



Diseño, construcción e implementación de una cámara de flotación automática en la nueva cabina de pintura para separar y remover sólidos de pintura automotriz en suspensión mediante el control de un mecanismo barredera en la empresa ciudad del auto CIAUTO Cía. Ltda. en la Provincia de Tungurahua.

Roche Valle, Adrián Enrique y Sinchigalo Maliza, Claudio Saúl

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico

Ing. Caizalitín Quinaluisa, Edwin Alejandro

10 de febrero del 2023

Latacunga

Document Information

Analyzed document	TESIS FINAL ROCHE - SINCHIGALO2.pdf (D158360716)
Submitted	2023-02-10 17:02:00
Submitted by	
Submitter email	byron.corrales@utc.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	byron.corrales.utc@analysis.orkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://golatam.veoliawatertechnologies.com/es/blog/tecnologia-de-tratamiento-y-reutilizacion-... Fetched: 2023-02-10 17:03:00	 3
W	URL: https://www.mantenimientoelectrico.com/lubricacion/lubricacion-transmision-cadenas-n1837 Fetched: 2023-02-10 17:03:00	 1
SA	TRABAJO DE TITULACION-FINAL Villa.docx Document TRABAJO DE TITULACION-FINAL Villa.docx (D40708812)	 2
SA	TESIS.docx Document TESIS.docx (D12295151)	 3
W	URL: https://spanish.alibaba.com/product-detail/China-WP520-40-60-80-efficiency-1700001951998.html Fetched: 2023-02-10 17:02:00	 1
SA	15960--Condori Barzola, Freddy Nicolik.pdf Document 15960--Condori Barzola, Freddy Nicolik.pdf (D48459138)	 1
SA	1474896544_Proyecto integrador final. Arianna Anchaluisa y Fabián Bermeo.pdf Document 1474896544_Proyecto integrador final. Arianna Anchaluisa y Fabián Bermeo.pdf (D21986012)	 1

Entire Document



Ing. Caizalitin Quinaluisa, Edwin Alejandro M.Sc.
C. C.:0503351397



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **"Diseño, construcción e implementación de una cámara de flotación automática en la nueva cabina de pintura para separar y remover sólidos de pintura automotriz en suspensión mediante el control de un mecanismo barredera en la empresa ciudad del auto CIAUTO Cía. Ltda. en la Provincia de Tungurahua."** fue realizado por los señores **Roche Valle, Adrián Enrique, y Sinchigalo Maliza Claudio Saul**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 10 de febrero de 2023.

Ing. Caizalitin Quinaluisa, Edwin Alejandro M.Sc.

C. C.:0503351397



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Roche Valle, Adrián Enrique** con cédula de ciudadanía n°1804766119 y **Sinchigalo Maliza, Claudio Saúl** con cédula de ciudadanía n°1805190574 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Diseño, construcción e implementación de una cámara de flotación automática en la nueva cabina de pintura para separar y remover sólidos de pintura automotriz en suspensión mediante el control de un mecanismo barredera en la empresa ciudad del auto CIAUTO Cía. Ltda. en la Provincia de Tungurahua."** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 10 de febrero de 2023

Roche Valle, Adrián Enrique

C.C.: 1804766119

Sinchigalo Maliza, Claudio Saúl

C.C.: 1805190574



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Autorización de Publicación

Nosotros, **Roche Valle, Adrián Enrique**, con cédula de ciudadanía n°1804766119 y **Sinchigalo Maliza, Claudio Saúl**, con cédula de ciudadanía n°1805190574, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: "Diseño, construcción e implementación de una cámara de flotación automática en la nueva cabina de pintura para separar y remover sólidos de pintura automotriz en suspensión mediante el control de un mecanismo barredera en la empresa ciudad del auto CIAUTO Cía. Ltda. en la Provincia de Tungurahua.", en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 10 de febrero de 2023

Roche Valle, Adrián Enrique

C.C.: 1804766119

Sinchigalo Maliza, Claudio Saúl

C.C.: 1805190574

Dedicatoria

El presente trabajo se lo dedico al hacedor de vida DIOS porque sin él nada de esto se haría posible, él es que hace y deshace todo. La perseverancia, constancia y fortaleza vence al miedo.

A mis padres Jorge Roche y Laura Valle ustedes son mis raíces, somos un gran equipo. La paciencia, cariño y sacrificio me ha llevado lejos, me han soportado en todo. Sé que todo lo que se hizo valió la pena. A mis hermanos Jorge y Erika todo lo que se ha logrado es por ustedes, han influenciado en mí para bien, siempre han estado conmigo con sus consejos, con su apoyo, me han ayudado a crecer, no soy el mismo que antes.

A ti mi amigo Claudio porque conociendo todo lo que me ha pasado has estado ahí, no nos hemos dado por vencidos nunca, nos hemos soportado en todo.

Se que existen los ángeles en este mundo: tía Elena Poveda y tío Patricio Valle con su bondad y corazón lleno de amor, con risas y lloros me han encarrilado de nuevo a mi objetivo. ¡He aquí tienen a su guerrero! Su buena voluntad, sus consejos han sido el cambio que yo necesitaba.

Tíos, primos y en especial a mi Abuelito que en paz descansa Julio Enrique Valle Calvache esto queda grabado para la eternidad, ustedes son mi identidad.

A mis amigos William, Sebastián, David, Ibeth, Jessica, Sarita, Celeste, Paola, Doménica, Andrea y a todos los demás se los dedico esta tesis, en este corto tiempo crecimos juntos en muchos aspectos, vale la pena y prevalecerá a donde quiera que vaya, los tendré en cuenta.

Samuel, Lady, Xavier, Anthony, Erika, Pablo aguantamos todo en esa etapa llamada Universidad. Toto mi querido amigo perruno por estar allí eres un guardián, eres un ángel.

Roche Valle, Adrián Enrique

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación le dedico a Dios y la Virgen por brindarme la sabiduría y fortaleza para llegar a una etapa tan importante en mi vida.

A mis padres: Ángel y Hortencia por ser el pilar fundamental en mi formación académica y personal, sobre todo por enseñarme sus valores, de superación, dedicación y humildad.

A mi esposa, por su amor incondicional y estar conmigo en los momentos buenos y malos.

A mi hermano por impulsarme a seguir adelante.

Sinchigalo Maliza, Claudio Saúl

Agradecimiento

Mi más ferviente gratitud hacia DIOS, porque él me ha puesto para que sea cabeza y no cola, doy las gracias a DIOS por todo lo que me ha pasado, siempre se aprende algo distinto.

Un agradecimiento eterno a mis Padres, hermanos, tíos y primos. La familia es el pilar fundamental en este proceso llamado vida, todo el amor y paciencia me han empujado a seguir luchando, a seguir soñando, a seguir ayudando. Ser voluntario me ha inyectado vida, me ha llenado el alma, medicina para el corazón para el espíritu. LO IMPORTANTE NO ES LO QUE TE SUCEDE, SINO COMO REACCIONAS A ELLO.

Mi más profundo agradecimiento al Ing. Edwin Caizalítín una gran persona, un gran maestro, un gran amigo, gracias por confiar en nosotros. A mi Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE gracias porque me siento identificado hacia ti, todo vale la pena, entre con un sueño, ese sueño se cumplió, cumplí una de todas las metas que tengo por cumplir. A todos los docentes, mi gratitud porque me inculcaron valores, forjaron mi carácter e hicieron un líder, una persona con capacidad de cambiar el mundo.

Le agradezco enormemente al Ing. Juan Escobar por abrirnos las puertas de la empresa CIAUTO, a todo el grupo de Ingenieros de la Planta Pintura: Ing. Juan, Roberto, David, Jessica. Al grupo de Mantenimiento Ing. Miguel Ángel, Xavier, Luis y maestros, gracias por su paciencia, tiempo y conocimiento impartido, ustedes son uno de los pilares fundamentales de mi formación en el mundo laboral, gracias por sus consejos, por su guía y sobre todo por facilitarnos el uso de la maquinaria industrial disponible en sus instalaciones.

Roche Valle, Adrián Enrique

Agradecimiento

Agradezco a Dios y a la Virgen por todas las bendiciones recibidas y permitir culminar mi carrera universitaria, a mis padres que por su enorme sacrificio, amor y valores inculcados me han permitido seguir luchando cumpliendo mis mayores ideales.

A mi esposa por llegar a mi vida, su apoyo incondicional y ayuda constante me ha permitido llegar hasta aquí.

A mi hermano por darme la motivación para seguir avanzando.

Un agradecimiento fraterno Al Ing. Juan Escobar por abrirnos las puertas de la empresa CIAUTO y brindar la oportunidad de realizar el presente proyecto de titulación, a los ingenieros de Manteniendo: Miguel Ángel, Javier, Luis y maestros. Al grupo de la Planta Pintura ingenieros: Juan, Roberto, David, Jessica, gracias a todos ustedes por su invaluable apoyo y colaboración

Sinchigalo Maliza, Claudio Saúl

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	8
Índice de contenidos	10
Índice de figuras	16
Índice de tablas	20
Resumen.....	22
Abstract	23
Capítulo I: Generalidades	24
Introducción	24
Antecedentes.....	24
Planteamiento del problema.....	27
Descripción resumida del proyecto	32
Justificación e importancia	35

Objetivos.....	38
<i>Objetivo general</i>	38
<i>Objetivos específicos</i>	38
Hipótesis.....	38
Capítulo II: Fundamentación teórica	39
Flotación	39
Cámara de flotación	39
Celdas de flotación	40
Transmisión por cadena	40
Efectos de la lubricación en el funcionamiento de la cadena.....	42
Métodos de lubricación	42
<i>Tipo A. Lubricación manual o por goteo</i>	43
<i>Tipo B. lubricación de baño o con disco</i>	43
<i>Tipo C. lubricación con chorro de aceite</i>	45
Disposición de la transmisión.....	45
Fuerza de rozamiento.....	46
Los relés térmicos de biláminas	46
Clases de disparo de relés térmicos.....	47
Categorías de empleo del contactor	48
Protección contra sobrecorriente	49
Conductores: Ampacidad mínima y calibre mínimo.....	50

Electrobombas sumergibles en acero inox BC-ST	50
Coagulación – Floculación	52
Aireación.....	52
Descripción del PLC LOGO	53
El sensor de nivel modelo RLT-1000	54
Relé industrial	55
Flotación por aire disuelto (DAF)	55
Capítulo: III Diseño y construcción	57
Diseño del sistema.....	57
<i>Necesidades del cliente.....</i>	<i>57</i>
<i>Especificaciones técnicas del sistema</i>	<i>58</i>
<i>Desarrollo de la casa de calidad o DFD</i>	<i>59</i>
<i>Análisis de la casa de la calidad.....</i>	<i>62</i>
<i>Diseño de la Estructura mecánica apropiada.....</i>	<i>62</i>
<i>Selección de Controlador para la Cámara de Flotación.....</i>	<i>67</i>
Diseño mecánico de la cámara de flotación automática de sólidos de pintura automotriz.....	68
<i>Diseño CAD de la cámara de flotación automática de sólidos de pintura automotriz</i>	<i>69</i>
<i>Diseño del primer prototipo</i>	<i>69</i>
<i>Diseño del segundo prototipo.</i>	<i>70</i>
<i>Diseño del tercer prototipo</i>	<i>71</i>

<i>Diseño del cuarto prototipo</i>	72
<i>Dimensionamiento de la cámara de flotación de sólidos de pintura</i>	76
<i>Diseño mecánico de las dimensiones de la cámara de flotación.....</i>	76
<i>Análisis estructural de la cámara de flotación</i>	79
<i>Diseño del diámetro de tubería para la salida del caudal tratado</i>	82
<i>Diseño del par motor para el desplazamiento del mecanismo barredera.....</i>	85
<i>Diseño de la velocidad de salida del reductor.....</i>	89
<i>Diseño de la transmisión por cadena.....</i>	91
<i>Cálculo para tensar correctamente la cadena de transmisión</i>	96
<i>Selección de la bomba</i>	96
Diseño de los componentes eléctrico y electromecánico de la cámara de flotación automático	98
<i>Selección del guardamotor para motor.....</i>	98
<i>Selección de contactor para motor</i>	100
<i>Selección del conductor para el motor</i>	101
<i>Selección del breaker para el motor.....</i>	101
Diseño de los componentes eléctricos para la bomba sumergible.....	102
<i>Selección del relé térmico para la bomba.....</i>	102
<i>Selección del contactor para la bomba.....</i>	103
<i>Selección del conductor para la bomba.....</i>	104
<i>Selección del breaker para la bomba</i>	104
Selección del cable principal.....	105

Selección del breaker principal.....	106
Algoritmo de control eléctrico para la máquina.....	107
Diseño del diagrama eléctrico, electromecánico y simulación de la secuencia de control.....	108
Construcción de la cámara de flotación.....	112
<i>Estructura mecánica de la cámara de flotación.....</i>	112
Construcción del Sistema de Tuberías de Aireación.....	118
<i>Partes principales del sistema de tuberías de Aireación.....</i>	118
Construcción del tablero de control.....	120
Capítulo IV: Implementación, pruebas y resultados.....	124
Traslado y Ubicación de la Cámara de Flotación.....	124
Implementación de las Tuberías de Agua.....	125
Implementación del tablero de control.....	128
Implementación de Señalética de Seguridad.....	130
Pruebas de funcionamiento y resultados.....	131
Validación de hipótesis.....	137
Análisis de costos para la cámara de flotación.....	138
<i>Costos directos.....</i>	138
<i>Costos indirectos.....</i>	141
<i>Costo total.....</i>	142
Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.....	146
Conclusiones.....	146

Recomendaciones.....	148
Bibliografía	149
Anexos.....	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Proceso y tratamiento químico para pintar de las carrocerías en la planta CIAUTO...</i>	26
Figura 2	<i>Recolección de sólidos de pintura automotriz.....</i>	28
Figura 3	<i>Almacenamiento de los sólidos de pintura automotriz.....</i>	29
Figura 4	<i>Cisterna para su tratamiento químico de las partículas de pintura automotriz.....</i>	29
Figura 5	<i>Cisternas para el tratamiento del agua residual.....</i>	30
Figura 6	<i>Bomba de succión para la recirculación del caudal.....</i>	31
Figura 7	<i>Cisterna subterránea para su tratamiento químico de la nueva cabina de pintura.....</i>	31
Figura 8	<i>Interior de la cisterna subterránea.....</i>	32
Figura 9	<i>Proceso para pintar las carrocerías de los vehículos y el tratamiento químico de la nueva cabina de pintura.....</i>	33
Figura 10	<i>Cámara de flotación rectangular de sólidos suspendidos.....</i>	40
Figura 11	<i>Transmisión por cadena de rodillos.....</i>	41
Figura 12	<i>Lubricación adecuada para cadenas de transmisión.....</i>	42
Figura 13	<i>Lubricación por goteo.....</i>	43
Figura 14	<i>Lubricación por baño de aceite.....</i>	44
Figura 15	<i>Lubricación por disco levantador de aceite.....</i>	44
Figura 16	<i>Lubricación por flujo de aceite.....</i>	45
Figura 17	<i>Forma correcta del ajuste de cadenas.....</i>	46
Figura 18	<i>Relés térmicos LR2-D de Telemecanique.....</i>	47
Figura 19	<i>Contactador AC3 trifásico.....</i>	48
Figura 20	<i>Conductores térmicos.....</i>	50
Figura 21	<i>Electrobombas sumergibles en acero inox BC-ST.....</i>	51
Figura 22	<i>Sistema de aireación.....</i>	53
Figura 23	<i>PLC LOGO V8.....</i>	54

Figura 24	<i>Sensor de nivel líquido flotador de acero inoxidable</i>	54
Figura 25	<i>Relé industrial de 10 A</i>	55
Figura 26	<i>Sistema DAF</i>	56
Figura 27	<i>Matriz QFD o de Calidad</i>	61
Figura 28	<i>Primer diseño elevador de cangilones</i>	70
Figura 29	<i>Segundo diseño Palín arrastrador</i>	71
Figura 30	<i>Elementos externos del tercero Prototipo de la cámara de flotación</i>	71
Figura 31	<i>Elementos internos del tercero prototipo de la cámara de flotación</i>	72
Figura 32	<i>Modelo final de la cámara de flotación automática</i>	73
Figura 33	<i>Modelo final del interior de la cámara de flotación automática</i>	73
Figura 34	<i>Análisis estructural en software utilizando esfuerzos de Von Mises</i>	81
Figura 35	<i>Análisis de desplazamiento</i>	81
Figura 36	<i>Análisis de factor de seguridad</i>	82
Figura 37	<i>Área de retorno del caudal tratado</i>	82
Figura 38	<i>Mecanismo barredera de sólidos de pintura</i>	85
Figura 39	<i>Placa de datos de motor marca WEG</i>	89
Figura 40	<i>Caja reductora marca WPS 60</i>	90
Figura 41	<i>Sistema de transmisión por cadena</i>	91
Figura 42	<i>Factores de servicio para transmisión por cadena</i>	92
Figura 43	<i>Capacidades de cadenas estándar</i>	93
Figura 44	<i>Curvas y datos de prestaciones de bomba sumergible</i>	97
Figura 45	<i>Datos de placa de bomba sumergible BCm 15/50 - ST</i>	97
Figura 46	<i>Guardamotores SIRIUS Innovations 3RV20</i>	99
Figura 47	<i>Contactores SIRIUS Innovations 3RT20</i>	100
Figura 48	<i>Capacidad de amperaje según el calibre</i>	101
Figura 49	<i>Mini Breakers termomagnéticos para montaje en Riel DIN</i>	102

Figura 50	<i>Relés de sobrecarga bimetálicos SIRIUS Innovations 3RU21</i>	103
Figura 51	<i>Contactores SIRIUS Innovations 3RT20</i>	103
Figura 52	<i>Capacidad de amperaje según el calibre</i>	104
Figura 53	<i>Mini Breakers termomagnéticos para montaje en Riel DIN</i>	105
Figura 54	<i>Capacidad de amperaje según el calibre</i>	106
Figura 55	<i>Mini Breakers termomagnéticos para montaje en Riel DIN</i>	106
Figura 56	<i>Diagrama de flujo del sistema</i>	108
Figura 57	<i>Diagrama eléctrico de control y potencia</i>	111
Figura 58	<i>Proceso de corte de caras laterales</i>	113
Figura 59	<i>Proceso de pulido para eliminar la rebaba del material</i>	113
Figura 60	<i>Fijación de juntas de ambos tanques</i>	114
Figura 61	<i>Fijación de láminas de área de la salida del agua tratada</i>	114
Figura 62	<i>Fijación de láminas de área de descarga solidos de pintura</i>	115
Figura 63	<i>Fijación de pantallas deflectoras</i>	115
Figura 64	<i>Visualización con prototipos de cartón el mecanismo barredera</i>	116
Figura 65	<i>Fijación de ojos chinos, chumaceras y corte de eje de transmisión</i>	116
Figura 66	<i>Tensado de sistema de transmisión de cadenas</i>	117
Figura 67	<i>Adaptación, alineación del motor y reductor</i>	117
Figura 68	<i>Sistema de tuberías de aire</i>	118
Figura 69	<i>Colocación de tubería de Aireación FUJINOX</i>	118
Figura 70	<i>Partes principales del sistema de aireación</i>	119
Figura 71	<i>Recubrimiento de Pintura a la Cámara de Flotación</i>	119
Figura 72	<i>Visualización de las dimensiones para tablero eléctrico</i>	120
Figura 73	<i>Distribución de los componentes eléctricos en el tablero</i>	122
Figura 74	<i>Proceso de conexión en el tablero de control</i>	122
Figura 75	<i>Peinado de cables del tablero de control</i>	123

Figura 76	Traslado de la Cámara de Flotación.....	124
Figura 77	<i>Ubicación Final de la Cámara de Flotación</i>	125
Figura 78	<i>Colocación de tubería y accesorios externos salida del Agua tratada</i>	125
Figura 79	<i>Colocación de tuberías y bomba sumergible en la fosa</i>	126
Figura 80	<i>Colocación de tubería y accesorios externos para la entrada del caudal</i>	127
Figura 81	<i>Colocación de soporte para la inyección del Floculante</i>	127
Figura 82	<i>Colocación del sensor de nivel sensor de Nivel</i>	128
Figura 83	<i>Comunicación la PC con el PLC LOGO V8 para cargar el programa</i>	128
Figura 84	<i>Colocación del Tablero Eléctrico</i>	129
Figura 85	<i>Conexión principal para energizar el tablero de control</i>	129
Figura 86	<i>Cableado de la fuente principal al tablero de control</i>	130
Figura 87	<i>Señaléticas de seguridad en la cámara de flotación</i>	130
Figura 88	<i>Señalética de seguridad en el Tablero de Control</i>	131
Figura 89	<i>Puesta en marcha del sistema de forma automática</i>	132
Figura 90	<i>Recolección de sólidos de pintura de forma automática</i>	132
Figura 91	<i>Formación de sólidos de pintura en la cámara de flotación</i>	132
Figura 92	<i>Inyección de floculante en la cámara de flotación</i>	134
Figura 93	<i>Apertura de válvula para el ingreso de aire a presión atmosférica</i>	136
Figura 94	<i>Sistema de Flotación por Aire Disuelto (DAF). 2.7 LPS</i>	144

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Datos promedio de consumo de pintura último trimestre 2021</i>	24
Tabla 2	<i>Comparación económica de un sistema internación vs cámara de flotación</i>	36
Tabla 3	<i>Estudio del proceso para pintar las carrocerías de los vehículos</i>	37
Tabla 4	<i>Categorías de empleo de los contactores</i>	49
Tabla 5	<i>Características técnicas de electrobombas sumergibles en acero inox BC-ST</i>	51
Tabla 6	<i>Necesidades del cliente</i>	57
Tabla 7	<i>Especificaciones técnicas de la cámara de flotación de sólidos de pintura</i>	58
Tabla 8	<i>Simbología especificaciones</i>	60
Tabla 9	<i>Relación entre cómo y cómo</i>	60
Tabla 10	<i>Selección del tipo de material para la transmisión por cadena</i>	63
Tabla 11	<i>Generación y selección del material para la transmisión por cadena</i>	64
Tabla 12	<i>Selección del material para la barredera</i>	65
Tabla 13	<i>Generación y selección del material para la barredera</i>	66
Tabla 14	<i>Selección de dispositivo de control</i>	67
Tabla 15	<i>Generación y selección del dispositivo de control</i>	68
Tabla 16	<i>Componentes de la cámara de flotación</i>	74
Tabla 17	<i>Dimensiones geométricas de la cámara de flotación</i>	79
Tabla 18	<i>Masa de los componentes del sistema barredera</i>	85
Tabla 19	<i>Características principales del motor trifásico</i>	89
Tabla 20	<i>Datos técnicos de reductor GPS 60</i>	90
Tabla 21	<i>Spockets estandarizados</i>	95
Tabla 22	<i>Entradas y salidas del sistema</i>	109
Tabla 23	<i>Especificaciones del gabinete eléctrico</i>	121
Tabla 24	<i>Dosificación adecuada de coagulante y floculante</i>	133

Tabla 25	<i>Control de Tratamiento de Agua Fosa de Pintura-Cabina Gottert</i>	133
Tabla 26	<i>Datos promedios para el Control de Tratamiento del Agua Cabina Gottert</i>	134
Tabla 27	<i>Prueba del porcentaje de apertura de la válvula de entrada de aire</i>	135
Tabla 28	<i>Pruebas de recolección de sólidos de pintura</i>	136
Tabla 29	<i>Datos promedios de recolección de sólidos</i>	137
Tabla 30	<i>Aspectos comparativos de la efectividad del sistema</i>	138
Tabla 31	<i>Costos directos obtención de materiales</i>	139
Tabla 32	<i>Costos indirectos logística y construcción</i>	142
Tabla 33	<i>Presupuesto total de fabricación</i>	143
Tabla 34	<i>Segunda comparación entre cámaras de recolección de residuos sólidos</i>	143

Resumen

El presente proyecto se orienta al diseño, construcción e implementación de una cámara de flotación automática en la nueva cabina de pintura para separar y remover sólidos de pintura automotriz en suspensión mediante el control de un mecanismo barredera en la empresa ciudad del auto CIAUTO Cía. Ltda. en la Provincia de Tungurahua. Inicialmente se realizó la recopilación de información técnica relacionado con sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales. Acto seguido se consigue el diseño y análisis estático en un software CAD del sistema con los requerimientos y necesidades proporcionados por el coordinador del Área de Pintura para que el sistema cumpla sus expectativas, en el diseño mecánico se encarga de obtener las dimensiones adecuadas, para garantizar que la mayor cantidad de sólidos de pintura se generen en la cámara y con pantallas deflectoras de retención asegura la permanencia de los sólidos. Al ingresar aire a presión atmosférica a los difusores por el interior de la cámara, los químicos (coagulante-floculante) se incorporan en el caudal. En el diseño del sistema de transmisión analiza la velocidad adecuada para desplazar el mecanismo barredera y remover los sólidos. En la siguiente etapa se diseña el tablero de control para el funcionamiento automático del sistema, con la ayuda de un sensor de nivel alto y bajo se controla una bomba sumergible en caso de existir taponamiento en las tuberías, para seguridad y mantenimiento el sistema trabaja de forma manual y automática. Por último, en el análisis se concluye que la mayor cantidad de sólidos de pintura se generan en la cámara con el 75.20% de sólidos recolectados.

Palabras clave: cámara de flotación, pantallas de retención, mecanismo barredera, coagulante-floculante, difusores.

Abstract

This project is oriented to the design, construction and implementation of an automatic flotation chamber in the new paint booth to separate and remove automotive solids in suspension by controlling a sweep mechanism in the Ciudad del Auto company CIAUTO Cía. Ltda. in the Province of Tungurahua. Initially, the compilation of technical information related to industrial wastewater treatment systems was carried out. Immediately afterwards, the design and static analysis is achieved in a CAD software of the system with the requirements and needs provided by the coordinator of the Painting Area so that the system meets its expectations, in the mechanical design it is in charge of obtaining the adequate dimensions, to guarantee that the greatest amount of paint solids are generated in the chamber and with retaining deflector screens ensures the permanence of the solids. When air at atmospheric pressure enters the diffusers inside the chamber, the chemicals (coagulant-flocculant) are incorporated into the flow. In the design of the transmission system, it analyzes the adequate speed to move the sweeping mechanism and remove the solids. In the next stage, the control panel is designed for the automatic operation of the system, with the help of a high and low level sensor, a submersible pump is controlled in the event of clogging in the pipes, for safety and maintenance the system works accordingly. manually and automatically. Finally, the analysis concludes that the greatest amount of paint solids are generated in the chamber with 75.20% of solids collected.

