

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO, AUTOMATIZACIÓN Y SIMULACIÓN DE UNA LÍNEA PARA FABRICACIÓN DE PINTURAS

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGISTER EN DISEÑO,
PRODUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

ING. JUAN CARLOS PARRA MENA

jcparramena@yahoo.es

ING. ÁNGEL ROSALINO SOTOMAYOR TORRES

angelsotomayor2006@yahoo.es

DIRECTOR: MSc. IVAN ZAMBRANO OREJUELA

ivan.zambrano@epn.edu.ec

Quito, Septiembre 2015

DECLARACIÓN

Nosotros, Ángel Rosalino Sotomayor Torres y Juan Carlos Parra Mena, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que se han consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Ing. Ángel Rosalino Sotomayor T.

Ing. Juan Carlos Parra Mena

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por: Ángel Rosalino Sotomayor Torres y Juan Carlos Parra Mena, bajo mi supervisión.

MSc. Iván Zambrano Orejuela
DIRECTOR DE PROYECTO

CONTENIDO

Declaración.....	ii
Certificación.....	iii
Contenido.....	iv
Contenido de fotografías	vii
Contenido de tablas.....	viii
Contenido de figuras.....	ix
Resumen.....	xiii
Presentación.....	xiv
CAPÍTULO I: Generalidades sobre la fabricación de pinturas.....	1
1.1 Las Pinturas.....	1
1.2 Tipos de pinturas.....	2
1.3 Estado del arte	3
1.4 Fabricación de pinturas en el Ecuador.....	4
1.5 Equipos y Dispositivos utilizados.....	9
1.5.1 Equipos de laboratorio.....	9
1.5.2 Principales equipos utilizados en la producción de pinturas.....	11
1.6 Líneas de producción.....	12
1.7 Proceso de fabricación de la empresa Produtekn.....	14
CAPÍTULO II: Análisis, estudio y selección de alternativas.....	21
2.1 Introducción.....	21
2.2 Requerimientos técnicos.....	22
2.2.1 Casa de la calidad.....	23
2.2.1.1 Voz del usuario.....	23
2.2.1.2 Voz del ingeniero.....	24
2.2.1.3 Especificaciones técnicas.....	25
2.3 Diseño conceptual.....	27
2.3.1 Análisis funcional.....	27
2.3.2 Definición de módulos funcionales.....	32
2.3.4 Soluciones para cada módulo.....	32

2.4 Matriz morfológica.....	39
2.5 Método de selección.....	41
2.5.1 Matriz de residuos ponderados.....	41
2.5.2 Conclusión.....	43
CAPÍTULO III: Diseño y selección de equipos y sistemas.....	44
3.1 Diseño del proceso.....	44
3.2 Diseño mecánico.....	45
3.2.1 Diseño de la estructura metálica.....	45
3.2.1.1 Especificaciones para el diseño de estructuras metálicas.....	45
3.2.1.2 Descripción del sistema.....	46
3.2.1.3 Cargas de diseño.....	47
3.2.1.4 Dimensionamiento de vigas principales.....	50
3.2.1.5 Dimensionamiento de vigas secundarias.....	57
3.2.1.6 Análisis de estabilidad y resistencia.....	61
3.2.1.7 Diseño de columnas.....	63
3.2.2 Diseño del agitador.....	71
3.2.3 Diseño del recipiente.....	78
3.2.4 Diseño del transportador de banda.....	82
CAPÍTULO IV: Simulación por MEF y automatización de componentes.....	85
4.1 Simulación por elementos finitos de la columna externa.....	85
4.1.1 Convergencia de la solución.....	87
4.1.2 Interpretación de resultados.....	88
4.2 Simulación por elementos finitos del eje agitador.....	88
4.3 Simulación por elementos finitos del tanque mezclador.....	92
4.3.1 Convergencia de la solución.....	94
4.3.2 Interpretación de resultados.....	95
4.4 Simulación por elementos finitos de la viga secundaria.....	95
4.5 Simulación por elementos finitos del pórtico.....	98

4.6 Simulación por elementos finitos de la estructura de la plataforma.....	101
4.7 Simulación por elementos finitos del transportador.....	103
4.8 Automatización del proceso de envasado y sellado de pinturas.....	105
4.8.1 Neumática.....	105
4.8.2 Descripción proceso desarrollado	111
4.9 Simulación de la planta.....	117
4.9.1 Mezclado.....	118
4.9.2 Envasado.....	118
4.9.3 Colocador de tapa.....	120
4.9.4 Acomodador de envases	121
4.10 Simulación de la planta con InTouch.....	122
4.10.1 Panel principal.....	122
4.10.2 Menú principal.....	123
4.10.3 Dosificado.....	123
4.10.4 Colocador de tapas.....	124
4.10.5 Etiquetado.....	124
4.10.6 Acomodador de envases.....	125
4.10.7 Termo sellado.....	125
 CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones.....	 126
5.1 Conclusiones.....	126
5.2 Recomendaciones.....	127

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

CONTENIDO DE FOTOGRAFÍAS

Foto 1 Materia prima en bodega.....	14
Foto 2 Pesaje de componentes.....	15
Foto 3 Tanque mezclador de pinturas.....	15
Foto 4 Colocación de químicos en el mezclador.....	16
Foto 5 Mezclado y agitado de químicos.....	16
Foto 6 Colocación de cargas a la mezcla.....	17
Foto 7 Agitación de químicos y cargas.....	17
Foto 8 Pigmentos amarillo y azul.....	18
Foto 9 Muestreo de pintura.....	18
Foto 10a Envasado.....	19
Foto 10b Etiquetado.....	19
Foto 11 Proceso de termo sellado a la entrada.....	19
Foto 12 Presentación del producto termo sellado a la salida.....	20
Foto 13 Bodegaje de pinturas fabricadas.....	20

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1.1 cantidad de galones producido por fabricante año 2013.....	7
Tabla 1.2 Especificaciones técnicas del medidor de viscosidad.....	11
Tabla 2.1 Especificación para una línea de producción de pinturas.....	25
Tabla 2.2 Descripción de materiales en el proceso de obtención de pintura.....	30
Tabla 2.3 Opciones para el proceso de disgregar y mezclar.....	35
Tabla 2.4 Opciones para el proceso de homogeneizar la mezcla.....	36
Tabla 2.5 Sistema de envasado y dosificado.....	37
Tabla 2.6 Sistemas de transporte y tapado.....	38
Tabla 2.7 Matriz morfológica.....	40
Tabla 3.1 Proceso de fabricación de pinturas.....	44
Tabla 3.2 Componentes de cargas muertas (D)	48
Tabla 3.3 Especificaciones de perfiles IPE.....	52
Tabla 3.4 Propiedades físicas de la sección cuadrada.....	65
Tabla 3.5 Parámetros del agitador.....	71
Tabla 3.6 Esfuerzos ASTM para diversos materiales.....	80
Tabla 3.7 Parámetros y factores de diseño transportador.....	84
Tabla 4.1 Resultados de simulaciones de columna externa.....	87
Tabla 4.2 Resultados de simulaciones del Eje aspa.....	91
Tabla 4.3 Resultados de simulaciones del Tanque.....	94
Tabla 4.4 Resultados de simulaciones de la viga secundaria.....	97
Tabla 4.5 Resultados de simulaciones del Pórtico.....	100
Tabla 4.6 Elementos neumáticos.....	106
Tabla 4.7 Elementos para automatización de la planta de pinturas.....	106
Tabla 4.8 Cilindros neumáticos.....	108
Tabla 4.9 Elementos eléctricos.....	114
Tabla 4.10 Elementos electrónicos.....	114

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1.1 Línea de producción de pinturas base agua.....	4
Figura 1.2 Fabricantes de pinturas en el Ecuador.....	6
Figura 1.3 Galones fabricados por pinturas Condor.....	7
Figura 1.4 Marcas de pinturas base agua.....	8
Figura 1.5 Consumo Esmaltes por marca.....	8
Figura 1.6 Medidores de PH.....	9
Figura 1.7 Medidores de viscosidad.....	10
Figura 1.8 Conjunto agitador recipiente.....	11
Figura 1.9 Transportador de banda.....	12
Figura 1.10 Proceso tradicional de fabricación de pinturas.....	13
Figura 2.1 Esquema de funcionamiento de la planta.....	22
Figura 2.2 Plataforma y depósitos.....	33
Figura 2.3 Mezcladora de eje vertical.....	34
Figura 2.4 Sistema rotor cortador.....	35
Figura 2.5 Sistema rotor paletas.....	35
Figura 2.6 Sistema hidráulico.....	36
Figura 2.7 Sistema electro mecánico.....	36
Figura 2.8 Sistema automático.....	37
Figura 2.9 Sistema manual.....	37
Figura 2.10 Sistema de transporte por bandas internas.....	38
Figura 2.11 Sistema de transporte por rodillos.....	38
Figura 2.12 Sistema de tapado.....	38
Figura 2.13 Máquina termo selladora.....	39
Figura 3.1 Estructura diseñada.....	46
Figura 3.2 Elementos constitutivos de la losa.....	47
Figura 3.3 Esquema de la parte superior de la estructura.....	50
Figura 3.4 Carga distribuida sobre la viga principal.....	51
Figura 3.5 Esquema para el análisis de vigas secundarias.....	57
Figura 3.6 Esquema de una crujía.....	62

Figura 3.7 Columna.....	63
Figura 3.8 Esquema de columna exteriores.....	64
Figura 3.9 Esquema de conexión columna placa base.....	68
Figura 3.10 Placa base.....	70
Figura 3.11 Detalles del aspa y sus hélices.....	73
Figura 3.12 Eje agitador.....	74
Figura 3.13 Diagrama de cuerpo libre eje a flexión.....	75
Figura 3.14 Diagrama de cuerpo libre eje en torsión.....	77
Figura 3.15 Recipiente con capacidad para 500 galones.....	79
Figura 3.16 Transportador marcha sobre mesa.....	82
Figura 4.1 FEA de tensiones de la columna externa.....	86
Figura 4.2 FEA de desplazamientos de la columna externa.....	86
Figura 4.3 Factor de seguridad de la columna externa.....	87
Figura 4.4 Curva de convergencia para la columna externa.....	88
Figura 4.5 FEA de tensiones en el conjunto eje - aspa.....	89
Figura 4.6 FEA de desplazamientos del conjunto eje – aspa.....	89
Figura 4.7 Factor de seguridad del conjunto eje – aspa.....	90
Figura 4.8 Curva de convergencia para el Eje Aspa.....	91
Figura 4.9 FEA de tensiones del tanque mezclador.....	93
Figura 4.10 FEA de desplazamientos del tanque mezclador.....	93
Figura 4.11 Factor de seguridad del tanque mezclador.....	94
Figura 4.12 Curva de convergencia para el tanque mezclador.....	95
Figura 4.13 FEA de tensiones de la viga secundaria.....	96
Figura 4.14 FEA de desplazamientos de la viga secundaria.....	96
Figura 4.15 Factor de seguridad de la viga secundaria.....	97
Figura 4.16 Curva de convergencia para la viga secundaria.....	98
Figura 4.17 FEA de tensiones del pórtico.....	99
Figura 4.18 FEA de desplazamientos del pórtico.....	99
Figura 4.19 Factor de seguridad del pórtico.....	100
Figura 4.20 Curva de convergencia para el pórtico.....	101
Figura 4.21 Factor de seguridad de la plataforma de carga.....	102

Figura 4.22 FEA de desplazamientos de la plataforma de carga.....	102
Figura 4.23 FEA de tensiones de la plataforma de carga.....	103
Figura 4.24 FEA de tensiones del transportador.....	104
Figura 4.25 FEA de desplazamientos del transportador.....	104
Figura 4.26 Factor de seguridad mínimo del transportador.....	105
Figura 4.27 Esquema de conexión de un cilindro y válvula 5/2.....	107
Figura 4.28 Esquema de cilindros a utilizar en la planta de pintura.....	108
Figura 4.29 Esquema de conexión del PLC.....	110
Figura 4.30 Esquema neumático del dosificador.....	111
Figura 4.31 Esquema neumático del colocador de tapas.....	112
Figura 4.32 Esquema neumático del acomodador de envases.....	112
Figura 4.33 Esquema neumático de la Termo-selladora.....	113
Figura 4.34 Secuencia programada para el dosificador de pintura.....	115
Figura 4.35 Secuencia programada para la colocación de tapas.....	116
Figura 4.36 Secuencia programada para termo sellado.....	116
Figura 4.37 Vista general de la línea de pinturas PRODUTEKN.....	117
Figura 4.38 Proceso de mezclado y homogenizado de pinturas.....	118
Figura 4.39 Vista general del envasado de pintura.....	118
Figura 4.40 Llenado del dosificador.....	119
Figura 4.41 Descarga y llenado del envase.....	119
Figura 4.42 Ubicación de envases para tapado.....	120
Figura 4.43 Colocación de tapas y liberación de envases.....	120
Figura 4.44 Envases llegando a la entrada del termo sellador.....	121
Figura 4.45 Envase pateado por el pistón P9.....	121
Figura 4.46 Envases detenidos a la entrada del termo sellador.....	121
Figura 4.47 Envases ingresando al termo sellador.....	122
Figura 4.48 Panel Principal.....	122
Figura 4.49 Menú Principal.....	123
Figura 4.50 Dosificado.....	123
Figura 4.51 Colocador de tapas.....	124
Figura 4.52 Etiquetado.....	124

Figura 4.53 Acomodador de envases..... 125
Figura 4.54 Termo sellado..... 125

RESUMEN

En este proyecto se presenta el diseño de una estructura elevada de 108 m², cuya función principal es la de almacenar materia prima y permitir acceder a los tanques de mezclado para la producción de pinturas, los tanques mezcladores se diseñan considerando tres tipos de pinturas en base agua (colores claros y pasteles, colores oscuros y solventes), el sistema de transporte en línea que permite acoplar el sistema de tapado, el sistema de etiquetado y el sistema de termo sellado, como componentes principales para la fabricación de pinturas.

Se automatizaron los siguientes procesos: El dosificado, el transporte y el tapado de envases. Adicionalmente se consideró el termo sellado, para el cual se adiciona al sistema un acomodador de envases ya que el equipo termo sellador recibe grupos de 4 unidades para completar el proceso.

La automatización consideró cilindros neumáticos, electroválvulas 5/2, motores para bandas transportadoras y motores para tanques de mezclado. Las bandas transportadoras operan con motorreductores de 1 Hp mientras que los tanques de mezclado requieren motores de 50 Hp de potencia cada uno.

Para acelerar el proceso de diseño, se simulan los elementos críticos mediante el software Solidworks con el que se verifica la rigidez y resistencia de cada elemento analizado de la planta. Mediante el software de simulación Fluid SIM se verifica el comportamiento de los sistemas neumáticos empleados y la programación del PLC. Con ayuda del software Flash CS6 se simula el funcionamiento general de la planta.

PRESENTACIÓN

El ritmo de crecimiento y demanda de productos para la protección de materiales empleados en la construcción y la industria han contribuido a que la empresa PRODUTEKN busque la forma de mejorar y automatizar algunos de los procesos empleados en la fabricación de sus pinturas. El presente proyecto tiene como objetivo diseñar, automatizar y simular una línea de fabricación de pinturas, considerando los requerimientos de la empresa PRODUTEKN, los equipos que pueden acoplarse a la línea como el termo sellador y las especificaciones del departamento de ingeniería de la empresa. El trabajo se estructura en cuatro capítulos los cuales se detallan a continuación:

En el capítulo 1 se describen los procedimientos tradicionales de fabricación de pinturas, tipos de pinturas, capacidades de producción de plantas automatizadas, equipos empleados y el proceso utilizado por la empresa PRODUTEKN.

En el capítulo 2 se presenta un análisis y selección de alternativas, con ayuda de la casa de la calidad hasta la obtención de las especificaciones técnicas. Además se evalúa y selecciona la mejor opción de entre varias mediante el método ordinal de residuos ponderados.

En el capítulo 3 se describe el diseño de la estructura, el eje agitador, los tanques mezcladores y el transportador de banda.

En el capítulo 4 se presentan las simulaciones con herramientas CAD y FEA de algunos de los componentes de la línea de pinturas, para verificar su comportamiento ante las cargas consideradas en el diseño. También se presenta la simulación de los sistemas automatizados como el dosificado, el tapado de envases, en acomodado de envases y el termo sellado, considerando que este último es un equipo que dispone la empresa. Finalmente se presenta una descripción general del funcionamiento de la planta elaborado con el software flash CS6 e InTouch.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES SOBRE LA FABRICACIÓN DE PINTURAS

1.1 LAS PINTURAS

“Las pinturas constituyen el método más adecuado para proteger materiales empleados en la construcción y la industria.

Los componentes fundamentales de una pintura son el material formador de película (también llamado aglutinante o ligante), los pigmentos, los aditivos y eventualmente la mezcla solvente (disolvente o diluyente).

La función protectora de las pinturas incluye resistencia al aire, agua, líquidos orgánicos y sustancias químicas (ácidos, álcalis y contaminación atmosférica), así como mejorar las propiedades mecánicas sobre algunos materiales, aportando mejor dureza, resistencia a la absorción, etc.”¹

El uso de pinturas como elemento de protección superficial y decorativa se emplea desde tiempos muy antiguos y se encuentra presente en casi todos los productos creados por el ser humano, razón por la cual el consumo de estos elementos es vital en los procesos de producción.

En nuestro país el campo de aplicación de pinturas es muy extenso entre los más importantes se tiene el sector de la construcción, edificios, casas, conjuntos habitacionales, señalización de carreteras puentes y obras civiles en general, en el ámbito industrial se dividen en la parte metalmecánica, madera, artesanías, automotriz y petrolero. Según el uso y la prestación del tipo de revestimiento deseado, las pinturas se fabrican en función del elemento de dilución para su aplicación, estos son a base

¹ Giudice C, Pereyra A., Tecnología de pintura y recubrimientos. México (2009).

de solventes de origen inorgánico derivados del petróleo y agua, por garantizar el mínimo impacto ambiental las pinturas en base agua han tenido un notable crecimiento en consumo a nivel mundial.

1.2 TIPOS DE PINTURAS ²

Las pinturas considerando su composición, propiedades y formas de uso pueden clasificarse de la siguiente manera:

Por el tipo de ligante:

- Pinturas al aceite
- Oleo resinosas
- Termoplásticos negros
- Resinas poliésteres
- Acrilatos curados por radiación
- Resinas alquídicas
- Resinas acrílicas
- Condensados de formaldehído
- Resinas vinílicas
- Resinas de caucho sintético
- Resinas epoxídicas
- Resinas poliuretánicas
- Silicatos metálicos y orgánicos
- Resinas de silicona

Por el espesor de película seca: Convencionales
Tixotrópicas

² Giudice C, Pereyra A., Tecnología de pintura y recubrimientos. México (2009).

Por su propiedad más importante:

“Shop-primers” o pinturas de protección temporaria.

“Wash-primers” o imprimaciones de lavado.

Pinturas anticorrosivas

Pinturas intermedias

Pinturas de terminación

Por el brillo de la película: Brillantes

De poco brillo

Mates

1.3 ESTADO DEL ARTE

La empresa SieHe, especializada en investigación, diseño, fabricación, ventas y servicios para equipos de productos líquidos y en polvo conformada por “Shanghai SIEHE Maquinarias Mecánicas y Eléctricas S.A y Shanghai HEQUN Equipos Mecánicos y Eléctricos.S.A” radicada en Qpingpu Shanghai desarrolla equipos completos y soluciones para líneas de producción de pintura base agua, mismos que se componen de:

Sistemas de alimentación

Sistemas de medición

Sistemas de dispersión y molido

Sistemas de limpieza

Sistemas de control automático

Sistemas de llenado

Los procesos son automatizados para obtener productos de calidad como: pinturas

solubles al agua, pinturas reducibles al agua y pinturas de emulsión.

Los diseños que realiza la empresa utilizan software mecánico tridimensional, simuladores computacionales de pruebas, equipos avanzados para ensayos, que les permite ofrecer proyectos llave en mano, está presente en 80 países en Europa, América del sur, África, Oriente medio y Asia.

La empresa ofrece dichos sistemas con capacidades de producción que oscilan entre 500 y 1000 ton/año, como se muestra en la figura 1.1.



Figura 1.1 Línea de producción de pinturas base agua

Fuente: <http://www.sieheindustry.com/es/Maquinarias-de-fluido/Fluid-Complete-Production-Equipment-/Water-based-Paint-Complete-Production-Line.html>

1.4 FABRICACIÓN DE PINTURAS EN EL ECUADOR

En esta industria predominan básicamente cinco tipos de pinturas de acuerdo a sus componentes químicos:

- Vinílicas
- Alquídicas
- Esmaltes

- Epóxicas
- Catalizadas, con composición uretanos, con base zinc.

La fabricación de éstas se encuentra distribuida en cuatro segmentos bien definidos, estos son: arquitectónico, madera, automotor e industrial.

El presente proyecto centra su estudio en una línea de producción para pinturas, revestimientos base agua y esmalte base solvente. Las pinturas base agua se orientan al mercado arquitectónico, la calidad y el tiempo de vida útil está en función del tipo de materias primas que se emplee.

Una pintura base agua se encuentra compuesta por los siguientes elementos:

- Agua o vehículo
- Cantidad de sólidos cargas, talcos carbonato de calcio, caolín, dióxido de titanio,
- Aditivos
- Resinas
- Pigmentos
- Espesantes

Las pinturas bases solvente se caracterizan por utilizar los siguientes elementos:

- Resinas alquídicas
- Estirenadas
- Vinil acrílicas
- Poliéster
- Aditivos
- Solventes

En realidad la situación no es del todo alentadora en Ecuador, debido a que el entorno económico, el constante cambio de leyes y creación de impuestos continúa generando incertidumbre a la hora de tomar decisiones de expansión por parte de las empresas de esta industria. El 60% del mercado lo han captado Pinturas Cónдор, Unidas y Pintuco. Actualmente, la economía se caracteriza por un consumo limitado, por falta de liquidez y un bajo poder adquisitivo de la población, o cual ha generado una demanda alta de productos importados, todo esto debido a la falta de competitividad de la industria nacional.

En la figura 1.2 se muestra los porcentajes de participación de los fabricantes de pintura en Ecuador

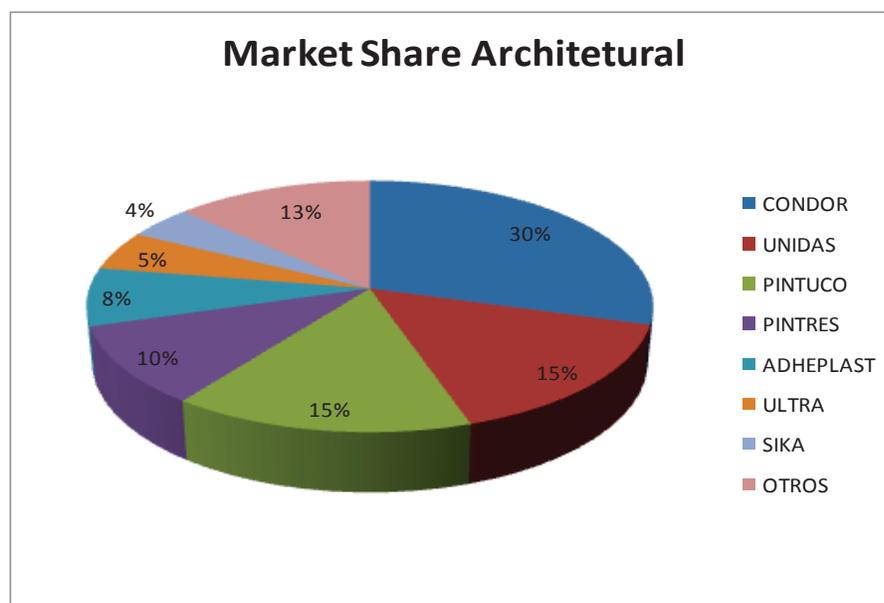


Figura: 1.2 Fabricantes de pinturas en el Ecuador.

