



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**TEMA: AUTOMATIZACIÓN DE UNA CABINA PARA
DESENGRASADO, LAVADO Y FOSFATADO PARA LA
EMPRESA AICO ENGINEERING**

**AUTORES: MORALES MALDONADO, DIEGO ESTEBAN
POLO TORRES, JUAN PABLO**

DIRECTOR: ING. CORTEZ PAZMIÑO BYRON. MSC

SANGOLQUÍ

2017



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, *"AUTOMATIZACIÓN DE UNA CABINA PARA DESENGRASADO, LAVADO Y FOSFATADO PARA LA EMPRESA AICO ENGINEERING"* realizado por los señores *DIEGO ESTEBAN MORALES MALDONADO Y JUAN PABLO POLO TORRES*, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores *DIEGO ESTEBAN MORALES MALDONADO Y JUAN PABLO POLO TORRES* para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 15 de Noviembre del 2017

ING. BYRON HERNAN CORTEZ PAZMIÑO .MSC

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, ***DIEGO ESTEBAN MORALES MALDONADO Y JUAN PABLO POLO TORRES***, con cédulas de identidad N° 1719674010 y N° 1400692651 respectivamente, declaramos que este trabajo de titulación "***AUTOMATIZACIÓN DE UNA CABINA PARA DESENGRASADO, LAVADO Y FOSFATADO PARA LA EMPRESA AICO ENGINEERING***" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 15 de Noviembre del 2017


Sr. Morales Maldonado Diego Esteban
C.C 1719674010


Sr. Polo Torres Juan Pablo
C.C 1400692651



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, ***DIEGO ESTEBAN MORALES MALDONADO Y JUAN PABLO POLO TORRES***, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación ***“AUTOMATIZACIÓN DE UNA CABINA PARA DESENGRASADO, LAVADO Y FOSFATADO PARA LA EMPRESA AICO ENGINEERING”*** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 15 de Noviembre del 2017

Sr. Morales Maldonado Diego Esteban
C.C 1719674010

Sr. Polo Torres Juan Pablo
C.C 1400692651

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a mis padres Diego y Dora, quienes son mi inspiración pues ellos con cariño me enseñaron el valor del esfuerzo, la dedicación y la constancia, siempre me han apoyado en todas las etapas de mi vida, gracias a ellos he logrado culminar mis estudios universitarios, y espero llenarlos de orgullo y felicidad.

A mis amigos y compañeros de clase, quienes me han brindado su amistad y confianza, juntos hemos compartido durante los últimos años, grandes momentos llenos de dichas, alegrías y sufrimientos.

Diego Esteban Morales Maldonado.

DEDICATORIA

A mis padres Yolanda y Bolívar, de quienes siempre recibí amor, dedicación y paciencia con la que cada día se preocupaban por mi avance y desarrollo en este proyecto de grado y aún más por mi transcurso por la universidad, gracias a ellos por confiar en mí y en mis sueños, pues gracias a ustedes me he convertido en la persona soy.

A mis hermanos Raisa, André y Geovanny, porque ustedes han sido un pilar fundamental en mi formación personal y profesional, gracias por brindarme su confianza y estar pendientes de mí siempre.

Juan Pablo Polo Torres.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a Dios por darme sabiduría e inteligencia para poder culminar el presente proyecto, así como también concederme salud, vida, dedicación y constancia para terminar mis estudios universitarios y por colmarme de bendiciones a lo largo de mi vida.

A mi madre Dora quien es mi ejemplo de esfuerzo y sacrificio; a mi padre Diego quien me ha brindado su apoyo, ellos son mi modelo a seguir tanto como profesionales responsables así como también un ejemplo de ser humano.

A todos mis amigos quienes hicieron llevadera mi vida universitaria, gracias por brindarme su amistad, confianza y aprecio.

Finalmente agradezco a la empresa AICO Engineering, y en especial a todo su personal, quienes me apoyaron con su experiencia y recursos.

Diego Esteban Morales Maldonado.

AGRADECIMIENTOS

Agradecido con Dios por bendecirme en mi vida con la familia que tengo y la oportunidad de disfrutar junto a ellos cada momento, por darme la fortaleza y sabiduría de poder culminar este proyecto de titulación con éxito.

Gracias a mis padres por estar siempre en esos momentos difíciles brindándome su amor, paciencia y comprensión, los amo.

A mi hermana Raisa por todo el tiempo que ha compartido conmigo en este duro camino, gracias por sus palabras de aliento y apoyo incondicional para que siga adelante y no desmaye.

A mi novia María por todo ser una persona especial en mi vida y su aporte en el presente proyecto; a compañeros, amigos, y a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

Y para finalizar, agradezco a la empresa AICO Engineering, quienes nos dieron la oportunidad de desarrollar este proyecto; también un agradecimiento de manera especial al Director de esta tesis.

GRACIAS A TODOS !!

Juan Pablo Polo Torres.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
INDICE DE TABLAS	xix
RESUMEN	xxii
ABSTRACT	xxiii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes y situación actual.....	1
1.1.1 Componentes actuales del sistema de limpieza de piezas metálicas en AICO Ltda.	2
1.1.2 Descripción del proceso actual de lavado de piezas metálicas realizado en AICO Ltda.....	3
1.1.2.1 Flujograma del proceso.....	5
1.2 Máquinas de limpieza de piezas metálicas.....	6
1.3 Planteamiento del problema.....	8
1.4 Justificación e importancia.....	8
1.5 Objetivos.....	9
1.5.1 Objetivo General.....	9
1.5.2 Objetivos Específicos.....	9
1.6 Alcance.....	10
CAPÍTULO 2	11
MARCO TEÓRICO	11
2.1 Corrosión.....	11
2.1.1 Clasificación de la corrosión.....	12
2.1.2 Prevención de la corrosión y la importancia de pintar un material.....	17
2.2 Limpieza de superficies.....	17
2.3 Lineamientos para la limpieza de piezas metálicas.....	19

2.3.1	Limpieza por Inmersión o Aspersión en Línea	20
2.3.2	Limpieza química.....	21
2.3.3	Limpieza ácida	21
2.4	Métodos de aplicación del lavado ácido.....	21
2.4.1	El fosfato de zinc.....	22
2.4.2	Secuencia del fosfatizado de zinc	23
2.4.3	Desengrasado	23
2.4.4	Enjuague.....	24
2.4.5	Activación	24
2.4.6	Secado	24
2.5	Métodos para aplicar los recubrimientos (fosfatado)	24
2.6	Las etapas del proceso de limpieza	25
2.7	Automatización	27
2.7.1	Sensores y transductores	27
2.7.2	Sensores de proximidad o posición.....	28
2.7.3	Transductores de presión.....	28
2.7.4	PH-metro	29
2.7.5	Controlador Lógico Programable – PLC	29
2.7.6	Interfaz humano-máquina (HMI).....	30
CAPÍTULO 3.....		31
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE AUTOMATIZACIÓN		31
3.1	Descripción del estado inicial.....	31
3.1.1	Obra Civil.....	32
3.1.2	Estructura de la cabina de lavado.....	33
3.1.3	Tanques de reserva.....	37
3.1.4	Sistema de red de tuberías.....	38
3.1.5	Tablero de control	41
3.1.6	Requerimientos del cliente.....	43

3.1.7	Características Técnicas	43
3.2	Propuesta de automatización	44
3.2.1	Determinación de las funciones primarias y secundarias	44
3.2.2	Solución para cada módulo	48
3.2.3	Módulo 1.- Colocación de las piezas metálicas	48
3.2.3.1	Alternativas del mecanismo o sistema para mover los coches	48
3.2.3.1.1	Mecanismo con el uso de cadenas.	48
3.2.3.1.2	Mecanismo con el uso de cable.....	49
3.2.3.1.3	Mecanismo Space Carrier.	50
3.2.3.2	Evaluación de criterios y selección de alternativas para poder movilizar los coches.....	50
3.2.3.3	Alternativas del diseño de los coches	52
3.2.3.3.1	Coche de diseño isométrico.	52
3.2.3.3.2	Coche con destaje en un extremo.....	53
3.2.3.3.3	Coche con sujeción a la cadena de manera permanente.....	54
3.2.3.4	Evaluación de criterios y selección de alternativas para el diseño de los coches.	55
3.2.4	Módulo 2.- Control del proceso.	57
3.2.4.1	Alternativas para mover los coches hacia dentro de la cabina. ...	57
3.2.4.1.1	Mover los coches de manera manual.	57
3.2.4.1.2	Contactores para el encendido y cambio de giro.....	58
3.2.4.1.3	Variador de frecuencia	58
3.2.4.1.4	Evaluación de criterios y selección de alternativas para poder mover los coches hacia dentro de la cabina.	58
3.2.4.2	Configurar los tiempos de los procesos y dimensiones de las piezas. 60	
3.2.4.2.1	Selección de modo de trabajo.	60
3.2.4.2.2	Configurar los tiempos de los procesos y dimensiones de las piezas. .	60
3.2.4.2.3	Alternativas para el controlador.	61
3.2.4.2.4	Alternativa A.....	63
3.2.4.2.5	Alternativa B.....	63

3.2.4.2.6	Alternativa C.....	64
3.2.4.3	Evaluación de criterios y selección de alternativas para el controlador.....	65
3.2.5	Módulo 3.- procesos de desengrasado, lavado y fosfatado.....	67
3.2.5.1	Actuadores neumáticos, electroválvulas neumáticas.....	67
3.2.5.2	Bombas.....	68
3.2.6	Módulo 4.- Señales de transductores y salida de piezas fosfatadas... 69	
3.2.6.1	Alternativas para el módulo 4.....	69
3.2.6.1.1	Verificar los niveles medio y alto de los tanques.....	69
3.2.6.1.2	Verificar el nivel mínimo de los tanques	71
3.2.6.1.3	Verificar si las puertas están abiertas o cerradas.....	72
3.2.6.1.4	Verificar el PH del tanque de Fosfatado	74
3.2.6.1.5	Verificar la necesidad de limpieza del sistema hidráulico	75
3.2.6.1.6	Verificar la presión con la que se rocían las piezas.....	76
CAPÍTULO 4.....		79
DISEÑO		79
4.1	Consideraciones de diseño	79
4.2	Componentes de la cabina	79
4.3	Diseño Mecánico	79
4.3.1	Diseño de la transmisión por cadenas	80
4.3.1.4.1	Cálculo de la potencia corregida de diseño.....	87
4.4	Diseño eléctrico	102
4.4.1	Selección de los elementos maniobra e indicadores.....	102
4.4.1.1	Selección de pulsadores e interruptores.....	102
4.4.1.2	Selección de luces piloto.....	104
4.4.2	Selección de los elementos de control y potencia.....	105
4.4.2.1	Selección de elementos de control.....	105
4.4.2.2	Selección de elementos de potencia.....	106
4.4.3	Selección y dimensionamiento de los elementos de protección	108
4.4.3.1	Selección de elementos de protección.....	108

4.4.3.2	Dimensionamiento del disyuntor principal.....	110
4.4.4	Planteamiento de la ubicación de los componentes eléctricos y electrónicos dentro del tablero de control.....	111
4.4.5	Planteamiento de los planos eléctricos.....	112
4.5	Diseño electrónico.....	113
4.5.1	Selección de sensores y transductores.....	113
4.5.1.1	Selección del transmisor de presión.....	113
4.5.1.2	Selección del Presostato.....	113
4.5.1.3	Selección de interruptor de nivel.....	114
4.5.1.4	Selección del final de carrera.....	115
4.5.2	Selección del Programador lógico computacional (PLC).....	115
4.5.3	Selección de la Interfaz Humano – Maquina (HMI).....	116
4.5.3.1	Conexión entre el PLC y el HMI.....	117
4.5.3.2	Conexión entre el HMI y la PC.....	117
4.5.4	Estructura de las pantallas.....	118
4.5.5	Dimensionamiento de la fuente de 24V DC.....	120
CAPÍTULO 5.....	122	
PRUEBAS Y RESULTADOS.....	122	
5.1	Pruebas para la calibración y linealización de transmisor de presión.....	122
5.2	Pruebas para la calibración y linealización de PH-metro.....	124
5.3	Pruebas para determinar la cantidad de fosfato de zinc por metro cuadrado. 127	
5.4	Pruebas para determinar la adherencia, doblado y espesor del acabado de pintura.....	129
CAPITULO 6.....	130	
ESTUDIO FINANCIERO.....	130	
6.1	Presupuesto de costos, gastos e ingresos del proyecto.....	130
6.1.1	Presupuesto de Costos y Gastos.....	130
6.1.1.1	Costos de Materia Prima.....	130

6.1.1.2 Costo de la mano de obra directa	130
6.1.1.3 Gastos Indirectos de Fabricación	131
6.1.1.4 Costos de etapas en la limpieza.....	133
6.1.1.5 Proyección de los costos de lavado y enjuague	133
6.1.2 Ingresos del proyecto	134
6.1.2.1 Ingresos por reducción de Costos	134
6.1.2.2 Ingresos por incremento en la producción	135
6.1.3 Tiempo utilizado para la limpieza manual	135
6.2 Inversión	138
6.2.1 Activos fijos.....	138
6.2.2 Depreciación	139
6.2.3 Financiamiento.....	139
6.3 Estado de Resultados	140
6.3.1 Flujo de Caja Proyectado.....	140
6.4 Evaluación Financiera	141
6.4.1 Costo de Oportunidad	142
6.4.2 Valor Actual Neto	142
6.4.3 Tasa Interna de Retorno	144
6.4.4 Período de Recuperación de la Inversión (PRI).....	144
6.5 Conclusiones de la Evaluación Financiera	145
CAPÍTULO 7.....	146
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	146
7.1 CONCLUSIONES.....	146
7.2 RECOMENDACIONES	148
BIBLIOGRAFÍA.....	149
ANEXOS	152
A1: PLANOS MECÁNICOS.....	153
A2: PLANOS ELÉCTRICOS	154
A3: CERTIFICADOS	155

A4: CATÁLOGOS **156**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Oficinas y planta de producción de AICO Engineering	1
Figura 2 Cabina de lavado de piezas metálicas.....	2
Figura 3 Tablero de control de la cabina de lavado	3
Figura 4 Lavado manual de una plancha metálica	4
Figura 5 Lavadora de piezas por aspersion modelo UNIX 2B - 80 - 100 -120	6
Figura 6 Túneles de Lavado y Desengrase con Tambor Rotativo	7
Figura 7 Lavadora de piezas por aspersion multietapa CR 1200-2X.....	7
Figura 8 Corrosión prematura en acero galvanizado	8
Figura 9 Corrosión en estructura metálica	11
Figura 10 Diferentes forma de corrosión	12
Figura 11 Comportamiento anódico-catódico del acero con capas de cinc y estaño expuestas a la atmósfera.	13
Figura 12 Corrosión en codo por erosión.....	13
Figura 13 Corrosión por agrietamiento	14
Figura 14 Picadura en los dientes de un engrane helicoidal	14
Figura 15 Corrosión por exfoliación en una pieza de aluminio	15
Figura 16 Corrosión en utensilios de plata.....	16
Figura 17 Corrosión intergranular en acero inoxidable	16
Figura 18 Fractura quebradiza por corrosión bajo tensión.....	17
Figura 19 Máquina de limpieza por aspersion automática	20
Figura 20 Secuencia del fosfatado de Zinc	23
Figura 21 Pieza metálica sin desengrasar.....	24
Figura 22. Transmisor de presión WIKA.....	28
Figura 23. PH- metro digital.	29
Figura 24. PLC entradas y salidas.....	30
Figura 25. Pantallas HMI.	30
Figura 26. Componentes principales de la cabina.....	32
Figura 27. Dimensiones generales del espacio para colocar la cabina	33
Figura 28. Estructura principal de la cabina y sus componentes	34
Figura 29. Vista frontal de la cabina para el ingreso de las piezas metálicas	34
Figura 30. Sumidero de la cabina.....	35
Figura 31. Viga IPN 100x55 desde la estación de pintura hacia la salida de la cabina de lavado	36
Figura 32. Sistema de aspersores	36
Figura 33. Diseño de la posición de los aspersores.....	37
Figura 34. Tanques de reserva	37
Figura 35. Tubería con sus accesorios	38
Figura 36. Posición de las válvulas en la tubería	39
Figura 37. Válvula de bola neumática.....	40
Figura 38. Válvula con actuador neumático acoplado a la válvula mariposa.....	40
Figura 39. Elementos mecánicos internos de la válvula con actuador neumático	41
Figura 40. Bomba de 2HP de potencia	41
Figura 41. Tablero de control B-Line	42

Figura 42. Distribución de elementos eléctricos de control y potencia	42
Figura 43. “Caja negra” nivel 0.....	44
Figura 44. Nivel 2 – División de bloques del nivel 1.....	46
Figura 45. Análisis modular	47
Figura 46. Esquema general del mecanismo por cadena	48
Figura 47. Blondín	49
Figura 48. Sistema Space Carrier.....	50
Figura 49. Coche de diseño isométrico.....	53
Figura 50. Coche con destaje en un extremo	54
Figura 51. Coche con sujeción a la cadena de manera permanente	55
Figura 52. Panel de control de la cabina.	60
Figura 53 HMISTU855.....	61
Figura 54. Soluciones del Módulo.	65
Figura 55. Electroválvulas 5/2.	67
Figura 56. Actuador rotativo neumático tipo mariposa.	68
Figura 57. Bombas.	68
Figura 58. Relé de nivel con su sonda.	72
Figura 59. Transmisor de PH.	75
Figura 60. Probeta in line de PH.	75
Figura 61. Presostato hidráulico o neumático.....	76
Figura 62. Sección trasversal de la viga IPN 100x55 y del piñón	80
Figura 63. Cadena de rodillos simple.....	81
Figura 64. Catarina sujeta a manzana o cubo.....	83
Figura 65. Sistema de transmisión por cadenas	89
Figura 66. Fuerzas sobre las catarinas de cadenas	90
Figura 67. DCL del eje de transmisión plano YZ.....	91
Figura 68. Diagrama de fuerza cortante V plano YZ.....	92
Figura 69. Diagrama de momento flector M plano YZ	93
Figura 70. DCL del eje de transmisión plano XZ.....	93
Figura 71. Diagrama de fuerza cortante V plano XZ.....	94
Figura 72. Diagrama de momento flector M plano XZ	94
Figura 73. Hombro y chavetero en eje	95
Figura 74. Límite de la resistencia a la fatiga	96
Figura 75. Factor de carga.....	97
Figura 76. kb con el diámetro real	100
Figura 77. Chumacera UCP-202-10 34 <i>pulg</i>	102
Figura 78. Esquema de la ubicación de los elementos eléctricos y electrónicos dentro del tablero de control.....	112
Figura 79. Esquema de conexión entre PLC y HMI.	117
Figura 80. Esquema de conexión entre PC y HMI.....	118
Figura 81. Estructura de las pantallas del HMI.....	119
Figura 82. Pruebas para el transmisor de presión.	122
Figura 83. Linealización del transmisor de presión.	123
Figura 84. Visualización de presión del sistema en el HMI.	124
Figura 85. Pruebas para el transmisor de pH.	125

Figura 86. Verificación del pH de diferentes sustancias.....	125
Figura 87. Linealización del transmisor de pH.	126
Figura 88. Visualización de pH del sistema en el HMI.	127
Figura 89 Tablero NEMA 3R (E-JP-N-3R3).....	135

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Etapas de Desengrasado.....	25
Tabla 2 Modo de empleo.....	27
Tabla 3 Componentes de la cabina de lavado	31
Tabla 4 Características de las necesidades del cliente	43
Tabla 5 Características Técnicas	44
Tabla 6 Ponderación de criterios de evaluación de las alternativas para movilizar los coches.....	51
Tabla 7 Ponderación de Operabilidad para movilizar los coches.	51
Tabla 8 Ponderación de Funcionalidad para movilizar los coches.	51
Tabla 9 Ponderación de Costo para movilizar los coches.....	51
Tabla 10 Conclusión en la selección de la alternativa para movilizar los coches.....	52
Tabla 11 Ponderación de criterios de evaluación de las alternativas para el diseño de los coches.....	55
Tabla 12 Ponderación de Operabilidad para el diseño de los coches.	56
Tabla 13 Ponderación de Funcionalidad para el diseño de los coches.	56
Tabla 14 Ponderación de Costo para el diseño de los coches.....	56
Tabla 15 Conclusión en la selección de la alternativa para el diseño de los coches..	56
Tabla 16 Ponderación de criterios de evaluación de las alternativas para mover los coches hacia la cabina.....	58
Tabla 17 Ponderación de Capacidad para mover los coches hacia la cabina.....	59
Tabla 18 Ponderación de Funcionalidad para mover los coches hacia la cabina.....	59
Tabla 19 Ponderación de Costo para mover los coches hacia la cabina.	59
Tabla 20 Conclusión en la selección de la alternativa para mover los coches hacia la cabina.....	59
Tabla 21 Número de entradas requeridas.....	62
Tabla 22 Número de salidas requeridas.	62
Tabla 23 Características principales de la Alternativa A.	63
Tabla 24 Características principales de la Alternativa B.	64
Tabla 25 Características principales de la Alternativa C.	64
Tabla 26 Ponderación de criterios de evaluación para módulo 2.....	66
Tabla 27 Ponderación de Espacio para soluciones del módulo 2.	66
Tabla 28 Ponderación de funcionalidad de implementación para soluciones del módulo 2.....	66
Tabla 29 Ponderación de costo para soluciones del módulo 2.	66
Tabla 30 Conclusión en la selección de la alternativa para el módulo 2.	67
Tabla 31 Posibles soluciones del posible sensor a usarse para poder verificar los niveles medio y máximo de los tanques.	70
Tabla 32 Ponderación de criterios de evaluación del posible sensor a usarse para poder verificar los niveles medio y máximo de los tanques.	70
Tabla 33 Ponderación de Material del posible sensor a usarse para poder verificar los niveles medio y máximo de los tanques.	70

Tabla 34 Ponderación de tipo de Conexión del posible sensor a usarse para poder verificar los niveles medio y máximo de los tanques.....	71
Tabla 35 Ponderación de Costo del posible sensor a usarse para poder verificar los niveles medio y máximo de los tanques.....	71
Tabla 36 Conclusión en la selección de la mejor alternativa del posible sensor a usarse para poder verificar los niveles medio y máximo de los tanques...	71
Tabla 37 Posibles soluciones para verificar si se las puertas están abiertas o cerradas	73
Tabla 38 Ponderación de criterios de evaluación para verificar si se las puertas están abiertas o cerradas.....	73
Tabla 39 Ponderación de Versatilidad para verificar si se las puertas están abiertas o cerradas.	73
Tabla 40 Ponderación de Costo para verificar si se las puertas están abiertas o cerradas	74
Tabla 41. Conclusión en la selección de la mejor alternativa para verificar si se las puertas están abiertas o cerradas.	74
Tabla 42. Posibles soluciones para poder saber la presión de rocío dentro de la cabina.....	76
Tabla 43. Ponderación de criterios de evaluación.....	77
Tabla 44. Ponderación de Material.	77
Tabla 45. Ponderación de tipo de Conexión al proceso.	77
Tabla 46. Ponderación de Costo.....	77
Tabla 47. Conclusión en la selección de la mejor alternativa para saber la presión de rocío dentro de la cabina.	78
Tabla 48. Capacidad nominal de potencias de cadenas de rodillos simple.....	81
Tabla 49. Dimensiones de cadenas estándares de rodillos americanas: torón sencillo	82
Tabla 50. Numero de dientes de catarina de un solo torón	83
Tabla 51. Especificaciones de catrina y manzana	84
Tabla 52. Factores de servicio para transmisiones por cadenas.....	87
Tabla 53. Parámetros en la condición superficial	96
Tabla 54. Factores de confiabilidad k_e correspondientes a 8 desviaciones estándares porcentuales del límite de resistencia a la fatiga.....	97
Tabla 55. Eje redondo con filete en el hombro en flexión.....	98
Tabla 56. Eje redondo con filete en el hombro en torsión	98
Tabla 57. Sensibilidad a la muesca en caso de aceros y aluminios sometido a flexiones inversas de cargas axiales inversas.....	99
Tabla 58. Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa	100
Tabla 59. Descripción de pulsadores e interruptores	103
Tabla 60. Descripción de las luces piloto a 24V DC	104
Tabla 61. Descripción de las luces piloto a 110V AC	104
Tabla 62. Descripción de los relés a 110V AC	105
Tabla 63. Descripción de los relés a 24V DC	106
Tabla 64. Descripción de los contactores para comandar las bombas y niquelinas.	107

Tabla 65. Descripción del variador de frecuencia para controlar el motor del sistema de cadenas de transmisión.	107
Tabla 66. Descripción de los elementos de protección.	109
Tabla 67. Cálculo del consumo máximo combinado para dimensionar el disyuntor principal.	110
Tabla 68. Descripción del disyuntor principal	111
Tabla 69. Descripción del transmisor de presión.	113
Tabla 70. Descripción del Presostato.	114
Tabla 71. Descripción del interruptor de nivel flotador.	114
Tabla 72. Descripción del fin de carrera.	115
Tabla 73. Características del PLC con sus módulos.	116
Tabla 74. Características del HMI.	116
Tabla 75. Cálculo del consumo máximo a 24V DC para dimensionar la fuente de poder.	120
Tabla 76. Descripción de la fuente de poder 24V DC.	121
Tabla 77. Datos recibidos por el PLC del Transmisor de presión.	123
Tabla 78. Datos recibidos por el PLC del Transmisor de presión	125
Tabla 79. Análisis de los datos proporcionados por laboratorio del peso de piezas fosfatadas.	128
Tabla 80. Análisis salarial mano de obra directa	131
Tabla 81. Depreciación de activos fijos	132
Tabla 82. Costos de la etapa de lavado y enjuague	133
Tabla 83. Proyección de los costos de lavado y enjuague	133
Tabla 84. Costos del proceso manual	134
Tabla 85. Otros insumos	134
Tabla 86. Tiempo en el proceso manual de lavado y enjuague	136
Tabla 87. Tiempo en el proceso automático de lavado y enjuague	136
Tabla 88. Incremento neto del proceso automatizado	137
Tabla 89. Resumen de ingresos generados por implementación del proyecto	137
Tabla 90. Activos fijos	138
Tabla 91. Depreciaciones	139
Tabla 92. Proyección del estado de resultados	140
Tabla 93. Flujo de Caja Proyectado	141
Tabla 94. Costo de Oportunidad	142
Tabla 95. Valor Actual Neto	143
Tabla 96. Periodo de recuperación de la inversión	145
Tabla 97. Resumen de la Evaluación Financiera	145

RESUMEN

En la actualidad la automatización de procesos industriales es de gran importancia, sea por ahorro en el tiempo de producción, por optimización de materias primas, o prevención de riesgos laborales en procesos donde existan amenazas para los operarios. El presente proyecto tiene como objetivos automatizar una cabina para desengrasado, lavado y fosfatado de piezas metálicas, que posteriormente pasaran a la etapa de pintado, obteniendo un ahorro económico, por la reutilización de recursos y disminución de los tiempos de proceso, además tiene el complemento de evitar que el obrero manipule directamente sustancias corrosivas, previniendo riesgos laborales o futuras consecuencias en la salud del trabajador, por el contacto continuo de dichas sustancias. La primera parte se basa en los antecedentes históricos de los procesos de lavado, enjuague y fosfatado de metales en la industria, con qué propósito se realiza dichos procesos, y que tipo de procedimientos se realiza en la empresa AICO. La parte intermedia se basa en las alternativas de automatización, selección de la mejor solución a los diversos planteamientos que se proponen para poder realizar con éxito, el diseño eléctrico, electrónico y mecánico. La última parte son pruebas y resultados, realizando un análisis de placas procesadas dentro de la cabina y posteriormente pintadas, para determinar la calidad del proceso de fosfatado, si este cumple con la mejora de adherencia de la pintura electroestática con relación al proceso manual que se realizaba con anterioridad, y el análisis financiero para precisar si fue o no beneficiosa la inversión de la empresa.

PALABRAS CLAVES:

- **AUTOMATIZAR**
- **FOSFATADO**
- **INSTRUMENTACIÓN**
- **OXIDACIÓN**

ABSTRACT

The automation of industrial processes has a big importance, either by saving production time, optimization of raw materials, or prevention of occupational hazards in processes where there are threats for operators. The objective of this project is to automate a cabin for degreasing, washing and phosphating metallic pieces, which will later go on to the painting stage, obtaining an economic saving, for the reuse of resources and reduction of the process times, in addition it has the complement to prevent the worker health for directly handling of corrosive substances, preventing occupational risks or future consequences in the health of the worker, by the continuous contact of these substances. The first part is based on the historical background of the processes of washing, rinsing and phosphating of metals in the industry, for what purpose these processes are carried out, and what kind of procedures is carried out in the company AICO. The intermediate part is based on the alternatives of automation, selection of the best solution to the different approaches that are proposed to be able to carry out successfully, electrical, electronic and mechanical design. The last part are tests and results, performing an analysis of plates processed inside the cabin and later painted, to determine the quality of the phosphating process, if this complies with the improvement of adhesion of the electrostatic painting in relation to the manual process that is Previously, and the financial analysis to determine whether or not it was beneficial investment of the company.

KEYWORDS:

- **AUTOMATING**
- **PHOSPHATE**
- **INSTRUMENTATION**
- **OXIDATION**

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se redacta una breve reseña histórica de la empresa AICO Ltda. Además se describe el proceso de limpieza de piezas metálicas que se maneja en la actualidad y se plantea el problema, la justificación e importancia, determinación de los objetivos a cumplir, y el alcance del presente proyecto.

1.1 Antecedentes y situación actual

AICO, es una empresa familiar que fue fundada en el año de 1985 por el Ing. Carlos Celleri Pesantez. Es una compañía especializada en el desarrollo y manufactura de productos industriales eléctricos de media y baja tensión especialmente para el área industrial.

Cuenta con una moderna infraestructura como se muestra en la figura 1, su planta operativa está ubicada en el sector de Cochapamba Alto en la ciudad de Quito. Para el adecuado funcionamiento dispone de equipos de última tecnología, con personal altamente capacitado. Todos los productos que oferta la empresa son manejados bajo un estricto sistema de calidad ISO 9001-2008.



Figura 1 Oficinas y planta de producción de AICO Engineering

Fuente: (Aico Engineering, 2016)

Dentro de los principales productos y servicios que AICO oferta se encuentran:

- Asesoramiento y Ventas
- Diseño a Medida de Sistemas Eléctricos.
- Capacitaciones y Soporte Técnico
- Instalación de Equipos
- Automatización de Procesos
- Mantenimiento de Equipos
- Comisionamiento de Equipos
- Equipos de Instrumentación y Pruebas en Laboratorio
- Soluciones Integrales (Aico Engineering, 2016)

1.1.1 Componentes actuales del sistema de limpieza de piezas metálicas en AICO Ltda.

En la línea de producción actual de AICO se realiza el proceso de desengrasado, lavado y fosfatado de piezas metálicas; para lo cual la empresa cuenta con una cabina de lavado, el mismo que se lo ejecuta de forma manual (ver figura 2).



Figura 2 Cabina de lavado de piezas metálicas

Con relación a la parte de automática, existe un switch para el encendido y apagado de las bombas de agua de cada uno de sus tanques, además de otros interruptores para la abertura de sus válvulas de salida y retorno hacia sus respectivos tanques. El tablero

de control que presentamos en la figura 3, no se encuentra en funcionamiento, motivo por el cual el proceso de limpieza de piezas se lo realizada de forma manual.



Figura 3 Tablero de control de la cabina de lavado

1.1.2 Descripción del proceso actual de lavado de piezas metálicas realizado en AICO Ltda.

El proceso de lavado de piezas metálicas, es un punto al cual es necesario prestarle atención y realizarlo correctamente, pues cualquier sedimento, grasa, fibra u otra suciedad en la superficie ocasiona una mala adhesión de la pintura. Durante este proceso, el principal inconveniente detectado es la corrosión existente en las chapas.

En el proceso de limpieza actual, el pintor es el encargado de la correcta limpieza de las piezas. Para ello, primero verifica que la pieza no contenga residuos de fases anteriores. Generalmente el material proviene de etapas como el troquelado, plegado y suelda en donde muchas veces quedan restos no deseados, o el terminado de las piezas no son las indicadas. Cuando el material contiene estos residuos es necesario utilizar herramientas como una amoladora, limas y espátulas para asegurarse de que la superficie y las aristas de la pieza queden lo más uniforme posible.

Una vez concluido este proceso, el pintor procede a lavar las piezas, para ello utiliza una solución de fosfato de zinc, y con una esponja humedecida, poco a poco va sumergiendo la pieza hasta que sea completamente cubierta con fosfato de zinc. Para que el fosfato cumpla con su acción limpiadora, es necesario dejar reposar esta solución sobre la pieza por varios minutos antes de ser lavada con agua (ver figura 4). Posterior al lavado se seca el material al aire libre o con aire comprimido. Por último, el pintor revisa la pieza para ver si está lista para el pintado; en este punto la superficie del material tiene que haber cambiado del color típico de acero laminado en caliente a un azulado opaco. (Hidrobo & Barragán, 2013).

La textura del material también cambia de un liso áspero a un liso suave. En la práctica el cambio de color y textura, con el proceso de lavado manual, no es homogéneo e incluye otros colores como el blanco. Esto puede ocurrir porque el químico utilizado no es bueno o el tiempo de aplicación no es el ideal.

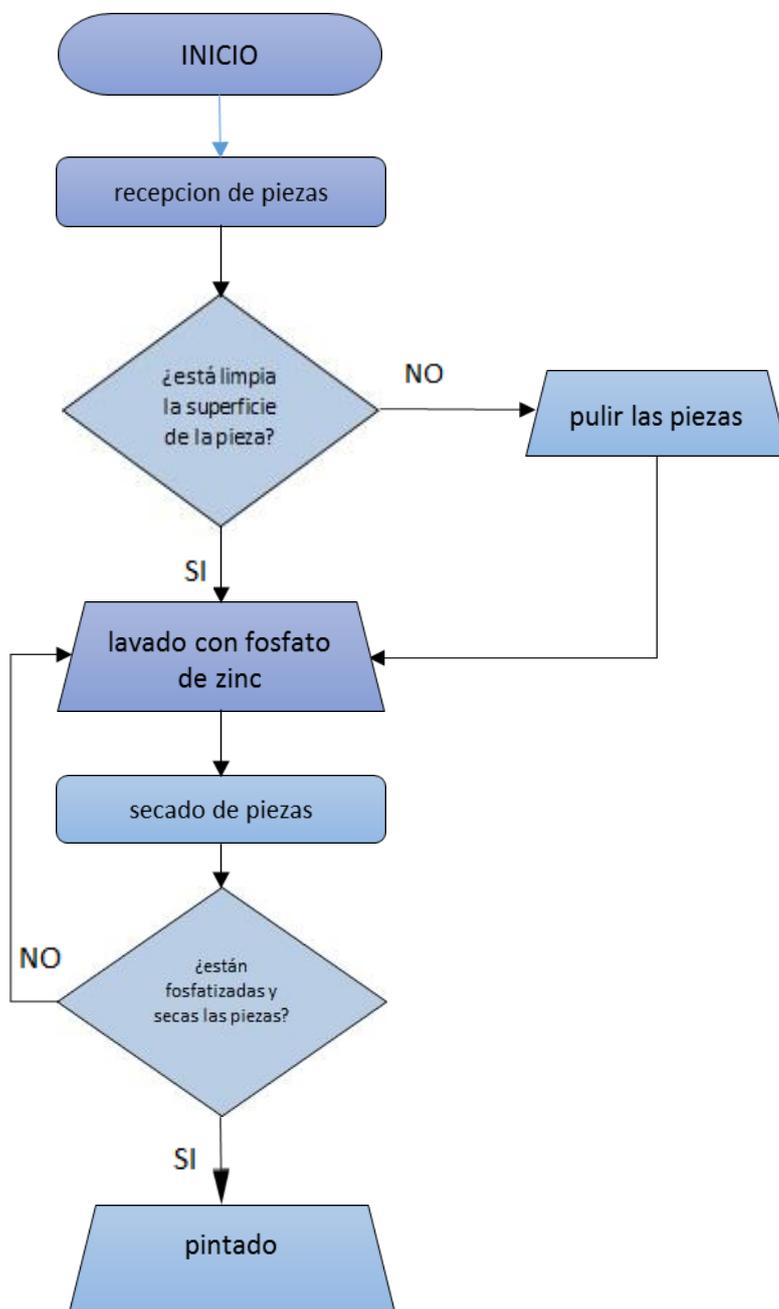
Cuando las piezas metálicas están listas se continúa con el proceso de pintura, caso contrario regresan a ser reprocesadas.