Keywords: flotation chamber, retention screens, sweep mechanism, coagulant-flocculant, diffusers.

Capítulo I

Generalidades

Introducción

Este primer capítulo detalla la situación en la que se encontraba la empresa CIAUTO Cía. Ltda., específicamente en el Área de Pintura donde es el proceso para pintar las carrocerías de los vehículos, para posteriormente ser ensamblados. En esta zona de trabajo se presenta la formulación del problema y con un análisis profundo se llega a la solución, así mismo los objetivos planteados se irán ejecutando conjuntamente con el desarrollo del presente proyecto.

Antecedentes

La concentración de sólidos suspendidos en el agua residual se logra con el tratamiento químico. La flotación fundamental de aguas residuales se ha empleado siempre para la eliminación de sólidos flotables, es decir, materiales sólidos o líquidos de densidad significativamente inferior a la del agua. (Suárez López et al., 2013)

La empresa CIAUTO Cía. Ltda. cuenta con procesos de Soldadura, Pintura, Ensamble y Pista de Pruebas Dinámicas, uno de los procesos importantes para la fabricación de autos se realiza en Pintura, con datos proporcionados por la empresa, la cantidad de vehículos pintados es de 20 unidades/día con un consumo de pintura aproximadamente 16.37 L/unidad como se detalla en la tabla 1.

Tabla 1

Datos promedio de consumo de pintura último trimestre 2021

Producto	Cantidad (L/unidad)
Axalta	3.73
Color	6.68

Producto	Cantidad (L/unidad)
Barniz 1k	4.77
Barniz 2k	1.19
TOTAL	16.37

Nota. En la tabla 1 describe de la cantidad utilizada para pintar cada carrocería.

Del valor total del consumo de pintura 16.37 L/unidad se considera que un 70% se adhiere al vehículo, mientras el otro 30 % de overspray (exceso de pulverización), es decir, 4.9 L/unidad con una densidad promedio de la pintura 1.3 kg/L, dando 6.4 kg de sólidos/unidad pintada, se dirige a la parte más baja de la actual cabina de pintura, donde está el caudal que lleva estas pequeñas partículas de pintura, directamente a un tanque de tratamiento de agua residual con capacidad de 70 m³, donde se realiza el proceso químico de coagulación – floculación para convertirlas en partículas capaces de ser removidas.

En la siguiente fase, el operario mediante una red de pesca con mango telescópico, atrapa los sólidos de pintura, este proceso lo realiza durante un tiempo de 30 minutos, 3 veces en las 8 horas de jornada laborable. Finalmente, el caudal tratado retorna nuevamente a la actual cabina de pintura, este proceso trabaja en un ciclo cerrado, mientras está en producción.

El proceso que se realiza para pintar las carrocerías de los vehículos se detalla en la figura 1.

Figura 1

Proceso y tratamiento químico para pintar de las carrocerías en la planta CIAUTO



Nota. La figura 1 representa el proceso que se realiza al momento de pintar las carrocerías y su tratamiento químico.

De acuerdo a López (2021) Durante las etapas de fabricación de una unidad automotriz se emplean miles de litros del vital líquido, convirtiendo así a la industria automotriz en Latinoamérica que en el 2020 produjo 7.3 Millones de vehículos que representó el 7% de la producción global, se presenta como una de las industrias que más agua consume en sus procesos.

Ford Motor Company se esfuerza continuamente por ir más lejos y mantenerse líder en su compromiso por reducir su consumo de agua. Recientemente, Ford anunció una actualización en su estrategia de ahorro de agua durante la fabricación de vehículos, que significará una reducción adicional del 30 por ciento en el uso de agua por vehículo de 2015 a 2020, junto con un objetivo a largo plazo de cero-uso de agua potable en la manufactura. (FORD, 2017)

Planteamiento del problema

Ciudad del Auto CIAUTO Cía. Ltda., es una empresa 100% Ecuatoriana, nace de una visión empresarial comprometida con el Ecuador, impulsando la generación de trabajo en el centro del país. Inició sus operaciones en febrero del 2013 fabricando vehículos de la marca Great Wall Motors, uno de los mayores productores de vehículos asiáticos.

CIAUTO en el 2016 inauguró la planta de pintura más moderna del Ecuador. En el 2018 se construyó una nueva área logística y de producción con líneas de soldadura de carrocerías para SUVs, camionetas y baldes para camionetas. Al mismo tiempo Great Wall Motors se convertía en la marca N. 4 en el mercado ecuatoriano. El aprecio de los ecuatorianos por el diseño y la calidad de la marca ha permitido lograr ese resultado.

CIAUTO cuenta con la planta de fabricación de autos más moderna del Ecuador con procesos de Soldadura, Pintura, Ensamble y Pista de Pruebas Dinámicas, ha logrado cifras récord de incorporación de autopartes producidas en el Ecuador incorporando muchos autopartistas nuevos a su cadena productiva, generando trabajo y transferencia de tecnología en nuestro país.

Great Wall Motors, según la Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana es, por mucho, la marca N.1 en cuanto a participación de modelos fabricados en el Ecuador en el portafolio de la marca (62% de los modelos que se venden en el Ecuador son fabricados con manos ecuatorianas). Los vehículos fabricados por CIAUTO ya ruedan por caminos de Colombia y Costa Rica. (CIAUTO, 2021)

CIAUTO (2021) detalla que ensambla modelos de las marcas Great Wall como son las camionetas Wingle 5, Wingle 7 y Wingle S, de Haval el mini SUV unos de los carros favoritos del público ecuatoriano el M4 y la marca de las van's más vendidas en el Ecuador en el año 2020 (fuente AEADE) las Shineray X30LS, X30 cargo.

Debido a que el proceso de pintura debe ser constante para mantener la línea de producción, las industrias automotrices utilizan agua clarificada y desinfectada en su tratamiento químico para la recolección de sólidos de pintura y a la vez disminuir su impacto en el medio ambiente.

Por otra parte, se investigó la actividad para tratar el agua que recircula en el proceso de pintura de las carrocerías en los vehículos. Actualmente en la empresa CIAUTO Cía. Ltda. el operario encargado en retirar los sólidos en suspensión que se genera por las pequeñas partículas de pintura realiza la recolección de forma manual, mediante una red de pesca con mango telescópico, esta labor de recolección lo realiza durante 30 minutos, 3 veces en las 8 horas de jornada laborable, la recolección al ser manual no permite retirar en su totalidad los sólidos de la superficie del agua, como se muestra en la figura 2.

Figura 2

Recolección de sólidos de pintura automotriz



Nota. Para retirar los sólidos de pintura el operario lo realiza de forma manual.

Figura 3

Almacenamiento de los sólidos de pintura automotriz

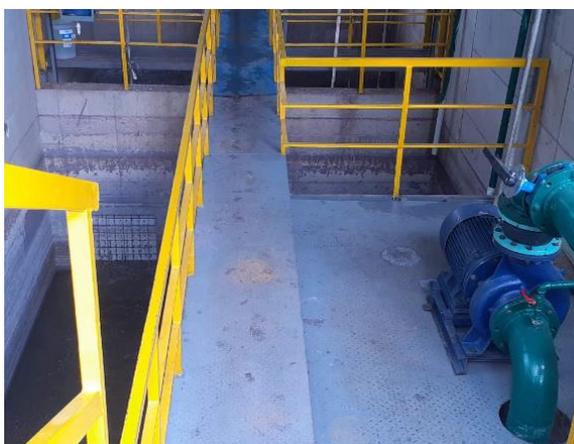


Nota. Los sólidos de pintura son depositados en un recipiente de plástico.

De acuerdo con datos investigados, en el proceso de pintura de la empresa CIAUTO Cía. Ltda. en sus 8 horas laborables al día según datos teóricos, aproximadamente 4.9 L/unidad, se dirige a la cisterna con capacidad de $70m^3$ que se muestra en la figura 4, para realizar el proceso de tratamiento mediante químicos (coagulantes, floculantes), tomando en consideración que se pintan 20 unidades/día y al no recolectar totalmente estos sólidos de pintura, generan mayor consumo de químicos para el respectivo tratamiento.

Figura 4

Cisterna para su tratamiento químico de las partículas de pintura automotriz



Para el tratamiento del agua residual se lo realiza en cisternas que se observan en la figura 5, previo al envío hacia la alcantarilla, implica un gran costo económico y una cantidad de químicos importantes como: cal hidratada, coagulante inorgánico, floculante MEIR, biocida oxidante, adsorbente MEIR, anti espumante.

Figura 5

Cisternas para el tratamiento del agua residual



Nota. Para cuidar el medio ambiente, el agua residual debe tener parámetros químicos adecuados antes de enviar al alcantarillado.

En la cisterna de la actual cabina de pintura, debido a que la recolección de sólidos de pintura es manual, cuando el floculante no es bien emulsionado queda precipitado y causa que la bomba de recirculación que se muestra en la figura 6 succione estos sólidos de pintura provocando taponamientos en el pie de válvula, incrustaciones en el impulsador de la bomba y reducción del área de los tubos que permiten la recirculación del agua.

Esto conlleva a un paro productivo debido a que el ensamblaje es en serie generando cuello de botella e inclusive la falta de partes y piezas para avanzar en los siguientes procesos.

Ing. Miguel Ángel Taipe, Coordinador de Mantenimiento de la empresa CIAUTO Cía. Ltda. estima que por un paro productivo de 15 minutos las ensambladoras en el Ecuador pierden 20 000 dólares aproximadamente.

Figura 6

Bomba de succión para la recirculación del caudal



Nota. Estas bombas permiten la recirculación del agua, para que después de su tratamiento químico regrese nuevamente a la cabina de pintura a seguir atrapando partículas de pintura automotriz.

Ahora bien, la empresa CIAUTO Cía. Ltda. implementó una nueva cabina de pintura, con una cisterna con capacidad de $18m^3$ que se observa en la figura 7 y figura 8 donde se realizará el proceso de tratamiento químico. Para el control del proceso y para la extracción de sólidos. En el anexo 1 se presentan los datos recopilados de la cantidad de sólidos recolectados en la nueva cabina de pintura.

Figura 7

Cisterna subterránea para su tratamiento químico de la nueva cabina de pintura

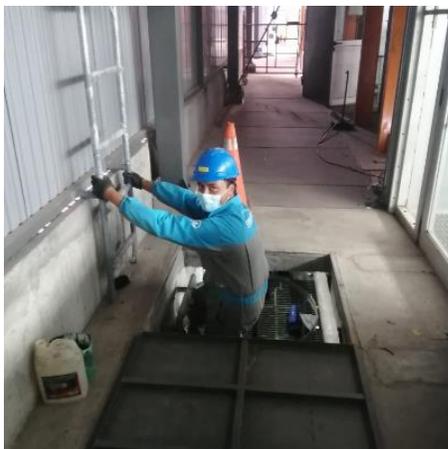


Figura 8

Interior de la cisterna subterránea



Nota. La cisterna subterránea cuenta con una capacidad de $18m^3$, para su tratamiento químico.

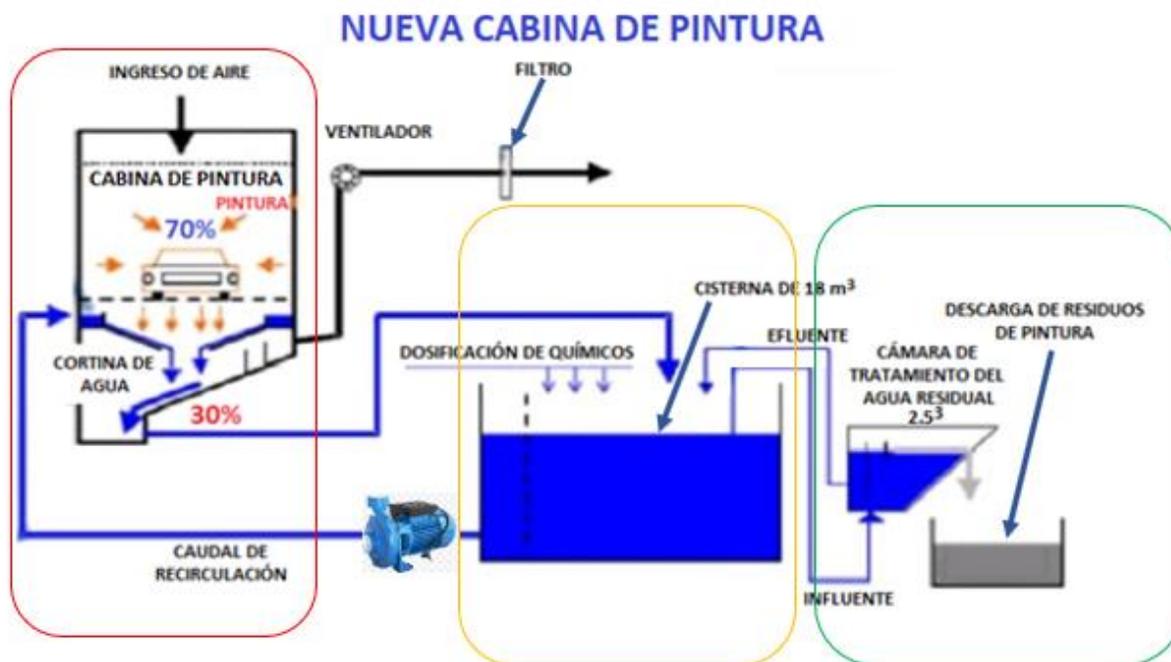
Al realizar la investigación con proveedores expertos en tratamientos de aguas residuales en ensambladoras automotrices, evidenciamos que es una oportunidad para nosotros los tesistas, diseñar, construir e implementar una cámara de flotación automática para la nueva cabina de pintura, tomando en consideración la información levantada de la actual cabina de pintura. Más aún si la empresa CIAUTO Cía. Ltda. promueve la interrelación entre la universidad y la industria como auspiciante para el desarrollo de este tipo de tesis.

Descripción resumida del proyecto

Levantada la información de la actual cabina de pintura en la empresa CIAUTO Cía. Ltda., el proyecto consiste en diseñar, construir e implementar una cámara de flotación automática en la nueva cabina de pintura para separar y remover sólidos de pintura automotriz, que parte desde una cisterna subterránea con capacidad de $18 m^3$, con la ayuda de una bomba sumergible succionará el caudal combinado con las partículas de pintura e irá directamente a la cámara de flotación con capacidad para $2.5m^3$, donde se realizará el proceso fisicoquímico (coagulación - floculación). En la figura 9 detalla la línea de proceso.

Figura 9

Proceso para pintar las carrocerías de los vehículos y el tratamiento químico de la nueva cabina de pintura



Nota. El cuadro rojo inicia el proceso de pintado de las carrocerías de los vehículos, el cuadro naranja representa el tratamiento químico y el cuadro verde la cámara de flotación de sólidos de pintura automotriz. Tomado de (Kurita, 2023).

Para lograr que los químicos se incorporen al flujo, se inyecta aire a presión atmosférica por la parte más baja del interior de la cámara de flotación, a causa de la inyección de aire proporcionará turbulencia del caudal y se formen los sólidos de pintura ascendiendo a la superficie. En el interior de la cámara cuenta con pantallas deflectoras con el fin de retener los sólidos de pintura. Con la ayuda de barrederas superficiales arrastradas por cadenas sin fin, ayuda a la extracción de sólidos, llevando a un depósito ubicado en un extremo de la cámara de flotación. Los planos de la nueva cabina de pintura y de la cámara de flotación se adjunta en el anexo 2.

El diseño se divide en tres fases: mecánica, electromecánica y automatización en base a los requerimientos de la empresa, normas de seguridad y construcción que rigen en el Ecuador.

El diseño mecánico consta de una cámara de flotación con capacidad de $2.5m^3$ para su tratamiento químico y un sistema de transmisión de cadenas sin fin conectado a una barredera, para garantizar su funcionamiento se realiza la selección del material a utilizar mediante un análisis estático y también como el dimensionamiento del mismo enfocado en la distribución de los elementos mecánicos y electromecánicos que forman parte de la implementación del sistema apoyados en un software CAD/CAM/CAE.

En el diseño automático inicia con la selección de componentes que permitan operar el sistema con un PLC como elemento central, se controla el encendido y apagado del motor - reductor, el sistema de barrederas trabaja de forma intermitente según se vayan formando los sólidos de pintura, así como para seguridad se instala un sensor de nivel alto y bajo que controla el encendido o apagado de la bomba sumergible en caso que ocurra taponamientos en la tuberías, para que no rebose el líquido por las paredes de la cámara. Para seguridad y mantenimiento el sistema trabaja de forma manual y automática.

En el diseño electromecánico se implementa un tablero de control que permite operar el sistema según la información de los últimos equipos construidos bajo la normativa IEC (60529) que define el diseño y la implementación del tablero de control. En esta etapa también se contempla el cableado de los equipos conectados al sistema.

En todas las fases de desarrollo: diseño, construcción e implementación del sistema estará ajustado a los requerimientos de la empresa CIAUTO Cía. Ltda., específicamente del Proceso de Pintura, está apoya la normativa (INEN-ISO 12100) u otra normativa que considere la empresa, en caso de no existir dicha normativa se utilizará normas aplicables de origen internacional.

Se realiza una fase de pruebas que están basadas en la correcta calibración de velocidad del sistema de barrederas superficial, tiempo de encendido del sistema de barrederas para la remoción de sólidos de pintura, adecuada cantidad de suministro de químicos (coagulante, floculante), ingreso de caudal y aire a presión atmosférica a la cámara de flotación, además se cuenta con un manual de operaciones.

Justificación e importancia

Desde el 10 de enero del 2013, cuando comenzó a funcionar las instalaciones de la Empresa Autopartista Ciudad del Auto CIAUTO Cía. Ltda. de la ciudad de Ambato, ha ido incrementando y desarrollando nuevos sistemas metodológicos y estrategias con el fin de mejorar la productividad mediante herramientas tecnológicas en el sector Automotriz. Se ha demostrado que las industrias automotrices requieren que cada vez se vayan innovando e implementando servicios tecnológicos más eficaces, más rápidos, que sean más amigables con el operario y con el medio ambiente.

El diseño, construcción e implementación de la cámara de flotación automática en la nueva cabina de pintura para separar y remover sólidos de pintura automotriz, permitirá a la empresa CIAUTO Cía. Ltda. retirar los sólidos de pintura de forma automática, disminuir costos económicos y cantidad de químicos importantes para el respectivo tratamiento.

Lo más importante, la bomba de recirculación no succionará estos sólidos de pintura provocando taponamientos en el pie de válvula, incrustaciones en el impulsador de la bomba y reducción del área de los tubos que permiten la recirculación del agua y al mismo tiempo no afectará en el paro productivo lo que conllevaría a una cifra considerable de pérdidas económicas.

Este proyecto de tesis aspira realizar la construcción e implementación de este sistema considerando una inversión interesante para la empresa CIAUTO Cía. Ltda. que requiere de este sistema, como se detalla en la tabla 2 la primera comparativa.

Tabla 2*Comparación económica de un sistema internación vs cámara de flotación*

Descripción	Cantidad	Total (\$)
Sistema de flotación por aire disuelto (DAF) $7.2 \frac{m^3}{h}$ (internacional).	1	80 300.00
Cámara de flotación a presión atmosférica $7.5 \frac{m^3}{h}$ (tesistas).	1	10 000.00

Nota. El costo del sistema de la empresa internacional no incluye transporte e instalación.

El desarrollo de este trabajo de titulación aportará a fortalecer la industria automotriz con la integración de tecnologías y herramientas que tiene el país para cumplir objetivos enfocados a la remoción y recolección de sólidos de pintura en el Proceso de Pintura. La misma puede servir como línea base para proyectos similares.

La investigación recopilada e información levantada en la empresa CIAUTO Cía. Ltda. se presentó a la mesa directiva como se observa en la tabla 3, y se considera que es un proyecto importante y necesaria su implementación, que beneficiará al proceso de aplicación de pintura a las carrocerías de los vehículos, por tal motivo se han comprometido a colaborar brindando las facilidades para el desarrollo de la presente propuesta. Los tesistas aportarán con el desarrollo de la ingeniería aplicando los conocimientos adquiridos en la Universidad.

Tabla 3

Estudio del proceso para pintar las carrocerías de los vehículos

Actividades	Análisis
<p>Levantamiento de información del proceso para pintar las carrocerías de los vehículos y funcionamiento de la nueva cabina de pintura.</p>	
<p>Visualización de la zona donde se instalará la cámara de flotación.</p>	
<p>Presentación de la información recopilada y propuesta del sistema</p>	

Nota. Para el diseño y ubicación del sistema se levantó información del proceso.

Objetivos

Objetivo general

Diseño, construcción e implementación de una cámara de flotación automática en la nueva cabina de pintura para separar y remover sólidos de pintura automotriz en suspensión mediante el control de un mecanismo barredera en la empresa Ciudad del Auto CIAUTO Cía. Ltda. En la Provincia de Tungurahua.

Objetivos específicos

- Levantar información de la empresa CIAUTO Cía. Ltda. correspondiente al Proceso de Pintura.
- Diseñar la parte estructural, control eléctrico y seleccionar los componentes eléctricos, mecánicos de la cámara de flotación, sus dimensiones y disposición de los elementos para su protección.
- Construir la estructura mecánica e implementación del sistema de control mediante un PLC LOGO V8.3 para automatizar el proceso.
- Validar la hipótesis mediante la calibración de las variables con relación a la cámara de flotación.

Hipótesis

¿El diseño, construcción e implementación de una cámara de flotación automática mediante un control mecanismo barredera permitirá separar y remover sólidos de pintura de la nueva cabina de pintura automotriz en la empresa CIAUTO Cía. Ltda.?

Capítulo II

Fundamentación teórica

Flotación

De acuerdo con (Crítes & Tchobanoglous, 2000) la flotación es una operación unitaria usada para separar sólidos o líquidos contenidos en una fase líquida. La separación se consigue introduciendo finas burbujas de gas (generalmente aire) en la fase líquida, que se adhieren al material particulado y, gracias a la fuerza ascensional, el conjunto partícula - burbuja de gas sube hasta alcanzar la superficie del líquido. De esta forma es posible lograr que floten partículas con densidad mayor a la del líquido; además, se favorece la ascensión a la superficie de partículas con densidad menor a la del líquido (p. ej., suspensión de aceite en agua). Unidades de flotación con barredores de fondo para partículas pesadas se han utilizado a cambio de la sedimentación en casos donde la mayor cantidad de las partículas en suspensión tienen densidad cercana a la densidad del agua. La flotación se emplea frecuentemente en el espesamiento de lodos, aunque también se ha usado para remover algas en efluentes de lagunas de estabilización, con diferentes grados de éxito. Pág. 290

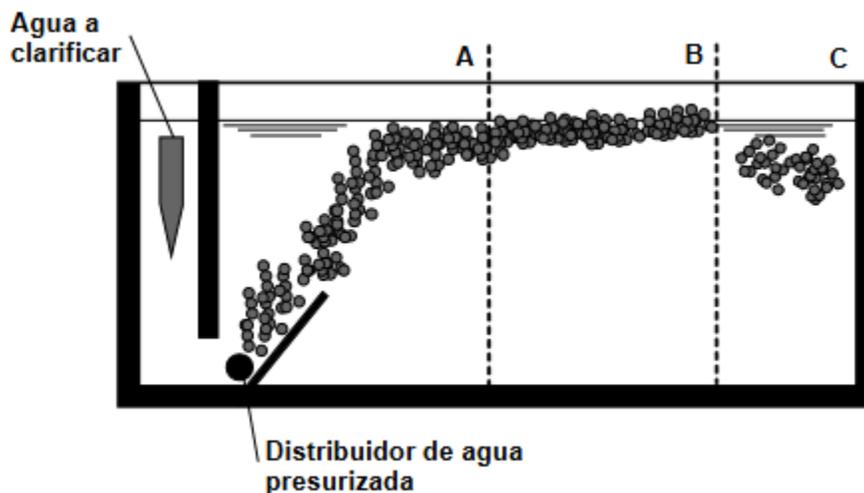
Cámara de flotación

La cámara de flotación puede ser de sección rectangular o circular. En el caso de cámaras rectangulares es recomendable la instalación de una pantalla con un ángulo de inclinación de 60° con la horizontal y con 30 a 50 cm de largo, conforme se muestra en la figura siguiente. El ancho de la cámara depende del tipo de equipo usado para el raspado del material flotante y rara vez excede de 8 metros.

El largo puede variar entre 4 y 12 metros siempre que no ocurran las situaciones A o C. En el caso A, el largo es insuficiente, y en el caso C, hay sedimentación de material flotante por exceso de longitud de recorrido. (Suárez López et al., 2013), como se muestra en la figura 10.

Figura 10

Cámara de flotación rectangular de sólidos suspendidos



Nota. Tomado de (Suárez López et al., 2013).

Celdas de flotación

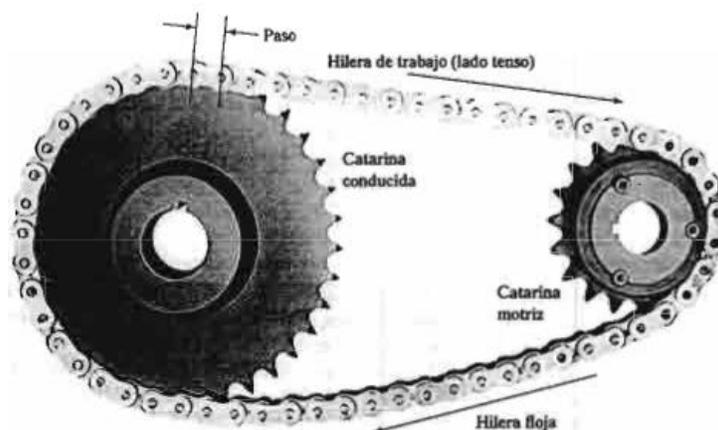
Ortiz Oliveros (2002) menciona que el diseño de las celdas de flotación convencionales consiste en definir las dimensiones del equipo en el que se realizará el proceso físico de separación de los contaminantes indeseados, cuidando el cumplimiento de los parámetros de diseño típicos, como son: carga hidráulica y tiempo de retención hidráulica. (pág. 143)

Transmisión por cadena

En muchos casos, y por diversas causas, en que no pueden utilizarse las transmisiones por correa, estas se pueden sustituir por las transmisiones por cadenas, constituidas por cadenas de eslabones articulados que se adaptan a ruedas dentadas, que hacen el efecto de poleas, formando un engrane. (Odetto, n.d.) La figura 11 se observa una transmisión común de cadena.