Fuente: Store Audit ON 2013

En la figura 1.3 se muestra la cantidad total de galones fabricados por Pinturas Condor correspondiente al 30% de participación el en mercado nacional en el año 2013. La tabla 1.1 muestra la cantidad de galones producidos por fabricante

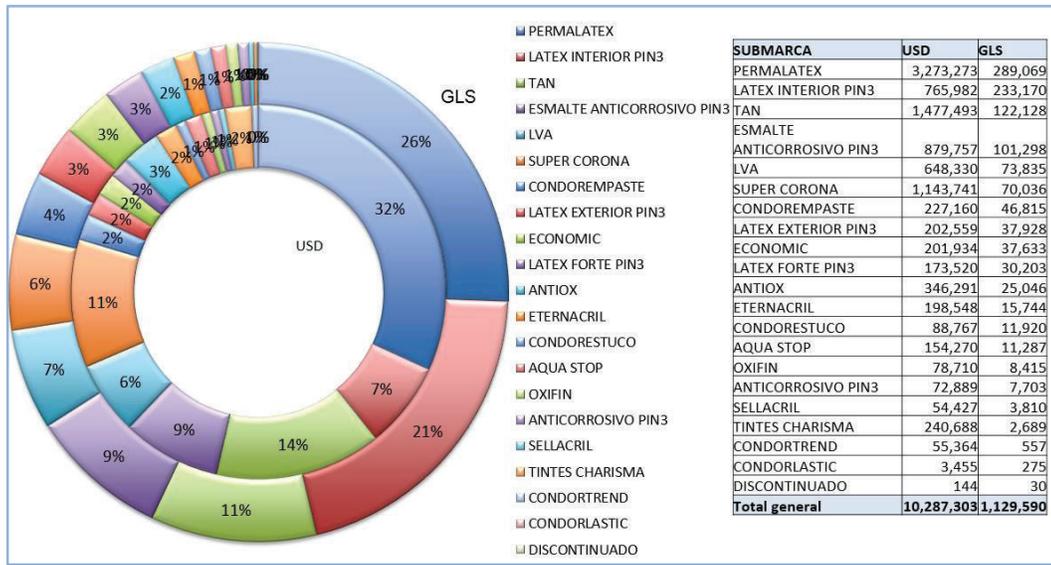


Figura: 1.3 Galones fabricados por Pinturas Condor.

Fuente: Store Audit ON 2013

Tabla 1.1 Cantidad de galones producidos por fabricante año 2013.

FRABRICANTE	PARTICIPACION	GALONES PRODUCIDOS
CONDOR	30%	1129590
UNIDAS	15%	564795
PINTUCO	15%	564795
PINTRES	10%	376530
ADHEPLAS	8%	301224
ULTRA	5%	188265
SIKA	4%	150612
OTROS	13%	489489
TOTAL GALONES		3765300

Fuente: Store Audit ON 2013

El consumo de pinturas arquitectónicas base agua son de mayor demanda en el mercado nacional, en la figura 1.4 se muestra la distribución de pinturas base agua según el tipo de marca de cada fabricante, el 25% de pinturas que el valor más alto corresponde a pequeñas fábricas y también a marcas de pinturas importadas.

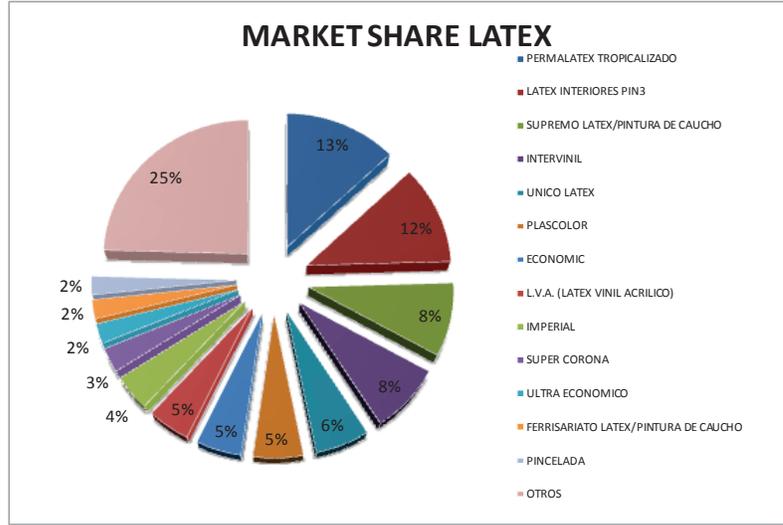


Figura: 1.4 Marcas de pinturas base agua

Fuente: Store Audit ON 2013

El consumo de esmaltes y pinturas base solvente alquídicas lo lidera Pinturas Cóndor, este tipo de revestimiento es usado con frecuencia en paredes de baños y cocinas, las característica de este producto y el acabado superficial que permite que se pueda lavar, en la figura 1.5 se puede apreciar que la marca de esmalte TAN tiene un 26% de participación en el mercado local.



Figura 1.5 Consumo de Esmaltes por marca

Fuente: Store Audit ON 2013

El 2013 fue un año exitoso para los fabricantes de pinturas, se alcanzó un promedio de fabricación de 1.692.307 galones, la mayor parte pertenece a pinturas base agua.

1.5 EQUIPOS Y DISPOSITIVOS UTILIZADOS

1.5.1 EQUIPOS DE LABORATORIO

Los equipos de laboratorio se utilizan para realizar control en los lotes de producción y garantizar que se cumplan los estándares de calidad, el PH, la temperatura, viscosidad, espesor y el cubrimiento de la pintura son parámetros fundamentales en la comercialización del producto terminado.

a) Medidores de PH y temperatura

Los medidores de PH son instrumentos que determinan la concentración de base y ácido en soluciones o sustancias químicas. Es necesario mantener un nivel de PH promedio aceptable en la fabricación de pinturas base agua para lo cual se deben realizar mediciones para cada lote de producción, la escala de niveles de PH es desde 0 hasta 14, el nivel de PH aceptable se encuentra entre 9 y 11. Existen varios tipos de medidores desde cintas gotas de tipo analógico hasta instrumentos electrónicos digitales.



Figura 1.6 medidores de PH

Existen medidores de PH electrónicos digitales que tienen incorporados medidores de temperatura, poseen memorias almacenadas de los valores de PH en función de la temperatura de la sustancia.

b) Medidores de Viscosidad

Estos instrumentos permiten determinar la resistencia de diferentes tipos de fluidos, existen diferentes medidores en función de la manera en que realizan la operación, a continuación se detallan los más importantes

Medidores de viscosidad capilares: Estos instrumentos realizan la medición dirigiendo el fluido por el centro de un tubo fino o de calibre pequeño, el principio de funcionamiento de este instrumento está en función del tiempo que tarda el fluido al atravesar por el tubo capilar, parámetros como temperatura y presión del fluido están previamente determinados, como resultado se obtiene un valor de referencia de la viscosidad cinemática.

Medidores de viscosidad de rotación: Parametrizando los valores de la fuerza que necesita un objeto para girar dentro de un fluido se puede llegar a determinar la viscosidad del mismo, factores como el volumen del recipiente, la velocidad y la geometría del agitador son datos fundamentales para obtener las lecturas de viscosidad de los fluidos

Medidores de viscosidad Stabinger: Son medidores de viscosidad de rotación modificados, un cilindro hueco en el interior es más ligero que el líquido a medir, por tanto flota debido a la fuerza centrífuga.

En la figura 1.7 se muestran algunos tipos de medidores de viscosidad.



Figura 1.7 Medidores de viscosidad

Tabla 1.2 Especificaciones técnicas del medidor de viscosidad

Rangos de medición	10 ... 100.000 mPa.s
Precisión	±5 % (con líquido de Newton)
Rotores / Husillos	Nº 1 – 4
Velocidad de rotación	6 / 12 / 30 / 60 minutos
Dimensiones	300 x 300 x 450 mm (largo x ancho x alto)
Peso	1,5 kg
Alimentación	220. 240 V, 50 ... 60 Hz

1.5.2 PRINCIPALES EQUIPOS UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DE PINTURAS

a) Agitadores

El proceso de fabricación de pinturas consiste en obtener una mezcla homogénea de agua polvos, talcos pigmentos y resina, para ello se utiliza un recipiente para contener todo el volumen de la mezcla y un agitador que gire a alta velocidad durante un tiempo aproximado de 2 horas.

En la figura 1.8 se muestra el recipiente y el agitador como un solo conjunto de máquina, la potencia del motor está en función del volumen total de la mezcla.

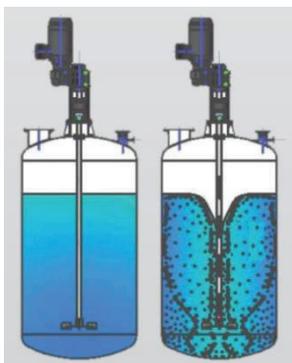


Figura: 1.8 Conjunto agitador recipiente

b) Transportadores banda marcha sobre mesa

Los transportadores de banda son utilizados en la industria y manufactura de productos de casi todas las áreas como alimentos, cosméticos, químicos, textil. Se utilizan en líneas de producción ya sea para embalaje etiquetado o simplemente para movilizar los productos de un lado a otro, dependiendo de la aplicación que se requiera la banda puede ser sintética, de lona, caucho vulcanizado o metálica como se aprecia en la figura 1.9, las velocidades de arrastre de los productos son bajas con rangos desde 0.1 m/s hasta 0.3m/s.



Figura 1.9 Transportador de banda

1.6 LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

La implementación de un proceso para tornarlo más eficiente y disminuir las pérdidas, requiere de una gestión sustentada en las Normas ISO 9000 (de aseguramiento de la calidad) e ISO 14000 (gestión ambiental).

El proceso tradicional de fabricación de pinturas se muestra en la figura 1.10, misma que considera sus respectivas etapas.³

³ Giudice C, Pereyra A., Tecnología de pintura y recubrimientos. México (2009).

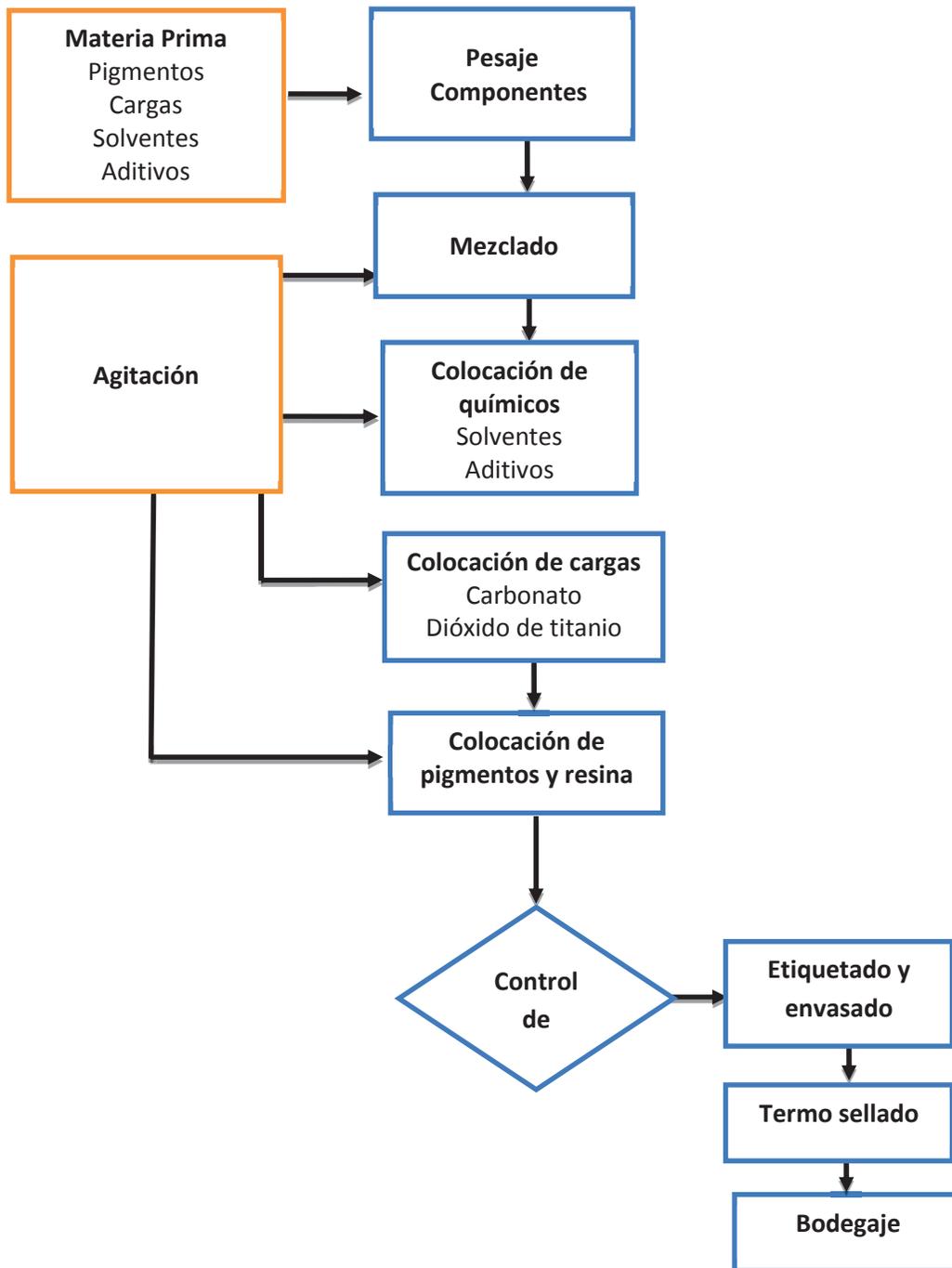


Figura 1.10 Diagrama del proceso tradicional en la fabricación de pinturas

Elaboración: Los autores

1.7 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA EMPRESA PRODUTEKN

En la actualidad la empresa tiene un proceso de fabricación de pinturas, que obedeciendo a su necesidad cuenta con equipos de fabricación nacional y su posicionamiento en el mercado ha crecido considerablemente.

Para fabricar sus productos, la empresa elabora sus propias formulaciones, con un proceso definido y un control de calidad pertinente que cumple con las exigencias del mercado local.

A continuación se detalla el procedimiento utilizado:

1. **Recepción de materia prima.**- En esta etapa se verifica la cantidad de químicos, solventes, etiquetas, envases y plásticos termo-encogibles que llegan a la empresa, mismos que pasan a embodegarse como se muestra en la foto 1.



Foto1. Materia prima en bodega

2. **Pesaje de componentes.**- Para iniciar con la etapa de fabricación de pinturas, es necesario realizar el pesaje de químicos, cargas, pigmentos y resinas según la formulación especificada para cada producto, (ver foto 2).



(a)



(b)

Foto 2. Pesaje de componentes (a. cargas, b. químicos)

3. *Mezclado de componentes.*- El proceso inicia colocando agua en el tanque mezclador, para disolver y romper los químicos, cargas y pigmentos. La foto 3 muestra el procedimiento inicial utilizado para esta etapa del proceso.



Foto 3. Tanque mezclador de pinturas.

4. *Colocación de químicos.*- Se colocan los químicos en el tanque para su disolución (ver foto 4). La materia prima es ingresada al tanque en un orden preestablecido para conseguir una homogeneidad adecuada (ver foto 5).



Foto 4. Colocación de químicos en el mezclador



Foto 5. Mezclado y agitado de químicos

5. *Colocación de cargas.*- Seguidamente se colocan las cargas en el tanque para conseguir consistencia en la mezcla (ver foto 6).



Foto 6. Colocación de cargas a la mezcla

6. *Agitación.*- En esta etapa es necesario que tanto los químicos como las cargas se mezclen adecuadamente sin que se generen grumos y garantizando su completa dilución (ver foto 7).



Foto 7. Agitación de químicos y cargas

7. **Colocación de pigmentos y resinas.**- Cuando se ha conseguido que la mezcla anterior sea uniforme se deben colocar los pigmentos (pre coloración del producto), se agregan las resinas y finalmente se realiza un ajuste de color (control de calidad mediante la medición de PH, medición de temperatura, pruebas de densidad y trazados de cubrimiento) Foto 8.



(a)



(b)

Foto 8a. Pigmentos color amarillo, 8b. Pigmentos color azul

8. **Control de calidad.**- Una vez que se han colocados los pigmentos, es necesario tomar una muestra de pintura para asegurarse de la tonalidad y consistencia de la misma.



Foto 9. Muestreo de pintura

9. **Etiquetado y envasado.**- Si el producto pasa el control de calidad, este debe ser etiquetado con el logo de la empresa (ver foto 9 a) para luego ser envasado (en presentaciones de litro, galón o caneca) como se aprecia en la foto 9b.



(a)



(b)

Foto 10a. envasado y 10b. Etiquetado

10. **Termo sellado.**- Cuando la pintura se ha etiquetado, esta se agrupa en grupos de 4 para proceder al termo sellado, procedimiento que se lo realiza de forma semiautomática para facilitar el transporte del producto hacia los almacenes de venta (ver foto 11 y 12).



Foto 11. Proceso de termo sellado a la entrada.



Foto 12. Presentación del producto termo sellado a la salida

11. Bodegaje.- Finalmente las pinturas fabricadas, envasadas y termo selladas pasan a bodega para luego ser despachados los pedidos a cada uno de los almacenes de venta al público (ver foto 13).



Foto 13. Bodegaje de las pinturas fabricadas.

CAPÍTULO II

ANÁLISIS, ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

2.1 INTRODUCCIÓN

Dentro del enfoque de diseño para la calidad, siendo la calidad el conjunto de propiedades y características que se le da a un producto o servicio para que satisfaga las necesidades expresadas o implícitas, se deben cumplir 4 fases: Planificación del producto (casa de la calidad), despliegue de componentes, planificación del proceso y planificación de la producción.

La fabricación de pinturas demanda el uso de: agua, químicos, cargas y resina; los químicos están constituidos por antiespumantes (exkim), aditivo para brochabilidad (dielglicol) y bactericidas (neuside); las cargas se componen de: carbonato de calcio (A325, B325), dióxido de titanio (pigmento blanco en polvo), caolín, talco chino (talco peruano), pastas vegetales (pigmentos de varios colores), espesante celulósico (natrosol); la resina poli vinil acrílica.

Todos estos compuestos deben mezclarse, dispersarse y homogeneizarse siguiendo el orden que se describe a continuación:

- a) Dosificación volumétrica manual de agua
- b) Dosificar antiespumante
- c) Colocar carbonato, dióxido de titanio, caolín y talcos
- d) Dosificar químicos
- e) Colocar pigmentos
- f) Dosificar espesantes
- g) Colocar resina

La figura 2.1 muestra la secuencia descrita anteriormente

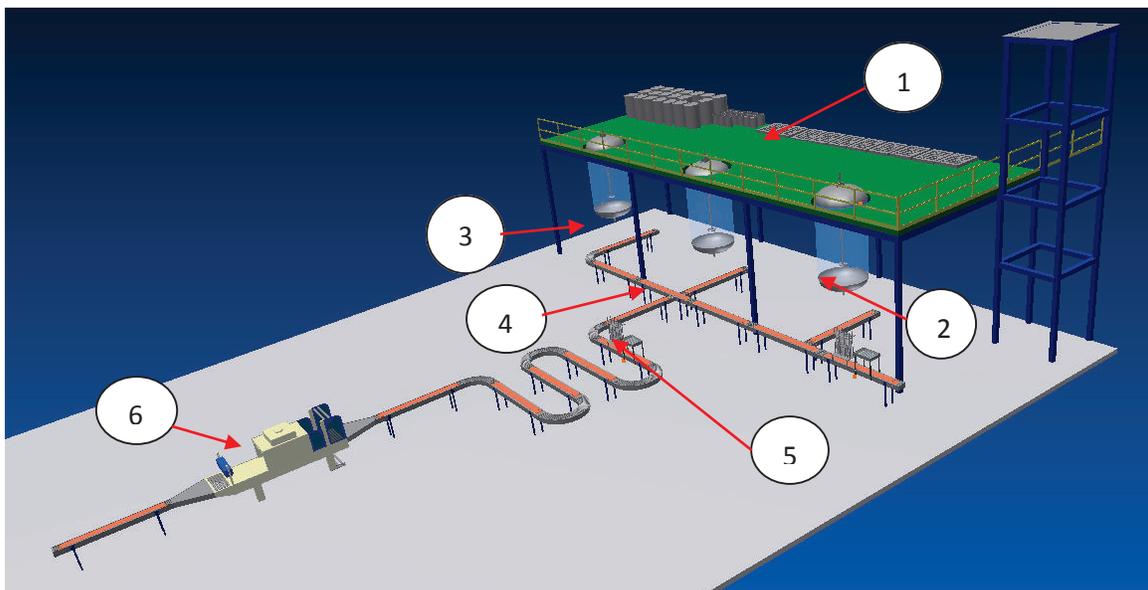


Figura 2.1 Esquema y funcionamiento de la planta

Elaboración: Los autores

El equipo para la fabricación de pinturas consta de:

1. Área de almacenaje de materia prima
2. Equipos de mezclado, dispersado y homogenizado
3. Equipos dosificadores
4. Sistemas de transporte
5. Equipo de Tapado y etiquetado
6. Equipo de embalaje.

2.2 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

El diseño que se propone en el presente proyecto, tiene como propósito satisfacer los requerimientos de la fábrica PRODUTEKN, cuya actividad principal es la fabricación y comercialización de pinturas, la empresa está ubicada en el distrito metropolitano de Quito, panamericana sur Km 7.

Actualmente la empresa cuenta con una máquina para fabricación de pintura con una capacidad de 80 galones que usa sistema de tornillo de potencia cuya altura es excesiva, además de ser fijo, el problema radica en los tiempos de trabajo y esfuerzo que hacen los operarios.

Este sistema no logra satisfacer la creciente demanda con que cuenta la fábrica, por lo que es necesario implementar un sistema con un grado de automatización que permita elevar la capacidad de producción, la productividad de la planta y la calidad del producto.

La empresa cuenta con tres productos en la línea claramente definidos, la línea de colores claros y pasteles, línea de colores oscuros y la de solventes.

2.2.1 Casa de la calidad⁴

Las especificaciones técnicas son determinadas por medio de una herramienta del QFD (quality function deployment), denominada la casa de la calidad cuyo objetivo principal es el de convertir los deseos y requerimientos del cliente en requerimientos técnicos que serán evaluados para determinar los de mayor importancia (ver Anexo 1).

2.2.1.1 Voz del usuario

El cliente solicita una línea de fabricación de pinturas con las siguientes características:

- Que se mezcle, disperse y homogenice la pintura.
- Que la calidad de la pintura sea óptima.
- Que produzcan 2000 galones por cada jornada de 8 horas.
- Que el proceso sea automatizado (mezclado, dispersado y homogenizado, dosificado, transporte, tapado, etiquetado y empacado).
- Que el proceso considere el graduado de agua y resina mediante un dispositivo de medición.

⁴ Carlos Riba, Diseño concurrente. Upc España (2002)

- Que las materias primas sean ingresadas de forma manual, por un operario.
- Que opere con energía eléctrica trifásica.
- Que el depósito sea cilíndrico.
- Que exista un área elevada para un stock de materia prima que abastezca una producción de 5 días.
- Que considerare las presentaciones de 5 galones, 1 galón u 1 litro.
- Que el sistema se acondicione para utilizar el termo sellador existente en la planta.
- Que se considere un área física disponible para la línea de 300 m².
- Que se considere tres productos base en la línea de producción.

2.2.1.2 Voz del ingeniero

Analiza los requerimientos y deseos del cliente y procede a traducirlos en especificaciones técnicas:

- Altura del depósito.
- Celdas de carga
- Velocidad de giro del agitador-dispersor.
- Volumen del depósito.
- Tiempo de mezclado.
- Potencia motor.
- Área y forma de la plataforma elevada.
- Dimensiones de la línea desde el envasado hasta el termo sellado.
- Regulación para las diferentes presentaciones del producto.
- Mecanismos de tapado (plásticos y metálicos).
- Mecanismos de etiquetado (plásticos y metálicos).
- Capacidad del termo sellador disponible.
- Automatización de parte del proceso.

- Ergonomía.

2.2.1.3 Especificaciones técnicas

La tabla 2.1 muestra una lista de especificaciones necesarias para el diseño de la línea de fabricación de pinturas:

Tabla 2.1.- Especificación para una línea de producción de pinturas

Empresa: PRODUTEKN Diseñadores: Juan Carlos Parra Ángel Sotomayor		Producto: Línea semiautomática para fabricación de pintura.		Fecha inicial:08/03/2013 Última revisión:24/08/2014 Página1
Especificaciones				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función	08/03/2013	C	R	Sistema para fabricar pinturas.
		C	R	Fabricar tres tipos base de pinturas en la línea.
		C	R	Producir 2000 galones de pintura por jornada de 8 horas.
		C	R	Transportar la pintura.
Velocidad	08/03/2013	C	R	Tapar y etiquetar automáticamente.
		C	R	Empacar en grupos de 4 unidades en termo sellador.
		C+I	R	Giro del rotor 1700 r.p.m

		C+I	R	Homogenización 0,1m/s
Automatización	11/03/2013	C	R	El ingreso de materia prima, encendido y parada del equipo, deben ser controlados por el operador.
		C+I	R	El sistema de homogenización, dosificación, sistemas de tapado, sistemas de etiquetado y termo sellado deben ser automáticos.
Dimensión	12/03/2013	C+I	R	Envases de 5 galones. Envases de 1 galón.
Movimientos	12/03/2013	C	D	Movimientos horizontales
Fuerzas	12/03/2013	C	R	Stock en plataforma para 5 días.
Materiales	12/03/2013	C	R	Recipientes plásticos y metálicos de 1 galón.
		C	R	Recipientes plásticos de 5 galones.
Transporte	13/03/2013	C	R	Área disponible 300 m ²
Energía	13/03/2013	C	R	Energía eléctrica
Mantenimiento	13/03/2013	C	R	De fácil montaje y limpieza.