Figura 4 Lavado manual de una plancha metálica

En el siguiente punto se muestra un flujo grama del proceso manual de fosfatado de las piezas metálicas previo a la aplicación de la pintura electrostática.

1.1.2.1 Flujograma del proceso



1.2 Máquinas de limpieza de piezas metálicas

En la actualidad existen varias empresas extranjeras dedicadas a la fabricación de maquinaria especializada en el desengrase y lavado de piezas metálicas. Dentro de las principales empresas que ofertan este servicio destacan: TEKNOX (ver figura 5), BAUFOR (ver figura 6) y DALMAR (ver figura 7).

Estas empresas ofrecen variados diseños de maquinaria adaptados a los diferentes procesos de lavado. Sus precios oscilan entre los 5000 y 300000 euros, dependiendo del modelo y capacidad de lavado de la maquinaria.

En la figura 5 se aprecia una lavadora de piezas con cesta rotativa y con sistema de aspersión para el lavado de piezas metálicas y plásticas con agua caliente y detergente biodegradable. Carga máxima: 300 Kg/d.



Figura 5 Lavadora de piezas por aspersión modelo UNIX 2B - 80 - 100 -120

Fuente: (Teknox, 2015)

La característica principal de esta maquinaria BAUFOR (figura 6), es que permite realizar el proceso de lavado, desengrase y secado en un ciclo continuo de piezas metálicas al granel. El lavado se efectúa mediante una combinación de aspersión e inmersión.



Figura 6 Túneles de Lavado y Desengrase con Tambor Rotativo

Fuente: (Baufor, 2016)

En la figura 7 se muestra una máquina automática adecuada para el lavado de piezas metálicas pequeñas, incluso con roscas externas, agujeros roscados y de formas especiales y particulares, tiene una carga útil de 30 kg/h. Incorpora aspiración de vapores y secado al horno.



Figura 7 Lavadora de piezas por aspersión multietapa CR 1200-2X

Fuente: (Dalmar, 2016)

1.3 Planteamiento del problema

La corrosión es un problema continuo en las empresas que trabajan con chapas metálicas, es por ello que se tratan de aplicar diferentes métodos de prevención y llevar una limpieza adecuada, con la finalidad de preparar la superficie para que esta sea más resistente a la corrosión (ver figura 8).



Figura 8 Corrosión prematura en acero galvanizado

Fuente: (Santalla, 2013)

En la actualidad, existen diversos tratamientos superficiales de recubrimiento resistente a la corrosión, ornamento, fino acabado de superficie, etc. Estos tratamientos, preparan a la superficie metálica para que sea buena receptora de recubrimientos con pintura en polvo o líquida. Hoy en día el proceso de pretratamiento de láminas como es el desengrasado, lavado y fosfatado se lo realiza de forma manual, utilizando sustancias químicas que actúan como agentes limpiadores de superficies metálicas de grasas, óxidos y elementos extraños que perjudican la adherencia de la pintura.

1.4 Justificación e importancia

La empresa AICO Engineering busca mejorar la calidad de sus productos ofertados. Para lograr esta competitividad es necesario que la empresa automatice ciertos procesos internos productivos, uno de ellos es la automatización de la cabina,

para la realización de procesos de desengrasado, lavado y fosfatado, previo a la aplicación de pintura electrostática de piezas metálicas.

Para mejorar los tiempos de producción, disminuir costos, reutilizar insumos y obtener una mejor calidad en los productos. Se ve la necesidad imperiosa de cambiar el proceso, de forma que cumpla con los siguientes requerimientos:

- Mejorar la calidad de la superficie metálica para la recepción del recubrimiento de pintura.
- Reducir el tiempo empleado en el tratamiento de la superficie garantizando mayor eficiencia y calidad.
- Incrementar la producción y venta de los productos procesados en la obra como son, tableros de distribución, subestaciones compactas, tableros Tipo C-LINE, Analizadores y Equipos de Medición.
- Disminuir los recursos e insumos empleados por el personal en el proceso de limpieza.
- Eliminar el tiempo perdido a causa de la espera de un medio ambiente adecuado para la aplicación manual del producto químico que se emplea actualmente en la limpieza.
- Resguardar la salud del operador.
- Realizar una adecuada evacuación los productos químicos empleados.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Automatizar una cabina para desengrasado, lavado y fosfatado para la empresa AICO Ltda.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Diseñar los elementos mecánicos necesarios del sistema de transporte de las piezas metálicas.
- Reubicar los diversos componentes ya existentes para el montaje de sensores y actuadores.

- Implementar tres tipos de procesos con diversos parámetros para las etapas de desengrasado, lavado y fosfatado.
- Realizar un Interfaz Humano-Máquina (HMI) para la comunicación, del monitoreo y funcionamiento de los procesos en tiempo real.
- Diseñar e implementar los circuitos de control y potencia.

1.6 Alcance

- Realizar el estudio y la construcción de un sistema de transportación de piezas metálicas.
- Realizar el estudio e implementación de un sistema automático adecuado para el lavado de los productos a ser procesados.
- Realizar el estudio de los procesos de pretratamiento para piezas metálicas previo a la pintura electrostática así como de los productos químicos a emplearse.
- Realizar el estudio financiero para la viabilidad del presente proyecto.
- Capacitar al personal involucrado en el manejo del uso correcto de la cabina de lavado.
- Realizar pruebas de adherencia de pintura bajo norma técnicas dadas por la empresa beneficiaria.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En el capítulo se detalla los fundamentos modernos de la automática, principios de los sistemas automatizados y procesos de limpieza de piezas metálicas. Se enfoca la importancia de automatizar procesos industriales, y la prevención de la corrosión en metales. Además de detallar varios elementos y componentes necesarios para la automatización del proceso de desengrasado, lavado y fosfatado de las chapas metálicas.

2.1 Corrosión

La corrosión es un tipo de oxidación que se suele limitar a la destrucción química de metales. Es difícil dar una definición exacta de corrosión aunque todas hacen referencia a la evolución indeseable de un material como consecuencia del medio que lo rodea. Dicha corrosión se produce en los materiales por la acción de una serie de agentes externos, que pueden ser la atmósfera, el aire húmedo, el agua o cualquier otra disolución. A pesar de ello, todos los metales pueden ser usados siempre que su velocidad de deterioro sea aceptablemente baja.

De esta forma, en corrosión se estudia la velocidad con que se deterioran los metales y la forma en que dicha velocidad puede ser controlada (Franco, 2015).

La corrosión puede ser uniforme y entonces el metal se corroe a la misma velocidad en toda su superficie como se observa en la figura 9, o bien, puede ser localizada, en cuyo caso solamente resultan afectadas áreas pequeñas.



Figura 9 Corrosión en estructura metálica

Fuente: (Pichel, 2007)

2.1.1 Clasificación de la corrosión

Existen diferentes apariencias de la corrosión y se la puede clasificar en uniforme o localizada. En el caso de la corrosión localizada, es importante diferenciarla entre la corrosión localizada de tipo macroscópico y el ataque microscópico local (ver figura 10).

En el ataque microscópico, la cantidad de metal disuelto es mínimo y puede conducir a daños muy considerables antes de que el problema sea visible.

Los diferentes tipos de corrosión se presentan a continuación y se enuncia cada una de estas formas.

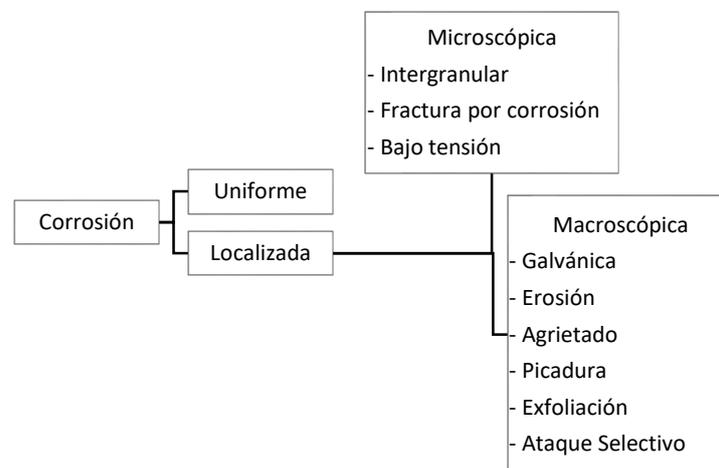


Figura 10 Diferentes formas de corrosión

2.1.1.1 Corrosión galvánica

Es la corrosión acelerada que puede ocurrir cuando metales distintos (con distinto par redox) se unen eléctricamente en presencia de un electrolito. El ataque galvánico puede ser uniforme o localizado en la unión entre aleaciones, dependiendo de las condiciones. La corrosión galvánica puede ser particularmente severa cuando las películas protectoras de corrosión no se forman o son eliminadas por erosión. (Textos Científicos, 2016)

Este tipo de corrosión, ocurre cuando metales diferentes se encuentran en contacto, ambos metales poseen potenciales eléctricos diferentes lo cual favorece la aparición de un metal como ánodo y otro como cátodo, (ver figura 11).

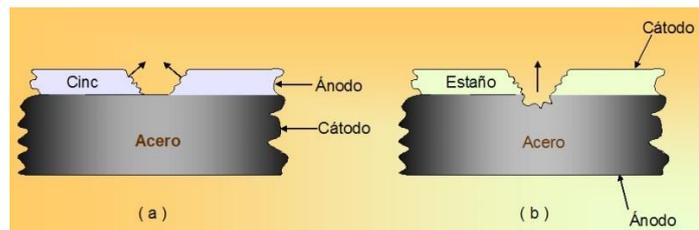


Figura 11 Comportamiento anódico-catódico del acero con capas de cinc y estaño expuestas a la atmósfera. a) Se corroe el cinc. b) Se corroe el acero.

Fuente: (València, 2016)

2.1.1.2 Corrosión por erosión

Al combinar la acción del ataque químico y la abrasión mecánica o desgaste, como consecuencia del movimiento de un fluido, se origina la corrosión por erosión.

Eventualmente, todas las aleaciones metálicas son susceptibles de experimentar corrosión por erosión en mayor o menor grado. Este tipo de corrosión perjudica especialmente a las aleaciones que se pasivan formando una película superficial protectora; la acción abrasiva puede erosionar la película dejando al descubierto la superficie metálica (Callister, 1996). La corrosión por erosión se suele presentar en tuberías, especialmente en codos, ángulos y cambios bruscos de diámetro: posiciones donde el fluido cambia de dirección y suele convertirse en turbulento (ver figura 12).



Figura 12 Corrosión en codo por erosión

Fuente: (García, 2016)

2.1.1.3 Corrosión por agrietamiento

La corrosión por grietas es una forma de corrosión electroquímicamente localizada que puede presentarse en hendiduras y bajo superficies protegidas, donde pueden existir soluciones estancadas.

Este tipo de corrosión es frecuente bajo juntas, remaches, pernos y tornillos, entre válvulas y sus asientos (ver figura 13), bajo depósitos porosos y en muchos lugares similares. La corrosión por grietas se produce en muchos sistemas de aleaciones como el acero inoxidable y aleaciones de titanio, aluminio y cobre (Parada, 2009).



Figura 13 Corrosión por agrietamiento

Fuente: (Barranquismo, 2004)

2.1.1.4 Corrosión por picadura

La picadura es una forma de ataque corrosivo localizado que produce hoyos pequeños agujeros en un metal. Este tipo de corrosión es muy destructivo, frecuentemente es difícil de detectar debido a que los pequeños agujeros pueden ser tapados por los productos de la corrosión. Las diferencias entre las concentraciones de iones y oxígeno crean celdas de concentración que también pueden ser el origen de las perforaciones (ver figura 14).



Figura 14 Picadura en los dientes de un engrane helicoidal

Fuente: (Rodríguez, 2016)

2.1.1.5 Corrosión por exfoliación

La corrosión por exfoliación es una corrosión subsuperficial que comienza sobre una superficie limpia, pero se esparce debajo de ella y difiere de la corrosión por picadura en que el ataque tiene una apariencia laminar (Fortaleza Informativa, 2008). Capas completas de material son corroídas y el ataque es generalmente reconocido por el aspecto escamoso y en ocasiones ampollado de la superficie como se muestra en la figura 15. Al final del ataque, una muestra tiene la apariencia de un mazo de barajas en el cual algunas de las cartas han sido extraídas. Este mecanismo es bien conocido en las aleaciones de aluminio y se combate utilizando aleaciones y tratamientos térmicos.



Figura 15 Corrosión por exfoliación en una pieza de aluminio

Fuente: (Selvan, 2015)

2.1.1.6 Corrosión por ataque selectivo

La corrosión por ataque selectivo se produce al efectuarse la remoción de uno de los elementos de una aleación, siendo el ejemplo más común la eliminación del zinc en aleaciones de cobre-zinc, conocido con el nombre de dezincificación. Este tipo de corrosión actúa solo en metales nobles, los ataques de la corrosión dejan una capa que recubre el metal y hace parecer q no estuviera corroído el metal (ver figura 16).



Figura 16 Corrosión en utensilios de plata

Fuente: (Flavia, 2015)

2.1.1.7 Corrosión intergranular

Como su nombre indica, la corrosión intergranular ocurre preferentemente a lo largo de los límites de grano de algunas aleaciones en ambientes específicos y, como consecuencia, la muestra se desintegra a lo largo de los límites de grano. Este tipo de corrosión predomina en algunos aceros inoxidable, que, cuando se calientan a temperaturas comprendidas entre los 500 y los 800°C durante periodos de tiempo suficientemente largos, se sensibilizan para el ataque intergranular (Callister, 1996).

Se cree que este tratamiento térmico permite la formación de pequeñas partículas de precipitados de carburo de cromo (Cr_23c_2) por reacción entre el cromo y el carbono en el acero inoxidable. Estas partículas, como ilustra la figura 17, se forman a lo largo de los límites de grano, regiones altamente susceptibles de corroerse.



Figura 17 Corrosión intergranular en acero inoxidable

Fuente: (Laufgang, 2016)

2.1.1.8 Corrosión bajo tensión

La acción conjunta de un esfuerzo de tensión y un medio ambiente corrosivo, dará como resultado en algunos casos, la fractura de una aleación metálica. La mayoría de las aleaciones son susceptibles a este ataque, pero afortunadamente el número de combinaciones aleación – corrosivo que causan este problema, son relativamente pocas. Sin embargo, hasta la fecha, este es uno de los problemas metalúrgicos más serios. Los esfuerzos que causan las fracturas provienen de trabajos en frío, soldadura, tratamiento térmicos, o bien, pueden ser aplicados en forma externa durante la operación del equipo (ver figura 18).

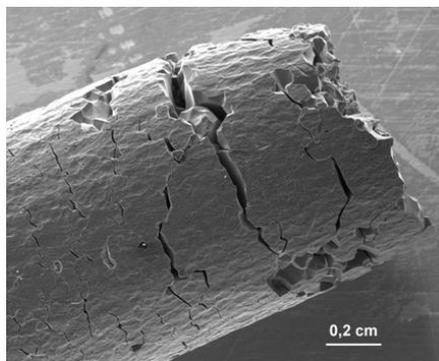


Figura 18 Fractura quebradiza por corrosión bajo tensión

Fuente: (Selvan, 2016)

2.1.2 Prevención de la corrosión y la importancia de pintar un material

Todos los metales son susceptibles a la corrosión; éste es el desgaste paulatino de los materiales debido a agentes externos. Dentro de la ingeniería, este desgaste tiene que ser considerado en la ejecución de un proyecto, ya que, puede afectar en su desempeño, cualquiera éste sea. Existen un sin número de maneras en las que se puede combatir la corrosión, dependiendo del grado de importancia que ésta tenga en el proyecto. Una de las formas más comunes es por medio de recubrimientos orgánicos e inorgánicos. La pintura es uno de los recubrimientos más comunes y utilizados al momento, debido a su sencillez, bajo costo, apariencia y efectividad.

2.2 Limpieza de superficies

Una superficie limpia puede tener efectos benéficos y perjudiciales, aunque una superficie que no está limpia puede reducir la tendencia a la adhesión y a la

excoriación. La limpieza suele ser fundamental para una aplicación más efectiva de recubrimientos, pintura, unión con adhesivos, soldadura fuerte y soldadura blanda, así como para el funcionamiento confiable de partes manufacturadas en maquinaria, operaciones de ensamble y contenedores de alimentos y bebidas.

La limpieza comprende la remoción de contaminantes sólidos, semisólidos o líquidos de una superficie y es una parte importante de las operaciones de manufactura y la economía de producción. (Kalpakjian, 2008)

El tipo de proceso de limpieza requerido depende del tipo de residuo de fluidos para el trabajo de metales y los contaminantes a retirar. Los contaminantes pueden basarse en herrumbre, cascarillas, virutas y otros desechos metálicos y no metálicos, también fluidos para el trabajo de los metales, lubricantes sólidos, pigmentos, compuestos de pulido y lapeado y elementos ambientales en general. Existen tres tipos de métodos de limpieza que se usa comúnmente, como se indica a continuación:

- **Limpieza mecánica.** Consiste en perturbar físicamente los contaminantes, a menudo con cepillos de alambre o fibra, chorros abrasivos, tamboreo o chorros de vapor. Muchos de estos procesos son muy efectivos para remover herrumbre, cascarilla y otros contaminantes sólidos.
- **Limpieza electrolítica.** En esta operación, a la pieza que se va a limpiar se le aplica una solución acuosa (frecuentemente alcalina) que produce burbujas de hidrógeno u oxígeno (dependiendo de la polaridad), las cuales se liberan en la superficie de la pieza. Las burbujas son abrasivas y ayudan a retirar los contaminantes.
- **Limpieza química.** En este proceso, la limpieza comprende la remoción de aceite y grasa de las superficies. Esta operación consiste en uno o más de los siguientes procesos:
 - Solución: la mugre se disuelve en la solución de limpieza.
 - Saponificación: reacción química que convierte los aceites animales y vegetales en un jabón soluble en agua.
 - Emulsificación: la solución de limpieza reacciona con los depósitos de mugre o lubricante y forma una emulsión; después la suciedad y el emulsificador quedan suspendidos en la emulsión.

- **Dispersión:** la concentración de suciedad en la superficie disminuye mediante elementos activos superficiales en la solución de limpieza.
- **Agregación:** se remueven lubricantes de la superficie mediante varios agentes en el lavado y se reúnen como partículas de mugre grandes.
- **Fluidos de limpieza.** Los fluidos de limpieza comunes utilizados junto con procesos electroquímicos para una limpieza más efectiva son los siguientes:
 - **Soluciones alcalinas:** es una composición compleja de químicos solubles en agua, por lo general son los menos costosos y más efectivos en operaciones de manufactura. La mayoría de las partes se limpian en transportadores continuos rociándolos con la solución y enjuagándolos con agua.
 - **Emulsiones:** habitualmente consiste de kerosene y aceites solubles en agua y diversos tipos de emulsificantes.
 - **Solventes:** por lo común solventes de petróleo, hidrocarburos clorados y alcoholes minerales, suelen utilizarse en líneas cortas; los incendios y la toxicidad son riesgos importantes.
 - **Vapores calientes:** pueden utilizarse solventes clorados para remover aceite, grasa y cera. El solvente se hierve en un contenedor y después se condensa. Este proceso de vapor en caliente es sencillo y las partes limpias quedan secas.
 - **Ácidos, sales y mezclas orgánicas compuestas:** éstas son efectivas en la limpieza de partes cubiertas con mezcla pesada o depósitos aceitosos y óxido.

2.3 Lineamientos para la limpieza de piezas metálicas

La efectividad en la limpieza de metales es de vital importancia para todas las empresas en las que el proceso de producción incluye la fabricación o el montaje de piezas metálicas. Durante los diversos pasos del proceso de producción, deben limpiarse los diversos residuos producidos por el mismo proceso, lo que garantizará la calidad del acabado final (Fosfamet, 2010).

La limpieza de piezas metálicas formadas ha llegado a ser tan importante que las compañías han implementado rigurosos programas de prueba para calificar un

producto sobre: a) Como lava y b) La calidad de una pieza después de que es soldada, preparada y pintada.

La selección de los procesos de limpieza usualmente está dictada por: a) Un residuo que debe ser limpiado b) El metal y c) El grado de limpieza requerido el aceite, fluidos y grasas de las piezas metálicas. La selección del proceso de limpieza se basa en diversas variables, y se requiere una comprensión cuidadosa de los mecanismos básicos de limpieza. A continuación se enumeran varios métodos de limpieza de piezas metálicas (Milacron, 2011).

En la actualidad existen varios métodos para realizar la limpieza de superficies metálicas como los enumerados anteriormente. A continuación se presenta una breve descripción de los métodos involucrados para la realización del presente proyecto.

2.3.1 Limpieza por Inmersión o Aspersión en Línea

Es el método más común de limpieza de piezas metálicas. Ambos sistemas utilizan un lavado de base agua que puede ser ácido o alcalino (ver figura 19). Este tipo de limpieza se utiliza para remover residuos de los fluidos de estampado y embutido, antes de una operación de acabado final. Los limpiadores de inmersión ácidos o alcalinos se utilizan principalmente antes de recubrir, anodizar y cromar. Los limpiadores ácidos o alcalinos para aspersión normalmente se utilizan para operaciones de recubrimiento (Milacron, 2011).



Figura 19 Máquina de limpieza por aspersión automática

Fuente: (Raimondi, 2017)

2.3.2 Limpieza química

Es un método para la limpieza de metales que utiliza la reacción química, electrólisis o ambos. A través de una reacción química con algún producto específico, superficies metálicas son liberadas de escamas de óxido, pintura y materiales extraños (Mexiquense, 2017).

2.3.3 Limpieza ácida

La limpieza ácida es un proceso en donde una solución constituida principalmente por un ácido, es usada para remover óxidos, polvos, aceites, grasa y otros contaminantes que pueden tener los metales. Una gran variedad de ácidos pueden ser utilizados. Estos ácidos pueden ser inorgánicos, mezclas de ácido y solvente o soluciones de sales ácidas.

Generalmente estas soluciones también contienen agentes humectantes, detergentes, solventes, inhibidores (minimiza el ataque al metal), agentes antiespumantes/espumantes, entre otros, para promover la limpieza del metal. (ASM, 1994)

2.4 Métodos de aplicación del lavado ácido

Una solución ácida puede ser aplicada manualmente, por rociado, inmersión, con el método del barril o con una limpieza electrolítica. El lavado manual consiste en aplicar el ácido a la pieza con una franela o esponja para después de dos o tres minutos enjuagarlo. En este método es necesario un equipo de protección básica para la persona que aplica la solución. El lavado con rociadores consiste en aplicar la solución ácida por medio de aspersión a presión (Hidrobo & Barragán, 2013).

Se puede utilizar una presión de entre 2 psi – 2000 psi teniendo el cuidado de no dañar el material. Generalmente en una línea de lavado el rango de presiones oscila entre 10 psi – 30 psi. Usualmente se utiliza el ácido caliente para mejorar el lavado. Es importante tener en perspectiva el uso de surfactantes para prevenir espuma en este proceso de limpieza (ASM, 1994).

En el método de inmersión el material ingresa por completo en la solución ácida. Mediante agitación y una temperatura apropiada la pieza es lavada de forma eficiente. El método del barril consiste en tener un barril con la solución ácida y las piezas a

lavar. El barril rota ayudando a que las piezas se laven con el ácido y el movimiento del barril. Es recomendable usar este método cuando se tiene una gran cantidad de piezas pequeñas. La limpieza electrolítica consiste en cargar eléctricamente a la pieza a ser lavada para que las burbujas que ésta produce al ser introducida dentro del fluido, debido a la electricidad, la limpien. (ASM, 1994)

2.4.1 El fosfato de zinc

Dentro del medio industrial, los limpiadores ácidos son bastante comunes. El fosfato de zinc es uno de ellos. Este químico, en la naturaleza se presenta como hopeite (mineral de la clase de los fosfatos - fosfato hidratado de zinc) con estructura cristalina ortorrómbica o el parahopeite que posee la misma composición pero tiene estructura cristalina triclinica (Mindat, 2012).

Tanto el hopeite como el parahopeite se denominan como fosfatos de zinc hidratados o minerales que se encuentran en la naturaleza. Su fórmula molecular es $Zn_3(PO_4)_2$ y provienen de la oxidación de la esfalerita que son cristales de sulfato de zinc y hierro principalmente (Íbid, 2015).

Por otro lado, es un químico de compuesto inorgánico que se utiliza para limpiar residuos de la superficie de los metales como: minerales, compuestos orgánicos, grasas, sedimentos, virutas metálicas y casi cualquier tipo de impurezas. Normalmente es necesario eliminar estas impurezas para que el manejo del material en otros procesos químicos o mecánicos sea efectivo.

Uno de los beneficios que este producto brinda es la protección a la corrosión mediante el trabajo conjunto con un revestimiento de pintura o con láminas de algún polímero. También la aplicación del fosfato de zinc aumenta la ductilidad del material, ayudando a procesos mecánicos como el trefilado de alambres y tubos (Beardmore, 2008).

Finalmente, la acción del fosfato de zinc en la superficie aumenta el área de la misma; ésta se impregna en los poros del metal aumentando el área útil. Se lo utiliza como una base para la pintura que aumenta su adherencia y su tiempo de vida. Si la aplicación de fosfato es la adecuada también aumentará la resistencia a la humedad del material y eventualmente la resistencia a la corrosión (Ilve Chemicals, 2009).

2.4.2 Secuencia del fosfatizado de zinc

A continuación se muestra de forma secuencial el procedimiento del fosfatizado de zinc.

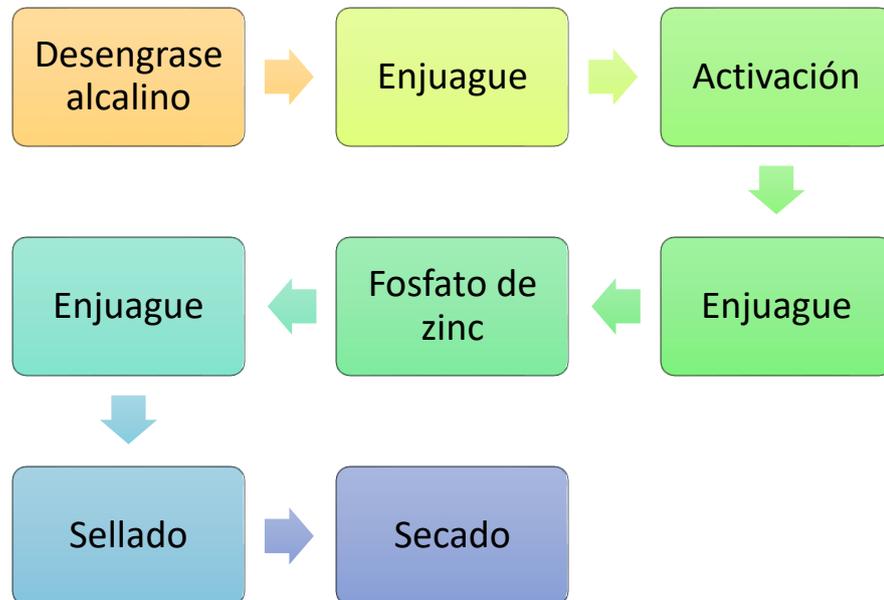


Figura 20 Secuencia del fosfatado de Zinc

2.4.3 Desengrasado

Eliminación de las grasas y aceites de protección de los aceros y aluminios (ver figura 21), a través de etapas de inmersión o aspersion en medio habitualmente ácido o alcalina (reacciones de saponificación con obtención de los alcoholes y sal alcalina del ácido). Es necesaria la utilización de antiespumantes habitualmente de naturaleza polimérica. Los disolventes cada vez se utilizan menos, tanto por razones medioambientales como de seguridad (Fosfamet, 2010).



Figura 21 Pieza metálica sin desengrasar

Fuente: (IES, 2010)

2.4.4 Enjuague

Es importante realizar un buen enjuague para eliminar todo resto de película alcalina o ácida que pueda quedar en la superficie. Un mal enjuague puede dar lugar a una mala adherencia, o manchas en los depósitos posteriores.

2.4.5 Activación

En general la adición de agentes activadores, previa a la fosfatación. Estos agentes activadores incrementan el número de lugares activos de la superficie del metal donde se forma el cristal de fosfato (Ferrepro, 2016)

2.4.6 Secado

Este proceso sirve para eliminar cualquier residuo de agua del lavado anterior, en el caso de AICO se lo realiza con aire comprimido.

2.5 Métodos para aplicar los recubrimientos (fosfatado)

Existen 4 tipos de fosfatado en uso: el fosfatado de hierro, el fosfatado cristalino de zinc, el fosfatado microcristalino de zinc y el fosfatado de manganeso. A continuación se describen brevemente los procedimientos de aplicación:

1) Inmersión

Esta es una de las técnicas más difundidas y aplicadas, mediante este método se puede aplicar todos los tipos de fosfatado mencionados anteriormente. Su tiempo de

aplicación es de aproximadamente 5 minutos. La mayor ventaja es que proporciona un mayor espesor de recubrimiento (Torres, 2011).

2) Aspersión

Mediante este método se puede aplicar fosfatados de hierro y zinc, no ocurre lo mismo con el fosfatado de manganeso. Este método hace posible la aplicación en un tiempo menor al del fosfatado por inmersión. El rociado ó aspersión requiere una aplicación no mayor a 5 minutos y los espesores obtenidos en promedio son de 1 a 2 micrómetros (Torres, 2011).

3) Fosfatado electroquímico

El proceso toma entre 0.5 y 5 minutos de polarización electroquímica seguida de consolidación química del depósito para un tiempo total de 14 minutos, consiguiéndose de esta manera un recubrimiento uniforme de baja porosidad. La desventaja de este proceso es el costo elevado de instalación y del uso de una fuente de energía eléctrica (Ferrepro, 2016)

2.6 Las etapas del proceso de limpieza

Dentro de la industria automotriz y electrónica, donde la limpieza es fundamental para evitar la corrosión en condiciones adversas, es necesario utilizar el fosfato de zinc con las condiciones de operación propuestas. Se considera las siguientes etapas de limpieza si la solución se encuentra caliente y si se aplica el método de aspersión:

Tabla 1
Etapas de Desengrasado

	Etapas	Temperatura	Presión	Tiempo
		<i>° Celsius</i>	<i>Bar</i>	<i>Minutos</i>
1	Desengrase*	40 - 60	1 - 2.5	2 - 2.5
2	Enjuague con agua	15 - 30	0.7 - 1.5	0.5 - 0.7
3	Fosfatación**	40 - 60	1 - 2	2 - 2.5
4	Enjuague con agua	15 - 30	0.7 - 1.5	0.5 - 0.7
5	Pasivación*(Culminación del proceso donde se obtiene la máscara protectora).	20 - 40	0.7 - 1.5	0.5 - 0.7

*Solución en Desengrase: Concentración: 3 - 10 g/ml, pH: 2 - 3.

**Solución en Fosfatado / Pasivación: Concentración: 5 - 15 g/ml, pH 2 - 3.

Fuente: (Ilve Chemicals, 2008)

La pasivación es la reacción química del material base al contacto con el oxígeno o con una solución acuosa. Esta reacción genera una máscara protectora en la superficie del metal que sirve para proteger la superficie en contra de la oxidación, el desgaste al clima y a la corrosión en general. El subproceso o la etapa de Pasivación ocurre naturalmente en los metales con inmunidad a la corrosión, es decir, si el material se encuentra en un medio con oxígeno su superficie se auto pasivará. Por ejemplo, el acero inoxidable por sus elementos de aleación genera una capa de óxido con abundante cromo lo que le protege de la corrosión constantemente (Hidrobo & Barragán, 2013).

En el caso de utilizar metales que por naturaleza no son inmunes a la corrosión se utiliza el mismo fosfato para generar su pasivación, esto depende de las condiciones de operación del proceso de fosfatado empleando cierta temperatura, presión y tiempo para completar la formación de la película protectora. (Ilve Chemicals, 2008)

LADIFQUIM CIA. LTDA. (Laboratorio Para el Desarrollo Investigación y Fabricación de Productos Químicos) es uno de los proveedores de elección por la industria Ecuatoriana. AICO utiliza sus productos en cuanto al tratado de las superficies de sus metales con el producto llamado LADIF FOS ULTRA.

Este producto es un desengrasante, desoxidante y como fosfatante metálico. Específicamente se lo utiliza para el tratamiento de metales como: hierro, acero, aluminio o sus aleaciones, los fosfatos ácidos dejan una fina película protectora de fosfilita que es fosfato de hierro-zinc en la superficie. Este producto cuenta con una tecnología actualizada por lo que se lo podrá utilizar en frío. Su modo de empleo se verá afectada por el tratamiento que se va a realizar con la superficie del metal. En la tabla 2 se describen el modo de empleo de acuerdo a sus concentraciones.

Tabla 2
Modo de empleo

	Etapa	Concentración
		<i>C=cantidad de Ladif Fos / cantidad de agua</i>
1	Desengrase	1:5 – 1:8
2	Alta Oxidación	1:1 – 1:3
3	Fosfatado	1:10 – 1:20

Fuente: (Ladifquim, 2016)

2.7 Automatización

La Automatización Industrial, consiste en la aplicación de diversas tecnologías con el fin de controlar y monitorear un proceso, maquina, o dispositivo que generalmente cumple funciones o tareas repetitivas, haciendo que actúe automáticamente, reduciendo al mínimo la intervención humana en el proceso.

El principal objetivo de la Automatización industrial es lograr la mayor cantidad de producto, en el mínimo tiempo posible, con el fin de aminorar los costos y garantizar una homogeneidad en la calidad (Crespo, 2011).

2.7.1 Sensores y transductores

Los transductores, que son elementos que transforman señales, para la mejor apreciación y medición de variables en un determinado fenómeno. Un transductor es el dispositivo que modifica una magnitud física (mecánica, térmica, magnética, eléctrica, óptica, etc.) en otra magnitud, generalmente de carácter eléctrica (Universidad de Tarapaca, 2007) .

Un sensor es un transductor que se usa para medir una variable física de interés, los transductores y los sensores se clasifican en dos tipos básicos, dependiendo del formato de la señal convertida. Los dos tipos son:

Los transductores de tipo analógicos que proporcionan una señal analógica continua. Esta señal puede ser usada como el valor de la variable física que se mide.

Los transductores de tipo digitales producen una señal de salida digital. En uno o cero lógico, las señales digitales representan el valor de la variable medida (Universidad de Tarapaca, 2015).

2.7.2 Sensores de proximidad o posición

- Inductivos.- Tiene alta precisión de detección y pueden detectar solamente objetos metálicos sin necesidad de tocarlos.
- Capacitivos.- Detectan elementos no metálicos como por ejemplo papel, caucho, plásticos, etc. Poseen gran estabilidad y repetibilidad.
- Magnéticos.- Definen distancias de gran conmutación, y detectan únicamente objetos magnéticos.
- Fotoeléctricos.- Poseen una gran precisión en la detección de una posición sin importar el material del cual está fabricado el objeto a medir.
- Fin de carrera.- es un sensor mecánico que determinan la posición de un objeto móvil.