Figura 11

Transmisión por cadena de rodillos



Nota. Tomado de (Mott, 2006).

(Challenge, n.d.) afirma que se dispone de diversos tipos de cadenas ISO, BS, ANSI:

- Cadena de rodillos ISO. Estándar, lado recto, pin extendido, pin hueco, de acero inoxidable, planteado en zinc, planteado en cinc, con paso doble.
- Cadena e rodillo ANSI. Estándar, para trabajo pesado, con horquilla, para trabajo pesado y con horquilla, con placa lateral recta, pin extendido, en acero inoxidable, planteado en níquel, planteado en cinc, de paso doble (con pin extendido, pin hueco y especiales). (Pág. 1)

Mott (2006) describe que la capacidad de transmisión de potencia de las cadenas tiene en cuenta tres modos de falla:

- Fatiga de las placas de eslabón, debido a la aplicación repetida de la tensión en el lado tenso de la cadena.
- El impacto de los rodillos al engranar en los dientes de las catarinas.
- La abrasión entre los pernos de cada eslabón y sus bujes.

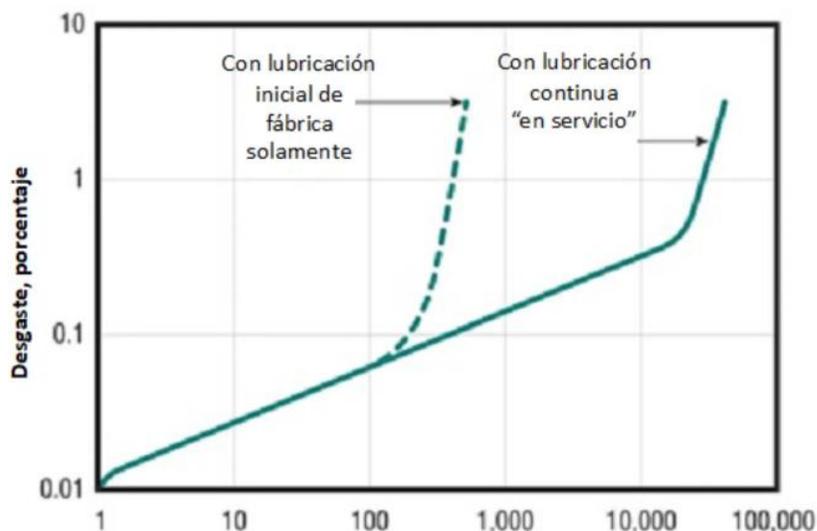
Es crítica la buena lubricación para el funcionamiento satisfactorio de una transmisión de cadenas. Los fabricantes recomiendan el método de lubricación para las combinaciones dadas de tamaño de cadena, Catarina y velocidad. (pág. 285)

Efectos de la lubricación en el funcionamiento de la cadena

Wright (2021) menciona que “las trasmisiones por cadena y los transportadores funcionarán mejor y durarán más cuando se proporcione una lubricación adecuada y oportuna. Una regla general es que la lubricación adecuada puede prolongar la vida útil de la cadena hasta 100 veces”, como se muestra en la figura 12.

Figura 12

Lubricación adecuada para cadenas de transmisión



Nota. Con una adecuada lubricación la vida útil de la cadena aumentará. Tomado de (Wright, 2021).

Métodos de lubricación

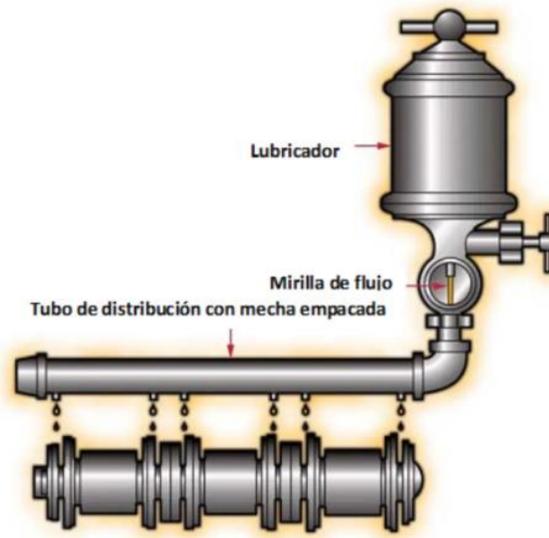
Existen tres modelos diferentes de lubricación que depende de la velocidad de funcionamiento y la potencia que se transmite.

Tipo A. Lubricación manual o por goteo

“El aceite se aplica en forma copiosa con una brocha o un canalón con vertedor, al menos una vez cada 8 h de funcionamiento. Para lubricación por goteo, el aceite alimenta directamente a las placas de eslabón” (Mott, 2006), como se muestra en la figura 13.

Figura 13

Lubricación por goteo



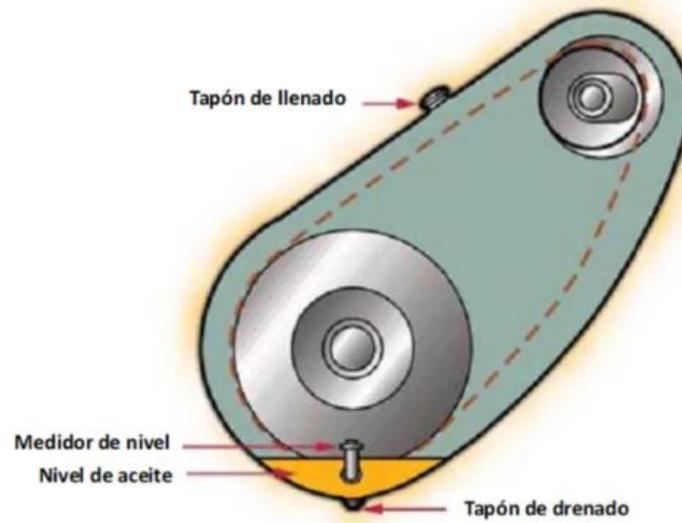
Nota. Tomado de (Wright, 2021).

Tipo B. lubricación de baño o con disco

La cubierta de la cadena proporciona un colector de aceite, en el que se sumerge la cadena en forma continua como se observa en la figura 14. También se puede fijar un disco o un lanzador a uno de los ejes, para que levante el aceite hasta un canal, arriba de la cadena inferior. Entonces, el canal entrega una corriente de aceite a la cadena. Así, la cadena misma no necesita sumergirse en el aceite como se observa en la figura 15. (Mott, 2006)

Figura 14

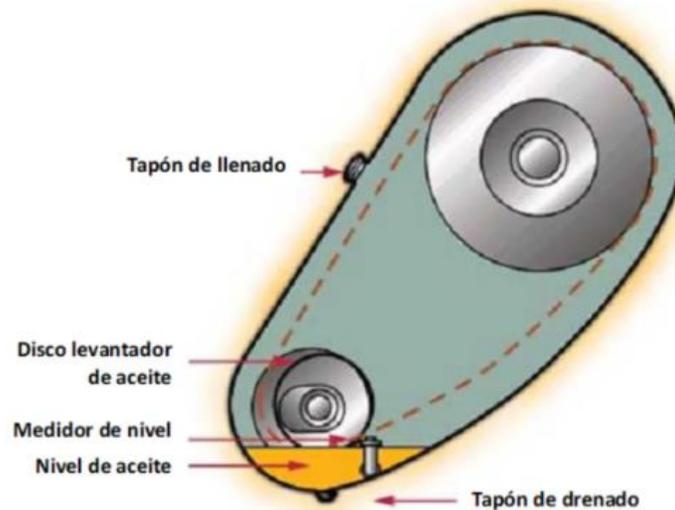
Lubricación por baño de aceite



Nota. Tomado de (Wright, 2021).

Figura 15

Lubricación por disco levantador de aceite



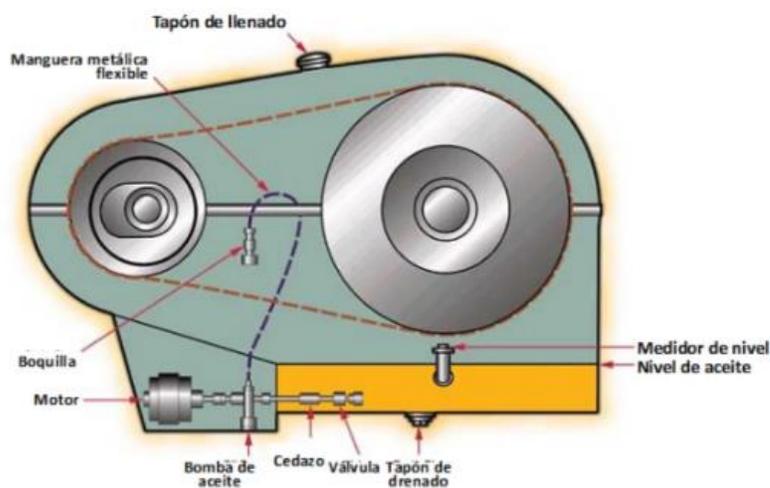
Nota. Tomado de (Wright, 2021).

Tipo C. lubricación con chorro de aceite

Una bomba de aceite envía un flujo continuo en la parte inferior de la cadena como muestra la figura 16.

Figura 16

Lubricación por flujo de aceite



Nota. Tomado de (Wright, 2021).

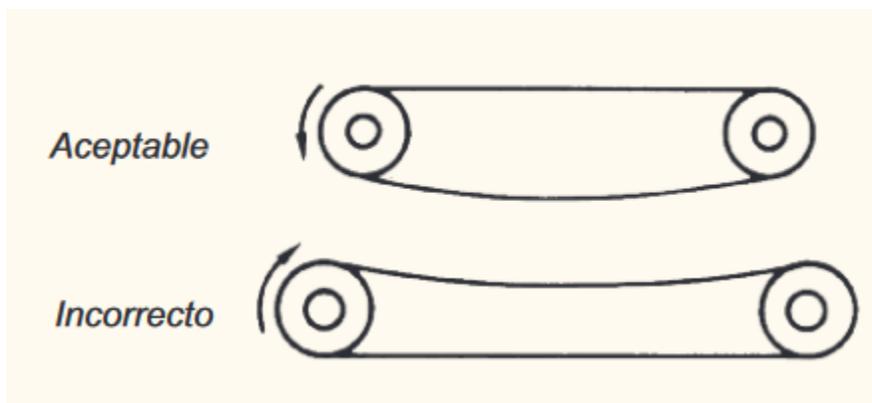
Con la aplicación adecuada de lubricación se prolongará la vida útil de la cadena. (Mott, 2006)

Disposición de la transmisión

(Ramsey, n.d.) afirma que los sistemas con distancia entre centros muy larga y con piñones pequeños deberían tener la comba en la parte inferior. En caso contrario se corre el peligro de que el tramo superior de la cadena choque con el inferior a medida que la cadena se estira. (pág. 23) en la figura 17 muestra los dos análisis del ajuste de cadenas.

Figura 17

Forma correcta del ajuste de cadenas



Nota. Tomado de (Ramsey, n.d.).

Fuerza de rozamiento

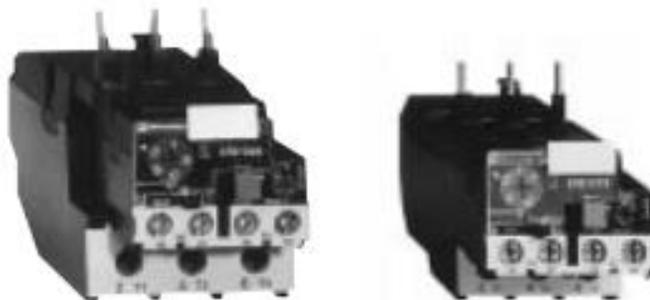
Si una partícula en movimiento se pone en contacto con una superficie áspera, puede ser necesario utilizar la ecuación fricción, la cual relaciona las fuerzas de fricción y normales F_f y N que actúan en la superficie de contacto mediante el coeficiente de fricción cinética, es decir, $F_f = \mu_k N$. Recuerde que F_f siempre actúan en el diagrama de cuerpo libre opuesta al movimiento de la partícula con respecto a la superficie con la que está en contacto. Si la partícula se encuentra al borde del movimiento relativo, entonces se utilizará el coeficiente de fricción estática. (Hibbeler, 2010)

Los relés térmicos de biláminas

“Los relés térmicos de biláminas que se muestra en la figura 18 son los aparatos más utilizados para proteger los motores contra las sobrecargas débiles y prolongadas. Se pueden utilizar en corriente alterna o continua” (Schneider, 1999).

Figura 18

Relés térmicos LR2-D de Telemecanique



Nota. Tomado de (Schneider, 1999).

Clases de disparo de relés térmicos

Según Schneider (1999) afirma lo siguiente:

Los relés térmicos se utilizan para proteger los motores de las sobrecargas, pero durante la fase de arranque deben permitir que pase la sobrecarga temporal que provoca el pico de corriente, y activarse únicamente si dicho pico, es decir la duración del arranque, resulta excesivamente larga.

- Relés de clase 10: Válidos para todas las aplicaciones corrientes con una duración de arranque inferior a 10 segundos.
- Relés de clase 20: Admiten arranques de hasta 20 segundos de duración.
- Relés de clase 30: Para arranques con un máximo de 30 segundos de duración.

En las aplicaciones con un arranque prolongado, conviene comprobar que todos los elementos del arrancador (contactores, aparatos de protección contra los cortocircuitos, cables, etc.) están dimensionados para soportar la corriente de arranque sin calentarse demasiado.

(pág. 17)

Categorías de empleo del contactor

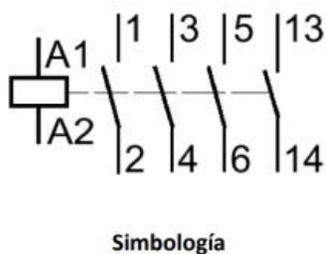
Las categorías de empleo resumen los principales campos de aplicación de los contactores en corriente alterna (categorías AC) y en corriente continua (DC). Definen, en el marco de una utilización normal de los contactores, las condiciones de establecimiento y corte de la corriente en función de la corriente asignada de empleo y de la tensión asignada de empleo U_e . Dependen:

- De la naturaleza del receptor controlado (resistencias, motor de jaula, etc.).
- De las condiciones en las que se efectúan los cierres y los cortes (motor lanzado o calado, inversión de sentido de marcha, etc.).

Las categorías de empleo AC-1 a AC-4 que figuraban en la norma IEC 158 aparecen recogidas en la norma IEC 60947 que se presenta en la tabla 4. (Schneider, 1999)

Figura 19

Contactora AC3 trifásica



Nota. Tomado de (UNLP, n.d.)

Tabla 4*Categorías de empleo de los contactores*

Categoría	Aplicación
AC-1	Se aplica a todos los receptores alimentados en corriente alterna y con un $\cos \phi \geq 0,95$.
AC-2	Arranque, frenado a contracorriente y funcionamiento por sacudidas de los motores de anillos.
AC-3	Arranque de los motores de jaula, con corte del motor lanzado.
AC-4	Arranque, frenado a contracorriente y funcionamiento por sacudidas de los motores de jaula.

Nota. Tomado de (Schneider, 1999).

Protección contra sobrecorriente

Los conductores que se muestra en la figura 20 de circuitos ramales y los equipos deben estar protegidos mediante dispositivos de protección contra sobrecorriente con valor nominal o ajuste.

Cargas continuas y no continuas. Cuando un circuito ramal alimenta cargas continuas o cualquier combinación de cargas continuas y no continuas, el valor nominal del dispositivo de sobrecorriente no debe ser menor a la carga no continua más el 125 % de la carga continua. (NEC, n.d.)

Figura 20

Conductores térmicos



Nota. Tomado de (General Cable, 2020).

Conductores: Ampacidad mínima y calibre mínimo

Circuitos ramales de no más de 600 voltios. Los conductores de los circuitos ramales deben tener una ampacidad no inferior a la carga máxima que van a alimentar. Cuando un circuito ramal alimente cargas continuas o cualquier combinación de cargas continuas y no continuas, el calibre mínimo del conductor del circuito ramal, antes de la aplicación de cualquier factor de corrección o ajuste, debe tener una ampacidad permisible no inferior a la carga no continua más el 125% de la carga continua. (NEC, n.d.)

Electrobombas sumergibles en acero inox BC-ST

Las bombas sumergibles en acero inox BC-ST que se observa en la figura 21 son aconsejables para el drenaje de aguas inmundas y cargadas en los sectores doméstico, civil e industrial. Están equipadas con rodete BICANAL que permite el bombeo de líquidos con presencia de cuerpos sólidos en suspensión de dimensiones hasta 50 mm de fibra corta, las principales características de la bomba sumergible se detallan en la tabla 5. (PEDROLLO, n.d.)

Tabla 5

Características técnicas de electrobombas sumergibles en acero inox BC-ST

Parámetros	Características
Campo de prestaciones	Caudal hasta $750 \frac{l}{min} \left(45 \frac{m^3}{h} \right)$. Altura manométrica hasta 16 m.
Límites de uso	Profundidad máxima de uso hasta 5m . Temperatura máxima de fluido hasta +40°C. Pasaje de cueros sólidos en suspensión hasta $\varnothing 50 mm$.

Nota. Tomado de (PEDROLLO, n.d.).

Figura 21

Electrobombas sumergibles en acero inox BC-ST



Nota. Tomado de (PEDROLLO, n.d.).

Coagulación – Floculación

Chávez (2017) plantea lo siguiente:

La coagulación y la floculación son dos procesos que tienen como finalidad la aglutinación de partículas en suspensión para la formación de pequeñas masas llamadas flóculos.

Estos procesos se utilizan en conjunto con otros tratamientos de aguas residuales, entre ellos el sistema DAF, centrifugación, sedimentación, entre otros.

De forma más explicativa, la coagulación mediante el uso de aditivos químicos (coagulantes), hacen posible la neutralización de las partículas coloidales en el efluente.

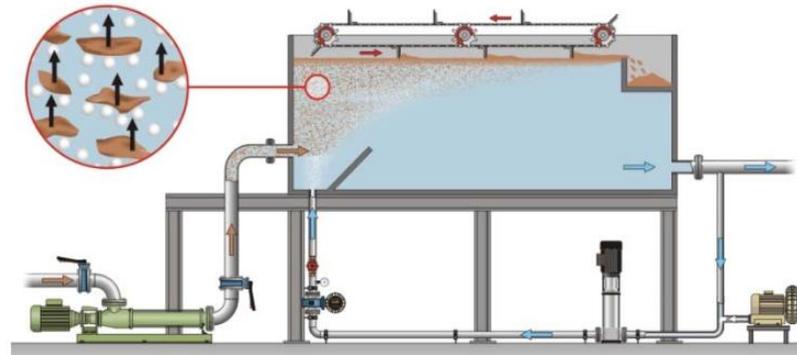
Por otro lado, la floculación se encarga de la aglomeración de las partículas pequeñas para formar los flóculos, convirtiéndose en partículas sólidas de mayor tamaño que se sedimentan más rápido. (pág. 12)

Aireación

Romero Rojas (2010) manifiesta que la aireación es el proceso mediante el cual el agua se pone en contacto íntimo con el aire para modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella como se observa en la figura 22. Su función principal, en el tratamiento de aguas residuales, consisten en proporcionar oxígeno y mezcla en los procesos de tratamientos biológico aerobio. (pág. 375)

Figura 22

Sistema de aireación



Nota. Tomado de (Véjar, 2015).

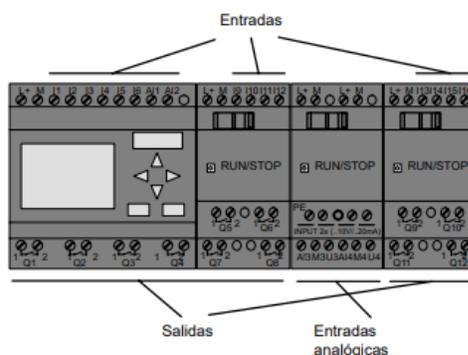
Descripción del PLC LOGO

- LOGO es el módulo lógico universal de Siemens.
- LOGO lleva integrados
 - Control
 - Unidad de mando y visualización con retroiluminación
 - Fuente de alimentación
 - Interfaz para módulos de ampliación
 - Interfaz para módulo de programación (Card) y cable para PC
 - Funciones básicas habituales preprogramadas, p.ej. para conexión retardada, desconexión retardada, relés de corriente, e interruptor de software
- Temporizador
- Marcas digitales y analógicas
- Entradas y salidas en función del modelo. (SIEMENS, 2003)

En la figura 23 se observa una combinación de varios módulos

Figura 23

PLC LOGO V8



Nota. Tomado de (SIEMENS, 2003)

El sensor de nivel modelo RLT-1000

El sensor de nivel modelo RLT-1000 que se muestra en la figura 24 desarrollado para la medición de nivel de líquidos. El acero inoxidable empleado es adecuado para una gran variedad de medios, como por ejemplo aceite, agua, gasoil y refrigerante.

Principio de medición Un imán permanente incorporado al flotador acciona con su campo magnético una cadena de medición de resistencias integrada en el tubo guía. Toda la estructura corresponde a un circuito resistivo 3 hilos. La señal de resistencia medida es proporcional al nivel de llenado. El modelo RLT-1000 puede suministrarse opcionalmente con una salida analógica de 4 ... 20 mA. (WIKAI, n.d.)

Figura 24

Sensor de nivel líquido flotador de acero inoxidable



Nota. Tomado de (WIKAI, n.d.).

Relé industrial

Finder (2020) detalla las características principales del relé industrial de 10 A:

- Montaje enchufable en zócalo Relé industrial 10 A
- 2 o 3 contactos conmutados
- Contactos sin Cadmio (ejecución preferente)
- Bobina AC o DC

En la figura 25 se presenta el relé para protección de sobrecargar este dispositivo ayudará a proteger al sistema de control.

Figura 25

Relé industrial de 10 A



Nota. Tomado de (Finder, 2020).

Flotación por aire disuelto (DAF)

Chávez (2017) detalla los parámetros principales de un sistema DAF:

El proceso de flotación por Aire Disuelto (DAF por sus siglas en inglés) que se muestra en la figura 26, es método de tratamiento que clarifica las aguas residuales mediante la remoción directa de sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, sólidos sedimentales.

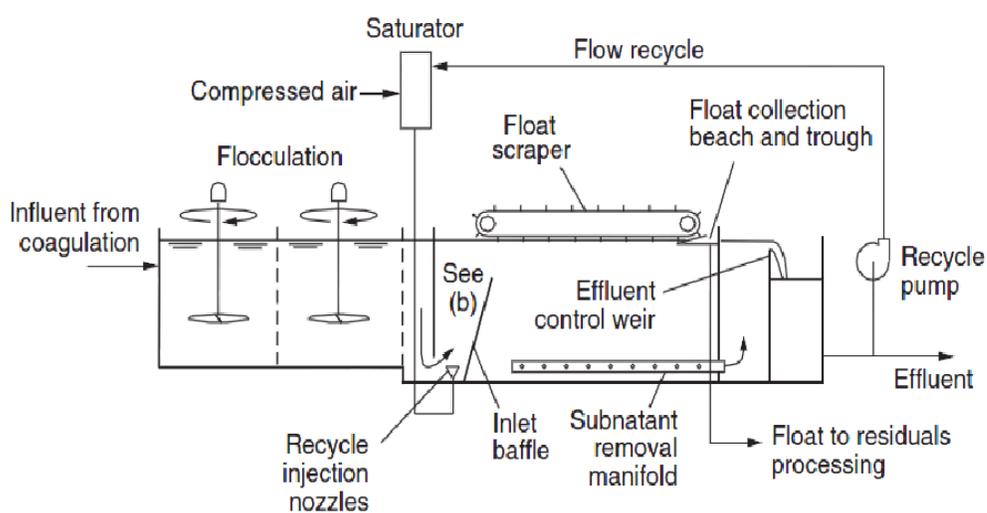
Consiste en la introducción de burbujas de aire para la separación y concentración de fangos, estas pequeñas burbujas de aire logran que las partículas formen un conjunto de densidad menor que la del agua y floten.

Cuando a la flotación por aire disuelto se le agrega un tratamiento de coagulación-floculación, el rendimiento en la separación de la materia sólida en suspensión es mucho mayor.

Este sistema de tratamiento de aguas puede alcanzar una eficiencia de hasta el 99% dependiendo del líquido a tratar. (pág. 11)

Figura 26

Sistema DAF



Nota. Tomado de (Alemayehu, n.d.).

Capítulo III

Diseño y construcción

Diseño del sistema

El este capítulo se propone a agrupar y determina las especificaciones técnicas que debe tener el diseño y construcción del sistema, por tal motivo se ha considerado las necesidades en la Planta de Pintura de la empresa CIAUTO Cía. Ltda.

Necesidades del cliente

Para conocer las necesidades de la Planta de Pintura en su tratamiento químico se efectuó una reunión con el coordinador de la Planta de Pintura Ing. Juan Zuleta para conocer más a detalle el proceso que se realiza para pintar las carrocerías de los vehículos y seguidamente conocer los parámetros primordiales a considerar en el desarrollo de la cámara de flotación automática de sólidos de pintura automotriz. Esta reunión se realizó en el objetivo de conocer información necesaria que permita la ejecución del proyecto sea adecuado y cumpla con las normativas técnicas para su funcionamiento. En la tabla 6 se presenta las necesidades de la empresa.