Fuente: Cliente e Ingeniería, empresa PRODUTEKN

Elaboración: Los autores.

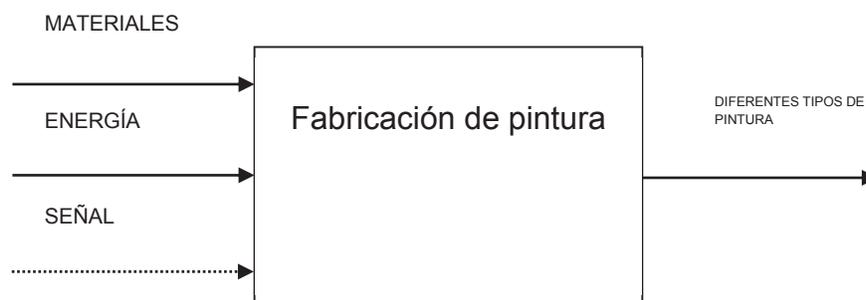
2.3 DISEÑO CONCEPTUAL

En esta etapa se parte de las especificaciones del producto y del proceso, originando diversas alternativas de solución para luego ser evaluadas y elegir la más adecuada. Como resultado se obtiene un principio de solución evaluado y validado convenientemente.

2.3.1 Análisis funcional

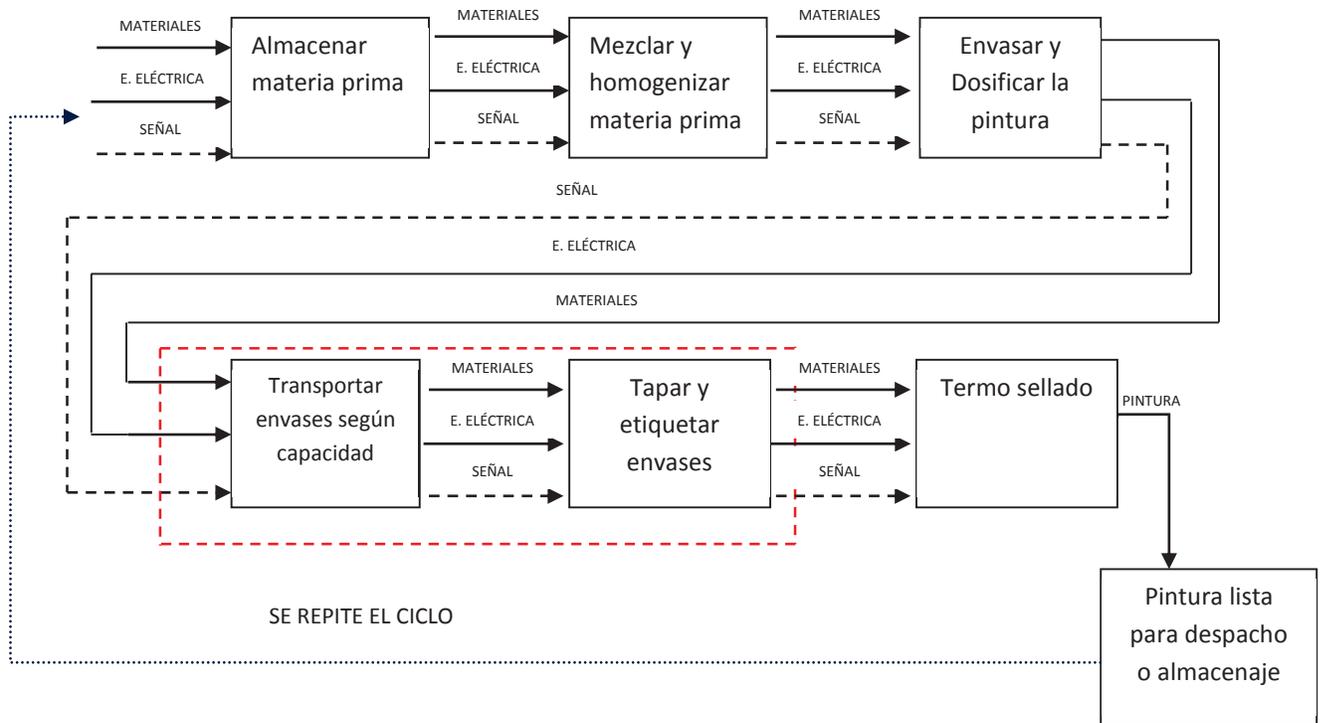
El nivel 0, representa de forma general el proceso de fabricación de pintura; para que se cumpla esta función son necesarios materia prima o materiales, energía y señales de control.

Nivel 0



El nivel 1 representa los procesos involucrados en la fabricación de pintura de manera general incluyendo el grado de automatización deseado por el usuario y las características de almacenamiento de materia prima.

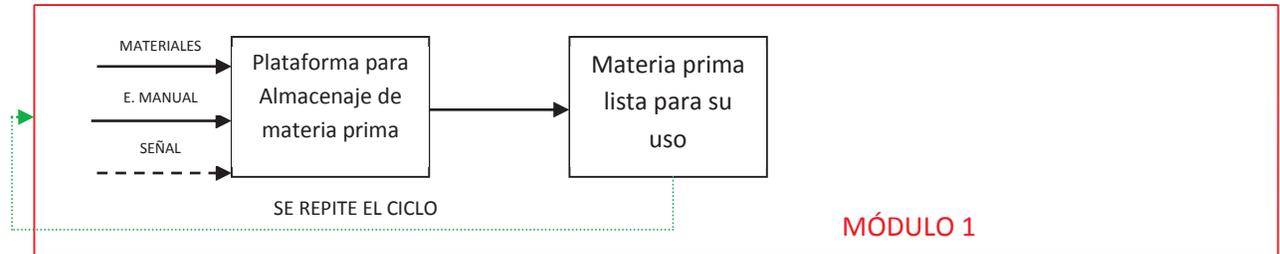
Nivel 1



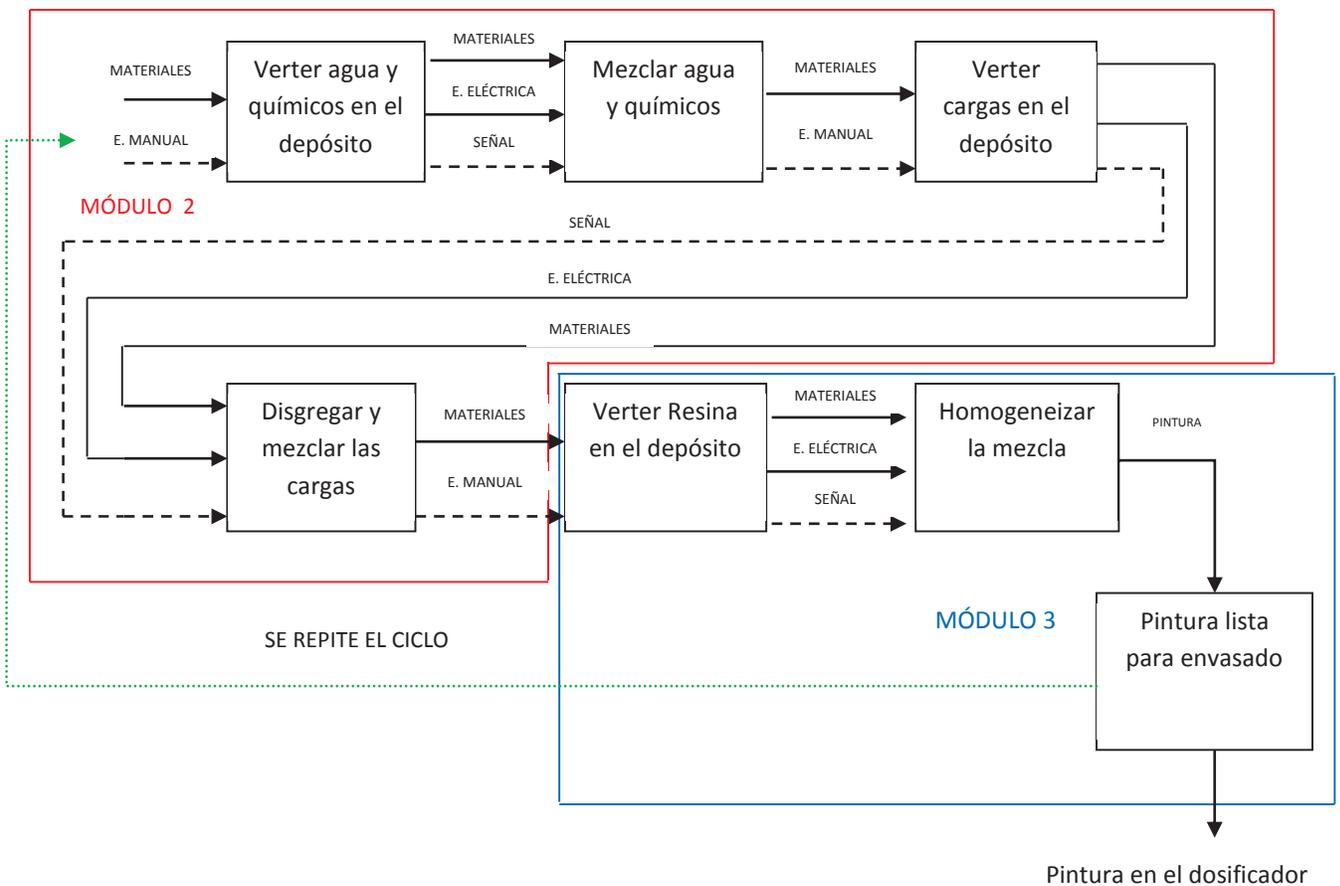
El nivel 2 muestra de forma más detallada cada uno de los procesos con acciones que en el nivel anterior no fueron especificadas. Se considera elevar y almacenar materia prima, debido a que el cliente solicita una plataforma que le permita tener un stock de materia prima disponible para 15 días de producción. Mezclar y homogenizar la materia prima implica considerar 3 tipos de productos definidos: pinturas colores claros, colores oscuros o sucios y esmaltes. Envasar y dosificar pintura requiere la consideración de galones y canecas. Transportar envases según capacidad implica considerar trayectorias distintas tanto para galones como para canecas. Tapar y etiquetar toma en cuenta canecas en envase plásticos y galones en envases plásticos y metálicos. Termo sellado utiliza máquina disponible en la planta para ser acoplada a la línea de producción, esto para envases de 1 galón metálicos y plásticos en grupos de 4.

Nivel 2

a) Almacenar materia prima



b) Mezclar y Homogenizar materia prima



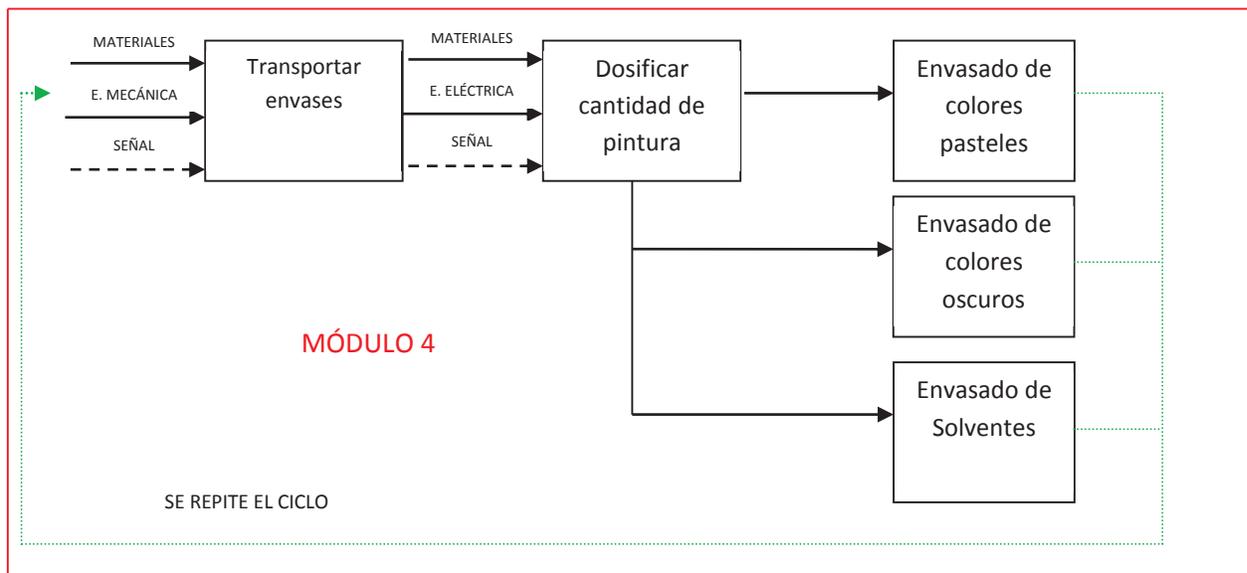
A continuación se presenta la tabla 2.2, que muestra como entran y salen los materiales durante el proceso de mezclado y homogenizado:

Tabla N°2.2.- Descripción de materiales en el proceso para la obtención de pintura

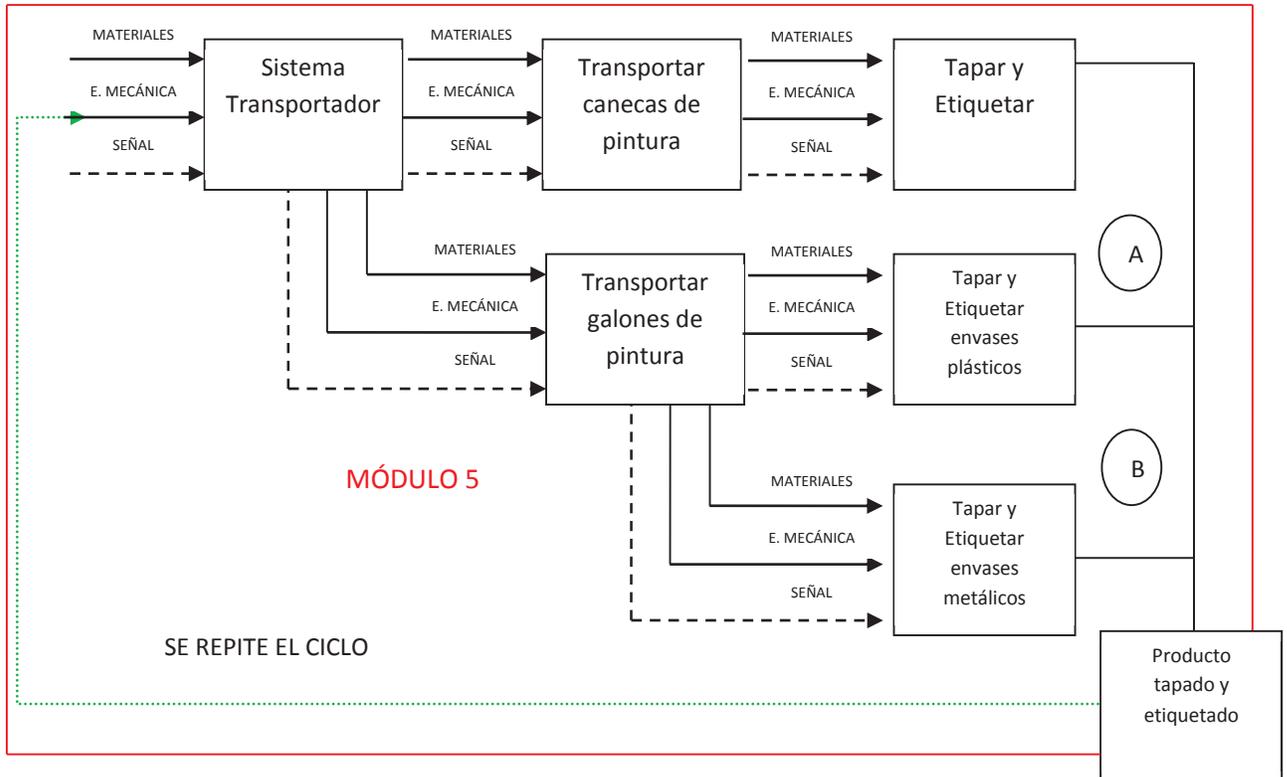
MATERIAL	DESCRIPCIÓN	PROCESO
Material 1	Agua + Químicos	Se vierten en el depósito
Material 2	Agua + Químicos	En el depósito
Material 3	Cargas: <ul style="list-style-type: none"> • Carbonato • Dióxido de titanio • Caolín • Talco chino • Pigmentos • espesantes 	Se vierten en el depósito
Material 4	Cargas	En el depósito
Material 5	Resina	Verter resina en el depósito
Material 6	Resina	En el depósito

Elaboración: Los autores

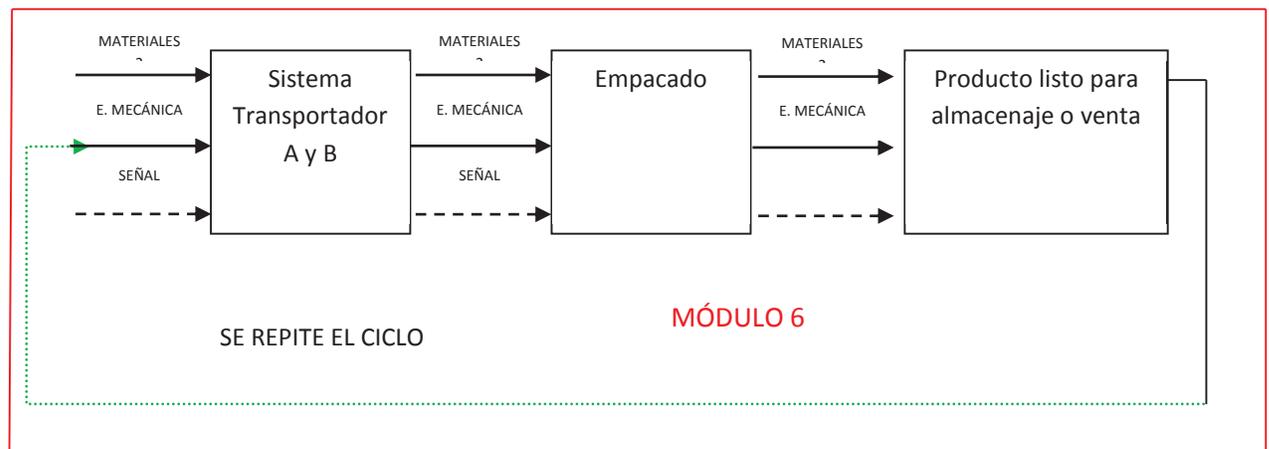
c) Envasar y Dosificar pintura



d) Transportar envases según su capacidad, tapar y etiquetar.



e) Termo sellado



2.3.2 Definición de módulos funcionales

La modularidad consiste en definir varios bloques funcionales o constructivos, que ayudan enormemente para el diseño en: reducción de costos, mantenimiento, facilidad de producción entre otros.

Al analizar los diagramas funcionales de cada etapa del proceso, se llega a establecer seis conjuntos principales de funciones:

- Colocado de materia prima en una plataforma (Módulo 1)
- Mezclado y disgregado de materiales (Módulo 2)
- Homogeneización de la mezcla (Módulo 3)
- Envasado y dosificado de pintura (Módulo 4)
- Transporte, tapado y etiquetado (Módulo 5)
- Termo sellado (Módulo 6)

2.3.4 Soluciones para cada módulo

Módulo 1

Por requerimientos del cliente se debe diseñar una plataforma elevada con una capacidad para un stock de materia prima que permita una producción continua durante 5 días,

Desde esta plataforma se debe acceder al equipo de mezclado y homogenizado de la pintura para poder colocar las materias primas correspondientes con comodidad y eficiencia, por lo tanto se plantea una solución única a ser considerada:

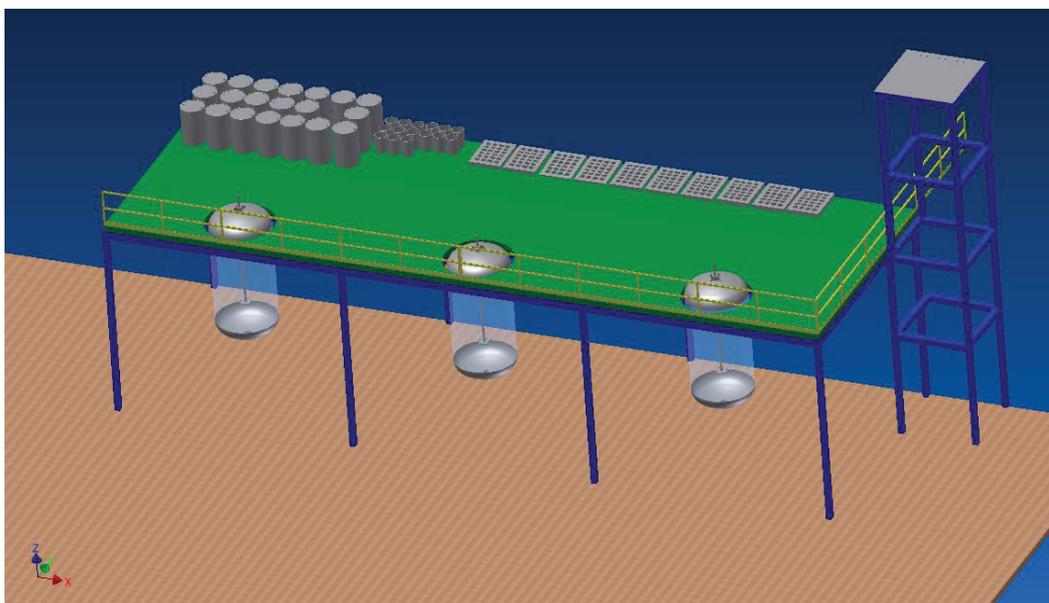


Figura 2.2 Plataforma y Depósitos

Elaboración: Los autores

Módulo 2

Los depósitos por especificaciones del cliente deben ser cilíndricos, ubicados verticalmente para poder acceder a ellos desde la plataforma.

Las funciones principales de este módulo son:

- Verter agua y químicos en el depósito
- Mezclar agua y químicos
- Verter cargas en el depósito
- Disgregar y mezclar las cargas

A continuación se presentan posibles soluciones para cada una de las funciones propuestas.

a) Verter agua y químicos en el depósito

De acuerdo con las especificaciones, esta función la realizan manualmente los

operarios. Lo que hay que garantizar es que la altura del depósito sea tal que permita realizar esta tarea con facilidad desde la plataforma, el agua y la resina deben ser censadas con algún dispositivo.

b) Mezclar agua y químicos

Existen varios tipos de mezcladoras, pero para cumplir con esta función, se considera la siguiente:

1.- Mezcladora de eje vertical.



Figura 2.3 Mezcladora de eje vertical

Elaboración: Los autores

Ventajas:

Facilita la operación de homogeneizar la pintura al girar a alta velocidad en el interior del recipiente.

Permite envasar la pintura simplemente por gravedad.

Desventaja:

Presenta limitación en cuanto a la altura final de la máquina.

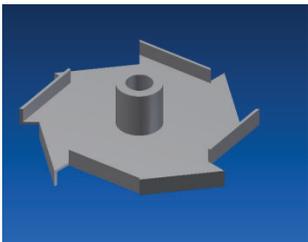
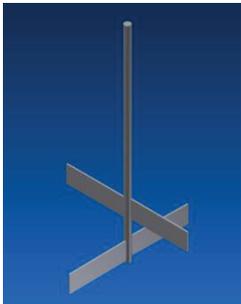
a) *Verter cargas en el depósito*

El proceso de colocar las cargas se lo realizara de forma manual por los operarios desde la plataforma.

b) *Disgregar y mezclar las cargas*

Para disgregar las cargas, especialmente los pigmentos, se ponen en consideración:

Tabla 2.3.- Opciones para el proceso de disgregar y mezclar

DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>1.- Sistema de rotor-cortador</p>  <p><i>Figura 2.4 Sistema de rotor-cortador</i></p>	<p>Además de mezclar corta y disgrega los pigmentos de la pintura.</p> <p>Con el giro y su diseño provoca que parte del fluido se direcciona hacia arriba y el otro para abajo, mejorando de esta manera la mezcla.</p>	<p>En la mezcla provoca excesiva espuma.</p> <p>En el proceso de espesar la pintura no mezcla de manera eficiente por lo que se procede a subir y bajar el rotor para homogenizar.</p>
<p>2.- Sistema de rotor – paletas</p>  <p><i>Figura 2.5 Sistema rotor-paletas</i></p>	<p>La mezcla es uniforme en todo el recipiente cuando espesa la pintura.</p> <p>Fácil de construir.</p>	<p>No se puede trabajar a altas revoluciones.</p> <p>No corta los pigmentos.</p>

Elaboración: Los autores

Módulo 3

Las funciones principales de este módulo son:

- Verter resina en el depósito
- Homogeneizar el producto

A continuación se proponen posibles soluciones para cada una de las funciones propuestas.