2.7.3 Transductores de presión

- Presostato.- Es un aparato permiten controlar una presión o depresión en circuitos neumáticos o hidráulicos. Cuando la presión o la depresión alcanzan el valor de sesteado, cambia el estado de uno de contactos de NO a NC o viceversa
- Transmisor de presión.- Los transmisores de presión, son transductores que pueden detectar el valor de una determinada presión o la variación de la misma y la convierte en una señal eléctrica (ver figura 22). La señal eléctrica muestra el valor de presión recibida (Eugen, 2014).



Figura 22. Transmisor de presión WIKA.

Fuente: (Eugen, 2014)

2.7.4 PH-metro

El PH-metro es un aparato analizador que mide la concentración de iones de hidrogeno, usando un electrodo sensible a los iones. El electrodo del PH-metro es un electrodo combinado, en el cual se encuentran complementados un electrodo de referencia y un electrodo de cristal, en una misma sonda, ambos tubos el interior y el exterior, contienen un coloide de referencia, pero únicamente el tubo exterior el cual tiene contacto con el medio al cual se evaluara, actúa como un tapón poroso o como un puente salino (ver figura 23).

La determinación de pH por lo tanto consiste en medir el potencial que se desarrolla a través de la membrana de cristal que separa las dos soluciones con diferente concentración de protones. En consecuencia el alambre que se sumerge al interior (normalmente Ag/ AgCl) permite conducir este potencial hasta un amplificador y de allí a un transmisor para que dicho potencial pueda convertirse en una señal eléctrica dando el valor del Ph de la solución que se está evaluando (Mettler, 2014).



Figura 23. PH- metro digital.

Fuente: (Mettler, 2014)

2.7.5 Controlador Lógico Programable – PLC

El Controlador Lógico Programable es un dispositivo digital electrónico reprogramable, el cual efectúa la ejecución de un programa de forma cíclica, la ejecución de dicho programa puede ser interrumpida momentáneamente para realizar otras tareas consideradas prioritarias, pero el aspecto más significativo es la garantía de ejecución completa del programa principal (ver figura 24).

Estos controladores son utilizados fundamentalmente en aquellas instalaciones industriales donde sea necesario un proceso de maniobra, control y precisión, donde la decisión, la acción, y ejecución deben ser tomadas de manera rápida, para responder en tiempo real ante eventos de un determinado proceso (Moreno, 2014).

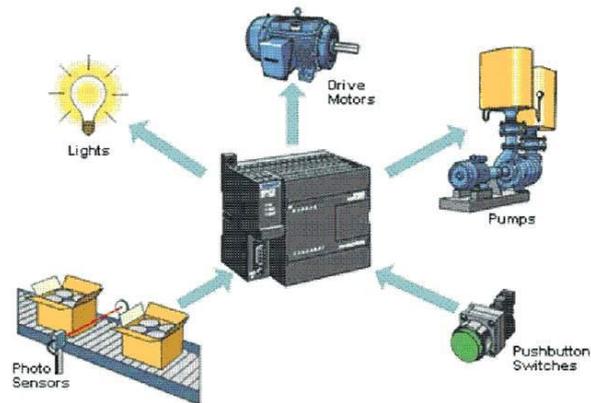


Figura 24. PLC entradas y salidas.

Fuente: (Moreno, 2014)

2.7.6 Interfaz humano-máquina (HMI)

El HMI es un dispositivo que permite la interacción entre el humano y la máquina, esta entrega información al operario bajo una programación previa (ver figura 25). El sistema garantiza seguridad al sistema o proceso que se lleve a cabo en tiempo real, y cumple con las funciones de monitoreo, supervisión, control, históricos y alarmas.



Figura 25. Pantallas HMI.

Fuente: (Siemens, 2015)

CAPÍTULO 3

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE AUTOMATIZACIÓN

Este capítulo se centra en la selección de las alternativas para el diseño e implementación del sistema automatizado de lavado de las piezas metálicas, obteniendo las especificaciones técnicas del sistema, para lograr este propósito se empieza analizando la situación actual además de obtener las necesidades del cliente en nuestro caso la empresa beneficiaria AICO Engineering, las cuales serán cubiertas con las especificaciones técnicas del sistema automatizado que el ingeniero debe cumplir en el momento del diseño, mediante alternativas de solución se escoge la opción optima a la necesidad del diseño.

3.1 Descripción del estado inicial

La planta de producción de AICO se encuentra dividida en diferentes áreas donde cada una se encarga de un proceso específico, entre uno de ellos es el área de lavado, el cual cuenta con la infraestructura, equipos, herramientas y el personal especializado para llevar a cabo esta actividad técnica, como parte del proceso de fabricación, la tabla 3 enlista los componentes que se tiene en la cabina de lavado.

Tabla 3
Componentes de la cabina de lavado

Componentes	Materiales
Obra civil	<ul style="list-style-type: none"> - Acometidas de agua, luz y aire comprimido - Gradas
Estructura de la cabina	<ul style="list-style-type: none"> - Sumidero - Puertas - Techo - Paredes - Ventanas
Sistema hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> - Tubería - Aspersores - Tanques de reserva - Aspersores - Válvulas de salida y retorno

La figura 26 muestra los tres componentes principales de la cabina de lavado de las piezas metálicas.

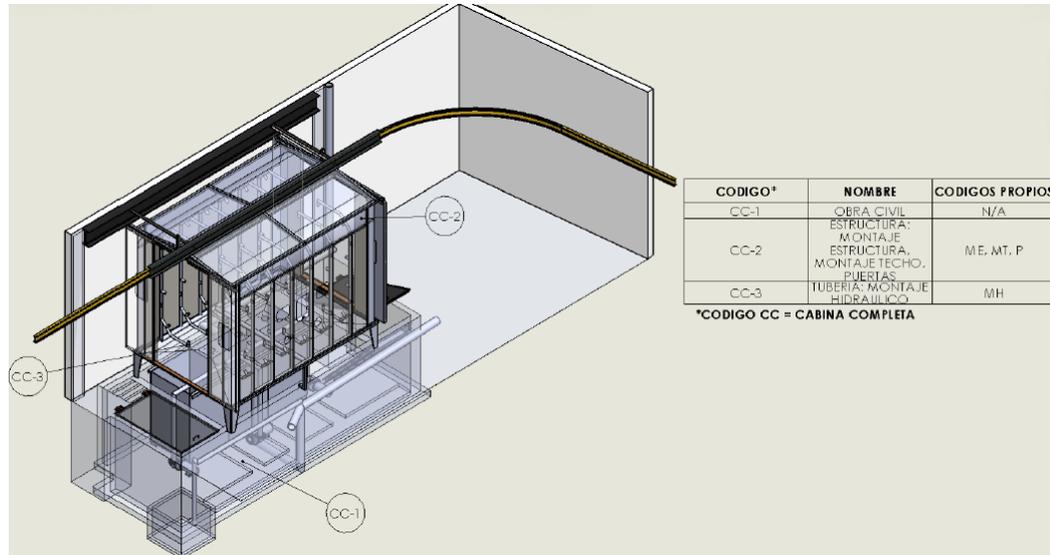


Figura 26. Componentes principales de la cabina

Fuente: (Hidrobo & Barragán, 2013)

3.1.1 Obra Civil

De acuerdo a los datos suministrados por AICO y como se puede observar en la figura 27 el espacio disponible que muestra las dimensiones generales, para ubicar la cabina de lavado con todos sus accesorios y equipos, esto da unas dimensiones máximas de 7920 x 3475 x 2860 mm (L x W x H), además de contar con las acometidas de agua, luz y aire comprimido para el funcionamiento de la cabina de lavado.

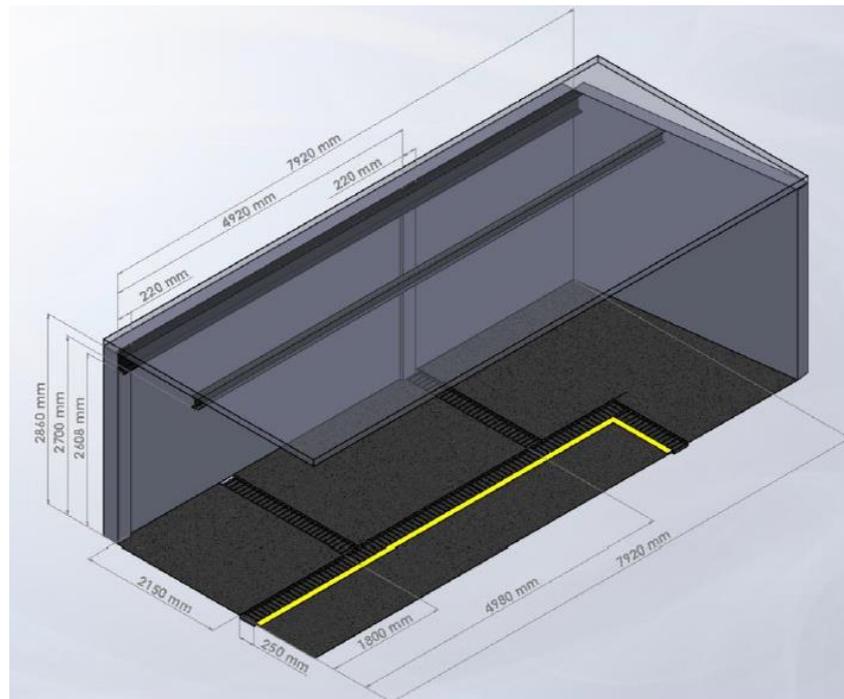


Figura 27. Dimensiones generales del espacio para colocar la cabina

Fuente: (Hidrobo & Barragán, 2013)

Teniendo en cuenta estas dimensiones se puede definir los límites de diseño y las medidas de construcción, para realizar los análisis necesarios y las mejoras correspondientes en el nuevo sistema automatizado de lavado.

3.1.2 Estructura de la cabina de lavado

AICO dispone de una cabina de lavado como se aprecia en la figura 28, el diseño consta con paredes y soportes esquineros que fueron hechos de planchas de acero inoxidable AISI 304, este es un acero con usos muy variados, en nuestro caso necesario para evitar la corrosión ya que siempre estará expuesto a líquidos, además se utilizó tubos cuadrados, planchas para la estructura y los soportes centrales. Los tubos cuadrados son soldados entre sí para formar la base de la cabina. Los soportes esquineros y centrales también son soldados a la base. Las paredes en cambio son empernadas al sumidero por la parte interior de la cabina. Igualmente son empernadas entre sí en sus dobleces.

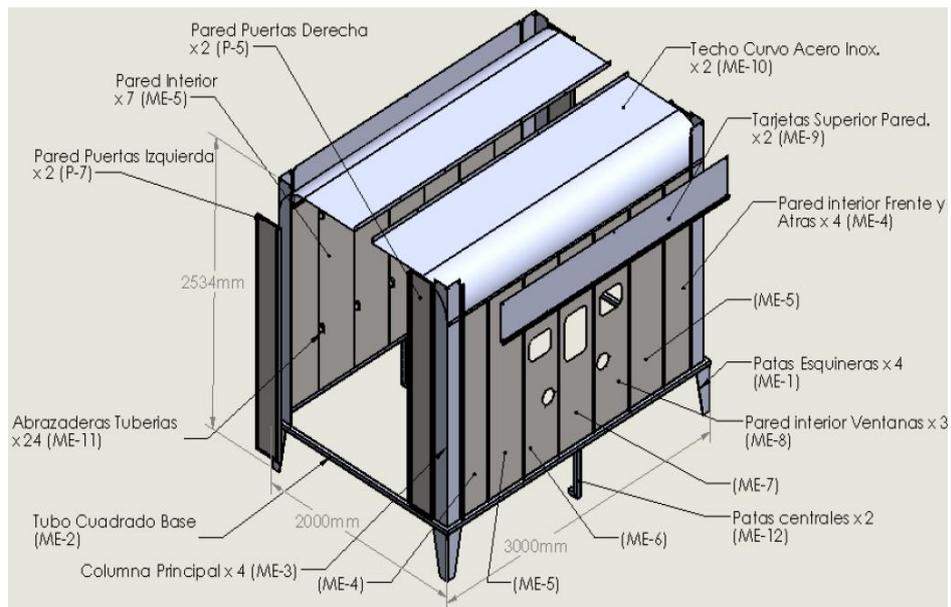


Figura 28. Estructura principal de la cabina y sus componentes

Fuente: (Hidrobo & Barragán, 2013)

La cabina tiene como medidas 3000 x 2000 x 2534 mm (L x W x H), una parte importante a tomar en cuenta son las dimensiones 1100.80 x 2047 mm (W x H) para el ingreso de los coches que transportaran las piezas metálicas como se muestra a continuación en la figura 29:

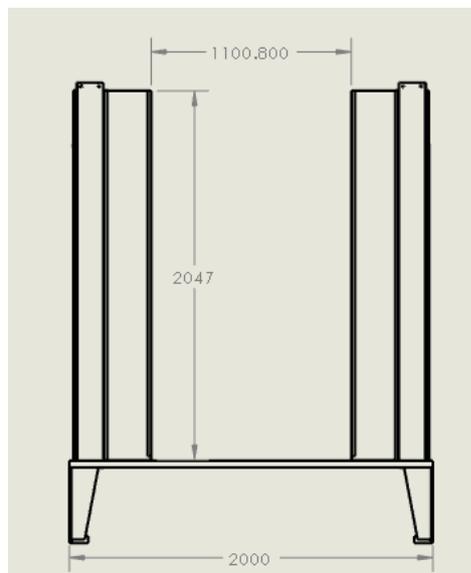


Figura 29. Vista frontal de la cabina para el ingreso de las piezas metálicas

3.1.2.1 Sumidero

Una parte fundamental en la estructura metálica de la cabina y parte esencial para la recirculación de los fluidos hacia los tanques de reserva, la figura 30 muestra el diseño del sumidero.

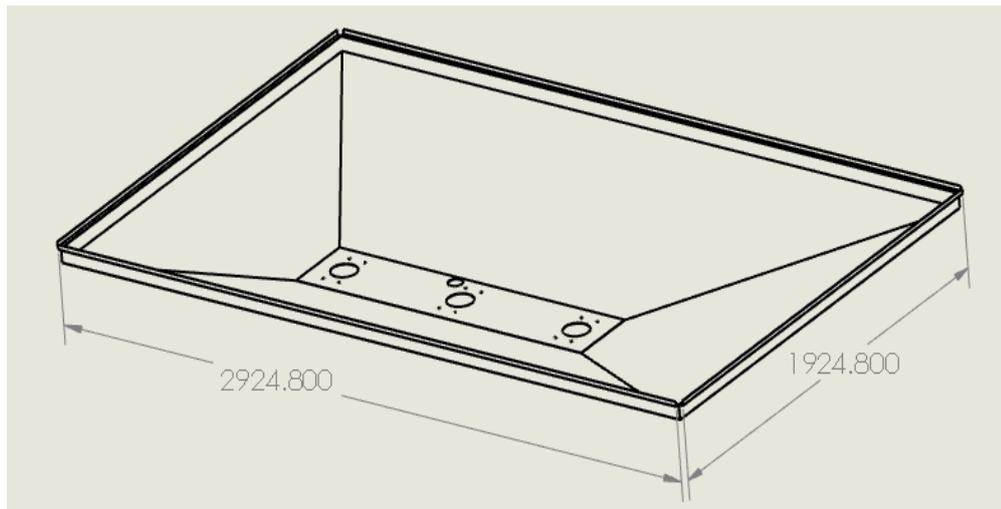


Figura 30. Sumidero de la cabina

3.1.2.2 Techo

En el techo de la cabina se encuentra una viga IPN 100 x 55, que viene desde el proceso de pintura hacia la salida de la cabina como se indica en la figura 31. El espacio interior del techo es suficiente para transportar las piezas de la entrada a la salida de la cabina. Este espacio es considerado para la instalación del riel transportador, así como los componentes necesarios para el traslado, como son: cadena, catarina, cojinetes y motorreductor.



Figura 31. Viga IPN 100x55 desde la estación de pintura hacia la salida de la cabina de lavado

3.1.2.3 Aspersores

En el interior de la cabina de lavado se encuentra instalado el sistema de limpieza por aspersión como se puede apreciar en la figura 32, los aspersores se escogieron analizando el ángulo de salida más amplio con el menor caudal posible a una presión de salida alrededor de los 20 - 30 psi (Hidrobo & Barragán, 2013).



Figura 32. Sistema de aspersores

El diseño de distribución de los aspersores HH de 1/4 de pulgada a una presión de 20-30 psi y un ángulo de salida de 67° se muestra en la figura 33.

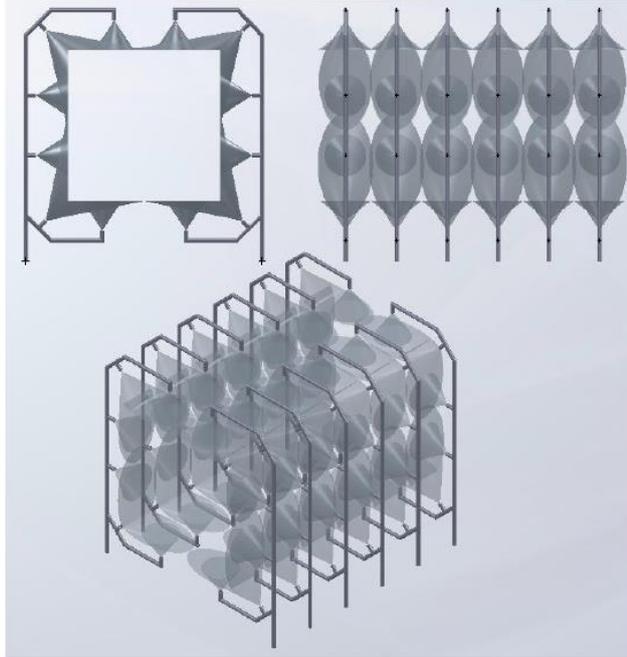


Figura 33. Diseño de la posición de los aspersores

Fuente: (Hidrobo & Barragán, 2013)

3.1.3 Tanques de reserva



Figura 34. Tanques de reserva

Los tres tanques para cada proceso desengrasado, lavado y fosfatado respectivamente están ubicados debajo de la estructura de la cabina (figura 34).

El consumo del sistema de aspersión es de entre 100-130 galones por minuto. Con este caudal se calculó el tamaño de los tanques (550 mm x 550 mm de base por 1200 mm de alto) donde se puede almacenar una reserva aproximada de 200 galones cada uno (Hidrobo & Barragán, 2013)

3.1.4 Sistema de red de tuberías

En la figura 35 se muestra la disposición de las tuberías con todos sus accesorios a excepción de los aspersores y válvulas.

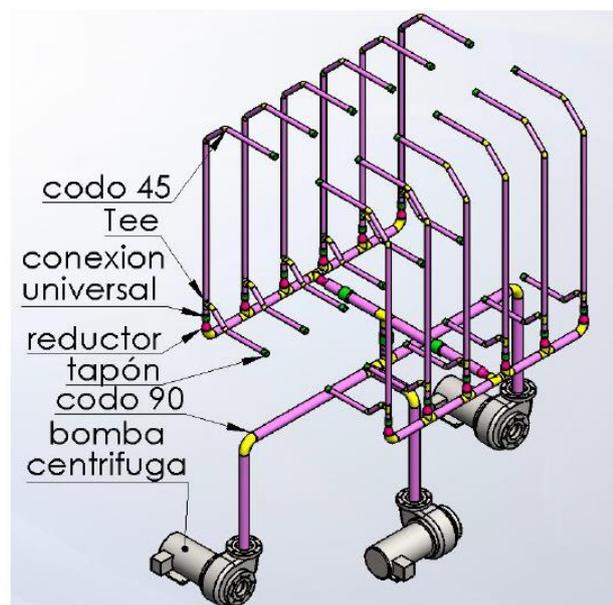


Figura 35. Tubería con sus accesorios

Fuente: (Hidrobo & Barragán, 2013)

Cada ramal porta-aspersores contiene 6 aspersores HH de 1/4 de pulgada con un caudal de 1.4 gal/min a 20psi como se observa en la figura 38, los aspersores pueden ser colocados en tuberías de varios diámetros mediante abrazaderas, el rango de velocidades recomendadas por la hidráulica en tuberías es de 1.64 ft/s a 9.84 ft/s (Hidrobo & Barragán, 2013).

El diámetro de la tubería de los porta-ramales es de 2 pulgadas, estas son conectadas a otra tubería que proviene de los tanques. Esta tubería carga con el caudal de todos los ramales que es de 100.8 gpm (galones por minuto). La pérdida de presión por la altura es de alrededor de 12 ft. Con esto la pérdida total en la tubería, desde la

bomba hasta el aspersor más alejado es de alrededor de 24 ft (Hidrobo & Barragán, 2013).

3.1.4.1 Sistema de válvulas neumáticas de salida hacia los aspersores

Para controlar los diferentes fluidos hacia la cámara de lavado están instaladas tres válvulas de bolas para cada tanque de reserva como se observa en la figura 36.

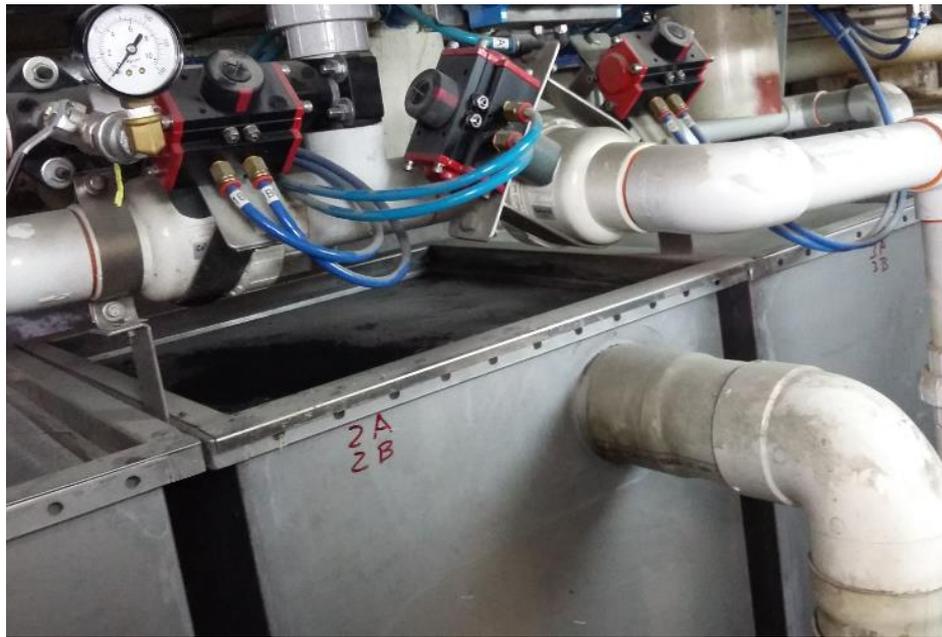


Figura 36. Posición de las válvulas en la tubería

Las válvulas son abiertas con un actuador neumático giratorio con un torque de 50 lb-in. Para adaptar el actuador neumático a la válvula es necesario un mecanismo que conecta el actuador a la llave de la válvula, adicional se coloca varios soportes para mantener al actuador en su lugar (Ver figura 37).

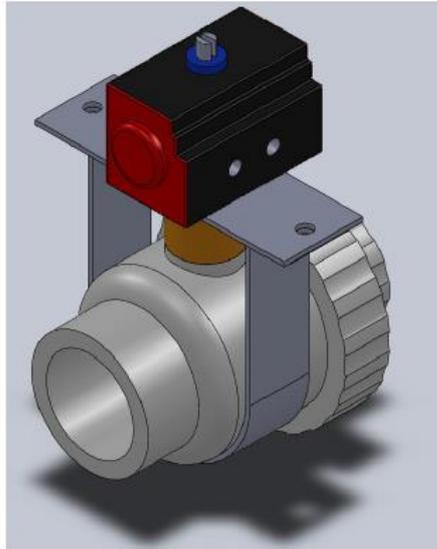


Figura 37. Válvula de bola neumática

Fuente: (Hidrobo & Barragán, 2013)

3.1.4.2 Sistema de válvulas neumáticas para el retorno de los líquidos hacia los tanques de reserva

Esta válvula con actuador neumático tiene un torque de 100-125 lb-in, el cual está acoplado a un mecanismo para accionar la válvula de mariposa como se puede ver de mejor forma en la figura 38.

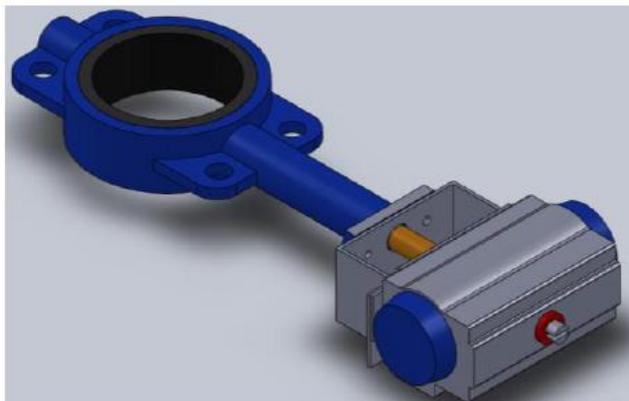


Figura 38. Válvula con actuador neumático acoplado a la válvula mariposa

Fuente: (Hidrobo & Barragán, 2013)

El accionamiento de la válvula mariposa permite el retorno del líquido que se encuentre dentro de la cámara de lavado de la cabina. Este actuador rotativo de doble efecto sin retorno por muelle o resorte, trabaja de 0 a 90 grados, en la figura 39 se puede visualizar la parte interna de la válvula neumática.

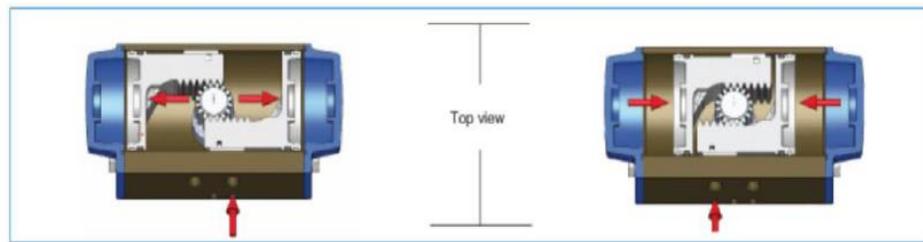


Figura 39. Elementos mecánicos internos de la válvula con actuador neumático
Fuente: (Hidrobo & Barragán, 2013)

3.1.4.3 Bombas hidráulicas

Se encuentran instaladas tres bombas con idénticas características (Hidrobo & Barragán, 2013). Se realiza un análisis de presión y altura, llegando a la conclusión de optar por una bomba para un caudal de 100.8 gpm y que supere una altura de 21 m con una potencia de 2 HP (Ver figura 40).

Las bombas se encuentran ubicadas debajo de la cabina junto a cada uno de los tanques de reserva.



Figura 40. Bomba de 2HP de potencia

3.1.5 Tablero de control

Para controlar tanto las bombas como las electroválvulas para la activación de los actuadores neumáticos y todos los elementos mecánicos, se encuentra instalado un tablero conocido como B-Line (ver figura 41).



Figura 41. Tablero de control B-Line

Del tablero de control instalado, cuenta con borneras de control y potencia, tres disyuntores de dos polos de 16 A y uno de un polo de 6A marca Siemens. Como se puede observar en la figura 42, de igual forma están instalados un multipunto de neutro, borneras de tierra y rieles tipo DIN para sujetar cada uno de los elementos eléctricos, peinilla de cobre de 3 mm de espesor, contactos o interruptores a 110 Vac para la activación de las electroválvulas y bombas.



Figura 42. Distribución de elementos eléctricos de control y potencia

3.1.6 Requerimientos del cliente

Para determinar los requerimientos del cliente fue necesaria una reunión con el Gerente General de AICO, Ing. Carlos Celleri, obteniendo datos importantes para el diseño e implementación del nuevo sistema automatizado para el proceso de limpieza de lavado y los requerimientos mínimos para su correcta ejecución. Las características principales y requerimientos del cliente se muestran en la tabla 4.

Tabla 4
Características de las necesidades del cliente

Nº	REQUERIMIENTOS	Prioridad (1:No relevante;5:Muy relevante)
1	Reducir tiempos de limpieza	5
2	Sistema de transporte de las piezas metálicas	5
3	Bajo consumo de energía	4
4	Evitar el contacto entre operador y ácidos	5
5	Facilidad de uso	4
6	Disminución de costes de producción de tableros	5

3.1.7 Características Técnicas

A partir de los requerimientos planteados por el cliente para el sistema automatizado de lavado, se procede a definir los requisitos o especificaciones técnicas que proyecto debe tener al momento del diseño. Estos requerimientos se puede observar en la tabla 5.

Tabla 5**Características Técnicas**

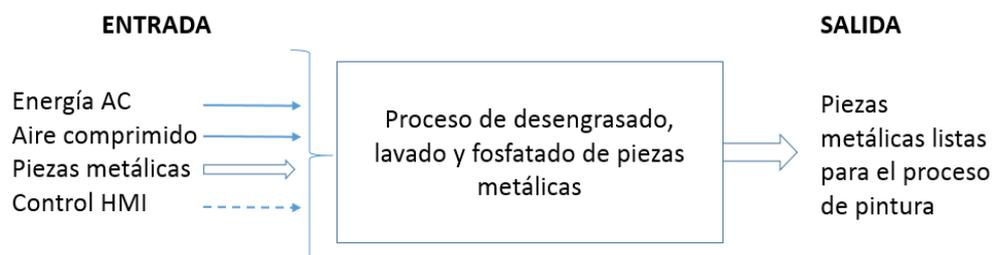
N°	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
1	Instrumentación
2	Control del sistema
3	Propiedades HMI
4	Nivel de programación.
5	Diseño del sistema transportador
6	Reubicación de componentes

3.2 Propuesta de automatización

Descrito el estado inicial de la cabina, sus características principales, los problemas encontrados, procedemos a proponer las alternativas para la automatización de los procesos de desengrasado, lavado y fosfatado así como también los posibles componentes a usarse la resolución a problemas, como es la sujeción de las piezas metálicas y la integración de la cabina al resto de la cadena de procesos para posteriormente entregar los tableros pintados.

3.2.1 Determinación de las funciones primarias y secundarias

Se determina la función global del sistema (figura 43), que representa de forma esquemática, la tarea que debe realizar la cabina en función de los flujos de entrada y salida del sistema.

**Figura 43. “Caja negra” nivel 0**

A continuación se determina el nivel uno y nivel dos para determinar aspectos importantes tales como la posibilidad de introducir nuevas funciones, soluciones más económicas, facilidad de fabricación, mantenimiento, montaje, y producción de la máquina (Riba, 2002).

Antes, durante, y después del proceso de fosfatado, existen varias etapas, por lo que resulta beneficioso efectuar una división de todo el bloque de proceso mediante diagramas funcionales (Figura 44), una vez realizado el análisis de los diagramas funcionales se determinó que existen múltiples funciones que interactúan entre sí para pasar de una etapa a otra, por lo tanto se dividió al proceso en cuatro módulos (Figura 45).

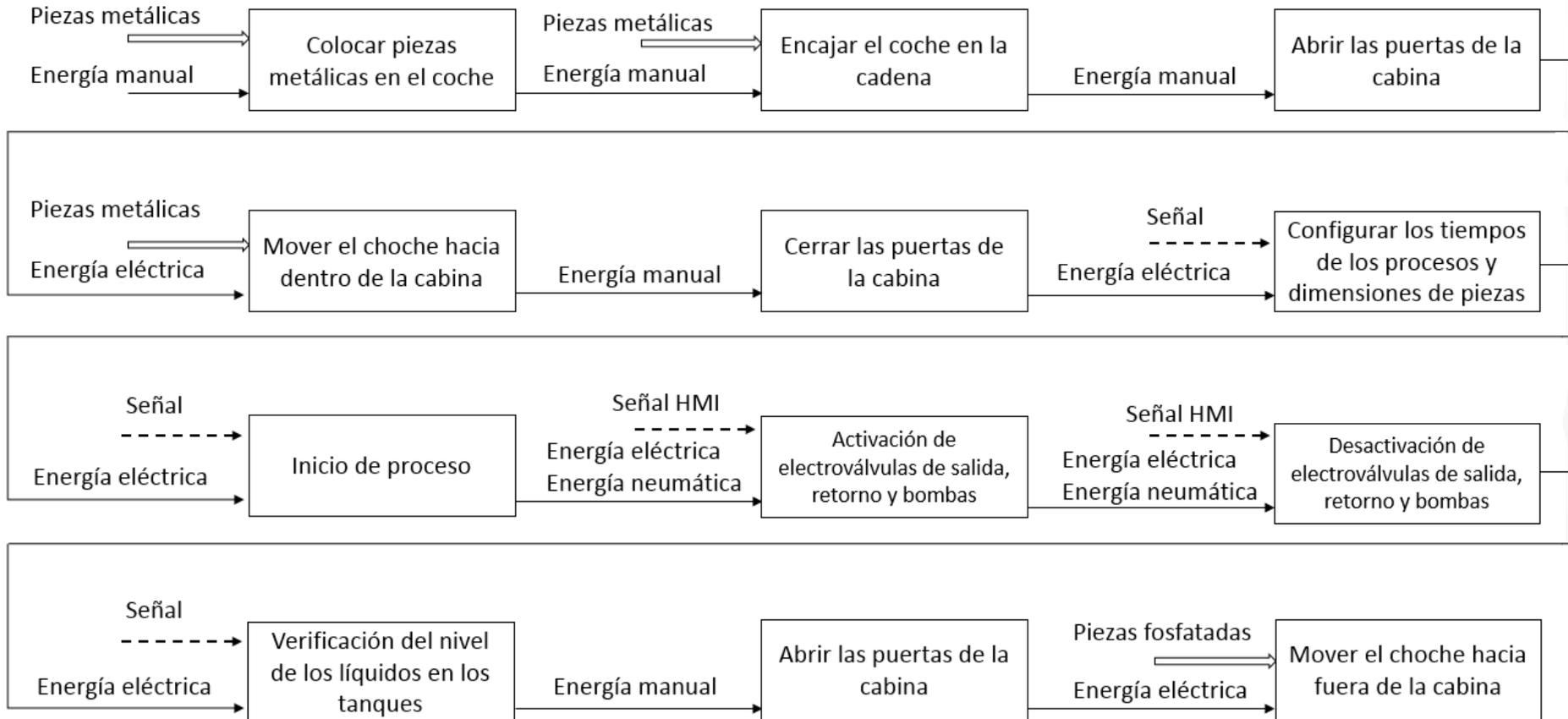


Figura 44. Nivel 2 – División de bloques del nivel 1

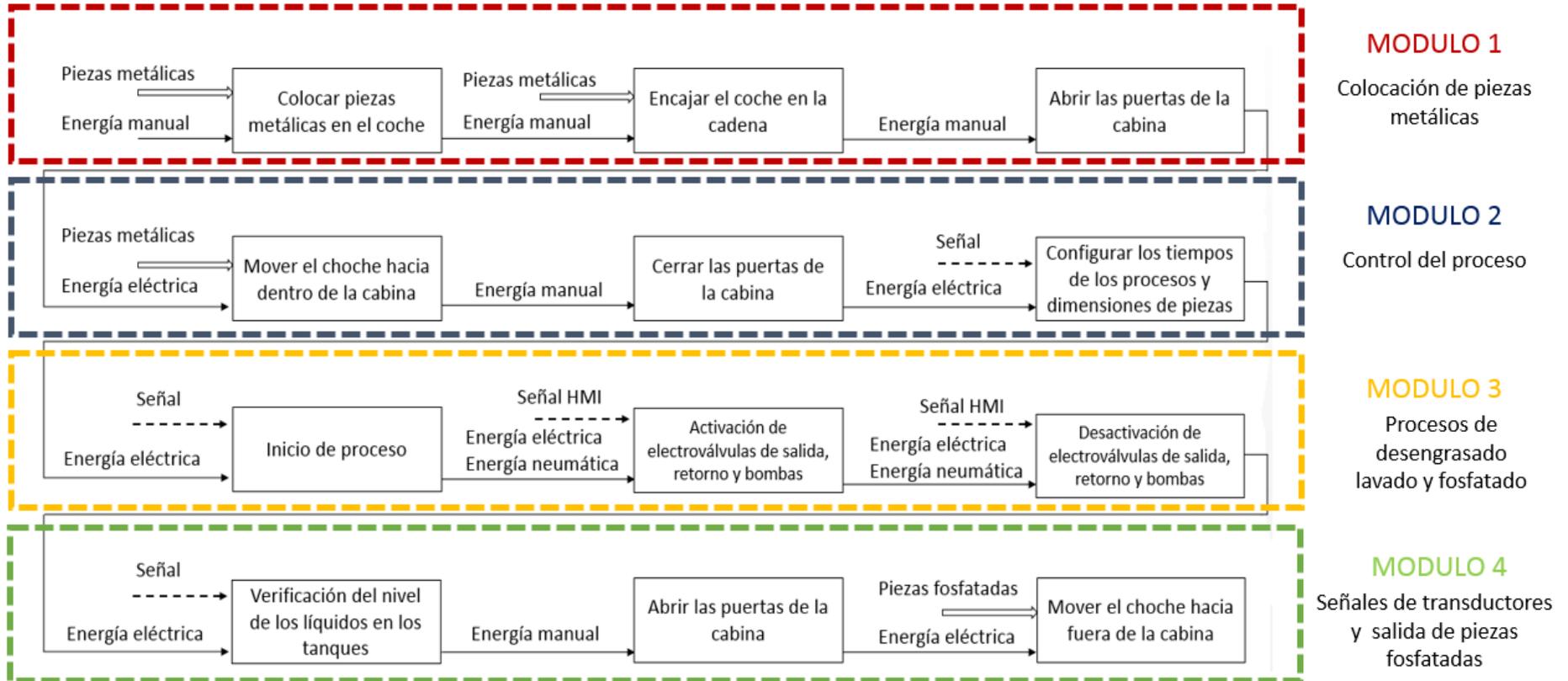


Figura 45. Análisis modular

3.2.2 Solución para cada módulo

Dentro de cada módulo se plantean posibles soluciones para cada una de las funciones expuestas en la figura 48 para posteriormente establecer la mejor opción para cada módulo.

