativas para escoger la mejor opción.

Tabla 2.5 Ponderación de criterios

Ponderación de Criterios; Funcionalidad = Robustez > fácil mantenimiento > Costo.

Criterios	Funcionabilidad	Robustez	fácil mantenimiento	Costo	Suma+1	Ponderación
Funcionabilidad	-	0,5	1	1	3,5	0,35
Robustez	0,5	-	1	1	3,5	0,35
fácil mantenimiento	0	0	-	1	2	0,2
Costo	0	0	0	-	1	0,1
				SUMA	10	1

Esta ponderación da como resultado, que la funcionalidad y robustez son los criterios con mayor peso, posteriormente viene el fácil mantenimiento y como último, el costo.

2.2.5.2 Evaluación de las posibles soluciones de electroválvulas

- Funcionalidad

Para evaluar las soluciones en base a este criterio de funcionalidad, se analizó minuciosamente el proceso y los posibles efectos que tendrían estas soluciones en el mismo, tanto la apertura de los cepillos y como el frenar la misma en un momento determinado para proteger con certeza al vehículo, Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Ponderación de electroválvulas bajo el criterio de funcionalidad

Soluciones	electroválvula 5/2	electroválvula 5/3	Suma+1	Ponderación
electroválvula 5/2	-	0	1	0,333333333
electroválvula 5/3	1	-	2	0,666666667
		SUMA	3	1

Esta tabla de ponderación da como resultado que la electroválvula 5/3 con centro cerrado tiene una mayor funcionalidad para el desarrollo de este proyecto.

- Robustez

Para analizar la robustez de las electroválvulas se toma en cuenta datos del fabricante en cuanto a garantías, tabla 2.7.

Tabla 2.7 Ponderación de electroválvulas bajo el criterio de robustez

Soluciones	electroválvula 5/2	electroválvula 5/3	Suma+1	Ponderación
electroválvula 5/2	-	0,5	1,5	0,5
electroválvula 5/3	0,5	-	1,5	0,5
		SUMA	3	1

La ponderación dice que los dos tipos de electroválvulas poseen la misma robustez.

- **Fácil mantenimiento**

Para evaluar las electroválvulas bajo el criterio de fácil mantenimiento, se tomó en cuenta la facilidad de encontrar una electroválvula nueva en el mercado, tabla 2.8.

Tabla 2.8 Ponderación de electroválvulas bajo el criterio de fácil mantenimiento

Soluciones	electroválvula 5/2	electroválvula 5/3	Suma+1	Ponderación
electroválvula 5/2	-	0,5	1,5	0,5
electroválvula 5/3	0,5	-	1,5	0,5
		SUMA	3	1

Debido a que son electroválvulas comerciales y comunes en el mercado, la matriz de ponderación da un peso equivalente para ambas opciones.

- **Bajo costo**

Se realiza la ponderación bajo el criterio de bajo costo, Tabla 2.9, de acuerdo a cotizaciones obtenidas en locales comerciales destinados a la venta de este tipo de productos.

Tabla 2.9 Ponderación de electroválvulas bajo el criterio de Costo

Soluciones	electroválvula 5/2	electroválvula 5/3	Suma+1	Ponderación
electroválvula 5/2	-	1	2	0,666666667
electroválvula 5/3	0	-	1	0,333333333
		SUMA	3	1

De acuerdo a esta ponderación la electroválvula 5/2 tiene un mayor peso en este criterio debido que ésta se encuentra a un menor precio en el mercado.

- **Resultado total de las ponderaciones de las electroválvulas**

En la tabla 2.10 se realiza la sumatoria de las ponderaciones realizadas anteriormente, para de esta manera obtener cual es la mejor alternativa en cuanto a electroválvulas.

Tabla 2.10 Ponderación de la solución de las electroválvulas

Soluciones	Funcionabilidad	Robustez	fácil mantenimiento	Costo	Suma
electroválvula 5/2	0,11666667	0,175	0,1	0,066666667	0,458333333
electroválvula 5/3	0,233333333	0,175	0,1	0,033333333	0,541666667
				SUMA	1

La tabla 2.10 denota un resultado el cual otorga el mayor peso o mejor opción a la electroválvula 5/3.

2.2.5.3 Evaluación de las posibles soluciones para sensar el cepillo horizontal

Para realizar las ponderaciones para el sensor del cepillo horizontal, el cual tiene como objetivo único controlar la presión que ejerce el cepillo horizontal sobre el perfil superior del vehículo, ya sea midiendo una distancia específica entre el cepillo y el vehículo o midiendo la corriente que consume el cepillo al entrar en contacto con el vehículo se toma en cuenta varios factores como:

- *La facilidad de colocar el sensor*

Esto involucra si hay que diseñar algún elemento donde colocar el sensor para que este de una correcta lectura, como diseñar alguna clase de soporte para el mismo.

- *Que tan expuesto puede estar*

Se refiere a que hay que analizar dependiendo de dónde se coloque el sensor la cantidad de agua, jabón y cera que puede recibir este sin afectar a su

correcta lectura, además que tan cerca de las cerdas del cepillo puede estar sin que estas produzcan interferencia.

- *La distancia a la que tiene que colocarse el sensor del controlador*

Dependiendo del sensor hay que colocar amplificadores de la señal emitida cuando se encuentran a una distancia considerable del controlador.

- *Uso de memoria en el controlador*

Dependiendo de la ubicación del sensor por las consideraciones antes mencionadas, hay que tomar en cuenta que en el caso de utilizar un sensor de distancia este tiene que estar colocado antes de que pase el cepillo sobre el vehículo, se tiene que guardar en memoria del PLC los datos obtenidos de distancia, para que de acuerdo a la velocidad de avance del puente de lavado el cepillo siga correctamente el perfil del vehículo, esto genera la necesidad de tener un feedback de la posición del puente de lavado aumentando la necesidad de un sensor adicional que sense la ubicación de este.

- **Funcionalidad**

En este caso se toman en cuenta los aspectos antes mencionados, los cuales influyen de una gran manera en el criterio de funcionalidad, y se pondera en la tabla 2.11.

Tabla 2.11 Ponderación del sensor para el cepillo horizontal bajo el criterio de Funcionalidad

Soluciones	Sensor de efecto Hall	Sensor láser 2D, de perfil	Sensor láser de distancia	Suma+ 1	Ponderación
Sensor de efecto Hall	-	1	0,5	2,5	0,416666667
Sensor láser 2D, de perfil	0	-	1	2	0,333333333
Sensor láser de distancia	0,5	0	-	1,5	0,25
			SUMA	6	1

Como se observa en los resultados de la tabla, el sensor de efecto Hall es la mejor opción para el criterio de funcionalidad.

- Robustez

Para ponderar bajo este criterio se toma en cuenta los datos proporcionados por los fabricantes en los datasheets en relación a ciertas situaciones ambientales, tanto de humedad, polvo y espuma a las que pueden estar expuestos. Tabla 2.12.

Tabla 2.12 Ponderación del sensor para el cepillo horizontal bajo el criterio de Robustez

Soluciones	Sensor de efecto Hall	Sensor láser 2D, de perfil	Sensor láser de distancia	Suma+1	Ponderación
Sensor de efecto Hall	-	0,5	0,5	2	0,333333333
Sensor láser 2D, de perfil	0,5	-	0,5	2	0,333333333
Sensor láser de distancia	0,5	0,5	-	2	0,333333333
			SUMA	6	1

Las referencias de los sensores a ponderar fueron de las mejores marcas, dando como resultado una igualdad en cuanto a su robustez como lo muestra la tabla anterior.

- Fácil mantenimiento

Al igual que en las electroválvulas para ponderar bajo este criterio, Tabla 2.13, se tomó en cuenta la disponibilidad del sensor en el mercado.

Tabla 2.13 Ponderación del sensor para el cepillo horizontal bajo el criterio de fácil mantenimiento

Soluciones	Sensor de efecto Hall	Sensor láser 2D, de perfil	Sensor láser de distancia	Suma+1	Ponderación
Sensor de efecto Hall	-	1	0,5	2,5	0,416666667
Sensor láser 2D, de perfil	0	-	0	1	0,166666667
Sensor láser de distancia	0,5	1	-	2,5	0,416666667
			SUMA	6	1

Como se observa en los resultados tanto el sensor de efecto Hall y sensor de distancia láser, hay en el mercado por lo que los dos tienen el mismo peso bajo el criterio de un fácil mantenimiento.

- **Bajo costo**

Para la evaluación de este criterio se obtuvo cotizaciones vía online, y se sumó un valor tentativo de los costos que involucraría la colocación del sensor, Tabla 2.14.

Tabla 2.14 Ponderación del sensor para el cepillo horizontal bajo el criterio de Costo

Soluciones	Sensor de efecto Hall	Sensor láser 2D, de perfil	Sensor láser de distancia	Suma+1	Ponderación
Sensor de efecto Hall	-	1	1	3	0,461538462
Sensor láser 2D, de perfil	0	-	0,5	1,5	0,230769231
Sensor láser de distancia	0	1	-	2	0,307692308
			SUMA	6,5	1

En este caso el sensor de efecto Hall es la mejor opción en cuanto al criterio de bajo costo ya que para este no hay que implementar un sistema de sujeción, y el costo del sensor en si es más económico.

- **Evaluación del peso específico de los criterios estipulados**

En la tabla 2.15 se realiza la sumatoria de los valores de las ponderaciones relacionadas, al sensor del cepillo horizontal, dando como resultado que la mejor opción es utilizar el sensor de efecto Hall, este fue el mejor ponderado de los tres sensores escogidos.

Tabla 2.15 Ponderación de la solución del sensor del cepillo horizontal

Soluciones	Funcionabilidad	Robustez	fácil mantenimiento	Costo	Suma
Sensor de efecto Hall	0,1458333333	0,116667	0,0833333333	0,046153	0,39198717
Sensor láser 2D, de perfil	0,1166666667	0,116667	0,0333333333	0,02302	0,28974359
Sensor láser de distancia	0,0875	0,116667	0,0833333333	0,030769	0,31826923
			SUMA	0,1	1

2.2.5.4 Evaluación de las posibles soluciones para el sentido de rotación del cepillo horizontal

Tomando en cuenta las consideraciones en el capítulo 2 donde se detallan las ventajas y desventajas del sentido de rotación de este cepillo se ponderan las siguientes características.

- Funcionalidad

Para este criterio de funcionalidad se toman en cuenta muchos factores mencionados anteriormente, y los principales son: hacia donde lanza el agua sucia el cepillo y hacia donde protege más al vehículo, Tabla 2.16.

Tabla 2.16 Ponderación del sentido de rotación del cepillo horizontal bajo el criterio de Funcionalidad

Soluciones	Zona de contacto con el vehículo, a favor del movimiento del puente de lavado	Zona de contacto con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado	Suma+1	Ponderación
Zona de contacto con el vehículo, a favor del movimiento del puente de lavado	-	0	1	0,33333333
Zona de contacto con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado	1	-	2	0,66666667
		SUMA	3	1

Como se puede observar si la zona de contacto con el vehículo gira en contra del movimiento de la máquina, Figura 2.6, se protege de mejor manera el vehículo y se obtiene un mejor resultado en su limpieza.

- Robustez

Como es notable la robustez en cualquiera de las dos opciones será la misma, Tabla 2.17.

Tabla 2.17 Ponderación del sentido de rotación del cepillo horizontal bajo el criterio de Robustez

Soluciones	Zona de contacto con el vehículo, a favor del movimiento del puente de lavado	Zona de contacto con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado	Suma+1	Ponderación
<i>Zona de contacto con el vehículo, a favor del movimiento del puente de lavado</i>	-	0,5	1,5	0,5
<i>Zona de contacto con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado</i>	0,5	-	1,5	0,5
SUMA			3	1

- Fácil mantenimiento

De igual manera el mantenimiento en cualquier opción de sentido de giro del cepillo horizontal es exactamente la misma, Tabla 2.18.

Tabla 2.18 Ponderación del sentido de rotación del cepillo horizontal bajo el criterio de Fácil mantenimiento

Soluciones	Zona de contacto con el vehículo, a favor del movimiento del puente de lavado	Zona de contacto con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado	Suma+1	Ponderación
<i>Zona de contacto con el vehículo, a favor del movimiento del puente de lavado</i>	-	0,5	1,5	0,5
<i>Zona de contacto con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado</i>	0,5	-	1,5	0,5
SUMA			3	1

- Bajo Costo

Las dos opciones involucran el mismo costo, de igual manera se pondera en la Tabla 2.19.

Tabla 2.19 Ponderación del sentido de rotación del cepillo horizontal bajo el criterio de Costo

Soluciones	Zona de contacto con el vehículo, a favor del movimiento del puente de lavado	Zona de contacto con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado	Suma+1	Ponderación
Zona de contacto con el vehículo, a favor del movimiento del puente de lavado	-	0,5	1,5	0,5
Zona de contacto con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado	0,5	-	1,5	0,5
SUMA			3	1

- Resultado total de las ponderaciones del sentido de giro del cepillo horizontal

En la tabla 2.20 se pondera las posibles soluciones para el sentido de giro del cepillo horizontal, dando como resultado la mejor opción, La zona de contacto del cepillo con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado.

Tabla 2.20 Ponderación de la solución sentido de rotación del cepillo horizontal

Soluciones	Funcionabilidad	Robustez	fácil mantenimiento	Costo	Suma
Zona de contacto con el vehículo, a favor del movimiento del puente de lavado	0,116666667	0,175	0,1	0,05	0,44166667
Zona de contacto con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado	0,233333333	0,175	0,1	0,05	0,55833333
				Suma	1

2.2.5.5 Evaluación de las posibles soluciones para el sentido de rotación del cepillo vertical

Tomando en cuenta las consideraciones en el capítulo 2 donde se detallan las ventajas y desventajas del sentido de rotación de este cepillo se desarrolla las matrices de ponderación.