Tabla 6

Necesidades del cliente

Núm.	Necesidad	Imp.
1	Materiales resistentes a los químicos	5
2	Económico	5
3	Modelos ergonómicos	3
4	Fácil mantenimiento	5
5	Disposición correcta de cada componente	3
6	Dimensión reducida	3

Núm.	Necesidad	Imp.
7	Repuestos accesibles dentro del país	5
8	Fácil control por el operador	3
9	Conservar la seguridad y salud del personal	5
10	Control del nivel	4
11	Extracción automática de sólidos de pintura	4
12	Agua limpia para su retorno	5
13	Equipo de extracción de sólidos de pintura	5
14	Sistema de aireación	3
15	Reducción de tiempo de recolección de residuos	5
16	Facilidad de aumentar elementos y repotenciar el sistema	3

Nota. La Tabla 6 describe las necesidades y la importancia a considerar en el diseño de la cámara de flotación de sólidos de pintura, estos puntos se cuantifican en una escala de 1 a 5 siendo el 1 el de menos importancia y el 5 la máxima.

Especificaciones técnicas del sistema

A continuación, en la tabla 7 se muestra las demandas del cliente y las especificaciones técnicas para el diseño y construcción del sistema.

Tabla 7

Especificaciones técnicas de la cámara de flotación de sólidos de pintura

Núm.	Especificaciones técnicas
1	Estructura mecánica apropiado
2	Mantenimiento factible y rápido
3	Juntas soldadas según las especificaciones aplicable de AWS
4	Manual de operación

Núm.	Especificaciones técnicas
5	Elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos accesibles en el país
6	Alarma de Control de nivel
7	Cumplimiento de Normativa de Seguridad
8	Cumplimiento de Normativa para el diseño
9	Sistema eléctrico y mecánico fiable
10	Bajo costo de Manufactura

Nota. Las especificaciones técnicas son las sugerencias de la empresa mostradas en la tabla 7 interpretadas a una forma más técnica.

Desarrollo de la casa de calidad o DFD

A continuación, se desarrolla un estudio de las necesidades de la empresa y las especificaciones técnicas; se emplea el sistema gráfico Matriz QFD. UNIT (2009) plantea “el QFD es una técnica para el diseño de nuevos productos que aplican el diagrama matricial. Se la denomina, también, como hacer escuchar la voz del cliente en la organización” (pág. 74).

El despliegue de la función calidad, es una metodología para concebir, configurar y desarrollar un producto o servicio a partir de las necesidades de los clientes. En ellas participan todas las áreas implicadas en la empresa.

La construcción de la casa de la calidad está constituida por seis pasos básicos:

- Identificar las necesidades del cliente.
- Identificar las necesidades técnicas.
- Relacionar las necesidades del cliente con las necesidades técnicas.
- Llevar a cabo una evaluación de productos competidores.
- Evaluar las necesidades técnicas y desarrollar objetivos.
- Determinar qué requerimientos técnicos serán desplegados en el resto del proceso de producción. (Carro Paz & Gonzáles Gómez, n.d.)

“El despliegue de la función de calidad es un método de diseño de productos y servicios que recoge las demandas y expectativas de los clientes y las traduce, en pasos sucesivos, a características técnicas y operativas satisfactorias” (Yacuzzi & Martín, n.d.).

Tabla 8

Simbología especificaciones

Relación	Símbolo	Valor
Fuerte	●	9
Media	○	3
Débil	△	1

Nota. La tabla 8 muestra el valor cuantitativo que existe entre la relación necesidad y especificación técnicas, así como también el símbolo que representa a cada una.

VILLARROEL DUQUE (2015) menciona que existen 4 niveles según el nivel de impacto que tenga una acción sobre otra en la tabla 9 se muestra su simbología y significado.

Tabla 9

Relación entre cómo y cómo

Símbolo	Significado
++	Fuertemente positiva
+	Positiva
-	Negativa
--	Fuertemente Negativa

Figura 27

Matriz QFD o de Calidad

		Requerimientos Técnicos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Núm.	Necesidades	Núm. Imp.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
			Requerimientos Técnicos	Estructura mecánica apropiado	Mantenimiento factible y rápido	Junta soldadas según las especificaciones aplicable de AMMS	Manual de operación	Elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos accesibles en el país	Alarma de Control de nivel	Cumplimiento de Normativa de Seguridad	Cumplimiento de Normativa para el diseño	Sistema Eléctrico y Mecánico fiable	Bajo costo de Manufactura
1	Materiales resistentes a los químicos	5	○	●	●		●	●	●	●	●	●	
2	Económico	5	●	△		△	●				●	●	
3	Modelos ergonómicos	3	●	●			○		●	●	○	●	
4	Fácil mantenimiento	5	●	●	○	●	●	●	●	●	●	○	
5	Disposición correcta de cada componente	3	●	●		○	●			●	●	●	
6	Dimensión reducida	3	●	●			●		○	●	●	●	
7	Repuestos accesibles dentro del país	5	●	●			●		○	●	●	●	
8	Fácil control por el operador	3	●	●		●	●	●	○	●	△	○	
9	Conservar la seguridad y salud del personal	5	●	○		○	●	●	●	●	●	○	
10	Control del nivel	4					○	●		△	○		
11	Extracción automática de sólidos de pintura	4	●	○		●		△	●	○	○	●	
12	Agua limpia para su retorno	5	●	●	○	○		●	●	○		○	
13	Equipo de extracción de sólidos de pintura	5	●	●	●	●	●	○	○	●	●	●	
14	Sistema de aireación	3	●	●		●	○		●	●	○	○	
15	Reducción tiempo de recolección de residuos	5	●	●				△	○	○	●	●	
16	Facilidad de aumentar y repotenciar el sistema	3	●	○	△	○	●			●	●	●	
Ponderación Absoluta			528	446	123	233	408	222	333	433	465	432	3623
Ponderación Relativa			15	12	3,395	6,4	11,261	6,1	9,19	12	12,8	12	100
Importancia Relativa			1	3	10	8	6	9	7	4	2	5	

Nota. Casa de la calidad. Correlaciones entre las necesidades del cliente con los subsistemas para el desarrollo del proyecto.

Análisis de la casa de la calidad

Las necesidades principales del cliente se han clasificado mediante el peso relativo, los resultados que arroja la matriz QFD de la figura 27 para un diseño que cumpla satisfactoriamente los requerimientos de la empresa son:

- Estructura mecánica apropiada.
- Sistema Eléctrico y Mecánico fiable.
- Mantenimiento factible y rápido.
- Cumplimiento de Normativa para el Diseño.
- Bajo costo de Manufactura.

Diseño de la Estructura mecánica apropiada

Los elementos para el diseño de la estructura mecánica apropiada se basan en las características deseables por parte de la empresa.

El sistema de transmisión de cadenas y barrederas estará expuesto a productos químicos como: cal hidratada, coagulante inorgánico, floculante MEIR, biocida oxidante, adsorbente MEIR, anti espumante por tal razón los materiales deben ser resistentes y fiables a un ambiente corrosivo en el que se desenvuelve. El grado de importancia del producto es mayor en la estructura mecánica apropiada y la confiabilidad del mismo, tanto de las barrederas como el sistema de transmisión de cadenas, así como también en la vida útil de estos elementos ya que deben soportar las cargas, tienen que ser dúctiles y tener una resistencia a la tensión adecuada para un trabajo óptimo del sistema por completo.

Los sistemas que se detallan en las tablas 10 y 11 corresponden a la selección de Sistema de Transmisión de Cadenas, las tablas 12 y 13 corresponden a la selección del material del sistema de barredera, se comparan basados en las características generales técnicas del sistema obtenidas con la metodología QFD, definiendo un grado de importancia para cada uno.

Tabla 10*Selección del tipo de material para la transmisión por cadena*

Material	Fácil instalación (x1)	Vida útil (x3)	Confiable (x5)	Económico (x3)	Lubricación (x2)	Mantenimiento (x4)	Σ
Cadena de Acero Inoxidabl e	5	9	10	9	4	5	137
Cadena de Acero normal	5	6	7	6	6	5	124
Cadena de Plástico	5	18	35	18	24	24	119
Cadena de Hierro Fundido	6	8	8	7	2	6	107
	6	24	40	21	4	24	
	5	5	7	8	4	5	
	5	15	35	24	8	20	

Nota. La calificación se encuentra en un rango de valoración del 0-10, con un factor de multiplicación aplicado en función del interés que le da la empresa a cada requerimiento

La siguiente selección se realiza en función a la aplicación, tomando en consideración la condiciones a la cual va estar expuesto el sistema de transmisión, estas características se muestran en la tabla 11.

Tabla 11*Generación y selección del material para la transmisión por cadena*

	Tiempo de vida útil	Costos de implementación	Tiempo de implementación	Σ
Cadena de acero inoxidable	9 18	10 30	9 27	75
Cadena de acero normal	6 12	7 21	5 15	48
Cadena de plástico	8 16	9 27	9 27	70

Nota. La calificación se encuentra en un rango de valoración del 0-10, con un factor de multiplicación aplicado en función del interés de cada parámetro dentro del proyecto.

De la tabla 11 se concluye que el material más adecuado para el sistema de transmisión por cadena, es de acero inoxidable y le sigue la cadena de plástico, pero se lo descartan por sus elevado costo y tiempo de implementación ya que no se pueden obtener de manera inmediata.

Por otro lado, se tiene la cadena de acero normal, que es la que menos condiciones tiene para este tipo de proyecto, pero al realizar un tratamiento térmico que proporciona la empresa y el recubrimiento de la cadena con grasa ayudará a evitar la corrosión prolongando así la vida útil de la cadena.

La siguiente selección se realiza en función a la aplicación, tomando en consideración la condiciones a la cual va estar expuesto la barredera, estas características se muestran en la tabla 12.

Tabla 12

Selección del material para la barredera

	Fácil instalación (x1)	Resistencia química (x4)	Confiable (x5)	Económico (x4)	Deformarse fácilmente (x2)	Mantenimiento (x3)	Σ
Teflón	9	9	10	6	8	7	150
	9	36	50	24	16	15	
Caucho	4	6	7	7	4	6	111
	4	18	35	28	8	18	
Tol	8	9	8	4	3	8	130
	8	36	40	16	6	24	
Madera	7	4	7	8	3	4	108
	7	16	35	32	6	12	

Nota. La calificación se encuentra en un rango de valoración del 0-10, con un factor de multiplicación aplicado en función del interés que le da la empresa a cada requerimiento.

Tabla 13*Generación y selección del material para la barredera*

	Tiempo de vida útil (x2)	Costos de implementación (x3)	Tiempo de implementación (x3)	Σ
Teflón	8	6	6	51
	16	18	18	
Tol	9	8	8	60
	18	24	24	
Caucho	7	6	7	53
	14	18	21	

Nota. La calificación se encuentra en un rango de valoración del 0-10, con un factor de multiplicación aplicado en función del interés de cada parámetro dentro del proyecto.

El material más adecuado según la tabla 13 de selección para la barredera es de tol, pero debido a que se necesita un material con una rigidez normal para barrer los sólidos de pintura se eligió el de teflón con un nivel medio de tiempo de vida útil, costo y tiempo de implementación adecuados.

Para la parte de control se selecciona el componente acorde a las funciones que desempeñará el sistema, por tal razón se procede a analizar en la tabla 14.

Selección de Controlador para la Cámara de Flotación

Tabla 14

Selección de dispositivo de control

	Configurable (x1)	Económico (x4)	Confiable (x5)	Conectividad (alámbrica o inalámbrica) (x3)	Robusto (x2)	Consumo de energía (x3)	Plug and Play	Σ
PLC	8	3	10	9	9	3	6	139
Logo	8	12	50	27	18	6	18	
Arduino	10	9	3	8	7	6	3	120
	10	36	15	24	14	12	9	
DAQ	7	3	8	3	8	3	3	99
	7	12	40	9	16	6	9	
FPGA	3	3	7	3	7	3	3	88
	3	12	35	9	14	6	9	

Nota. La calificación se encuentra en un rango de valoración del 0-10, con un factor de multiplicación aplicado en función del interés que le da la empresa a cada requerimiento

Los dispositivos que cumplen con las características son los PLC Logo, Arduino y DAQ.

La siguiente selección se realiza en función del dispositivo más adecuado para el proyecto.

Estas características se muestran en la tabla 15.

Tabla 15

Generación y selección del dispositivo de control

	Tiempo de programación (x2)	Costos de implementación (x3)	Tiempo de implementación (x3)	Σ
PLC Logo	6	1	9	42
	12	3	27	
Arduino	8	9	7	64
	16	27	21	
DAQ	8	2	9	49
	16	6	27	

Nota. La calificación se encuentra en una escala de valoración del 0-10, con un factor de multiplicación aplicado en función de la importancia de cada parámetro dentro del proyecto.

El dispositivo más adecuado según la tabla 15 es el dispositivo Arduino, pero se descarta ya que el Arduino cuenta con una fase de seguridad para variaciones de corriente, que apaga la placa evitando así daños eléctricos lo que afecta al momento que este trabajando el sistema.

La empresa viendo las necesidades de automatizar la cámara de flotación y al ser un sistema referente al área industrial, proporcionó un Controlador PLC Logo V8 cumpliendo con las necesidades del coordinador de la Planta de Pintura con un sistema robusto y confiable.

Diseño mecánico de la cámara de flotación automática de sólidos de pintura automotriz

Se levantó información del proceso para pintar las carrocerías de los vehículos de la empresa CIAUTO Cía. Ltda. que es el proceso base para iniciar con el diseño. Se indagó varios sistemas que se encuentran en el mercado, además con el diálogo con personas especialistas en el área de tratamiento de aguas residuales industriales se recopiló información importante para iniciar con el proyecto, así como: dimensiones, actuadores y mecanismos elementales para el diseño construcción e implementación del sistema.

Diseño CAD de la cámara de flotación automática de sólidos de pintura automotriz

Considerando los elementos mecánicos, electromecánicos, eléctricos y materia prima que se dispone con facilidad en Ecuador, con un análisis minucioso se llevó a cabo varias alternativas diferentes con el fin que el sistema cumpla con lo requerido por la empresa, los bocetos desarrollados en un software CAD ayudan a visualizar las adecuaciones necesarias pertinentes del proyecto.

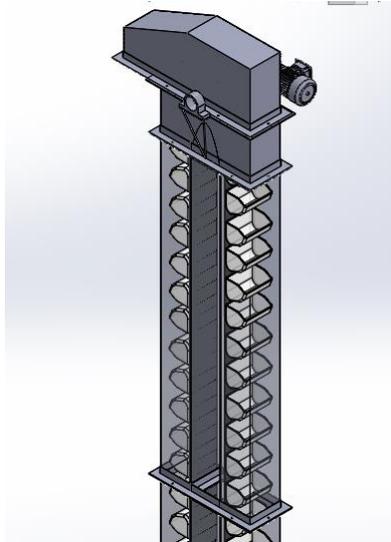
Diseño del primer prototipo

En la figura 28 muestra el primer prototipo elevadores de cangilones, donde se presenta varias desventajas para recolectar sólidos de pintura.

- Por sus propiedades químicas que presentan los sólidos de pintura, se quedan adheridos en los cangilones, de manera que regresan nuevamente al principio de su recolección.
- Los cangilones chocan en el agua de manera brusca causando que los sólidos de pintura se dispersen y se alejen de los mismos, presentando ineficiencia en su recolección.
- En la fosa de tratamiento químico, los sólidos están esparcidos por toda el área, a diferencia de este sistema que debe estar instalado en un punto específico, por tal razón no recogerá mayor cantidad de sólidos suspendidos.
- Necesita de mayor espacio y componentes para su diseño.

Figura 28

Primer diseño elevador de cangilones

***Diseño del segundo prototipo.***

En la figura 29 muestra el segundo prototipo, un Palín arrastrador donde se presenta varias desventajas para la recolección de sólidos de pintura:

- Después de recolectar los sólidos de pintura no existe un recipiente para la descarga.
- Las barrederas chocan con las pantallas de retención.
- Las pantallas de retención quedan sumergidas, por lo cual no cumplirán con su función establecida que es el de separación.
- Las partículas de pintura se sedimentan al no presenta burbujas de aire para mantener a flote los sólidos.
- Necesita mayor espacio y componentes para su diseño.

Figura 29

Segundo diseño Palín arrastrador

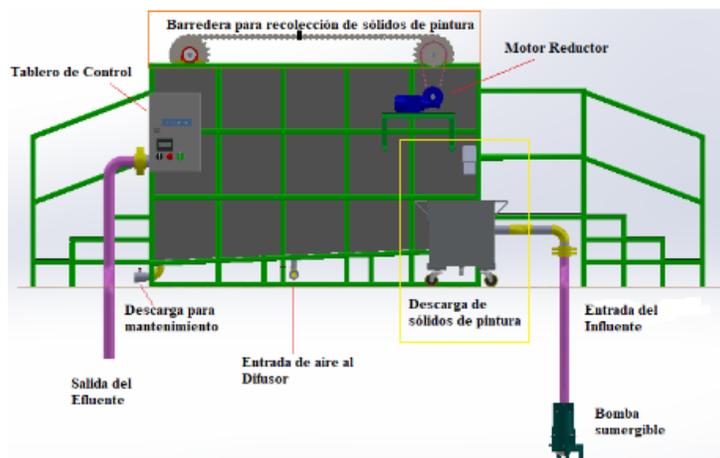


Diseño del tercer prototipo

En la figura 30 muestra el tercer modelo adaptando mejoras en el sistema, predominando una mejor adaptación de los elementos, ayudando a mantener la integridad física del operario, tiene una capacidad para el tratamiento de agua residual de $5 m^3$, posee de una pantalla deflectora a la entrada del caudal para garantizar que los sólidos de pintura automotriz floten, por otro lado cuenta con una pantalla deflectora de retención para evitar el paso de sólidos a la salida, en cambio al otro extremo del depósito esta la descarga de los sólidos que serán barridos por un mecanismo barredera que se desplaza por medio de un sistema de transmisión de engranes conectado al eje del motor-reductor.

Figura 30

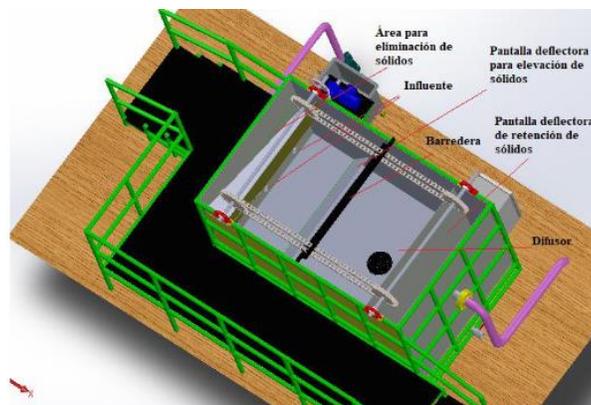
Elementos externos del tercer Prototipo de la cámara de flotación



Para asegurar que los sólidos de pintura se formen en la cámara, cuenta con un difusor a presión atmosférica como se observa en la figura 31 que ayuda a que los químicos (coagulante-floculante) se incorporen en el caudal a tratar.

Figura 31

Elementos internos del tercero prototipo de la cámara de flotación



Sin embargo, este sistema presenta sus desventajas:

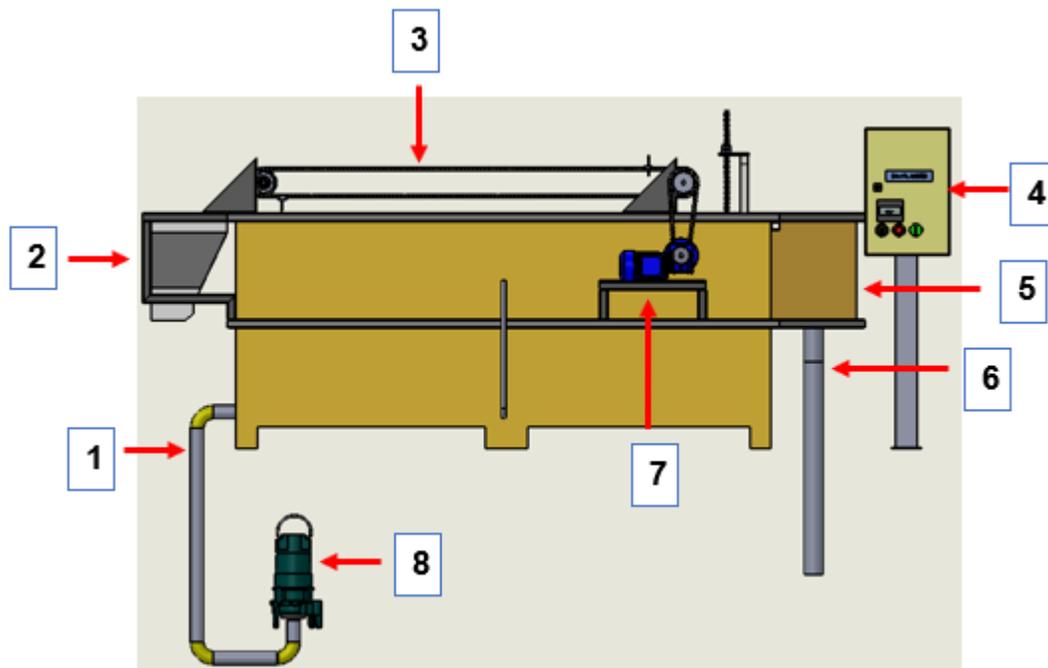
- El nivel del caudal no llega al nivel de las barrederas, por lo cual, no arrastra los sólidos a la descarga.
- La tubería de salida del caudal ya tratado se atasca y seguidamente el líquido se desborda por las paredes de la cámara de flotación.
- La pantalla deflectora de retención de sólidos no cumple con su función.
- Necesita mayor espacio para su instalación.

Diseño del cuarto prototipo

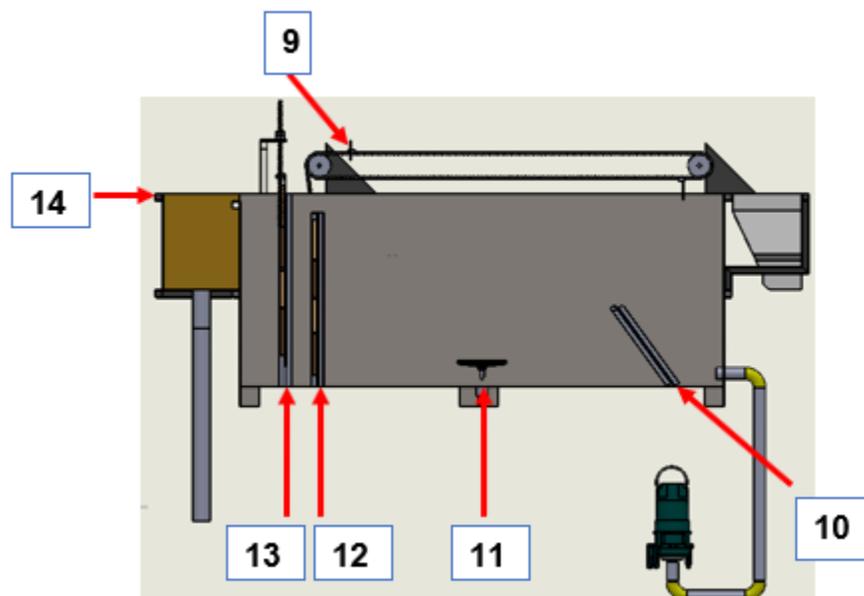
Por último, tras un análisis de varias empresas internacionales dedicadas a la fabricación de sistemas de Flotación por Aire Disuelto (FAD) además el diálogo con especialistas en el área de tratamientos de aguas residuales industriales y cumpliendo los requerimientos de la empresa CIAUTO Cía. Ltda. se llega a un modelo adecuado para el proceso, como se muestra en la figura 32 la parte exterior y la figura 33 la parte interna de la cámara de flotación.

Figura 32

Modelo final de la cámara de flotación automática

**Figura 33**

Modelo final del interior de la cámara de flotación automática



Para entender el sistema en la tabla 16 detalla los componentes de la cámara de flotación y una descripción breve la función de cada uno.

Tabla 16

Componentes de la cámara de flotación.

N.º	Componente	Descripción
1	Tubería ingreso de caudal	Ingresa el agua a tratar desde la fosa a la cámara.
2	Descarga de sólidos	Área donde se deposita los sólidos de pintura.
3	Sistema de transmisión	Sistema que permite desplazar las barrederas
4	Tablero de control	Permite poner en marcha el sistema
5	Retorno del agua tratada	El agua caerá en forma de cascada al recipiente que permite la salida del agua por gravedad
6	Tubería de retorno	Salida del agua tratada con dirección a la fosa
7	Motor reductor	Permite el desplazamiento del sistema barredera.
8	Bomba sumergible	Succiona el agua de la fosa con partículas de pintura a la cámara de flotación.
9	Barrederas	Arrastra los sólidos de pintura a la zona de descarga.
10	Pantalla deflectora de elevación de sólidos.	Pantalla de 50 cm con un ángulo de 60° con respecto a la horizontal que ayuda a impulsar las partículas de pintura a la superficie.
11	Difusores	Inyección de aire a presión atmosférica que causa turbulencia incorporando el coagulante y el floculante con las partículas de pintura.
12	Pantalla deflectora de retención de sólidos	Separa y retiene el paso de sólidos a la salida del caudal tratado.

N.º	Componente	Descripción
13	Compuerta regulable	Permite el paso del caudal por la parte inferior de la compuerta el mismo que será regulable en caso de necesitar mayor abertura en la parte inferior.
14	Sensor de nivel	En caso de existir taponamiento en las tuberías de salida por medio del sensor se encenderá una baliza de alerta y se desactivará la bomba sumergible.

Las características generales que sintetiza este modelo son:

A la entrada del caudal está una pantalla deflectora de elevación de 60º con respecto a la horizontal de la cámara, para garantiza que los sólidos de pintura asciendan a la parte superior del tanque de flotación.

A la salida del caudal cuenta con una pantalla deflectora para retener los sólidos de pintura, que está sumergido bajo el nivel del líquido, seguidamente el caudal pasa por la parte inferior de una pantalla de regulación y finalmente el agua tratada cae a un recipiente en forma de cascada que irá directamente a la cisterna subterránea.

La inyección de aire a presión atmosférica instalada en la parte inferior de la cámara de flotación beneficia a que los químicos (coagulante-floculante) se incorporen en el líquido.

El sistema barredera con una velocidad adecuada sin causar turbulencia permite retirar los sólidos suspendidos arrastrando a un extremo de la cámara donde está la descarga de los sólidos.

Al realizar el tratamiento del agua con sólidos de pintura automotriz, la cámara de flotación y el tablero de control no tienen contacto evitando posibles accidentes.