Anteriormente se expuso el estado inicial en que se encontraba la cabina, por lo tanto no se planteara soluciones aquellos bloques funcionales que forman parte de la cabina y que pertenecen al sistema final.

3.2.3 Módulo 1.- Colocación de las piezas metálicas

El módulo 1 se encarga del manejo, colocación y traslado de las piezas metálicas, este módulo posee dos problemas a solucionarse, el primero es el tipo de mecanismo por el cual se moverán los coches con las piezas metálicas y el segundo el diseño de los coches para que puedan continuar con la cadena de producción de la planta.

3.2.3.1 Alternativas del mecanismo o sistema para mover los coches

3.2.3.1.1 Mecanismo con el uso de cadenas.

El mecanismo de cadena por eslabones (ver figura 46), es un mecanismo en el cual la cadena debe tener las mismas dimensiones de paso, anchura interior y diámetro de rodillo a las dimensiones de engranaje a usarse y está recomendada para el uso industrial en interiores, el transportador de cadena se compone de cabezal impulsor, rueda trasera, unidad tensora, cadena plana, piñón y otras piezas. (Renold, 2016)

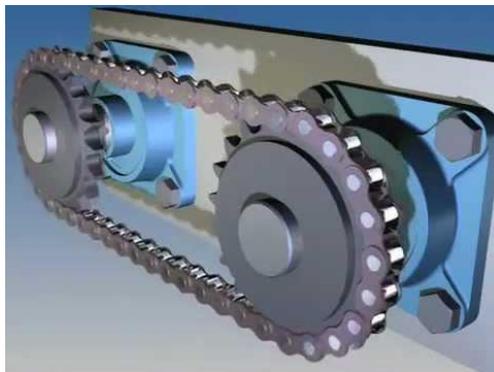


Figura 46. Esquema general del mecanismo por cadena

Fuente: (Renold, 2016)

Ventajas:

- Alta capacidad de transporte
- Funcionamiento fiable
- Medio coste de instalación

Desventajas:

- Control de velocidad de los piñones
- Movimiento de cadena solo en direcciones rectas no curvas
- Automatización no muy compleja

3.2.3.1.2 Mecanismo con el uso de cable

Se usa para el traslado del material durante el ciclo productivo, para ello es muy general usar blondines (ver figura 47), esto consistente en una técnica de elevación mediante cables, el sistema se compone por dos pilares autoestables que descansan sobre el suelo, unidos por un cable sobre el cual se moviliza un carro (Gencat, 2012).



Figura 47. Blondín

Fuente: (Gencat, 2012)

Ventajas:

- Elevada capacidad de transporte
- Elevada utilización de carga horaria
- Medio coste de instalación
- Automatización sencilla

Desventajas:

- Los movimientos de arranque y parada deben realizarse con suavidad
- Controlar el balanceo mediante cuerdas de control
- Es necesario conocer la carga máxima que soporta el blondín

3.2.3.1.3 Mecanismo Space Carrier.

Se trata de un sistema aéreo de transporte para cargas ligeras que permite trasportar la mercancía entre cualquier punto de la instalación (ver figura 48), con gran velocidad y sin ocupar espacio en la superficie de la planta industrial. Los carros transportadores poseen programación autónoma y pueden cambiar de carril por sí mismos de ser necesario (Mecalux, 2015).



Figura 48. Sistema Space Carrier

Fuente: (Mecalux, 2015)

Ventajas:

- Rapidez: los carros eligen siempre la ruta más eficiente entre dos puntos
- Cambio de carril con una sola vía
- Hasta un 40% de ahorro en los costes operativos

Desventajas:

- Altos costes de instalación y manutención
- Sistema exclusivamente para cargas ligeras
- Necesita espacios levemente amplios para moverse con libertad

3.2.3.2 Evaluación de criterios y selección de alternativas para poder movilizar los coches.

La selección de la mejor alternativa para la posterior implementación, se realizara en todos los casos con la ayuda de la herramienta de “Matriz de comparación pareada”, la cual nos facilita en la toma de decisiones por medio de la ponderación de prioridades de los criterios.

Para esto partiremos de las alternativas generadas anteriormente:

- Solución 1.- Mecanismo con el uso de cadenas
- Solución 2.- Mecanismo con el uso de cables
- Solución 3.- Mecanismo Space Carrier

Tabla 6

Ponderación de criterios de evaluación de las alternativas para movilizar los coches.

CRITERIO	OPERABILIDAD	FUNCIONALIDAD	COSTO	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
OPERABILIDAD	---	1	0,5	2,5	0,42
FUNCIONALIDAD	0	---	0	1	0,16
COSTO	0,5	1	---	2,5	0,42
TOTAL				6	1

Tabla 7

Ponderación de Operabilidad para movilizar los coches.

OPERABILIDAD	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
SOLUCIÓN 1	---	1	0,5	2,5	0,42
SOLUCIÓN 2	0	---	0,5	1,5	0,25
SOLUCIÓN 3	0,5	0,5	---	2	0,33
TOTAL				6	1

Tabla 8

Ponderación de Funcionalidad para movilizar los coches.

FUNCIONALIDAD	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
SOLUCIÓN 1	---	0,5	0	1,5	0,25
SOLUCIÓN 2	0,5	---	0	1,5	0,25
SOLUCIÓN 3	1	1	---	3	0,5
TOTAL				6	1

Tabla 9

Ponderación de Costo para movilizar los coches.

COSTO	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
SOLUCIÓN 1	---	1	1	3	0,5
SOLUCIÓN 2	0	---	1	2	0,33
SOLUCIÓN 3	0	0	---	1	0,17
TOTAL				6	1

Tabla 10**Conclusión en la selección de la alternativa para movilizar los coches.**

	OPERABILIDAD	FUNCIONALIDAD	COSTO	Σ	PRIORIDAD
SOLUCIÓN 1	0,175	0,04	0,21	0,425	1
SOLUCIÓN 2	0,105	0,04	0,14	0,285	3
SOLUCIÓN 3	0,14	0,08	0,07	0,29	2
TOTAL				1	

De acuerdo al análisis realizado se determina que la alternativa más adecuada para poder movilizar los coches es la solución 1, un mecanismo de cadenas simples por eslabones el cual por su simplicidad, bajo coste y facilidad de automatización es el que se usara dentro del sistema final.

3.2.3.3 Alternativas del diseño de los coches

- Solución 1.- Coche de diseño isométrico
- Solución 2.- Coche con destaje en un extremo
- Solución 3.- Coche con sujeción a la cadena de manera permanente

3.2.3.3.1 Coche de diseño isométrico.

Puesto que la línea de producción hacia la cabina se encuentra una viga IPN100X55 como se indicó previamente, los diseños de los coches tienen que acoplarse a la geometría de la viga para que esté acorde al proceso.

Para el diseño del coche isométrico (ver figura 49), se debe tener en cuenta aspectos como el ancho de la viga el alto del alma de la viga, así como el uso de algún elemento para que se deslice fácilmente la viga evitando el atascamiento de los coches. En este diseño la distribución de la carga es igual es decir los esfuerzos se reparten equitativamente por ser un diseño isométrico.

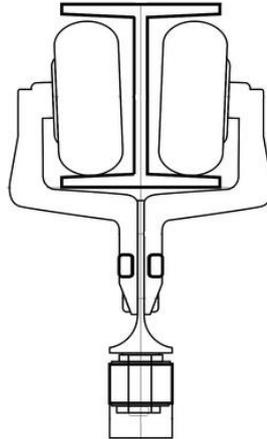


Figura 49. Coche de diseño isométrico.

Ventajas

- Distribución de carga equitativa
- Fabricación sencilla
- Deslizamiento con poca fricción y atascamiento

Desventajas

- No se puede acoplar y desacoplar de distintas cadenas de transmisión

3.2.3.3.2 Coche con destaje en un extremo

Al igual que los coches isométricos hay que tener en cuenta la forma y dimensiones de la viga, necesita un elemento para que su movimiento sea continuo por la viga. Este diseño a diferencia del coche isométrico tiene un destaje en un extremo (ver figura 50), lo que le permite acoplarse y desacoplarse de cadenas de transmisión siempre y cuando el destaje este en la dirección de la línea de producción

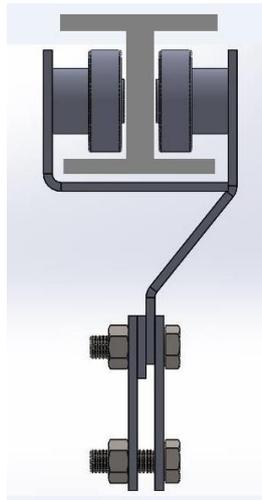


Figura 50. Coche con destaje en un extremo

Ventajas

- Acoplamiento y desacoplamiento de distintas cadenas de transmisión
- Fabricación sencilla y económica
- Deslizamiento con poca fricción

Desventajas

- La carga es mayor en la zona donde no se encuentra el destaje
- La carga que soporta depende mucho del material en el cual se fabrique el coche

3.2.3.3.3 Coche con sujeción a la cadena de manera permanente

Este diseño es muy parecido al del coche isométrico, las cargas se reparten equitativamente sobre los rodamientos o ruedas, pero a diferencia del isométrico este coche se acopla a la cadena de tal manera que el coche prácticamente va a permanecer firme en la línea de producción como se muestra en la figura 51.



Figura 51. Coche con sujeción a la cadena de manera permanente

Ventajas

- Por la ubicación de la cadena puede transportar grandes cargas
- Fabricación sencilla
- Deslizamiento con poca fricción

Desventajas

- Desacoplamiento complicado para cadenas de transmisión
- Poca flexibilidad en la adaptación a los tamaños de las cargas
- Movimiento unidireccional en línea de producción

3.2.3.4 Evaluación de criterios y selección de alternativas para el diseño de los coches.

Para esto partiremos de las alternativas generadas anteriormente:

- Solución 1.- coche de diseño isométrico
- Solución 2.-coche con destaje en un extremo
- Solución 2.-coche con sujeción a la cadena de manera permanente

Tabla 11

Ponderación de criterios de evaluación de las alternativas para el diseño de los coches.

CRITERIO	OPERABILIDAD	FUNCIONALIDAD	COSTO	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
OPERABILIDAD	---	1	0,5	2,5	0,42
FUNCIONALIDAD	0	---	0	1	0,16
COSTO	0,5	1	---	2,5	0,42
TOTAL				6	1

Tabla 12***Ponderación de Operabilidad para el diseño de los coches.***

OPERABILIDAD	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
SOLUCIÓN 1	---	0,5	1	2,5	0,42
SOLUCIÓN 2	0,5	---	1	2,5	0,42
SOLUCIÓN 3	0	0	---	1	0,17
TOTAL				6	1

Tabla 13***Ponderación de Funcionalidad para el diseño de los coches.***

FUNCIONALIDAD	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
SOLUCIÓN 1	---	0	0,5	1,5	0,25
SOLUCIÓN 2	1	---	1	3	0,5
SOLUCIÓN 3	0,5	0	---	1,5	0,25
TOTAL				6	1

Tabla 14***Ponderación de Costo para el diseño de los coches.***

COSTO	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
SOLUCIÓN 1	---	0,5	1	2,5	0,42
SOLUCIÓN 2	0,5	---	1	2,5	0,42
SOLUCIÓN 3	0	0	---	1	0,17
TOTAL				6	1

Tabla 15***Conclusión en la selección de la alternativa para el diseño de los coches.***

	OPERABILIDAD	FUNCIONALIDAD	COSTO	Σ	PRIORIDAD
SOLUCIÓN 1	0,175	0,04	0,175	0,39	2
SOLUCIÓN 2	0,175	0,08	0,175	0,43	1
SOLUCIÓN 3	0,07	0,04	0,07	0,18	3
TOTAL				1	

De acuerdo al análisis realizado se determina que la alternativa más adecuada para el diseño de los coches es la solución 2 los coches con destaje en un extremo puesto que aunque no soportan cargas tan grandes como los de tipo isométrico, poseen la gran ventaja de acoplarse con gran facilidad a diversas cadenas de transmisiones.

3.2.4 Módulo 2.- Control del proceso.

En este módulo se procesa la información, contiene la lógica de programación para la realización de las etapas necesarias para poder obtener las piezas metálicas fosfatadas y cumple esencialmente con las siguientes funciones:

- Configurar los tiempos de los procesos de desengrasado, lavado y fosfatado
- Configurar las dimensiones de las piezas metálicas a ser procesadas.
- Contiene la lógica o el algoritmo de programación
- Recibe, procesa y envía señales de carácter eléctrico para la toma de decisiones
- Dependiendo del modo en que se encuentre puede realizar un proceso en específico (proceso semiautomático) o los tres procesos secuenciales (proceso automático).
- Desplazamiento los coches hacia dentro o fuera de la cabina.

La empresa AICO Engineering es representante de Schneider Electric por lo tanto se mantienen lazos comerciales y de servicios ente las instituciones, por esta razón los elementos de control y potencia en su mayoría deberán ser de Schneider Electric.

3.2.4.1 Alternativas para mover los coches hacia dentro de la cabina.

- Solución 1.- De manera manual
- Solución 2.- Contactores para encendido y cambio de giro
- Solución 3.- Variador de frecuencia

3.2.4.1.1 Mover los coches de manera manual.

Para mover los coches hacia y desde la cabina se lo podría hacer de manera manual, esta alternativa es económica, no requiere de elementos de control o automatización, pero necesita un operario fuerte para el traslado de los coches, al ser variable la carga en los coches, estos cambiaran considerablemente la fuerza manual requerida para trasladar las piezas.

3.2.4.1.2 Contactores para el encendido y cambio de giro

El uso de un motor para poder mover el piñón que se encuentra conectado con la cadenas, sería imprescindible en un sistema que se desea automatizar, entre las ventajas del uso de contactos para poder encender y hacer el cambio de giro del motor es la simplicidad por los pocos elementos dentro del circuito eléctrico, el inconveniente es la velocidad de giro excesiva en el eje del motor al cual no podemos variar. Acoplando una reductora con una relación alta se disminuye la velocidad de trabajo, pero aumenta cuantiosamente el costo del sistema.

3.2.4.1.3 Variador de frecuencia

El variador de frecuencia es una solución que aunque costosa posee varias bondades entre ellas poder controlar el giro del motor, controlar la velocidad de giro del eje, y dependiendo del tipo de variador poder hacer todo tan solo con un selector variable de tres posiciones con retorno al centro.

3.2.4.1.4 Evaluación de criterios y selección de alternativas para poder mover los coches hacia dentro de la cabina.

Para esto partiremos de las alternativas generadas anteriormente:

- Solución 1.- De manera manual
- Solución 2.- Contactores para encendido y cambio de giro
- Solución 3.- Variador de frecuencia

Tabla 16

Ponderación de criterios de evaluación de las alternativas para mover los coches hacia la cabina.

CRITERIO	CAPACIDAD	FUNCIONALIDAD	COSTO	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
CAPACIDAD	---	0,5	0,5	2	0,34
FUNCIONALIDAD	0,5	---	0,5	2	0,33
COSTO	0,5	0,5	---	2	0,33
TOTAL				6	1

Tabla 17***Ponderación de Capacidad para mover los coches hacia la cabina.***

CAPACIDAD	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
SOLUCIÓN 1	---	0	0	1	0,17
SOLUCIÓN 2	1	---	0	2	0,33
SOLUCIÓN 3	1	1	---	3	0,50
TOTAL				6	1

Tabla 18***Ponderación de Funcionalidad para mover los coches hacia la cabina.***

FUNCIONALIDAD	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
SOLUCIÓN 1	---	0	0	1	0,17
SOLUCIÓN 2	1	---	0	2	0,33
SOLUCIÓN 3	1	1	---	3	0,5
TOTAL				6	1

Tabla 19***Ponderación de Costo para mover los coches hacia la cabina.***

COSTO	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
SOLUCIÓN 1	---	1	1	3	0,50
SOLUCIÓN 2	0	---	1	2	0,33
SOLUCIÓN 3	0	0	---	1	0,17
TOTAL				6	1

Tabla 20***Conclusión en la selección de la alternativa para mover los coches hacia la cabina.***

	CAPACIDAD	FUNCIONALIDAD	COSTO	Σ	PRIORIDAD
SOLUCIÓN 1	0,06	0,06	0,17	0,28	3
SOLUCIÓN 2	0,11	0,11	0,11	0,33	2
SOLUCIÓN 3	0,17	0,17	0,06	0,39	1
TOTAL				1	

De acuerdo al análisis realizado se determina que la alternativa más adecuada para poder mover los coches hacia y desde la cabina la solución 3 el uso de un variador para controlar la velocidad y el giro del eje del motor, es la mejor opción por sus prestaciones aunque también es la más costosa.

3.2.4.2 Configurar los tiempos de los procesos y dimensiones de las piezas.

3.2.4.2.1 Selección de modo de trabajo.

El operario podrá seleccionar tres tipos de procedimientos ya sea para hacer mantenimiento, calibración o los procesos. Es así que para poder seleccionar los modos de trabajo tales como manual, semiautomático o automático, se tiene dentro del tablero de control (ver figura 52), diversos pulsadores, interruptores, selectores y luces pilotos que cumplen funciones como son: encendido de bombas, electroválvulas, inicio y paro de un proceso, paro de emergencia y luces piloto de alertas y alarmas, todos ellos son elementos que envían o reciben señales del PLC y a su vez este con el HMI.



Figura 52. Panel de control de la cabina.

3.2.4.2.2 Configurar los tiempos de los procesos y dimensiones de las piezas.

El operario podrá configurar los tiempos de los procesos de lavado, desengrasado, fosfatado, podrá elegir entre el modo semiautomático o automático, esto quiere decir un proceso a la vez, o los tres procesos secuenciales uno después del otro terminando siempre con el enjuagado, podrá también configurar las dimensiones de las piezas introducidas en la cabina, para poder saber qué cantidad aproximada de fosfato de zinc se depositó en las piezas metálicas, tendrá gráficas de parámetros de presión del sistema y el pH de la solución fosfatizante, el número de Batches que indica la cantidad de veces que se utilizó cada uno de los procesos, un histórico de alertas y alarmas para

que el operador pueda actuar ante eventos no previstos o poder realizar mantenimientos a diversos componentes de la cabina.

Para ello se hace imprescindible el uso de una pantalla HMI (Interface Humano Máquina), la cual es el vínculo entre el operario y la cabina, la HMI magelis a usarse es la HMISTU855 (ver figura 53), una pantalla táctil de 5.7 pulgadas en la cual tendrá diversas ventanas para informar al operador las acciones que se llevan a cabo en la cabina y las diferentes funcionalidades que tiene la misma.



Figura 53 HMISTU855.

Fuente: (Schneider Electric, 2016)

Ventajas

- Disponibilidad en el mercado.
- Tensión nominal a 24V DC
- Resolución de 320X240 pixeles
- Protocolos de comunicación tanto de Modbus como de Ethernet IP.
- Permite supervisión del proceso en tiempo real.

Desventajas

- Necesita un controlador que comparta el protocolo de comunicación.
- Costo elevado
- Pantalla mediana de 5.7 pulgadas

3.2.4.2.3 Alternativas para el controlador.

Entre los programadores de Schneider Eléctric podemos encontrar tres tipos de segmentos para automatización de procesos, el primer segmento un control básico con la línea Zelio con el uso de relés programables, un segmento de automatización de

nivel medio con la línea de PLC's Twido y por último, un segmento de automatización avanzada y compleja con la línea de PLC's robustos Modicon.

Puesto que la automatización de la cabina no representa una automatización generalizada de toda una planta que comprenden una automatización compleja, se optó por la línea de PLC's Twido, dentro de esta línea podemos seleccionar el modelo de PLC en función de nuestros requerimiento de entradas y salidas que se detallan en la tabla 21 y 22, es así que tenemos las siguientes alternativas

Tabla 21
Número de entradas requeridas.

ENTRADAS DIGITALES REQUERIDAS		ENTRADAS ANÁLOGAS REQUERIDAS	
ÍTEM	CANTIDAD	ÍTEM	CANTIDAD
fallo motores (relé térmico)	1	transductor de presión	1
botón de inicio	1	Ph-metro	1
botón de paro	1		
selector manual o automático	1		
botón paro de emergencia	1		
fines de carrera	2		
Presostato	3		
sensor nivel flotador	6		
sensor nivel RM22LG11MR (3)	3		
TOTAL	19	TOTAL	2

Tabla 22
Número de salidas requeridas.

SALIDAS DIGITALES REQUERIDAS	
ÍTEM	CANTIDAD
luz piloto de procesos	3
luz piloto de puertas abiertas	1
luz piloto de PH alto	1
contactores para bombas	3
electroválvulas	7
TOTAL	15

3.2.4.2.4 Alternativa A.

La primera alternativa corresponde a un PLC modular y tres módulos adicionales para poder cumplir con los requerimientos mínimos necesarios para poder realizar el control que se propone.

Tabla 23

Características principales de la Alternativa A.

TIPO DE PLC Y

TWDLMDA20DRT / TM2AMI2HT / TM2DDI8DT / TM2DRA8RT

MODULOS

Imagen



Características	controlador de base modular con 12 entradas digitales a 24V DC y 8 salidas digitales	módulo de expansión con dos entradas analógicas (0-10V o 4-20mA)	módulo de expansión con 8 entradas digitales a 24V DC	módulo de expansión con 8 salidas digitales
Entradas digitales requeridas	19			
Entradas digitales totales	12 PLC y 8 Modulo = 20			
Entradas Analógicas Requeridas	2			
Entradas analógicas totales	2			
Salidas digitales requeridas	15			
Salidas digitales totales	8 PLC y 8 Modulo = 16			
Costo total según el catalogo 2013	860 dólares			

3.2.4.2.5 Alternativa B.

En esta alternativa se usa un PLC modular pero a diferencia de la Alternativa A solo se necesita un módulo extra para poder realizar las funciones deseadas.

Tabla 24
Características principales de la Alternativa B.

TIPO DE PLC Y MODULOS	TWDLMDA40DTK / TM2AMI2HT	
Imagen		
Características	controlador de base modular con 24 entradas digitales a 24v DC y 16 salidas digitales	módulo de expansión con dos entradas analógicas (0-10V o 4-20mA)
Entradas digitales requeridas	19	
Entradas digitales totales	24	
Entradas Analógicas Requeridas	2	
Entradas analógicas totales	2	
Salidas digitales requeridas	15	
Salidas digitales totales	16	
Costo total según el catalogo 2013	1007 dólares	

3.2.4.2.6 Alternativa C.

En la alternativa C la diferencia con respecto a la alternativa B es que las salidas del PLC usan un transistor para conmutar, esto supone una ventaja puesto que si se desea usar señales a 110VAC con una corriente baja máximo de 2Amp el PLC lo puede soportar, de esta manera se puede evitar el uso de pre-actuadores como relés, haciendo menos complejo circuito de control.

Tabla 25
Características principales de la Alternativa C.

TIPO DE PLC Y MODULOS	TWDLMDA40DUK / TM2AMI2HT	
Imagen		

Características	controlador de base modular con 24 entradas digitales a 24v DC y 16 salidas digitales tipo transistor	módulo de expansión con dos entradas análogas (0-10V o 4-20mA)
Entradas digitales requeridas		19
Entradas digitales totales		24
Entradas Analógicas Requeridas		2
Entradas analógicas totales		2
Salidas digitales requeridas		15
Salidas digitales totales		16
Costo total según el catalogo 2013		1107 dólares

3.2.4.3 Evaluación de criterios y selección de alternativas para el controlador.

Para la selección de un controlador idóneo comparable con el HMI, se realiza un esquema en la figura 54 la cual se pondrá la combinación de los PLC Twido con el uso de la HMI magelis HMISTU855, cabe recalcar que los PLC's que se seleccionaron cuentan con el protocolo de comunicación Modbus lo que supone compatibilidad con la HMI a usarse.

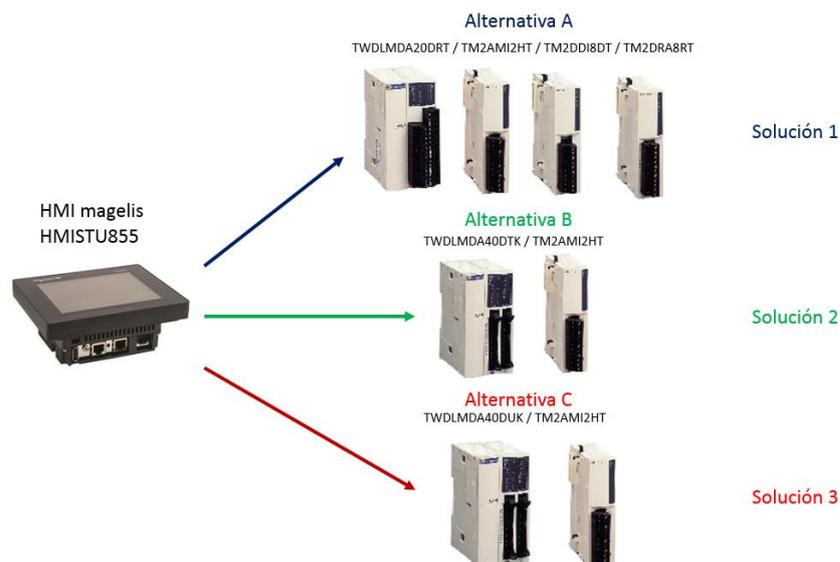


Figura 54. Soluciones del Módulo.

Se parte de las soluciones generadas en la figura:

- Solución 1: HMI Magelis HMISTU855 – PLC Twido TWDLMDA20DRT / módulo de entradas análogas TM2AMI2HT / módulo de 8 entradas digitales TM2DDI8DT / TM2DRA8RT módulo de 8 salidas digitales.
- Solución 2: HMI Magelis HMISTU855 – PLC Twido TWDLMDA40DTK / módulo de entradas analogasTM2AMI2HT
- Solución 3: HMI Magelis HMISTU855 – PLC Twido TWDLMDA40DUK / módulo de entradas analogasTM2AMI2HT

Tabla 26

Ponderación de criterios de evaluación para módulo 2.

CRITERIO	ESPACIO	FUNCIONALIDAD	COSTO	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
ESPACIO	---	0,5	0	1,5	0,25
FUNCIONALIDAD	0,5	---	0	1.5	0,25
COSTO	1	1	---	3	0,5
TOTAL				6	1

Tabla 27

Ponderación de Espacio para soluciones del módulo 2.

ESPACIO	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
SOLUCIÓN 1	---	0	0	1	0,16
SOLUCIÓN 2	1	---	0.5	2,5	0,42
SOLUCIÓN 3	1	0.5	---	2,5	0,42
TOTAL				6	1

Tabla 28

Ponderación de funcionalidad de implementación para soluciones del módulo 2.

FUNCIONALIDAD	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
SOLUCIÓN 1	---	0	1	2	0,33
SOLUCIÓN 2	1	---	0	2	0,34
SOLUCIÓN 3	0	1	---	2	0,33
TOTAL				6	1

Tabla 29

Ponderación de costo para soluciones del módulo 2.

COSTO	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
SOLUCIÓN 1	---	1	1	3	0,5
SOLUCIÓN 2	0	---	1	2	0,34
SOLUCIÓN 3	0	0	---	1	0,16
TOTAL				6	1

Tabla 30**Conclusión en la selección de la alternativa para el módulo 2.**

	ESPACIO	FUNCIONALIDAD	COSTO	Σ	PRIORIDAD
SOLUCIÓN 1	0,04	0,0825	0,25	0,3725	1
SOLUCIÓN 2	0,105	0,085	0,17	0,3600	2
SOLUCIÓN 3	0,105	0,0825	0,08	0,2675	3
			TOTAL	1	

De acuerdo al análisis realizado se determina que la alternativa más adecuada para el módulo 2 es la solución 1, pese que la solución seleccionada ocupa más espacio por el uso de mayor cantidad de módulos, es también la solución más económica .

3.2.5 Módulo 3.- procesos de desengrasado, lavado y fosfatado.

Para los procesos de desengrasado, lavado y fosfatado, la cabina consta de válvulas neumáticas para permitir el ingreso y salida de líquidos, así como también de las bombas que envían los líquidos desde los tanques hacia el interior de la cabina.

3.2.5.1 Actuadores neumáticos, electroválvulas neumáticas.

El sistema neumático consta de una unidad de mantenimiento la cual abastece de aire comprimido seco a electroválvulas 5/2 que trabajan a 110v que se muestran en la figura 55.

**Figura 55. Electroválvulas 5/2.**

Las electroválvulas a su vez envían el aire comprimido a actuadores rotativos tipo mariposa (ver figura 56), dos por cada circuito, un actuator a la salida de la tubería de la bomba y otro en el retorno al tanque.



Figura 56. Actuator rotativo neumático tipo mariposa.

3.2.5.2 Bombas.

En el estado inicial se describe las características y la clase de bombas usadas, que cumplen con la función de enviar el líquido desde cada tanque hacia el interior de la cabina. Las bombas tienen una potencia de 2hp y trabajan a 220V (ver figura 60).



Figura 57. Bombas.

3.2.6 Módulo 4.- Señales de transductores y salida de piezas fosfatadas.

Dentro de los procesos que se realizan en la cabina es necesario:

- Verificar los niveles medio y alto de los tanques.
- Verificar el nivel mínimo de los tanques para evitar la cavitación de las bombas.
- Verificar si las puertas se encuentran abiertas o cerradas antes de iniciar un proceso.
- Verificar el PH del tanque de Fosfatado.
- Verificar si es indispensable hacer un mantenimiento en el sistema hidráulico.
- Verificar la presión con la que se rocían las piezas en el interior de la cabina.

3.2.6.1 Alternativas para el módulo 4.

Para cada etapa de verificación se tiene uno o varios criterios de selección de alternativas por el uso de diversos transductores o sensores por esta razón se procederán a analizar diversas soluciones de los criterios.

3.2.6.1.1 Verificar los niveles medio y alto de los tanques

Para poder conocer el nivel medio y máximo de los tanques, es necesario que los sensores de nivel posean ciertas características como el material del que están elaborados, puesto que se trabaja con fosfato de zinc, y ácido fosfórico por lo tanto el sensor a usarse deberá ser resistente a la oxidación y ácidos, otra variable a considerar es la ubicación de los sensores en los tanques.

Tabla 31

Posibles soluciones del posible sensor a usarse para poder verificar los niveles medio y máximo de los tanques.

OPCIONES	OPCIÓN A	OPCIÓN B	OPCIÓN C	OPCIÓN D
IMAGEN				
CARACTERÍSTICAS	interruptor de nivel horizontal, material de acero inoxidable, conexión al proceso M16, temperatura de operación de -20 a 125 grados centígrados, presión máxima de trabajo 15 bares	interruptor de nivel horizontal, material de acero inoxidable, conexión al proceso 1/2', temperatura de operación de -30 a 125 grados centígrados, potencia máxima de alimentación 35W	interruptor de nivel horizontal, material polipropileno con grado de protección IP67, conexión al proceso 1/2', potencia máxima de alimentación 37W	interruptor de nivel horizontal, material de polipropileno, conexión al proceso 1/2', potencia máxima de alimentación 30W
PRECIO	90,00 dólares	26,50 dólares	64,50 dólares	46,50 dólares

Tabla 32

Ponderación de criterios de evaluación del posible sensor a usarse para poder verificar los niveles medio y máximo de los tanques.

CRITERIO	MATERIAL	CONEXIÓN	COSTO	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
MATERIAL	---	0,5	0	1,5	0,25
CONEXIÓN	0,5	---	0	1,5	0,25
COSTO	1	1	---	3	0,5
TOTAL				6	1

Tabla 33

Ponderación de Material del posible sensor a usarse para poder verificar los niveles medio y máximo de los tanques.

Material	OPCIÓN A	OPCIÓN B	OPCIÓN C	OPCIÓN D	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
OPCIÓN A	---	0,5	1	1	3,5	0,35
OPCIÓN B	0,5	---	1	1	3,5	0,35
OPCIÓN C	0	0	---	1	2	0,2
OPCIÓN D	0	0	0	---	1	0,1
TOTAL					10	1

Tabla 34

Ponderación de tipo de Conexión del posible sensor a usarse para poder verificar los niveles medio y máximo de los tanques.

CONEXIÓN	OPCIÓN A	OPCIÓN B	OPCIÓN C	OPCIÓN D	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
OPCIÓN A	---	0	0	0	1	0,1
OPCIÓN B	1	---	0,5	0,5	3	0,3
OPCIÓN C	1	0,5	---	0,5	3	0,3
OPCIÓN D	1	0,5	0,5	---	3	0,3
TOTAL					10	1

Tabla 35

Ponderación de Costo del posible sensor a usarse para poder verificar los niveles medio y máximo de los tanques.

COSTO	OPCIÓN A	OPCIÓN B	OPCIÓN C	OPCIÓN D	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
OPCIÓN A	---	0	0	0	1	0,1
OPCIÓN B	1	---	1	1	4	0,4
OPCIÓN C	1	0	---	0	2	0,2
OPCIÓN D	1	0	1	---	3	0,3
TOTAL					10	1

Tabla 36

Conclusión en la selección de la mejor alternativa del posible sensor a usarse para poder verificar los niveles medio y máximo de los tanques.

	MATERIAL	CONEXIÓN	COSTO	Σ	PRIORIDAD
OPCIÓN A	0,0875	0,025	0,05	0,1625	4
OPCIÓN B	0,0875	0,075	0,2	0,3625	1
OPCIÓN C	0,05	0,075	0,1	0,225	3
OPCIÓN D	0,025	0,075	0,15	0,25	2
TOTAL				1	

La opción B es la ganadora por su bajo costo, y la ventaja de que está elaborado en acero inoxidable, el cual es resistente a la corrosión y ácidos, adicionalmente el tipo de conexión al proceso es común haciendo su instalación sencilla.