- Funcionalidad

Para analizar la funcionalidad, Tabla 2.21, del sentido de giro de los cepillos verticales se toman en cuenta el cuidado elemental a partes salientes del vehículo como: antenas, espejos, faros, guardachoques, etc. Ya que en este tipo de objetos el cepillo se puede enredar y arrancar el objeto del vehículo si se ejerce mucha fuerza.

Tabla 2.21 Ponderación del sentido de rotación del cepillo vertical bajo el criterio de Funcionalidad

Soluciones	Zona de contacto con el vehículo, a favor del movimiento del puente de lavado	Zona de contacto con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado	Suma+1	Ponderación
Zona de contacto con el vehículo, a favor del movimiento del puente de lavado	-	1	2	0,666666667
Zona de contacto con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado	0	-	1	0,333333333
		SUMA	3	1

Como resultado de la ponderación en cuanto a funcionalidad, la mejor opción es que la zona de contacto con el vehículo gira a favor del movimiento del puente de lavado, Figura 2.7.

- **Robustez**

De igual manera que en el caso del cepillo horizontal la robustez es exactamente igual para cualquiera de las dos opciones, se realiza las matrices de ponderación en la Tabla 2.22.

Tabla 2.22 Ponderación del sentido de rotación del cepillo vertical bajo el criterio de Robustez

Soluciones	Zona de contacto con el vehículo, a favor del movimiento del puente de lavado	Zona de contacto con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado	Suma+1	Ponderación
Zona de contacto con el vehículo, a favor del movimiento del puente de lavado	-	0,5	1,5	0,5
Zona de contacto con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado	0,5	-	1,5	0,5
		SUMA	3	1

- **Fácil mantenimiento**

La facilidad de mantenimiento en cualquier opción es la misma. La ponderación se la realiza en la Tabla 2.23.

Tabla 2.23 Ponderación del sentido de rotación del cepillo vertical bajo el criterio de fácil mantenimiento

Soluciones	Zona de contacto con el vehículo, a favor del movimiento del puente de lavado	Zona de contacto con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado	Suma+1	Ponderación
Zona de contacto con el vehículo, a favor del movimiento del puente de lavado	-	0,5	1,5	0,5
Zona de contacto con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado	0,5	-	1,5	0,5
		SUMA	3	1

- **Bajo costo**

Al utilizar cualquiera de las dos opciones mencionadas en la tabla 2.24 el costo se mantiene igual ya que no involucra ningún cambio en el sistema y proceso.

Tabla 2.24 Ponderación del sentido de rotación del cepillo vertical bajo el criterio de Costo

Soluciones	Zona de contacto con el vehículo, a favor del movimiento del puente de lavado	Zona de contacto con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado	Suma+1	Ponderación
Zona de contacto con el vehículo, a favor del movimiento del puente de lavado	-	0,5	1,5	0,5
Zona de contacto con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado	0,5	-	1,5	0,5
SUMA			3	1

- **Resultado total de las ponderaciones del sentido de rotación de los cepillos verticales**

En la tabla 2.25 se observa que la mejor opción es “Zona de contacto con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado”

Tabla 2.25 Ponderación de la solución del sentido de rotación del cepillo vertical

Soluciones	Funcionabilidad	Robustez	fácil mantenimiento	Costo	Suma
Zona de contacto con el vehículo, a favor del movimiento del puente de lavado	0,233333333	0,175	0,1	0,05	0,558333333
Zona de contacto con el vehículo, en contra del movimiento del puente de lavado	0,116666667	0,175	0,1	0,05	0,441666667
				Suma	1

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA PROPUESTA

En el presente capítulo se realiza el diseño de la propuesta para la implementación de un sistema de control nuevo mediante el uso de PLC y las soluciones seleccionadas técnicamente en el capítulo anterior. Para realizar esto se sigue el siguiente proceso:

- Retirar todo el cableado de control del puente de lavado.
- Identificar el cableado de potencia del puente de lavado.
- Comprobar el correcto funcionamiento de cada parte y pieza involucrada.
- Una vez entendido el funcionamiento de cada parte y pieza dimensionar en el proceso los sensores.
- Se dimensiona el PLC y diseña el sistema de control, (programa del PLC).
- Se diseña e implementa el cableado de control, (planos eléctricos).
- Se dimensiona e instala un sistema de dosificación de jabón y cera.

3.1 REMOCIÓN DE LA CONEXIÓN INICIAL DEL CABLEADO DE CONTROL DEL PUENTE DE LAVADO

Como se explica anteriormente el cableado original de control, Figura 3.1, no sirve en lo absoluto, no tiene numeración y la mayoría de elementos electromecánicos se encuentran en mal estado, identificar todo el cableado llevaría mucho tiempo por lo que se tomó la decisión de retirarlo por completo, Figura 3.2, la única parte que se mantiene igual son los contactores que activan el movimiento traslacional del puente de lavado (4 contactores), y los del sistema telescópico del cepillo horizontal.



Figura 3.1 Sistema de control Original

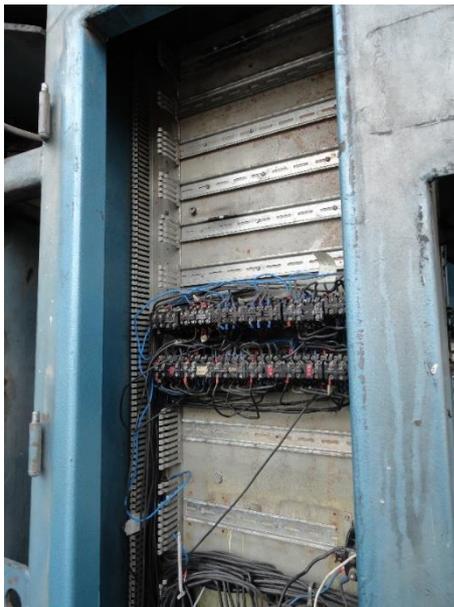


Figura 3.2 Puente de lavado sin sistema de control

3.2 IDENTIFICACIÓN DEL CABLEADO DE POTENCIA DEL PUENTE DE LAVADO

En esta etapa del desarrollo del proyecto se enumera todos los cables de potencia y la regleta de entrada al tablero, Figura 3.3, se enumera, tanto regletas, motores y electroválvulas, en la Tabla 3.1.

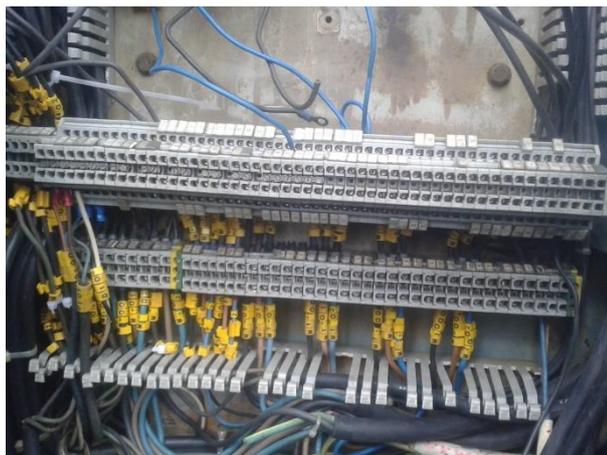


Figura 3.3 Cableado de potencia hasta las regletas

Tabla 3.1 Tabla de actuadores

Enumeración	Parte
M0100/1/2	Motor de traslado derecho
M0200/1/2	Motor de traslado izquierdo
M0300/1/2	Motor para orientación del viento de secado
M0400/1/2	Motor de movimiento traslacional de la secadora
M0500/1/2	Motor de movimiento traslacional del cepillo horizontal
M0600/1/2	Motor de rotación de cepillo horizontal
M0700/1/2	Motor de rotación cepillo izquierdo
M0800/1/2	Motor de rotación de cepillo derecho
M0900/1/2	Dosificador de cera
M01000/1/2	Dosificador de jabón
M0110/1	Electroválvula apertura cepillo izquierdo
M0120/1	Electroválvula apertura cepillo derecho
M0130/1	Electroválvula cerrar cepillo izquierdo
M0140/1	Electroválvula cerrar cepillo izquierdo
M0150/1	Contactador de bomba de agua para carrocería
M016	Solenoide para paso de agua al puente de lavado
M0170/1/2	Motor de turbina de secado 1
M0180/1/2	Motor de turbina de secado 2
M0190/1/2	Motor de turbina de secado 3
M0200/1/2	Motor de turbina de secado 4

3.3 COMPROBACIÓN DEL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS Y ACTUADORES INICIALES

En esta etapa del proyecto se verifica el correcto funcionamiento de cada motor en su propia ubicación, en cuanto a las bombas, estas se desmontan del sitio, Figura 3.4 y se da un mantenimiento, Figura 3.5, de igual manera a los elementos electromecánicos como contactores.

La bomba de agua estaba dedicada a lavar los neumáticos y la misma pasaba encendida durante todo el proceso, no existía ni un sensor para saber cuándo había un neumático para lavarlo, esto produjo un desgaste total en los discos de la bomba los cuales se encuentra deteriorados en un 80%. Debido a que el costo de una bomba de estas características sobrepasa los \$5000.00, el cliente decide no colocar el sistema de lavado de neumáticos, por lo que se diseña el sistema para una posterior implementación. Esta etapa consta de un sensor opto-eléctrico que al detectar la presencia de los neumáticos encienda la bomba por 10 segundos que es lo que el puente de lavado se demora en recorrer 22 pulgadas, (tamaño de aro de llanta comercial más grande para vehículo liviano, y el más común para vehículos pesados). Esto involucraría que si se lavan 3 vehículos livianos o un vehículo pesado por recorrido del puente de lavado el costo por consumo de agua es,

$$.0483 \frac{m^3}{s} * 300s = 14.49m^3 * 0.43 \frac{ctvs}{m^3} = \mathbf{\$6.23/recorrido} \quad [1]$$

Esto significa a \$2.07 por vehículo liviano y \$6.23 por vehículo pesado, ahora si se realiza el encendido de la bomba solo cuando se detecta la presencia de los neumáticos el costo por recorrido sería,

$$.0483 \frac{m^3}{s} * 20s = 0.966m^3 * 0.43 \frac{ctvs}{m^3} = \mathbf{\$0.41/par de ejes} \quad [2]$$

Reduciendo notablemente el consumo de agua por vehículo como se puede ver en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Tabla de optimización del uso de agua

	Tiempo de trabajo de bomba de presión	Número de vehículos livianos lavados	Número de vehículos pesados lavados	Consumo de agua	Costo del agua	Ahorro
Antes	300 s	2	1	14.49m ³	\$6.23	\$0
Ahora	20 s	1	1	0.966m ³	\$0.41	\$5.82

Cuando se comprobó el estado de los contactores, pocos de estos funcionaban correctamente, en algunos casos se les da mantenimiento y otros fueron reemplazados por nuevos elementos.



Figura 3.4 Bomba de presión, para lavado de llantas y chasis



Figura 3.5 Bomba de presión desarmada

3.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

A continuación se detalla el diseño y dimensionamiento de los diferentes elementos del sistema de control a utilizar en el proyecto.

3.4.1 OBTENCIÓN DE DATOS EMITIDOS POR EL SENSOR DE EFECTO HALL

Se procede a obtener los datos del sensor de efecto Hall y del motor para la rotación del cepillo horizontal, ya que “ESTACION DE SERVICIO MOBIL CENTRAL” dio un sensor disponible en stock y del motor no se tiene ni un dato original ni dispone de alguna etiqueta o datasheet para conocer sus características, solo se sabe que funciona a 42 VAC 3 ~, para ello se obtienen los datos mediante un osciloscopio certificado serie **DM9450419** y el **SOFTWARE: FLUKE VIEW SCOPEMETER**, (Figura 3.6), el consumo de corriente del motor dedicado a rotar en el cepillo horizontal, dando como resultado un consumo nominal de 26 A, como lo muestra la Figura 3.7.



Figura 3.6 Toma de datos de consumo de corriente del motor de rotación del cepillo horizontal

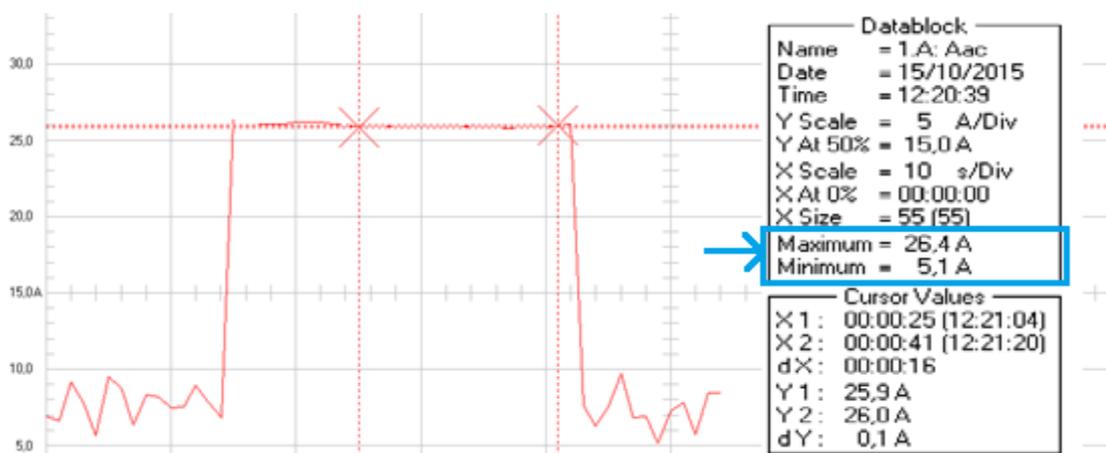


Figura 3.7 Consumo de corriente del motor de rotación del cepillo horizontal

Con estos resultados de las mediciones realizadas, las cuales son la única información que tenemos sobre el motor, se procede a obtener los datos emitidos por el sensor **LEM LA-100 P** [27] dado por ESMC y cuyas características se especifican en la Figura 3.8. Denotando como principal característica el mínimo error de linealidad de este, que es menor al 0.15%.