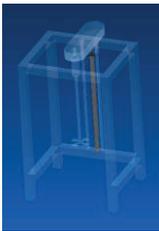
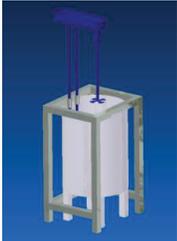
a) Verter resina en el depósito

Esta operación se la realizará de forma manual según las especificaciones del cliente.

b) Homogeneizar la mezcla

Para esta operación se ponen en consideración los siguientes sistemas:

Tabla 2.4.- Opciones para el proceso de homogeneizar la mezcla

DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>1.- Sistema hidráulico</p>  <p><i>Figura 2.6 Sistema Hidráulico</i></p>	<p>Mayor potencia en operación.</p> <p>Permite posiciones intermedias con mayor velocidad</p>	<p>Equipo con central hidráulica bombas, encarecen el costo del proyecto.</p> <p>Costos elevados por mantenimiento</p>
<p>2.- sistema electromecánico (Tornillo de potencia)</p>  <p><i>Figura 2.7 Sistema electromecánico</i></p>	<p>Posiciones para elevar y bajar el rotor muy pequeñas.</p> <p>Facilitan el proceso de homogeneizar la mezcla cuando la pintura espesa y se añade la resina</p>	<p>Proceso lento para subir y bajar el estator.</p> <p>No existe buena lubricación por lo que el perno se encuentra expuesto al contacto de cargas como carbonatos y talcos.</p>

Elaboración: Los autores

Módulo 4

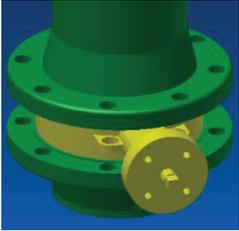
El envasado y dosificado debe considerar las presentaciones de $\frac{1}{4}$, 1 y 5 galones. Los envases deben avanzar mediante un sistema transportador y ubicarse bajo el depósito ya que en este punto estará el sistema dosificador el cual contempla una dosificación volumétrica.

Las funciones principales de este módulo son:

- Trasladar el envase a una posición fija
- Accionar sistema de dosificado
- Cerrar sistema de dosificado
- Trasladar envase al área de tapado y etiquetado

A continuación se presentan posibles soluciones para cada una de las funciones propuestas.

Tabla 2.5.- Sistemas de envasado y dosificado

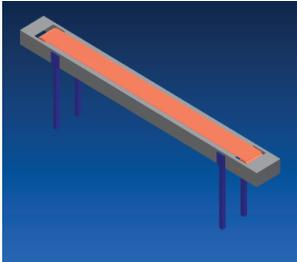
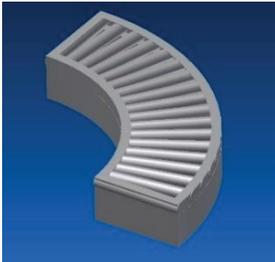
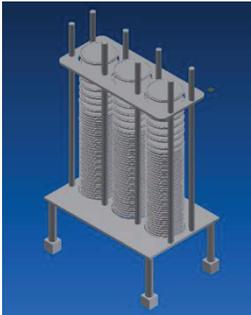
DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJA
1.-Dosificador automático  <i>Figura 2.8 Sistema Automático</i>	Mayor control en la dosificación. Facilita la automatización.	Su costo es elevado.
2.- Dosificador manual  <i>Figura 2.9 Sistema Manual</i>	Las piezas son fáciles de construir. Menor costo.	Requiere mayor mantenimiento.

Elaboración: Los autores

Módulo 5

El transporte, tapado debe considerar trayectorias curvas y rectas que faciliten el movimiento tanto de envases plásticos y metálicos en las diferentes presentaciones.

Tabla 2.6.- Sistemas de transporte y tapado.

DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>1.- Sistema de transporte por bandas Internas.</p>  <p><i>Figura 2.10 Transportador de Bandas Internas</i></p>	<p>Son utilizadas en sistemas automatizados de almacenamiento y transporte. Permiten un eficiente almacenaje, manufactura y distribución de materiales. Son de menor costo y manejan volúmenes grandes.</p>	<p>Se puede crear una ruta fija. Sirven para áreas limitadas. Se pueden crear cuellos de botella en el sistema. Al ser fijos obstaculizan el paso de equipos móviles.</p>
<p>2.- Sistema de transporte por rodillos</p>  <p><i>Figura 2.11 Transportador de rodillos</i></p>	<p>Facilitan el manejo y traslado de una gran diversidad de objetos. Son más resistentes y duraderos que los de banda. Soportan y manejan mayores cargas.</p>	<p>Los objetos deben contar con un fondo regular. Su costo es mayor. Utiliza mayor número de partes o elementos mecánicos.</p>
<p>3. Sistema de tapado</p>  <p><i>Figura 2.12 Sistema tapado</i></p>	<p>Permite colocar las tapas durante el recorrido del envase. Puede ajustarse a diferentes dimensiones de tapa.</p>	<p>Requiere inspección para abastecer de tapas. Su calibración requiere tiempo.</p>

Elaboración: Los autores

La función principal de este módulo es:

- Transportar el producto donde se requiera en la línea de producción.

Módulo 6

El termo sellado se realiza utilizando el equipo disponible en la planta (ver figura 13), al cual se le debe adecuar al sistema de transporte utilizado.

Las funciones que se deben cumplir son:

- Agrupar envases de cuatro en cuatro.
- Colocar lámina plástica.
- Transportar al interior del sellador.
- Accionar resistencias.
- Realizar el empacado.
- Transportar producto fuera del sellador.

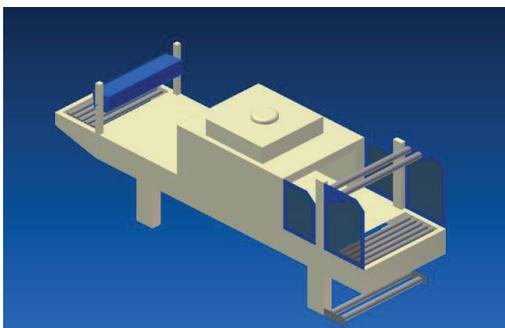


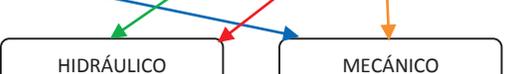
Figura 2.13 Máquina Termo selladora

Elaboración: Los autores

2.4 MATRIZ MORFOLÓGICA

La tabla 2.7 muestra la combinación de las soluciones para cada una de las funciones que conforman el sistema, las combinaciones realizadas son las que muestren compatibilidad de componentes en busca de la que mejor se acondicione y ajuste a las exigencias de requerimiento y técnicas para la producción automatizada de pinturas.

Tabla 2.7.- Matriz morfológica

Función	Componente
Colocar materia prima en plataforma	
Verter agua en el depósito	
Verter químicos en el depósito	
Mezclar agua y químicos	
Verter cargas en el depósito	
Disgregar y mezclar las cargas	
Verter resina en el depósito	
Homogeneizar el producto	
Trasladar envase a una posición fija	
Dosificar el producto	
Colocar tapa en el producto	
Etiquetar producto	
Empacar producto	

Alternativa1 Alternativa2 Alternativa3 Alternativa 4

Elaboración: Los autores

2.5 MÉTODO DE SELECCIÓN

2.5.1 Matriz de criterios ponderados

Los criterios a evaluar según el grado de incidencia en la línea de producción de pintura son:

- a) *Capacidad de producción.*- La línea debe ser capaz de producir 2000 galones por jornada de 8 horas.
- b) *Fiabilidad en la línea.*- Debido a que se involucran varios procesos y son interdependientes y un retraso constituye un contratiempo serio.
- c) *Velocidad de trabajo.*- Para garantizar el nivel de producción solicitado.
- d) *Costo competitivo.*- La línea debe generar un costo beneficio aceptable.
- e) *Flexibilidad.*- Se debe considerar los tipos de productos y sus presentaciones, de acuerdo con los requisitos del cliente.

A partir de estos datos iniciales se procede a través de los siguientes pasos:

1. Evaluación del peso específico de cada criterio

CRITERIOS	Producción	Costo	Fiabilidad	Velocidad	Flexibilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Producción		1	1	1	1	5	0,333
Costo	0		1	1	1	4	0,267
Fiabilidad	0	0		1	1	3	0,200
Velocidad	0	0	0		0,5	1,5	0,100
Flexibilidad	0	0	0	0,5		1,5	0,100
					SUMA	15	1
Producción > Costo>Fiabilidad>Velocidad=Flexibilidad							

2. Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio:

PRODUCCIÓN	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1	1	3,5	0,35
Alternativa 2	0,5		1	1	3,5	0,35
Alternativa 3	0	0		1	2	0,20
Alternativa 4	0	0	0		1	0,10
				SUMA	10	1
Alternativa 1 = Alternativa 2 > Alternativa 3 > Alternativa 4						

COSTO	Alternativa 4	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 1	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 4		1	1	1	4	0,40
Alternativa 2	0		1	1	3	0,30
Alternativa 3	0	0		1	2	0,20
Alternativa 1	0	0	0		1	0,10
				SUMA	10	1
Alternativa 4 > Alternativa 2 > Alternativa 3 > Alternativa 1						

FIABILIDAD	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	1	4	0,40
Alternativa 2	0		1	1	3	0,30
Alternativa 3	0	0		1	2	0,20
Alternativa 4	0	0	0		1	0,10
				SUMA	10	1
Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3 > Alternativa 4						

VELOCIDAD	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 1	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 2		1	1	1	4	0,40
Alternativa 3	0		1	1	3	0,30
Alternativa 4	0	0		1	2	0,20
Alternativa 1	0	0	0		1	0,10
				SUMA	10	1
Alternativa 2 > Alternativa 3 > Alternativa 4 > Alternativa 1						

FLEXIBILIDAD	Alternativa 1	Alternativa 3	Alternativa 2	Alternativa 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1	1	3,5	0,35
Alternativa 3	0,5		1	1	3,5	0,35
Alternativa 2	0	0		0,5	1,5	0,15
Alternativa 4	0	0	0,5		1,5	0,15
				SUMA	10	1
Alternativa 1 = Alternativa 3 > Alternativa 2 = Alternativa 4						

3. Calculo para la tabla de prioridades.

CONCLUSIÓN	Producción	Costo	Fiabilidad	Velocidad	Fiabilidad	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,35 x 0,33	0,10 x 0,267	0,40 x 0,20	0,10 x 0,10	0,30 x 0,10	0,263	2
Alternativa 2	0,35 x 0,33	0,30 x 0,267	0,30 x 0,20	0,40 x 0,10	0,15 x 0,10	0,311	1
Alternativa 3	0,20 x 0,33	0,20 x 0,267	0,20 x 0,20	0,30 x 0,10	0,35 x 0,10	0,225	3
Alternativa 4	0,10 x 0,33	0,40 x 0,267	0,10 x 0,20	0,20 x 0,10	0,15 x 0,10	0,195	4

2.5.2 Conclusión

Según el cuadro precedente, la mejor opción es la Alternativa 2, constituida por un rotor cortador, sistema de transporte por bandas, dosificación mecánica, Tapado neumático, etiquetado por rodillos y empaque por termo sellado.

CAPÍTULO III

DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS Y SISTEMAS

3.1 DISEÑO DEL PROCESO

El diseño de un proceso de producción implica el análisis por medio del cual los elementos e insumos involucrados se convierten en productos útiles para las diversas actividades humanas.

El estudio de un sistema de producción contempla:

- el diseño
- el análisis
- el control

Para diseñar un sistema de producción, se debe empezar con el diseño del producto, lo que permite organizar la manufactura considerando las necesidades del mismo.

La tabla 3.1, muestra el procedimiento considerado para la fabricación de pinturas base agua, tomando en cuenta todas las etapas de producción para obtener productos competitivos y de calidad.

Tabla 3.1 Proceso de fabricación de pinturas

Recepción de materia prima
Inventario de materia prima
Medición de aditivos

Mezclado y homogeneizado
Control de calidad
Adición de color
Control de calidad de color
Envasado, tapado, etiquetado y empacado
Inventario de producto final
Despacho o bodegaje

Elaboración: Los autores

3.2 DISEÑO MECÁNICO

3.2.1 Diseño de la estructura metálica

3.2.1.1 Especificaciones para el diseño de estructuras metálicas

Para el diseño de una estructura es importante cumplir con normas y especificaciones vigentes, nacionales e internacionales que respalden los procedimientos de cálculo y diseño de la estructura.

El objetivo de utilizarlas es el de obtener estructuras seguras, económicas y funcionales de acuerdo a los requerimientos mínimos del diseño basado en las necesidades del cliente.

A continuación se presentan las normas, códigos y especificaciones consideradas en el presente diseño.

- AISC (American Institute of Steel Construction; 360-10)
- ASCE 07-05 (Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures; 2006)
- INEN 037:2009 (Diseño, Fabricación y Montaje de estructuras de Acero)

- CPE INEN 5 (Código Ecuatoriano de la Construcción)
- NEC-11(Norma Ecuatoriana de la Construcción)

La AISC presenta dos métodos de cálculo el ASD (Allowable Stress Design) y el LRFD (Load and Resistance factor Design), el método ASD se basa en el diseño por cargas de trabajo y valores nominales, el segundo es un procedimiento que evalúa la resistencia y confiabilidad estructuras mediante factores de carga y factores de resistencia.

3.2.1.2 Descripción del sistema

La estructura a diseñar corresponde a un entrepiso de carga de 108 m², cuya finalidad es la de almacenar la materia prima para la fabricación de pinturas y la de permitir el acceso a las mezcladoras desde la parte superior de las mismas, la estructura será ubicada al interior del galpón industrial de la fábrica PRODUTEKN, al sur de la ciudad de Quito Sector EL Beaterio (figura 3.1).

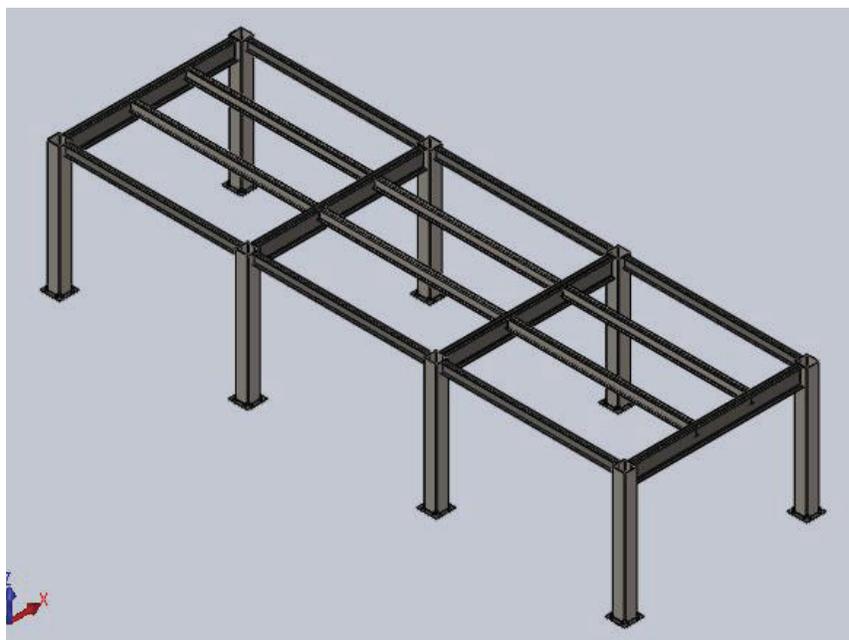


Figura 3.1 Estructura diseñada.

Elaboración: Los autores

3.2.1.3 Cargas de diseño⁵

Por requerimientos del usuario la plataforma deberá tener la capacidad de almacenar materia prima para 5 días de producción, que traducido en peso equivale a 40 Ton (392 KN) como carga móvil sobre la estructura.

El sistema estructural está conformado por vigas, columnas y una losa Steel Deck conformada por planchas de acero estructural galvanizado, malla electro soldada, hormigón y conectores a cortante como se muestra en la figura 3.2.

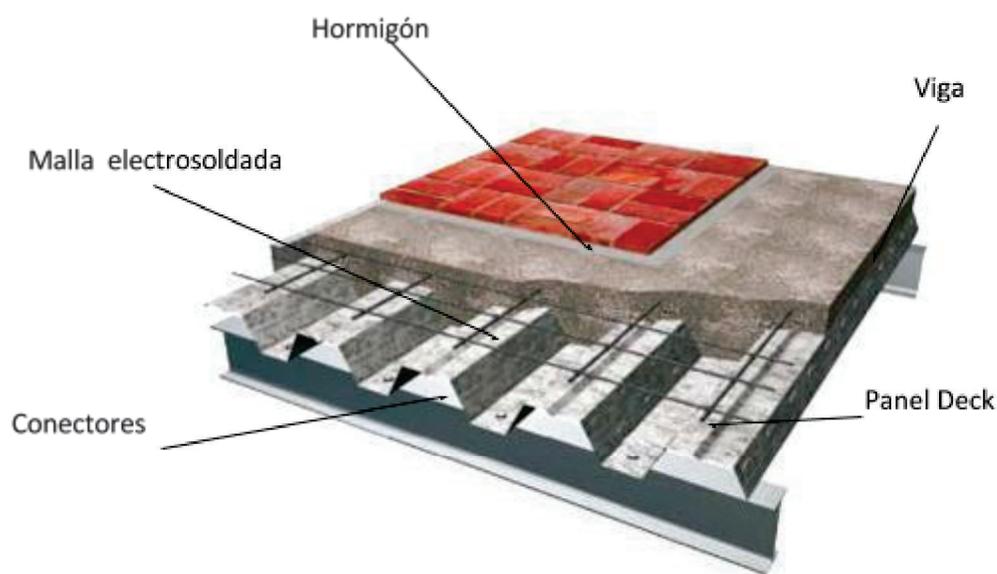


Figura 3.2 Elementos constitutivos de la losa.

Fuente: <http://www.ironsteelcolombia.com/irondeck.html>

a) Cargas Muertas

Para el cálculo de las cargas muertas se hace referencia a la norma NEC-11 y se resume en la tabla 3.2.

⁵ NEC-11, Norma ecuatoriana de la construcción, Capítulo 1 y 2 (2011)

Tabla 3.2 Componentes de cargas muertas (D)

Componente	Peso por unidad de Área (KN/ m ²)
Losa hormigón armado (15 cm)	3,60
Pisos de cerámica	0,20
Cielo raso	0,20
TOTAL(D)	4,00

Elaboración: Los autores

b) Cargas Vivas

Para el cálculo de cargas vivas, se considera que el material a ser almacenado sobre la estructura genera una carga de 392 KN y está distribuida en un área de 53,4 m² la cual se destina para dicha función.

El cálculo de la carga viva da un valor de 7,34 KN/m², a la cual se le multiplica por un factor de carga $n=1,6$ que garantiza un 60 % de carga adicional útil al momento de reponer el stock de materia prima para la siguiente semana de producción.

El valor de diseño calculado es de 11,74 KN/m².

La norma NEC-11 tabla 1.2 capítulo 1, indica que las cargas vivas a considerarse para el uso de bodegas o almacenaje pesado es de 12 KN/m², al estar el valor calculado muy próximo al estipulado por la norma se toma 12 KN/m² como la carga viva par el diseño de la plataforma.

a) Cargas de Sismo

El cortante basal de diseño se determina con la siguiente expresión:

[Ecuación 1]

$$V = \frac{\eta Z F_a I}{R} S$$

Donde:

$\eta = 2,48$ Para las Provincias de la Sierra Ecuatoriana (Sección 2.5.5.1 NEC-11)

$Z = 0,4$ Factor de zona sísmica, Ubicación Zonal V (NEC- 11 Capítulo 2)

$I = 1,5$ Factor de importancia (Sección 2.6.4.2 NEC-11)

$F_a = 1,2$ Factor de sitio, para suelos tipo D (Sección 2.5.4.8 NEC-11)

$R = 6,0$ Factor de reducción de respuesta estructural. (Tabla 2.14 Sección 2.7.2.3.1 NEC – 11)

$S =$ Carga reactiva por sismo (Sección 2.7.1.1 NEC-11)

$$S = D + 0.5L$$

[Ecuación 2]

Donde:

$D =$ carga muerta

$L =$ carga viva del piso

$A_t =$ Área total de la estructura

$$S = (4 + 0,5 * 12) * A_t$$

$$S = 10 \text{ KN/m}^2 (108 \text{ m}^2)$$

$$S = 1080 \text{ KN (110, 2 ton)}$$

$$V = \frac{(2,48) * (0,4) * (1,2) * (1,5)}{6} * 1080$$

$$V = 321,4 \text{ KN}$$

La fuerza lateral a ser considerada, debido a que se trata de un solo piso es de 321,4 KN.

3.2.1.4 Dimensionamiento vigas principales

Para determinar la primera aproximación del perfil requerido se calcula el momento por carga factorizada M_u como la resistencia de diseño requerida $\phi_b * M_n$, teniendo en cuenta el peso propio de la viga que aún no se ha considerado.

El perfil seleccionado debe satisfacer el requisito de resistencia de diseño y se comparará con el momento por carga factorizada.

Posteriormente se verifica la resistencia a cortante y la que deflexión de la viga se ajuste a los requerimientos.

Las vigas a ser diseñadas soportan diferentes tipos de carga y se dividen en principales y secundarias, como se muestra en la figura 3.3

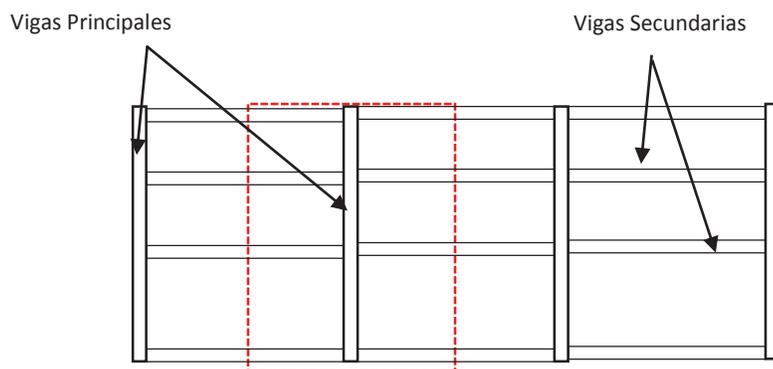


Figura 3.3 Esquema de parte superior estructura

Elaboración: Los autores

Se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- La conexión viga columna es totalmente rígida
- Se analiza la viga de mayor longitud (6 metros)
- La combinación de cargas se da la mayor según el manual NEC-11 Capítulo I como: $1,2 D + 1,0 S + L$.

En la figura 3.4 se puede observar un esquema para el análisis de la viga.

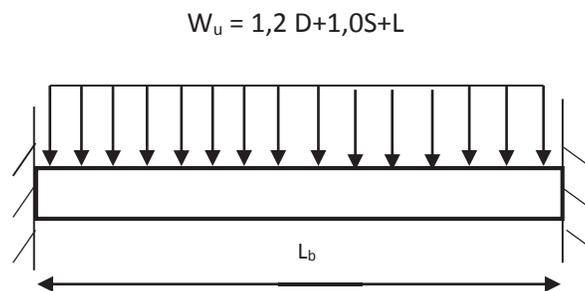


Figura 3.4 Carga distribuida sobre la viga principal

Elaboración: Los autores

La carga muerta final está constituida por la suma de los componentes de carga muerta + el peso propio de la viga.

$$D = 4 \frac{KN}{m^2} * 6 m + 0,8 \frac{KN}{m} = 24,8 \frac{KN}{m}$$

$$L = 12 \frac{KN}{m^2} * 6 m = 72 \frac{KN}{m}$$

$$W_u = 1,2 * 24,8 \frac{KN}{m} + 10 \frac{KN}{m^2} * 6m + 72 \frac{KN}{m} = 161,76 \frac{KN}{m}$$

$$M_u = \frac{W_u * L^2}{12} = \frac{161,76 * 6^2}{12} = 485,28 KN * m$$

Suponiendo un perfil compacto:

$$M_n = M_p = Z_x * F_y \quad \text{[Ecuación 3]}$$

Donde

$$\phi_b * M_n \geq M_u \quad \text{[Ecuación 4]}$$

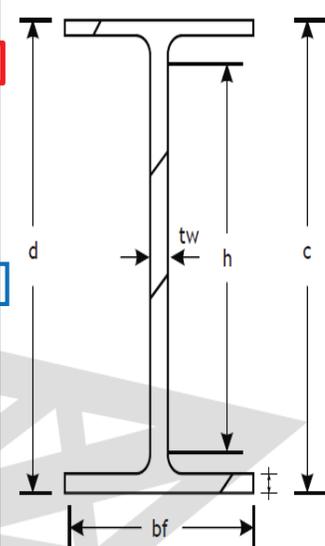
$$\phi_b * Z_x * F_y \geq M_u \quad \text{[Ecuación 5]}$$

$$Z_x \geq \frac{M_u}{\phi_b F_y} = \frac{485,28 \text{KN} * \text{m}}{0,9 * 248 \text{MPa}} = 0,002174 \text{ m}^3 (2174 \text{ cm}^3)$$

Se selecciona un perfil IPE 550 con un módulo de sección $Z_x = 2662.2 \text{ cm}^3$ con un peso de 106 Kg. /m (Ver Tabla 3.3) y un área de 134 cm^2 , cuyo límite de fluencia es de 248 MPa (ASTM A-36).