3.2.6.1.2 Verificar el nivel mínimo de los tanques

Es necesario verificar el nivel mínimo de los tanques, por dos razones, la primera es para evitar que las bombas caviten y la segunda es evitar que suciedades no entren a las bombas y tapen los aspersores, puesto que las suciedades se asientan en el fondo de los tanques.

Por ello es necesario el uso de un sensor que determine el nivel del líquido de manera precisa, por esta razón se obvió el uso de flotadores y se optó por el uso de sensores de nivel de Schneider Electric (ver figura 61), consisten en relés de nivel que por medio de dos o tres sondas instaladas dentro del contenedor, el aparato mide la capacitancia entre las sondas y de esta manera se puede determinar si la sonda se encuentra dentro o fuera de un líquido, las sondas son de acero inoxidable lo cual las hace resistentes a la oxidación y ácidos, se puede variar tanto la longitud del cable al rato de poncharlo con la sonda, así como también la sensibilidad del relé de nivel.



Figura 58. Relé de nivel con su sonda.

3.2.6.1.3 Verificar si las puertas están abiertas o cerradas

Para evitar que se desperdicien y salpiquen los líquidos fuera de la cabina pudiendo corroer el piso u ocasionar incidentes con los trabajadores por el contacto con líquidos altamente ácidos, es necesario que las puertas se encuentren cerradas mientras se realiza cualquier proceso dentro de la cabina, por ello que se optó en el uso de fines de carrera para este propósito.

Tabla 37***Posibles soluciones para verificar si se las puertas están abiertas o cerradas.***

OPCIÓN	OPCIÓN A	OPCIÓN B	OPCIÓN C	OPCIÓN D
IMAGEN				
CARACTERÍSTICAS	interruptor de posición, cuerpo metálico IP67, actuador de palanca con rueda, contacto NC y NO, potencia máxima de alimentación 4000W	interruptor de posición, cuerpo de plástico IP65, actuador de palanca variable con rueda, contacto NC y NO, potencia máxima de alimentación 55W	interruptor de posición, cuerpo de aluminio, actuador de palanca variable con rueda, contacto NC y NO, potencia máxima de alimentación 46W	interruptor de posición, cuerpo de aluminio, actuador de palanca con rueda, contacto NC y NO, potencia máxima de alimentación 180W
PRECIO	75 dólares	35 dólares	18,5 dólares	18,9 dólares

Tabla 38***Ponderación de criterios de evaluación para verificar si se las puertas están abiertas o cerradas.***

CRITERIO	VERSATILIDAD	COSTO	$\sum+1$	PONDERACIÓN
VERSATILIDAD	---	0,4	1,4	0,46
COSTO	0,6	---	1,6	0,54
TOTAL			3	1

Tabla 39***Ponderación de Versatilidad para verificar si se las puertas están abiertas o cerradas.***

VERSATILIDAD	OPCIÓN A	OPCIÓN B	OPCIÓN C	OPCIÓN D	$\sum+1$	PONDERACIÓN
OPCIÓN A	---	0	0	1	2	0,2
OPCIÓN B	1	---	0	1	3	0,3
OPCIÓN C	1	1	---	1	4	0,4
OPCIÓN D	0	0	0	---	1	0,1
TOTAL					10	1

Tabla 40***Ponderación de Costo para verificar si se las puertas están abiertas o cerradas.***

COSTO	OPCIÓN A	OPCIÓN B	OPCIÓN C	OPCIÓN D	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
OPCIÓN A	---	0	0	0	1	0,1
OPCIÓN B	1	---	0	0	2	0,2
OPCIÓN C	1	1	---	1	4	0,4
OPCIÓN D	1	1	0	---	3	0,3
TOTAL					10	1

Tabla 41***Conclusión en la selección de la mejor alternativa para verificar si se las puertas están abiertas o cerradas.***

	VERSATILIDAD	COSTO	Σ	PRIORIDAD
OPCIÓN A	0,092	0,054	0,146	4
OPCIÓN B	0,138	0,108	0,246	2
OPCIÓN C	0,184	0,216	0,4	1
OPCIÓN D	0,046	0,162	0,208	3
TOTAL			1	

De acuerdo con el análisis realizado la Opción C es la ganadora por el bajo costo y la versatilidad con la cual se puede regular tanto el largo, como la inclinación de la palanca del fin de carrera.

3.2.6.1.4 Verificar el PH del tanque de Fosfatado

Para poder verificar el PH en procesos industriales es necesario el uso de una probeta de PH de tipo in line, este tipo de probetas o sondas están en contacto constante del medio a ser evaluado, esta característica la hace distinta en comparación PH-metros de mano, de mesa o PH-metros de tipo capilar, las cuales permanecen por instantes el medio a ser valorado.

Por el tema de disponibilidad, dentro del país en especial dentro de la ciudad de Quito solo se encontró un proveedor de tipo in line.

El transmisor de pH (ver figura 59), posee un display donde muestra el pH de la solución que se está valorando, además de tener una salida normalmente abierta la cual puede usarse para una señal de aviso, configurable para un valor de PH alto o bajo, pero la principal característica del transmisor es poseer una salida de corriente de 4-20mA la cual puede usarse como entrada análoga para un PLC.



Figura 59. Transmisor de PH.

La probeta in line vinculada al transmisor de pH (ver figura 60), posee un cable de 10 metros de distancia, el material del cual está compuesto es de polipropileno reforzado para poder permanecer en medios altamente ácidos.



Figura 60. Probeta in line de PH.

3.2.6.1.5 Verificar la necesidad de limpieza del sistema hidráulico

Los tanques con el tiempo acumulan impurezas que se depositan en el fondo de los mismos, dichas impurezas por el accionar de las bombas son enviadas hacia los rociadores tapándolos, por esta razón se contempló la instalación de filtros para evitar que se taponen los rociadores de manera constante, no obstante con el tiempo estos filtros necesitan ser limpiados, por lo cual se propone el uso de presostatos para poder saber cuándo es necesario limpiar tanto los filtros como los rociadores.

Los presostatos (ver figura 61), son transductores de presión los cuales dan una señal eléctrica al momento de llegar a una presión máxima y se apagan al llegar a un mínimo de presión, por lo cual el uso de presostatos es muy común en el control de bombas.



Figura 61. Presostato hidráulico o neumático.

Fuente: (Safegauge, 2007)

3.2.6.1.6 Verificar la presión con la que se rocían las piezas

Para verificar la presión en un sistema hidráulico o neumático es necesario el uso de transmisores de presión los cuales pueden poseer dos tipos de salidas eléctricas ya sea de voltaje o corriente.

Tabla 42

Posibles soluciones para poder saber la presión de rocío dentro de la cabina.

OPCIONES	OPCIÓN A	OPCIÓN B	OPCIÓN C	OPCIÓN D	OPCIÓN E
IMAGEN					
CARACTERÍSTICAS	material acero inoxidable, voltaje de alimentación de 11 a 30VDC, tipo de señal 4-20mA, rango de medida 0-100 psi, conexión al proceso 1/4NPT	material acero inoxidable, voltaje de alimentación 24VDC, tipo de señal 4-120mA, rango de medida 0 - 100psi, conexión al proceso 1/4 NPT	material acero inoxidable, voltaje de alimentación 24VDC, tipo de señal 4-20mA, rango de medida 0-100psi, conexión al proceso 1/2´	material acero inoxidable, voltaje de alimentación 8-30VDC, tipo de señal 4-20mA, rango de medida 0-150psi, conexión al proceso 1/4NPT	material acero inoxidable, voltaje de alimentación 10-30VDC, tipo de señal 4-20mA, rango de medida 0-100psi, conexión al proceso 1/4NPT
PRECIO	210,00 dólares	198,55 dólares	190,50 dólares	126,00 dólares	321,50 dólares

Tabla 43
Ponderación de criterios de evaluación.

CRITERIO	MATERIAL	CONEXIÓN	COSTO	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN N
MATERIAL	---	0,5	0	1,5	0,25
CONEXIÓN	0,5	---	0	1,5	0,25
COSTO	1	1	---	3	0,5
TOTAL				6	1

Tabla 44
Ponderación de Material.

MATERIAL	OPCIÓN A	OPCIÓN B	OPCIÓN C	OPCIÓN D	OPCIÓN E	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
OPCIÓN A	---	0,5	0,5	0,5	0,5	3	0,2
OPCIÓN B	0,5	---	0,5	0,5	0,5	3	0,2
OPCIÓN C	0,5	0,5	---	0,5	0,5	3	0,2
OPCIÓN D	0,5	0,5	0,5	---	0,5	3	0,2
OPCIÓN E	0,5	0,5	0,5	0,5	---	3	0,2
TOTAL						15	1

Tabla 45
Ponderación de tipo de Conexión al proceso.

CONEXIÓN	OPCIÓN A	OPCIÓN B	OPCIÓN C	OPCIÓN D	OPCIÓN E	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
OPCIÓN A	---	0,5	1	0,5	0,5	3,5	0,23
OPCIÓN B	0,5	---	1	0,5	0,5	3,5	0,24
OPCIÓN C	0	0	---	0	0	1	0,06
OPCIÓN D	0,5	0,5	1	---	0,5	3,5	0,24
OPCIÓN E	0,5	0,5	1	0,5	---	3,5	0,23
TOTAL						15	1

Tabla 46
Ponderación de Costo.

COSTO	OPCIÓN A	OPCIÓN B	OPCIÓN C	OPCIÓN D	OPCIÓN E	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
OPCIÓN A	---	0	0	0	1	2	0,13
OPCIÓN B	1	---	0	0	1	3	0,2
OPCIÓN C	1	1	---	0	1	4	0,26
OPCIÓN D	1	1	1	---	1	5	0,34
OPCIÓN E	0	0	0	0	---	1	0,07
TOTAL						15	1

Tabla 47

Conclusión en la selección de la mejor alternativa para saber la presión de rocío dentro de la cabina.

	MATERIAL	CONEXIÓN	COSTO	Σ	PRIORIDAD
OPCIÓN A	0,05	0,0575	0,065	0.173	4
OPCIÓN B	0,05	0,06	0,1	0.21	2
OPCIÓN C	0,05	0,015	0,13	0.195	3
OPCIÓN D	0,05	0,06	0,17	0.28	1
OPCIÓN E	0,05	0,0575	0,035	0.143	5
TOTAL				1	

Una vez realizado el análisis la Opción D es la ganadora por ser la opción más económica, sus características eléctricas por el tipo de señal que posee y el material que se encuentra elaborado la hacen apta para el proceso.

CAPÍTULO 4

DISEÑO

El capítulo detalla cómo se realiza el diseño, análisis y cálculos de las partes más importantes del proyecto, así como también la selección de los dispositivos de control y automatización para que el diseño cumpla con todos los requerimientos necesarios.

4.1 Consideraciones de diseño

El diseño para la automatización de la cabina de lavado tiene los siguientes parámetros para facilitar los cálculos correspondientes:

- Capacidad de transportar piezas metálicas máximo 150 kg
- La velocidad angular del sistema de transporte debe ser de 30 rpm
- Longitud de transporte de piezas 6 metros
- Cada ciclo de trabajo de lavado se debe realizar en promedio de 30 min

4.2 Componentes de la cabina

La cabina de lavado está conformada por los siguientes componentes:

- Estructura estática de soporte
- Sistema de transporte por motor reductor
- Tablero de control de la cabina
- Componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos

Nota: Se tiene elementos que no se solicitó diseñar, solamente se los selecciono de acuerdo a las necesidades del cliente.

4.3 Diseño Mecánico

Las transmisiones por cadena es un notable elemento de transmisión de potencia, formado por cadenas y sus correspondientes piñones este mecanismo es ampliamente utilizado en la mayoría de industrias y a medida que pasa el tiempo sus usos se van extendiendo. Considerando los requisitos impuestos del cliente se procede a realizar un diseño CAD para todos los componentes mecánicos que integran el sistema automatizado para después proceder a la construcción de las mismas.

4.3.1 Diseño de la transmisión por cadenas

El diámetro de las catarinas o piñones se dimensiono de acuerdo a la altura de la viga IPN 100x55 que sirve como guía del sistema de transportación de las piezas metálicas, se tiene que la altura de su sección transversal es 100 mm (Ver figura 62). Por lo tanto se impuso un diámetro nominal de 150 mm tanto para el piñón “conductor” como para el “conducido” debido a que el factor de reducción es 1.

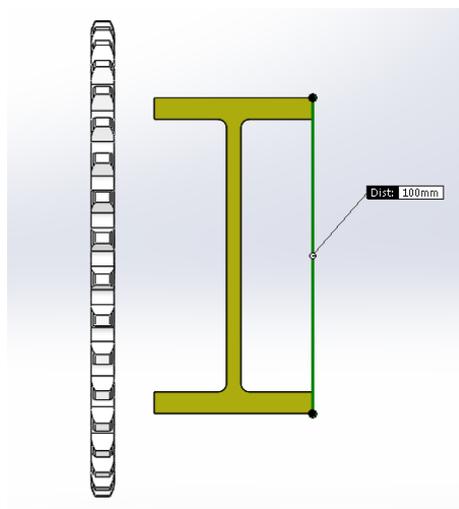


Figura 62. Sección transversal de la viga IPN 100x55 y del piñón

Las transmisiones de cadenas incluyen una relación constante puesto que no involucra al deslizamiento ni el arrastre, vida larga y capacidad para impulsar varios ejes.

4.3.1.1 Selección de la cadena de rodillos

De acuerdo a la solicitud del cliente que la velocidad del sistema de trasportación de 30 rpm. Procedemos a seleccionar según la velocidad de la catarina, para velocidades mayores a 50 rpm, con al menos 17 dientes y un paso de 0,5 pulg para ello se necesita una cadena del mismo paso como se muestra en la figura 63 (Budynas & Keith, 2012).

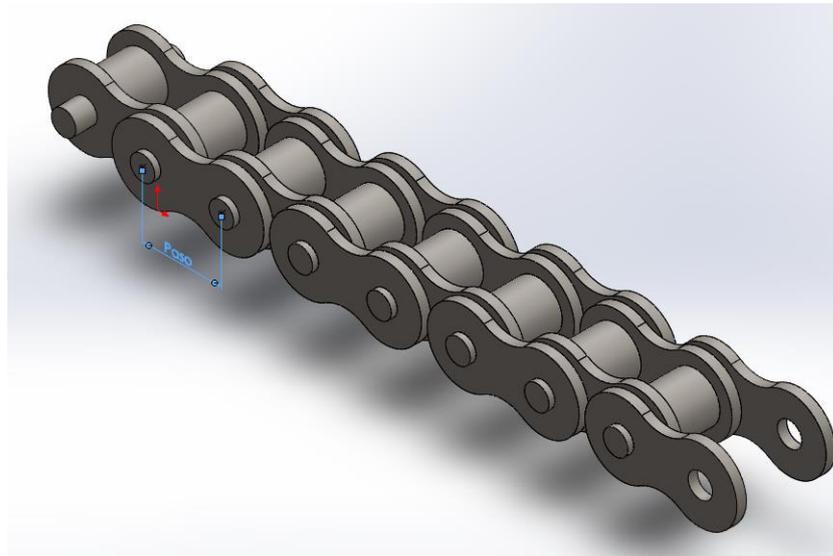


Figura 63. Cadena de rodillos simple

Tabla 48
Capacidad nominal de potencias de cadenas de rodillos simple

Velocidad de la catarina, rpm	Número ANSI de cadena					
	25	35	40	41	50	60
50	0.05	0.16	0.37	0.20	0.72	1.24
100	0.09	0.29	0.69	0.38	1.34	2.31
150	0.13*	0.41*	0.99*	0.55*	1.92*	3.32
200	0.16*	0.54*	1.29	0.71	2.50	4.30
300	0.23	0.78	1.85	1.02	3.61	6.20
400	0.30*	1.01*	2.40	1.32	4.67	8.03
500	0.37	1.24	2.93	1.61	5.71	9.81
600	0.44*	1.46*	3.45*	1.90*	6.72*	11.6
700	0.50	1.68	3.97	2.18	7.73	13.3
800	0.56*	1.89*	4.48*	2.46*	8.71*	15.0
900	0.62	2.10	4.98	2.74	9.69	16.7
1 000	0.68*	2.31*	5.48	3.01	10.7	18.3
1 200	0.81	2.73	6.45	3.29	12.6	21.6
1 400	0.93*	3.13*	7.41	2.61	14.4	18.1
1 600	1.05*	3.53*	8.36	2.14	12.8	14.8
1 800	1.16	3.93	8.96	1.79	10.7	12.4
2 000	1.27*	4.32*	7.72*	1.52*	9.23*	10.6
2 500	1.56	5.28	5.51*	1.10*	6.58*	7.57
3 000	1.84	5.64	4.17	0.83	4.98	5.76

Tipo A

Tipo B

Tipo C

*Estimado de tablas ANSI por medio de interpolación lineal.

Nota: Tipo A, lubricación manual o por goteo; tipo B, lubricación por baño o disco; tipo C, lubricación por chorro de aceite.

Fuente: (Budynas & Keith, 2012)

Conforme la norma ANSI B29.1-1975 se especifica el número ANSI de cadena, la tabla 48 nos indica que para rpm de 50, se encuentra disponible una variedad de números de cadena, sin embargo se tiene la necesidad de no más de 30 rpm. Basándonos en la disponibilidad del mercado local se seleccionó:

$$\text{Numero de cadena ANSI} = 40$$

Posterior a esta selección, es necesario conocer el paso de la cadena. Según la tabla 49 de dimensiones de cadenas estandarizadas de rodillo simple nos sugiere:

Tabla 49
Dimensiones de cadenas estándares de rodillos americanas: torón sencillo

Número de cadena ANSI	Paso, pulg (mm)	Ancho, pulg (mm)	Resistencia mínima a la tensión, lbf (N)	Peso promedio, lbf/pie (N/m)	Diámetro del rodillo, pulg (mm)	Espaciamento de torones múltiples, pulg (mm)
25	0.250 (6.35)	0.125 (3.18)	780 (3 470)	0.09 (1.31)	0.130 (3.30)	0.252 (6.40)
35	0.375 (9.52)	0.188 (4.76)	1 760 (7 830)	0.21 (3.06)	0.200 (5.08)	0.399 (10.13)
41	0.500 (12.70)	0.25 (6.35)	1 500 (6 670)	0.25 (3.65)	0.306 (7.77)	— —
40	0.500 (12.70)	0.312 (7.94)	3 130 (13 920)	0.42 (6.13)	0.312 (7.92)	0.566 (14.38)
50	0.625 (15.88)	0.375 (9.52)	4 880 (21 700)	0.69 (10.1)	0.400 (10.16)	0.713 (18.11)
60	0.750 (19.05)	0.500 (12.7)	7 030 (31 300)	1.00 (14.6)	0.469 (11.91)	0.897 (22.78)
80	1.000 (25.40)	0.625 (15.88)	12 500 (55 600)	1.71 (25.0)	0.625 (15.87)	1.153 (29.29)
100	1.250 (31.75)	0.750 (19.05)	19 500 (86 700)	2.58 (37.7)	0.750 (19.05)	1.409 (35.76)
120	1.500 (38.10)	1.000 (25.40)	28 000 (124 500)	3.87 (56.5)	0.875 (22.22)	1.789 (45.44)
140	1.750 (44.45)	1.000 (25.40)	38 000 (169 000)	4.95 (72.2)	1.000 (25.40)	1.924 (48.87)
160	2.000 (50.80)	1.250 (31.75)	50 000 (222 000)	6.61 (96.5)	1.125 (28.57)	2.305 (58.55)
180	2.250 (57.15)	1.406 (35.71)	63 000 (280 000)	9.06 (132.2)	1.406 (35.71)	2.592 (65.84)
200	2.500 (63.50)	1.500 (38.10)	78 000 (347 000)	10.96 (159.9)	1.562 (39.67)	2.817 (71.55)
240	3.00 (76.70)	1.875 (47.63)	112 000 (498 000)	16.4 (239)	1.875 (47.62)	3.458 (87.83)

Fuente: (Budynas & Keith, 2012)

$$\text{paso} = 0.5 \text{ pulg}$$

4.3.1.2 Cálculo de la catarina

A partir de los datos del número de cadena y paso de la misma, se estima el número de dientes y la disponibilidad en el mercado, ver tabla 50. En la figura 64 se muestra una catarina sujeta a su respectiva manzana.

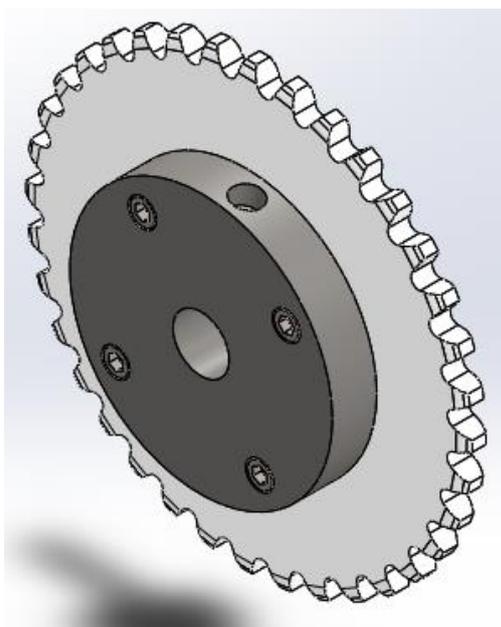


Figura 64. Catarina sujeta a manzana o cubo

Tabla 50

Número de dientes de catarina de un solo torón

Núm.	Números de dientes de catarina disponibles
25	8-30, 32, 34, 35, 36, 40, 42, 45, 48, 54, 60, 64, 65, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
35	4-45, 48, 52, 54, 60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
41	6-60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
40	8-60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
50	8-60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
60	8-60, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
80	8-60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 78, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
100	8-60, 64, 65, 67, 68, 70, 72, 74, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
120	9-45, 46, 48, 50, 52, 54, 55, 57, 60, 64, 65, 67, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 96, 102, 112, 120
140	9-28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 42, 43, 45, 48, 54, 60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 96
160	8-30, 32-36, 38, 40, 45, 46, 50, 52, 53, 54, 56, 57, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 68, 70, 72, 73, 80, 84, 96
180	13-25, 28, 35, 39, 40, 45, 54, 60
200	9-30, 32, 33, 35, 36, 39, 40, 42, 44, 45, 48, 50, 51, 54, 56, 58, 59, 60, 63, 64, 65, 68, 70, 72
240	9-30, 32, 35, 36, 40, 44, 45, 48, 52, 54, 60

*Morse Chain Company, Ithaca, NY, catarinas con maza tipo B.

Fuente: (Budynas & Keith, 2012)

De acuerdo a la disponibilidad del mercado se optó por una catarina de 36 dientes para la catarina conductora como para la conducida, paso 0.5 *pulg*, diámetro del paso de la catarina 151 mm \cong 6 *pulg* y verificamos que en la tabla 49 que nos sugiere (Budynas & Keith, 2012) esté los 36 dientes seleccionados dentro del número de dientes de catarinas disponibles.

Para el cálculo de la manzana el proveedor de la catarina, apporto con las especificaciones técnicas con las respectivas medidas de la manzana ver tabla 51.

Tabla 51
Especificaciones de catarina y manzana

ELEMENTS DE TRANSMISSION

MATIÈRE
- Acier.
- Fonte.

UTILISATION
- Pour chaîne à rouleaux type 08-B.
- Largeur intérieure : 7,75 mm.
- ø rouleau : 8,51 mm.
- l_2 : 7 mm.
- l_3 : 1,30 mm.
- l_4 : 7,20 mm.
- l_5 : 21 mm.
- l_6 : 34,90 mm.
- r_1 : 13 mm.

MICHAUD CHAILLY modèle **A1-01-08**

PIGNON A CHAÎNE SIMPLE, DOUBLE OU TRIPLE

Pas 12,7 mm

Nombre de dents	d_2	d_4	Simple			Double			Triple					
			d_1	d_3	l_1	d_1	d_3	l_1	d_1	d_3	l_1			
21	89,7	85,22	A1-01-08-21	12	68	28	A1-012-08-21	16	70	40	A1-013-08-21	20	70	55
22	93,8	89,24	A1-01-08-22	12	70	28	A1-012-08-22	16	70	40	A1-013-08-22	20	70	55
23	98,2	93,27	A1-01-08-23	14	70	28	A1-012-08-23	16	70	40	A1-013-08-23	20	70	55
24	101,8	97,29	A1-01-08-24	14	70	28	A1-012-08-24	16	75	40	A1-013-08-24	20	75	55
25	105,8	101,33	A1-01-08-25	14	70	28	A1-012-08-25	16	80	40	A1-013-08-25	20	80	55
26	110,0	105,36	A1-01-08-26	16	70	30	A1-012-08-26	20	85	40	-	-	-	-
27	114,0	109,40	A1-01-08-27	16	70	30	A1-012-08-27	20	85	40	A1-013-08-27	20	85	55
28	118,0	113,42	A1-01-08-28	16	70	30	A1-012-08-28	20	90	40	-	-	-	-
29	122,0	117,46	A1-01-08-29	16	80	30	A1-012-08-29	20	95	40	-	-	-	-
30	126,1	121,50	A1-01-08-30	16	80	30	A1-012-08-30	20	100	40	A1-013-08-30	20	100	55
31	130,2	125,54	A1-01-08-31	16	90	30	A1-012-08-31	20	100	40	-	-	-	-
32	134,3	129,56	A1-01-08-32	16	90	30	A1-012-08-32	20	100	40	-	-	-	-
33	138,4	133,60	A1-01-08-33	16	90	30	A1-012-08-33	20	100	40	-	-	-	-
34	142,6	137,64	A1-01-08-34	16	90	30	A1-012-08-34	20	100	40	-	-	-	-
35	146,7	141,68	A1-01-08-35	16	90	30	A1-012-08-35	20	100	40	-	-	-	-
36	151,0	145,72	A1-01-08-36	16	90	35	A1-012-08-36	20	110	40	-	-	-	-
37	154,6	149,76	A1-01-08-37	16	90	35	-	-	-	-	-	-	-	-
38	158,6	153,80	A1-01-08-38	16	90	35	A1-012-08-38	20	110	40	A1-013-08-38	25	120	55
39	162,7	157,83	A1-01-08-39	16	90	35	A1-012-08-39	20	110	40	-	-	-	-
40	166,8	161,87	A1-01-08-40	16	90	35	A1-012-08-40	20	110	40	-	-	-	-
38	158,6	153,80	A1-01-088-38 ⁽¹⁾	16	-	-	A1-012-088-38 ⁽¹⁾	20	-	-	-	-	-	-
45	188,0	182,07	A1-01-088-45 ⁽¹⁾	20	-	-	A1-012-088-45 ⁽¹⁾	20	-	-	-	-	-	-
57	236,4	230,54	A1-01-088-57 ⁽¹⁾	20	-	-	A1-012-088-57 ⁽¹⁾	25	-	-	-	-	-	-
76	313,3	307,33	A1-01-088-76 ⁽¹⁾	25	-	-	A1-012-088-76 ⁽¹⁾	25	-	-	-	-	-	-
95	390,1	384,11	A1-01-088-95 ⁽¹⁾	25	-	-	A1-012-088-95 ⁽¹⁾	25	-	-	-	-	-	-
114	466,9	460,90	A1-01-088-114 ⁽¹⁾	25	-	-	A1-012-088-114 ⁽¹⁾	25	-	-	-	-	-	-

Fuente: (Michaud-Chailly, 2017)

Se toma en cuenta el diámetro $d_3 = 90\text{mm} \cong 3.5 \text{ pulg}$ y el espesor sugerido de $I_1 - I_4 = 35 - 7.20 = 27.8 \text{ mm}$, pero por geometría se diseñó para 15 mm para la sujeción se utilizó 4 pernos Allen y uno más como prisionero para el eje a diseñar a continuación como se puede apreciar en la figura 64.

4.3.1.3 Cálculo de la longitud de la cadena aproximada

La longitud aproximada de la cadena L , en pasos, se determina por medio de la siguiente formula (Budynas & Keith, 2012) :

$$\frac{L}{p} = \frac{2C}{p} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 \frac{C}{p}} \quad \text{Ec. (4 - 1)}$$

Dónde:

L = longitud de la cadena aproximada, pulg

p = paso de la cadena, pulg

N_1 = número de dientes en la catarina menor o conductora

N_2 = número de dientes en la catarina mayor o conducida

C = distancia entre centros, pulg

Como información proporcionada se tiene que la distancia entre centros es de $9\text{m} \cong 354 \text{ pulg}$.

Procedemos a despejar L :

$$L = 2C + \frac{p}{2}(N_1 + N_2)$$

$$L = 2 \times 354 + \frac{0.5}{2}(36 + 36)$$

$$L = 726 \text{ pulg} \cong 18.5 \text{ m}$$

Se necesita $726 \text{ pulg} \cong 18.5 \text{ m}$ de cadenas de rodillos para cubrir los 9 m .

Nota: la lubricación de la cadena es de tipo A de acuerdo a la tabla 49, recomienda la lubricación por goteo o por baño poco profundo, se debe emplear un aceite mineral medio o ligero, sin aditivos.

4.3.1.4 Cálculo de la potencia del motor

Para determinar la potencia a transmitir es decir los *hp* del motor, se utilizara las fórmulas correspondientes al libro de “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley”. Se tomara en cuenta una esperanza de vida de 15000 horas de la cadena de rodillos, debido a que rara vez fallan debido a la falta de resistencia a la tensión, por lo que es más usual que fallen porque se sometan a un gran número de horas de servicio (Budynas & Keith, 2012).

La resistencia a la fatiga de las placas del eslabón rigen la capacidad a bajas velocidades. La divulgación de la *American Chain Association (ACA)* y la *Chains for Power Transmission and Materials Handling* facilita, para la cadena de torón único, la potencia nominal H_1 , limitada por la placa del eslabón, como:

$$H_1 = 0.004N_1^{1.08}n_1^{0.9}p^{(3-0.07p)} \quad \text{Ec. (4 - 2)}$$

La potencia nominal H_2 , limitada por los rodillos, como

$$H_2 = \frac{1000K_r N_1^{1.5} p^{0.8}}{n_1^{1.5}} \quad \text{Ec. (4 - 3)}$$

Donde:

H_1 = potencia nominal limitada por placa del eslabón, hp

H_2 = potencia nominal limitada por los rodillos, hp

p = paso de la cadena, pulg

N_1 = número de dientes en la catarina menor o conductora

n_1 = velocidad de la catarina, rpm

K_1 = 29 para núm de cadena 25, 35; 3.4 para 41 ; y 17 para cadenas 40 – 240

Encontramos un $H_{nom} = \text{mín}(H_1, H_2)$, con $p = 0.5$ pulg, $N_1 = 36$, $n_1 = 30$ rpm.

De acuerdo con la ecuación (4 - 2),

$$H_1 = 0.004(36)^{1.08}(30)^{0.9}(0.5)^{[3-0.07(0.5)]} = 0.52 \text{ hp}$$

De la ecuación (4 - 3),

$$H_2 = \frac{1000(17)(36)^{1.5}(0.5)^{0.8}}{(30)^{1.5}} = 12835.02 \text{ hp}$$

La potencia de diseño está dada $H_{nom} = \min(0.52, 12835.02) = 0.52 \text{ hp}$.

4.3.1.4.1 Cálculo de la potencia corregida de diseño

La potencia corregida de diseño P_c , obtenida a partir de la potencia transmitida H_{nom} se calcula a partir de la siguiente expresión (Mott, 2006).

$$P_c = \frac{P \cdot FS}{\eta} \quad \text{Ec. (4 - 4)}$$

Donde,

P = Potencia teórica calculada, hp

FS = Factor de servicio para transmisiones por cadena

η = Eficiencia del motor

El sistema transportador está sujeto a ambientes sucios, la temperatura ambiente y la carga se puede considerar ligera y uniforme, el tipo de impulsor es un motor eléctrico, en la tabla 52 se tiene los factores de servicio.

Tabla 52
Factores de servicio para transmisiones por cadenas

Tipo de carga	Tipo de impulsor		
	Impulsor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna
Uniforme (agitadores, ventiladores, transporte con carga ligera y uniforme).	1.0	1.0	1.2
Choque moderado (máquinas herramienta, grúas, transportadores pesados, mezcladores de alimento y molinos).	1.2	1.3	1.4
Choque pesado (prensas de troquelado, molinos de martillos, transportadores alternos, accionamientos de molino de rodillos).	1.4	1.5	1.7

Fuente: (Mott, 2006)

Para calcular η se realiza de la siguiente manera.

$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{teórica}}} \times 100 \quad \text{Ec. (4 - 5)}$$

$P_{\text{útil}}$ = Potencia útil absorbida por el motor, W

$P_{\text{teórica}}$ = Potencia calculada teórica, W

Para calcular la potencia útil se realiza utilizando la siguiente fórmula para un motor trifásico.

$$P_{\text{útil}} = \sqrt{3} V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad \text{Ec. (4 - 6)}$$

V = Tensión de línea, V

I = Corriente de línea, A

$\cos \varphi$ = Factor de potencia de la red de trabajo

Remplazando los valores obtenidos en el lugar de trabajo se obtiene

$$P_{\text{útil}} = \sqrt{3} (220)(1.01)(0.85) = 327.13 W$$

Se reemplaza los valores calculados en la ecuación (4 - 7).

$$\eta = \frac{327.13}{373} \times 100 = 87.70\%$$

Procedemos a recalcular la potencia del motor de la ecuación (4 - 4),

$$P_c = \frac{0.5 \times 1.0}{0.87} = 0.57 hp$$

Por tanto se selecciona un motor eléctrico trifásico comercial de 0.5 hp y un factor de servicio de 1.0 con una eficiencia del 87.70%.

4.3.1.5 Dimensionamiento de la caja reductora

Para dimensionar la caja reductora que estará acoplada al motor a la velocidad de 30 rpm a la cual va a gira la flecha. El reductor tendrá una relación de velocidad de:

$$i = \frac{rpm_{\text{motor}}}{rpm_{\text{salida}}} \quad \text{Ec. (4 - 7)}$$

Donde,

i = índice de reducción de velocidad

rpm_{entrada} = Velocidad de entrada dad por le motor, rpm

rpm_{salida} = Velocidad de salida a transmitir, rpm

La velocidad nominal del motor es de 1366 rpm según el fabricante ver anexo A4. De la ecuación (4 - 7),

$$i = \frac{1366}{30} = 45:1$$

Se sugiere una caja reductora sinfín corona con índice de reducción 45: 1, debido a la facilidad de encontrar en el mercado local.

4.3.1.6 Diseño del eje de transmisión

Por decisiones de diseño se toma una longitud preestablecida y se impone la distancia entre los apoyos donde se alojará el eje, teniendo en consideración que allí estará sujeta la catarina, la cual producirá esfuerzos al eje. También se considera el torque ejercido por el motorreductor. El sistema se comporta como un sistema de potencia fluctuante $P_{min} = 0 \text{ hp}$ y $P_{max} = 0.5 \text{ hp}$, En la figura 65 se puede observar los elementos que afectan al eje a diseñar.