Electrical data							
I_{PN}	Primary nominal rms current		100	A			
I_{PR}	Primary current, measuring range		0 .. ± 150	A			
R_M	Measuring resistance @		$T_A = 70\text{ °C}$		$T_A = 85\text{ °C}$		
			$R_{M\ min}$	$R_{M\ max}$	$R_{M\ min}$	$R_{M\ max}$	
		with ± 12 V	@ ± 100 A _{max}	0	50	0	42 Ω
			@ ± 120 A _{max}	0	22	0	14 Ω
		with ± 15 V	@ ± 100 A _{max}	0	110	20	102 Ω
	@ ± 150 A _{max}	0	33	20	25 Ω		
I_{SR}	Secondary nominal rms current		50	mA			
K_v	Conversion ratio		1 : 2000				
U_c	Supply voltage (± 5 %)		± 12 .. 15	V			
I_c	Current consumption		10 (@ ± 15 V) + I_s	mA			
Accuracy - Dynamic performance data							
X	Accuracy @ I_{PN} , $T_A = 25\text{ °C}$	@ ± 15 V (± 5 %)	± 0.45	%			
		@ ± 12 .. 15 V (± 5 %)	± 0.70	%			
ϵ_L	Linearity error		< 0.15	%			
I_o	Offset current @ $I_p = 0$, $T_A = 25\text{ °C}$		Typ	Max			
I_{oM}	Magnetic offset current ¹⁾ @ $I_p = 0$ and specified R_M , after an overload of $3 \times I_{PN}$			± 0.10	mA		
I_{oT}	Temperature variation of I_o	- 25 °C .. + 85 °C	± 0.05	± 0.30	mA		
		- 40 °C .. - 25 °C	± 0.10	± 0.50	mA		
t_{rs}	Reaction time		< 500	ns			
t_r	Step response time ²⁾ to 90 % of I_{PN}		< 1	µs			
di/dt	di/dt accurately followed		> 200	A/µs			
BW	Frequency bandwidth (- 1 dB)		DC .. 200	kHz			

Figura 3.8 Características del sensor **LEM LA-100P**

Para obtener los datos reales de la lectura del sensor (Ver Figura 3.9), se coloca el osciloscopio certificado y se obtiene la curva de voltaje de salida del sensor Vs la corriente consumida por el motor de rotación del cepillo horizontal, estando el cepillo presionando con todo su peso sobre una superficie de ancho equivalente al techo de

un automóvil promedio (600 mm aprox). Para de esta manera utilizar un dato real al momento de realizar el programa en el PLC.

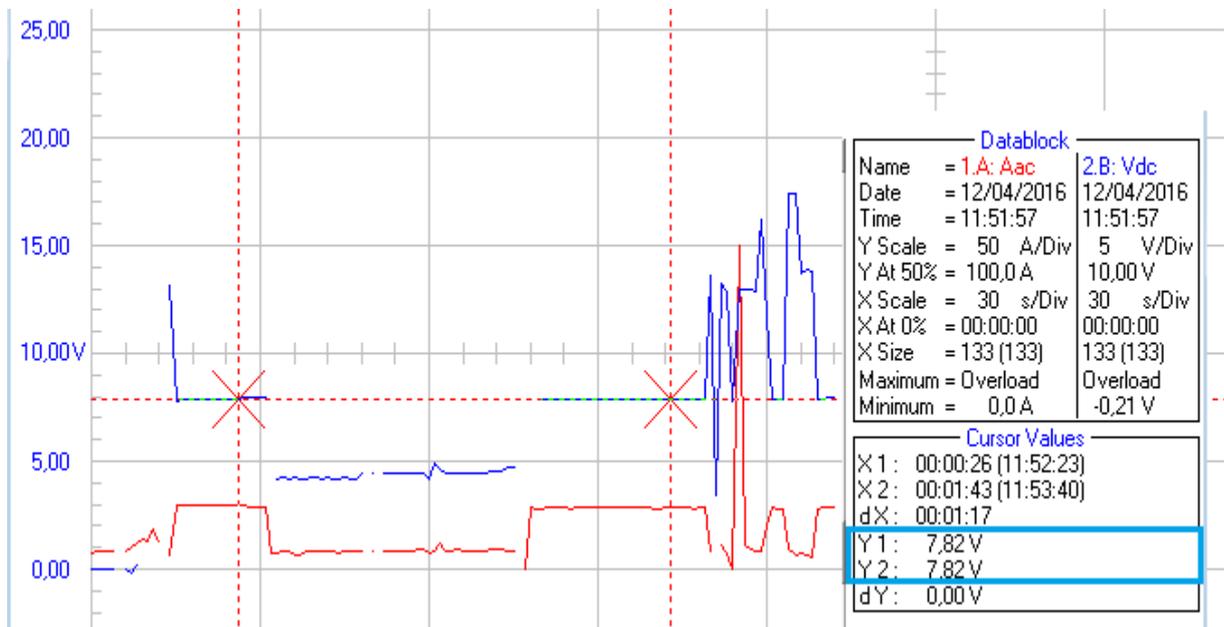


Figura 3.9 Voltaje arrojado por el sensor de corriente Vs la corriente consumida por el motor de rotación del cepillo Horizontal

3.4.2 DIMENSIONAMIENTO DEL PLC Y DESARROLLO DEL PROGRAMA

El sistema eléctrico del Puente de Lavado será controlado por un PLC S7 1200, 1212C, AC/DC/RLY, el cual fue dimensionado de acuerdo al número de salidas y entradas estipuladas en las tablas resumen 3.3 y 3.4, además es el que el cliente desea usar y dispone. El PLC es el encargado de recibir las diferentes señales o entradas, procesarlas de acuerdo a lo programado y ejecutar las acciones en las salidas del PLC activando mediante relés auxiliares a los actuadores correspondientes. En la tabla 3.5 se da un resumen del número de entradas y salidas requerido.

En la siguiente tabla 3.3 se especifican las entradas del PLC.

Tabla 3.3 Entradas de PLC

No.	Denominación	Dispositivo Conectado	Condición a sensar	Voltaje de funcionamiento
1	D100	Fin de carrera conectado a la entrada I0.0	Fin del recorrido del puente de lavado	24VDC
2	D101	Fin de carrera conectado a la entrada I0.1	Inicio del recorrido del puente de lavado	24VDC
3	D102	Fin de carrera conectado a la entrada I0.2	Fin del recorrido cepillo horizontal	24VDC
4	D103	Fin de carrera	Fin inferior del recorrido de la secador	24VDC
5	D104	Fin de carrera	Fin superior del recorrido de la secadora	24VDC
6	D105	Fin de carrera	Cepillo izquierdo inclinado hacia adelante	24VDC
7	D106	Fin de carrera conectado a la entrada I0.6	Cepillo cerrado	24VDC
8	D107	Sensor Óptico 1	Sensor delantero de la secadora	24VDC
9	D108	Sensor Óptico 2	Sensor central de la secadora	24VDC
10	D109	Sensor Óptico 3	Sensor posterior de la secadora	24VDC
11	D202	Fin de carrera conectado a la entrada I1.2	Indicador de que el cepillo horizontal se encuentra en el fin inferior de su recorrido	24VDC
12	D2022	Fin de carrera conectado a la entrada I1.3	Indicador de la mitad del recorrido del cepillo horizontal	24VDC
13	D203	Fin de carrera conectado a la entrada I1.4	Indicador de que el cepillo horizontal esta al final superior de su recorrido	24VDC
14	D204	Fin de carrera conectado a la entrada I0.4	Indicador de que el cepillo derecho esta inclinada hacia atrás	24VDC
15	D205	Fin de carrera conectado a la entrada I0.5	Inclinado hacia delante el cepillo izquierdo	24VDC
16	D30	Sensor de efecto Hall conectado a A0.0	Sensor del cepillo horizontal	Análogo

Tabla 3.4 Tabla de salidas del PLC

No.	Denominación	Dispositivo Conectado	Dispositivo a controlar	Voltaje de Bobina	Voltaje contacto NA.
1	CC1L	Relé auxiliar opto-acoplado conectado a la salida Q2.0	Contactador C1.	12VDC	24VDC
2	CC2L	Relé auxiliar opto-acoplado conectado a la salida Q2.1	Contactador C2.	12VDC	24VDC
3	CC4L	Relé auxiliar opto-acoplado conectado a la salida Q1.0	Contactador C4	12VDC	24VDC
4	C5L	Relé auxiliar opto-acoplado conectado a la salida Q0.0	Contactador C5	12VDC	42VAC
5	C6L	Relé auxiliar opto-acoplado conectado a la salida Q0.1	Contactador C6	12VDC	42VAC
6	CC5L	Relé auxiliar opto-acoplado conectado a la salida Q0.4	Contactador CC5	12VDC	42VAC
7	CC6L	Relé auxiliar opto-acoplado conectado a la salida Q0.5	Contactador CC6	12VDC	42VAC
8	C7L	Relé auxiliar opto-acoplado conectado a la salida Q0.2	Contactador C7	12VDC	42VAC
9	C8L	Relé auxiliar opto-acoplado conectado a la salida Q0.3	Contactador C8	12VDC	42VAC
10	C9L	Relé auxiliar opto-acoplado conectado a la salida Q0.2	Contactador C9	12VDC	42VAC
11	C10L	Relé auxiliar opto-acoplado conectado a la salida Q0.3	Contactador C10	12VDC	42VAC
12	C11L	Relé auxiliar opto-acoplado conectado a la salida Q1.7	Contactador C11L	12VDC	42VAC
13	C12L	Relé auxiliar opto-acoplado conectado a la salida Q1.6	Contactador C12	12VDC	42VAC
14	C16	Relé auxiliar opto-acoplado conectado a la salida Q9.3	Contactador C16	12VDC	42VAC
15	C15L	Relé auxiliar opto-acoplado conectado a la salida Q9.4	Contactador C15	12VDC	42VAC
16	M11L	Relé auxiliar opto-acoplado conectado a la salida Q1.4	Electroválvula neumática M11	12VDC	24VDC
17	M12L	Relé auxiliar opto-acoplado conectado a la salida Q1.3	Electroválvula neumática M12	12VDC	24VDC
18	M13L	Relé auxiliar opto-acoplado conectado a la salida Q1.2	Electroválvula neumática M13	12VDC	24VDC
19	M14L	Relé auxiliar opto-acoplado conectado a la salida Q1.1	Electroválvula neumática M14	12VDC	24 VDC

Tabla 3.5 Salidas y Entradas requeridas

Entradas Digitales	
De acuerdo a tabla 3.4	16
Control remoto.	5
Total requerido	21
Entradas digitales de reserva	16
Entradas Análogas	
Sensor de corriente efecto Hall	1
Total requerido	1
Sobrantes	1
Entradas análogas de reserva	8
Salidas Digitales	
De acuerdo a tabla 3.5 (# de actuadores)	18
Total	18
Salidas digitales de reserva	16
Salidas Análogas	
De acuerdo a tabla 1.2 (# de actuadores)	0
Total	0
Salidas análogas de reserva	8

3.4.3 DISEÑO DEL PROGRAMA DEL PLC

En esta sección se detalla lo que tiene que realizar el programa, el diagrama de flujo del proceso, el programa y sus variables principales.

3.4.3.1 Control de cepillos verticales

Para la explicación del control de los cepillos verticales se va a referir únicamente al cepillo derecho para facilidad de la explicación.

Para controlar el cepillo, se toma en cuenta el número de veces que el cepillo se inclina en la dirección opuesta a la de avance del puente de lavado, se toma en cuenta solo esta dirección ya que a pesar de la dirección de avance del puente de lavado cuando el cepillo pasa sobre las llantas o por la parte trasera del vehículo este se inclina en la misma dirección de avance del puente de lavado, esto se debe al sentido de rotación del mismo. Cuando el cepillo entra en contacto con el vehículo, se inclina mientras el puente de lavado sigue avanzando, cuando el controlador sensa esta inclinación por primera vez; este detiene el avance del puente de lavado y abre ligeramente el cepillo por n_1 segundos para ayudarlo a pasar sobre el obstáculo y lo mantiene en esa posición por n_2 segundos, si el cepillo no logra enderezarse o si se endereza y se vuelve a inclinar dentro de un rango de n_3 segundos el puente de lavado retrocede hasta que el cepillo deje de estar inclinado. A la par el cepillo se abre completamente y se mantiene abierto por n_3 segundos, y el puente vuelve a avanzar con el cepillo abierto, en caso de que este vuelva a inclinarse quiere decir que hay un problema y este no puede superar el perfil frontal o trasero del vehículo y el puente de lavado se detiene por completo se abren y apagan los 3 cepillos, se apagan la bomba de agua y el dosificador para verificar en sitio por qué los cepillos no pueden seguir correctamente el perfil. Una vez identificado el problema se presiona nuevamente el botón de inicio y continúa el proceso, si se desea se puede reiniciar por completo el proceso.

El control del cepillo vertical derecho se encuentra en el ANEXO C, segmentos del programa números: 10,12, 22, 23, 26, 30, 32 y 33.