A la salida en caso de taponamiento de las tuberías, está un sensor de nivel alto y bajo que se acciona desactivando la bomba sumergible y se enciende una baliza de alerta en caso de existir taponamiento en las tuberías.

Dimensionamiento de la cámara de flotación de sólidos de pintura

En este apartado permite analizar las dimensiones para su tratamiento químico como también las disposiciones de los elemento internos y externos de la cámara de flotación.

Diseño mecánico de las dimensiones de la cámara de flotación

Una de los parámetros fundamentales para que el sistema tenga un buen funcionamiento depende de las dimensiones de la cámara de flotación, tomando en cuenta que la longitud donde se realizará el tratamiento químico debe ser adecuado como se muestra en la figura 10.

Por otra parte, el gasto volumétrico calcula la cantidad de volumen que atraviesa por un área en tiempo determinado. Millán Barrera et al., (2016) argumenta “la magnitud de salida, el gasto, Q , en este caso, se le denomina el mensurado de la medición a partir del tiempo y el volumen” (pág. 142).

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3.1)$$

Con la recopilación de datos, al momento de colocar los químicos (coagulante-floculante) el tiempo que tarde en emulsionar y posteriormente formarse los sólidos de pintura automotriz es de 30 minutos, que será el tiempo de retención (TRH) como señala Suárez López et al., (2013) el cual se considera que es el tiempo de permanecía de las partículas de pintura automotriz en el depósito.

Para obtener el volumen de la cámara de flotación se obtiene con la siguiente fórmula:

$$V = TRH * Q \quad (3.2)$$

Donde

V : volumen del tanque de flotación (m^3)

TRH : tiempo de retención hidráulica (h)

Q : caudal ($\frac{m^3}{h}$)

La bomba sumergible de recirculación para la succión de la cisterna subterránea a la cámara de flotación que estará en la superficie debe tener una capacidad de $5 \frac{m^3}{h}$.

Conociendo el tiempo que se demora en emulsionar los químicos (coagulante-floculante) como también el caudal de ingreso a la cámara de flotación se calcula la capacidad para su tratamiento químico.

Datos:

$$TRH = 30 \text{ min}$$

$$Q = 5 \frac{m^3}{h}$$

El tiempo de retención hidráulica en horas.

$$TRH = 30 \text{ min} * \frac{1h}{60 \text{ min}}$$

$$TRH = 0.5 h$$

Se ocupa la siguiente ecuación:

$$V = TRH * Q$$

Reemplazando valores

$$V = 0.5 h * 5 \frac{m^3}{h}$$

$$V = 2.5 m^3$$

Se deriva que la capacidad de la cámara de flotación para su tratamiento químico es de $2.5 m^3$.

En este caso, se planteó la geometría de la cámara de flotación, con una altura $L = 2.5 m$ y su ancho $b = 1 m$, considerando estos valores propuestos se obtiene el área superficial.

Ortiz Oliveros (2002) describe para obtener el área superficial de una celda de flotación se obtiene con la siguiente ecuación (pág. 144).

$$S = L * b \quad (3.3)$$

Donde:

L : longitud de la celda (m^2)

b : ancho de la celda (m)

Tomando en cuenta los valores de largo y ancho de la cámara de flotación se procede a calcular el área superficial.

Datos

$$L = 2.5 m$$

$$b = 1 m$$

Con la siguiente ecuación se obtiene el área de la cámara

$$S = L * b$$

Reemplazando valores

$$S = 2.5 m * 1 m$$

$$S = 2.5 m^2$$

Ortiz Oliveros (2002) plantea la siguiente ecuación para calcular la celda de flotación:

$$V = S * h \quad (3.4)$$

Despejando la altura:

$$h = \frac{V}{S}$$

Con los resultados obtenidos de volumen $V = 2.5 \text{ m}^3$ y superficie $S = 2.5 \text{ m}^2$, se reemplaza en la ecuación.

$$h = \frac{2.5 \text{ m}^3}{2.5 \text{ m}^2}$$

$$h = 1 \text{ m}$$

Tabla 17

Dimensiones geométricas de la cámara de flotación

Dimensiones	Volumen (m^3)	Área superficial (m^2)	Ancho (m)	Largo (m)	Altura (m)
Valores	2.5	2.5	1	2.5	1

Nota. Los valores de la tabla 17 son los recomendados para la construcción de la cámara de flotación, las dimensiones se detalla en el plano del anexo 3.

Análisis estructural de la cámara de flotación

Para su análisis estructural, se ha desarrollado en un software que ayuda a visualizar de mejor forma la presión ejercida que va estar sometido la cámara, para este diseño se lo ha ejecutado, usando el material ASTM A36 que es accesible en el país como el tubo cuadrado de (40x40) mm de acero negro y tol negro de 3.18 mm de espesor.

Realizado el modelo de la estructura de la cámara se origina el análisis de presión hidrostática para comprobar que la estructura soporte el caudal de recirculación, para esta aplicación es continuo.

Cidead (2009) agrega “la presión hidrostática es un punto del interior de un líquido que es directamente proporcional a la densidad del fluido, d , a la profundidad, h , y a la gravedad del lugar” (pág. 75).

$$P = \delta * g * h \quad (3.5)$$

Donde:

P : Presión

δ : densidad del líquido

g : gravedad

h : altura

$$P = 997 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * 0.9m$$

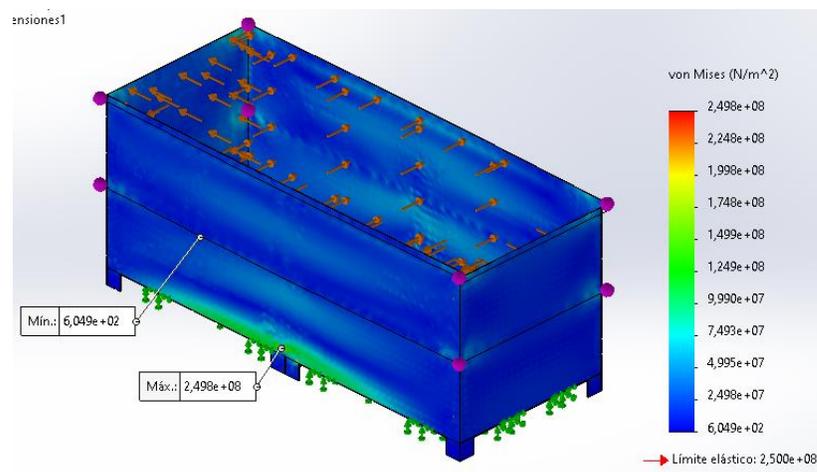
$$P = 8793.54 \frac{N}{m^2}$$

Después de ingresar los datos al software, la presión ejercida en las paredes internas y los apoyos fijos de la cámara de flotación se obtiene el siguiente resultado.

En la figura 34 se visualiza el límite elástico para el acero negro ASTM 36 que es de 250 MPa y el valor máximo de Von Mises de la estructura de la cámara que proporciona el software es de 249.8 MPa, con lo cual se puede afirmar que el material no sufrirá una deformación al ingresar el caudal.

Figura 34

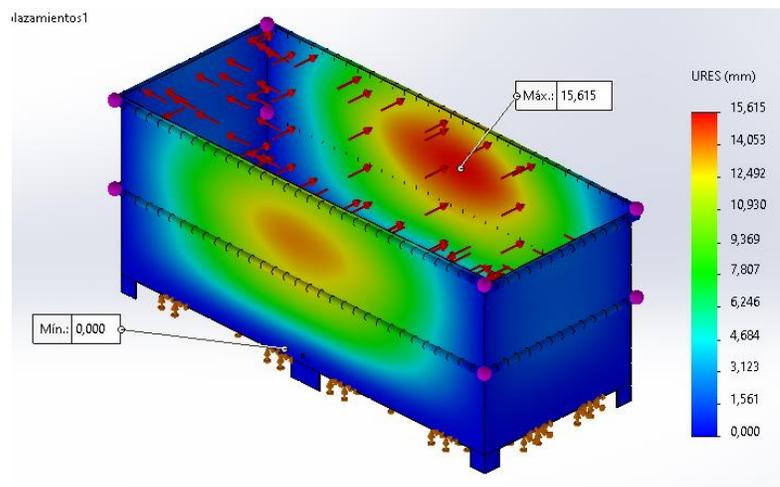
Análisis estructural en software utilizando esfuerzos de Von Mises



En la figura 35 se observa que el máximo desplazamiento que se produce en las paredes a lo largo de la cámara de flotación es de 15.615 mm, es decir, no genera un desplazamiento relevante para la estructura.

Figura 35

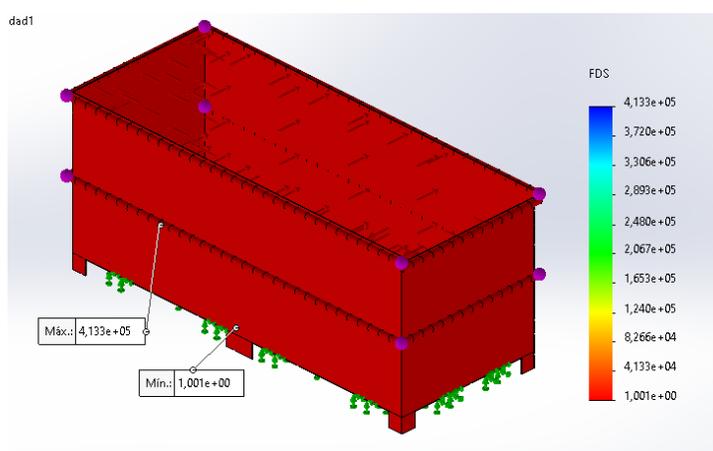
Análisis de desplazamiento



ARCE LUNA & MINCHALA BURI (2020) argumenta “el factor de seguridad tiene que ser mayor a uno, mientras mayor sea más seguro será el diseño” (pág. 28). En la figura 36 se observa un factor de seguridad mínimo de 1, es decir, que esta sobre el margen de seguridad. La cámara no estará expuesta a golpes por lo cual se puede afirmar que las paredes de la cámara no cederán.

Figura 36

Análisis de factor de seguridad

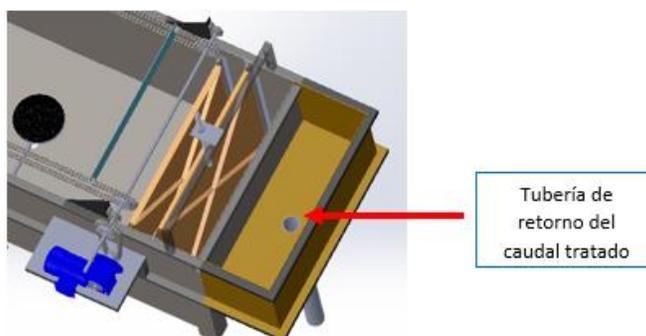


Diseño del diámetro de tubería para la salida del caudal tratado

Para que no exista inconveniente a la salida del caudal de la cámara de flotación como se observa en la figura 37, como taponamientos en las tuberías se procede a calcular el diámetro de la tubería que debe ser implementado.

Figura 37

Área de retorno del caudal tratado



Q_{in} : caudal de entrada

Q_{out} : caudal de salida

v_s : velocidad de salida

D_s : diámetro de tubería de salida

r : radio de tubería de salida

h : altura del recipiente de salida del caudal

A_s : área de tubería de salida

Datos

$$Q_{in} = \frac{5 \text{ m}^3}{h} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0.0021 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$D_s = 3 \text{ in} * \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 0.0762 \text{ m}$$

$$r = \frac{D_s}{2} = \frac{0.0762 \text{ m}}{2} = 0.0381 \text{ m}$$

$$A_s = \pi * r^2 = \pi * (0.0381)^2 = 0.0046 \text{ m}^2$$

Un recipiente con un orificio en la parte inferior, si la altura permanece constante a medida que el caudal ingrese la salida será el mismo que el de entrada, entonces:

$$Q = v * A \tag{3.6}$$

Donde:

Q : caudal $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$

v : velocidad del flujo $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$

A : área de la sección transversal de la tubería m^2

$$Q_1 = Q_{out}$$

$$0.0021 \frac{m^3}{s} = v_s * A_s$$

$$0.0021 \frac{m^3}{s} = v_s * 0.0046 m^2$$

$$v_s = \frac{0.0021 \frac{m^3}{s}}{0.0046 m^2}$$

$$v_s = 0.4565 \frac{m}{s}$$

Domingo (2011) afirma “como $S_1 \gg S_2$, de $v_1 S_1 = v_2 S_2$ se tiene que $v_1 \cong 0$, por lo que la velocidad de salida por un orificio en un depósito abierto a la atmósfera es $v_s = \sqrt{2gh}$ ” (pág. 40).

Reemplazando

$$\left(0.4565 \frac{m}{s}\right)^2 = (\sqrt{2gh})^2$$

$$0.2084 \frac{m^2}{s^2} = 2gh$$

$$h = \frac{0.2084 \frac{m^2}{s^2}}{2 \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$h = 0.0106 m = 1.06 cm$$

Con el resultado de $h = 1.06 cm$ es la altura máxima que llegará el caudal a la salida, por otro lado, el recipiente para la salida será diseñado con una altura de $40cm$ por tal razón se puede afirmar que el agua tratada no desbordará por las paredes de la cámara de flotación.

Diseño del par motor para el desplazamiento del mecanismo barredera

Para el desarrollo se considera la masa de todos los componentes que se muestran en la tabla 18 que involucran el movimiento del sistema barredera, en la figura 38 se visualiza el comportamiento del sistema.

Figura 38

Mecanismo barredera de sólidos de pintura



Tabla 18

Masa de los componentes del sistema barredera

Cantidad	Datos	masa unitaria (kg)	Masa total (kg)
2 cajas	Masa de la cadena	4.5	9
2.50 metros	Masa del eje	6.03	6.03
6	Masa del spoket	12.51	75.06
1	Masa de los sólidos	36.105	36.105
Total			126.195

La fuerza necesaria para mover el sistema debe ser mayor a la fuerza resistente, por lo que (Reynaga, 2021) afirma que la fuerza resistente es el producto de la fuerza normal y los coeficientes de rozamiento que intervienen en el movimiento.

Totten (2017) menciona que el coeficiente de fricción fluctúa entre 0.03 para un cojinete muy bien lubricado y un rango de 0.5 a 0.7 para un desplazamiento seco. Para el sistema de transmisión será lubricado, por ende, seleccionamos un factor de 0.03.

$$F = F_N * U_r \quad (3.7)$$

$$F = (126.195) * 9.8 \frac{m}{s^2} * 0.03$$

$$F = 37.10 N$$

La barredera se sumergirá 0.1 m para arrastrar los sólidos de pintura, Mila (2013) expresa la ecuación general para la fuerza que actúa en una pared. Se sabe que el líquido a tratar es agua entonces la densidad será $\delta = 997 \frac{Kg}{m^3}$.

$$F_B = \frac{1}{2} * \delta * g * W * D^2 \quad (3.8)$$

$$F_B = \frac{1}{2} \left(997 \frac{Kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * 1 m * 0.1^2 m^2 \right)$$

$$F_B = 48.85 N$$

Entonces la fuerza total de tiro necesario para mover el mecanismo barredera es:

$$F_T = F + F_B \quad (3.9)$$

$$F_T = 37.10 N + 48.85 N$$

$$F_T = 85.95 N$$

Par Resistente:

Radio del spoket que se estima para el cálculo para la transmisión es de 0.07m

$$T_r = F_T * R \quad (3.10)$$

$$T_r = 85.95N * 0.07m$$

$$T_r = 6.02 N * m$$

La velocidad del mecanismo barredera debe ser el apropiado, con el fin que al momento de desplazarse no cause exceso de turbulencia en la cámara de flotación y así los flóculos de pintura no se rompan y la barredera cumpla con su función. La velocidad que se propone para el diseño es de 15 rpm.

Aceleración:

$$v_f = \omega * R \quad (3.11)$$

$$v_f = 15 \frac{rev}{min} * 0.07 m$$

$$v_f = 1.05 \frac{m}{min} * \frac{1 min}{60 sg} = 0.02 \frac{m}{sg}$$

$$a = \frac{V_f - V_i}{t}$$

$$a = \frac{0.02 m/s - 0}{0.2 s}$$

$$a = 0.1 m/s^2$$

Fuerza Inercial:

$$F_i = m * a \quad (3.12)$$

$$F_i = 126.195 kg * 0.1 m/s^2$$

$$F_i = 12.7 N$$

Par Inercial:

$$T_i = F_i * R \quad (3.13)$$

$$T_i = 12.7 N * 0.07m$$

$$T_i = 0.9 N * m$$

Resolviendo Par Motor:

$$T_m = T_r + T_i \quad (3.14)$$

$$T_m = 6.02 N * m + 0.9 N * m$$

$$T_m = 6.92 N * m$$

Potencia Desarrollada:

$$P = T_m * \omega \quad (3.15)$$

$$P = 6.92 N * m * 15 \frac{rad}{min} * \frac{1 min}{60 sg}$$

$$P = 1.73 Watt * \frac{1 hp}{746 Watt} = 1.05 hp$$

$$P = 0.0023 hp$$

La fuerza necesaria para mover el sistema de transmisión es de 0.0023 hp para el desplazamiento del sistema barreadera, pero para garantizar su funcionamiento se sobredimensiona a 0.4 hp, y es un motor accesible en el mercado.

Diseño de la velocidad de salida del reductor

La empresa brindó la facilidad de un motor marca WEG trifásico con la siguiente placa de datos como se muestra en la figura 39.

Figura 39

Placa de datos de motor marca WEG



Por recomendaciones de la empresa para el proyecto se diseñará con un voltaje de 220 V, a continuación, en la tabla 19 se presenta las características principales del motor:

Tabla 19

Características principales del motor trifásico

Datos	Voltaje trifásico (V)	Amperaje (A)	Velocidad (rpm)	hp	Protección
Valores	220	6.08	1730	2	IP55

Por otro lado, se dispone de una caja de engranaje de gusano reductor de velocidad, marca WPS 60 como se muestra en la figura 40.

Figura 40

Caja reductora marca WPS 60



Como describe (Alibaba, n.d.) las características técnicas del reductor se presentan en la tabla 20.

Tabla 20

Datos técnicos de reductor GPS 60

Datos	Velocidad de entrada (rpm)	Velocidad de salida (rpm)	Arreglo de engranaje	Esfuerzo de torsión de salida
Valores	1800	14-280 rpm	gusano	2.6-1195 N*m

Con los datos técnicos obtenidos de la tabla 19 y 20, se conecta por medio de un acople el eje del motor con la entrada del eje del reductor y por medio de pruebas la relación del reductor es de 60:1. Se realiza una interpolación para calcular la velocidad del eje del reductor.

$$\begin{array}{lcl}
 60 \text{ vueltas} & \longrightarrow & 1 \text{ rpm} \\
 1730 \text{ vueltas} & \longrightarrow & \omega
 \end{array}$$

$$\omega = \frac{1730 \text{ vueltas} * 1 \text{ rev}}{60 \text{ vueltas}}$$

$$\omega = 28.83 \text{ rpm}$$

$$\omega_1 = 28.83 \text{ rpm}$$

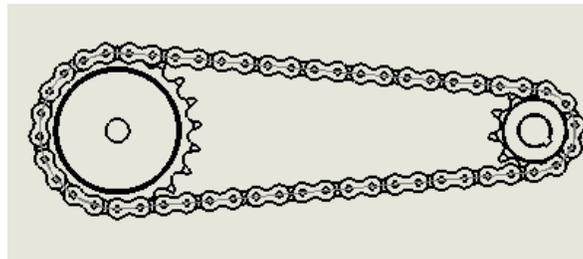
La salida del reductor tiene una velocidad de 28.83 rpm lo cual no cumple con las expectativas de diseño, para reducir la velocidad a la recomendada se procede a realizar la transmisión por cadena con los datos obtenidos.

Diseño de la transmisión por cadena

En la figura 41 se muestra el sistema de transmisión para reducir la velocidad y llegar a la óptima.

Figura 41

Sistema de transmisión por cadena



Datos

Velocidad del motor $\omega_1 = 28.83 \text{ rpm}$

Velocidad deseada $\omega_2 = 15 \text{ rpm}$

Fuerza teórica necesaria para mover el mecanismo barredera = 0.4 hp

Movido por un motor eléctrico

En la figura 42 se observa distintos factores de servicio dependiendo la aplicación y el tipo de carga a cuál va estar sometido.

Figura 42

Factores de servicio para transmisión por cadena

Factores para calcular el margen compensatorio de seguridad			
Tipo de carga	Clase de la fuente de potencia		
	Motor de combustión interna con convertidor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con embrague o caja mecánica
Uniforme	1.0	1.0	1.2
Fluctuante	1.2	1.3	1.4
Muy fluctuante	1.4	1.5	1.7

Nota. Tomado de (INTERMEC, n.d.)

Así mismo en el libro Mott (2006) afirma que, para transportadores con carga ligera y uniforme, el factor de servicio es $FS = 1$ (pág. 290) como muestra en la figura 42 el cual corresponde a esta aplicación. Por otra parte, Ramsey (2022) describe varias aplicaciones con su factor de servicio correspondiente (pág. 30).

1) Potencia de diseño

$$P.D = FS * P \quad (3.16)$$

$$P.D = 1 * 0.4 \text{ hp}$$

$$P.D = 0.4 \text{ hp}$$

Este debe ser en la práctica la potencia de transmisión que se busca.

2) Relación de velocidades

$$R.V = \frac{\omega_1}{\omega_2} \tag{3.17}$$

$$R.V = \frac{28.83 \text{ rpm}}{15 \text{ rpm}}$$

$$R.V = 1.92$$

Entonces la relación de velocidad será de 1:2

3) Selección del spocket pequeño y el tipo de banda y su lubricación

Con la velocidad de salida del reductor y potencia de diseño 0.4 hp se selecciona en la tabla de capacidades el paso y el número de dientes como muestra en la figura 43.

Figura 43

Capacidades de cadenas estándar

TABLA DE CAPACIDAD
CADENA ESTANDAR SENCILLA DE RODILLOS NO. 60 PASO 3/4"

No. de dientes por el conductor	RPM DEL MOTOR CONDUCTOR																											
	10	25	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1400	1600	1800	2000	2500	3000	3500	4000	4500			
9	0.15	0.33	0.62	0.16	1.87	2.16	3.12	4.04	4.94	5.82	6.68	7.54	8.38	9.21	9.99	8.77	6.96	5.70	4.77	4.08	2.92	2.22	1.76	1.44	1.21			
10	0.16	0.37	0.70	1.30	1.87	2.43	3.48	4.53	5.53	6.52	7.49	8.44	9.39	10.3	11.2	10.3	8.15	6.67	5.59	4.77	3.42	2.60	2.06	1.69	1.41			
11	0.18	0.41	0.77	1.44	2.07	2.60	3.87	5.02	6.13	7.23	8.30	9.36	10.4	11.4	12.5	11.9	9.41	7.70	6.45	5.51	3.94	3.00	2.38	1.95	1.63			
12	0.20	0.45	0.85	1.58	2.28	2.95	4.25	5.51	6.74	7.94	9.12	10.3	11.4	12.6	13.7	13.5	10.7	8.77	7.25	6.28	4.49	3.42	2.71	2.22	1.86			
13	0.22	0.50	0.92	1.73	2.49	3.22	4.64	6.01	7.34	8.65	9.94	11.2	12.5	13.7	14.9	15.2	12.1	9.89	8.29	7.08	5.06	3.85	3.06	2.50	0			
14	0.24	0.54	1.00	1.87	2.69	3.49	5.02	6.51	7.96	9.37	10.8	12.1	13.5	14.8	16.2	17.0	13.5	11.1	9.26	7.91	5.66	4.31	3.42	2.80	0			
15	0.25	0.58	1.08	2.01	2.90	3.76	5.41	7.01	8.57	10.1	11.6	13.1	14.5	16.0	17.4	18.8	15.0	12.3	10.3	8.77	6.28	4.77	3.79	3.10	0			
16	0.27	0.62	1.16	2.16	3.11	4.03	5.80	7.52	9.19	10.8	12.4	14.0	15.6	17.1	18.7	20.2	16.5	13.5	11.3	9.66	6.91	5.26	4.17	3.42	0			
17	0.29	0.66	1.24	2.31	3.32	4.30	6.20	8.03	9.81	11.6	13.3	15.0	16.7	18.3	19.9	21.6	18.1	14.8	12.4	10.6	7.57	5.76	4.57	3.74	0			
18	0.31	0.70	1.31	2.45	3.53	4.58	6.59	8.54	10.4	12.3	14.1	15.9	17.7	19.5	21.2	22.9	19.7	16.1	13.5	11.5	8.25	6.28	4.98	4.08	0			
19	0.33	0.75	1.39	2.60	3.74	4.85	6.99	9.05	11.1	13.0	15.0	16.9	18.8	20.6	22.5	24.3	21.4	17.5	14.8	12.5	8.95	6.81	5.40	4.42	0			
20	0.35	0.79	1.47	2.75	3.95	5.13	7.38	9.57	11.7	13.8	15.8	17.9	19.8	21.8	23.8	25.7	23.1	18.9	15.8	13.5	9.66	7.35	5.83	0	0			
21	0.36	0.86	1.55	2.90	4.17	5.40	7.78	10.1	12.3	14.5	16.7	18.8	20.9	23.0	25.1	27.1	24.8	20.3	17.0	14.5	14.4	7.91	6.28	0	0			
22	0.38	0.87	1.63	3.05	4.39	5.67	8.19	10.6	13.0	15.3	17.5	19.8	22.0	24.2	26.4	28.5	26.6	21.8	18.2	15.6	11.1	8.48	6.73	0	0			
23	0.40	0.92	1.7	3.19	4.60	5.96	8.59	11.1	13.6	16.0	18.4	20.8	23.1	25.4	27.7	29.9	28.4	23.3	19.5	16.7	11.9	9.07	7.19	0	0			
24	0.42	0.96	1.79	3.35	4.82	6.24	8.99	11.6	14.2	16.8	19.3	21.7	24.2	26.6	29.0	31.3	30.3	24.8	20.8	17.8	12.7	9.66	7.67	0	0			
25	0.44	1.00	1.87	3.50	5.04	6.52	9.40	12.2	14.9	17.5	20.1	22.7	25.3	27.8	30.3	32.7	32.2	26.4	22.1	18.9	13.5	10.3	8.15	0	0			
26	0.46	1.05	1.95	3.65	5.25	6.81	9.80	12.7	15.5	18.3	21.0	23.7	26.4	29.0	31.6	34.1	34.2	28.0	23.4	20.0	14.3	10.9	8.65	0	0			
28	0.50	1.13	2.12	3.95	5.69	7.37	10.6	13.8	16.8	19.8	22.8	25.7	28.5	31.4	34.2	37.0	36.2	31.3	26.2	22.4	16.0	12.2	0	0	0			
30	0.54	1.22	2.28	4.26	6.13	7.94	11.4	14.8	18.1	21.4	24.5	27.7	30.8	33.8	36.8	39.8	42.4	34.7	29.1	24.8	17.8	13.5	0	0	0			
32	0.57	1.31	2.45	4.56	6.57	8.52	12.3	15.9	19.4	22.9	26.3	29.7	33.0	36.3	39.5	42.7	46.7	38.2	32.0	27.3	19.6	14.9	0	0	0			
35	0.63	1.44	2.69	5.03	7.24	9.38	13.5	17.5	21.4	25.2	29.0	32.7	36.3	39.9	43.5	47.1	53.4	43.7	36.6	31.3	22.4	17.0	0	0	0			
40	0.73	1.67	3.11	5.81	8.37	10.8	15.6	20.2	24.7	29.1	33.5	37.7	42.0	46.1	50.3	54.4	62.5	53.4	44.7	38.2	27.3	0	0	0	0			
45	0.83	1.89	3.53	6.60	9.50	12.3	17.7	23.0	28.1	33.1	38.0	42.0	47.7	52.4	57.1	61.7	70.9	63.7	53.4	45.6	32.6	0	0	0	0			

Nota. Tomado de (INTERMEC, n.d.).