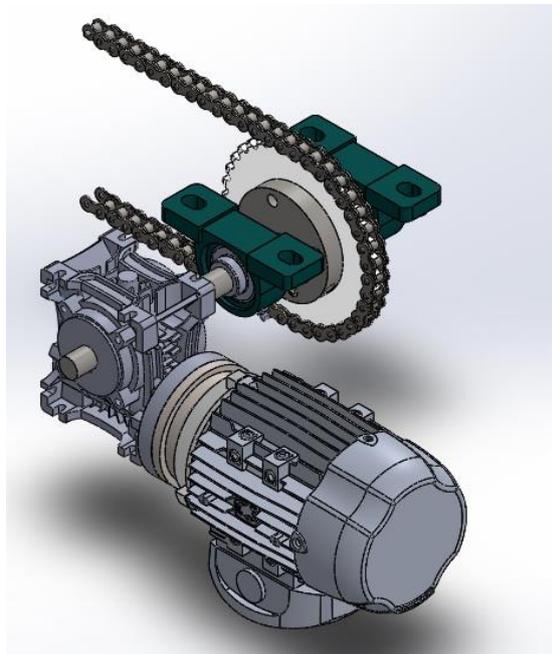


Figura 65. Sistema de transmisión por cadenas

Primero necesitamos el torque ejercido por la catarina de la siguiente forma con su potencia máxima:

$$T = \frac{P_{max} 9550}{n} \quad \text{Ec. (4 - 8)}$$

Donde,

T = Torque que ejerce la catarina, Nm

P_{max} = Potencia transmitida, kW

n = Velocidad de salida a transmitir, rpm

De la ecuación (4 - 8), siendo $P_{max} = 0.52 \text{ hp} \cong 0.37 \text{ kW}$ y $n = 30 \text{ rpm}$

$$T = \frac{(0.37)9550}{30} = 117.80 \text{ Nm}$$

Entonces podemos decir que se tiene un torque máximo de $T_{max} = 117.80 \text{ Nm}$, no es necesario calcular con la potencia mínima porque el resultado $T_{min} = 0 \text{ Nm}$.

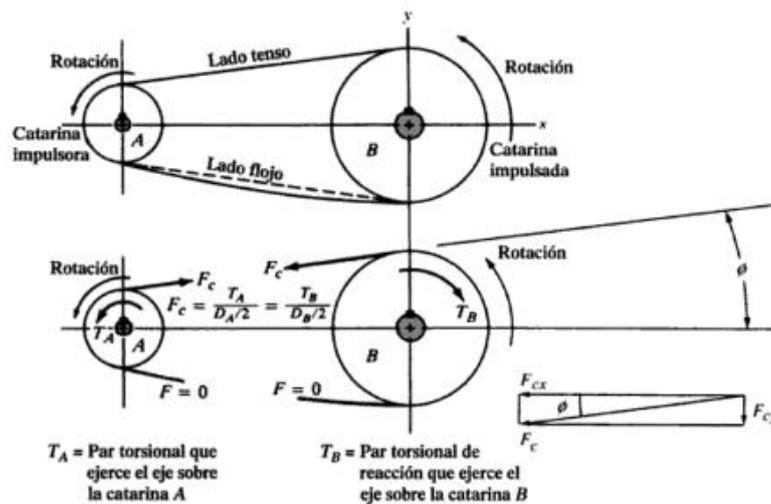


Figura 66. Fuerzas sobre las catarinas de cadenas

Fuente: (Mott, 2006)

Posterior se encuentra la fuerza aplicada por la cadena a la catarina, en este caso debemos tomar en cuenta que no existe un ángulo $\theta = 0^\circ$ de inclinación del lado tenso de la cadena con respecto a la línea entre centros, en cambio el lado flojo, no ejerce fuerzas sobre las catarinas como se muestra en la figura 66. Para hacer un análisis más preciso se necesitaría descomponer la fuerza F_c en componentes paralelas a la línea entre centros de las catarinas, y perpendicular a ella; esto es si se conoce el par torsional en la catarina,

$$F_c = \frac{T}{\left(\frac{D}{2}\right)}$$

Ec. (4 - 9)

Donde,

T = Torque ejerce la catarina, Nm

F_c = Fuerza de la catarina, N

D = Diámetro de paso de la catarina conductora, m

De la ecuación (4 - 9),

$$F_c = \frac{117.8}{\left(\frac{0.15}{2}\right)} = 1571 \text{ N}$$

Ahora descomponemos la fuerza de la catarina y calculamos:

$$F_{cx} = F_c \cos(\theta) \text{ y } F_{cy} = F_c \sin(\theta) \quad \text{Ec. (4 - 10)}$$

$$F_{cx} = 1571 \cos(0) = 1571 \text{ N}$$

$$F_{cy} = 1571 \sin(0) = 0 \text{ N}$$

Existe solo la fuerza F_{cx} en dirección x que es igual F_c que causaría flexión en un plano.

Por último con los datos del fabricante del motorreductor ver anexo A4, se obtiene $T_1 = 71.3 \text{ N} \cdot \text{m}$.

De acuerdo con la figura 67, realizamos un diagrama de cuerpo libre (DCL) en el plano YZ mostrada a continuación.

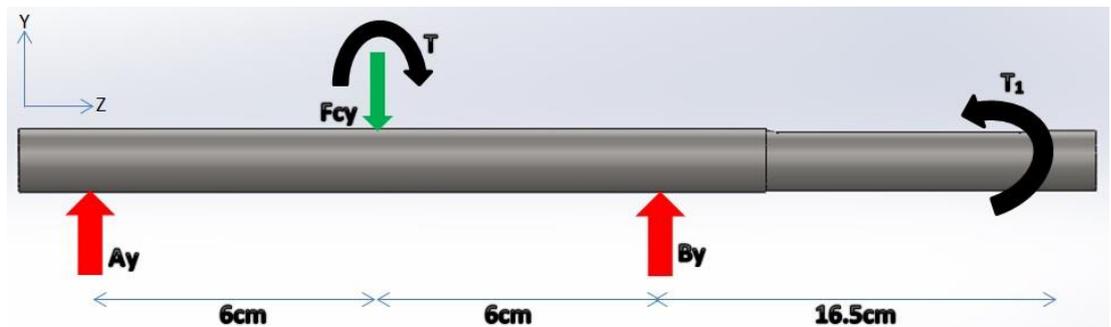


Figura 67. DCL del eje de transmisión plano YZ

Para el análisis del eje, primero realizaremos un análisis de cuerpo libre del eje con ecuaciones de equilibrio, para obtener las fuerzas de reacción de los cojinetes o chumaceras en los puntos A_y y B_y ,

Análisis en el plano YZ:

$$\sum F_y = 0$$

$$A_y - F_y + B_y = 0$$

$$A_y + B_y = 0$$

$$\sum M_{A_y} = 0$$

$$-T + B_y(0.12) + T_1 = 0$$

$$-117.8 + B_y(0.12) + 71.3 = 0$$

$$B_y = \frac{46.5 \text{ Nm}}{0.12 \text{ m}}$$

$$B_y = 387.5 \text{ N}$$

Reemplazando el valor de la reacción $B_y = 387.5 \text{ N}$ en la sumatoria de fuerzas en y nos queda que $A_y = -387.5 \text{ N}$. En la figura 68 se muestra el diagrama de fuerza cortante V .

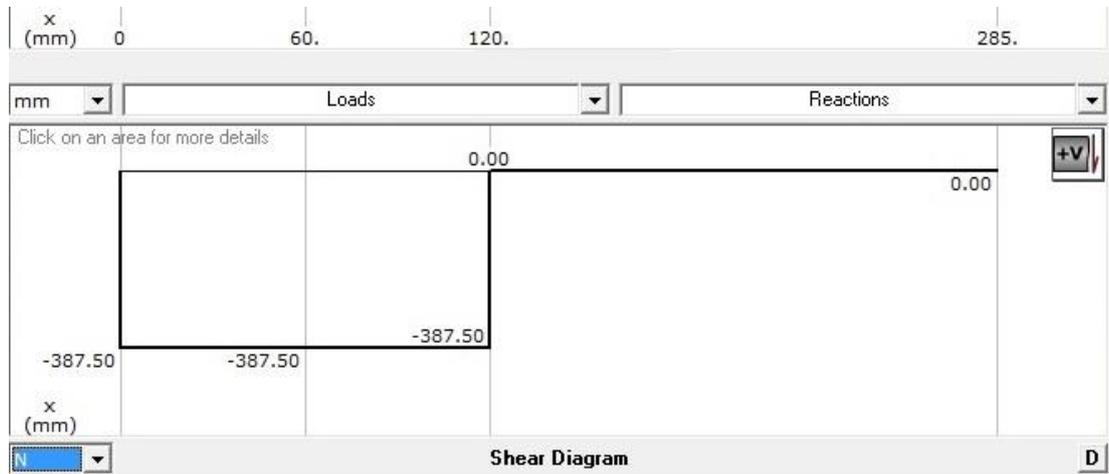


Figura 68. Diagrama de fuerza cortante V plano YZ

Algo muy importante para el diseño del eje es el momento flector máximo, (ver figura 69). $M_{YZ} = 94.55 \text{ N} - m$, podemos decir que el momento flector calculado es también el momento flector máximo en este plano.

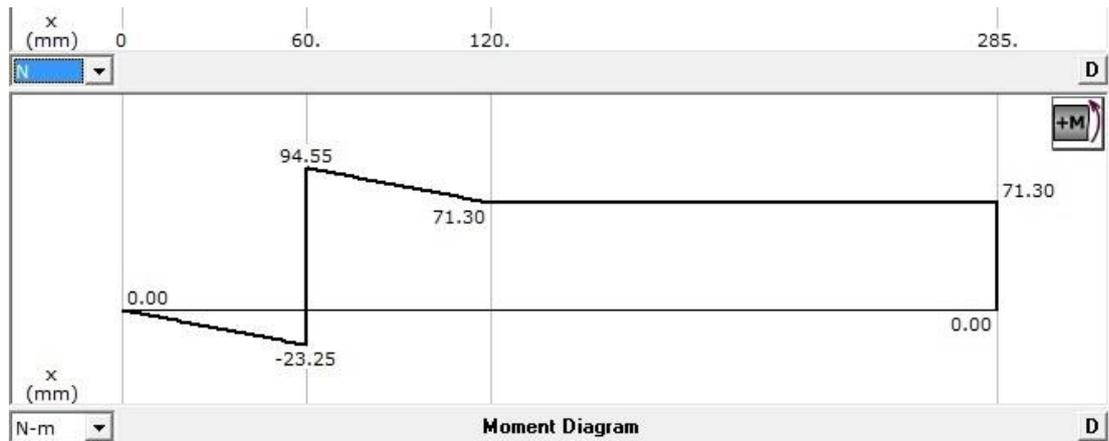


Figura 69. Diagrama de momento flector M plano YZ

Procedemos ahora a realizar el análisis en el plano XZ, para esto se realiza el DCL como se muestra en la siguiente figura.

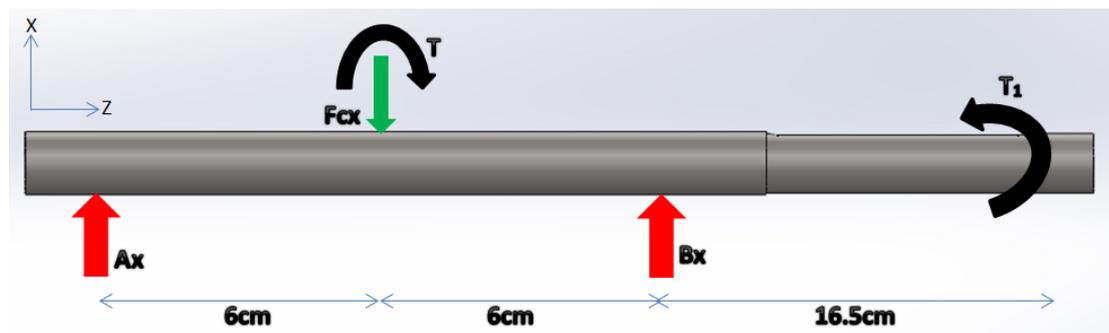


Figura 70. DCL del eje de transmisión plano XZ

Para obtener las fuerzas de reacción de las chumaceras en los puntos A_x y B_x ,

Análisis en el plano YZ:

$$\sum F_x = 0$$

$$A_x - F_x + B_x = 0$$

$$A_x - 1571 + B_x = 0$$

$$A_x + B_x = 1571 \text{ N}$$

$$\sum M_{Ay} = 0$$

$$-T - 1571(0.06) + B_x(0.12) + T_1 = 0$$

$$-117.8 - 94.26 + B_x(0.12) + 71.3 = 0$$

$$B_x = \frac{140.76 \text{ Nm}}{0.12 \text{ m}}$$

$$B_x = 1173 \text{ N}$$

Reemplazando el valor de la reacción $B_x = 1173 \text{ N}$ en la sumatoria de fuerzas en x nos queda que $A_x = 398 \text{ N}$. En la figura 74 se muestra el diagrama de fuerza cortante V .

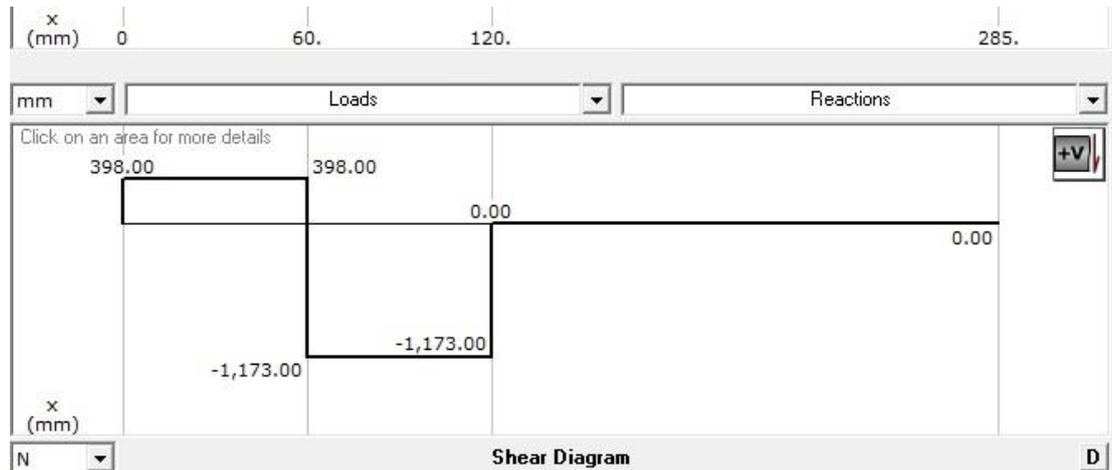


Figura 71. Diagrama de fuerza cortante V plano XZ

Algo muy importante para el diseño del eje es el momento flector máximo, (ver figura 72). $M_{XZ} = 141.68 \text{ N} - \text{m}$, podemos decir que el momento flector calculado es también el momento flector máximo en este plano.

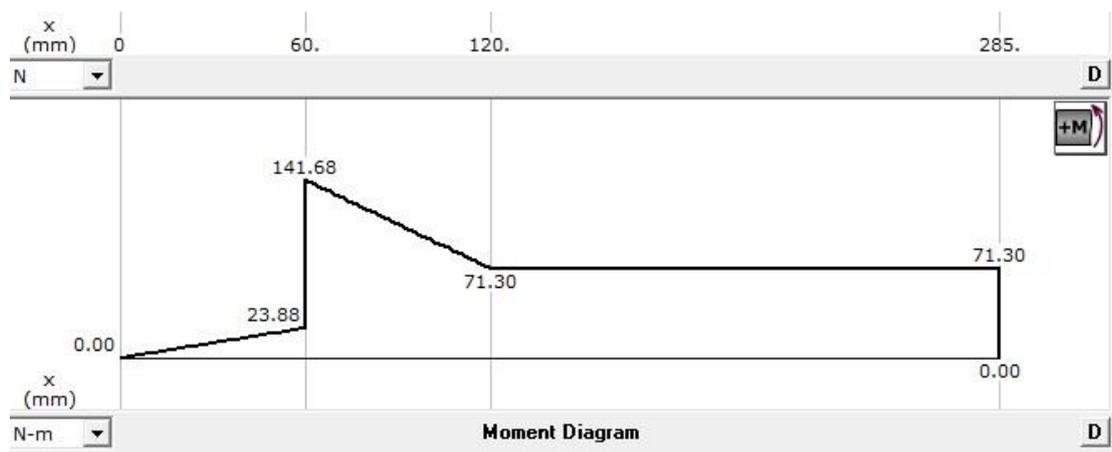


Figura 72. Diagrama de momento flector M plano XZ

Por tanto encontramos el momento flector resultante máximo de la siguiente forma.

$$M_{max} = \sqrt{M_{YZ}^2 + M_{XZ}^2} = \sqrt{94.55^2 + 141.68^2} = 170.33$$

Uno de los puntos críticos es en el extremo derecho donde se tiene que realizar un chavetero y realizar un hombro en el eje en el mismo extremo, como se muestra en la figura 73.

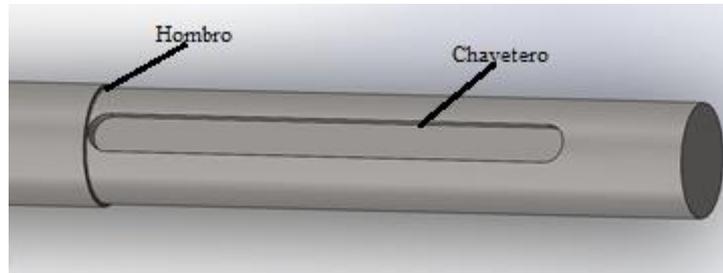


Figura 73. Hombro y chavetero en eje

Para el diseño del eje de transmisión nos basaremos en la teoría conservadora de Goodman Modificada donde establece la ecuación para el cálculo del diámetro del eje a diseñar:

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. (4 - 11)}$$

d = Diámetro del eje, pulg

n = Factor de seguridad

S_e = límite de la resistencia a la fatiga, *kpsi*

K_f =, factores de concentración del esfuerzo a flexión

K_{fs} = factores de concentración del esfuerzo a torsión

S_e = límite de la resistencia a la tensión, *kpsi*

El momento alternante y medio así como el torque alternante y medio, M_a, M_m, T_a y T_m , sabiendo que $M_{max} = 170.33 \text{ N} \cdot \text{m} \cong 1505 \text{ lbf} \cdot \text{in}$ y $T_{max} = 117.80 \text{ N} \cdot \text{m} \cong 1043 \text{ lbf} \cdot \text{in}$ se los calcula de la siguiente forma:

$$M_a = \left| \frac{M_{max} - M_{min}}{2} \right| = \left| \frac{1505 - 0}{2} \right| = 752.5 \text{ lbf} \cdot \text{in}$$

$$M_m = \left| \frac{M_{max} + M_{min}}{2} \right| = \left| \frac{1505 + 0}{2} \right| = 752.5 \text{ lbf} \cdot \text{in}$$

$$T_a = \left| \frac{T_{max} - T_{min}}{2} \right| = \left| \frac{1043 - 0}{2} \right| = 521.5 \text{ lbf} \cdot \text{in}$$

$$T_m = \left| \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right| = \left| \frac{1043 + 0}{2} \right| = 521.5 \text{ lbf} \cdot \text{in}$$

Para determinar el diámetro del eje comenzaremos estimando los factores de concentradores de esfuerzos del chavetero.

Se asumirá de forma conservadora la primera iteración como:

$$K_t = K_f = 2.2 \text{ y } K_{ts} = K_{fs} = 3$$

Elegiremos el acero AISI 1018 CD, este es un acero muy común en usos de transmisión de potencia además que nos brinda ductilidad para maquinarlo. Conocemos además su resistencia a la tensión $S_{ut} = 64 \text{ kpsi}$ y la resistencia a la fluencia $S_y = 54 \text{ kpsi}$.

Calculamos el límite de la resistencia a la fatiga (ver figura 74)

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot S'_e$$

Donde,

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1 400 \text{ MPa} \end{cases}$$

Figura 74. Límite de la resistencia a la fatiga

Fuente: (Budynas & Keith, 2012)

$$S'_e = 0.5 * 64 = 32 \text{ kpsi}$$

Calculamos el factor de superficie

Tabla 53

Parámetros en la condición superficial

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{utr} kpsi	S_{utr} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

De C. J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3. núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Horgar (ed.), *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

Fuente: (Budynas & Keith, 2012)

$$k_a = aS_{ut}^{-b} = 2.7(76)^{-0.265} = 0.85$$

Ahora procedemos a calcular el factor de tamaño

Se considera un $k_b = 0.9$ debido a que no sabemos aún el diámetro del eje

Determinamos el factor de carga (ver figura 75).

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases}$$

Figura 75. Factor de carga
(Budynas & Keith, 2012)

Debido a que se trata en su mayoría de flexión.

El factor de temperatura

Normalmente se percibe una temperatura promedio de 24°

$$T_F = T_C * \frac{9}{5} + 32 = 24 * \frac{9}{5} + 32 = 75.2^\circ$$

$$K_d = 0.975 + 0.432(10^{-3})75.2 - 0.115(10^{-5})75.2^2 + 0.104(10^{-8})75.2^3 - 0.595(10^{-12})75.2^4 = 1$$

Procedemos a calcular el factor de confiabilidad, de acuerdo a la tabla 54

Tabla 54

Factores de confiabilidad k_e correspondientes a 8 desviaciones estándares porcentuales del límite de resistencia a la fatiga

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Fuente: (Budynas & Keith, 2012)

Para una confiabilidad de 90% se tiene: $k_e = 0.897$

Finalmente se calcula el límite de resistencia a la fatiga

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * S'_e = (0.85)(0.9)(1)(1)(0.897)(32) = 22 \text{ kpsi}$$

El cálculo del hombro derecho del eje se verificará el diámetro para el hombro que se encuentra casi en el mismo punto que el chavetero por tanto se tiene casi los mismos momentos: flector y torsor.

Una relación típica para el soporte en un hombro es $\frac{D}{d} = 1.2$ entonces

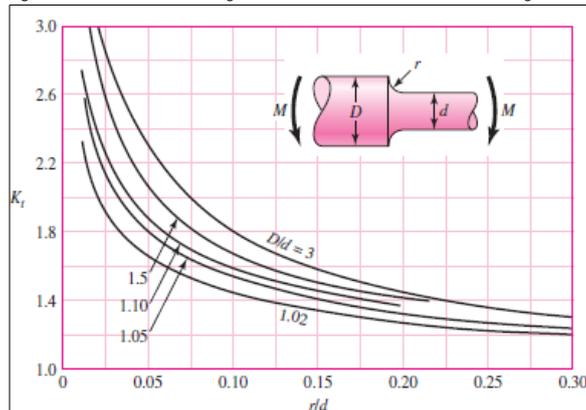
$$D = 1.2 * 0.35 = 0.42 \text{ in}$$

Ahora para el radio del filete $r = \frac{d}{10}$ entonces $r = \frac{0.35}{10} = 0.035$

Para flexión

Tabla 55

Eje redondo con filete en el hombro en flexión



Fuente: (Budynas & Keith, 2012)

De la figura a2 con un $\frac{r}{d} = 0.1$ y $\frac{D}{d} = 1,2$ se encuentra un $K_t = 1.6$ aprox.

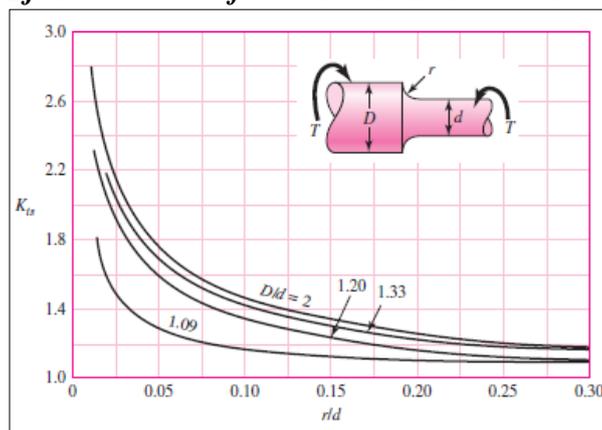
De la figura a1 con un $r = 0,0035$, $S_{ut} = 76 \text{ kpsi}$, se encuentra un $q = 0.7$ aprox.

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) = 1 + 0.7(1.6 - 1) = 1.42$$

Para torsión

Tabla 56

Eje redondo con filete en el hombro en torsión



Fuente: (Budynas & Keith, 2012)

De la ecuación (4 - 11) y con un factor de seguridad $n = 1.5$ se obtiene un diámetro del eje de:

$$d = \left(\frac{16 (1.5)}{\pi} \left\{ \frac{1}{22000} [4(2.2 \cdot 752.5)^2 + 3(3 \cdot 521.5)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{64000} [4(2.2 \cdot 752.5)^2 + 3(3 \cdot 521.5)^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 1.25 \text{ pulg}$$

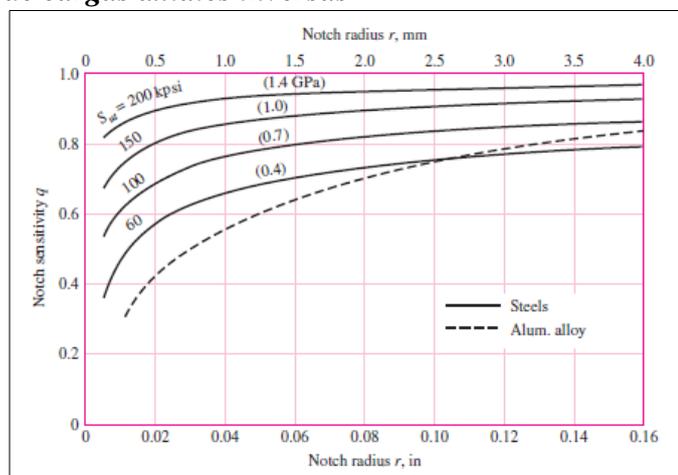
Se encontrará ahora el K_f y K_{fS} reales, la relación estándar del chavetero será

$$\frac{r}{d} = 0.02 \text{ entonces } r = 0.02 * 0.35 = 0.007$$

Para flexión se encuentra $K_t = 2.2$ de la tabla 56

Tabla 57

Sensibilidad a la muesca en caso de aceros y aluminios sometido a flexiones inversas de cargas axiales inversas



Fuente: (Budynas & Keith, 2012)

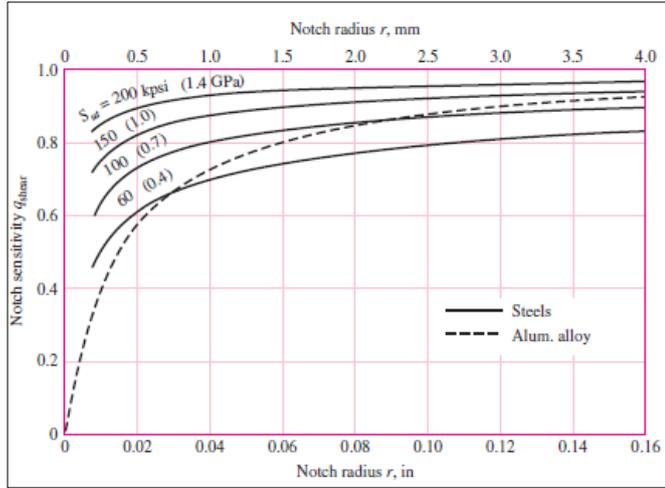
Con $r = 0,007$ y un $S_{ut} = 76 \text{ ksi}$ tenemos una $q = 0.55$ aproximadamente

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) = 1 + 0.55(2.2 - 1) = 1.66$$

Para torsión $K_{tS} = 3$ de la tabla 57

Tabla 58

Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa



Fuente: (Budynas & Keith, 2012)

Con $r = 0.007$ y un $S_{ut} = 76$ kpsi tenemos una $q = 0.5$ aproximadamente

$$K_{fS} = 1 + q_{CORTANTE}(K_{ts} - 1) = 1 + 0.5(3 - 1) = 2.0$$

Se vuelve a calcular k_b con el diámetro real (ver figura 76).

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Figura 76. k_b con el diámetro real

Fuente: (Budynas & Keith, 2012)

Como d está en la primera condición entonces:

$$k_b = \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107} = \left(\frac{0.35}{0.3}\right)^{-0.107} = 0.985$$

$$\text{Encontramos } S_e = (0.985)(0.963)(1)(1)(0.897)(32) = 27.22 \text{ kpsi}$$

Se recalcula el nuevo diámetro del eje de transmisión teniendo:

$$d = \left(\frac{16(1.5)}{\pi} \left\{ \frac{1}{27220} [4(1.66 \cdot 752.5)^2 + 3(2.0 \cdot 521.5)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{64000} [4(1.66 \cdot 752.5)^2 + 3(2.0 \cdot 521.5)^2]^{\frac{1}{2}} \right\}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0.68 \text{ pulg}$$

Por tanto se debe conseguir un diámetro de acuerdo a cojinetes fáciles de encontrar en el mercado, siendo el diámetro del eje de **0.75 pulg** para mayor facilidad.

4.3.1.7 Selección de los cojinetes para el eje

Se establecerá la confiabilidad en un 99%, y un tiempo de vida de 2000 horas, lo que representa una vida de 5 años, con 10 horas diarias de uso. La velocidad del eje es de 30 rpm. Teniendo en cuenta que se elegirán cojinetes rígidos de bola:

De los diagramas de cuerpo libre presentado con anterioridad en la figuras 67 y 60, se obtiene:

$$RA = 555.48 N$$

$$RB = 1235.35 N$$

Calculamos la vida nominal del cojinete, dado por:

$$L_D = 20000h * \frac{60min}{h} * 30rpm = 3.6 * 10^7 rev$$

Se escoge el cojinete en *RB*, debido a que tiene una mayor carga. Como se utilizarán cojinetes de bolas, $a=3$, y $L_D=3.6 * 10^7 rev$.

$$X_D = \frac{L_D}{L_R} = \frac{60 L'_D n_D}{L_{10}}$$

$$X_D = \frac{3.6 * 10^7}{10^6} = 36$$

La carga radial de diseño:

$$F_D = 1.2(1235.35) = 1482.42 N$$

Se calcula la carga de catálogo a continuación:

$$C_{10} = 1482.42 \left\{ \frac{36}{0.02 + (4.459 - 0.02) \left[\ln\left(\frac{1}{0.9}\right) \right]^{1/1.483}} \right\}^{1/3}$$

$$C_{10} = 4.91 kN$$

Para la selección del cojinete es necesario seleccionar un modelo que se adapte al sistema de transporte con C_{10} y seleccionar en catálogo. Se decidió elegir un cojinete de tipo puente UCP-202-10 $\frac{3}{4}$ pulg como se muestra en la figura 77 y este es para los 4 apoyos tanto para el eje de transmisión para el conducido.



Figura 77. Chumacera UCP-202-10 $\frac{3}{4}$ pulg

Fuente: (XRT, 2017)

4.4 Diseño eléctrico

4.4.1 Selección de los elementos maniobra e indicadores.

4.4.1.1 Selección de pulsadores e interruptores.

Tanto los selectores como interruptores cumplen con la función de activar o desactivar un actuador en concreto, mientras que los pulsadores pueden iniciar o parar procesos por esta razón se utiliza ambos elementos que cumplen con diferentes funciones. En la tabla 59 se muestra la selección de pulsadores e interruptores con su respectiva descripción.

Tabla 59
Descripción de pulsadores e interruptores

ELEMENTO DE MANIOBRA	Pulsador con retorno, de inicio	Pulsador con retorno, de paro	Selector de tres posiciones	Paro de emergencia	de	Selector de tres posiciones con retorno al centro	Pulsador marcha – interruptor iluminado	interrupor iluminado
MARCA	Schneider Electric	Schneider Electric	Schneider Electric	Schneider Electric		Schneider Electric	Schneider Electric	Daier
DIÁMETRO DE MONTAJE	22 mm	22 mm	22 mm	22 mm		22 mm	22 mm	30 mm
CONTACTOS	1 NO + 1 NC	1 NO + 1 NC	2 NO	1 NO + 1 NC		2 NO	1 NO + 1 NC	3 NO
IMAGEN		 TELEMATEL >						
FUENTE	http://www.schneider-electric.us/en/product/XB4BW33B5/green-flush-complete-illum-pushbutton-%C3%B822-spring-return-1no%2B1nc	http://www.schneider-electric.com/en/product/XB4BA42/red-flush-complete-pushbutton-%C3%B822-spring-return-1nc-%22unmarked%22	http://www.schneider-electric.com/en/product/XB4BJ33/black-selector-switch-%C3%B822-3-position-stay-put-2no-600v	https://www.schneider-electric.es/es/search/XB7ES545P		https://www.schneider-electric.es/es/search/ZB4-BD5	http://www.schneider-electric.us/en/product/XB4BW73731G5/green-flush-red-projecting-illuminated-double-headed-pushbutton-%C3%B822-1no%2B1nc-120v	https://daier.com/productgroup/50419721/Rocker_Switch.html

4.4.1.2 Selección de luces piloto.

Los indicadores luminosos advierten sucesos o eventos que se estén realizando dentro de un proceso industrial, en la cabina de fosfatado se usara tanto luces piloto a 110 V AC (tabla 61) para mostrar en qué modo se encuentra trabajando la cabina, como luces piloto a 24 V DC (tabla 60) indicadores advertir alarmas o eventos.

Tabla 60

Descripción de las luces piloto a 24V DC

Tipo de indicador	Luz piloto verde / amarilla / roja
Marca	Schneider Electric
Diámetro de montaje	22 mm
Consumo de corriente	20 mA

Imagen



Fuente <http://www.schneider-electric.us/en/product/pilot-light-led-24v>

Tabla 61

Descripción de las luces piloto a 110V AC

Tipo de indicador	Luz piloto verde
Marca	Schneider Electric
Diámetro de montaje	22 mm

Imagen



Fuente <http://www.schneider-electric.us/en/product/XB7EV03GP/pilot-light---led---green---120v>

4.4.2 Selección de los elementos de control y potencia.

4.4.2.1 Selección de elementos de control.

Para los circuitos de control en la cabina existen un circuito de control a 110V AC y otro circuito a 24V DC, por lo tanto los elementos de control que se usará deben ser congruentes a dichas tensiones.

Dentro del circuito de control a 110V AC se necesita usar un tipo de relé que posea dos contactos (tabla 62) y que la alimentación a su bobina sea de la tensión de control.

Tabla 62

Descripción de los relés a 110V AC

Tipo de elemento	Relé de estado sólido (bobina a 110V AC)
Marca	Schneider Electric
Tipo de montaje	Riel Din
Contactos	2 NO
Imagen	



Fuente	http://www.schneider-electric.com/en/product/RSB2A080F7S/interface-plug-in-relay---zelio-rsb---2-c-o---120-v-ac---8-a---with-socket/
--------	---

Dentro del circuito de control a 24V DC es necesario usar un relé que posea un contacto (tabla 63), este relé se encargara de la activación de contactores para las bombas, y de las electroválvulas.

Tabla 63
Descripción de los relés a 24V DC

Tipo de elemento	Relé de estado sólido (bobina a 24 V DC)
Marca	Schneider Electric
Tipo de montaje	Riel Din
Contactos	1 NO
Consumo de corriente	7 mA
Imagen	
Fuente	http://www.schneider-electric.us/en/product/RSL1PVBU/slim-relay-mounted-on-screw-socket-with-led-and-protection-circuit,-24-v/?range=532-zelio-plug-in-relays&node=166344876-electromechanical-relay

4.4.2.2 Selección de elementos de potencia.

Los elementos de potencia que usaremos son contactores (tabla 64), tanto para controlar las bombas de los procesos, y controlar el flujo de corriente hacia las niquelinas de los tanques, además del uso de un variador de frecuencia para controlar al motor que mueve los coches hacia y desde la cabina.

Tabla 64**Descripción de los contactores para comandar las bombas y niquelinas**

Tipo de elemento	Contactor 3 polos 12 Amp (bobina a 110V AC)	Contactor 2 polos 30 Amp (bobina a 110V AC)
Marca	Schneider Electric	Eaton
Tipo de montaje	Riel Din	Riel Din
Contactos	1 NO + 1 NC	1 NO + 1 NC
Imagen		
Fuente	http://www.schneider-electric.us/en/product/LC1D12F7/tesys-d-contactor---3p%283-no%29---ac-3---%3C%3D-440-v-12-a---110-v-ac-coil	https://www.platt.com/platt-electric-supply/Definite-Purpose-Contactors-2-Pole-Contactors/Eaton/C25BNB230A/product.aspx?zpid=10197

Tabla 65**Descripción del variador de frecuencia para controlar el motor del sistema de cadenas de transmisión.**

Tipo de elemento	Variador de Frecuencia
Marca	Lenze
Tipo de montaje	Riel Din
Serie	ESMD751X2SFA
Input	(2L/PE) / 230-240V AC / 9 Amp / 50-60 Hz
Output	(3L/PE) / 0-230V AC / 1 Hp / 0-240HZ
Imagen	
Fuente	https://www.transdrive.co.uk/shop/products/ac-drives/lenze/smd/single-phase/ac-drive-lenze-0-37kw-1ph-esmd371x2sfa

4.4.3 Selección y dimensionamiento de los elementos de protección

4.4.3.1 Selección de elementos de protección.

Para la protección de los componentes eléctricos y electrónicos se hace imperioso el uso de disyuntores para cada etapa que consuma una cantidad considerable de corriente, para las etapas en que la corriente no sea excesiva, como elemento de protección se usara fusibles, en el caso de los contactores se usara relés térmicos para salvaguardar las bombas.