Tabla 3.3 Especificaciones de perfiles IPE

DESIGNACIÓN	Peso (kg/m)	h (mm)	bf (mm)	tw (mm)	tf (mm)	I_x (cm ⁴)	I_y (cm ⁴)	S_x (cm ³)	Z_x (cm ³)
IPE 600	122	600	220	12	19	92080	3387	3069.3	3376.1
IPE 550	106	550	210	11.1	17.2	67120	2670	2440.7	2662.2
IPE 500	90.7	500	200	10.2	16	48200	2140	1928.	2107.3
IPE 450	77.6	450	190	9.4	14.6	33740	1680	1499.6	1623.9
IPE 400	66.3	400	180	8.6	13.5	23120	1320	1156.1	1238.3
IPE 360	57.1	360	170	8	12.7	16270	1040	903.9	973.7
IPE 330	49.1	330	160	7.5	11.5	11770	788	713.3	762.8
IPE 300	42.2	300	150	7.1	10.7	8360	604	557.3	602.1
IPE 270	36.1	270	135	6.6	10.2	5790	420	428.9	460.5
IPE 240	30.7	240	120	6.2	9.8	3890	285	324.2	346.
IPE 220	26.2	220	110	5.9	9.2	2770	205	251.8	273.3
IPE 200	22.4	200	100	5.6	8.5	1940	142	194.	209.7
IPE 180	18.8	180	91	5.3	8	1320	101	146.7	160.9
IPE 160	15.8	160	82	5	7.4	869	68.3	108.6	119.1
IPE 140	12.9	140	73	4.7	6.9	541	44.9	77.3	85.8



Fuente: <http://www.techar.com.co/files/caracteristicas.pdf>

a) Chequeo de la compacticidad del perfil⁶

Según la tabla B4.1b del manual AISC 360-10, las relaciones ancho espesor para los perfiles I deben satisfacer las siguientes relaciones para cumplir los requisitos de compacticidad y evitar el pandeo local.

Para el Patín:

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{[Ecuación 6]}$$

Para el Alma:

$$\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{[Ecuación 7]}$$

Donde:

b_f = Ancho del patín (mm)

t_f = Espesor del patín (mm)

h = Peralte de la viga (mm)

t_w = Espesor del alma (mm)

F_y = Esfuerzo de fluencia del material (MPa)

E = Módulo de elasticidad (MPa)

⁶ Especificación ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero (2010)

Debido a que todos los perfiles normalizados cumplen con las relaciones ancho espesor en el alma, solo debe verificarse esta relación en los patines.

$$\frac{210}{2 * 11,1} \leq 0,38 \sqrt{\frac{200e^3}{248}}$$

$$9,46 \leq 10,8$$

Con lo que se concluye que el perfil es compacto tanto en el alma como en los patines y no existirá pandeo local.

b) Chequeo del pandeo lateral torsional

La longitud no soportada lateralmente del patín a compresión de la viga es $L_b = 6 \text{ m}$, este valor debe compararse con L_p para verificar si existe o no pandeo lateral torsional.

Cuando $L_b \leq L_p$ no hay pandeo lateral torsional

Cuando $L_p \leq L_b \leq L_r$, Habrá pandeo lateral torsional inelástico en la Zona 2, y

$$M_n = C_b * (M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) * \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}) < M_p \quad \text{[Ecuación 8]}$$

Como:

$$L_p = \frac{300 r_y}{\sqrt{F_y}} = \frac{300 * 4,46}{\sqrt{36}} = 223 \text{ cm (2,23 m)} \quad \text{[Ecuación 9]}$$

Por lo tanto existirá pandeo lateral.

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0,7 F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_o}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6,76 \left(\frac{0,7 F_y S_x h_o}{E Jc}\right)^2}} \quad \text{[Ecuación 10]}$$

Dónde:

$$r_{ts}^2 = \frac{I_y h_o}{2S_x} \quad \text{[Ecuación 11]}$$

Para un perfil I: $c=1$

J = Constante de torsión (in^4)

h_o = Distancia de los centroides entre patines (in)

$$r_{ts}^2 = \frac{63,43 * 20,97}{2 * 148,89} = 4,47 \text{ in}^2$$

$$L_r = 1,95 * 2,11 * \frac{29000}{0,7 * 36} \sqrt{\frac{3,02 * 1}{162,46 * 20,97}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6,76 \left(\frac{0,7 * 36 * 162,46 * 20,97}{29000 * 3,02 * 1} \right)^2}}$$

$$L_r = 272,54 \text{ in (6,92 m)}$$

Se cumple que:

$$L_p \leq L_b \leq L_r$$

Indicando que se encuentra en la zona 2 de pandeo inelástico torsional.

Siendo:

$$M_p = F_y * Z_x = 36 * 162,45 = 5848,47 \text{ Klb. in (660,5 KN.m)}$$

$$M_n = 1,14 * (5848,47 - (5848,47 - 0,7 * 36 * 162,46) * \frac{236,22 - 87,79}{272,54 - 87,79}) < M_p$$

$$M_n = 3749,63 \text{ Klb. in} < 5848,47 \text{ Klb. in}$$

Lo que implica que la sección debe cambiarse o reforzarse, en caso de que los refuerzos laterales estén a una distancia menor que 2,23 m, la viga trabajará con:

$$M_d = 0,9 * 5848,47 \text{Klb.in} = 5263,62 \text{Klb.in} (594,47 \text{KN.m})$$

Colocando soportes laterales en el patín de compresión cada 1,5 m. este trabajará en la Zona 1, zona de pandeo plástico.

c) Chequeo la resistencia por cortante

La carga cortante se determina con la siguiente expresión:

[Ecuación 12]

$$V_u = \frac{W_u * L}{2} = \frac{161,76 * 6}{2} = 485,28 \text{KN}$$

La estabilidad del alma se determina con la expresión:

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{418}{\sqrt{F_y}}$$

$$\frac{550}{11,1} \leq \frac{418}{\sqrt{36}}$$

$$49,55 \leq 69,7$$

Por lo tanto:

$$V_n = 0,6 * F_y * A_w$$

$$V_n = 0,6 * 36 * 20,77 = 448,63 \text{Klb} (1994,8 \text{KN})$$

$$V_d = \phi_v * V_n = 0,9 * 448,63 = 403,77 \text{Klb} (1795,33 \text{KN})$$

$$V_d > V_u$$

El perfil cumple satisfactoriamente con el diseño a cortante.

d) Deflexión

La flecha máxima que se puede admitir es la longitud de la viga sobre 360, por lo tanto:

$$\Delta L_{m\acute{a}x} = \frac{l}{360} = \frac{6000}{360} = 16,7 \text{ mm}$$

Para la viga la deflexión máxima es:

$$\Delta L = \frac{W_u l^4}{384 E I_x} \quad \text{[Ecuación 13]}$$

$$\Delta L = \frac{161,76 \frac{\text{KN}}{\text{m}} * 6^4 \text{m}^4}{384 * 200 \text{ GPa} * 0,0006712 \text{m}^4} = 0,004067 \text{m} (4,06 \text{ mm})$$

Con lo que se concluye que el diseño cubre la servicialidad.

3.2.1.5 Dimensionamiento vigas secundarias⁷

Las vigas secundarias se analizan con un procedimiento similar al de las vigas principales, tomando en cuenta que las cargas que sobre ellas actúan como se muestra la figura 3.5 están en un área de 6 m x 1,5 m.

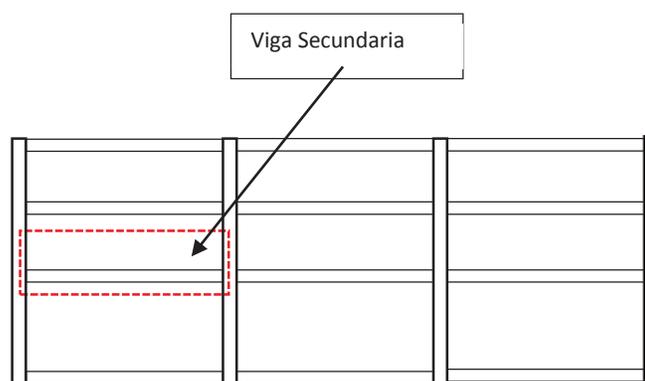


Figura 3.5 Esquema para el análisis de vigas secundarias

Elaboración: Los autores

⁷ NEC-11, Norma Ecuatoriana de la construcción, Capítulo 1 y 2 (2011)

Se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- La conexión viga columna es totalmente rígida
- Se analiza la viga de mayor longitud (6 metros)
- La combinación de cargas se da la mayor según el manual NEC-11 Capítulo I como: 1,2 D + 1,0 S + L.

La carga muerta final está constituida por la suma de los componentes de carga muerta + el peso propio de la viga.

$$D = 4 \frac{KN}{m^2} * 1,5 m + 0,48 \frac{KN}{m} = 6,41 \frac{KN}{m}$$

$$L = 12 \frac{KN}{m^2} * 1,5 m = 18 \frac{KN}{m}$$

$$W_u = 1,2 * 6,41 \frac{KN}{m} + 10 \frac{KN}{m^2} * 1,5m + 18 \frac{KN}{m} = 40,69 \frac{KN}{m}$$

$$M_u = \frac{W_u * L^2}{12} = \frac{40,69 * 6^2}{12} = 122,08 KN * m$$

Suponiendo un perfil compacto:

$$M_n = M_p = Z_x * F_y$$

Donde

$$\phi_b * M_n \geq M_u$$

$$\phi_b * Z_x * F_y \geq M_u$$

$$Z_x \geq \frac{M_u}{\phi_b F_y} = \frac{122,08KN * m}{0,9 * 248MP_a} = 5,469e - 4 m^3 (546,93cm^3)$$

Se selecciona un perfil IPE 300 con un módulo de sección $Z_x = 602,1 \text{ cm}^3$, un peso de 42,2 Kg /m (Ver Tabla 3.2) y un área de $53,8 \text{ cm}^2$, cuyo límite de fluencia es de 248 MPa (ASTM A-36).

a) Chequeo de la compacticidad del perfil⁸

Al tratarse de un perfil normalizado, solo se verifica esta relación en los patines:

$$\frac{150}{2 * 10,7} \leq 0,38 \sqrt{\frac{200e^3}{248}}$$

$$7,00 \leq 10,8$$

Con lo que se concluye que el perfil es compacto tanto en el alma como en los patines y no existirá pandeo local.

b) Chequeo del pandeo lateral torsional

La longitud no soportada lateralmente del patín a compresión de la viga es $L_b = 6 \text{ m}$, este valor debe compararse con L_p para verificar si existe o no pandeo lateral torsional.

Cuando $L_b \leq L_p$ no hay pandeo lateral torsional

⁸ Especificación ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero (2010)

Como:

$$L_p = \frac{300 r_y}{\sqrt{F_y}} = \frac{300 * 3,22}{\sqrt{36}} = 161 \text{ cm (1,61 m)} \quad [\text{Ecuación 14}]$$

Por lo tanto existirá pandeo lateral.

Lo que implica que la sección debe cambiarse o reforzarse lateralmente una distancia menor 1,61m.

$$M_p = F_y * Z_x = 36 * 36,74 = 1322,73 \text{ Klb. in (149,4 KN.m)}$$

$$M_d = 0,9 * 1322,73 \text{ Klb. in} = 1190,46 \text{ Klb. in (134,45 KN.m)}$$

$$M_u < M_d$$

Colocando soportes laterales entre patines cada 1,5 m. este trabajará en la Zona 1, zona de pandeo plástico.

c) Chequeo la resistencia por cortante

La carga cortante se determina con la siguiente expresión:

$$V_u = \frac{W_u * L}{2} = \frac{40,69 * 6}{2} = 122,07 \text{ KN}$$

La estabilidad del alma se determina con la expresión:

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{418}{\sqrt{F_y}} \quad [\text{Ecuación 15}]$$

$$\frac{300}{10,7} \leq \frac{418}{\sqrt{36}}$$

$$28,04 \leq 69,7$$

Por lo tanto:

$$V_n = 0,6 * F_y * A_w$$

$$V_n = 0,6 * 36 * 8,33 = 180,13 \text{ Klb (20,34KN)}$$

$$V_d = \phi_v * V_n = 0,9 * 180,13 = 162,12 \text{ Klb (18,31KN)}$$

$$V_d > V_u$$

El perfil cumple satisfactoriamente con el diseño a cortante.

d) Deflexión

La flecha máxima que se puede admitir es la longitud de la viga sobre 360, por lo tanto:

$$\Delta L_{\text{máx}} = \frac{l}{360} = \frac{6000}{360} = 16,7 \text{ mm}$$

Para la viga la deflexión máxima es:

$$\Delta L = \frac{W_u l^4}{384 E I_x}$$

$$\Delta L = \frac{40,69 \frac{\text{KN}}{\text{m}} * 6^4 \text{m}^4}{384 * 200 \text{ GPa} * 0,0000836 \text{m}^4} = 0,008213 \text{m (8,21 mm)}$$

Con lo que se concluye que el diseño cubre la servicialidad.

3.2.1.6 Análisis de Estabilidad y Resistencia⁹

Las especificaciones establecen que un sistema de techo puede considerarse estable y que no requiere investigación ulterior si se satisface las siguientes expresiones:

$$C_p + 0,9 * C_s \leq 0,25$$

[Ecuación 16]

⁹ Jack MacCormac. "Diseño de Estructuras de acero, método LRFD" (2002)

Donde

$$C_p = \frac{32 L_s L_p^4}{10^7 I_p} \quad [\text{Ecuación 17}]$$

$$C_s = \frac{32 S L_s^4}{10^7 I_s} \quad [\text{Ecuación 18}]$$

L_p = longitud de los miembros primarios (pie)

L_s = longitud de los miembros secundarios (pie)

S = separación entre miembros secundarios (pie)

I_p = momento de inercia de miembros primarios (in^4)

I_s = momento de inercia de miembros secundarios (in^4)

La figura 3.6 muestra una parte de la estructura (crujía), con las especificaciones de los perfiles que conforman las traveses principales y secundarias, mismas que cumplen con el criterio de estabilidad y resistencia.

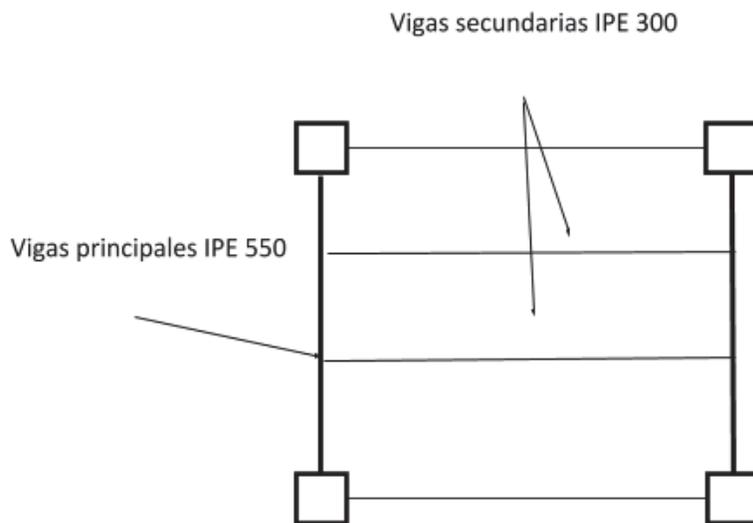


Figura 3.6 Esquema de una crujía

Elaboración: Los autores

3.2.1.7 Diseño columnas

En la presente estructura existen cuatro columnas exteriores y cuatro interiores, debido a que los momentos transmitidos por las vigas principales superan ampliamente los transmitidos por las vigas secundarias, se decide dimensionar un solo tipo de columna (figura 3.7).

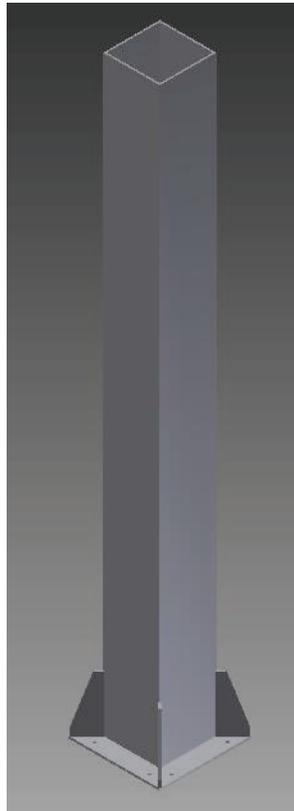


Figura 3.7 Columna

Elaboración: Los autores

a) Dimensionamiento de columnas

Se considera una crujía de 6m x 6m, en la cual existen dos columnas, por lo tanto el valor de carga se dividirá para dos.

$$W_u = 2,2D + 1,5 L$$

[Ecuación 19]

$$2P_u = 2,2 \left(4 \frac{KN}{m^2} * 36 m^2 + 1,039 \frac{KN}{m} * 6 m + 0,413 \frac{KN}{m} * 6m * 5 \right) + 1,5 \left(12 \frac{KN}{m^2} * 36 m^2 \right)$$

$$2P_u = 2,2 * 162,62 KN + 1,5 * 432 KN$$

$$2P_u = 1005,77 KN$$

En consecuencia la carga que debe soportar la viga es de 502,88 KN (51,3 ton=113,1 Klb).

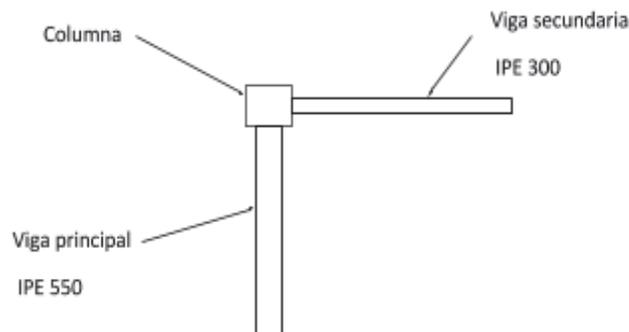


Figura 3.8 Esquema de columnas exteriores

Elaboración: Los autores

Debido a que la columna soporta momentos flectores en sus dos ejes, como se ve en la figura 3.7, el diseño debe considerar flexo compresión en los dos ejes.

Para ello es necesario calcular una carga equivalente:

$$P_{ueq} = P_u + M_{ux} * m + M_{uy} * m * u \quad \text{[Ecuación 20]}$$

En una primera aproximación se toma los valores de $m=2$ y $u=2$, dando:

$$P_{ueq} = 502,88 + 485,26 * 2 + 122,07 * 2 * 2$$

$$P_{ueq} = 1961,88 KN (441,2 KLb)$$

Se toma una sección cuadrada HSS 16" x 16" x 1/2", cuyas propiedades se presentan en la tabla 3.4

Tabla 3.4 Propiedades físicas de la sección cuadrada

HSS 16 x 16 x 1/2				
A (in ²)	$I_x = I_y$ (in ⁴)	$r_x = r_y$ (in)	Z (in ³)	Peso (Lb/pie)
30,4	1200	6,29	175	103

Fuente: Manual de construcción en acero LRFD

Elaboración: Los autores

Para la relación de esbeltez:

$$\frac{KL}{r} = \frac{120}{6,29} = 19,07$$

La relación de carga:

$$\frac{P_e}{A_g} = 649,02 \text{ Kpsi}$$

De donde se obtiene que:

$$P_e = 649,02 * 30,4 = 19730,28 \text{ Klb}$$

Los factores de ampliación de momentos son:

$$B_{1x} = B_{1y} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{P_e}} \quad \text{[Ecuación 21]}$$

Donde:

C_m .- Coeficiente con extremos restringidos a la rotación = 0,85

P_u .- Resistencia requerida a la compresión (Klb)

B_{1x} ; B_{1y} .- Factores de mayoración para viga-columna

P_e .- Carga crítica de pandeo

$$B_{1x} = B_{1y} = \frac{0,85}{1 - \frac{113,09}{19730,28}} = 0,856 < 1,0 \text{ por lo tanto se toma el valor } 1,0$$

$$M_u = B_1 * M_{nt} \quad \text{[Ecuación 22]}$$

Donde:

M_u .- Momento crítico

M_{nt} .- Momento transmitido a la columna

$$M_{ux} = 358,05 \text{ Klb} - \text{ft}$$

$$M_{uy} = 90,06 \text{ Klb} - \text{ft}$$

Las resistencias de diseño por flexión se determinan con:

$$\phi_b * M_{nx} = \phi_b * M_{ny} = \frac{0,9 * 46 * 175}{12} = 603,77 \text{ Klb} - \text{ft} \quad \text{[Ecuación 23]}$$

Como la relación entre la resistencia requerida de compresión y la resistencia de diseño es menor a 0,2 entonces se debe satisfacer la ecuación:

$$\frac{P_u}{2 * \phi_c P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b * M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b * M_{ny}} \right) < 1,0 \quad \text{[Ecuación 24]}$$

Por lo tanto se tiene:

$$\frac{113,09}{2 * 1160} + \left(\frac{358,05}{603,77} + \frac{90,06}{603,77} \right) = 0,79 < 1,0$$

Con lo que se concluye que la columna soportará las solicitaciones de carga y se trata de un elemento compacto por su relación lado espesor.

$$\frac{b}{t} \leq \frac{190}{\sqrt{F_y}} \quad \text{[Ecuación 25]}$$

La compacticidad está dada por:

$$\frac{b}{t} = \frac{16 - 2 * 0,5}{0,5} = 30 \leq \frac{190}{\sqrt{36}}$$

$$30 \leq 31,67$$

Garantizando una sección compacta.

b) Diseño de las placas base¹⁰

Para evitar el sobreesfuerzo en el concreto es necesario que la columna se sienta sobre una placa que distribuya la carga sobre un área definida.

La resistencia de diseño por aplastamiento del concreto bajo la placa base debe ser por lo menos igual a la carga soportada. Si la placa cubre toda el área del soporte de concreto, la resistencia es:

$$P_u = \phi_c * P_p = \phi_c * (0,85 * f'^c * A_1) \quad \text{[Ecuación 26]}$$

[Ecuación 27]

¹⁰ ANSI AISC 360-05, 2005, "Specification for Structural Steel Buildings", p115

$$A_1 = \frac{P_u}{\phi_c * 0,85 * f^c}$$

Donde:

f^c .- Resistencia a compresión del concreto a los 28 días (Kpsi)

A_1 .- Área de la placa

Para determinar el espesor en la placa se consideran los momentos en los dos sentidos, como si la placa estuviese en voladizo con las dimensiones m y n según la Figura 3.9.

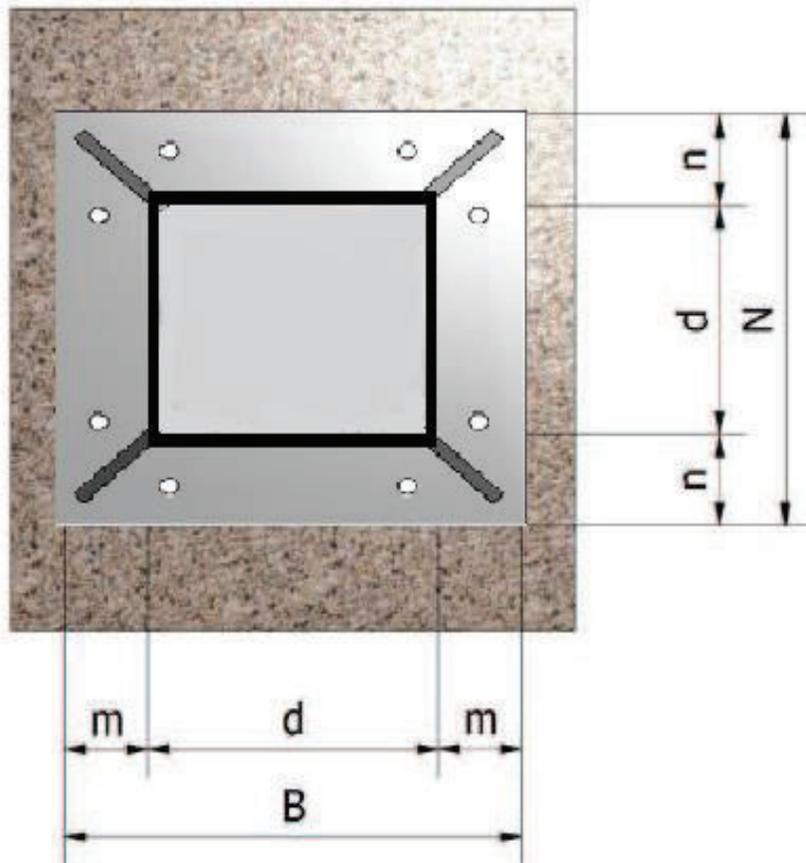


Figura 3.9 Esquema de conexión columna – placa base

Elaboración: Los autores

Si (t) es el espesor de la placa, este se calcula según¹¹:

$$t = m * \sqrt{\frac{2 * P_u}{0,9 * F_y * BN}} = n * \sqrt{\frac{2 * P_u}{0,9 * F_y * BN}} \quad [\text{Ecuación 28}]$$

c) Dimensionamiento de la placa base

Para la placa base se utiliza acero ASTM A 36 y se consideran las siguientes cargas calculadas anteriormente:

$$P_u = 113.09 \text{ Klb}$$

$$M_{ux} = 358.05 \text{ Klb} - ft$$

$$M_{uy} = 90,06 \text{ Klb} - ft$$

$$P_{ueq} = 441,2 \text{ Klb}$$

$$f^c = 210 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 2,98 \text{ Kpsi}$$

Considerando que el área de concreto está cubierta por la placa entonces:

$$A_1 = \frac{441,2}{0,6 * 0,85 * 2,98} = 290,30 \text{ in}^2$$

Considerando que B=N para una columna cuadrada:

$$B = N = \sqrt{A_1} = 17,03 \text{ in}$$

Por lo tanto la placa será de 24" de lado, debido a que la columna tiene 16" por lado y se requiere de espacio para colocar los refuerzos.