Al seleccionar capacidades muy bajas, el spocket conductor tendrá demasiados dientes y para el spocket conducido el número de dientes será el doble, que es raro ver un gran

número de dientes así mismo reduciendo espacio en la aplicación ya que al tener un mayor número de dientes el diámetro de los spockets aumentará, la capacidad de la tabla tiene que ser igual a la potencia de diseño calculada. Partiendo de estas condiciones dadas se resuelve.

La velocidad no se encuentra en la figura 43 por lo cual se debe realizar una interpolación para su verificación.

$$\begin{array}{ccc} 25 \text{ rpm} & \longrightarrow & 0.41 \text{ hp} \\ 28.83 \text{ rpm} & \longrightarrow & P \end{array}$$

$$P = \frac{28.83 \text{ rpm} * 0.41 \text{ hp}}{25 \text{ rpm}}$$

$$P = 0.47 \text{ hp}$$

El resultado cumple con la condición, seleccionando así una cadena estándar No. 60 con un paso de $\frac{3}{4}$ in y el spocket de 11 dientes. En la figura 43 al final de la tabla especifica el tipo de lubricación, para esta velocidad se recomienda una lubricación tipo A: a mano, con aceitera o brocha. Las medidas de la cadena se detallan en los planos del anexo 3.

4) Se calcula la cantidad de dientes del Spocket grande

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (3.18)$$

$$N_2 = \frac{\omega_1}{\omega_2} * N_1$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = 1.92$$

$$N_2 = 1.92 * 11$$

$$N_2 = 21.12$$

Se Selecciona el número de dientes que existe en el mercado de 21 dientes

5) Velocidad de salida esperada

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1 * N_1}{N_2}$$

$$\omega_2 = \frac{28.83 \text{ rpm} * 11}{21}$$

$$\omega_2 = 15.10 \text{ rpm}$$

6) Se calcula los diámetros de los Spockets

$$D_1 = \frac{\rho}{\sin(180^\circ/N_1)} \quad (3.19)$$

$$D_1 = \frac{0.75 \text{ in}}{\sin(180^\circ/11)}$$

$$D_1 = 2.66 \text{ in}$$

$$D_2 = \frac{\rho}{\sin(180^\circ/N_2)}$$

$$D_2 = \frac{0.75 \text{ in}}{\sin(180^\circ/21)}$$

$$D_2 = 5.03 \text{ in}$$

Se selecciona medidas estándar, que se encuentra disponibles en el mercado, los datos se presentan la tabla 21, las medidas se detallan en los planos del anexo 3.

Tabla 21

Spockets estandarizados

Spocket	Numero de dientes	Diámetro exterior (in)
Spocket conductor	11	3
Spocket conducido	21	5.43

Cálculo para tensar correctamente la cadena de transmisión

En su estudio Patiño Duque et al. (2017) concluye que para un montaje horizontal con un ángulo $\alpha = 0^\circ$ se utiliza la siguiente ecuación:

$$Y = 0.02 * A \rightarrow \text{para } \alpha < 45^\circ \quad (3.20)$$

Donde

Y: distancia de pandeo horizontal de la cadena

A: longitud entre centro

$$Y = 0.02 * 200 \text{ cm}$$

$$Y = 4 \text{ cm}$$

Además, se debe corregir la distancia entre centro utilizando la siguiente ecuación, ya que se debe considerar el pandeo. (pág. 28)

$$A_{\text{corregido}} = A - 0.5 * Y \quad (3.21)$$

$$A_{\text{corregido}} = 200 \text{ cm} - 0.5 * 4 \text{ cm}$$

$$A_{\text{corregido}} = 198 \text{ cm}$$

Selección de la bomba

Una de las partes importantes a considerar para el funcionamiento del sistema es la selección de la bomba, con el levantamiento de información los sólidos de pintura pueden llegar a medir hasta los 40 mm de diámetro, la altura a la cual debe llegar el líquido es a una distancia de 10 m y con los cálculos obtenidos se necesita con una capacidad de $5 \frac{m^3}{h}$.

Diseño de los componentes eléctrico y electromecánico de la cámara de flotación automático

Selección del guardamotor para motor

Este componente es indispensable para protección del equipo, cuando el motor supere la corriente nominal de la placa de datos el guardamotor instantáneamente se desconectará.

Datos de placa

$$P_m = 1.5 \text{ kW}$$

$$\mu = 82 \% \text{ de eficiencia de motor}$$

$$SF = 1.15$$

$$PF = \cos(\varphi) = 0.79$$

$$V = 220 \text{ V a. c.}$$

La potencia eléctrica

$$P_e = \frac{P_m}{\mu} \quad (3.22)$$

$$P_e = \frac{1.5 \text{ kW}}{0.82}$$

$$P_e = 1.83 \text{ kW}$$

La corriente nominal

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos(\varphi)} \quad (3.23)$$

$$I_n = \frac{1.83 \text{ kW}}{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 0.79}$$

$$I_n = 6.08 \text{ A}$$

De la corriente nominal se sobrecarga multiplicando por el factor de servicio como indica en Código Nacional Eléctrico.

$$I_s = 6.08 A * 1.15$$

$$I_s = 6.99 A$$

En consecuencia, el guardamotor no puede trabajar mayor a 6 amperios, caso contrario el motor puede quemarse.

Figura 46

Guardamotores SIRIUS Innovations 3RV20

Deposito	Tipo	Tamaño	Regulación (A) Bimetálico	Cortocircuito	Unit. Us \$
Nuevos guardamotores SIRIUS Innovations					
100176230	3RV20 11 - 0JA10	500	0.7 - 1.0	13	67,99
100176232	3RV20 11 - 1AA10		1.1 - 1.6	21	69,63
100176234	3RV20 11 - 1BA10		1.4 - 2.0	26	71,65
100176236	3RV20 11 - 1CA10		1.8 - 2.5	33	71,65
100176238	3RV20 11 - 1DA10		2.2 - 3.2	42	71,65
100176240	3RV20 11 - 1EA10		2.8 - 4.0	52	71,65
100199318	3RV20 11 - 1FA10		3.5 - 5.0	65	71,65
100176244	3RV20 11 - 1GA10		4.5 - 6.3	82	71,65
100176246	3RV20 11 - 1HA10		5.5 - 8.0	104	73,03
100176248	3RV20 11 - 1JA10		7.0 - 10.0	130	81,80
100176250	3RV20 11 - 1KA10	9.0 - 12.0	163	85,65	
100176252	3RV2011 - 4AA10	50	11.0 - 16.0	208	87,69
100176254	3RV2021 - 4BA10		14.0 - 20.0	260	87,70
100176256	3RV2021 - 4CA10		17.0 - 22.0	286	90,27
100176258	3RV2021 - 4DA10		20.0 - 25.0	325	107,74
100176260	3RV2021 - 4NA10		23.0 - 28.0	364	176,65
100176262	3RV2021 - 4EA10		27.0 - 32.0	400	176,65
100176264	3RV2021 - 4PA10		30.0 - 36.0	432	212,61
100176266	3RV2021 - 4FA10		34.0 - 40.0	480	212,61



3RV2011



3RV2021



3RV2041-4YA10

Nota. Tomado de (SIEMENS, 2022).

En el catálogo de SIEMENS (2022) detalla diferentes características de guardamotores, con los valores obtenidos se selecciona el guardamotor 3RV20 11-1HA10 mostrado en la figura 46 con un rango de amperaje de (5.5 a 8.0) A, el mismo que permite regular al valor obtenido en los cálculos.

Selección de contactor para motor

Schneider (Schneider, 1999) describe las diferentes categorías con el cual el diseñador debe seleccionar los contactores, la categoría para el sistema es AC-3 para motores tipo jaula de ardilla. Arranque y apagado.

Datos de placa del motor

$$P_m = 1.5 \text{ kW}$$

$$\mu = 82 \% \text{ de eficiencia de motor}$$

$$V = 220 \text{ V a. c.}$$

La potencia eléctrica

$$P_e = \frac{P_m}{\mu}$$

$$P_e = \frac{1.5 \text{ kW}}{0.82}$$

$$P_e = 1.83 \text{ kW} * \frac{1 \text{ hp}}{745.7 \text{ W}} = 2.45 \text{ hp}$$

Figura 47

Contadores SIRIUS Innovations 3RT20

Tipo	Bobina	Tamaño	Intensidad (A)		Potencia del Motor (HP)		Contactos Auxiliares Inteligentes	
			AC1	AC3	220 VAC	440 VAC		
100176180	3RT2015-1AF01	120 VAC	18	7	2.0	4.0	1NA	28,49
100176182	3RT2015-1AP01	220 VAC	18	7	2.0	4.0	1NA	28,49
100176184	3RT2016-1AF01	120 VAC	22	9	3.0	6.0	1NA	31,10
100176186	3RT2016-1AP01	220 VAC	22	9	3.0	6.0	1NA	31,10
100216970	3RT2017-1AF01	120 VAC	22	12	4.0	9.0	1NA	34,28
100283910	3RT2017-1AP01	220 VAC	22	12	4.0	9.0	1NA	34,28
100216919	3RT2018-1AF01	120 VAC	22	16	6.0	12.0	1NA	43,44
100354328	3RT2018-1AP01	220 VAC	22	16	6.0	12.0	1NA	43,44
100208180	3RT2023-1AG20	120 VAC	22	9	3.0	6.0	1NA+1NC	35,25
100208182	3RT2023-1AN20	220 VAC	22	9	3.0	6.0	1NA+1NC	35,25
100208184	3RT2024-1AG20	120 VAC	40	12	4.0	9.0	1NA+1NC	41,30
100208264	3RT2024-1AN20	220 VAC	40	12	4.0	9.0	1NA+1NC	41,30
100208186	3RT2025-1AG20	120 VAC	40	16	6.0	12.0	1NA+1NC	54,43
100208266	3RT2025-1AN20	220 VAC	40	16	6.0	12.0	1NA+1NC	54,43
100208188	3RT2026-1AG20	120 VAC	50	25	9.0	18.0	1NA+1NC	73,55
100208309	3RT2026-1AN20	220 VAC	50	25	9.0	18.0	1NA+1NC	73,55
100208190	3RT2027-1AG20	120 VAC	50	32	12.0	20.0	1NA+1NC	105,68
100208311	3RT2027-1AN20	220 VAC	50	32	12.0	20.0	1NA+1NC	105,68



3RT2046-1AN20



3RT2024-1AN20

Nota. Tomado de (SIEMENS, 2022).

Con el voltaje de alimentación y la potencia eléctrica calculada se selecciona el contactor para un voltaje de control en la bobina de 220 V, tipo 3RT2016-1AP01 como se muestra en la figura 47.

Selección del conductor para el motor

En el catálogo de General Cable (2020) detalla los diferentes tipos de cables con la capacidad de intensidad que soportan.

Figura 48

Capacidad de amperaje según el calibre

CABLES DE FUERZA - CONTROL 600V - 105°C

C O N D U C T O R											
CALIBRE	SECCION APROX.	CONSTRUCCION		DIAMETRO	PESO Cu TOTAL APROX.	ESPESOR DEL NUCLEO	DIAMETRO DEL NUCLEO	ESPESOR DE CHAQUETA	DIAMETRO EXTERIOR APROX.	PESO TOTAL APROX.	CAPACIDAD CONDUCT.
		CLASE I	CLASE II								
AWG a MM	mm.	Hilos	mm	mm	Kg/10m	mm	mm	mm	mm	Kg/10m	Amp
TRIPOLARES											
3 x 16	0.82	10	0.32	1.22	22.93	0.70	5.90	1.14	8.16	89.91	9
3 x 16	1.31	16	0.32	1.52	37.27	0.70	6.55	1.14	8.83	113.01	12
3 x 14	2.08	20	0.32	1.98	58.77	1.14	9.18	1.14	11.46	186.3	14
3 x 12	3.31	41	0.32	2.57	93.19	1.14	10.45	1.14	12.73	243.65	18
3 x 10	5.26	65	0.32	3.20	149.69	1.14	11.81	1.52	15.85	382.04	24
TETRAPOLARES											
4 x 16	0.82	10	0.32	1.22	30.57	0.70	6.61	1.14	6.89	113.14	8
4 x 16	1.31	16	0.32	1.52	46.69	0.70	7.34	1.14	9.62	143.58	10
4 x 14	2.08	26	0.32	1.98	78.36	1.14	10.28	1.14	12.56	240.12	13
4 x 12	3.31	41	0.32	2.57	124.26	1.14	11.71	1.52	14.75	330.06	16
4 x 10	5.26	65	0.32	3.20	198.79	1.14	13.23	1.52	17.27	486.91	22

Nota. Tomado de (General Cable, 2020).

Según la intensidad calculada que soporta el motor, seleccionamos el calibre del conductor #14 con capacidad para 14 A como se observa en la figura 48.

Selección del breaker para el motor

Como el motor es trifásico se requiere un breaker de 3 polos, y los 14 A del conductor #14 nos indica la capacidad que debe tener la protección.

Figura 49**Mini Breakers termomagnéticos para montaje en Riel DIN**

No. de Depósito	Descripción					Precio Unitario (\$)
	Tipo	Corriente Térmica In (A)	Capacidad de ruptura simétrica (KA)		Empaque (Unidades)	
	»Para aplicaciones en AC y DC (60 VDC por polo, hasta 180 VDC)					
	»Curva Característica Tipo C					
	»Acorde a IEC 60898-1					
	1 Polo					
	3 Polos					
100400223	5SL4305-7RC	0.5	10	20	4	39,02
100395952	5SL4302-7RC	2	10	20	4	39,02
100395953	5SL4304-7RC	4	10	10	4	30,55
100395954	5SL4306-7RC	6	10	20	4	26,81
100395955	5SL4310-7RC	10	10	10	4	26,81
100395956	5SL4316-7RC	16	10	20	4	26,81
100395957	5SL4320-7RC	20	10	10	4	26,81
100395958	5SL4325-7RC	25	10	20	4	26,81
100395959	5SL4332-7RC	32	10	10	4	26,81
100395960	5SL4340-7RC	40	10	20	4	30,00
100395961	5SL4350-7RC	50	10	10	4	37,48
100395962	5SL4363-7RC	63	10	20	4	42,97



5ST3010 5ST3030 5SL4 1 Polo 5SL4 2 Polos 5SL4 3 Polos

Nota. Tomado de (SIEMENS, 2022).

En este caso al elegir el breaker de 16 A como se muestra en la figura 49 y con una capacidad del conductor de 14 A corre el riesgo que ocurre un cortocircuito el conductor se sobrecalentará y fundirá hasta llegar al amperaje de la protección que indica, es por ello que la protección adecuada es de 10 A en caso de existir un fallo disparará antes que el conductor se sobrecaliente y funda.

Diseño de los componentes eléctricos para la bomba sumergible

Selección del relé térmico para la bomba

Con la bomba monofásica de 8.0 A se elige un relé de clase 10, es decir, al momento de arrancar la bomba su corriente se va elevar el cual puede superar a la corriente nominal de la placa de datos, pero este tipo de relé asigna 10 segundos para que la bomba rompa el par de resistencia alcanzando su velocidad máxima y para que su corriente se estabilice, caso contrario el relé estará disparando debido a la cantidad de sobrecarga que recibe al arrancar el equipo.

Figura 50

Relés de sobrecarga bimetalicos SIRIUS Innovations 3RU21

Tipo	Tamaño	Regulación (A)	Para contactores serie SIRIUS	
Relés de sobrecarga Bimetálicos SIRIUS Innovations				
100176277	3RU2116-0JBO	0.7 - 1.0	3RT201	52,35
100176279	3RU2116-1A80	1.1 - 1.6	3RT201	52,35
100176281	3RU2116-1B80	1.4 - 2.0	3RT201	52,35
100176283	3RU2116-1CB0	1.8 - 2.5	3RT201	52,35
100176285	3RU2116-1DB0	2.2 - 3.2	3RT201	52,35
100176287	3RU2116-1EB0	2.8 - 4.0	3RT201	52,35
100176289	3RU2116-1FB0	3.5 - 5.0	3RT201	52,35
100176291	3RU2116-1GB0	4.5 - 6.3	3RT201	52,35
100176293	3RU2116-1HB0	5.5 - 8.0	3RT201	52,35
100176295	3RU2116-1JBO	7.0 - 10.0	3RT201	52,35
100176297	3RU2126-1CB0	1.8 - 2.5	3RT202	57,89
100176299	3RU2126-1DB0	2.2 - 3.2	3RT202	57,89
100176301	3RU2126-1EB0	2.8 - 4.0	3RT202	57,89
100176303	3RU2126-1FB0	3.5 - 5.0	3RT202	57,89
100176305	3RU2126-1GB0	4.5 - 6.3	3RT202	57,89
100176307	3RU2126-1HB0	5.5 - 8.0	3RT202	57,89
100176309	3RU2126-1JBO	7.0 - 10.0	3RT202	57,89



3RU2116-1FB0



3RU2126-1CB0

Nota. Tomado de (SIEMENS, 2022).

De la figura 50 se selecciona un relé 3RU2116-1JBO con un rango de (7 a 10) A, el cual podemos regular a la corriente nominal de la placa de datos de la bomba.

Selección del contactor para la bomba

La categoría de diseño vendría siendo la misma que el motor AC-3, por tal razón se procede a distinguir el contactor adecuado.

Figura 51

Contactores SIRIUS Innovations 3RT20

Tipo	Bobina	Tamaño	Intensidad (A)		Potencia del Motor (HP)		Contactos Auxiliares Inteligentes	
			AC1	AC3	220 VAC	440 VAC		
100176180	3RT2015-1AF01	120 VAC	18	7	2.0	4.0	1NA	28,49
100176182	3RT2015-1AF01	220 VAC	18	7	2.0	4.0	1NA	28,49
100176184	3RT2016-1AF01	120 VAC	22	9	3.0	6.0	1NA	31,10
100176186	3RT2016-1AF01	220 VAC	22	9	3.0	6.0	1NA	31,10
100216970	3RT2017-1AF01	120 VAC	22	12	4.0	9.0	1NA	34,28
100283910	3RT2017-1AF01	220 VAC	22	12	4.0	9.0	1NA	34,28
100216919	3RT2018-1AF01	120 VAC	22	16	6.0	12.0	1NA	43,44
100354328	3RT2018-1AF01	220 VAC	22	16	6.0	12.0	1NA	43,44
100208180	3RT2023-1AG20	120 VAC	22	9	3.0	6.0	1NA+1NC	35,25
100208182	3RT2023-1AN20	220 VAC	22	9	3.0	6.0	1NA+1NC	35,25
100208184	3RT2024-1AG20	120 VAC	40	12	4.0	9.0	1NA+1NC	41,30
100208264	3RT2024-1AN20	220 VAC	40	12	4.0	9.0	1NA+1NC	41,30
100208186	3RT2025-1AG20	120 VAC	40	16	6.0	12.0	1NA+1NC	54,43



3RT2046-1AN20



3RT2024-1AN20

Nota. Tomado de (SIEMENS, 2022).

La potencia de la bomba sumergible es monofásica de 220 V y tiene una capacidad de 1.5 hp, por tal razón de la figura 51 se selecciona un contactor 3RT2015-1AP01 de 2 hp con un voltaje para la bobina de 220 V.

Selección del conductor para la bomba

Figura 52

Capacidad de amperaje según el calibre

CABLES DE FUERZA - CONTROL 600V -105°C

CONDUCTOR				DIAMETRO	PESO C ₀ TOTAL APROX.	ESPESOR DEB. NÚCLEO	DIAMETRO DEL NÚCLEO	ESPESOR DE CHAQUETA	DIAMETRO EXTERIOR APROX.	PESO TOTAL APROX.	CAPACIDAD CONDUCT.
CALIBRE	SECCIÓN APROX.	CONSTRUCCIÓN									
		ELASE J	# DIAMETRO								
AWG o MCM	mm ²	HILOS	mm	mm	Kg/Km	mm	mm	mm	mm	Kg/Km	Amp
TRIPOLARES											
2 x 18	0.82	10	0.32	1.22	15.29	0.76	5.48	1.14	7.76	80.09	10
2 x 16	1.31	16	0.32	1.52	24.84	0.76	6.08	1.14	8.36	98.77	13
2 x 14	2.08	26	0.32	1.98	39.18	1.14	8.52	1.14	10.80	163.63	16
2 x 12	3.31	41	0.32	2.57	62.13	1.14	9.70	1.14	11.98	211.13	20
2 x 10	5.28	65	0.32	3.20	99.40	1.14	10.96	1.52	15.00	330.15	27

Nota. Tomado de (General Cable, 2020).

Con la corriente nominal que soporta la bomba, se selecciona el calibre del conductor #14 con capacidad para 14 A.

Selección del breaker para la bomba

Como la bomba es monofásica se requiere un breaker de 2 polos, los 14 A del conductor #14 indica la capacidad que debe tener la protección.

Figura 53*Mini Breakers termomagnéticos para montaje en Riel DIN*

No. de Depósito	Descripción				Precio Unitario (\$)	
	Tipo	Corriente Térmica In (A)	Capacidad de ruptura simétrica (kA)			Empaque (Unidades)
	»Para aplicaciones en AC y DC (60 VDC por polo, hasta 180 VDC) »Curva Característica Tipo C »Acorde a IEC 60898-1					
	2 Polos					
100400220	SSL4205-7RC	0.5	10	20	6	26,81
100274083	SSL4201-7	1	10	10	6	35,16
100395941	SSL4202-7RC	2	10	20	6	23,63
100395942	SSL4204-7RC	4	10	20	6	23,63
100395943	SSL4206-7RC	6	10	20	6	18,79
100395944	SSL4210-7RC	10	10	20	6	16,60
100395945	SSL4216-7RC	16	10	20	6	16,60
100395946	SSL4220-7RC	20	10	20	6	16,60
100395947	SSL4225-7RC	25	10	20	6	16,60
100395948	SSL4232-7RC	32	10	20	6	16,60
100395949	SSL4240-7RC	40	10	20	6	20,55
100395950	SSL4250-7RC	50	10	20	6	24,18
100395951	SSL4263-7RC	63	10	20	6	27,80



Nota. Tomado de (SIEMENS, 2022).

En este caso al elegir el breaker de 16 A y con la capacidad del conductor de 14 A corre el riesgo que ocurre un cortocircuito el cable se sobrecalentará y fundirá hasta llegar al amperaje de la protección, es por ello que la protección adecuada es de 10 A mostrada en la figura 53 en caso de existir un fallo disparará antes que el conductor se sobrecaliente y funda.

Selección del cable principal

Como especifica el Código Eléctrico Nacional en su norma la capacidad del conductor contra sobrecorriente debe ser la suma de la intensidad de la carga no continua más la intensidad de la carga continua multiplicada por el 125%.

En este caso la corriente del motor es de 6.99 A que trabajará en rangos cortos de tiempo y de la bomba 8 A funcionará de forma continua, entonces:

$$I_T = 6.99 + 8 * 1.25$$

$$I_T = 16.99 A$$

Figura 54

Capacidad de amperaje según el calibre

CABLES DE FUERZA - CONTROL 600V - 105°C

CALIBRE		SECCION APROX.		CONSTRUCCION		DIAMETRO	PESO C _a TOTAL APROX. Kg/Km	ESPESOR DEL NUCLEO	DIAMETRO DEL NUCLEO	ESPESOR DE CHAQUETA	DIAMETRO EXTERIOR APROX.	PESO TOTAL APROX. Kg/Km	CAPACIDAD CONDUCC.
AWG o MCM	mm ²	#	CLASE J	mm	mm								
TRIPOLARES													
3 x 18	0.82	10	0.32	1.22	22.93	0.76	5.90	1.14	8.18	89.91	9		
3 x 16	1.31	16	0.32	1.52	37.27	0.76	6.55	1.14	8.83	113.01	12		
3 x 14	2.08	26	0.32	1.98	58.77	1.14	9.18	1.14	11.46	186.3	14		
3 x 12	3.31	41	0.32	2.57	93.19	1.14	10.45	1.14	12.73	243.65	18		
3 x 10	5.26	65	0.32	3.20	149.09	1.14	11.81	1.52	15.85	382.04	24		

Nota. Tomado de (General Cable, 2020).

Con la corriente calculada multiplicada por el factor de sobrecarga, se selecciona el calibre del conductor #10 trifásico con capacidad para 24 A, que es el más adecuado mostrada en la figura 54.