3.4.3.2 Control de cepillo horizontal

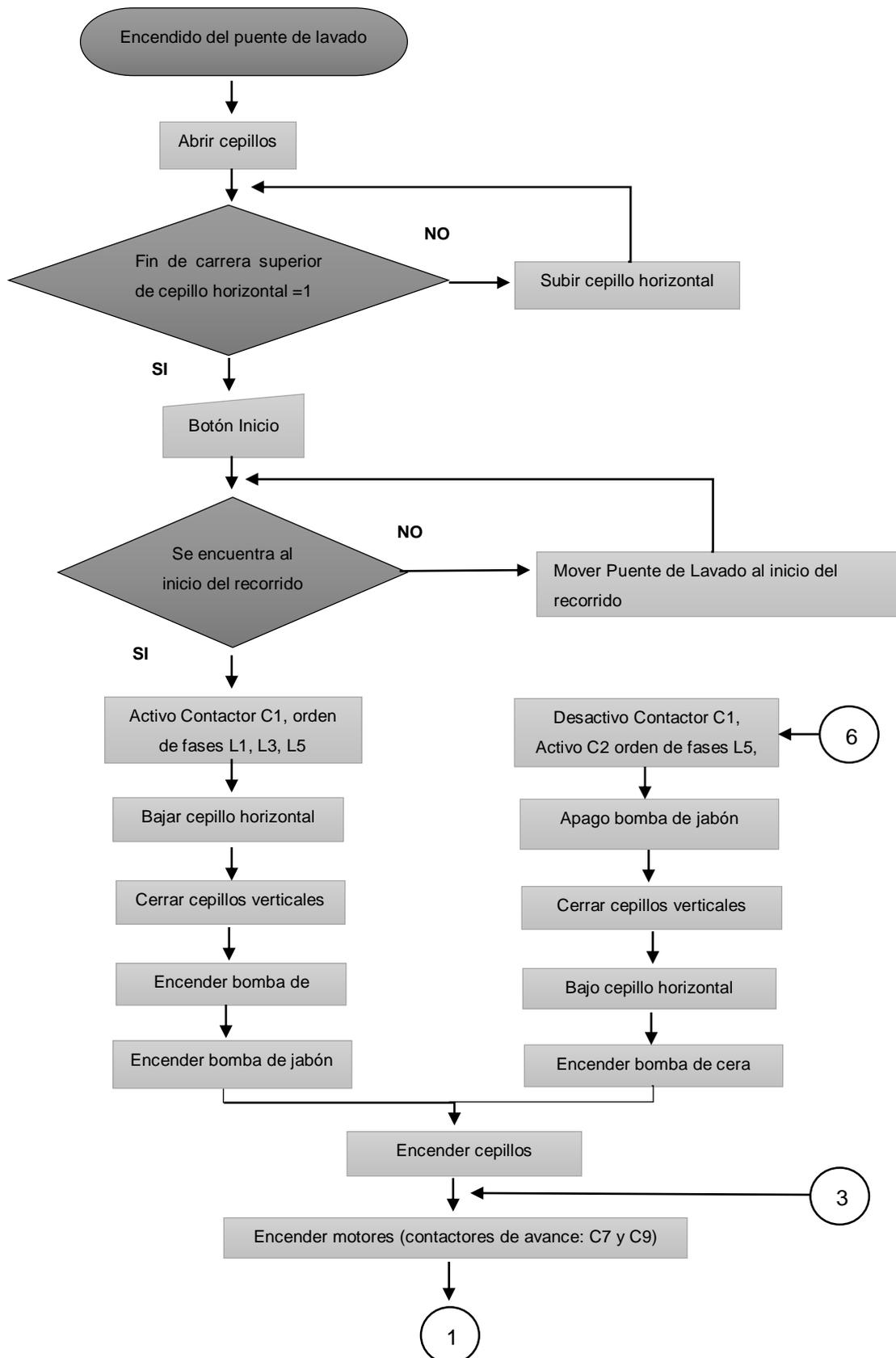
El control del cepillo horizontal es el más complejo, ya que este tiene que seguir el perfil superior del vehículo, para esto se utiliza el sensor del efecto Hall mencionado anteriormente y con el cual se mide la corriente del motor que hace rotar el cepillo. La corriente nominal de operación es 26 A cuando no realiza presión y 28 A cuando este realiza presión sobre el vehículo, tomando en cuenta que la lectura del PLC en la entrada analógica es de un rango de 0 a 27648, los 28 A dan como resultado a la salida del sensor 7.82 V esto para el PLC equivale a 21620.736, por facilidad de

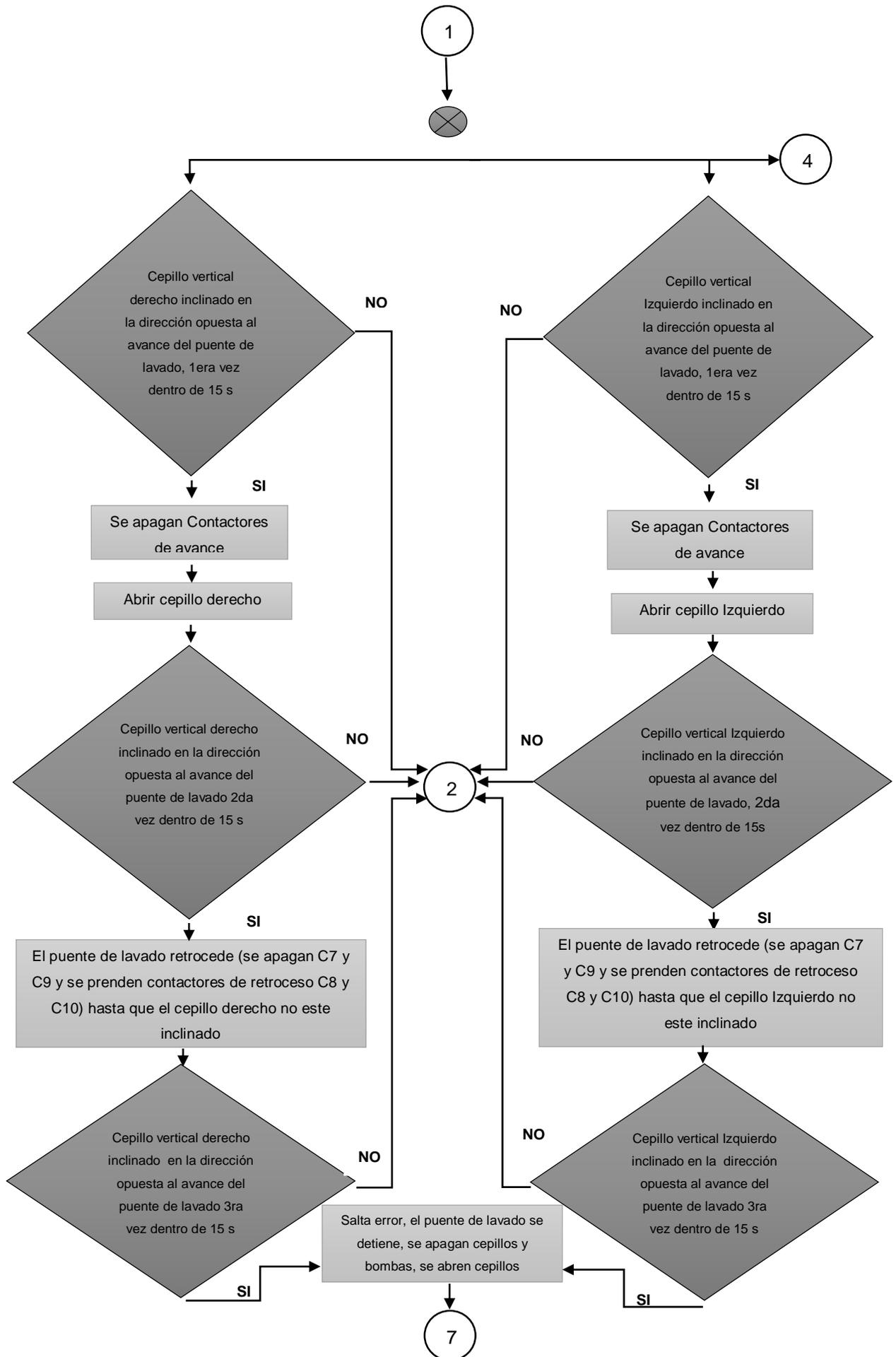
interpretación de la lectura de la entrada análoga se escala para un valor de 100, dando como referencia un valor de 78.2. Cuando la variable **escalahorizontal** esté en este valor bajará el cepillo horizontal y sobre este valor subirá. Esto quiere decir que cuando la variable **escalahorizontal** tenga un valor de mayor 78.625, el cepillo tendrá que subir, si el valor de la variable sigue descendiendo (consumiendo más corriente) el puente de lavado tiene que detener su avance mientras el cepillo sigue subiendo. Este caso se presenta cuando el perfil frontal o posterior del vehículo tiene una pendiente muy elevada, como por ejemplo el frente de un autobús o la parte posterior de un 4x4, el valor de la variable será determinado en el capítulo de pruebas y resultados. Si la variable sigue disminuyendo su valor quiere decir que el cepillo horizontal no puede superar el perfil o que se remordió en algún saliente del vehículo Figura 3.10, por lo que el puente de lavado retrocede y mantiene la altura del cepillo horizontal, y en último caso si el cepillo sigue aumentando su consumo, el puente de lavado se detiene por completo y se apagan cepillos y bombas hasta que se solucione el problema manualmente.

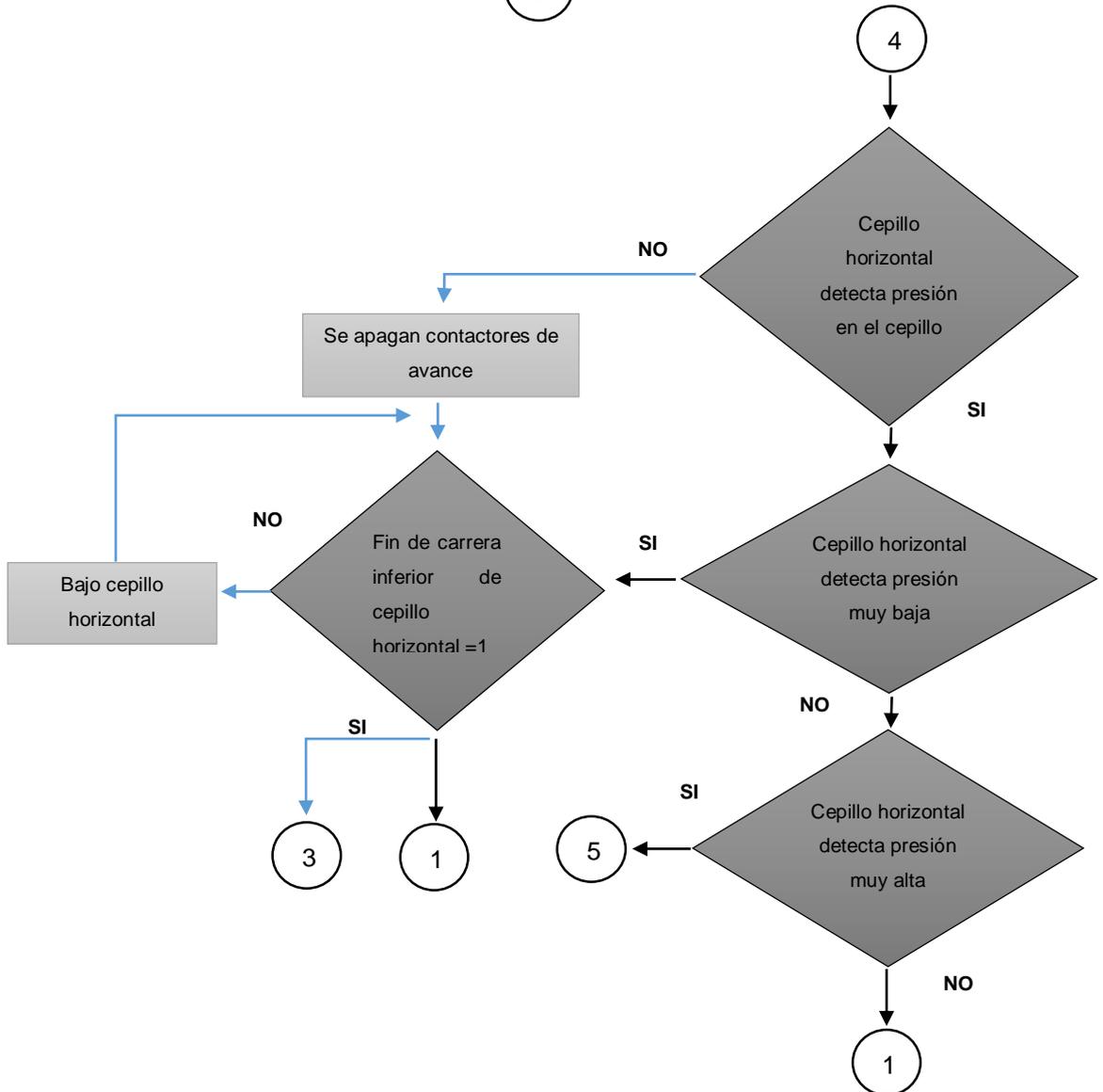
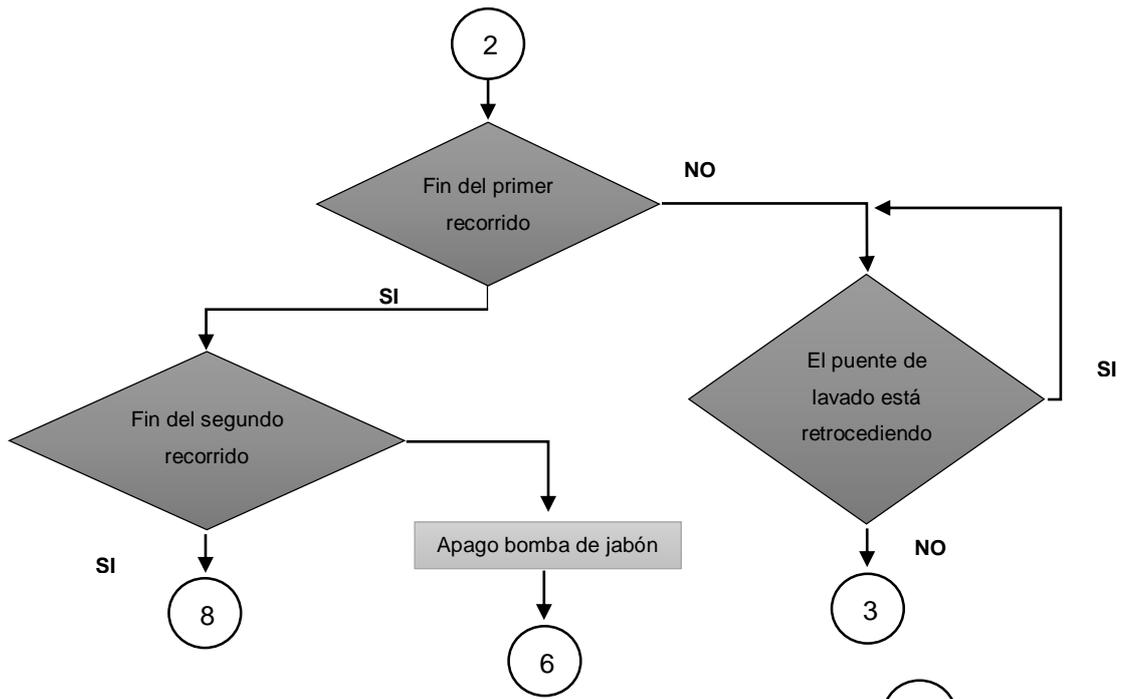