¹¹ Jack MacCormac, 2002, "Diseño de Estructuras de acero, método LRFD" pp 201 -206

$$m = n = \frac{B - d}{2} = \frac{24 - d}{2} = \frac{24 - 16}{2} = 4 \text{ in}$$

Tomando 2,0 (in) entonces el espesor de placa es:

$$t = m * \sqrt{\frac{2 * P_u}{0,9 * F_y * BN}} = 4 * \sqrt{\frac{2 * 441,2}{0,9 * 36 * 24 * 24}} = 0,86 \text{ in} \quad [\text{Ec. 3.xxx}]$$

En consecuencia, se utiliza una placa de acero ASTM A36 de $\frac{7}{8}$ de pulgada de espesor para conformar la placa base (figura 3.10).

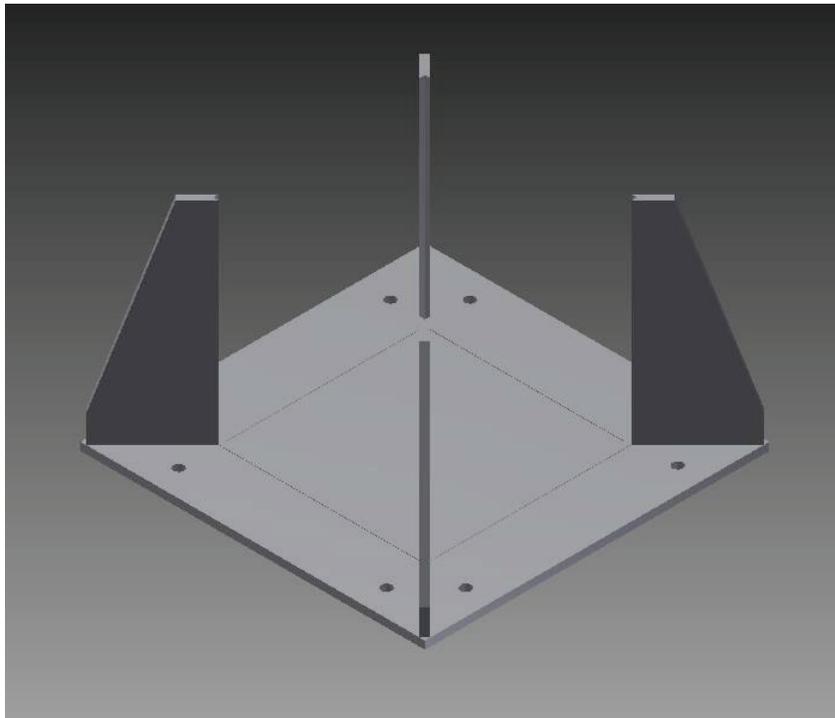


Figura 3.10 Placa base

Elaboración: Los autores

3.2.2 Diseño del agitador

La producción total de la planta considerada es de 2000 galones por cada jornada de 8 horas, por lo tanto se diseñan 4 tanques para 500 galones de pinturas cada uno. Los parámetros para el diseño del agitador se muestran en la tabla 3.5 que toman en cuenta una densidad de la pintura de 1850 Kg/m³ (dato proporcionado por la empresa PRODUTEKN).

Tabla 3.5 Parámetros considerados para el diseño del agitador

Parámetros de diseño para Agitador		
	Unidad	Unidad SI
Volumen de cada tanque	500 gal	1,89 m ³
Masa de agitación	3496 Kg	3496 Kg
Diámetro del aspa ¹²	600 mm	0.6 m
Velocidad angular motor trifásico	1700 rpm	178.02 rad/s

Elaboración: Los autores

Cálculo potencia del motor.

Se parte de la presión absoluta que actúa en las hélices del aspa, la misma que se opone al movimiento del conjunto eje-aspas. Con ayuda de las ecuaciones 29, 30 y 31 respectivamente se determina la potencia necesaria para la agitación del fluido.

$$p = d.g.h + p_{atm} \quad \text{[Ecuación 29]}$$

¹² Veyco. Molinos y Mezcladoras www.molinosmezcladoras.com/agitadores.html

$$p = F / A$$

[Ecuación 30]

$$P_{motor} = F.V / \eta$$

[Ecuación 31]

Dónde:

p = presión que actúa en el aspa

F = Fuerza que ejerce el aspa

d = densidad de la pintura (1850 Kg/m³)

g = gravedad (9.8 m/s²)

h = altura de la columna fluido (pintura)

p_{atm} = presión atmosférica (101,3 KPa)

A = área donde actúa la presión sobre al aspa

V = velocidad lineal en el extremo del aspa

η = eficiencia del motor

P_{motor} = potencia del motor

La velocidad lineal se determina mediante la combinación de la velocidad angular y el radio del aspa.

$$V = 0.3(178.02)$$

$$V = 53.406 \text{ m/s}$$

$$P_{motor} = (((1850)(9.8)(2.2)) + 101300)((8)(491.6e - 6))(53.406) / 0.8$$

$$P_{motor} = 37059.98 \text{ W}$$

$$P = 49.67HP$$

El área involucrada para el cálculo de potencia es la que se muestra en la figura 3.11, se consideran las ocho secciones que conforman las hélices.

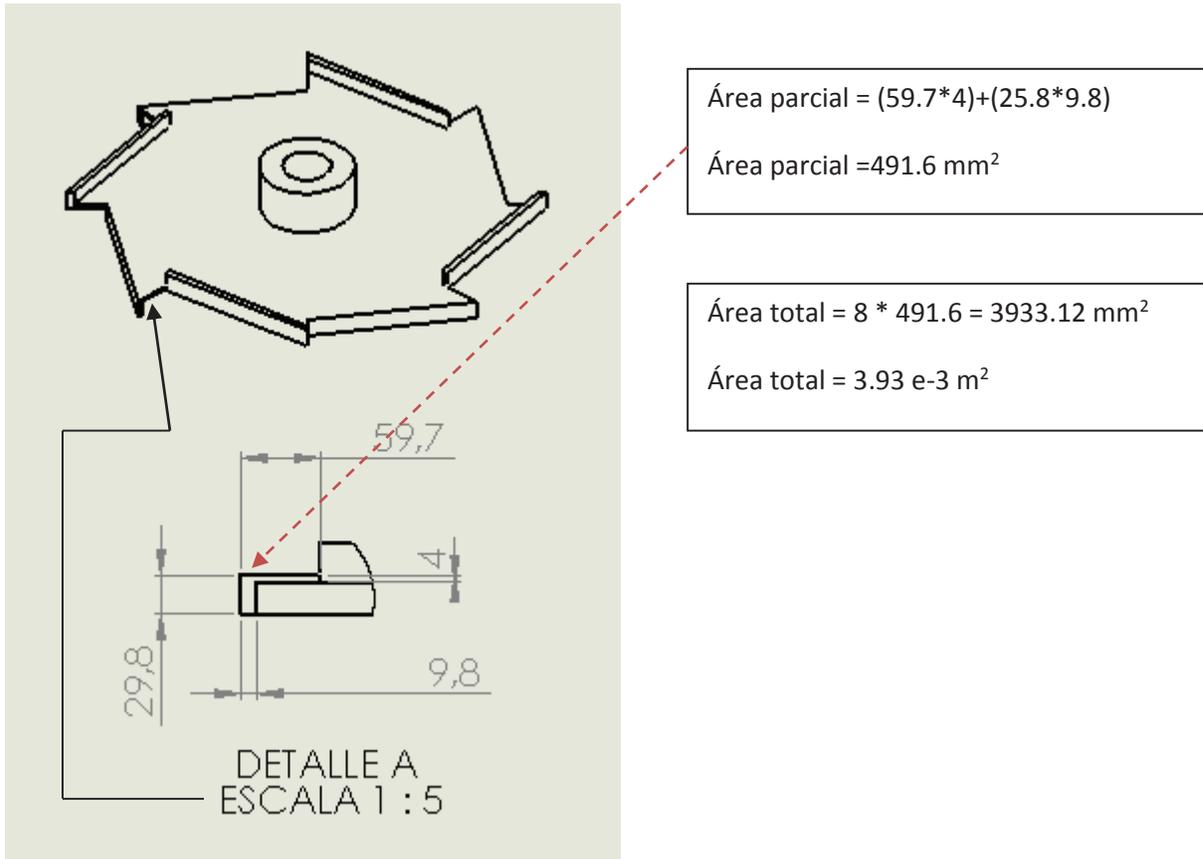


Figura 3.11 Detalle del aspa y sus hélices

Elaboración: Los autores

$$V = 0.3(146.6)$$

$$V = 43.98 \text{ m/s}$$

$$P = (1135)(43.98)$$

$$P = 49917W$$

$$P = 49.61HP$$

Eje agitador.

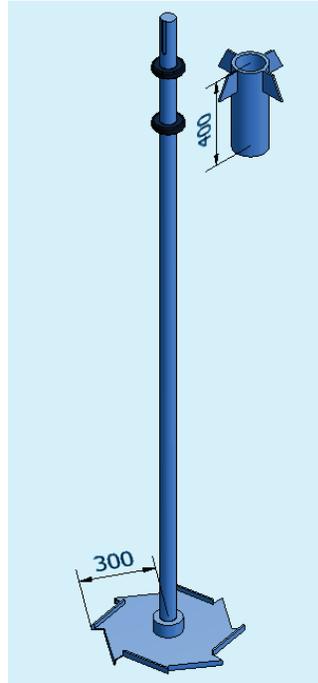


Figura 3.12 Eje Agitador

Elaboración: Los autores

El eje del agitador es un elemento de máquina que está sometido a esfuerzos combinados por flexión y torsión, para determinar el diámetro efectivo de trabajo con un factor de seguridad que garantice el óptimo funcionamiento de la máquina se utiliza las ecuaciones de combinación de esfuerzos de Von Mises.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad [\text{Ecuación 32}]$$

$$\sigma' = \frac{\sigma}{\eta}$$

Dónde:

σ = Resistencia última del material

η = Factor de seguridad

σ' = esfuerzo combinado (flexión y torsión)

σ_x = esfuerzo por flexión

τ_{xy} = esfuerzo por torsión

Flexión:

$$\sigma_x = \frac{Mf \cdot C}{I}$$

[Ecuación 33]

$$I/C = Z$$

$$\sigma_x = \frac{Mf}{Z}$$

Dónde:

σ_x = esfuerzo por flexión

Mf = momento flector máximo

I = Inercia

C = radio

Z = Módulo de sección

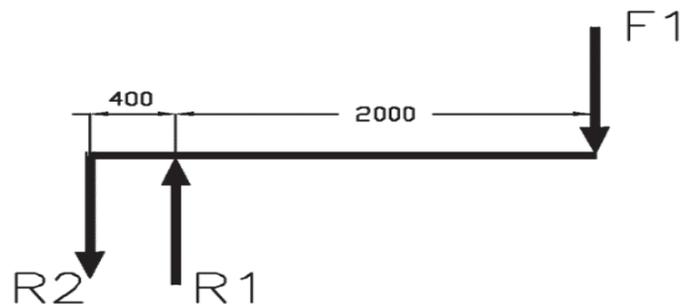


Figura 3.13 Diagrama cuerpo libre eje en flexión

Elaboración: Los autores

$$F1 = 698,4 \text{ N}$$

$$\sum M \text{ R1} = 0$$

$$F1(2) - R2(0.4) = 0$$

$$R2 = 3492,11N$$

$$\sum Fy = 0$$

$$F1 + R2 - R1 = 0$$

$$R1 = 3492,11 + 698,4$$

$$R1 = 4190,5 \text{ N}$$

$$Mf = F1(2)$$

$$Mf = 698,4(2)$$

$$Mf = 1396,8 \text{ Nm}$$

$$\sigma_x = \frac{1396,8}{Z}$$

Torsión:

$$\tau_{xy} = \frac{Mt.r}{J}$$

[Ecuación 34]

Donde J/r es:

$$J / r = 2Z$$

$$\tau_{xy} = \frac{Mt.}{2Z}$$

Dónde:

τ_{xy} = esfuerzo por torsión

Mt = momento torsor máximo

J = momento polar de inercia

r = radio del eje

Z = Modulo de sección

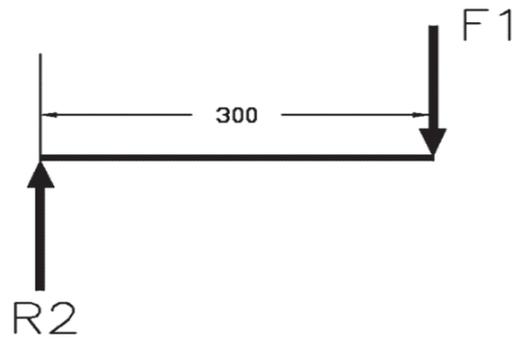


Figura 3.14 Diagrama cuerpo libre eje en torsión

Elaboración: Los autores

$$F1 = R2$$

$$R2 = 698,4 \text{ N}$$

$$Mt = 698,4(0,3)$$

$$Mt = 209,52 \text{ Nm}$$

$$\tau_{xy} = \frac{209,52}{2Z}$$

$$\sigma' = \frac{\sigma}{\eta}$$

$$\sigma' = \frac{248,21 \text{ MPa}}{3}$$

$$\sigma' = 82,73 \text{ MPa}$$

$$82,73 \times 10^6 = \sqrt{\left(\frac{1396,8}{Z}\right)^2 + 3\left(\frac{209,52}{2Z}\right)^2}$$

$$(82,73 \times 10^6)^2 = \frac{1}{Z} \left[1396,8^2 + 3\left(\frac{209,52}{2}\right)^2 \right]$$

$$Z = 9,99 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$Z = 9,99 \text{ cm}^3$$

$$I/C = Z$$

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{32Z}{\pi}}$$

$$d_1 = 4,68 \text{ cm}$$

El diámetro calculado garantiza la resistencia a los esfuerzos producidos durante su funcionamiento, adicionalmente se requiere rigidez para los cuál se opta por utilizar un eje de tamaño estándar de 63 mm de diámetro en acero AISI 304 con un factor de seguridad calculado de $n=4,32$ y $Y_{\text{máx}}=6.1 \text{ mm}$.

3.2.3 Diseño del recipiente¹³

Para calcular el espesor del recipiente se aplica la norma API 650 la misma que cubre aquellos recipientes que almacenan fluidos líquidos derivados del petróleo y están contruidos de acero, las pinturas bases solvente poseen componentes derivados del petróleo como es el caso de mineral turpentine, thinner, ruberth, soportar una presión de operación atmosférica y una temperatura de trabajo no mayor de 90°C.

La figura 3.15 muestra las dimensiones básicas del recipiente agitador- mezclador, con una capacidad de 500 galones.

¹³ Jorge Restrepo, Diseño, Fabricación, Montaje y Reconstrucción de tanques soldados de acero según API 650 y 653 (2007). <http://es.scribd.com/doc/100551089/API-650-Y-653-Parte-1>.

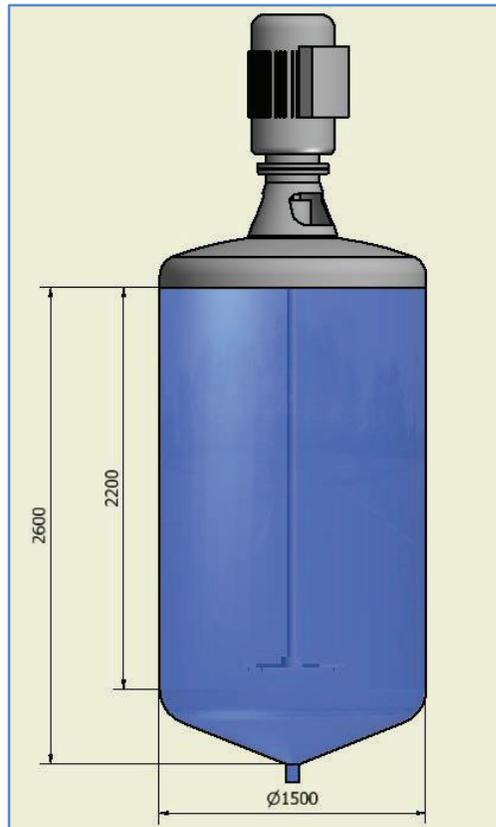


Figura 3.15 Recipiente con capacidad para 500 Galones

Elaboración: Los autores

La norma API 650 cubre el diseño y cálculo de las paredes, fondo y tapa del recipiente, también indica el material adecuado dentro de la variedad de aceros para construcción de bajo carbono. Para la selección del espesor de pared del recipiente se debe calcular el esfuerzo de diseño y el esfuerzo por prueba hidrostática.

a) *Esfuerzo de diseño*

$$S_d = \frac{2}{3} S_y \quad \text{[Ecuación 35]}$$

b) *Esfuerzo de prueba hidrostática*

$$S_t = \frac{3}{4} S_y \quad \text{[Ecuación 36]}$$

En la tabla 3.6 se muestra valores de esfuerzos permitidos de materiales según norma ASTM.

Tabla 3.6 Esfuerzos ASTM para diversos materiales

Esfuerzos ASTM					
Tipo	Grado	Mínimo Esfuerzo Fluencia (Sy)	Máximo Esfuerzo Tensión (ST)	Esfuerzo de Diseño (Sd)	Esfuerzo por prueba hidrostática (St)
		Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
A 131	A,B,CS	235	400	157	171
A 131	EH 36	360	490	196	210
A 283	C	205	380	137	154
A 285	C	205	380	137	154
A 36	-	250	400	160	171
A 516	380	205	380	137	154
A 516	415	220	415	147	165
A 516	450	240	450	160	180
A 516	485	260	485	173	195
A 537	1	345	485	194	208
A 537	2	415	550	220	236
A 573	400	220	400	147	165
A 573	450	240	450	160	180
A 573	485	290	485	193	208
A 633	C,D	345	485	194	208
A 662	B	275	450	180	193
A 662	C	295	485	194	208
A 678	A,B,CS	345	485	194	208
A 678	B	415	550	220	236
A 737	B	345	485	194	208
A 841	Class1	345	485	194	208

Fuente: API 650

Elaboración: API 650

El acero ASTM A573 gado 400, se emplea para la construcción de recipientes a presión, el criterio de selección de este material está en función de las propiedades químicas y mecánicas, además la existencia del mismo en el mercado nacional, este acero se puede encontrar en planchones de ancho hasta 2.5m y 12m de largo, esto facilita la construcción de tanques porque disminuye las juntas de soldadura al momento de conformar o barolar los desarrollos de los tanques.

Los espesores del tanque con respecto a esfuerzos de diseño y de prueba hidrostática se calculan empleando las siguientes ecuaciones:

$$t_d = \frac{4.9D(H-0.3)G}{S_d} + CA \quad \text{[Ecuación 37]}$$

$$t_t = \frac{4.9D(H-0.3)}{S_7} \quad \text{[Ecuación 38]}$$

Dónde:

t_d = Espesor por condición de diseño, en mm.

t_t = Espesor por prueba hidrostática, en mm.

D=Diámetro nominal del estanque, en cm.

H= Altura del nivel del líquido de diseño, en m

G= Densidad relativa del fluido para cálculo por prueba hidrostática.

CA= Corrosión permisible, en mm.

S_d = Esfuerzo permisible por condiciones de diseño, en Mpa.

S_t = Esfuerzo permisible por condiciones de prueba hidrostática, en Mpa

El material a utilizar es un Acero A537, con lo cual se obtienen los siguientes valores:

$$S_d = \frac{2}{3} 415$$

$$S_d = 220 \text{ Mpa}$$

$$t_d = \frac{4.9 * 150(1.5 - 0.3)1000}{220} + 0.2$$

$$t_d = 4.2 \text{ mm} \text{ (Espesor por condición de diseño)}$$

$$t_t = \frac{4.9 * 1.5(1.5 - 0.3)}{550}$$

$$t_t = 1.6 \text{ mm} \text{ (Espesor por condición hidrostática)}$$

El espesor del tanque por diseño tiene un valor más alto por tanto se considera placa de espesor 4mm.

3.2.4 Diseño del transportador de banda¹⁴

Los transportadores de envases son considerados como elementos de equipamiento, para determinar la demanda de potencia en los motores y el tipo de banda, se requieren los respectivos cálculos. La potencia del motor de accionamiento de la banda transportadora considera los siguientes parámetros; demanda de potencia para el transporte, demanda de potencia para resistencias adicionales, ver figura 3.16. Estos parámetros son aplicados para marcha de banda sobre mesa. Todos los valores de constantes y coeficientes empleados para el diseño de la banda transportadora se muestran el anexo.

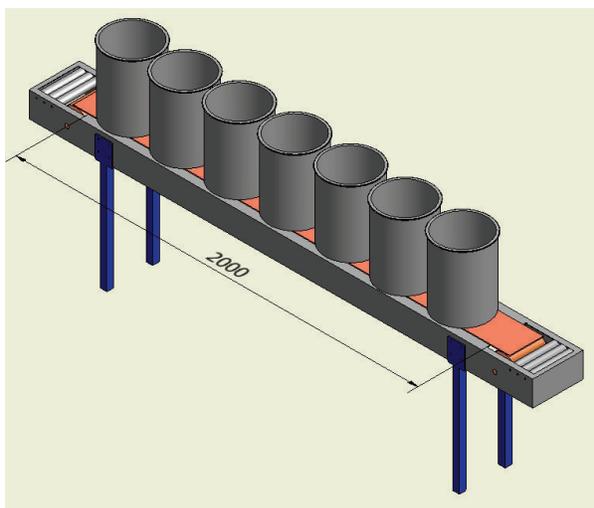


Figura 3.16 Transportador marcha sobre mesa

Elaboración: Los autores

¹⁴ Catálogo de bandas LEDDER RAPPTX 2008

Potencia del motor

$$P_M = \frac{F_U V}{\mu} \eta \quad [\text{Ecuación 38}]$$

Dónde:

F_U = fuerza tangencial.

$$F_U = F_T + F_{St}$$

F_T = fuerza para el transporte

F_{St} = fuerza por cada punto de acumulación.

V = velocidad. (0.2 m/s)

μ = rendimiento. (60%)

η = factor de seguridad (1.4)

Demanda de fuerza para el transporte F_T .

$$F_T = \frac{1.1 C_1 \cdot L_T m'}{100} \quad [\text{Ecuación 39}]$$

Dónde:

F_T = demanda de fuerza para el transporte.

C_1 = factor de rozamiento para marcha sobre mesa.

L_T = longitud de transporte.

m' = peso a transportar por metro de longitud de transporte. (Kg/m)

Demanda de fuerza para las resistencias adicionales F_{St} .

$$F_{St} = \frac{C_2 L_{St} m'_{St} Z_{St}}{100} \quad [\text{Ecuación 40}]$$

Dónde:

F_{St} = demanda de fuerza por cada punto de acumulación.

C_2 = factor de rozamiento por punto de acumulación (0.40)

L_{st} = longitud de acumulación de mercadería transportada (mm)

m'_{st} = peso a transportar por metro de longitud de acumulación (Kg/m)

Z_{ST} = Número de puntos de acumulación.