Selección del breaker principal

Figura 55

Mini Breakers termomagnéticos para montaje en Riel DIN

No. de Depósito	Descripción				Precio Unitario (\$)
	Tipo	Corriente Térmica In (A)	Capacidad de ruptura simétrica (KA) 440 V AC	Empaque (Unidades)	
	»Para aplicaciones en AC y DC (60 VDC por polo, hasta 180 VDC)				
	»Curva Característica Tipo C				
	»Acorde a IEC 60898-1				
	3 Polos				
100382452	5SL3302-7MB	2	6	4	48,11
100382453	5SL3304-7MB	4	6	4	45,76
100382454	5SL3306-7MB	6	6	4	32,11
100382455	5SL3310-7MB	10	6	4	27,15
100382456	5SL3316-7MB	16	6	4	27,15
100382457	5SL3320-7MB	20	6	4	27,15
100382458	5SL3325-7MB	25	6	4	27,15
100382459	5SL3332-7MB	32	6	4	27,15
100382460	5SL3340-7MB	40	6	4	30,13
100382461	5SL3350-7MB	50	6	4	38,56






Nota. Tomado de (SIEMENS, 2022).

En este caso como la corriente de las cargas es de 16.99 A, seleccionado uno de 16 A el breaker disparará antes de la corriente permitida, es por ello que la protección adecuada es

de 20 A de 3 polos tipo 5SL3320-7MB que se muestra en la figura 55, si es el caso que la corriente llegue a 20 A el conductor #10 no se sobrecalentará ya que el amperaje permitido es de 24 A, desactivando inicialmente el breaker.

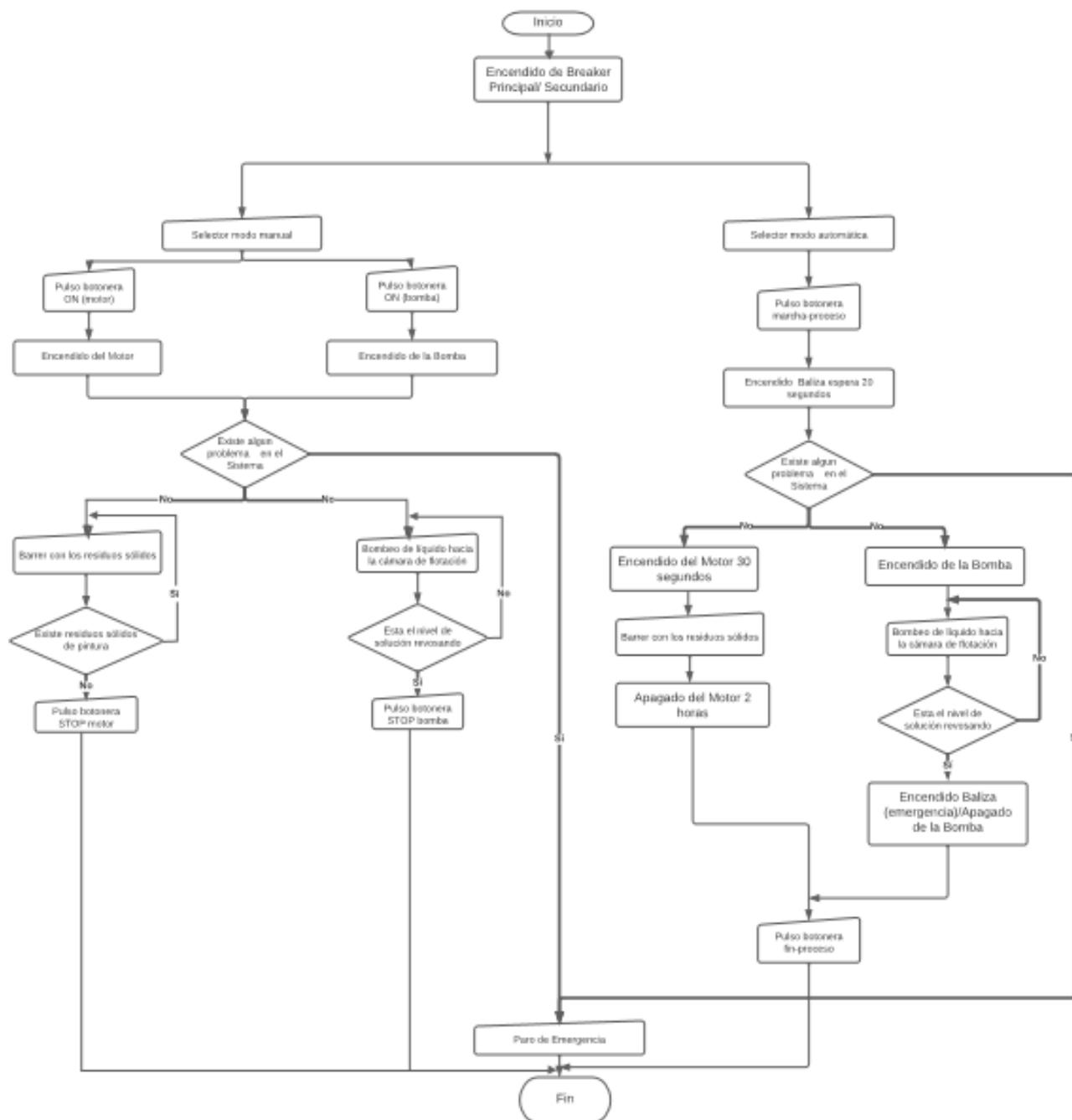
Algoritmo de control eléctrico para la máquina

Por medio de un diagrama de flujo que se muestra en la figura 56 se detalla el proceso que va a efectuar la máquina y las funciones que ejecutarán cada componente cuando esté en funcionamiento el sistema.

La finalidad por la cual se desarrolla es diagrama de flujo, es para tener una idea clara de cómo será el funcionamiento del equipo y organizar todas las condiciones que se pueden presentar al momento que la máquina esté en funcionamiento de tal manera que el sistema cumpla todos los requerimientos de la empresa y sobre todo guarde la seguridad del operador, el diagrama de flujo también se presenta en el anexo 6.

Figura 56

Diagrama de flujo del sistema



Diseño del diagrama eléctrico, electromecánico y simulación de la secuencia de control

Con los componentes electromecánicos y eléctricos diseñados y seleccionados, en este apartado se procede a realizar el circuito de potencia y control en el software CadeSimu,

seguidamente se desarrolla la programación con compuertas lógicas en el software PLC Logo V8.3 para visualizar el comportamiento de las entradas y salidas correspondientes en el sistema.

A continuación, en la tabla 22 se resume las entradas, salidas y las funciones que realiza cada una de ellas.

Tabla 22

Entradas y salidas del sistema

Nombre	Dirección	Función
Entradas		
Selector automático	I1	Permite colocar en modo automático para arrancar todo el sistema.
Run automático	I2	Puesta en marcha del sistema.
Stop automático	I3	Parada del sistema.
Selector manual	I4	Permite colocar en modo manual para encender de forma independiente los actuadores.
Run motor manual	I5	Enciende el motor.
Stop motor manual	I6	Apaga el motor
Protección del motor	I7	De existir sobrecarga apaga el motor.
Run bomba manual	I8	Enciende la bomba.
Stop bomba manual	I9	Apaga la bomba.
Protección bomba	I10	En caso de existir sobrecarga se apaga la bomba.
Sensor de nivel bajo	I11	Indica cuando el nivel es mínimo.

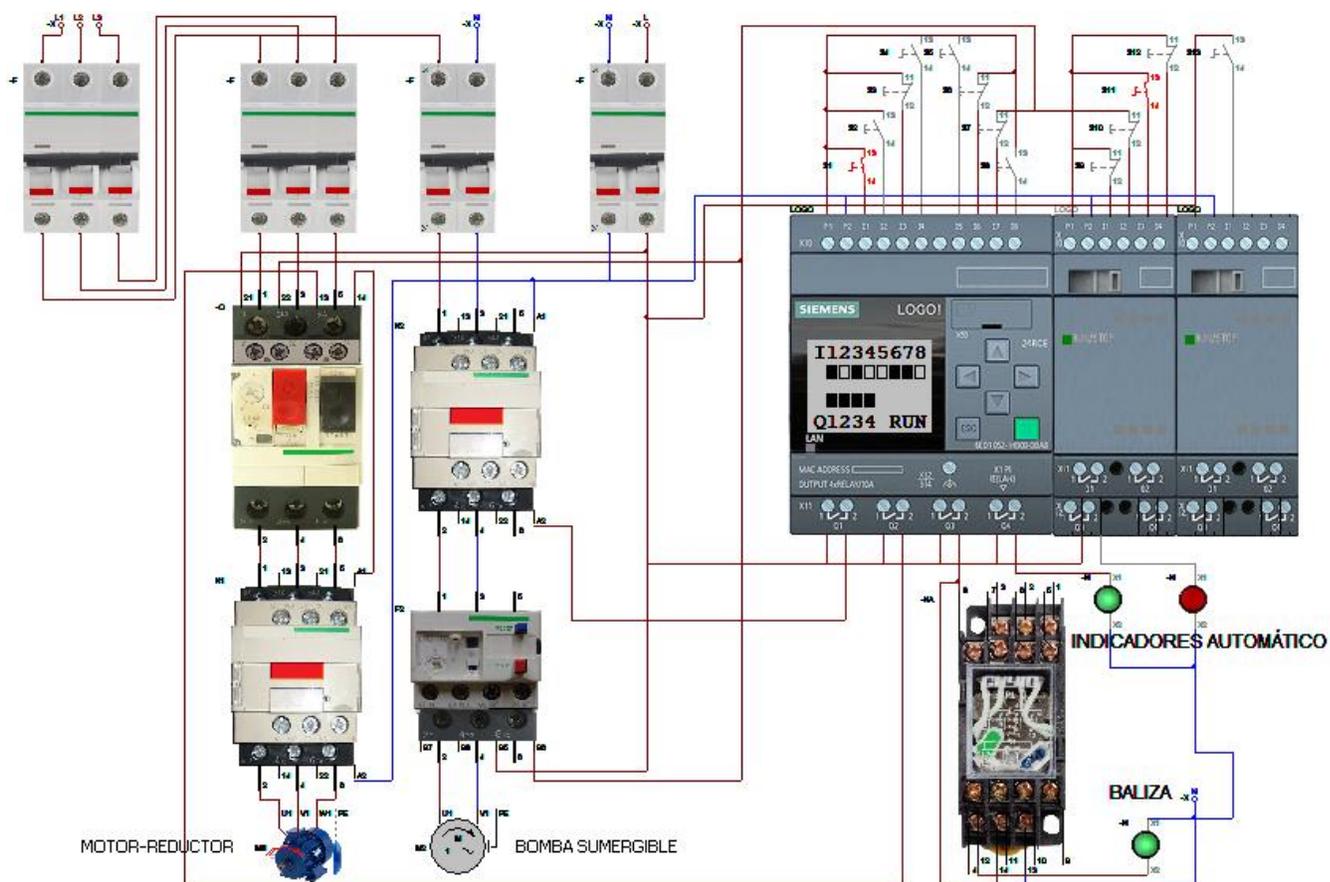
Nombre	Dirección	Función
Paro de emergencia	I12	Deshabilita todo el sistema.
Sensor de nivel alto	I13	Indica cuando el nivel es máximo.
Salidas		
Motor-reductor	Q1	Desplazamiento del sistema barredera.
Bomba sumergible	Q2	Succiona el caudal a la cámara.
Baliza	Q3	Se enciende si existe alguna alerta como: sobrecarga, exceso de nivel, al inicio de arranque del sistema barredera.
Luz piloto verde	Q4	Se enciende solo cuando el sistema este encendido en modo automático.
Luz piloto rojo	Q5	Se enciende solo cuando el sistema automático este apagado.

En el diagrama eléctrico de la figura 57 la alimentación es de 220 V trifásico y llega al breaker principal de 3 polos que distribuye a la parte de potencia y control, en la parte de potencia se divide a los breakers, contactores y relés térmicos del motor trifásico y la bomba monofásico, para las dos cargas, si existe una sobrecarga el relé térmico se dispara enviando una señal al PLC desactivando la carga y activando la baliza de alerta.

En la parte de control alimenta al PLC LOGO V8 el mismo que cuenta con un breaker de protección de dos polos para protección del mismo, de igual forma al existir una sobrecarga en la baliza se conecta un relé industrial protegiendo al PLC.

Figura 57

Diagrama eléctrico de control y potencia



Para seguridad el sensor nivel magnético alto y bajo ayuda a controlar el nivel de la cámara, en caso de existir taponamiento en las tuberías, el flotador inferior del sensor mandará una señal al PLC activando la baliza de forma intermitente, si es el caso de seguir subiendo el nivel se accionará el flotador superior del sensor mandando una señal al PLC para que la baliza permanezca encendida y se desactive la bomba sumergible. Por otro lado, si baja el nivel la baliza se desactivará activando nuevamente la bomba sumergible.

Para seguridad y mantenimiento se podrá configurar para trabajar de forma manual o automática por medio de un selector simple, en la forma manual se puede maniobrar los dos actuadores de forma independiente mientras que en forma automática, al poner en marcha, la bomba quedará enclavado hasta apagar el sistema y cumplirá la condición del sensor de nivel

magnético, en cambio para el motor al momento del encendido inicialmente se encenderá la baliza por 5 segundos, después del transcurso de este tiempo la baliza se apagará y encenderá el motor desplazando la barredera y finalmente después de 1 minuto el motor se desactivará. La misma función cumplirá después de 30 minutos trabajando en un lazo cerrado mientras esté en funcionamiento.

El diagrama de funciones FUP realizado en el software LOGO V8.3 para la automatización de la cámara de flotación se presenta en el anexo 4.

Construcción de la cámara de flotación

Estructura mecánica de la cámara de flotación

Entre las opciones de materia prima más accesibles y aptas para la elaboración de este tipo de equipos se encuentran:

- Láminas de acero negro
- Láminas de acero galvanizado
- Láminas de acero inoxidable

En función de las características y propiedades que poseen estos materiales, así como también su accesibilidad dentro del mercado, su variedad de espesores, su costo y sugerencias por parte de varios fabricantes de cámaras de flotación para la industria en general, se optó por las planchas de acero negro, las cuales posteriormente pasarán por un recubrimiento exterior de pintura epóxica, otorgándole un acabado de alta calidad garantizando su resistencia a la hostilidad del ambiente industrial.

La construcción de la cámara de flotación inicia con el corte de las caras laterales de dos tanques que se muestra en la figura 58 con espesor de 3.18mm.

Figura 58

Proceso de corte de caras laterales



Después del proceso de corte, cada cara lateral del tanque pasa por una fase de pulido para retirar los restos de rebaba causados por la amoladora como se muestra en la figura 59, desde luego se utilizó toda la protección industrial para seguridad.

Figura 59

Proceso de pulido para eliminar la rebaba del material



Se realiza un corte de 45° en los perfiles de cada tanque con el fin que tenga mayor recorrido de suelda y buena penetración. El proceso de unión por suelda se muestra en la figura 60.

Figura 60

Fijación de juntas de ambos tanques



Las juntas de ambos tanques deben ser fijadas con soldadura MIG por la parte interior y exterior del mismo para que sea un solo cuerpo rígido, de esa manera evitar fugas de líquido.

Se realiza la estructura de salida del agua tratada que posee 40 cm de ancho, 40 cm alto y 100 cm de largo como se observa en la figura 61.

Figura 61

Fijación de láminas de área de la salida del agua tratada



Para la descarga de los sólidos se utilizó tol, para la unión se lo realizó con remaches, las paredes son inclinadas para que resbalen al recipiente sin problemas como se observa en la figura 62.

Figura 62

Fijación de láminas de área de descarga solidos de pintura



La compuerta regulable se realizó con un tornillo sin fin de 1in de diámetro y 80 cm de largo para elevar la compuerta y calibrar el paso de caudal por la parte inferior, para la pantalla de retención y compuerta regulable se utilizó una plancha de 3.18 mm como se muestra en la figura 63.

Figura 63

Fijación de pantallas deflectoras



Para tener una idea clara se procedió a realizar un prototipo con cartón y analizar los factores que intervienen en el sistema de transmisión como se presenta en la figura 64.

Figura 64

Visualización con prototipos de cartón el mecanismo barredera



En la figura 65 y 66 detalla la colocación de los componentes correspondientes al sistema barredera. Los ejes y las chumaceras son de 19.05 mm (3/4 in) de diámetro. Con los cálculos realizados se procede a tensar la cadena, dejando 4 cm de pando.

Figura 65

Fijación de ojos chinos, chumaceras y corte de eje de transmisión



Figura 66

Tensado de sistema de transmisión de cadenas



Una vez ya ensamblado el sistema de transmisión con cadenas de paso # 60 y la barredera de teflón se procede a adaptar con un matrimonio el motor eléctrico de 2 HP a la caja reductora con relación de 60:1 proporcionado por la empresa y la alineación de los mismo para que no exista vibraciones como se muestra en la figura 67.

Figura 67

Adaptación, alineación del motor y reductor



Construcción del Sistema de Tuberías de Aireación

En la figura 68 y 69 muestra la construcción y colocación de sistema de aire utilizando tuberías FUJINOX de acero inoxidable de ½ in.

Figura 68

Sistema de tuberías de aire



Figura 69

Colocación de tubería de Aireación FUJINOX

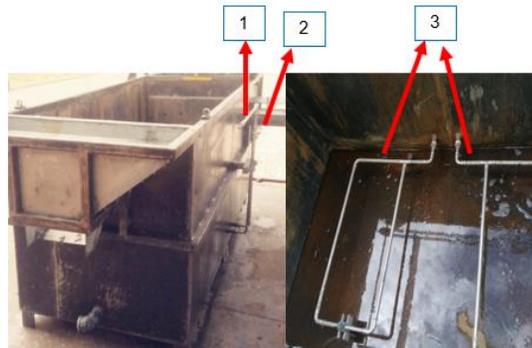


Partes principales del sistema de tuberías de Aireación

La Figura 70 ilustra las partes principales que conforman el sistema de tuberías de aireación (entrada del aire).

Figura 70

Partes principales del sistema de aireación



Donde:

- 1) Alimentación de aire.
- 2) Válvula esférica reguladora de Aire \varnothing 1/2 in.
- 3) Ingreso de aire a presión atmosférica.

Consecutivamente para realizar el pintado de la cámara de flotación se utilizó thinner epóxico 2S, catalizador 8090B Amerpox y pintura epóxica Gris 8017, en la figura 71 se observa el resultado después de su aplicación, considerado que se pintó a una temperatura mayor a 16° C que me indica el manual de especificaciones que viene incluido en la pintura.

Figura 71

Recubrimiento de Pintura a la Cámara de Flotación



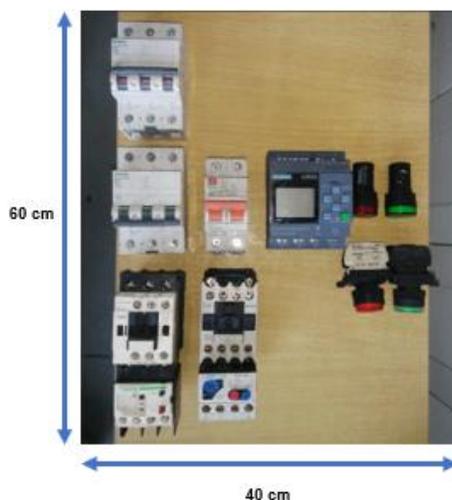
Construcción del tablero de control

El tablero de control forma una de las fases más importantes dentro de la cámara de flotación para la recolección de sólidos de pintura, con el adecuado dimensionamiento de los elementos, la importancia de las medidas de protección, la seguridad y estabilidad del personal, la apropiada disposición del cableado, adecuada a la colocación de los componentes eléctricos, proporcionará un perfecto funcionamiento de la cámara de flotación, también una fácil comprensión para el personal técnico de mantenimiento de la empresa en cuestión de que se quiera revisar la conexión hallándose dentro del diagrama eléctrico.

Primeramente, para la instalación del sistema eléctrico se determinará el número de componentes que se ubicarán en el tablero de control utilizando las normativas referentes a los diagramas eléctricos, en la Figura 72 tras obtener una distribución adecuada de cada uno de los componentes electromecánicos, eléctricos y electrónicos se presenta las dimensiones que el gabinete eléctrico idóneo debe de tener.

Figura 72

Visualización de las dimensiones para tablero eléctrico



Con las dimensiones ya obtenidas en la tabla 23 detalla las características principales que debe tener el tablero de control.

Tabla 23

Especificaciones del gabinete eléctrico

Especificaciones	Descripción
Material	Chapa de acero
Dimensión (mm)	400*600*210
Espesor (mm)	2
Recubrimiento	Pintura electroestática de tipo poliéster texturizado
Placa de montaje	Lámina de acero galvanizado
Grado de protección IP	54

Siguiendo los reglamento eléctrico y control de tableros industrial se utilizó canaletas ranuradas (60*40) mm con sus respectivas cubiertas para cubrir el cableado eléctrico como se observa en la figura 73. Al utilizar el Riel din para la sujeción de componentes se debe mantener un 25 % de espacio libre entre ellos.

Se usarán también terminales para los conductores con el fin que pueda adherirse de una manera segura a las entradas y salidas de los elementos electromecánicos, eléctricos y electrónicos, terminales Tipo PIN para conductor calibre # 14 para la parte de potencia y cable calibre # 22 para el control.

Figura 73

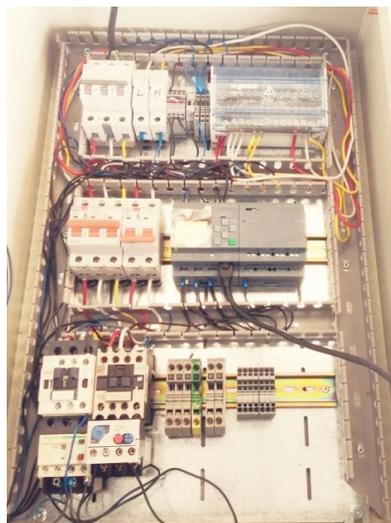
Distribución de los componentes eléctricos en el tablero



Para que no exista inconvenientes al momento de cablear el tablero de control o de existir alguna modificación en un futuro se sobredimensionó el largo del conductor y el peinado del cableado eléctrico debe ser firme.

Figura 74

Proceso de conexión en el tablero de control



Los conductores que salen a los pulsadores de la cara frontal del gabinete se sujetan con amarras y se cubre con un serpentín con el propósito de evitar cualquier desconexión por un brusco movimiento de la estructura o gabinete eléctrico, como se visualiza en la Fig. 75 (1).

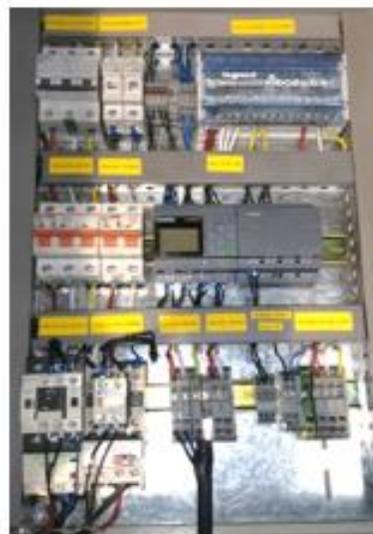
Después de efectuar el cableado eléctrico, se procedió a tapar las canaletas y etiquetar cada uno de los componentes eléctricos como se muestra en la figura 75 (2).

Figura 75

Peinado de cables del tablero de control



(1)



(2)

Capítulo IV

Implementación, pruebas y resultados

En el presente capítulo se establece el traslado, ubicación de la cámara de flotación e implementación del sistema automático, las líneas de tubería de agua y de aire en las instalaciones de la empresa CIAUTO, integrando la funcionalidad mecánica con el control automatizado del circuito eléctrico, dando como resultado la activación del sistema de barrederas cada cierto tiempo por medio de un PLC logo V8 para la recolección de los residuos sólidos de pintura, para lo cual se establecerán varias pruebas de funcionamiento que verifiquen la eficaz capacidad operativa de los subsistemas independientes.

Traslado y Ubicación de la Cámara de Flotación

Con el personal de mantenimiento se trasladó al punto donde estará operativo la cámara de flotación como se observa en la figura 76.

Figura 76

Traslado de la Cámara de Flotación



En la figura 77 se muestra la nivelación de la cámara de flotación con el fin que el caudal no rebose por las paredes.

Figura 77

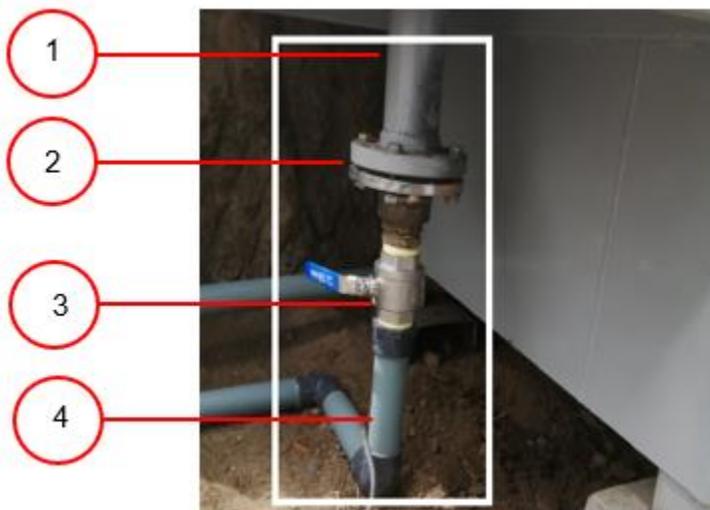
Ubicación Final de la Cámara de Flotación

**Implementación de las Tuberías de Agua**

En la figura 78 muestra la salida del caudal tratado, utilizando tuberías de 2 in de diámetro y una válvula estranguladora para el mantenimiento del equipo.

Figura 78

Colocación de tubería y accesorios externos salida del Agua tratada



Donde:

- 1) Tubo acero negro \varnothing 3 in
- 2) Brida con rosca
- 3) Válvula esférica \varnothing 2 in
- 4) Tubería plastigama \varnothing 2 in

En la figura 79 y 80 se observa la implementación de la bomba sumergible que cuenta con un flotador, en caso de no haber agua en la fosa se desactivará, de igual forma para la entrada a la cámara de flotación se utilizó tuberías de 2 in de diámetro con una válvula para regular la entrada de caudal y válvula check para evitar su retorno.