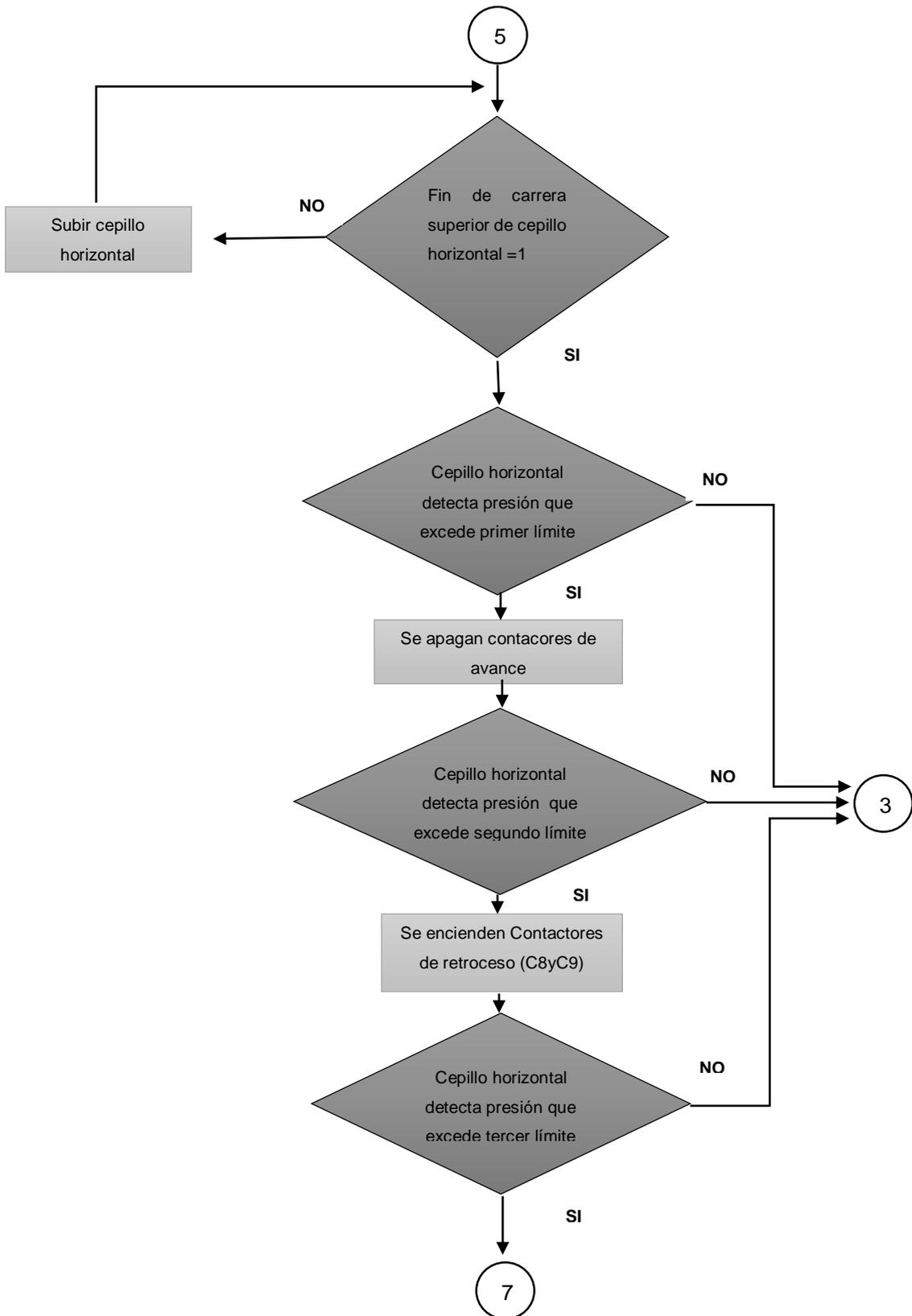
Figura 3.10 Caso en el que el cepillo horizontal tiene que superar un perfil poco usual de un vehículo
Fuente: christ-ag.com [6]

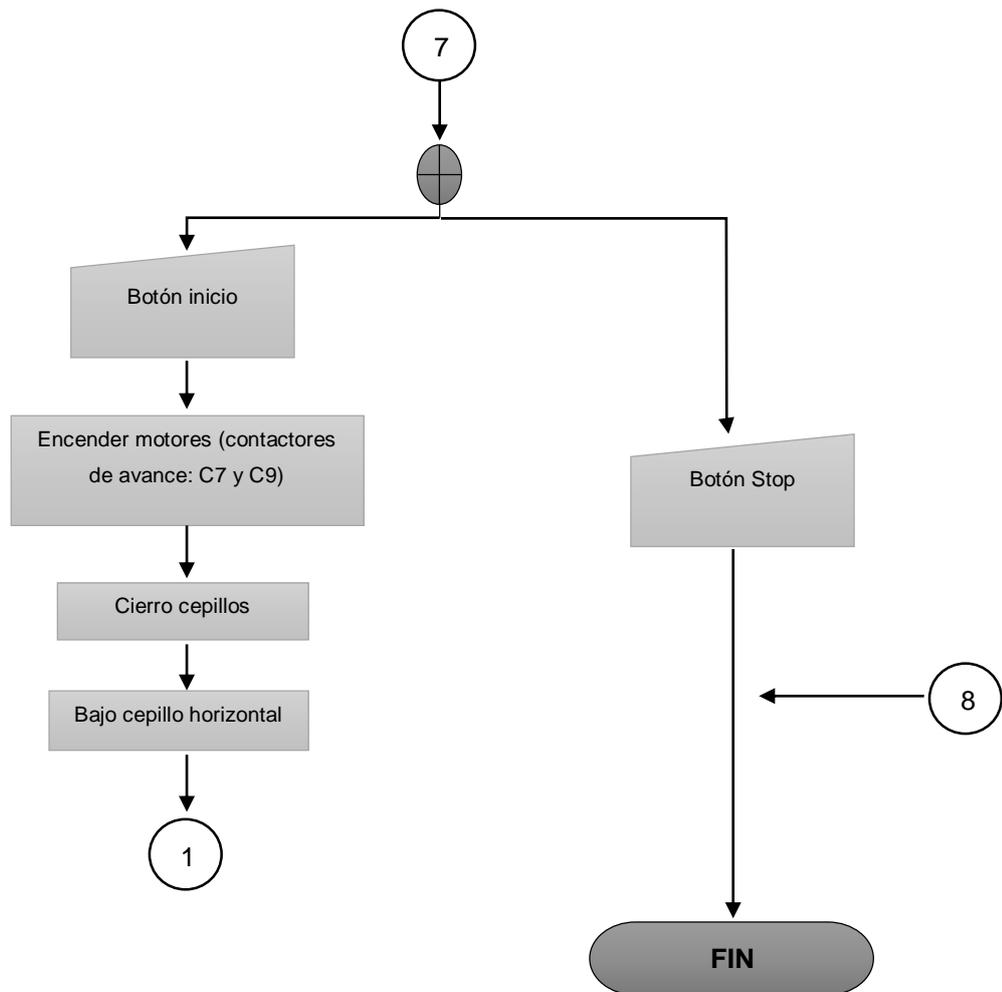
3.4.3.3 Diagrama de flujo del proceso para el programa del PLC











3.4.3.4 Programación del PLC

En esta subsección se explica el programa y se detalla el control de errores que posee el nuevo sistema de control.

El programa consta de 34 segmentos en lenguaje KOP (esquema de contactos) mediante el software TIA portal V12

- Variables, Timers y contadores

En la tabla 3.6 se enumeran las variables utilizadas en el PLC y se da un breve comentario sobre la misma, de igual manera en la tabla 3.7 se enumera los timers y contadores utilizados en el programa.

Tabla 3.6 Tabla de variables del PLC

#	Nombre	Tipo	Comentario
1	Botonstart	Bool	Botón de inicio, control remoto
2	BotonStop	Bool	Botón de stop
3	Start	Bool	Start estado lógico, ha iniciado el programa
4	abrircepilloslogicos1	Bool	Abrir los cepillos al inicio del programa
5	Abrircepilloderecho	Bool	Activar el actuador para abrir el cepillo derecho
6	Abrircepilloizquierdo	Bool	Activar el actuador para abrir el cepillo izquierdo.
7	movermaquinainicioL	Bool	Estado lógico para mover la máquina al inicio del recorrido
8	FINMOVIMIENTOADELANTE	Bool	Fin de carrera frontal del recorrido
9	C7YC9	Bool	Activar contactores C7 y C9
10	C1	Bool	Activar contactor C1 (Dirección 1)
11	inicio lavado	Bool	Estado lógico que indica el inicio del lavado
12	C2	Bool	Activar contactor C2 (Dirección 2)
13	c4 cepillos	Bool	Activar contactor C4 (Cepillos)
14	cerrar cepillo derecho	Bool	Activar actuador para cerrar el cepillo derecho
15	inclinado adelante cepillo derecho	Bool	Sensor, cepillo derecho inclinado hacia adelante
16	INCLINADOADELANTECEPILLO IZQUIERDO	Bool	Sensor, cepillo izquierdo inclinada hacia adelante
17	cerrar cepillo izquierdo	Bool	Activar actuador para cerrar el cepillo izquierdo
18	FINMOVIMEITNATRAS	Bool	Sensor, fin de carrera posterior del recorrido
19	CEPILLOS CERRADOS	Bool	Sensor, fin de carrera
20	INICIO ENCERADO	Bool	Estado lógico que indica el inicio del encerado
21	Stopprograma	Bool	Stop del programa
22	bomba1	Bool	Activa la bomba de agua
23	C8YC10	Bool	Activar contactores C8 y C10
24	fin cepillohorizontal medio	Bool	Sensor fin de carrera medio cepillo horizontal
25	bajar cepillo	Bool	Activar contactor C6, bajar cepillo horizontal
26	subir cepillo	Bool	Activar contactor C5, subir cepillo horizontal
27	fincepillohorizontal superior	Bool	Sensor fin de carrera superior del cepillo horizontal
28	Stopgeneral	Bool	Stop del programa
29	abrirerror1cepilloderecho	Bool	Contacto lógico para abrir el cepillo derecho
30	reseterror1derecho	Bool	Reset del error #1 del cepillo derecho, inclinado primera vez dentro de 17 seg
31	abrirerror1cepilloizquierdo	Bool	Contacto lógico para abrir el cepillo izquierdo
32	reseterror1cepilloizquierdo	Bool	Reset del error #1 del cepillo izquierdo inclinado primera vez dentro de 17 seg
33	inclinada atras cepillo derecho	Bool	Sensor cepillo derecho, inclinado hacia atrás
34	inclinado atras cepillo izquierdo	Bool	Sensor cepillo izquierdo inclinado hacia atrás
35	2vecesinclinadoadelantederecho	Bool	El cepillo se ha inclinado dos veces
36	SENSORCORRIENTEHORIZONTAL	Int	Entrada analoga para el sensor de corriente
37	activado HORIZONTAL	Bool	Activar sensor de corriente efecto Hall
38	CORRIENTE horizontal	Real	Dato obtenido del sensor de corriente para el cepillo horizontal
39	ESCALACORRIENTEHORIZONTAL	Real	Escala de corriente

Continúa

#	Nombre	Tipo	Comentario
40	Hayautohorizontal	Bool	Estado lógico que indica que el cepillo horizontal encontró un vehículo
41	fin inferior cepillo horizontal	Bool	Sensor fin de carrera inferior del cepillo horizontal
42	empezo a movese	Bool	Estado lógico que indica que la maquina empezó a moverse
44	NOmoveradelante2	Bool	Estado lógico de no mover a delante la máquina
45	bomba de shampoo	Bool	Activar dosificador de shampoo
46	bomba de jabon	Bool	Activar dosificador de cera

En la tabla 3.7 se enumeran los timers y contadores utilizados en el programa, se da una breve explicación de la utilidad y funcionalidad, previamente se explican las abreviaciones utilizadas.

- DB (bloque de datos): Los DB se utiliza para proporcionar espacio de memoria para las variables de datos, Existen dos tipos de bloques de datos, DB globales y DB de instancia.
- IEC_TMR/TON (Retardo al conectar) permite retardar la activación del parámetro Q o salida después del tiempo programado.
- IEC_TMR/TP (Impulso) permite activar el parámetro Q o salida durante del tiempo programado y posteriormente se desactiva.