Tabla 3.7 Parámetros y factores de diseño para el transportador

Parámetros y factores de diseño para transportador			
Demanda de fuerza para el transporte ft.			
C1	Lt	m'	
0.30	2000	80.5	
Demanda fuerza resistencias adicionales fst.			
C2	LSt	m'St	ZST
0.4	1000	69	3

Fuente: CATÁLOGO DE BANDAS LEDDER RAPPTX

Elaboración: Los autores

Sustituyendo:

$$F_T = \frac{1.1(0.30)(2000)(80.5)}{100}$$

$$F_T = 531.3 \text{ N}$$

$$F_{St} = \frac{0.40(1000)(69)(3)}{100}$$

$$F_{St} = 828 \text{ N}$$

$$P_M = \frac{1569.3(0.2)}{0.6} 1.4$$

$$P_M = 634,34 \text{ W}$$

Según el cálculo realizado cada sistema transportador requiere de un motor de 1 hp para su normal funcionamiento. La velocidad de avance para la banda debe ser de 10 cm/s.

CAPÍTULO IV

SIMULACIÓN POR MEF Y AUTOMATIZACIÓN DE COMPONENTES DEL EQUIPO

Se han tomado elementos críticos para su verificación con ayuda de herramientas CAD y FEA, se determinará su comportamiento ante las cargas consideradas en el diseño.

4.1 SIMULACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS DE LA COLUMNA EXTERNA

La columna externa es la que soporta la mayor carga equivalente (200 Ton), conformada por la carga vertical y el efecto de los momentos en los ejes x, y.

Mediante simulación se verifica la resistencia de la columna, así como su comportamiento a máxima carga y sollicitación.

Las figuras 4.1, 4.2 y 4.3 muestran los diferentes análisis de comportamiento de la columna externa de la plataforma de carga, misma que se utilizará como piso para el almacenaje de la materia prima y como sitio para la mezcla de aditivos y cargas para la fabricación de pinturas.

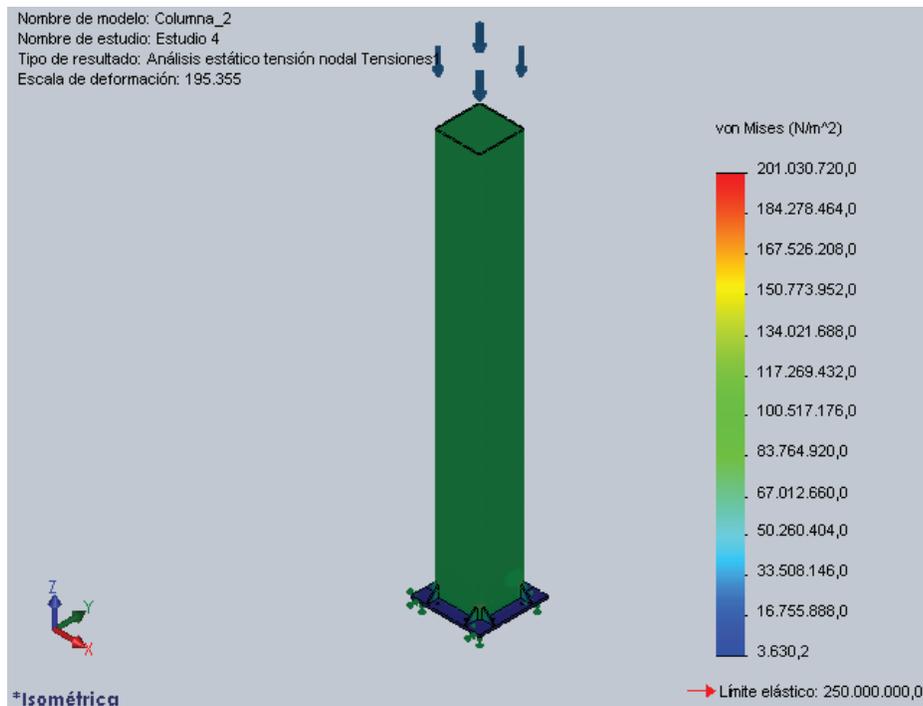


Fig. 4.1 FEA de tensiones de la columna externa

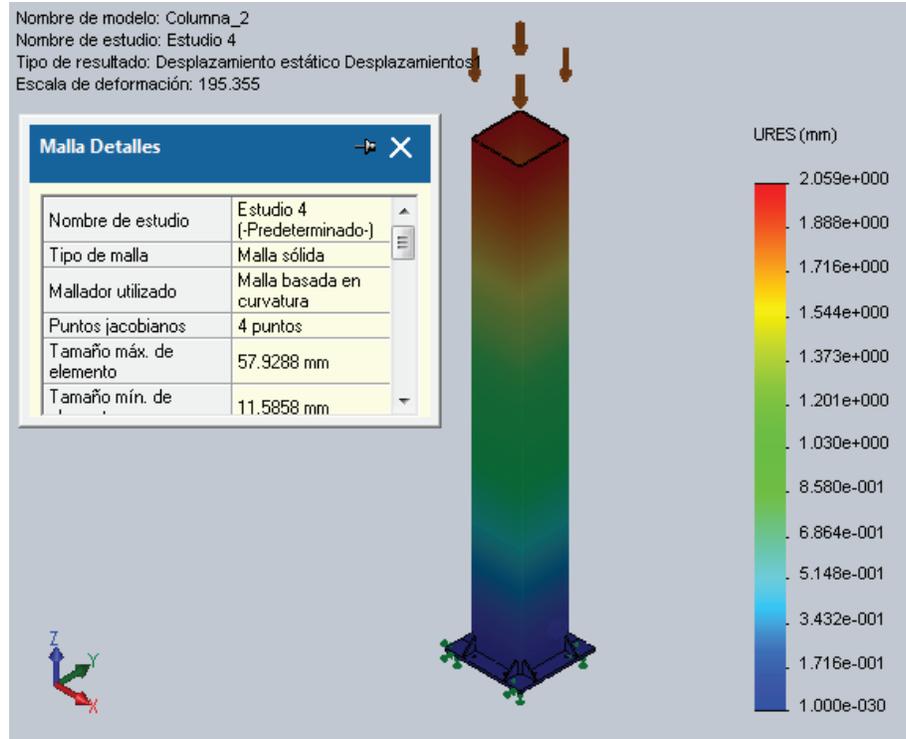


Fig. 4.2 FEA de desplazamientos de la columna externa

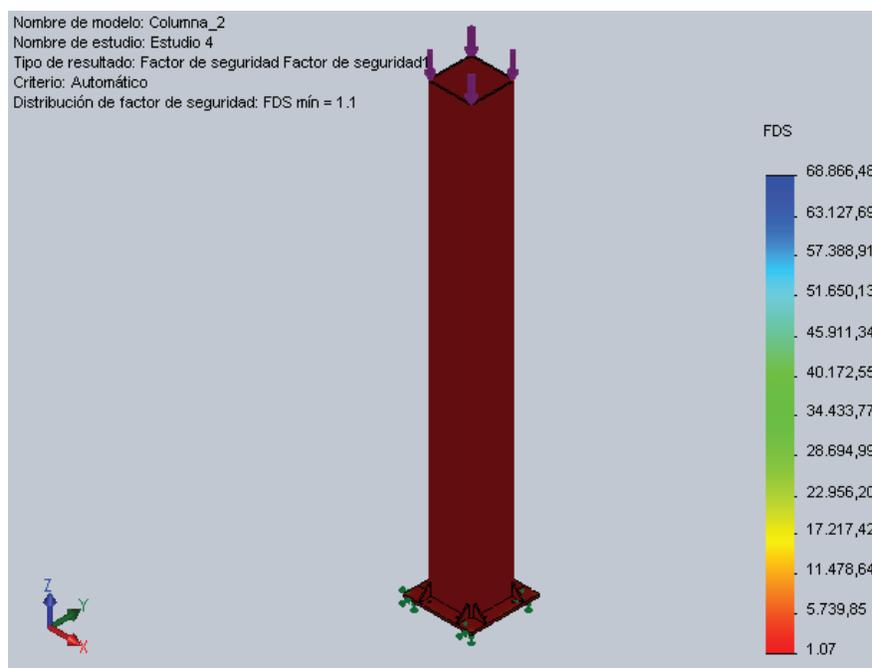


Fig. 4.3 Factor de seguridad de la columna externa

4.1.1 Convergencia de la solución

Para asegurar que el análisis por elementos finitos (FEA) del elemento es el correcto, se procede a buscar la convergencia de la solución mediante la valoración con diferentes tamaños de mallado, la tabla 4.1 muestra los valores obtenidos.

Tabla 4.1.- Resultados de simulaciones de Columna Externa

RESULTADOS MEF DE LA COLUMNA EXTERNA				
Tamaño mín. de mallado (mm)	29	23	17	11,6
Desplazamiento (mm)	2,06	2,06	2,06	2,06
Esfuerzo (KN/m ²)	148,4	147,8	198	201
Nº Total de Nodos	51250	65071	87775	117999
Nº Elementos	25742	32630	44163	59318

Fuente: Simulación en Solidworks 2013

Elaboración: Los autores

En la figura 4.4 se presenta el comportamiento obtenido de las simulaciones realizadas, en el mismo se puede visualizar la tendencia a converger la solución, obteniéndose un factor de seguridad resultante $n=1,1$ para el elemento.

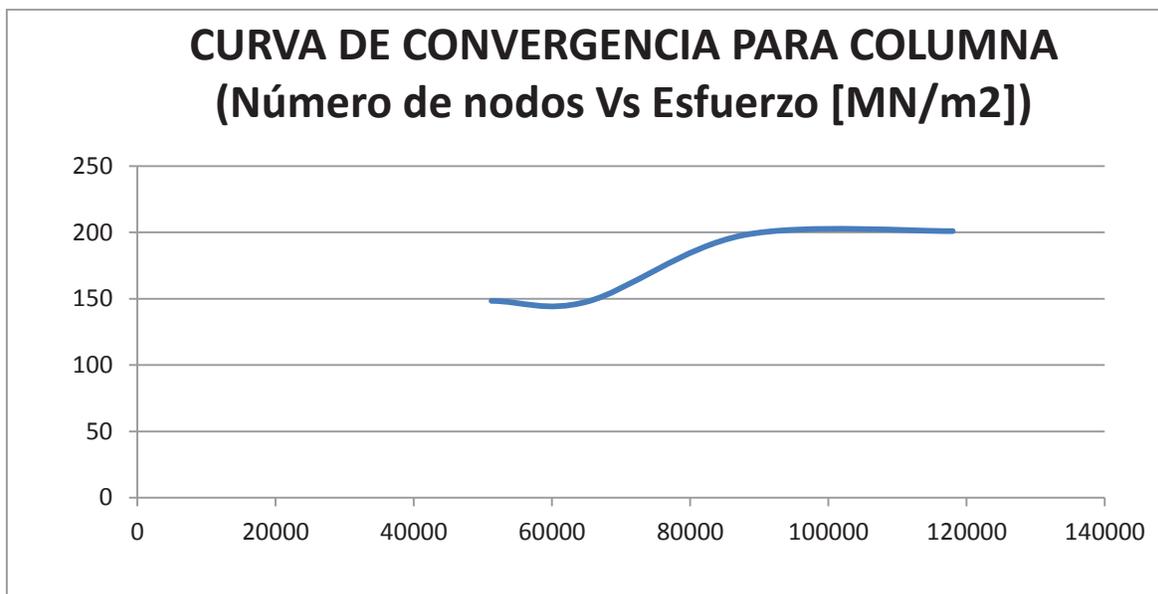


Fig. 4.4 Curva de convergencia para la Columna externa

Fuente: Datos de Tabla 4.1

4.1.2 Interpretación de resultados

Considerando el último valor como convergencia de la solución, la columna presenta un factor de seguridad de 1,1 el cual garantiza su resistencia mientras que el valor de deformación máxima de 2.06 mm garantiza su rigidez.

Según la información del análisis por elementos finitos la columna soporta las cargas previstas en el diseño.

4.2 SIMULACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS DEL EJE AGITADOR

En la figura 4.5 se muestran los resultados del análisis de tensiones, así como información del número de nodos y el número total de elementos considerados para el mallado las soluciones mostradas.

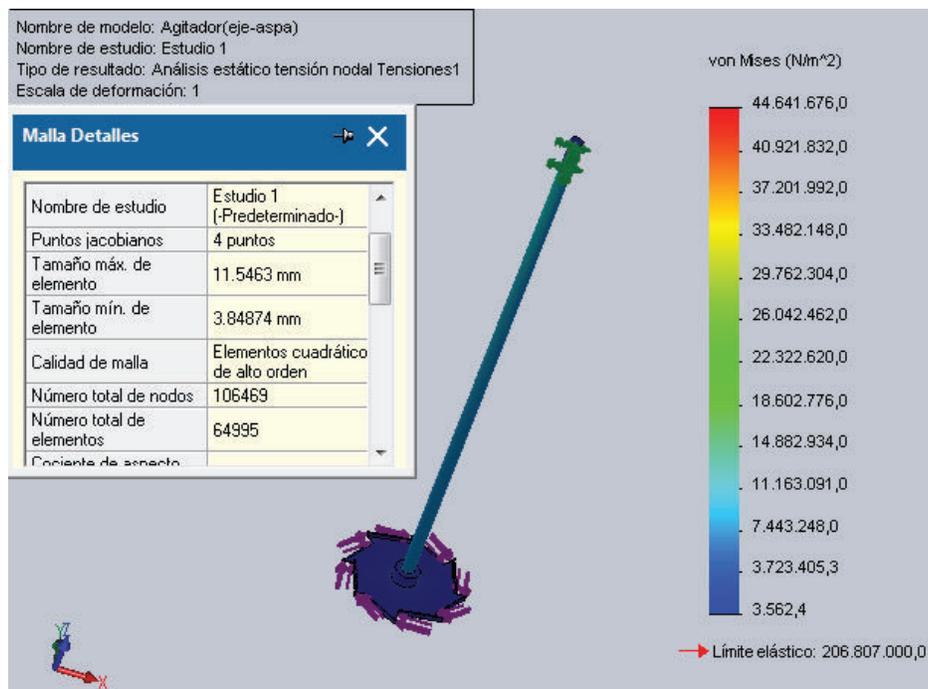


Fig. 4.5 FEA de tensiones en el conjunto eje-aspas

La figura 4.6 muestra la deflexión que sufre el elemento en su extremo libre.

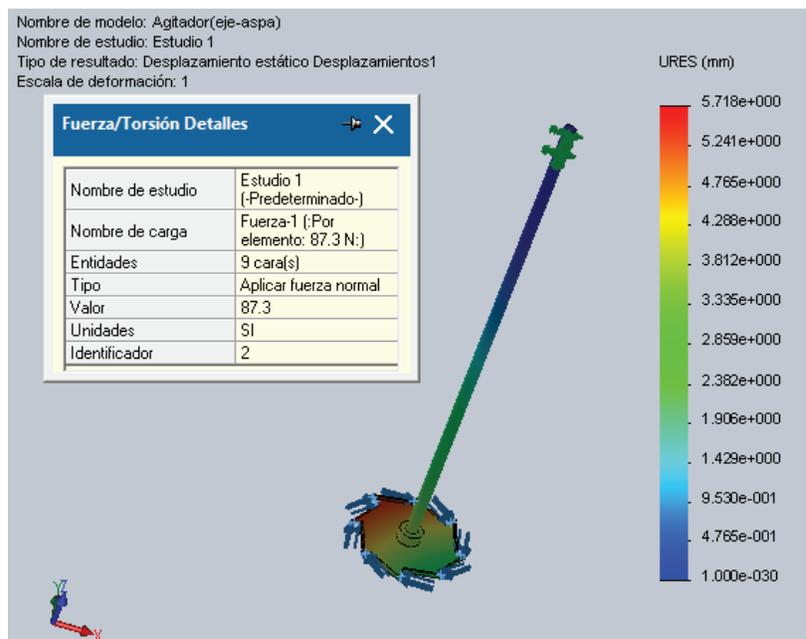


Fig. 4.6 FEA de desplazamientos del conjunto eje-aspas

La figura 4.7 muestra el factor de seguridad mínimo del conjunto eje-aspas, mismo que garantiza la resistencia y la rigidez del conjunto así mismo facilita la selección del rodamiento para dichas sollicitaciones.

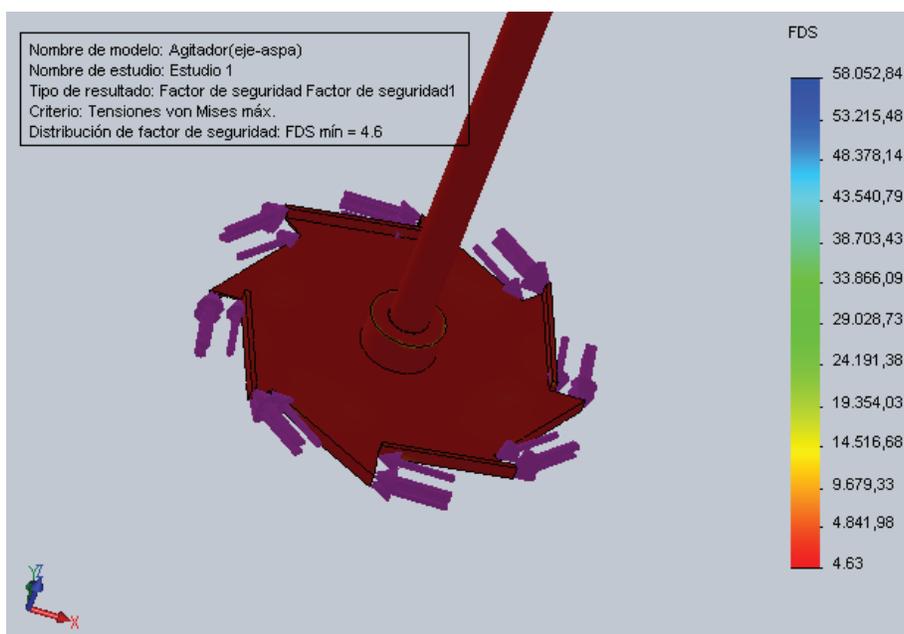


Fig. 4.7 factor de seguridad del conjunto eje-aspas

Al tratarse de un conjunto constituido por más de un elemento, el mallado para el análisis por elementos finitos debe ser diferenciado es decir un tipo de mallado para cada elemento, por lo que realizar la convergencia de la solución resulta una tarea que demanda muchos recursos informáticos.

4.2.1 Convergencia de la solución

Para asegurar que el análisis por elementos finitos (FEA) del elemento es el correcto, se procede a buscar la convergencia de la solución mediante la valoración con diferentes tamaños de mallado, la tabla 4.2 muestra los valores obtenidos y el factor de seguridad.

Tabla 4.2.- Resultados de simulaciones del Eje Aspa

RESULTADOS MEF DEL EJE ASPA					
Tamaño mín. de mallado (mm)	22	20	218	14	11,5
Desplazamiento (mm)	5,54	5,72	5,716	5,717	5,718
Esfuerzo (MN/m ²)	35,9	45,7	43,85	44,52	44,64
N° Total de Nodos	18194	27346	41302	70161	106469
N° Elementos	9673	15389	23909	41926	64995

Fuente: Simulación en Solidworks 2013

Elaboración: Los autores

En la figura 4.8 se presenta el comportamiento obtenido de las simulaciones realizadas, en el mismo se puede visualizar la tendencia a converger la solución, obteniéndose un factor de seguridad resultante de $n=4.6$ para el eje aspa.

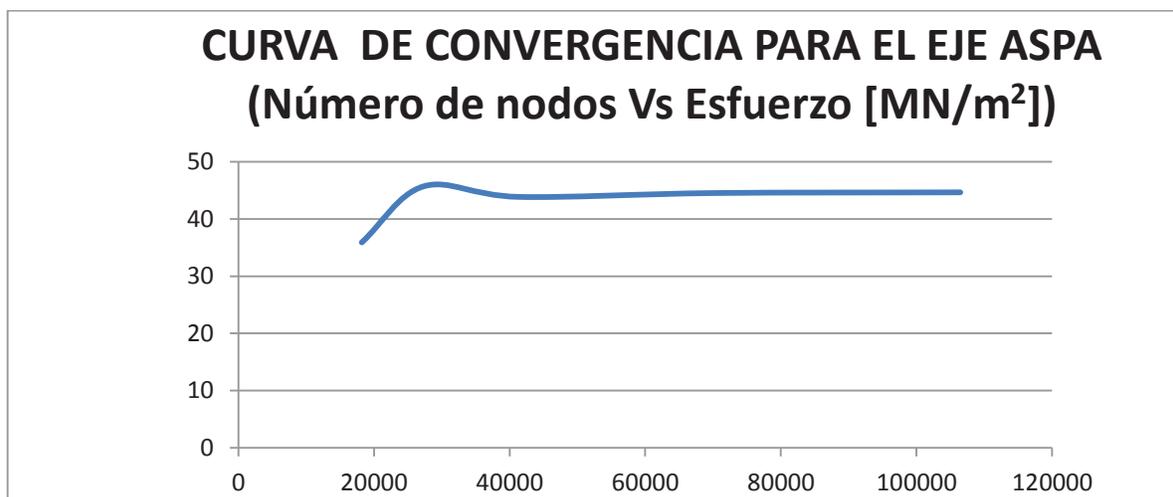


Fig. 4.8 Curva de convergencia para el Eje Aspa

Fuente: Datos de Tabla 4.2

4.2.2 Interpretación de resultados

Para validar la solución obtenida, se procede a compararla con el cálculo teórico.

“Los bastidores de vehículos, máquinas formadoras de metal, aparatos automáticos y equipo de proceso también deben poseer suficiente rigidez para garantizar el

funcionamiento adecuado del equipo soportado por el bastidor”¹⁵

Para ello se toma como referencia los siguientes límites:

Pieza general de máquina.

$$Y_{\text{máx}} = 0.0005 \text{ a } 0.003 \text{ mm/mm de longitud de viga.}$$

Procediendo a realizar el cálculo, el eje-aspas debe tener una deflexión admisible entre 1.1 a 6.6 mm, para una viga de 2200 mm de longitud.

Para las condiciones analizadas la deflexión máxima que se produce es de 5.718 mm (figura 4.6) con lo que se garantiza la rigidez del elemento al estar dentro del límite permisible, un factor de seguridad de 4.63 (figura 4.7) se compara con el cálculo teórico para garantizar la resistencia del conjunto eje-aspas.

En el cálculo teórico se tiene:

Material= Acero AISI 304

Díámetro del eje = 63 mm

Límite a la fluencia del material= 246,21 MPa

Esfuerzo equivalente de Von Mises = 57,378 MPa

Factor de seguridad= 4.32

4.3 SIMULACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS DEL TANQUE MEZCLADOR

Para definir las características del tanque se considera:

- a. El espacio debajo del tanque.
- b. La altura del tanque debe permitir la circulación libre de los operarios.
- c. Por regla el material del tanque debe ser de acero inoxidable.
- d. Cada tanque debe permitir el mezclado de 500 Galones de pintura.

¹⁵Robert, Mott. Resistencia de materiales aplicada, p 431

Con estas consideraciones y con los cálculos realizados, se simula las condiciones del tanque tomando en cuenta:

- 1) Los apoyos deber ser en la parte lateral del tanque ver figura 4.9, parte en la que se obtuvieron los mejores resultados de comportamiento.

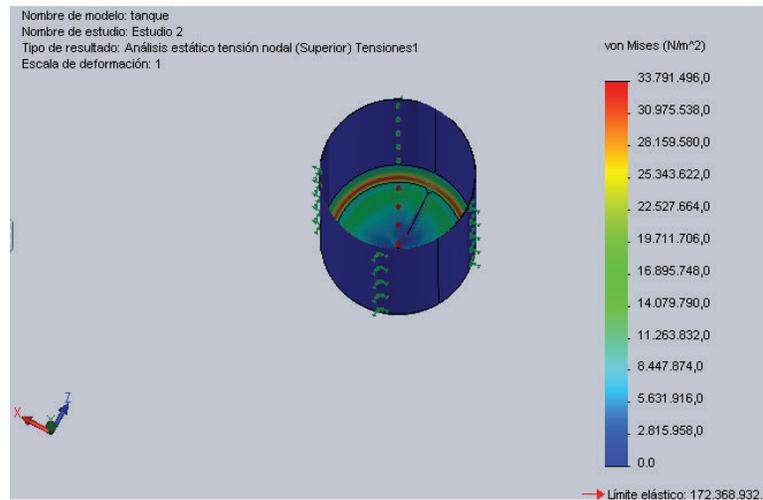


Figura 4.9 FEA de tensiones del tanque mezclador

La deflexión máxima que se produce es de 0.9 mm, como se aprecia en la figura 4.10, misma que garantiza un diseño rígido para el proceso de mezclado de aditivos para la fabricación de pinturas.