Figura 79

Colocación de tuberías y bomba sumergible en la fosa

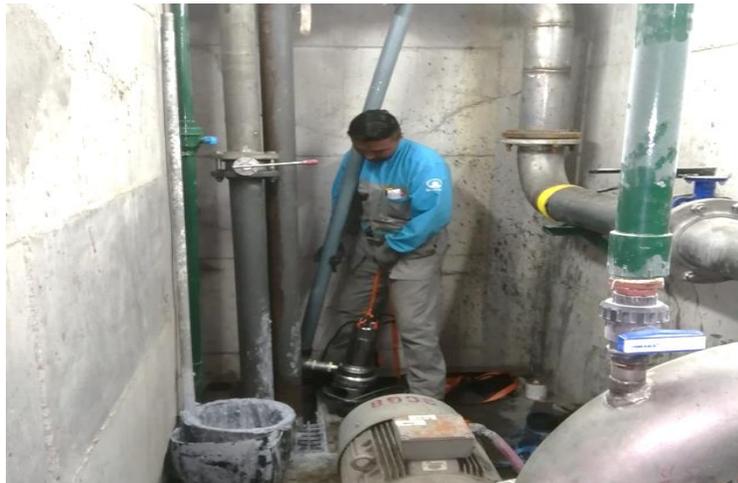


Figura 80

Colocación de tubería y accesorios externos para la entrada del caudal



Donde:

- 1) Válvula reguladora de Compuerta \varnothing 2 in
- 2) Válvula Check \varnothing 2 in

En la figura 81 ilustra la inyección del floculante que ayuda a que flóculos permanezcan suspendidos.

Figura 81

Colocación de soporte para la inyección del Floculante



En la figura 82 ilustra el sensor de nivel magnético el mismo que se configuró el flotador de nivel bajo y el nivel alto para controlar desde el PLC Logo el sistema.

Figura 82

Colocación del sensor de nivel sensor de Nivel

**Implementación del tablero de control**

En la figura 83 muestra la conexión de PC y el PLC LOGO V8, posteriormente se carga el programa para la automatización de la cámara de flotación.

Figura 83

Comunicación la PC con el PLC LOGO V8 para cargar el programa



Para sujetar el tablero de control se realizó un soporte de metal, como se muestra en la figura 84.

Figura 84

Colocación del Tablero Eléctrico



En la figura 85 y figura 86 muestran las conexiones de alimentación que irá del tablero principal 220 V trifásico al tablero de control de la cámara de flotación.

Figura 85

Conexión principal para energizar el tablero de control



Figura 86

Cableado de la fuente principal al tablero de control

**Implementación de Señalética de Seguridad**

Las señaléticas de seguridad en una máquina es un papel importante para informar los riesgos que se pueden presentar, por tal motivo en la cámara de flotación y tablero de control se proporciona un aviso de seguridad con el fin de mantener la integridad física del operario como se ilustra en la figura 87 y figura 88. Para conocimiento de puesta en marcha es sistema, en el anexo 5 se detalla el manual de funcionamiento del sistema.

Figura 87

Señaléticas de seguridad en la cámara de flotación



Figura 88

Señalética de seguridad en el Tablero de Control



Pruebas de funcionamiento y resultados

En este capítulo se presenta los datos obtenidos luego de ejecutar varias pruebas mediante la calibración de las variables con relación a la cámara de flotación con el propósito de asegurar el correcto funcionamiento. En la figura 89 y figura 90 muestra la puesta en marcha de sistema y en la figura 91 la formación de sólidos de pintura en la cámara de flotación.

En la tabla 24 detalla la cantidad adecuada de coagulante y floculante para su correcta dosificación y en la tabla 25 los parámetros que debe cumplir el agua, con el fin de garantizar la separación y eliminación de sólidos de pintura. El coagulante se inyecta en la fosa para desnaturalizar la pintura mientras que el floculante se suministra directamente en la cámara de flotación.

Figura 89

Puesta en marcha del sistema de forma automática

**Figura 90**

Recolección de sólidos de pintura de forma automática

**Figura 91**

Formación de sólidos de pintura en la cámara de flotación



Tabla 24

Dosificación adecuada de coagulante y floculante

Dosificación	Cantidad (gr)	Cantidad de agua para diluir (L)
Coagulante	150	4
Floculante	150	100

Tabla 25*Control de Tratamiento de Agua Fosa de Pintura-Cabina Gottert*

Día de prueba N°	pH 8.5 – 9.5	Alcalinidad > 300 ppm	Conductividad < 5000 ^o $\frac{\mu S}{cm}$	Turbidez FAU	Apariencia de sólidos	Unidades pintadas
1	8.95	350	1236	32	Arenoso (Bueno)	30
2	8.84	350	1490	32	Arenoso (Bueno)	32
3	8.62	350	1401	53	Arenoso (Bueno)	30
4	8.91	400	1571	68	Arenoso (Bueno)	32
5	8.85	400	1618	68	Arenoso (Bueno)	27
6	8.82	400	1540	50	Arenoso (Bueno)	31
7	8.86	400	1662	50	Arenoso (Bueno)	30
Promedio	8.84	378.57	1502.57	50.43		

Nota. Cabe indicar que al no cumplir los parámetros detallados en la tabla el sólido es pegajoso por tal motivo no se puede retirar ya que se pega en la barredera.

En la tabla 26 arroja como resultado las condiciones que el agua a tratar debe tener, con el propósito que los sólidos presenten una buena apariencia capaces de ser removido.

Tabla 26

Datos promedios para el Control de Tratamiento del Agua Cabina Gottert

pH	Alcalinidad	Conductividad	Turbidez
8.5 – 9.5	> 300 ppm	< 5000 ^o $\frac{\mu S}{cm}$	FAU
8.84	378.57	1502.57	50.43

En la figura 92 se observa la calibración para la inyección del floculante, el mismo que ayuda a que los sólidos floten permaneciendo en la superficie del agua para posteriormente ser retirados, tomando en consideración que los 100 litros de floculante y los 4 litros de coagulante deben ser suministrados las 8 horas de la jornada laborable.

Figura 92

Inyección de floculante en la cámara de flotación



En la tabla 27 se observa las diferentes pruebas de apertura de la válvula para el ingreso de aire a presión atmosférica, si el aire es excedente se rompe los flóculos de pintura causando que se dispersen, por otro lado, si el aire es mínimo el floculante no se incorpora en el líquido por ende no tiene suficiente tiempo de emulsionar.

Tabla 27

Prueba del porcentaje de apertura de la válvula de entrada de aire

Apertura de válvula (%)	Apariencia de flóculos	Permanecía de partículas de pintura en la cámara
100	No	No
50	No	No
40	No	No
30	Regular	Regular
20	Medio	Medio
10	Si	Si

Con los datos obtenidos de la tabla 27, la apertura de la válvula para que ingrese aire a presión atmosférica a los difusores es el 10%, para que los flóculos no se rompan y para que el floculante se incorpore en el agua y se genera los sólidos de pintura, la calibración de ingreso de aire se ilustra en la figura 93.

Figura 93

Apertura de válvula para el ingreso de aire a presión atmosférica

**Tabla 28**

Pruebas de recolección de sólidos de pintura

Dia de Prueba N.º	Tiempo operativo (h)	Caudal ($\frac{m^3}{h}$)	Sólidos recogidos por la cámara (kg)	Sólidos	
				recogidos en la fosa (kg)	Total (kg)
1	8	2.4	7.68	17.92	25.6
2	8	4.5	8.32	12.48	20.8
3	8	13	13.02	5.58	18.6
4	8	15	16.97	5.33	22.3
5	8	15	18.92	6.18	25.1
6	8	15	18.3	5.9	24.2
7	8	15	19.68	7.02	26.7

En la tabla 28 muestra, que el caudal de $15 \frac{m^3}{h}$ es el más aceptable para garantizar que la mayor cantidad de sólidos de pintura se generen en la cámara de flotación.

Validación de hipótesis

Tabla 29

Datos promedios de recolección de sólidos

Caudal $\left(\frac{m^3}{h}\right)$	Sólidos recogidos por la cámara (kg)	Sólidos	
		recogidos en la fosa (kg)	Total (kg)
15	16.97	5.33	22.3
15	18.92	6.18	25.1
15	18.3	5.9	24.2
15	19.68	7.02	26.7
Promedio	18.47	6.10	24.56

Una vez realizada las pruebas el resultado final obtenido, de la tabla 29 con un valor promedio de 24.56 kg de sólidos de pintura que normalmente recogen en un día en sus 8 horas de jornada laborable, 18.47 kg, es decir, el 75.20% se genera en la cámara de flotación para posteriormente retirar por medio del mecanismo barredera de forma automática, mientras que el otro porcentaje se queda en la fosa.

En la tabla 30 se puede observar una comparativa antes y después de implementar el sistema, como son el tiempo para la recolección de los sólidos de pintura, el número de técnicos necesarios para dicha actividad y la cantidad de sólidos recogidos de ambas partes. Se puede ver que implementando el sistema necesita de menor tiempo para su recolección, sin

la necesidad de un operador. En cuanto a la recolección de sólidos de forma manual se recoge el 24.8% más que la cámara de flotación, tomando en consideración que el nivel del agua de la fosa de la cabina de pintura nueva no es constante, causando que la bomba sumergible no succione la mayor cantidad de partículas de pintura y afectando directamente a la máquina para que no trabaje al 100%.

Tabla 30

Aspectos comparativos de la efectividad del sistema

Con el sistema			Sin el sistema		
Tiempo (min)	Personal técnico	cantidad (kg)	Tiempo (min)	Personal técnico	Cantidad (kg)
5 min	ninguno	18.47	30 min	1	24.56

Con el análisis de resultados y pruebas realizadas se puede validar la hipótesis, ya que, gracias a esto, se logró diseñar, construir e implementar una cámara de flotación automática mediante un control mecanismo barredera que permite separar y remover mayor cantidad de sólidos de pintura automotriz de la nueva cabina de pintura en la empresa CIAUTO Cía. Ltda.

Análisis de costos para la cámara de flotación

Costos directos

La tabla 31 presenta el análisis económico que conllevó la fabricación de la cámara de flotación y la adquisición de los componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos y de control disponibles en el mercado nacional, como lo disponía la empresa CIAUTO.

Tabla 31*Costos directos obtención de materiales*

Materiales	Cantidad	Costo unitario \$	Costo total \$
Alambre Mig 1.2 mm	2	26,79	53,58
Tol negro 3mm	7	102,98	720,86
Tubo cuadrado 4x4 cm	8	34,30	274,4
Candado para Cadena	1	2,00	2,00
Acople para Matrimonio Motor- Reductor	1	120,00	120,00
Barra de Acero de Transmisión $\frac{3}{4}$ in x 3 m	1	50,00	50,00
Plancha de Teflón de 920x150x2.5 mm	1	40,00	40,00
Platinas de Acero Inoxidable	2	50,00	100,00
Piñón Z=21 con Paso 40	1	45,00	45,00
Piñón Z=11 con Paso 40	1	40,00	40,00
Piñón Z=21 con Paso 60	4	50,00	200,00
Placas para Soporte Chumaceras	4	30,00	120,00
Reparación de Motor Reductor	1	213,00	213,00
Rodamientos 42x20x11	2	20,00	40,00
Rodamientos 32X20X11	2	15,00	30,00

Materiales	Cantidad	Costo unitario \$	Costo total \$
Codo de 90 x ½ in Fujinox	12	1,62	19,40
TEE Normal ½ in Fujinox	3	3,98	11,93
Válvula Esférica ½ in genebre	2	7,43	14,86
Tubo Macho Normal ½ in fujinox	10	3,97	39,72
Tapón Hembra ½ in fujinox	6	1,10	6,61
Unión Corta ½ in fujinox	6	1,99	11,93
Tubo PVC Rival 1Mpa x 6M	5	14,74	73,70
Neplo Cintura A/I 2 in	1	8,02	8,02
Codo de 90 x 63 mm PLOMO	14	2,54	35,52
Codo de 90 X 2 A/I	1	9,10	9,10
Unión Lisa 63 mm PLOMO	4	2,04	8,16
Terminal R/HEMBRA 63-2 in PLOMO	2	5,46	10,92
Terminal R/MACHO 63-2 in PLOMO	4	5,46	21,84
Pega 1 cpvc arrow 946 ml	1	25,98	25,98
Polilimpia 1000 cc3 plastigama	1	11,76	11,76
Sellaplus 50 cc3 IPS	1	5,91	5,91
Teflón industrial amarillo 3/4in	10	0,91	9,10
Válvula esférica 2 in	1	64,95	64,95

Materiales	Cantidad	Costo unitario \$	Costo total \$
Válvula de compuerta 2 in	1	58,70	58,70
Válvula check bronce 2 in	1	115,6	115,6
Universal pegable PVC 63 mm	1	8,76	8,76
Neplo hg 3 x 2 in	1	11,98	11,98
Bomba Sumergible 1.5 HP 220V 60HZ	1	672,7	672,7
Logo V8 110/220 RC	1	179,2	179,2
Módulo de expansión DM16 110/220	1	149,1	149,1
SUB TOTAL			\$ 3.634,29
12 % IVA			\$ 436,11
TOTAL			\$ 4.070,40

Costos indirectos

Dentro de los costos que se relacionan indirectamente en el proceso de fabricación de la cámara de flotación para la recolección de residuos sólidos de pintura se escatimaron los siguientes apartados que la tabla 32 resume a continuación.

Tabla 32*Costos indirectos logística y construcción*

Descripción	Actividad	Costo \$
Diseño mecánico y eléctrico del sistema	Ingeniería	10000,0
Construcción mecánica y eléctrica del sistema	Mano de obra	8000,0
Transporte interprovincial, provincial y viáticos	Movilización	500,00
Impresiones (planos y avances bibliográficos)	Investigación	10,00
Señalética de seguridad	Normativa	5,00
TOTAL		\$ 18.515,0

Costo total

Una vez determinados los costos directos e indirectos, el valor de inversión total para la implementación de la cámara de flotación es de \$22.585,40 como lo muestra la tabla 33, un precio accesible para grandes empresas, considerando el volumen de recolección que maneja este sistema, cabe mencionar también la multifuncionalidad que posee, tanto para el proceso de tratamientos químicos (coagulación, floculación) como la separación y recolección de sólidos de pintura.

Tabla 33*Presupuesto total de fabricación*

Detalle	Descripción	Costo \$
Costos Directos	Material	4.070,40
Costos Indirectos	Mano de obra	18.515,00
TOTAL		\$ 22.585,40

El costo promedio que bordea la maquinaria industrial de características semejantes al sistema implementado es relativamente elevado, principalmente debido al coste de importación que conllevan los diferentes medios de transporte (marítimo, aéreo, terrestre), en la tabla 34 se divide la segunda comparativa entre Cámara de recolección de sólidos de procedencia extranjera, donde la industria carrocera y automotriz en la provincia de Tungurahua se ha desarrollado en mayor medida buscando reducir y reciclar estos residuos sólidos de pintura evitando un impacto ambiental a largo plazo.

Tabla 34*Segunda comparación entre cámaras de recolección de residuos sólidos*

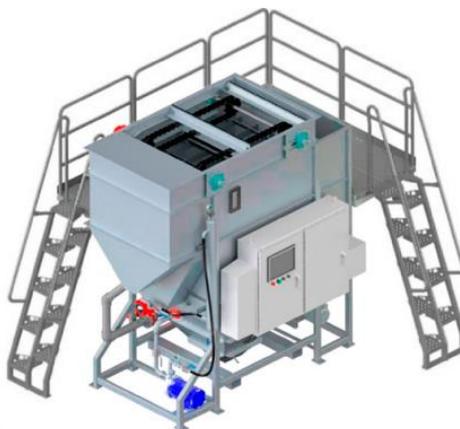
Características técnicas	Cámara de Flotación para la recolección de residuos sólidos de pintura CIAUTO	Sistema de Flotación por aire disuelto SYNERTECH Modelo DAF 2.7 LPS
Dosificador coagulante	SI	SI
Dosificador Floculante	SI	SI
Líneas de tubería de Aire	SI	SI
Tolva de fangos sedimentados	NO	SI
Tolva de fangos flotados	SI	SI
Bomba de Microburbujas	NO	SI

Características técnicas	Cámara de Flotación para la recolección de residuos sólidos de pintura CIAUTO	Sistema de Flotación por aire disuelto SYNERTECH Modelo DAF 2.7 LPS
Sistema de Cadena de Arrastre	SI	SI
Sistema de Decantación	NO	SI
Compuerta separadora de residuos	SI	NO
Compuerta de caudal regulable	SI	NO
Cuadro Eléctrico	SI	SI
Dimensiones	1000 * 2500 * h1000 (mm)	1500 * 1800 * h2000 (mm)
Consumo eléctrico medio	3355.65 W	7457 W
País de Procedencia	ECUADOR	COLOMBIA
Costo	\$22 585,40	\$83 000,00

La Figura 94 presenta el sistema de flotación por aire disuelto desarrollado por la Empresa Colombiana Synertech, dedicada a la fabricación de maquinaria para el tratamiento de aguas industriales, aguas contaminadas con gran carga de sólidos en suspensión, el cual está equipado por un sistema de bomba microburbujas, sistema de cadenas de arrastre y un sistema de decantación.

Figura 94

Sistema de Flotación por Aire Disuelto (DAF). 2.7 LPS



Cabe recalcar que para crear esta maquinaria se investigó recopilando adecuando el sistema a la Industria automotriz.

El análisis comparativo muestra las cualidades que presenta el sistema implementado con respecto a la maquinaria importada, sobre todo en relación con el costo de adquisición de las mismas. Con ello en mente se concluye que el sistema cumple con todos los requerimientos del propietario ya que posee un bajo costo económico, una gran efectividad de trabajo para la empresa CIAUTO y una facilidad de operación para la recolección de residuos sólidos de pintura.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se diseñó, construyó y se implementó de una cámara de flotación automática en la nueva cabina de pintura para separar y remover sólidos de pintura automotriz en suspensión mediante el control de un mecanismo barredera en la empresa Ciudad del Auto CIAUTO Cía. Ltda. En la Provincia de Tungurahua.
- Mediante el análisis estructural desarrollado por software CAD/CAE, se analizó que el límite elástico del acero negro ASTM A36 250MPa es mayor que el valor máximo de Von Mises de la estructura arrojado por el software 249.8 MPa con lo cual se puede concluir, que las paredes de la cámara de flotación no sufrirán fallo elástico al momento de aplicar presión.
- Con las siguientes variables: 10% de abertura de la válvula para el ingreso de aire, capacidad para el tratamiento químico de 2.5 m^3 y un caudal de recirculación de $15 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$, se logró obtener la mayor cantidad de sólidos de pintura en la cámara de flotación.
- De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye que de un valor promedio de 24.56 kg formados en un día en sus 8 horas de jornada laborable, 18.47 kg , es decir, el 75.20% se genera en la cámara de flotación para posteriormente retirar por medio del mecanismo barredera de forma automática.
- Se concluye que la cámara de flotación automática de la nueva cabina de pintura para separar y remover sólidos de pintura automotriz en suspensión está diseñado y construido con materiales accesibles dentro del país, por lo cual se cumple con las necesidades y requerimientos de la empresa CIAUTO Cía. Ltda.

- De acuerdo con las pruebas obtenidas cuando el equipo está en funcionamiento y cuando se forman los sólidos de pintura automotriz se concluye que el sistema transmisión debe tener una velocidad de 15 rpm y necesita de 5 minutos para su recolección de forma automática y esta función lo va a realizar cada 2 horas.

Recomendaciones

- Como principal recomendación que la bomba sumergible tenga un caudal de $15 \frac{m^3}{h}$ y necesariamente debe estar lo más cercano a las partículas de pintura con el fin de garantizar que succione la mayor cantidad de partículas a la cámara de flotación.
- La cantidad adecuada de coagulante – floculante y los parámetros que debe cumplir el agua son importantes para la separación y eliminación de sólidos de pintura por lo que se recomienda hacer un control diario para el tratamiento químico.
- Se recomienda lubricar el sistema de transmisión para que no exista demasiada fricción entre el piñón y la cadena con el fin de prolongar su vida útil.
- Debido a que las partículas de pintura están siempre en la parte superior del nivel del agua, se recomienda implementar a la bomba sumergible un ducto de metal que ira a nivel del agua con el fin de tener una mayor área de succión con el fin de atrapar mayor cantidad de partículas.

Bibliografía

Alemayehu, Z. (n.d.). *Dissolved Air Flotation*.

Alibaba. (n.d.). *China WPS20 40 60 80 eficiente y seguro de hierro de gusano reductor de velocidad de uso especial para motor eléctrico*. Retrieved February 6, 2023, from Recuperado de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/China-WPS20-40-60-80-efficiency-1700001951998.html>

ARCE LUNA, E. F., & MINCHALA BURI, D. F. (2020). *DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO SEMIAUTOMÁTICO PARA CORTE DE BOBINAS DE PLÁSTICO (PVC) EN LA EMPRESA ARIPLAST*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA.

Carro Paz, R., & Gonzáles Gómez, D. (n.d.). *Administración de la Calidad Total* (Universidad Nacional de Mar del Plata, Ed.).

Challenge. (n.d.). *Power Transmission* .

Chávez, I. (2017). Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de Aguas residuales. *Dominio de Las Ciencias* , 3, 1–25.

CIAUTO. (2021). *MODELOS ENSAMBLADOS EN CIAUTO*. Recuperado de <https://ciauto.ec/modelos/>

Cidead. (2009). *Fuerza y Presión en Fluidos* (Ministerio de Educación, Ed.).

Crítes, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PEQUEÑAS POBLACIONES* (McGrar-Hill, Ed.; Primera).

Domingo, A. (2011). *Apuntes de Mecánica de Fluidos* (Copyright, Ed.).

Finder. (2020). Automatización Eléctrica . *Finder* , 1–42.

FORD. (2017, March 22). *A MIL POR HORA LOS ESFUERZOS DE FORD POR REDUCIR SU CONSUMO DE AGUA*. FORD MEDIA CENTER. Recuperado de

<https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/mx/es/news/2017/03/22/a-mil-por-hora-los-esfuerzos-de-ford-por-reducir-su-consumo-de-a.html>

General Cable. (2020). Catálogo de productos comerciales . *General Cable*, 1–8.

Hibbeler, R. (2010). *Ingeniería Mecánica Dinámica* (PEARSON ADECUACION, Ed.; 12th ed.).

INTERMEC. (n.d.). *Piñones y Cadenas* (Sexta).

Kurita. (2023). *Cabina de Pintura*. Recuperado de <https://kurita.com.br/atuacao/produtos-e-servicos/cabine-de-pintura/>

López, A. (2021, September 30). *Tecnología de tratamiento y reutilización del agua como solución temporal o permanente en la industria Automotriz*. Veolia.

<https://golatam.veoliawatertechnologies.com/es/blog/tecnologia-de-tratamiento-y-reutilizacion-del-agua-como-solucion-temporal-o-permanente-en-la-industria-automotriz>

Mila. (2013, July 23). *Calcular la fuerza debido a la presión del agua sobre la cara una presa*.

Señor Mila. Recuperado de

<https://www.youtube.com/watch?v=CcKAxdgitUI&list=LL2sq9xf9525wZ31ysK9gl0Q&index=20>

Millán Barrera, C., Arroyo Correa, V. M., Mejía Astudillo, V. G., Santana, J. S., & Aguilar

Chávez, A. (2016). *Medición de flujo volumétrico en presas, canales y pozos* (E. Pedroza González, Ed.; Primera).

Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas* (Pearson Educación, Ed.; Cuarta).

NEC. (n.d.). *Código Eléctrico Nacional* .

Odetto, A. (n.d.). *Mecánica eléctrica industrial* . *Cadenas* , 1–10.

Ortiz Oliveros, H. B. (2002). *TRATAMIENTO DE AGUAS OLEOSAS POR FLOTACIÓN*.

Universidad Autónoma del Estado de México.

- Patiño Duque, H. D., López Posada, L. M., & Mosquera Angulo, E. S. (2017). Metodología del diseño y modelado de un accionamiento mecánico. *Universidad Tecnológica de Pereira*, 22, 1–11.
- PEDROLLO. (n.d.). *Catálogo General 60 Hz*.
- Ramsey. (n.d.). Cadenas Silenciosas y Piñones Para Transmisión De Potencia. *Cadenas Silenciosas Ramsey*, 1–30.
- Reynaga, D. (2021, May 7). *Sistemas Mecánicos*. Par Motor En Transportadores a Rodillos.
- Romero Rojas, J. A. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales Teorías y principios de diseño* (Escuela Colombiana de Ingeniería, Ed.; Tercera).
- Schneider. (1999). *Manual Electrotécnico*.
- SIEMENS. (2003). *Manual Edición 06/2003 LOGO* (Siemens AG, Ed.).
- SIEMENS. (2022). *Lista de Precios Productos Industriales*.
- Suárez López, J., Jácome Burgos, A., & Ures Rodríguez, P. (2013). FLOTACIÓN MEDIANTE AIRE DISUELTO. *INDITEX*, 1–21.
- Totten, G. (2017). *Friction, Lubrication, and Wear Technology* (Copyright, Ed.; Vol. 18).
- UNIT. (2009). *Herramientas para la mejora de calidad*.
- UNLP. (n.d.). Automatismo Eléctrico . *Universidad Nacional de La Plata*. Retrieved February 6, 2023, from Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=IOhBPkObgel&list=LL2sq9xf9525wZ31ysK9gl0Q&index=22>
- Véjar, M. (2015). MANUAL DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTOS PARA AGUAS RESIDUALES -PTAR. *Rumiñahui Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal*, 1, 1–19.
- VILLARROEL DUQUE, J. X. (2015). *APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA QFD PARA EL DISEÑO DE UN NUEVO PRODUCTO DE FIBRA DE MADERA RESISTENTE A LA*

HUMEDAD EN AGLOMERADOS COTOPAXI S.A . Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

WIKAI. (n.d.). Sensor de nivel Versión en acero inoxidable, para aplicaciones industriales Modelo RLT-1000. *WIKAI*, 1–7.

Wright, J. (2021, December 8). *Lubricación en transmisión por cadenas.*

Mantenimientoelectrico.Com. Recuperado de

<https://www.mantenimientoelectrico.com/lubricacion/lubricacion-transmision-cadenas-n1837>

Yacuzzi, E., & Martín, F. (n.d.). QFD: CONCEPTOS, APLICACIONES Y NUEVOS DESARROLLOS. *QFD*.

Anexos