Tabla 3.7 Tabla de Timers y contadores

#	Nombre	Tipo	Comentario	Segmento de programa
1	timer1movermaquin adelante [DB2]	DB/IEC_TMR /TON	Esperar 5s para empezar a mover máquina	Ver ANEXO C, D01- 001, 3D , segmento 3
2	timer1cepilloS [DB3]	DB/IEC_TMR /TON	Esperar 6s para abrir cepillos al inicio del proceso, por seguridad	Ver ANEXO C D01- 001, 3C, segmento 2
3	timerstart [DB1]	DB/IEC_TMR /TON	Mantener 5s segundos presionado el botón inicio para iniciar el proceso, por seguridad	Ver ANEXO C, D01- 001, 4A, segmento 1

Continúa

#	Nombre	Tipo	Comentario	Segmento de programa
4	TIMERINICIOLAVADO [DB4]	DB/IEC_TMR /TON	Una vez que el puente de lavado este al inicio del recorrido se espera 4s para empezar el lavado, tiempo para mojar el vehículo y para que el jabón llegue a todas las toberas	Ver ANEXO C, D01-011, 3D, segmento 30
5	TIMERENCERADO [DB5]	DB/IEC_TMR /TON	Una vez que el puente de lavado este al final del recorrido se espera 8s para empezar el encerado, tiempo para parar los cepillos e invertir el sentido de giro y para limpiar la tubería de jabón	Ver ANEXO C, D01-003, 3A, segmento 7
6	CAMBIOCOC1C2 [DB7]	DB/IEC_TMR /TON	Se espera 2 s por seguridad para invertir el sentido de rotación de cepillos y motores de traslado	Ver ANEXO C, D01-011, 4A, segmento 28
7	inicioencerado [DB6]	DB/IEC_TMR /TON	Una vez iniciado el encerado y prendidos los cepillos, se espera 5s para iniciar el movimiento, esto es para mojar al vehículo con cera	Ver ANEXO C, D01-003, 5A, segmento 7
8	contadorstop [DB8]	DB/CNTR/CT U	Contador para saber cuándo el puente de lavado ha culminado el proceso	Ver ANEXO C, D01-003, 3C, segmento 8
9	timermoveratras [DB9]	DB/IEC_TMR /TON	Timer dedicado a esperar 0,8s para invertir el avance del puente de lavado, tiempo que se demora en detenerse para que no salten las protecciones térmicas por invertir el sentido de avance muy rápido. (Añadido en pruebas y resultados)	Ver ANEXO C, D01-013, 4A, segmento 33
10	timeradelante2 [DB10]	DB/IEC_TMR /TON	Timer colocado para proteger contactores C7yC9 que son para el avance del puente de lavado, este espera 0.02s para activarlos.(Añadido en pruebas y resultados)	Ver ANEXO C, D01-011, 8D, segmento 30

Continúa

#	Nombre	Tipo	Comentario	Segmento de programa
11	contadorinclinadocepillo derecho [DB11]	DB/CNTR/CTU	Contador para detectar error en el cepillo derecho, detiene el proceso si el cepillo derecho se inclina 3 veces en periodo de 17 s.	Ver ANEXO C, D01-004, 3A, segmento 10
12	timerreseterror1cepillo derecho [DB12]	DB/IEC_TMR/TON	Timer para resetear el DB11 con duración de 17s, este inicia si DB11.CV \geq 1, (Calibrado en pruebas y resultados)	Ver ANEXO C, D01-004, 3E, segmento 12
13	contadorerror1cepillo izquierdo [DB13]	DB/CNTR/CTU	Contador para detectar error en cepillo izquierdo detiene el proceso si el cepillo izquierdo se inclina 3 veces en periodo de 17 s.	Ver ANEXO C D01-004, 3C, segmento 11
14	timerreseterror1cepillo izquierdo [DB14]	DB/IEC_TMR/TON	Timer para resetear el DB13 con duración de 17s, este inicia si DB13.CV \geq 1, (Calibrado en pruebas y resultados)	Ver ANEXO C, D01-005, 3A, segmento 13
15	timer2iniciolavadora [DB15]	DB/IEC_TMR/TON	Una vez que se inicia el proceso de encerado se espera 4s para empezar a mover el puente de lavado, para mojar con cera el vehículo, (Añadido en pruebas y resultados)	Ver ANEXO C, D01-012, 2B, segmento 30
16	impulso1inclinado derecho [DB16]	DB/IEC_TMR/TP	Si el cepillo derecho se inclina por segunda vez en un periodo de 17 s, el cepillo se abre por 8s(Calibrado en pruebas y resultados)	Ver ANEXO C, D01-008, 3C, segmento 22
17	impulso1inclinado izquierdo [DB17]	DB/IEC_TMR/TP	Si el cepillo izquierdo se inclina por segunda vez en un periodo de 17 s, el cepillo se abre por 8s(Calibrado en pruebas y resultados)	Ver ANEXO C, D01-009, 3F, segmento 24
18	timercerrarcepillo derecho [DB18]	DB/IEC_TMR/TON	Timer colocado para cerrar el cepillo derecho después de 12s, que no se detecte ni un error, (Añadido en pruebas y resultados)	Ver ANEXO C, D01-009, 7A, segmento 23

Continúa

#	Nombre	Tipo	Comentario	Segmento de programa
19	timercerrarcepilloizquierdo [DB19]	DB/IEC_TMR /TON	Timer colocado para cerrar el cepillo izquierdo después de 12s, que no se detecte ni un error, (Añadido en pruebas y resultados)	Ver ANEXO C, D01-010, 7C, segmento 25
20	timereceradohorizontal [DB22]	DB/IEC_TMR /TON	Timer que espera 3s para iniciar lectura de la presión del cepillo horizontal,(Añadido en pruebas y resultados)	Ver ANEXO C, D01-006, 2C, segmento 17
21	impulsobajarhorizontal [DB20]	DB/IEC_TMR /TP	Cuando le lectura de la entrada analoga escalada este dentro de un rango de 78.7-83.0 se manda un impulso de 0.2s para bajar el cepillo,(Añadido en pruebas y resultados).	Ver ANEXO C, D01-006, 4D, segmento 18
22	impulsosubirhorizontal [DB23]	DB/IEC_TMR /TP	Si la lectura de la entrada analoga escalada se mantiene por 0.02s dentro del rango de 77.0 - 78.625, sube el cepillo por 0.6s, (Añadido en pruebas y resultados).	Ver ANEXO C, D01-009, 7A, segmento 20
23	timersubirhorizontal 2 [DB21]	DB/IEC_TMR /TON	Timer de 0.02s para eliminar la lectura de ruido en la entrada, analoga. (Añadido en pruebas y resultados)	Ver ANEXO C, D01-007, 4C, segmento 20
24	impusloparar [DB25]	DB/IEC_TMR /TON	Timer para eliminar ruido de la lectura de la entrada analoga, si detecta presión dentro del rango 78.613 - 80.0 del cepillo horizontal por 0.006s, el puente de lavado detiene su avance. (Añadido en pruebas y resultados)	Ver ANEXO C, D01-011, 3C, segmento 29
25	moverporapertura de cepillos [DB24]	DB/IEC_TMR /TON	Si se detecta que se inclinaron los cepillos por segunda vez dentro de 17s, el puente de lavado retrocede después de 3.5s, (Añadido en pruebas y resultados).	Ver ANEXO C, D01-010, 3D, segmento 26

Continúa

#	Nombre	Tipo	Comentario	Segmento de programa
26	impulsomoveratras [DB27]	DB/IEC_TMR /TP	Si se detecta una excesiva presión del cepillo horizontal, por más de 0.1s, el puente de lavado retrocede por 2s. (Calibrado en pruebas y resultados).	Ver ANEXO C, D01-012, 4D, segmento 31
27	timermoveratrasimpulso [DB28]	DB/IEC_TMR /TON	Timer de 0.1s colocado en pruebas y resultados para eliminar lectura de ruido en la entrada análoga.	Ver ANEXO C, D01-012, 3D, segmento 31
28	impulsoinclinadoderecho [DB29]	DB/IEC_TMR /TP	Si el cepillo derecho se inclina por primera vez en un periodo de 17 s, el cepillo se abre por 4s(Calibrado en pruebas y resultados)	Ver ANEXO C, D01-008, 3A, segmento 22
29	impulsoinclinadoizquierdo [DB30]	DB/IEC_TMR /TP	Si el cepillo izquierdo se inclina por primera vez en un periodo de 17 s, el cepillo se abre por 4s(Calibrado en pruebas y resultados)	Ver ANEXO C D01-009, 3E, segmento 24
30	impulsomoveratrasporverticales [DB31]	DB/IEC_TMR /TP	Timer para retroceder el puente de lavado por 2 segundos si los cepillos se inclinan por segunda vez dentro del periodo de 17s,(Calibrado en pruebas y resultados)	Ver ANEXO C, D01-012, 3E, segmento 32

3.4.4 DISEÑO DEL CABLEADO DE CONTROL

Una vez diseñado el programa y teniendo una imagen muy clara de lo que se necesita se diseña e implementa el cableado de control utilizando un cable AWG 16. Este proceso se desarrolla en los siguientes pasos:

- Dimensionamiento e implementación de protecciones para las salidas del PLC
- Dimensionamiento e implementación de fuentes de alimentación de 24 VDC
- Diseño de cableado eléctrico, Planos y Layout
- Cableado de sensores
- Cableado de actuadores: contactores, electroválvulas y solenoides.

3.4.4.1 Placa de relés opto-acoplados para protección de las salidas del PLC

En esta sección se dimensiona la placa de relés opto-acoplados que funciona como protección para las salidas del PLC, tomando en cuenta el consumo de corriente que tendrán los diferentes actuadores enumerados, Tabla 3.5.

El consumo del contactor de mayor potencia a ser activados es obtenido mediante un **multímetro FLUKE 87 III TRUE RMS** arrojando como resultado 608 mA, Figura 3.12, por lo que los 2 A de capacidad de cada relé de la placa son suficientes para el control de los actuadores. En los casos de los contactores: C1, C2 y C4, se activan previamente relés auxiliares dedicados a activarlos.

Esta placa funciona a 12 VDC para la activación de los relés y a 5 VDC para los mandos de activación.



Figura 3.11 Consumo de corriente de contactores de control.

Para la colocación de las placas de relés se selecciona un sitio por debajo del destinado a la ubicación del PLC, y se coloca regletas con 24 VDC (cables amarillos) y 42 VAC (cables azules) cerca de ellas para facilidad del cableado, como se puede observar en la figura 3.12.



Figura 3.12 Placas de relés ya conectadas a todos los actuadores, en la parte inferior se observan los relés de activación para C1, C2 y C4.

3.4.4.2 Dimensionamiento e implementación de fuentes de alimentación DC

Para la selección adecuada de la fuente de voltaje DC, es necesario tomar en cuenta dos factores importantes, estos factores son:

- El voltaje DC requerido por los dispositivos eléctricos o electrónicos que se utilizan en el proceso.
- El consumo de corriente de cada uno de estos dispositivos para determinar la corriente necesaria que deberá suministrar la fuente DC sin ser sobrecargada. Se determina el número de componentes eléctricos que requieren alimentación DC, el voltaje de trabajo de estos elementos y la corriente de consumo de cada dispositivo. En la tabla 3.8 se indican los datos de voltaje y corriente de los dispositivos eléctricos que operan con este tipo de alimentación eléctrica.

Tabla 3.8 Dispositivos que requieren alimentación 24VDC

<i>Dispositivo electrónico</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Voltaje DC [VDC]</i>	<i>Corriente de operación por dispositivo [mA]</i>
Módulo SM 1223 DC/RLY Siemens	1	24	180
Entrada del PLC	22	24	11
Electroválvulas neumáticas 5/3 NC	4	24	300
Relé auxiliar para elementos de maniobra	3	24	60

Como se puede observar en la tabla 3.8 el voltaje requerido será de 24 VDC. Para determinar la corriente necesaria de la fuente se aplica la ecuación 2, sumando la corriente de cada dispositivo.

$$I_{WDC} = \sum_{i=1}^n I_{wi} \quad [3]$$

Donde:

I_{WDC} : Corriente necesaria de operación.

I_{wi} : Corriente de operación de cada dispositivo.

$$I_{WDC} = I_{SM1223} + 22(I_{DinputPLC}) + 4(I_{Electro5/3}) + 3(I_{rele24VDC})$$

$$I_{WDC} = (180 + 242 + 1200 + 180)[mA]$$

$$I_{WDC} = 1802[mA]$$

Para determinar que la fuente de voltaje instalada suministre este consumo de corriente se debe estimar un porcentaje adicional de corriente, con el fin de poder utilizar la misma fuente para dispositivos que puedan ser añadidos en un futuro. El porcentaje estimado será de 30%.

$$I_{WDC\ TOTAL} = I_{WDC} + 0.3I_{WDC} = 2342.6[mA] = 2.34[A]$$

Se seleccionó la fuente de voltaje que el cliente disponía. La fuente seleccionada suministra 24VDC, una corriente máxima de 12 [A], Figura 3.13, cumpliendo los requerimientos del sistema. A nivel comercial existen fuentes de voltaje DC con corrientes nominales inferiores al suministrado por esta fuente, el costo que representa la fuente es el mismo. La potencia eléctrica que es capaz de suministrar la fuente es de **160 W**.

Tabla 3.9 Dispositivos que requieren alimentación a 12VDC / 5VDC

<i>Dispositivo electrónico</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Voltaje DC [VDC]</i>	<i>Corriente de operación por dispositivo [mA]</i>
Relés de placa de protección de salidas para el PLC	32	12	40
Entrada a placa relés	32	5	5

La fuente utilizada es una fuente de computadora que otorga 60 W, que está sobredimensionada para la aplicación pero es una fuente económica y fácil de encontrar en el mercado.



Figura 3.13 Fuentes de alimentación 24/12/5 VDC

3.4.4.3 Diseño de cableado eléctrico

Para el diseño del cableado eléctrico se toma como base el cableado de potencia, que no fue modificado, por lo que el nuevo cableado tiene como objetivo controlar toda la parte de potencia del puente de lavado, aproximadamente 250 m lineales de cable se emplean en esta etapa del proyecto, la ubicación de los elementos del tablero se detalla en el ANEXO D y en los planos de potencia en el ANEXO E.

Como ya eran conocidos los sensores, Tabla 3.4, se realiza el cableado de los mismos hasta las regletas principales y de estas hasta el PLC como se puede ver en las Figuras 3.14 y 3.15.



Figura 3.14 Cableado eléctrico hacia el PLC



Figura 3.15 Cableado eléctrico de sensores hasta las regletas

3.5 DIMENSIONAMIENTO DEL DOSIFICADOR DE JABÓN Y CERA

La dosificación original constaba de una bomba que no controlaba la dosificación deseada de jabón y cera por lo que se dimensiona un dosificador que cumpla con los requisitos de los productos existentes en el mercado.

El caudal de agua del puente de lavado correspondiente a la bomba para lavar la carrocería es de 90L/min ($0.0015m^3/seg$). La dosificación normal de las diferentes marcas de productos es de 100ml por cada 8 litros de agua.