En la tabla 66 se muestran todos los elementos de protección su descripción general, indicando a que elemento o elementos protege de una sobrecarga eléctrica.

Tabla 66

Descripción de los elementos de protección.

TIPO DE ELEMENTO	Relé térmico 3 polos 12 Amp (bobina a 110V AC)	Disyuntor 2 polos 16 Amp	Disyuntor 1 polo 10 Amp	Disyuntor 1 polo 6 Amp	Disyuntor 2 polo 8 Amp
ELEMENTO QUE PROTEGE	bombas	bombas y niquelinas	bomba sumergible	circuitos de control	variador de frecuencia
MARCA	Schneider Electric	Siemens	Schneider Electric	Schneider Electric	Schneider Electric
CONTACTOS	1 NO + 1 NC	Riel Din	Riel Din	Riel Din	Riel Din
IMAGEN					
FUENTE	http://www.schneider-electric.us/en/product/LRD16/tesys-lrd-thermal-overload-relays---9...13-a---class-10a/	https://support.industry.siemens.com/cs/products/5sl6316-7/interruptor-automatico-6ka-3pol-c16?pid=538352&mlfb=5SL6316-7&mfnc=ps&lc=es-UY	http://www.schneider-electric.cl/documents/pdf/c60hdc/catalogueec60hdc.pdf	http://www.schneider-electric.cl/documents/pdf/c60hdc/catalogueec60hdc.pdf	http://www.schneider-electric.cl/documents/pdf/c60hdc/catalogueec60hdc.pdf

4.4.3.2 Dimensionamiento del disyuntor principal.

Para dimensionar el disyuntor principal y pueda proteger a todo el sistema eléctrico y electrónico en caso de una sobrecarga se calcula de la siguiente manera:

$$P_m = V * I$$

$$I = \frac{P_m}{V * \text{Cos } \varphi}$$

Donde:

P_m = es el valor de la potencia.

V = es el voltaje nominal de alimentación.

$\text{Cos } \varphi$ = factor de potencia de la carga (Valor estimado).

I = corriente esperada en los ramales de alimentación.

Tabla 67

Cálculo del consumo máximo combinado para dimensionar el disyuntor principal.

ELEMENTO	POTENCIA NOMINAL [W]	POTENCIA NOMINAL COMBINADA [W]	VOLTAJE DE TRABAJO [V]	FACTOR DE POTENCIA [COS Φ]	CORRIENTE CALCULADA [A]
BOMBA	2700	2700	220	0,8	15,34
ELECTROVÁLVULAS	55	330	110	0,8	3,75
BOMBA SUMERGIBLE	750	750	110	0,8	8,52
MOTOR DE LA CADENA	372	372	220	0,8	2,11
NIQUELINAS	1200	3600	220	0,8	20,45
LUCES DE LA CABINA	36	216	110	0,8	2,45
FUENTE 24 V	220	220	110	0,8	2,50
			CONSUMO TOTAL [A]		55,14

Una vez realizado el análisis, el disyuntor de tres polos más próximo al valor calculado es de 60 Amp, por lo tanto el disyuntor principal será de tres polos a 60 amperios.

Tabla 68***Descripción del disyuntor principal***

Tipo de elemento	Disyuntor 3 polo 60 Amp
Marca	Schneider Electric
Tipo de montaje	Riel Din
Imagen	
Fuente	http://www.schneider-electric.com.ar/documents/recursos/myce/capitulo01_1907_02.pdf

4.4.4 Planteamiento de la ubicación de los componentes eléctricos y electrónicos dentro del tablero de control.

El tablero de control por petición de la empresa se debía reutilizar para la automatización puesto que no podían desechar el antiguo tablero, por este motivo los elementos propuestos y seleccionados son lo suficientemente compactos para los elementos elegidos quepan en tablero.

Es así que la siguiente figura 78 (Anexo A2), se puede apreciar la distribución física de los componentes eléctricos y electrónicos dentro de la cabina de control

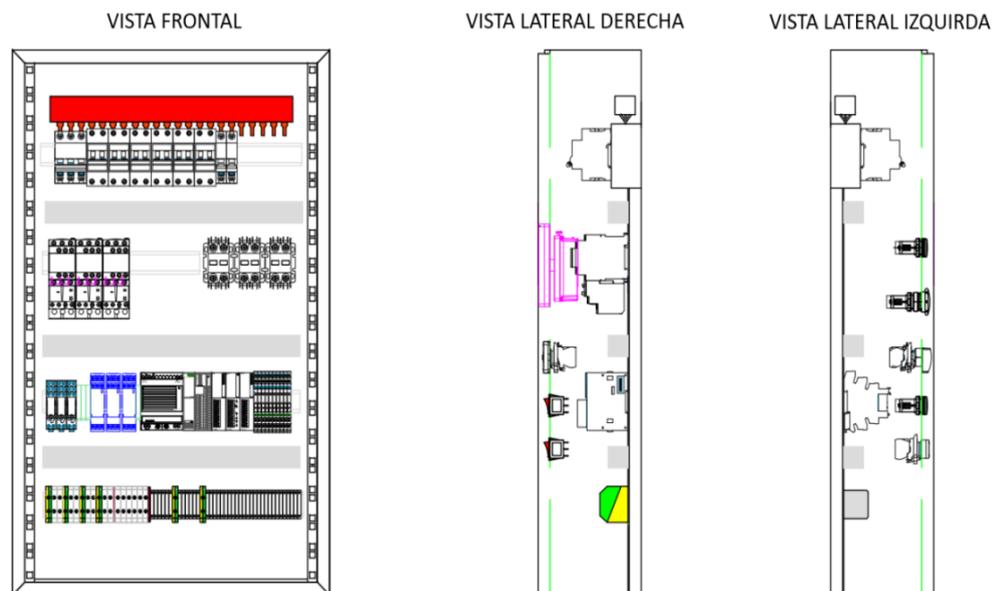


Figura 78. Esquema de la ubicación de los elementos eléctricos y electrónicos dentro del tablero de control.

4.4.5 Planteamiento de los planos eléctricos.

Dentro de los planos eléctricos se tiene cinco tipos de planos:

- Plano unifilar.- Plano donde se describe de forma muy general las conexiones de potencia (Anexo A2)
- Plano de potencia.- Plano donde se muestra a detalle la interconexión de los elementos de potencia (Anexo A2)
- Planos de alimentación.- Existen dos planos de alimentación uno para mostrar de forma detallada la conexión de todos los sistemas a 24V DC (Anexo A2), y otro donde se muestra la conexión de las sondas para los relés de nivel que van desde los tanques hacia el tablero de control (Anexo A2)
- Plano de control.- Plano donde se muestra la lógica de control la cual gobernara los elementos de potencia (Anexo A2)
- Plano de entradas y salidas.- Existen dos planos, el uno donde se detallan las entradas que se dirigen al PLC (Anexo A2) y otro plano el cual se observa las conexiones que salen del PLC hacia actuadores o pre-actuadores (Anexo A2)

4.5 Diseño electrónico

4.5.1 Selección de sensores y transductores.

4.5.1.1 Selección del transmisor de presión.

El transmisor de presión es un transductor que permite poder conocer la presión de trabajo de un determinado sistema hidráulico, el transductor elegido para esta tarea se muestra a continuación en la tabla 69.

Tabla 69

Descripción del transmisor de presión.

Elemento	Transmisor de presión
Marca	Safe Gauge
Material	Acero inoxidable
Alimentación	8-30 V DC
Señal	4 – 20 mA
Rango	0 – 100 PSI
Conexión al proceso	Rosca ¼ NPT
Imagen	

4.5.1.2 Selección del Presostato.

El Presostato permite saber un valor único presión del sistema hidráulico, el cual nos permitirá saber el momento en el cual será necesario realizar mantenimiento a filtros y boquillas del sistema hidráulico, el Presostato elegido para esta tarea se muestra a continuación en la tabla 70.

Tabla 70***Descripción del Presostato.***

Elemento	Presostato
Marca	Safe Gauge
Material	Bronce y acero
contactos	1 NO
Rango	0 – 50 PSI
Conexión al proceso	Rosca ¼ NPT
Imagen	

**4.5.1.3 Selección de interruptor de nivel.**

El interruptor de nivel horizontal de tipo flotador (tabla 71) es un sensor que permite saber un nivel de un fluido en un contenedor, contiene un imán permanente lo cual permite que la conmutación se realice sin desgaste y sin el uso de energía nacional.

Tabla 71***Descripción del interruptor de nivel flotador.***

Elemento	Interruptor de nivel tipo flotador
Marca	Gauge
Material	Acero inoxidable
Contacto	1 NO
Longitud del flotador	125 mm
Conexión al proceso	Rosca 1/2 NPT
Imagen	



4.5.1.4 Selección del final de carrera.

El interruptor mecánico final de carrera, es un sensor que permite conocer el recorrido o posición de un elemento móvil, el final de carrera elegido puede ajustarse tanto el largo del brazo de palanca el cual contiene un rodillo, como el ángulo del brazo, en la tabla 72 se muestra las características del fin de carrera.

Tabla 72

Descripción del fin de carrera.

Elemento	Interruptor mecánico final de carrera
Marca	Camsco
Material	Aluminio
Contactos	1 NO + 1 NC
Longitud del brazo	110 mm
Imagen	

4.5.2 Selección del Programador lógico computacional (PLC).

Los criterios para la selección del PLC ya fueron planteados en el capítulo anterior, por tal motivo y debido a los requerimientos del sistema es necesario un PLC y adicionalmente adicionarle a dicho PLC módulos para que cumpla con los requerimientos.

Es así que se optó por el uso de un PLC Schneider Electric de la serie Twido y se le adiciono tres módulos uno de entradas análogas, otro de entradas digitales y un último módulo de salidas digitales es así que en la tabla 73 se detalla las características del PLC adicionado los módulos antes mencionados.

Tabla 73
Características del PLC con sus módulos.

Elementos	PLC Twido / módulo de entradas analógicas / módulo de entradas digitales / módulo de salidas digitales
Marca	Schneider Electric
Memoria	32 KB (3000 instrucciones)
Velocidad del procesador	5000 Hz 16 bits / 20000 Hz 32 bits
Entradas	20 digitales / 2 analógicas
Salidas	16 digitales
Protocolo de comunicación	Modbus RS – 485 (maestro – esclavo)
alimentación	24 V DC
Potencia	19 W
Imagen	

4.5.3 Selección de la Interfaz Humano – Maquina (HMI).

Se seleccionó un HMI magelis Schneider Electric de la serie STU, la serie elegida es la más común el mercado nacional tanto por su versatilidad como compatibilidad con varios PLC de diversas marcas. En la tabla 74 se detallara las características del HMI.

Tabla 74
Características del HMI.

Elementos	HMI Magelis STU 855
Marca	Schneider Electric
Tamaño de pantalla	5.7 pulgadas LCD
Resolución de pantalla	320 x 240
Puertos	Ethernet / serial (RS-232 o RS-485) / USB 2.0
Diámetro de montaje	22 mm
Alimentación	24 V DC
Potencia	6.8 W
Imagen	

4.5.3.1 Conexión entre el PLC y el HMI.

La conexión entre el PLC y el terminal HMI se lo realiza por medio de un cable serial tipo Modbus RS-485, el protocolo Modbus está basado en una arquitectura maestro-esclavo bidireccional, el dispositivo maestro puede hacer peticiones iniciando la transmisión, mientras los dispositivos esclavos responden a dicha petición suministrando al maestro el dato solicitado o a su vez realizando una acción solicitada en la petición del maestro.

En este caso en concreto el maestro es el terminal HMI Magelis y el esclavo el PLC Twido con sus módulos, como se muestra en la figura 79.

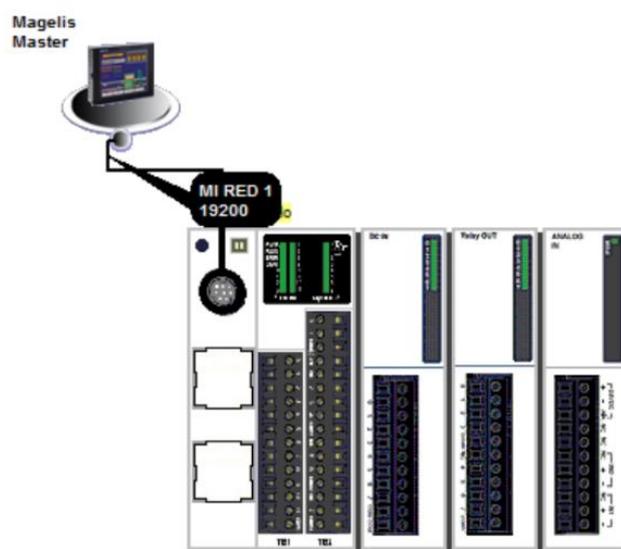


Figura 79. Esquema de conexión entre PLC y HMI.

4.5.3.2 Conexión entre el HMI y la PC.

La conexión entre el PC y el terminal HMI se lo realiza por medio de un cable Ethernet, debe asignarse una IP estática tanto al HMI como a la PC, de esta manera se crea una red en la cual se puede compartir los datos, en nuestro caso enviar la programación y diseño hacia el HMI. El diagrama de la red se muestra a continuación en la figura 80.

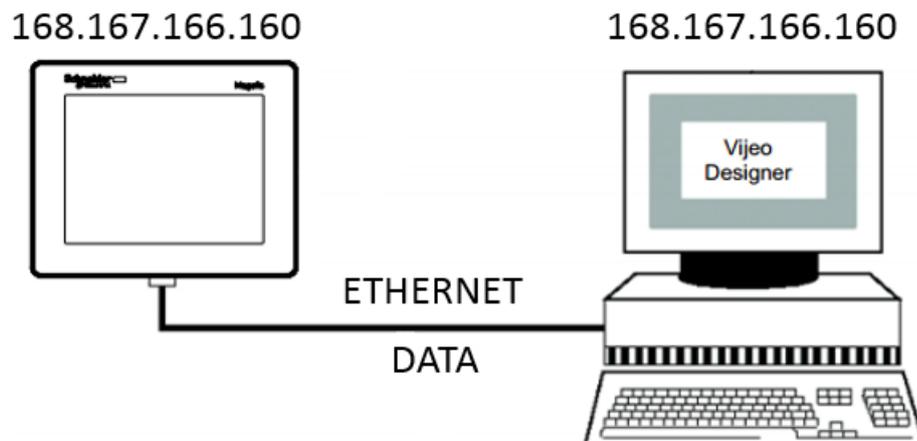


Figura 80. Esquema de conexión entre PC y HMI.

4.5.4 Estructura de las pantallas.

La función principal de las pantallas e interfaces gráficas es la de comunicar de la manera más amigable al operador con el equipo, en las diversas pantallas el operador puede seleccionar el modo de operación, ingresar el tiempo de los procesos y los datos geométricos de las piezas metálicas, además puede visualizar alarmas y variables como la presión del sistema o el pH de la solución de fosfatado en tiempo real.

La estructura de las pantallas se muestra en la figura 81 a continuación.

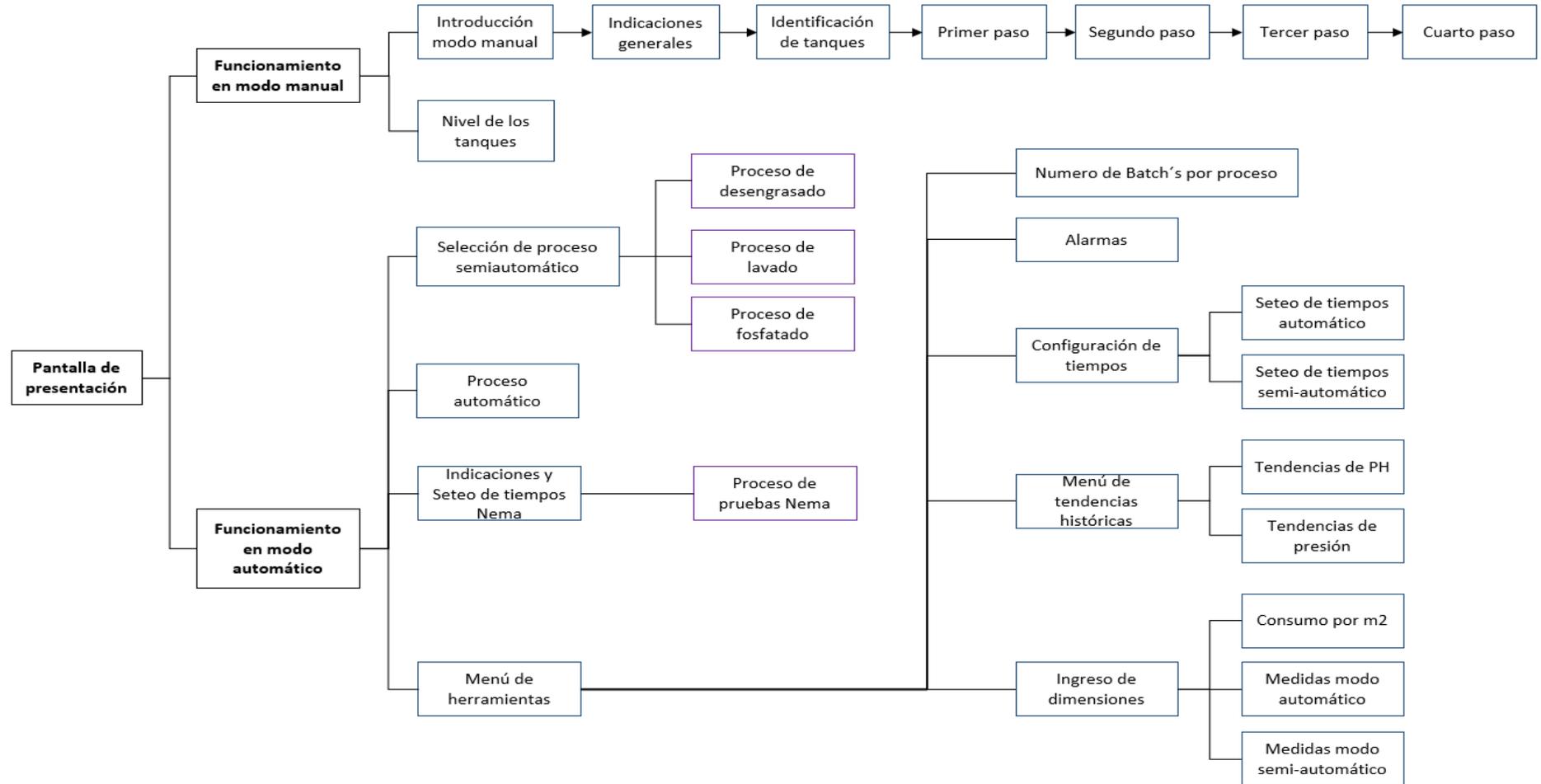


Figura 81. Estructura de las pantallas del HMI.

4.5.5 Dimensionamiento de la fuente de 24V DC.

Para dimensionar la fuente que alimentara los circuitos de 24V DC se calculara el consumo de todos aquellos elementos que funciones a dicho voltaje para poder seleccionar la fuente necesaria para la alimentación de los mismos.

$$P = V * I$$

$$I = \frac{P}{V}$$

Donde:

P = es el valor de la potencia.

V = es el voltaje nominal de alimentación en este caso siempre 24V.

I = corriente de consumo por elemento.

Tabla 75

Cálculo del consumo máximo a 24V DC para dimensionar la fuente de poder.

ELEMENTO	POTENCIA NOMINAL	POTENCIA NOMINAL COMBINADA	VOLTAJE DE TRABAJO	CORRIENTE CALCULADA
	[W]	[W]	[V]	[A]
Luces piloto	0,168	1,008	24	0,04
relés	0,48	4,32	24	0,18
PLC	19	19	24	0,79
HMI	6,8	6,8	24	0,28
PH-metro	3	3	24	0,13
CONSUMO TOTAL [A]				1,42

Una vez realizado el análisis, la corriente máxima de consumo es de 1.42 Amp, por lo tanto la fuente de 24V DC seleccionada será de 1.5 Amp, las características de la fuente seleccionada se verá en la siguiente tabla.

Tabla 76***Descripción de la fuente de poder 24V DC.***

Tipo de elemento	Fuente de 24V DC
------------------	-------------------------

Corriente	1.5 Amp
-----------	---------

Marca	SP Super Power
-------	----------------

Tipo de montaje	Riel Din
-----------------	----------

Imagen	
--------	--



Fuente	
--------	--

	http://www.zonaindustrial.cl/product/dr-30-24
--	---

CAPÍTULO 5

PRUEBAS Y RESULTADOS

El presente capítulo detalla la realización de las pruebas realizadas de la cabina de fosfatado tanto de piezas de metal ya procesadas, como la comprobación del correcto funcionamiento del software de control, la correcta calibración y linealización de sensores, la comunicación entre equipos para la adquisición y visualización de datos.

5.1 Pruebas para la calibración y linealización de transmisor de presión.

Para poder linealizar el transmisor de presión es necesario obtener los datos de lectura del PLC, comparándolos con los valores de presión del sistema hidráulico, se realiza varias mediciones obteniendo el valor promedio de las mediciones, para posteriormente poder obtener mediante una gráfica, la ecuación característica del sensor.

En la figura 82 se muestra el circuito hidráulico que se usó para variar la presión en las tuberías, de esta manera se podía ir obteniendo diversos valores en el PLC en función de la presión de las tuberías.

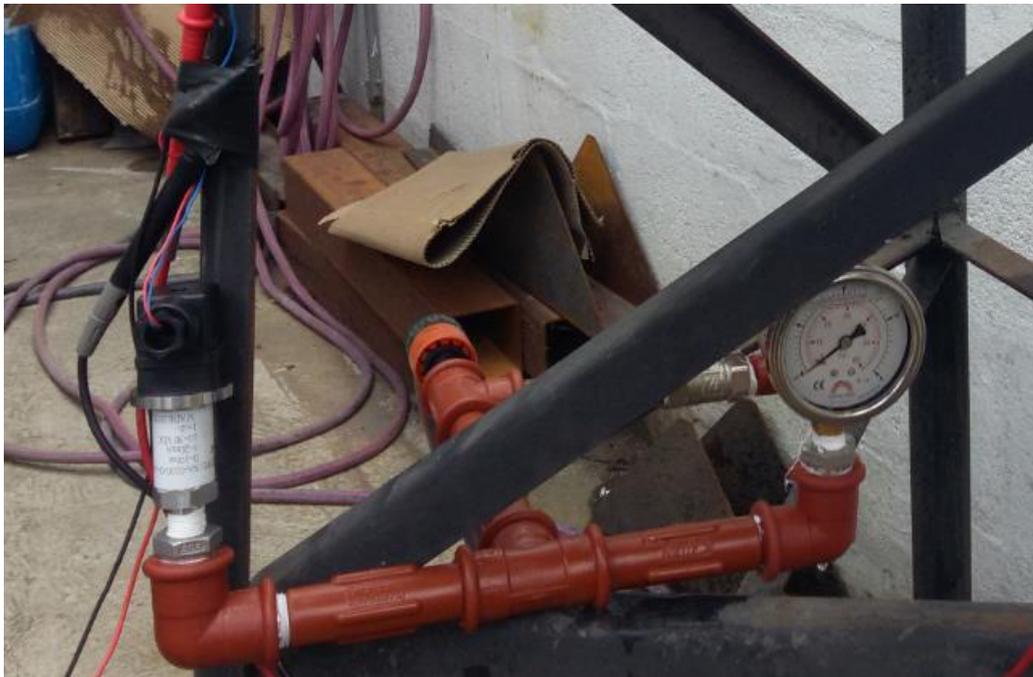


Figura 82. Pruebas para el transmisor de presión.

En la tabla 77 se muestra los valores que recibe el PLC del transmisor de presión, comparándolos con la presión del sistema.

Tabla 77
Datos recibidos por el PLC del Transmisor de presión.

PRESIÓN	1ER DATO	2DO DATO0	3ER DATO	PROMEDIO DATOS
[PSI]	[PLC]	[PLC]	[PLC]	[PLC]
0	0	0	0	0,00
2,5	9	8	8	8,33
5	18	17	17	17,33
7,5	33	30	32	31,67
10	46	45	44	45,00
12	56	57	59	57,33
14	70	72	72	71,33
16	84	85	85	84,67
18	98	100	100	99,33
20	115	116	113	114,67
22	124	125	125	124,67
24	140	135	140	138,33
26	154	152	155	153,67
28	164	165	163	164,00
30	180	182	179	180,33

Una vez obtenido los datos promedios procedemos a linealizar el sensor mediante la obtención de la ecuación característica del sensor como se puede apreciar en la figura 83.

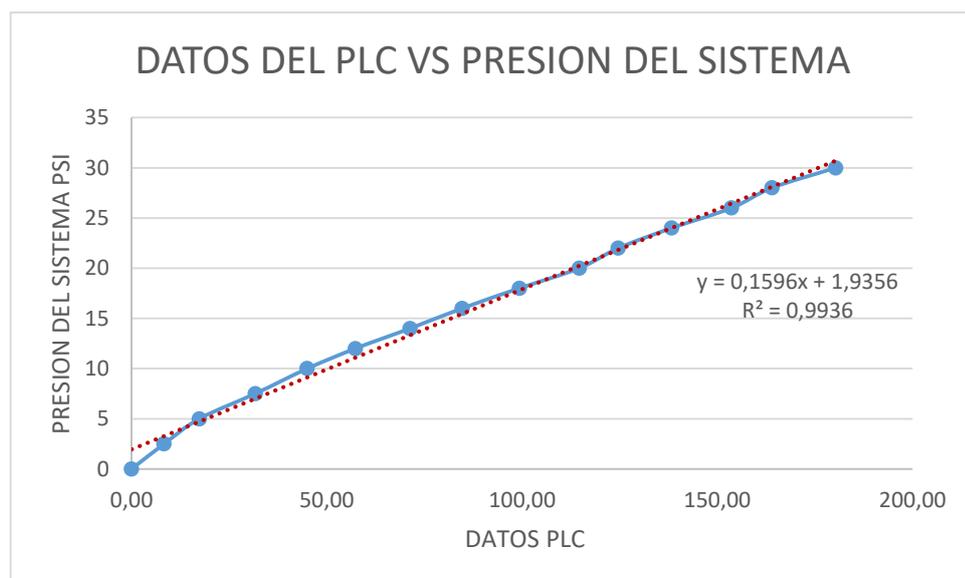


Figura 83. Linealización del transmisor de presión.

Por ultimo una vez obtenida la ecuación característica del transmisor se procede a programar dicha ecuación en el PLC y se comprueba que el valor de la presión del sistema marcado en el manómetro general sea igual o muy aproximado al valor que aparece en el HMI. La figura 84 muestra los resultados de la linealización y calibración del transmisor de presión para poder observar el valor de la presión del sistema hidráulico mostrado en una línea de tendencia de una ventana del HMI.

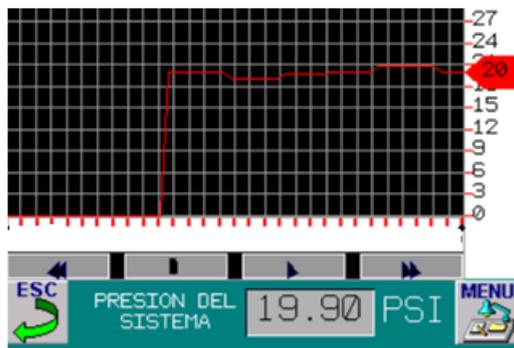


Figura 84. Visualización de presión del sistema en el HMI.

5.2 Pruebas para la calibración y linealización de PH-metro.

Para poder linealizar el transmisor de pH es necesario obtener los datos de lectura del PLC, comparándolos con valores de pH de diversas sustancias que van desde un nivel muy ácido a alcalino, teniendo como referencia tres soluciones buffer cuyo valor de pH es conocido y las otras con un valor de pH aproximado medido con un pH-metro de mano.

En la figura 85 se muestra como en diferentes sustancias se iba probando el valor de pH de la sustancia y observando el valor que recibía el PLC para poder posteriormente hacer la tabulación de datos.

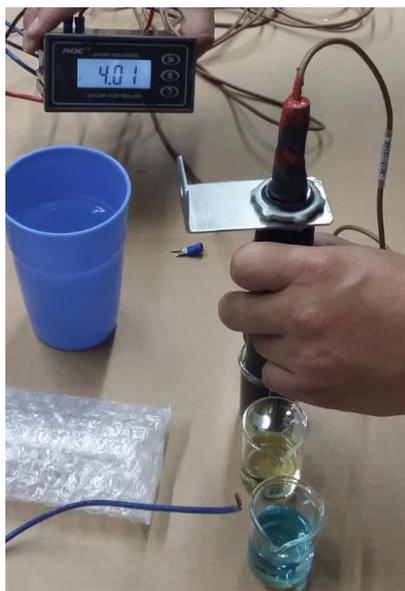


Figura 85. Pruebas para el transmisor de pH.

En la tabla 78 se muestra los valores que recibe el PLC del transmisor de pH, comparándolos con diversas soluciones preparadas de tal manera para que vayan en un rango de muy ácido a muy alcalino, el pH de dichas soluciones se verifico con un pH-metro de mano como se muestra en la figura 86.



Figura 86. Verificación del pH de diferentes sustancias.

Tabla 78

Datos recibidos por el PLC del Transmisor de presión

pH DE SUSTANCIAS	DATOS PROMEDIOS DEL PLC
1,00	34,50
1,04	35,50
1,66	85,00
1,74	89,90
2,81	170,00
2,83	171,00

 Continua

4,09	265,50
4,37	282,50
4,40	286,50
5,11	338,50
5,60	370,00
6,00	411,00
7,05	486,50
7,05	485,50
8,02	554,50
8,04	559,00
8,35	575,50
8,35	581,50
9,12	637,50
9,15	639,50
9,74	682,50
9,78	688,00
10,01	705,5
10,06	705,50
11,53	816,50
11,56	820,50

Una vez obtenido los datos procedemos a linealizar el sensor mediante la obtención de la ecuación característica del sensor como se puede apreciar en la figura 87.

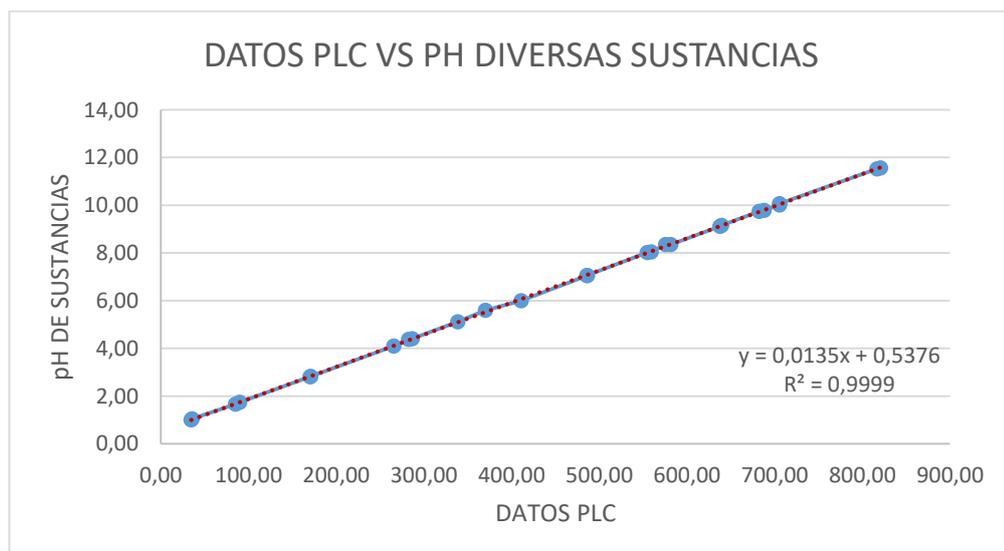


Figura 87. Linealización del transmisor de pH.

Por último una vez obtenida la ecuación característica del transmisor de pH se procede a programarla en el PLC y se comprueba que el valor de pH que aparece en el

display del transmisor con la de la solución buffer usada comparándolo también con el valor que aparece en el HMI. La figura 88 muestra el resultado de la linealización y calibración del transmisor de pH del tanque de fosfatado mostrado en una línea de tendencia de una ventana del HMI.

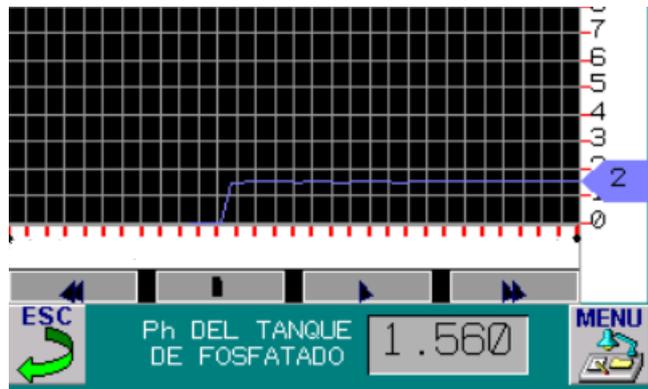


Figura 88. Visualización de pH del sistema en el HMI.

5.3 Pruebas para determinar la cantidad de fosfato de zinc por metro cuadrado.

El fosfato de zinc que se deposita por el método de rocío o por inmersión método manual, en las piezas metálicas durante el proceso de fosfatado, se mide por la cantidad de gramos depositados por metro cuadrado, para ello se realizó una prueba en la cual se pesan unas placas antes de procesar, y después procesar.

En la medición del peso de las placas se tendrán dos factores el primero la solución usada en el método por rocío que se implementó en la cabina, y el otro con diferentes proporciones del método manual que se hacía en la empresa AICO de esta manera se puede determinar la cantidad de fosfato de zinc que se deposita en las piezas a medir, esto influye directamente en la calidad de la pintura posterior puesto que el proceso de fosfatado evita la corrosión de las piezas metálicas y aumenta a adhesión de la pintura electrostática a las piezas metálicas.

En la tabla 79 se muestra un resumen de los valores de las mediciones realizadas en un laboratorio (anexo A3) con una balanza que posee una resolución de 0.01gr.

Tabla 79
Análisis de los datos proporcionados por laboratorio del peso de piezas fosfatadas.

Producto: Fosfatisante

método: rocío

N°	Probetas de acero laminado en frío (espesor 1.4 mm)							Deposición de fosfato de Zinc	
	Patrón [gr]	Dimensiones [cm]	Dimensiones [cm]	Peso [gr]	Área Total [m2]	Temperatura [°C]	Tiempo [min]	Concentr 1:10 [gr/m2]	
1	107,23	10	10	107,36	0,0200	22	4	6,50	
2	107,23	10	10	107,39	0,0200	22	4	8,00	
3	240,17	15	15	240,39	0,0450	22	4	4,89	
4	240,17	15	15	240,56	0,0450	22	4	8,67	

Producto: FOSFAZINC

método: manual

N°	Probetas de acero laminado en frío (espesor 1.4 mm)							Deposición de fosfato de Zinc		
	Patrón [gr]	Dimensiones [cm]	Dimensiones [cm]	Peso [gr]	Area Total [m2]	Temperatura [°C]	Tiempo [min]	Concentr 1:4 [gr/m2]	Concentr 1:6 [gr/m2]	Concentr 1:8 [gr/m2]
1	107,23	10	10	107,78	0,0200	22	4	27,5		
2	107,23	10	10	107,50	0,0200	22	4		13,5	
3	107,23	10	10	107,39	0,0200	22	4			8
4	240,17	15	15	240,93	0,0450	22	4	16,89		
5	240,17	15	15	240,67	0,0450	22	4		11,11	
6	240,17	15	15	240,46	0,0450	22	4			6,44

Según un seminario de fosfatado de una publicación de la empresa Química True (Zajac, 2015) se determina que la cantidad de gramos por metro cuadrado para el proceso de fosfatado, por uso de fosfato de zinc se encuentra en un rango de 1.5 a 30 gr por metro cuadrado.