Esto equivale a $0.0001m^3$ de jabón por cada $0.008 m^3$ de agua para satisfacer esta necesidad de acuerdo al caudal ocupado en el puente de lavado, se requiere

$$\frac{0.0001m^3 * 0.0015 \frac{m^3}{s}}{0.008m^3} = 0.00001875 \frac{m^3}{s} \equiv 0.0178 \frac{l}{s} \quad [4]$$

Para satisfacer este requerimiento con posibilidad de regulación se decide colocar dos bombas en paralelo modelo **DIMOTEC MILENIO 300** cuya capacidad de dosificación es de $36 \frac{l}{h}$ para ofrecer la dosificación requerida que es de $67.68 \frac{l}{h}$.

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados del desarrollo del proyecto y los ajustes finales realizados al programa del PLC para que el puente de lavado realice un lavado completamente automático.

4.1 AJUSTES AL PROGRAMA

Para desarrollar las primeras pruebas del puente de lavado se utilizó un remolque para evitar que los cepillos causen daños en un vehículo, primeramente se calibraron los cepillos verticales y posteriormente el cepillo horizontal.

4.1.1 CALIBRACIÓN DE LOS CEPILLOS VERTICALES Y HORIZONTALES

La calibración de los cepillos verticales consta de calibrar los timers de apertura de los cepillos y de los que detiene el avance del puente de lavado, para de esta manera evitar el daño de guardafangos, espejos y antenas, posteriormente se calibró el cepillo horizontal y este proceso consta de la eliminación de transitorios de activación en la lectura análoga ya que el valor de la variable fue previamente determinado.

4.1.2 TIMERS CALIBRADOS EN PRUEBAS

En la tabla 4.1 se presenta un resumen de los valores originales de los timers y las mejoras obtenidas, posteriormente se profundiza la información.

Tabla 4.1 Timers calibrado en pruebas

#	Nombre	Estado inicial	Después de la calibración	Mejoras observadas
1	timerreseterror1cepilloderecho [DB12] y timerreseterror1cepilloizquierdo [DB14]	15 s de retardo al encendido	17 s de retardo al encendido	Protege los guardafangos
2	impulsoinclinadoderecho [DB29] e impulsoinclinadoizquierdo [DB30]	1 s de mantenerse encendido	4 s de mantenerse encendido	Logra superar el perfil frontal o posterior del vehículo
3	impulso1inclinadoderecho [DB16] e impulso1inclinadoizquierdo [DB17]	3 s de mantenerse encendido	8 s de mantenerse encendido	Logra superar el perfil frontal o posterior del vehículo, espejos y llantas que sobresalen de la carrocería
4	impulsomoveratrasporverticales [DB31]	4 s de mantenerse encendido	2 s de mantenerse encendido	Logra superar el perfil y no regresa a la misma ubicación
5	Impulsomoveratras [DB27]	1 s de mantenerse encendido	2 s de mantenerse encendido	Evitar causar daños en el vehículo por excesiva presión ejercida por el cepillo horizontal

4.1.2.1 Timers [DB12] y [DB14]

Estos timers dedicados a resetear el contador de inclinaciones de los cepillos verticales, ubicados en los segmentos 12 y 13 respectivamente, fueron calibrados realizando pruebas ya que en el valor previamente establecido de 15 s destinados para superar el perfil frontal y posterior del vehículo, no se tomaron algunos factores como proteger los guardafangos que sobresalen de la carrocería de ciertos vehículos livianos ubicados aproximadamente a 400mm del frente del vehículo o las puertas de ingreso laterales de los autobuses. Con el aumento de 2 segundos a este reset el

puede de lavado avanza 80 mm más logrando superar el objeto saliente ya que el puente de lavado avanza a una velocidad de 0.04m/s.

Es requerido que cuando los cepillos verticales lleguen a los guardafangos el contador del número de inclinaciones llegue con un valor de dos para que a la primera inclinación del cepillo en la zona de los guardafangos estos se detengan, evitando arrancar este tipo de adornos a la carrocería.

4.1.2.2 Impulsos [DB29] y [DB30]

Este timer se utiliza para abrir durante 4 segundos el cepillo que se ha inclinado por primera vez e inicia el periodo de 17 s mencionado anteriormente, los 4 segundos se calibraron realizando las pruebas ya que inicialmente se abrían por 1 segundo, este aumento de tiempo fue requerido debido a que cuando se abre el cepillo cuando este se encuentra ejerciendo presión sobre el vehículo, el cepillo se abre lentamente debido a la fricción ejercida entre la cerdas del cepillo y la carrocería del vehículo.

4.1.2.3 Impulsos [DB16] y [DB17]

Si el contador de inclinaciones del cepillo derecho o izquierdo llega a dos, quiere decir que el cepillo no logra superar el perfil frontal del vehículo o un espejo, por lo que el cepillo se abre durante 8 segundos permitiendo superar el obstáculo, a la vez se activa el **impulsmoveratrasporverticales**.

4.1.2.4 Impulso [DB31]

Timer dedicado a retroceder el puente de lavado por 2 segundos cuando este sense la segunda inclinación del cepillo derecho o izquierdo dentro de un periodo independiente de 17 segundos, esto es para facilitar la apertura del cepillo.

4.1.2.5 Impulso [DB27]

Este timer fue calibrado en pruebas y es el encargado de retroceder al puente de lavado por dos segundos cuando el cepillo horizontal exceda el segundo límite de corriente (28.4 A), esto es cuando cepillo horizontal no puede superar un perfil complejo como el de un aire acondicionado de un furgón ubicado sobre la cabina del conductor, o cuando el cepillo horizontal se ubica por debajo de un guardachoques. Cuando sucede esto y el cepillo no logra subir, la velocidad de reacción del puente de lavado tiene que ser rápida (0.1 segundos) ya que el cepillo se encuentra ejerciendo presión sobre el vehículo y si aumenta la presión puede ocasionar pequeñas quemaduras en la pintura o disminución del brillo.

4.2 TIMERS SUPLEMENTARIOS AÑADIDOS EN PRUEBAS

Estos timers fueron añadidos para realizar ciertos controles que fueron necesarios al momento de realizar las pruebas y resultados en la tabla 4.2 se enumeran con una breve explicación y posteriormente se profundiza la información sobre estos.

Tabla 4.2 Timers colocados en pruebas

	Timer añadido	Problema anterior	Mejoras obtenidas	Estado final
1	timermoveratras [DB9], Ver anexo C, segmento 33	Activación de protecciones térmicas constantemente en el retroceso del puente de lavado.	El puente de lavado retrocede sin que se activen las protecciones térmicas.	0.8 s de retardo al encendido
2	timeradelante2 [DB10], Ver anexo C, segmento 30	Lectura de transitorios de activación	Lectura correcta de las variables, y evita que se activen las protecciones térmicas	0.02 s de retardo al encendido

Continúa

	Timer añadido	Problema anterior	Mejoras obtenidas	Estado final
3	timer2iniciolavadora [DB15] , Ver anexo C, segmento 33	En el encerado los cepillos entraban en contacto con la carrocería del vehículo en contacto directo sin cera	La carrocería es humedecida con cera antes de que los cepillos entren en contacto con esta	4 s de retardo a la activación para el avance del puente de lavado
4	timercerrarcepilloderecho [DB18] y timercerrarcepilloizquierdo [DB19] , Ver anexo C, segmento 23/25	Cuando se activaba el control de errores y se reiniciaba el proceso los cepillos regresaban al lugar donde se disparó el error	Los cepillos verticales evitan la zona donde se activó el error	12 s de retardo a la activación para cerrar los cepillos
5	timereceradohorizontal [DB22] , Ver anexo C, segmento 17	Al momento de invertir el sentido de rotación del cepillo horizontal este consume más corriente de lo habitual provocan que se eleve prematuramente	El cepillo se mantiene en la parte inferior y se elimina el error de lectura de la variable escala horizontal	3 s de retardo a la activación de la lectura de escala horizontal,
6	impulsobajarhorizontal [DB20] , Ver anexo C, segmento 18	No logra descender el cepillo horizontal por lectura de ruido en la variable escalahorizontal	El cepillo desciende correctamente	Se mantiene activado por 2 s el descenso del cepillo horizontal
7	impulsosubirhorizontal [DB23] , Ver anexo C, segmento 20	El cepillo horizontal no logra ascender correctamente y desciende prematuramente	El cepillo horizontal sigue correctamente el perfil superior del vehículo	Se mantiene activado por 0.6 s el ascenso del cepillo horizontal
8	timersubirhorizontal2 [DB21] , Ver anexo C, segmento 20	Lectura de ruido, transitorios de activación	Eliminación de la lectura errónea	0.2 s de retardo a la activación

Continúa

	Timer añadido	Problema anterior	Mejoras obtenidas	Estado final
9	impusloparar [DB25] , Ver anexo C, segmento 29	Cuando el cepillo horizontal detecta una pendiente muy pronunciada el puente de lavado detiene su avance prematuramente	Eliminación de lectura errónea, el puente de lavado se detiene a cuando se detecta la correcta presión del cepillo sobre el vehículo	0.006s de retardo a la activación
10	moverporapertura decepillos [DB24] , Ver anexo C, segmento 26	En el retroceso del puente de lavado provocado porque los cepillos verticales no logran superar el perfil del vehículo, se activan las protecciones térmicas	Se evita la activación de las protecciones térmicas y se lava la zona antes de que retroceda el puente de lavado	3.5 de retardo a la activación del retroceso después de haberse detenido el puente de lavado
11	timermoveratrasimpulso [DB28] , Ver anexo C, segmento 31	Activación prematura del control de retroceso por lectura de ruido	Se elimina la lectura de ruido, el puente de lavado retrocede cuando es necesario	0.01s de retardo al encendido

4.2.1.1 Timer [DB9]

Al momento de detectar excesiva presión del cepillo horizontal sobre el vehículo o cuando el contador de inclinaciones de los cepillos verticales se encuentra en 2 y el puente de lavado tiene que retroceder las protecciones térmicas de los motores de avance se activan debido a la corriente que consumen los motores para detener al puente de lavado, al colocar este timer de retraso al encendido de 0.8 segundos para activar los contactores de retroceso, el puente de lavado se detiene por completo y puede retroceder sin forzar a los motores de avance evitando que se activen las protecciones térmicas.

4.2.1.2 Timer [DB10]

Ya que el control del puente de lavado es On-Off los contactores sufren un desgaste excesivo por su activación y desactivación continua, debido a la lectura de ciertas

variables y en especial la variable **escalahorizontal** que varía de manera muy rápida, evitando que el puente de lavado avance y provocando que se activen las protecciones térmicas de los motores de traslación del puente de lavado. Para reducir este impacto se coloca un retardo a la activación de 0.02 s, tiempo en el cual los contactores ya no sufren una activación y desactivación continua evitando que salten las protecciones térmicas de los motores de traslación y que se dañen los contactos del contactor.

4.2.1.3 Timer [DB15]

Después de realizar pruebas de funcionamiento se determinó que es necesario esperar un tiempo para que las tuberías se llenen de cera y mojen el vehículo antes de iniciar el movimiento del puente de lavado. Se colocó un retardo a la activación del avance de 4 segundos, sin este retardo los cepillos entraban en contacto con el vehículo cuando este aún no tenía cera en la carrocería.

4.2.1.4 Timers [DB18] y [DB19]

Cuando se detecta el tercer error en los cepillos verticales o se detecta una presión excesiva del cepillo horizontal, se activa un control de errores, en el cual se detiene por completo el proceso y se abren los cepillos, para que el problema se verifique o solucione por el operador. Una vez realizado esto se activa nuevamente el proceso y para evitar que los cepillos verticales regresen a la posición donde no pudieron superar el perfil estos se mantienen abiertos durante 12 s, tiempo en el cual de acuerdo a las pruebas realizadas evitan la zona donde se disparó el error.

4.2.1.5 Timer [DB22]

Al momento que el cepillo horizontal empieza a rotar en el sentido determinado para el encerado, este consume más corriente de lo habitual y provoca que el cepillo se

eleve durante unos segundos, provocando que el cepillo no retire la cera en la parte posterior inferior del vehículo. Para evitar este error se coloca un timer de 3 segundos de retardo a la activación de la lectura de la variable **escalahorizontal** para evitar que el cepillo se eleve al inicio del encerado.

4.2.1.6 Impulso [DB20]

Debido a que de la variación de la corriente para elevar el cepillo horizontal es mínima, por cualquier vibración brusca del cepillo este se eleva. Para evitar esto y lograr que el cepillo baje adecuadamente cuando no se detecte presión se coloca un impulso de 0.2 s durante el cual el cepillo desciende, a pesar de ser un tiempo corto se logra que el cepillo descienda correctamente.

4.2.1.7 Impulso [DB23]

Debido a que la lectura de la **escalahorizontal** es fluctuante, cuando ésta se encuentra dentro del rango de 77.0 - 78.625 por más de 0.02 s, el cepillo se eleva por 0.6 s, para evitar que descienda prematuramente y ejerza una excesiva presión sobre el vehículo. Este tiempo fue calibrado ejecutando numerosos lavados en vehículos livianos y probando en diferentes tipos de perfiles como sedanes, camionetas, 4x4 con perfiles rectos y curvos, furgones, etc.

4.2.1.8 Timer [DB21]

Este timer está dedicado a comprobar que la lectura de la entrada análoga sea real y no ruido, si el valor de la lectura se mantiene por 0.02 s se activa el **impulsosubirhorizontal** mencionado anteriormente.

4.2.1.9 Impulso [DB25]

Para detener el avance del puente de lavado cuando se detecta una excesiva presión del cepillo horizontal fuera del segundo límite de corriente se comprueba la lectura de la señal mediante un timer de 0.006 s de retardo al encendido. Si el valor de la variable **escalahorizontal** se mantiene fuera del rango establecido durante este tiempo, se detiene el avance del puente de lavado mientras el cepillo horizontal se eleva. Esto se requiere cuando el perfil de un vehículo tiene una pendiente fuerte como la parte frontal y posterior de un autobús o la parte posterior de un 4x4.

4.2.1.10 Timer [DB24]

Este timer fue colocado para que cuando se detecte la segunda inclinación de los cepillos dentro del periodo de 17 s el puente de lavado retroceda después de 3.5 s de haberse detenido y no inmediatamente. Esto mejora el proceso evitando que los motores inviertan su sentido de rotación innecesariamente, así también evita que la zona de contacto quede sucia como quedaba antes de la colocación de este retardo por el retroceso inmediato, especialmente en la parte posterior de vehículos 4x4.

4.2.1.11 Timer [DB28]

Cuando la variable **escalahorizontal** es menor o igual de 78.7 por 0.01s se activa el impulso para mover atrás el puente de lavado esto es colocado para evitar errores en la lectura de la corriente consumida por el cepillo horizontal.

4.3 COSTOS DEL PROYECTO

El desarrollo del proyecto tomó un tiempo de 6 meses en el cual trabajó el desarrollador del proyecto y un ayudante, los costos totales del proyecto se detallan en la Tabla 4.3 Tabla de costos del proyecto.

Como se menciona en el CAPÍTULO II al cliente no solicitó ni un estudio ni análisis económico (TIR y VAN) por lo que solo se coloca el costo final del desarrollo de la automatización del puente de lavado automático para buses.

Tabla 4.3 Tabla de costos del proyecto

Nombre	Costo Unitario	cantidad	Total
Desarrollador del proyecto	\$ 600,00/mes	6	\$ 3.600,00
Ayudante	\$ 450,00/mes	6	\$ 2.700,00
Cable de luz # 16	0,35ctvs/m	200	\$ 70,00
Fuente de alimentación 24 VDC	\$ 84,50	1	\$ 84,50
Fuente de alimentación 5, 12 y 15 VDC	\$ 65,23	1	\$ 65,23
Placa de relés de protección	\$ 28,13	2	\$ 56,26
Contactador Auxiliar 5 polos 42 VAC	\$ 15,40	3	\$ 46,20
Contactador Auxiliar 3 polos 220 VAC	\$ 17,21	4	\$ 68,84
Relés 24 VAC	\$ 7,30	3	\$ 21,90
Etiquetas para cables	\$ 15,55	6	\$ 93,30
Módulo 16 I 16 O RLY	\$ 654,00	1	\$ 654,00
Terminales	\$ 20,00	1	\$ 20,00
Elementos de neumática	\$ 319,41	1	\$ 319,41
Total:			\$ 7.799,64

CONCLUSIONES

- Se cambió y diseñó el cableado de control dando un equivalente a 200 m de cable utilizados, obteniendo un cableado completamente identificado y ordenado dentro del tablero principal del puente de lavado cumpliendo con la normativa AWG para el diámetro de los mismos.
- Se dio mantenimiento al sistema neumático del puente de lavado, y se reemplazó las electroválvulas originales 5/2 por electroválvulas 5/3, logrando que los cepillos verticales sigan de manera adecuada el perfil lateral del vehículo, sin este tipo de electroválvula, en las esquinas del vehículo no existía una correcta limpieza ya que los cepillos se abrían completamente dejando de ejercer presión sobre las esquinas del vehículo hasta que estos se cierran nuevamente.
- Se dimensionó un sistema de dosificación de jabón y cera que cumpla con la dosificación requerida por las diferentes marcas existentes en el mercado, que en general es de $67.68 \frac{l}{h}$, por lo que se coloca dos dosificadores modelo DIMOTEC MILENIO 300 cuya capacidad de dosificación es de $36 \frac{l}{h}$, permitiendo controlar la dosificación de jabón y cera líquida.
- Se dio mantenimiento a las bombas de agua utilizadas por el puente de lavado y se suspendió el funcionamiento de la bomba dedicada al lavado de chasis y llantas ya que esta se encontraba en pésimas condiciones, por lo que el cliente decidió suspender el lavado de estas partes del vehículo debido al costo de una bomba nueva de estas características ($0.0483 \frac{m^3}{s}$ de 3.102 MPa), y se deja planteado un control para esta bomba donde se disminuye el consumo de recurso hídrico de $14.49m^3$ a $0.966m^3$ por lavado.
- Se diseñó un sistema de control on-off completamente nuevo para recorrer el perfil superior del vehículo con el cepillo horizontal, el cual sensa la corriente consumida por el motor de rotación del cepillo (26.024 A) mediante un sensor de efecto Hall, si supera este valor el cepillo se eleva y si disminuye desciende, esto después de realizar un control de lectura de transitorios de activación, permitiendo seguir de manera óptima el perfil superior del vehículo.

- Se diseñó un sistema de control para los cepillos verticales, los cuales siguen el perfil del vehículo sensando su inclinación, utilizando el sistema de sensores original del puente de lavado, logrando superar el perfil frontal y posterior de los vehículos
- Es requerido detener el proceso del puente de lavado cuando el perfil no puede ser superado fácilmente, esto es cuando la corriente consumida por el motor de rotación del cepillo horizontal supera los 26.4 A o cuando los cepillo verticales sufren 3 inclinaciones en un periodo de 17 s, evitando que el puente de lavado ocasione daños en el vehículo.
- Para superar perfiles rectos con el cepillo horizontal como el de la parte posterior de un 4x4 con una pendiente considerable, el avance del puente de lavado se detiene para evitar quemaduras en la pintura del vehículo mientras el cepillo horizontal se eleva, una vez que el valor de la corriente llegue a su valor de referencia el puente continúa con su avance
- Se logró superar perfiles sumamente difíciles como el caso de un aire acondicionado en la parte frontal de un furgón, si en el caso anterior el cepillo no logra elevarse y aumenta su consumo de corriente el puente de lavado retrocede y detiene la elevación del cepillo horizontal, cuando el consumo de corriente regresa al valor con el cual empezó a elevarse el puente de lavado detiene su retroceso y continúa elevando el cepillo horizontal regresando al caso anterior para continuar con el proceso
- Se realizó un control de errores para que cuando un cepillo sense que se remordió todo el proceso se detenga evitando causar daños en el vehículo
- Se decidió el sentido de rotación de los cepillos, los verticales el sentido de rotación a favor del avance del puente de lavado, de esta manera se facilita la apertura de los cepillos y protege espejos y antenas, el cepillo horizontal rota de manera opuesta al avance del puente de lavado protegiendo plumas y lanzando el agua sucia a la parte no lavada del vehículo
- El proceso de lavado y encerado lleva un tiempo 300 s para vehículos livianos y 700 s para vehículos pesados (Buses)

RECOMENDACIONES

Cambiar el motor trifásico de 0.55 Kw para el movimiento traslacional del cepillo horizontal por un servomotor, para poder mejorar el control del sistema utilizando un control PI y evitar su desgaste prematuro ya que el motor actual y sus activadores electromecánicos sufren de una activación y desactivación continua, esto permitirá una mayor protección al perfil superior del vehículo.

Cambiar los motores de 15 Kw de las turbinas de secado ya que se encuentran en mal estado a su vez se recomienda utilizar arrancadores suaves para estos motores.

Colocar de medición de corriente similar al del cepillo horizontal en los cepillos verticales para mejorar el control por inclinación de los cepillos, de esta manera se optimizar el tiempo de lavado ya que la señal será detectada de una manera más rápida.

Instalar el sistema de lavado de chasis y llantas con el nuevo sistema de control ya que el consumo de agua con el nuevo sistema ahorraría \$5.82 por vehículo lavado

Colocar sensores ópticos para determinar la longitud del vehículo de esta manera que cuando los cepillos verticales terminen de recorrer el perfil lateral del vehículo se active una válvula solenoide la cual cierre el paso de agua a las toberas orientadas para mojar el vehículo delante de los cepillos verticales, de esta manera se reduciría más aun el consumo de recurso hídrico

El tablero de control debe permanecer cerrado y el operador no debe abrirlo, esto puede ocasionar que ingrese líquido en el tablero y pueda dañar los componentes eléctricos.

En el caso en que el operador detecte alguna falla en el sistema no debe abrir o manipular los componentes del sistema. Se recomienda la utilización del manual del operador y contactar a los autores del proyecto para su revisión.

Reubicar el puente de lavado, en un lugar donde haya como aprovechar al 100% la utilidad de este, ya que en la ubicación actual no pueden ingresar vehículos pesados

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. E. BRECHTEL, «R. E. BRECHTEL AUTOMATIC CAR WASH». United States of North America Patente US 3038481 A, 12 Jun 1962.
- [2] M. Carlson, «Car Wash». United States Of North America Patente US4933016 A, 12 Jun 1990.
- [3] EYNA, «EYNA,» EYNA, 2016. [En línea]. Available: <http://www.eyna.eu/index.php/productos/lavado-sin-contacto/47-lavado-sin-contacto-kondor#prettyPhoto>. [Último acceso: 05 Enero 2016].
- [4] R. W. Hergonson, «Car Washer». United States of North America Patente US3421169 A, 14 Jan 1969.
- [5] W. R, «Truck wash apparatus». United States of North America Patente US 3786823 A, 22 Jan 1974.
- [6] OttoChrist , «Christ WASH SYSTEMS,» Otto Christ AG - Wash Systems, [En línea]. Available: <http://www.christ-ag.com/cms/productos/camiones-y-autobuses/magnum/?L=11>. [Último acceso: 3 Enero 2016].
- [7] D. T. J. D. R. M. I. o. T. James P. Womack, THE MACHINE THAT CHANGED THE WORLD, New York: RAWSON ASSOCIATES SCRIBNER, 1990.
- [8] J. m. G. Thomas Roth, «WashTec,» 11 Jan 2012. [En línea]. Available: http://www.washtec.eu/Press-Releases.306.0.html?&no_cache=1&L=1&tx_nfddownloads_pi1%5Bd%5D=7277. [Último acceso: 13 Jul 2015].
- [9] T. A. Mostul., «Scrubbing brush, rinse and sweeping equipment». United States Of North America Patente US 4461052 A, 24 Jul 1984.
- [10] M. M. Gómez, Introducción a la metodología de la investigación científica, 1ra ed. ed., Brujas: Córdova, 2006, p. 49.

- [11] NEMA, «NEMA National Electrical Manufactures Association,» NEMA National Electrical Manufactures Association, Marzo 2011. [En línea]. Available: <https://www.nema.org/Standards/Pages/Global-Object-Definitions.aspx>. [Último acceso: 22 Diciembre 2015].
- [12] H. O. P. Navarro, «UNAD, Universidad Nacional Abierta y a Distancia,» 15 Enero 2011. [En línea]. Available: <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/299013/Manual061ControladorLgicoProgramablePLC.pdf>. [Último acceso: 17 Diciembre 2015].
- [13] SIEMENS, «Siemens Industrial Mall, Módulos centrales,» Siemens AG 2016, 2016. [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Products/10045648?tree=CatalogTree>. [Último acceso: 28 Febrero 2016].
- [14] SIEMENS, «SIEMENS Industrial Mall 6ES7223-1PL32-0XB0,» Siemens AG 2016, 2016. [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7223-1PL32-0XB0>. [Último acceso: 06 Marzo 2016].
- [15] P. Angulo, «BLOG Docentes Escuela Politécnica Nacional,» 13 Agosto 2015. [En línea]. Available: <http://pabloangulo.blog.epn.edu.ec/wp-content/uploads/sites/174/2014/09/El-Contactor-Electromagn%C3%A9tico.pdf>. [Último acceso: 17 Diciembre 2015].
- [16] P. M. Ramón, Ingeniería de la Automatización Industrial, Mexico D.F: Alfaomega, 2000.
- [17] CHINA FARYUAN ELECTRIC, «DATAHSEET SEARCH SITE LG,» 2015. [En línea]. Available: http://www.ele-b2b.com/contactor-lg-contactor-c-56_58.html. [Último acceso: 06 Abril 2016].
- [18] P. R. M. Murdocca, «Universida Nacional de San Luis, Faculad de Ciencias Fíco Matemáticas y Naturaes, Ingeniería Electrónica,» 12 Marzo 2014. [En línea]. Available: <http://www0.unsl.edu.ar/~interfases/labs/lab09.pdf>. [Último acceso: 12 15 2015].

- [19] w. GmbH, «melsensor,» [En línea]. Available: <http://www.melsensor.de/laser-scanner-m2ilan2-en.html>. [Último acceso: 02 10 2015].
- [20] A. F. S. F. A. F. homas Burkhardt, «BALLUF sensor worldwide,» [En línea]. Available: http://www.nortecnica.com.ar/pdf/teoria_sens_desp_dist.pdf. [Último acceso: 05 10 2015].
- [21] MEL Intelligent Sensor & Mesuring Systems, «Melsensor,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.melsensor.de/laser-scanner/m2-gl-6khz.html>. [Último acceso: 18 Diciembre 2015].
- [22] J. Electronics, «electan electrónica y robótica,» [En línea]. Available: <http://www.electan.com/datasheets/electan/Guia%20Usuario%20Relay%20Control%20Shield%20ES.pdf>. [Último acceso: 30 09 2015].
- [23] sainsmart, «SAIN SMART,» SainSmart, 2015. [En línea]. Available: <http://www.sainsmart.com/16-channel-12v-relay-module-for-pic-arm-avr-dsp-arduino-msp430-ttl-logic.html>. [Último acceso: 07 Abril 2016].
- [24] A. I. S.A, «industrial-automática,» 06 Sep 2010. [En línea]. Available: <http://industrial-automática.blogspot.com/2010/09/valvulas-distribuidoras.html>. [Último acceso: 30 09 2015].
- [25] C. R. i. Romeva, Diseño concurrente, Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2002.
- [26] M. Mihalko, «neuronilla,» 01 abril 2015. [En línea]. Available: <http://www.neuronilla.com/component/content/article/37-generar-ideas/94-analisis-morfologico.html>. [Último acceso: 14 Sep 2015].
- [27] LEM, «LEM,» 17 Noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0030/0900766b800304b0.pdf>. [Último acceso: 30 Diciembre 2015].
- [28] T. Shigeo, «Operation control device for side brushes of automatic carwashing apparatus». Japan Patente 873,979 (US3601833 A), 4 Nov 1971.