Haciendo un análisis entre el método tradicional antes usado y el nuevo método implementado se puede concluir que la cantidad de fosfato de zinc que se deposita por metro cuadrado se encuentra dentro del rango establecido.

5.4 Pruebas para determinar la adherencia, doblado y espesor del acabado de pintura.

Esta prueba para determinar factores que afectan al acabado de la pintura después de haberse realizado el proceso de desengrasado, lavado y fosfatado. Esta prueba se realizó bajo las normas de la empresa, siguiendo los lineamientos propios.

Ver anexo A3.

CAPITULO 6

ESTUDIO FINANCIERO

El estudio financiero, analiza desde el punto de vista contable, financiero y económico, la capacidad de una empresa para ser sustentable, viable y rentable en el tiempo. Es una parte fundamental de la evaluación de un proyecto ya que permite analizar los resultados de las actividades a emprender en el mismo, sea una organización nueva o en marcha (ZONA ECONOMICA, 2017).

Para demostrar la viabilidad del presente proyecto se realizará una comparación de lo que AICO gasta en producir un tablero manualmente vs el costo de producción automatizado.

6.1 Presupuesto de costos, gastos e ingresos del proyecto

6.1.1 Presupuesto de Costos y Gastos

Se denomina a todos los importes que la empresa debe incurrir para llevar a cabo su actividad, los mismos que se incorporan a la economía y ese es el aporte de la unidad económica al producto nacional. Los recursos que se incluyen en este concepto son las materias primas, productos intermedios, materiales, suministros, combustibles etc.

Se van a considerar en cada uno de los casos, las depreciaciones correspondientes de las maquinarias y equipos que se utilizarán.

6.1.1.1 Costos de Materia Prima

En el caso de este proyecto se evaluará solamente el beneficio del proceso automatizado, es por ello que se contabilizarán los gastos una vez que ya se genere el proceso de lavado y fosfatado.

6.1.1.2 Costo de la mano de obra directa

Para la implementación del nuevo proceso se va a requerir solamente de un operario, el mismo que estará a cargo de todo el programa de limpieza. Al ser un proceso automatizado, es necesario de una persona que programe cada jornada la limpieza y supervise el buen funcionamiento de la maquinaria.

El salario que actualmente percibe un obrero en AICO asciende a 487.91 dólares americanos, más los beneficios de ley ecuatorianos.

Tabla 80.
Análisis salarial mano de obra directa

DETALLE	N. EMPLEADO S	SUEL DO ANUA L	DÉCI MO TERC ER	DÉCI MO CUA RTO	APOR TE PATR ONAL	FOND OS DE RESE RVA	VACA CIONE S	TOTAL POR PERSO NA AÑO 1	TOTAL AÑO 1
<u>Sueldos y Salarios - Operaciones</u>									
operador	1	5.854,9	\$	\$	\$	\$	\$	\$	7.429,20
	2		487,91	375,00	711,37	487,91	243,96	7.429,20	
								0	
TOTAL SUELDOS Y SALARIOS									<u>7.429,20</u>

6.1.1.3 Gastos Indirectos de Fabricación

Los gastos indirectos de fabricación comprenden la sumatoria de los gastos incurridos de manera indirecta en la producción, su principal característica es que no se pueden determinar de manera exacta en cuánto aportan en la producción, por lo que se incorporan a la fase de producción de manera global en los costos. Dentro de estos conceptos tenemos materiales indirectos, insumos, mano de obra indirecta, y otros costos, de igual manera están incluidas las depreciaciones de los activos fijos.

Tabla 81
Depreciación de activos fijos

DETALLE	VALOR	VIDA ÚTIL CONTABLE	% DEPRECIACION	VALOR RESIDUAL 10%	VALOR A DEPRECIAR	(ANUAL) GASTO DEPRECIACIÓN	VALOR DE RECUPERA CIÓN (AÑO 5)
Inversiones Tangibles - Activos Fijos						<u>452,74</u>	
cabina de fosfatado	10.060,92	20	5,00%	1.006,09	9.054,83	452,74	1.006,09
<u>TOTAL</u> <u>DEPRECIACI</u> <u>ONES Y</u> <u>AMORTIZACI</u> <u>ONES</u>	-	-	-	-	-	<u><u>452,74</u></u>	<u><u>1.006,09</u></u>

6.1.1.4 Costos de etapas en la limpieza

En la actualidad este proceso se lo realiza de manera manual, elevando los tiempos de espera de la materia prima con el tratamiento adecuado, hasta ingresar en la etapa de productos en proceso.

Tabla 82
Costos de la etapa de lavado y enjuague

ETAPA DE LAVADO Y ENJUAGUE			
INSUMOS	CANTIDAD	VALOR UNITARIO DE INSUMOS	VALOR ANUAL DE INSUMOS
luz	2880	0,12 kw/h	345,6
agua	720000,00	0,00016/lt	115,2
químicos de lavado	50,00	10,94/lt	547,00
mano de obra	1 operario	\$ 487,91 mensual	7429,20
otros insumos	insumos varios	105,21 mensual	
			1.262,52
TOTAL ANUAL			9699,52

6.1.1.5 Proyección de los costos de lavado y enjuague

Para realizar la proyección de los costos se tomó cada una de las fases del proceso y el incremento anual de los costos está determinado por la inflación, misma que se situará en promedio en el 3,6 % anual según datos obtenidos del Banco Central del Ecuador (Banco Central del Ecuador, 2015).

Tabla 83
Proyección de los costos de lavado y enjuague

DETALLES	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
<u>Costos Indirectos de Mercadería</u>					
QUIMICOS DE LAVADO	547,00	565,38	584,38	604,01	624,31
AGUA	115,20	119,07	123,07	127,21	131,48
LUZ	345,60	357,21	369,21	381,62	394,44
OTROS INSUMOS	1.262,52	1.304,94	1.348,79	1.394,11	1.440,95
Operador	7.429,20	7.678,82	7.936,83	8.203,51	8.479,15
TOTAL COSTOS INDIRECTOS DE Mercadería	<u>9.699,52</u>	<u>10.025,43</u>	<u>10.362,28</u>	<u>10.710,45</u>	<u>11.070,32</u>
Imprevistos	97,00	100,25	103,62	107,10	110,70
TOTAL COSTOS Y GASTOS	<u>9.796,52</u>	<u>10.125,68</u>	<u>10.465,90</u>	<u>10.817,56</u>	<u>11.181,03</u>

6.1.2 Ingresos del proyecto

Para determinar los ingresos que se desprende del proyecto debemos tomar en cuenta que en sí mismo este proyecto no arrojará ingresos como tal, en su lugar hemos determinado las formas indirectas de ingresos o reducción en los costos, los mismos que nos servirán de guía para realizar la evaluación financiera.

Los dos elementos que tomaremos para calcular el beneficio o ingreso real del proyecto son:

- Reducción de costos por implementación de nuevo proceso.
- Incremento neto de producción por cambio de proceso de limpieza

6.1.2.1 Ingresos por reducción de Costos

Para obtener el valor que se ahorra en el proceso de limpieza manual se enlistará todos los elementos que se utilizan.

Tabla 84

Costos del proceso manual

ETAPA DE LAVADO Y ENJUAGUE			
INSUMOS	CANTIDAD	VALOR UNITARIO DE INSUMOS	VALOR ANUAL DE INSUMOS
luz	2880	0,12 kw/h	345,6
agua	720000,00	0,00016/lt	115,2
químicos de lavado	50,00	10,94/lt	547,00
mano de obra	1 operario	\$ 487,91 mensual	7429,20
otros insumos	insumos varios	105,21 mensual	
			1.262,52
	TOTAL ANUAL		9699,52

Tabla 85

Otros insumos

OTROS INSUMOS				
DESCRIPCION	CANTIDAD ANUAL	UNIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL EN DOLARES
guantes de látex	96	unidad	4,78	458,88
paños de limpieza	300	unidad	1,44	432
maskarillas	276	unidad	0,31	85,56
mandiles de cuero	96	unidad	2,98	286,08
			TOTAL	1262,52

Al implementar el nuevo proceso se prescindirá de los elementos utilizados para la limpieza de láminas metálicas de manera manual. El proceso automatizado sustituirá por completo al anterior, por lo que ese ahorro se transforma en ingresos para el proyecto, es decir se ahorrarán 1262,52 dólares anuales.

La proyección de los costos para los años posteriores está basada de acuerdo a la inflación estimada, que según el Banco Central será del 3,6% en promedio para los próximos años.

A partir del 2018, el nivel de producción requerirá que se incremente una persona adicional para realizar la limpieza manual, que permita cumplir con el nivel de unidades que la fase de producción precisa procesar.

6.1.2.2 Ingresos por incremento en la producción

Para tomar un monto de ingresos por incremento en la producción debemos tomar el incremento neto al incorporar el nuevo proceso automatizado. Para lograr este incremento neto, es necesario separar el incremento normal anual y el incremento que ocasiona el proceso.

6.1.3 Tiempo utilizado para la limpieza manual

Para calcular este tiempo se tomará como referencia un tablero NEMA 3R (E-JP-N-3R3), que es uno de los modelos más solicitados en AICO.



Figura 89 Tablero NEMA 3R (E-JP-N-3R3)

Fuente: (Aico Engineering, 2016)

Para la elaboración de uno de estos modelos, el departamento de lavado y fosfatado se tarda dos días en entregarlo listo para proceder con el proceso de pintura.

Tabla 86

Tiempo en el proceso manual de lavado y enjuague

TIEMPO PROCESO DE LAVADO Y ENJUAGUE

ACTIVIDAD	TIEMPO EN MINUTOS
lavado de piezas (10 piezas aproximadamente)	480,00
colgado de piezas	20,00
secado de piezas	300
total empleado en minutos	800,00
tiempo diario manual en horas	13,33

Una vez realizadas las pruebas del proceso automatizado se determinaron los siguientes tiempos:

Tabla 87

Tiempo en el proceso automático de lavado y enjuague

TIEMPO PROCESO ATOMATICO DE LAVADO Y ENJUAGUE

ACTIVIDAD	TIEMPO EN MINUTOS
lavado de piezas (10 piezas aproximadamente)	12,00
colgado de piezas	10,00
secado de piezas	8
total empleado en minutos	30,00
tiempo diario manual en horas	0,50

Como se puede observar, con el cambio del proceso manual al proceso automatizado, se puede reducir el tiempo de limpieza hasta en un 96%, incrementando su nivel de producción al porcentaje mencionado anteriormente. Es decir se puede cubrir la demanda de AICO de 166 unidades de su modelo más vendido en 10,38 días, cuando antes se ocupaban 276 días para cumplir con este requerimiento.

El pronóstico para el año 2017 prevé vender 166 tableros, con las actuales técnicas de limpieza y tratamiento de las láminas es posible cumplir con esta proyección, sin embargo para satisfacerla la empresa debe sacrificar otras ventas menores por lo que se perderá la oportunidad de seguir obteniendo participación en el mercado.

Cambiando al proceso automático es posible cumplir con la demanda de 166 tableros sin sacrificar otras ventas, e incrementar el nivel productivo en un 96%.

Considerando la actual demanda y el tiempo de ensamblado del proceso posterior que tienen estos tableros, no se aplicará este incremento, sin embargo se realizará un cálculo basado en una proyección de venta con un incremento del 30%.

En la siguiente tabla se resume la cantidad del incremento en términos netos tanto en unidades físicas como monetarias para incorporar al análisis de los ingresos del proyecto.

Para calcular los ingresos por el incremento de la producción se lo hará asignando la utilidad promedio que genera la venta de un tablero tomando como precio referencia el costo de producción solamente del proceso de enjuague, lavado y fosfatado ya que después de este proceso el tablero pasa por procesos adicionales de pintura, ensamblaje de componentes eléctricos y electrónicos, que son independientes al proceso de fosfatado.

Tabla 88
Incremento neto del proceso automatizado

Descripción	Cantidad
precio en dólares	142,4
utilidad promedio	25%
utilidad neta en dólares	35,6
producción actual en unidades	166
utilidad neta actual en dólares	5909,6
incremento en unidades	332
ingresos por incremento en dólares	11819,2

Tabla 89
Resumen de ingresos generados por implementación del proyecto

DETALLE	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
<u>INGRESOS POR INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN</u>					
UNIDADES	232,40	302,12	392,76	510,58	663,75
UTILIDAD NETA	35,60	37,15	38,77	40,46	42,23
TOTAL INGRESOS POR INCREMENTO	8.273,44	11.224,41	15.227,93	20.659,43	28.028,24
<u>INGRESOS POR REDUCCION DE COSTOS</u>					
OTROS INSUMOS	1.262,52	1.307,97	1.355,06	1.403,84	1.454,38
<u>INGRESOS TOTALES</u>	<u>9.535,96</u>	<u>12.532,38</u>	<u>16.582,99</u>	<u>22.063,27</u>	<u>29.482,62</u>

6.2 Inversión

Es un término económico que hace referencia a la colocación de capital en una operación, proyecto o iniciativa empresarial con el fin de recuperarlo con intereses en caso de que el mismo genere ganancias (Definición ABC, 2017).

6.2.1 Activos fijos

Es un bien de una empresa, ya sea tangible o intangible, que no puede convertirse en líquido a corto plazo y que normalmente son necesarios para el funcionamiento de la empresa y no se destinan a la venta (Glosario Contable, 2017).

A continuación se describen los activos fijos necesarios para la implementación de la cabina automatizada para lavado, enjuague y fosfatado.

Tabla 90
Activos fijos

INVERSIONES	
MAQUINARIA Y EQUIPO	COSTO
cabina de fosfatado	9.961,31

6.2.2 Depreciación

La depreciación representa el uso y el consumo de los activos fijos a través del tiempo.

Tabla 91
Depreciaciones

DETALLE	VALOR	VIDA ÚTIL CONTABLE	% DEPRECIACION	VALOR RESIDUAL 10%	VALOR A DEPRECIAR	(ANUAL) GASTO DEPRECIACIÓN	VALOR DE RECUPERACIÓN (AÑO 5)
Inversiones Tangibles - Activos Fijos						452,74	
cabina de fosfatado	10.060,92	20	5,00%	1.006,09	9.054,83	452,74	1.006,09
<u>TOTAL DEPRECIACIONES Y AMORTIZACIONES</u>	-	-	-	-	-	452,74	1.006,09

Fuente: AICO, 2016

6.2.3 Financiamiento

El presente proyecto se financió con recursos propios de AICO

6.3 Estado de Resultados

El Estado de Resultados muestra el nivel de actividad de la empresa, donde se puede evidenciar si la misma ha tenido excedentes al término del período fiscal. En el caso de nuestro proyecto, la determinación de nuestros ingresos y gastos nos permitirá tener una visión más cercana para realizar los cálculos de la factibilidad de la implementación de nuestro proceso. Ya que en sí mismo dicho proceso no generará rentabilidad de manera independiente, los resultados de los estados financieros nos facilitarán conocer cuál es el impacto en AICO.

Tabla 92
Proyección del estado de resultados

DETALLE	2017	2018	2019	2020	2021
Ventas (reducción de costos y aumento de producción)	9535,96	12532,38	16582,99	22063,27	29482,62
(-) Costos y gastos	8521,37	8807,69	9103,63	9409,51	9725,67
(=) Utilidad Bruta en Ventas	1014,59	3724,69	7479,36	12653,76	19756,95
(-) Gastos Administrativos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(-) Gastos de Ventas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(-) Depreciaciones y Amortizaciones	452,74	452,74	452,74	452,74	452,74
(=) Utilidad Operacional	561,85	3271,95	7026,62	12201,02	19304,20
(-) Gasto Financiero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(=) Utilidad antes de Impuestos	561,85	3271,95	7026,62	12201,02	19304,20
(-) Participaciones trabajadores	84,28	490,79	1053,99	1830,15	2895,63
(=) Utilidad antes de Impuestos	477,57	2781,16	5972,63	10370,87	16408,57
(-) Impuesto a la Renta	105,07	611,85	1313,98	2281,59	3609,89
(=) Utilidad/Pérdida del Ejercicio	<u>372,50</u>	<u>2169,30</u>	<u>4658,65</u>	<u>8089,28</u>	<u>12798,69</u>

6.3.1 Flujo de Caja Projectado

Los flujos de caja son las variaciones de entradas y salidas de caja o efectivo, en un período dado para una empresa.

El flujo de caja es la acumulación neta de activos líquidos en un periodo determinado y, por lo tanto, constituye un indicador importante de la liquidez de una empresa.

Tabla 93
Flujo de Caja Proyectado

DETALLE	PREOPERATIVO	2017	2018	2019	2020	2021
Utilidad / Pérdida del Ejercicio		372,50	2169,30	4658,65	8089,28	12798,69
(-) Inversiones	-10060,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(+) Crédito						
(+) Recuperación Activos Fijos						10000,00
(+) Recuperación de Capital de Trabajo						
(+) Depreciaciones y Amortizaciones		452,74	452,74	452,74	452,74	452,74
(-) Pago de la Deuda (Pago de Capital del Crédito)		12200,00	12200,00	12200,00	12200,00	12200,00
(=) FLUJO DE CAJA NETO GENERADO	-10060,92	13025,25	14822,04	17311,39	20742,02	35451,43

6.4 Evaluación Financiera

“El objetivo de la evaluación de proyectos es establecer las bondades de la decisión tomada por los inversionistas de asignar los recursos generalmente escasos a una inversión específica, sin embargo, hay que distinguir dos tipos de evaluaciones diferentes, aquella que dirige su accionar a la inversión social en el campo social y la otra, la que está directamente relacionado con el empresario privado, es decir en el campo de la microeconomía”¹.

¹ Econ. LUIS BARRENO, “Manual de formulación y evaluación de proyectos”, Año 2007, p. 99.

6.4.1 Costo de Oportunidad

La tasa de descuento o costo de oportunidad se puede definir como la tasa mínima de rentabilidad por un inversor dado el nivel de riesgo del proyecto. Es el coste de la no realización de la inversión, y se mide por la rentabilidad esperada de los fondos invertidos en el proyecto.

“Es aquel valor o utilidad que se sacrifica por elegir una alternativa A y despreciar una alternativa B. Tomar un camino significa que se renuncia al beneficio que ofrece el camino descartado” (Gerencie, 2014).

Tabla 94

Costo de Oportunidad

% RECURSO PROPIO	100%
TASA PASIVA REFERENCIAL	5,31%
% RECURSO AJENO	0%
TASA ACTIVA REFERENCIAL	13,80%
TAXES	33,70%
(1-T)	78,00%
TASA LIBRE DE RIESGO	7,01%

Para obtener el Costo de Oportunidad del Capital se realizan los siguientes cálculos:

Costo de Oportunidad = (%Recursos Propios*Tasa Pasiva Referencial) + (%Recursos Ajenos*Tasa Activa Referencia*(1-Tasa Marginal de Impuestos))+Tasa de Libre Riesgo (TLR) esta tasa de obtiene de la fuente del Banco Central correspondiente al Riesgo País.

Obteniéndose un Costo de oportunidad de:

$$\text{Costo de Oportunidad} = 12,32\%$$

El costo de oportunidad calculado, nos servirá como base para el cálculo de los indicadores financieros faltantes.

6.4.2 Valor Actual Neto

El Valor Actual Neto (VAN), es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, todo llevado al valor presente. Se define como la sumatoria de los flujos netos anuales actualizados menos la

Inversión Inicial. Este indicador de evaluación representa el valor del dinero actual que va reportar el proyecto en el futuro, a una tasa de interés y un periodo determinado.

Antes de proceder al cálculo del VAN es necesario considerar lo siguiente:

Criterios de evaluación:

- ✓ Si el VAN > 0, entonces el proyecto es viable
- ✓ Si el VAN = 0, entonces es indiferente realizar el proyecto
- ✓ Si el VAN < 0, entonces el proyecto no es viable

Para el cálculo del VAN se realizó el siguiente procedimiento:

Se procede al cálculo del factor de multiplicación (FSA) mediante la siguiente fórmula:

$$FSA = \frac{1}{(1+k)^n}$$

Donde, k representa el costo de oportunidad calculado en el punto 5.9.1 de 13,24%, y n representa el número de años calculados.

Una vez calculados los FSA, se procede a multiplicar el flujo neto generado de cada año por el FSA, es decir flujo neto generado año 1 por el FSA del año uno, y así respectivamente hasta completar la proyección de 5 años.

Finalmente el van es el resultado de la sumatoria de todos los flujos netos generados actualizados.

Tabla 95
Valor Actual Neto

DETALLE	PREOPER ATORIO	2017	2018	2019	2020	2021
Flujos netos generados	-10060,92	825,25	2622,04	5111,39	8542,02	13251,43
FSA	1,00	0,89	0,79	0,71	0,63	0,56
Flujos de caja netos generados (Actualizados)	-	734,72	2078,38	3607,17	5367,00	7412,71
VAN	10060,923					
	1					
	9139,09					

El VAN calculado dio como resultado un valor de USD 9139,09 aplicando los criterios de evaluación mencionados, podemos concluir que el proyecto será viable, pues el VAN es mayor a cero.

6.4.3 Tasa Interna de Retorno

La tasa interna de rendimiento o de retorno (TIR) es una de las técnicas más usadas de las técnicas de elaboración de presupuesto de capital. La tasa interna de rendimiento (TIR) es la tasa de descuento que iguala el VPN de una oportunidad de inversión con \$0 (debido a que el valor presente de las entradas de efectivo es igual a la inversión inicial); es la tasa de rendimiento que ganará la empresa si invierte en el proyecto y recibe las entradas de efectivo esperadas (Lawrence & Chad, 2012).

Criterios de Evaluación:

- ✓ **TIR > Tasa de descuento COP**, el proyecto es factible
- ✓ **TIR < Tasa de descuento COP**, el proyecto no es factible
- ✓ **TIR = Tasa de descuento COP**, el proyecto es indiferente

El TIR se calcula en función a la siguiente fórmula:

- ✓ **$TIR = k_i + (k_s - k_i) * ((VAN_s / (VAN_s / VAN_i))$**
- ✓ Dónde:
- ✓ k_i / t_m = Tasa menor del intervalo.
- ✓ k_s / t_M = Tasa mayor del intervalo.
- ✓ VAN_s / VAN_{t_m} = Valor presente neto a tasa menor del intervalo.
- ✓ VAN_i / VAN_{t_M} = Valor presente neto a tasa mayor del intervalo

Se obtuvo un TIR de 33,47%. Si consideramos los criterios de evaluación podemos concluir que como el TIR es mayor a la tasa de descuento (12,32%), el proyecto es factible. Adicional es indispensable señalar que por cada dólar invertido se obtendrá un 33,47% de rentabilidad, es decir, 0,33 centavos por cada dólar invertido.

6.4.4 Período de Recuperación de la Inversión (PRI)

El PRI, es un instrumento que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su costo o inversión inicial. Es decir, establece en cuanto tiempo se recuperará el total de la inversión, por lo que revela el año en el cual se cubre la inversión inicial del proyecto.

El período de recuperación de la inversión para el siguiente proyecto es a partir del cuarto año.

Tabla 96
Periodo de recuperación de la inversión

DETALLE	PREOPERA TORIO	2017	2018	2019	2020	2021
Flujos de caja netos generados (Actualizados)	-10060,92	734,73	2078,38	3607,18	5367,01	7412,71
Flujos de caja netos generados (Actualizados-ACUMULADOS)	-10060,92	-9326,20	-7247,81	-3640,63	1726,37	9139,09

6.5 Conclusiones de la Evaluación Financiera

El siguiente cuadro muestra los indicadores de evaluación financiera:

Tabla 97
Resumen de la Evaluación Financiera

INDICADOR	VALOR	CONCLUSIÓN
VAN	9139,09 USD	Viable
TIR	33,47%	Viable
PRI	4 años	Viable

En conclusión, el proyecto cuenta con bases sólidas que garantizan su rentabilidad, por lo tanto, se lo considera como VIABLE.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó los componentes mecánicos necesarios para sistema de transporte de las piezas metálicas, desde la cabina hacía el siguiente proceso de pitado electrostático, continuando así con la línea de producción, cumpliendo con el requisito del cliente de complementar la cabina con la línea de producción de la fábrica.
- Se diseñó, selecciono e interconecto todos los componentes eléctricos y electrónicos usados para la automatización, de tal manera que sean funcionales y que encajen físicamente en el tablero existente.
- El HMI permite al usuario programar los tiempos de los procesos, introducir las medidas de las piezas metálicas a procesar, conocer la cantidad de veces que se realizó cada uno de los procesos, y se adiciono el proceso de Pruebas de grado de protección Nema 250, para poder determinar el grado de protección de gabinetes para equipo eléctrico a ser usados en interiores o exteriores contra el ingreso de lluvia, estos requisitos encargados por el cliente se adicionaron a la programación de tal manera que la empresa puede sacarle el máximo provecho a la cabina.
- Las pruebas realizadas a las placas metálicas procesadas para determinar la cantidad de fosfato de zinc que se depositó en las mismas por metro cuadrado variaron entre 4,89 y 8,67 [gr/m^2], dichos resultados se encuentran en el rango aceptable que es de 1,5 a 30 [gr/m^2].
- Los ensayos ejecutados a las placas procesadas y pintadas para determinar la calidad del proceso de pintura vienen dadas por tres ensayos: el primero es el espesor de la pintura dada por micras donde se obtuvo un promedio de 55,2

micras está dentro de la norma (ISO 2808), que estipula un rango de 40 a 80 micras; la el segundo ensayo es el de dobles (ISO 6860), donde ninguna placa presento descascaramientos en su pintura; el tercer ensayo el de rayado (ISO 2409), donde la pintura de las placas no se separó de la misma, como indica la norma. Por lo tanto los tiempos por cada proceso e insumos son satisfactorios para el proceso, llegando a obtener un producto final pintado de alta calidad.

- La empresa AICO Engineering, por medio de un certificado de conformidad (anexo A3), expresan su satisfacción de todo el trabajo realizado por parte de los tesisistas dentro de sus instalaciones, y por los resultados obtenidos.

7.2 RECOMENDACIONES

- Analizar los requerimientos del cliente de forma técnica, de esta manera poder determinar las limitantes tanto económicas, tecnologías o de ingeniería del proyecto.
- Investigar en el mercado nacional proveedores de materias primas, insumos, materiales y equipos, de esta manera precisar que elementos son los más adecuados, acorde a los diseños desarrollados y a las limitantes económicas.
- Para determinar la ecuación característica de los sensores es necesario realizar dos o tres mediciones, de esta manera podremos sacar un promedio de dichas medidas, haciendo que la ecuación característica del sensor sea la más exacta posible.
- Los resultados de las pruebas realizadas de las piezas metálicas aunque exitosas, no consideran el factor de la temperatura a la cual fueron fosfatadas, se recomienda a posteriori se instalen niquelinas en los tanques de desengrasado y fosfatado, puesto acorde a lo investigado, la temperatura entre 20 a 60 grados centígrados en el desengrasado y fosfatado ayuda a obtener una mejor uniformidad en la calidad de las piezas procesadas.
- El operario debe ser capacitado para poder operar de manera adecuada la cabina, debe ser capaz de poder realizar mantenimiento a todos los componentes de la cabina, y poder actuar de manera precisa y eficaz ante las alarmas o eventos que surjan con el transcurrir de los procesos, ya sea por el desgaste, envejecimiento de equipos o por el mal uso de la cabina.
- Realizar mantenimiento periódico de los filtros de los tanques, limpieza de las boquillas que se encuentran en el interior de la cabina y de los filtros mesh cuando se activen las alarmas de limpieza, así también realizar la calibración mensual del pH-metro.

BIBLIOGRAFÍA

- AICO Ltda. (14 de Junio de 2016). Lavado manual de una plancha metálica. Quito, Pichincha, Ecuador.
- AICO Ltda. (30 de 05 de 2016). Tablero de control de la cabina de lavado. Quito, Pichincha, Ecuador.
- AICO Ltda. (05 de Mayo de 2016). Cabina de lavado de piezas metálicas. Quito, Pichincha, Ecuador.
- AICO Ltda. (14 de Junio de 2016). Lavado manual de una plancha metálica. Quito, Pichincha, Ecuador.
- AICO Ltda. (04 de 03 de 2016). Sistema de aspersores. Quito, Pichincha, Ecuador.
- AICO Ltda. (06 de 05 de 2016). Tanques de reserva para desengrasado. Quito, Pichincha, Ecuador.
- AICO Ltda. (11 de 11 de 2016). Viga IPN 100x55 desde la estación de pintura hacia la salida de la cabina de lavado. Quito, Pichincha, Ecuador.
- AIRTAC. (2015). *SENSOR SWITCH*. Obtenido de <http://en2.airtac.com/upload/201507281010175786.PDF>
- Albó, X. (2015). Obtenido de <http://www.katari.org/nuestra-historia>
- Banco Central del Ecuador. (2015). *PREVISIONES MACROECONOMICAS DEL ECUADOR 2016-2020*. Quito: Banco Central del Ecuador. Obtenido de <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorReal/Previsiones/PIB/Pre-sentPrev2015.pdf>
- Baufor. (2016). Obtenido de <http://www.baufor.com/lavadoras-industriales/tuneles-lavado-tambor-rotativo.html>
- Bolton, W. (2006). *Mecatrónica, Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica*. México D.F.: Alfaomega.
- Budnays, R., & Keit, N. (2012). *Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley*. México, D.F.: McGraw-Hill/INTERAMERICANA EDITORES, S.A DE C.V.
- CINCOOL. (2011). *CIMCOOL*. Obtenido de www.cimcool.ca/.../LineamientosparalaLimpiezadepiezasmetalicasestampadas.pdf
- COATS. (2015). Obtenido de <http://www.coatsindustrial.com/es/information-hub/apparel-expertise/know-about-textile-fibres>
- Crespo, W. (9 de Febrero de 2011). *automatizacionindustrial*. Obtenido de [automatizacionindustrial.:](https://automatizacionindustrial.wordpress.com/2011/02/09/queeslaautomatizacionindustrial/)
<https://automatizacionindustrial.wordpress.com/2011/02/09/queeslaautomatizacionindustrial/>

- DALMAR. (2016). *DALMAR*. Obtenido de <http://lavadorasdepiezas.proteccionesypinturas.com/lavadoras-de-piezas/maquinas-lavadoras-desengrasado-piezas/>
- Erik Oberg, F. D. (2008). *Machinery's Handbook*. New York: Industrial Press Inc.
- Eugen, G. (13 de 6 de 2014). *bloginstrumentacion*. Obtenido de <http://www.bloginstrumentacion.com/blog/2017/02/15/como-funciona-un-transmisor-de-presion/>
- FESTO. (s.f.). Obtenido de https://www.festo.com/cat/es_es/products_PP_ISO6431VDMA
- Fontfilva. (s.f.). Obtenido de http://www.fontfilva.com/es/hilos_al_100__reciclados.aspx
- Fortaleza Informativa. (Mayo de 2008). *Fortaleza Informativa*. Obtenido de <http://fortalezainformativa.blogspot.com/2008/05/corrosion-y-materiales.html>
- FOSFAMET. (sf). *FOSFAMET*. Obtenido de https://www.fosfamet.cl/limpieza_fosfamet_cl.pdf
- Galindo, R. (2008). *Revista Digital Universitaria*. Obtenido de <http://www.revista.unam.mx/vol.9/num11/art93/art93.pdf>
- Glosario Contable. (7 de Mayo de 2017). *Glosario Contable*. Obtenido de <https://debitoor.es/glosario/activo-fijo>
- Hidrobo, S., & Barragán, J. (2013). *Cabina para el Lavado de Piezas Metálicas Mediante el Proceso de Fosfatado*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- ingenieriamecanicablog. (Noviembre de 2016). *ingenieriamecanicablog*. Obtenido de <http://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2016/07/corrosion-por-erosion.html>
- Kalpakjian, S. (2008). Manufactura, ingeniería y tecnología. Quinta Edición. En *Manufactura, Ingeniería y Tecnología* (pág. 1295). Mexico: PEARSON EDUCATION.
- LADIFQUIM. (2016). Obtenido de http://www.ladifquim.com/prod_tratamiento_metalico.php
- Mettler, T. (25 de 10 de 2014). *instrumentosdelaboratorio.org*. Obtenido de [instrumentosdelaboratorio.org: http://instrumentosdelaboratorio.org/phmetro](http://instrumentosdelaboratorio.org/phmetro)
- Milacron Mexicana Sales, S.A. de C.V. (2004). *Lineamientos para la Limpieza de Piezas Metálicas Estampadas*. Méxco: División CIMCOOL.
- Moreno, G. (2001). Obtenido de <https://sites.google.com/site/itttallerdeinvestigacion1/2---marco-historico/2-1-primera-fase>
- Peña, J. D. (2003). Introducción a los autómatas programables. Catalunya: UOC.
- QualityProgress. (2012). *QFD Online*. Obtenido de <http://www.qfdonline.com/templates/3f2504e0-4f89-11d3-9a0c-0305e82c2899/>
- RAIZ, P. Y. (2012). Obtenido de <http://www.raizypatriacarajo.com.ar/mas.php?sec=1&cuerpo=54&pagina=1>

- Renold. (2016). *Renold*. Obtenido de Renold:
<http://www.renold.es/Products/ConveyorChain/ConveyorChainIndexPa.asp>
- Riba, C. (2002). Estructura Funcional. En C. Riba, *Diseño concurrente* (págs. 128-129).
- Sacome. (2016). *Sacome*. Obtenido de <http://www.sacome.com/documentacion-tecnica-technical-documentation/avoid-the-intergranular-corrosion-l-or-ti-stainless-steels/>
- Scheider Electric. (2016). *Scheider Electric*. Obtenido de [http://www.schneider-electric.com/en/product/HMISTU855/touch-panel-screen-5"7-color/?range=5774-magelis-sto-%26-stu&node=166389972-small-panels](http://www.schneider-electric.com/en/product/HMISTU855/touch-panel-screen-5)
- Secretaria Nacional de Planificacion y Desarrollo. (2013). *Buen vivir Plan Nacional 2013-2017*. Obtenido de <http://www.buenvivir.gob.ec/>
- Teknox. (2015). *Teknox*. Obtenido de <http://www.maquinariainternacional.com/maquinaria/dm/lavadoras-industriales-de-piezas-teknox.asp?nombre=19&sesion=1&id=2>
- Torres, J. V. (sf). *ININ MEXICO*. Obtenido de http://inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/33_CORROSI%C3%93N.pdf
- Universidad de Tarapaca. (2015). Obtenido de Universidad de Tarapaca:
http://www.eudim.uta.cl/files/5813/2069/8949/fm_Ch03_mfuentesm.pdf
- upv. (2016). *Universidad Politécnica de Valencia*. Obtenido de https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_4_2.html
- WEG. (2015). Obtenido de <http://www.weg.net/ec/Productos-y-Servicios/Motores-Electricos/Industriales-Trifasicos/W22-Carcasa-de-Hierro-Gris-Alta-Tension>
- ZONA ECONOMICA. (2 de Febrero de 2017). *ZONA ECONOMICA*. Obtenido de <http://www.zonaeconomica.com/estudio>

ANEXOS

A1: PLANOS

MECÁNICOS

A2: PLANOS

ELÉCTRICOS

A3: CERTIFICADOS

A4: CATÁLOGOS