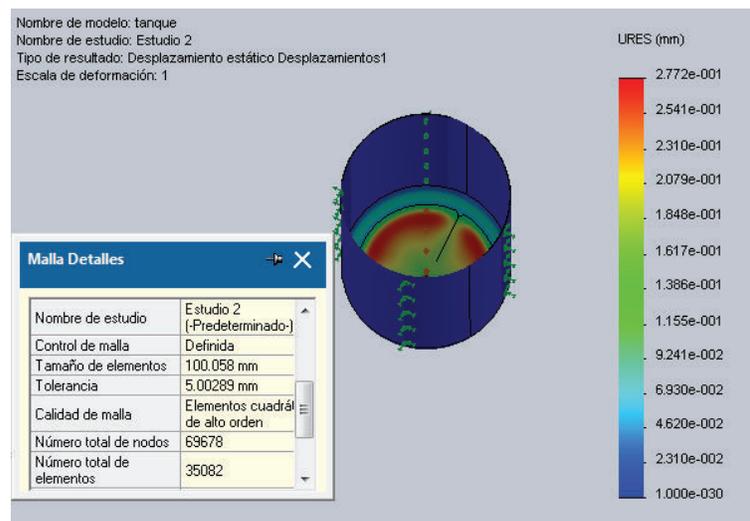


Figura 4.10 FEA de desplazamientos del tanque mezclador

La figura 4.11 muestra el factor de seguridad obtenido por simulación (FEA).

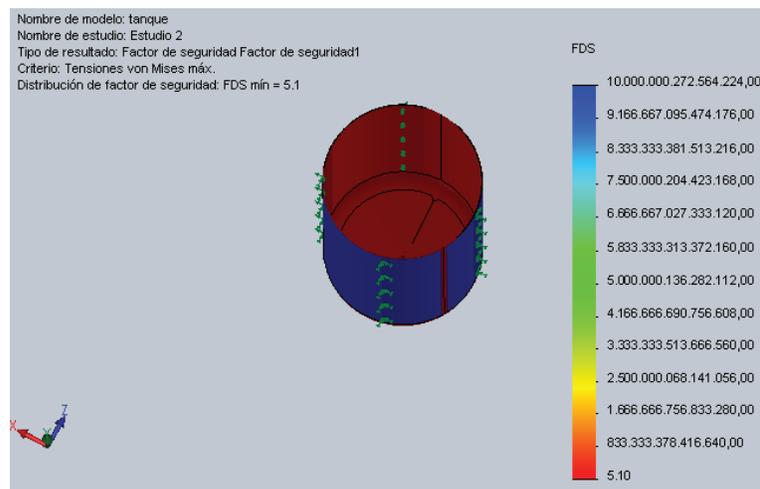


Figura 4.11 factor de seguridad del tanque mezclador.

4.3.1 Convergencia de la solución

Para asegurar que el análisis por elementos finitos (FEA) del elemento es el correcto, se procede a buscar la convergencia de la solución mediante la valoración con diferentes tamaños de mallado, la tabla 4.3 muestra los valores obtenidos.

Tabla 4.3.- Resultados de simulaciones del Tanque

RESULTADOS MEF DEL TANQUE MEZCLADOR				
Tamaño máx de mallado (mm)	100,58	88,8	50,028	38,146
Desplazamiento (mm)	9,93E-01	2,27E-01	2,76E-01	2,77E-01
Esfuerzo (KN/m ²)	31,447	25,698	33,024	33,791
N° Total de Nodos	9999	13276	39935	69678
N° Elementos	5097	6798	20235	35082

Fuente: Simulación en Solidworks 2013

Elaboración: Los autores

En la figura 4.12 se presenta el comportamiento obtenido de las simulaciones realizadas, en el mismo se puede visualizar la tendencia a converger la solución, obteniéndose un factor de seguridad resultante de $n=5,1$ para el tanque.

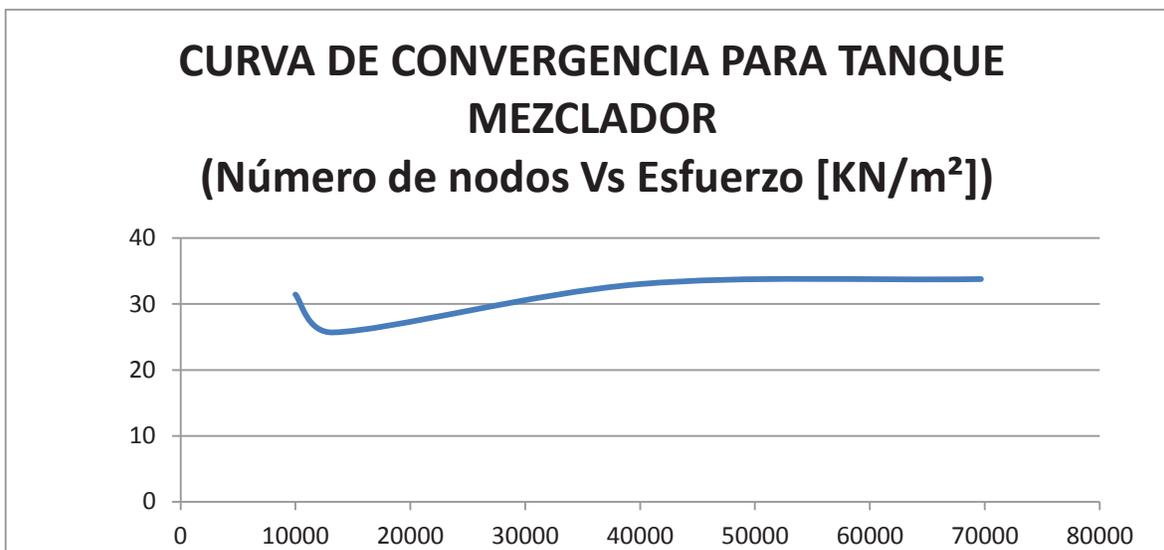


Fig. 4.12 Curva de convergencia para el Tanque mezclador

Fuente: Datos de Tabla 4.3

4.3.2 Interpretación de resultados

Considerando el último valor como convergencia de la solución, el tanque presenta un factor de seguridad de 5,1 el cual garantiza su resistencia mientras que el valor de deformación máxima de 0,99 mm garantiza su rigidez.

Según la información del análisis por elementos finitos el tanque soporta las cargas previstas en el diseño.

4.4 SIMULACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS DE LA VIGA SECUNDARIA

La viga considerada es la IPE 300 de acero estructural ASTM A 36, la misma que se acopla a los pórticos mediante soldadura.

Los figura 4. 13 muestra las condiciones contempladas para el análisis por elementos finitos relacionadas con el mallado y los esfuerzos obtenidos.

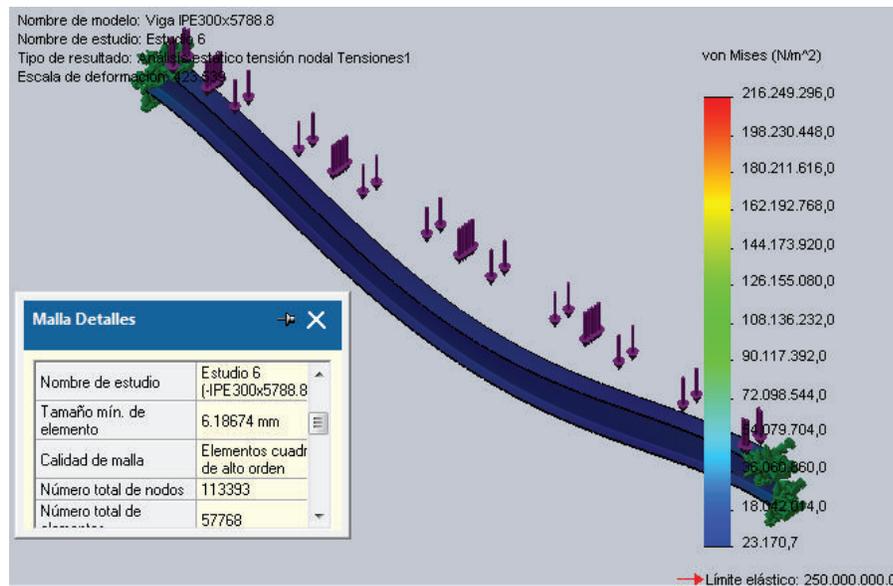


Figura 4.13 FEA de tensiones de la viga secundaria

La deflexión máxima que se produce es de 1.367 mm, como se aprecia en la figura 4.14, misma que garantiza un diseño rígido para la estructura de la plataforma elevada.

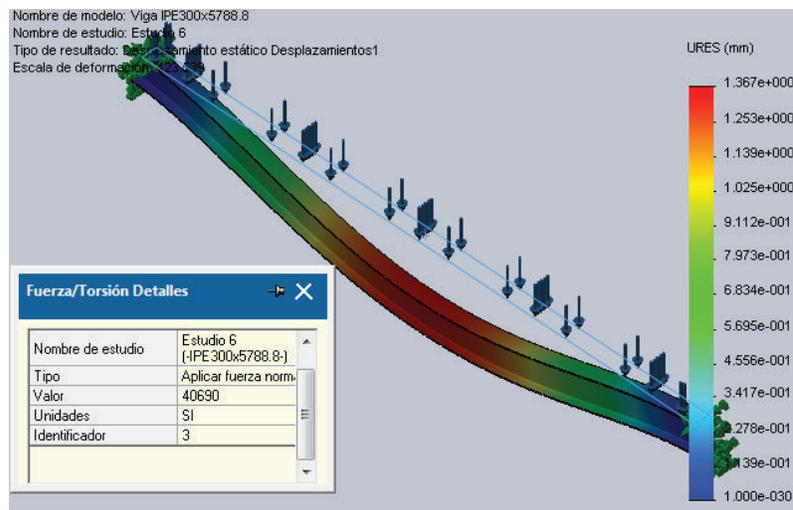


Figura 4.14 FEA de desplazamientos de la viga secundaria

La figura 4.15 muestra el factor de seguridad obtenido por simulación (FEA).

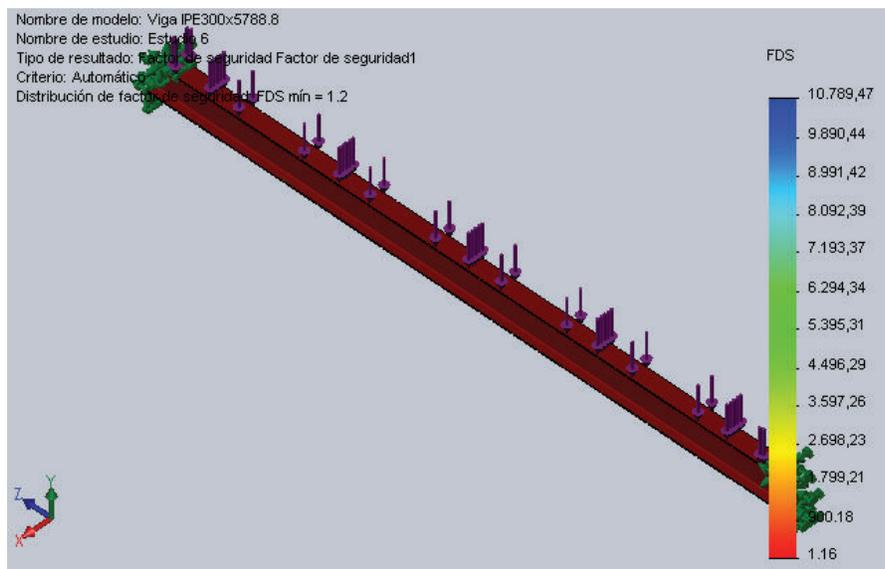


Figura 4.15 factor de seguridad de la viga secundaria.

4.4.1 Convergencia de la solución

Para asegurar que el análisis por elementos finitos (FEA) del elemento es el correcto, se procede a buscar la convergencia de la solución mediante la valoración con diferentes tamaños de mallado, la tabla 4.4 muestra los valores obtenidos.

Tabla 4.4.- Resultados de simulaciones de la viga secundaria (IPE 300)

RESULTADOS MEF DEL VIGA SECUNDARIA						
Tamaño mín. de mallado (mm)	20,6	18	16	12	8	6
Desplazamiento (mm)	1,36	1,36	1,36	1,39	1,37	1,37
Esfuerzo (MN/m ²)	55,8	59,9	60,03	152,4	208	216
N° Total de Nodos	46411	54655	64896	92139	98934	113393
N° Elementos	23096	27137	32429	47013	50538	57768

Fuente: Simulación en Solidworks 2013

Elaboración: Los autores

En la figura 4.16 se presenta el comportamiento obtenido de las simulaciones

realizadas, en el mismo se puede visualizar la tendencia a converger la solución, con un factor de seguridad resultante $n=1,16$.

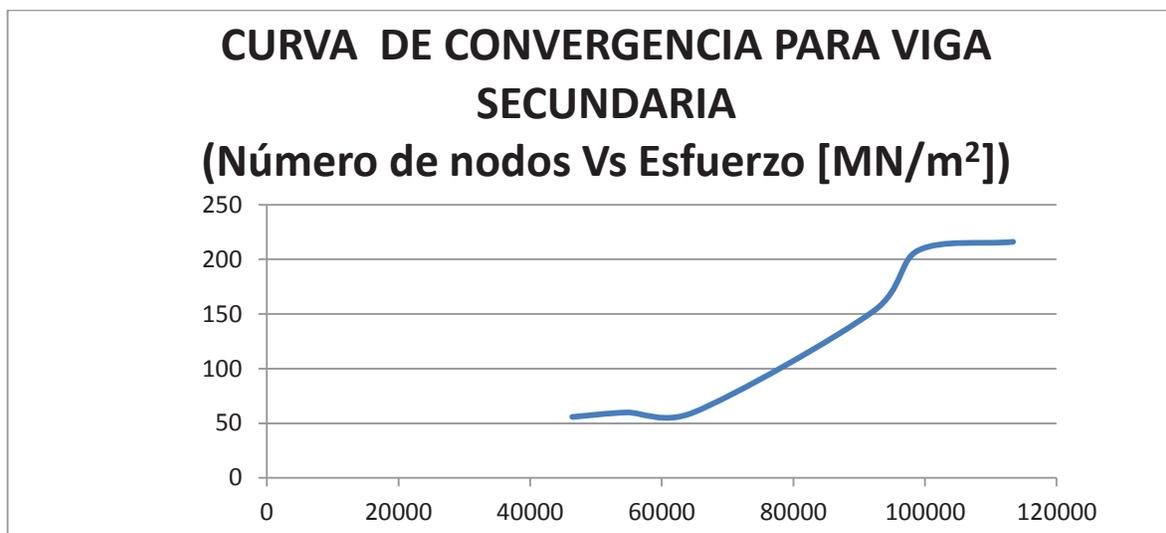


Fig. 4.16 Curva de convergencia para la viga secundaria

Fuente: Datos de Tabla 4.4

4.4.2 Interpretación de resultados

Considerando el último valor como convergencia de la solución, la viga secundaria presenta un factor de seguridad de 1,2 el cual garantiza su resistencia mientras que el valor de deformación máxima de 1,37 mm garantiza su rigidez.

Según la información del análisis por elementos finitos el tanque soporta las cargas previstas en el diseño.

4.5 SIMULACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS DEL PÓRTICO

La parte estructural más importante de la plataforma elevada es el pórtico, el cual se conforma al unir dos columnas HS 400x400x12.5 con la viga principal IPE 550. La plataforma contiene 4 pórticos de las características descritas anteriormente.

La figura 4. 17 muestra las condiciones de mallado y el resultado de los esfuerzos obtenidos por elementos finitos.

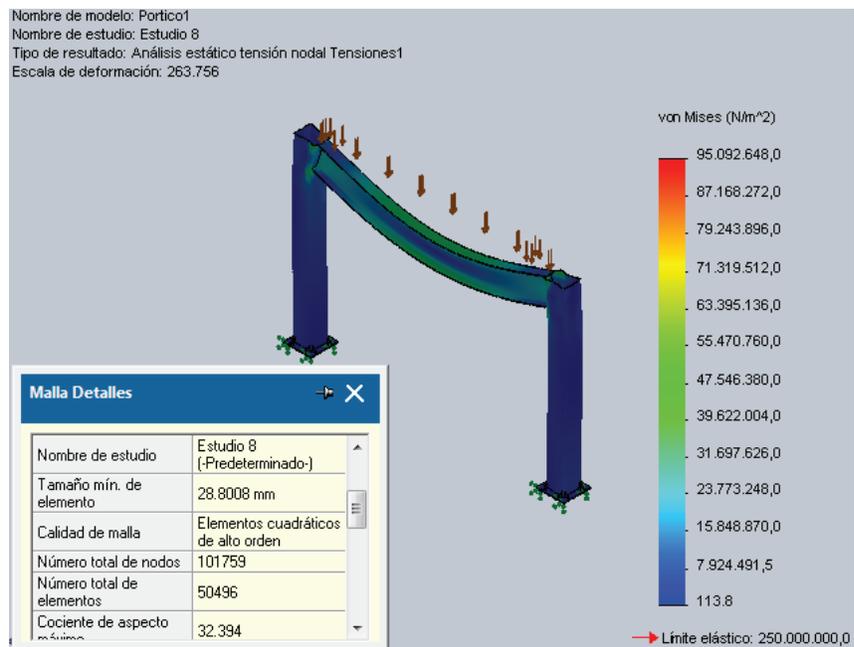


Figura 4.17 FEA de tensiones del pórtico

La deflexión máxima que se produce es de 0.9 mm, como se aprecia en la figura 4.18, misma que garantiza un diseño rígido para la estructura de la plataforma.

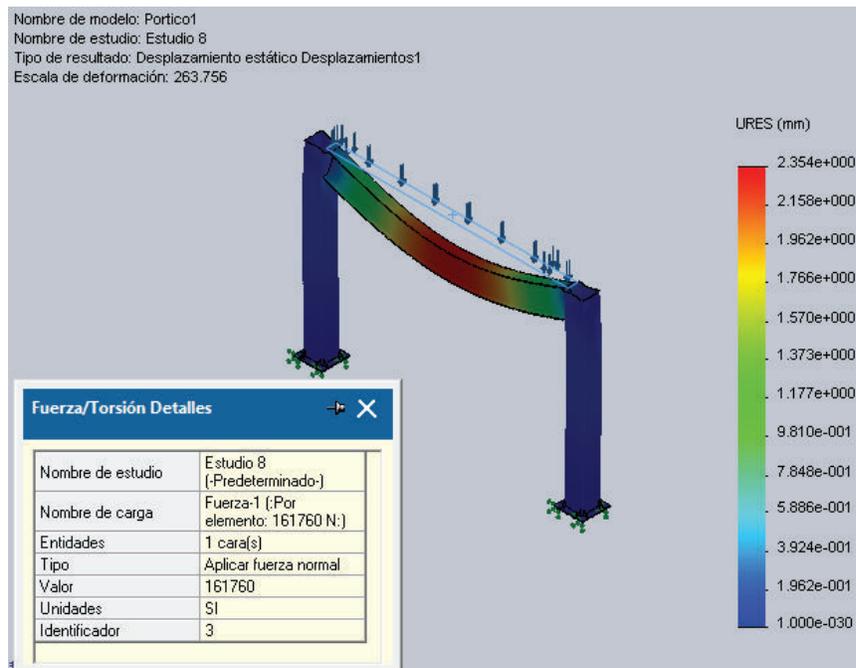


Figura 4.18 FEA de desplazamientos del pórtico

La figura 4.19 muestra el factor de seguridad obtenido por simulación (FEA).

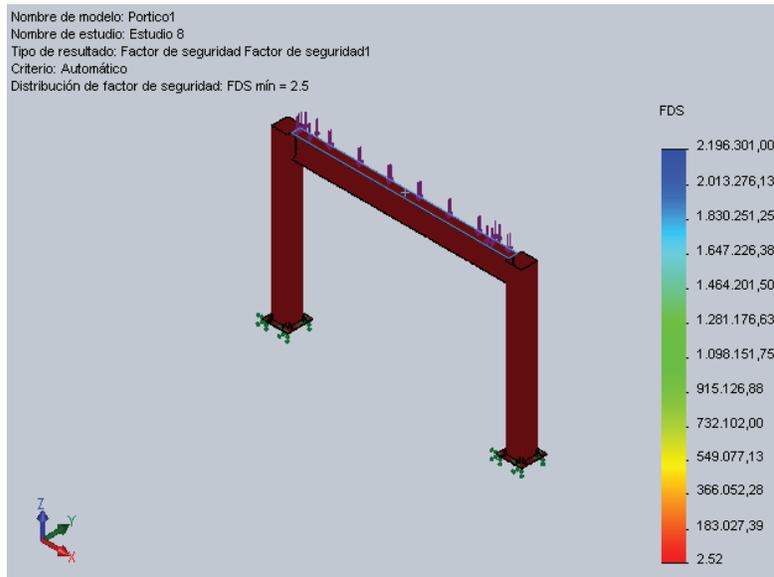


Figura 4.19 Factor de seguridad del pórtico

4.5.1 Convergencia de la solución

Para asegurar que el análisis por elementos finitos (FEA) del elemento es el correcto, se procede a buscar la convergencia de la solución mediante la valoración con diferentes tamaños de mallado, la tabla 4.5 muestra los valores obtenidos.

Tabla 4.5.- Resultados de simulaciones del Pórtico

RESULTADOS MEF DEL PÓRTICO								
Tamaño mín. de mallado (mm)	132	120	108	96	84	72	60	28
Desplazamiento (mm)	2,047	2,055	2,097	2,11	2,16	2	2,19	2,28
Esfuerzo (MN/m ²)	89,8	135,2	103,3	131,6	95,4	117,5	94,06	91,9
Nº Total de Nodos	25772	28021	29985	38709	44198	56020	74300	101759
Nº Elementos	13059	14134	14983	19401	22297	28126	37385	50496

Fuente: Simulación en Solidworks 2013

Elaboración: Los autores

En la figura 4.20 se presenta el comportamiento obtenido de las simulaciones realizadas, en el mismo se puede visualizar la tendencia a converger la solución, con

un factor de seguridad resultante $n=2,52$.

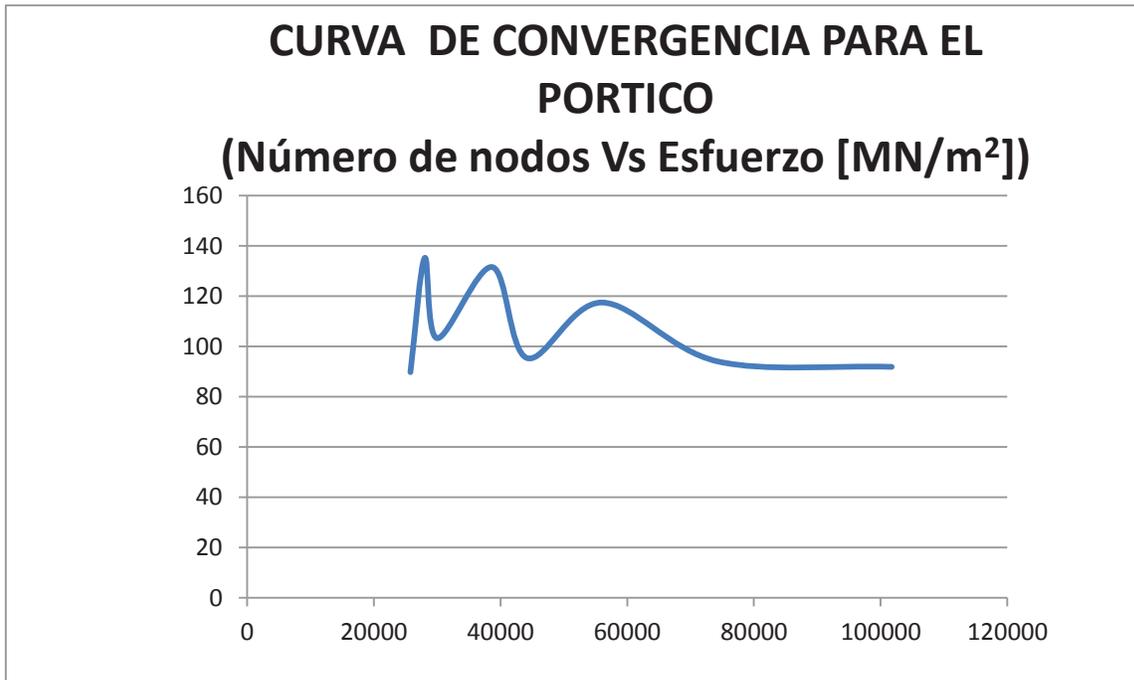


Fig. 4.20 Curva de convergencia para el pórtico

Fuente: Datos de Tabla 4.5

4.5.2 Interpretación de resultados

Considerando el último valor como convergencia de la solución, el pórtico presenta un factor de seguridad de 2,5 el cual garantiza su resistencia mientras que el valor de deformación máxima de 2,28 mm garantiza su rigidez.

Según la información del análisis por elementos finitos el tanque soporta las cargas previstas en el diseño.

4.6 SIMULACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS DE LA ESTRUCTURA PLATAFORMA

Mediante simulación se evalúa la estructura en su conjunto para verificar que los cálculos realizados y el dimensionamiento basado en normas fueron correctos.

La figura 4.21 muestra el factor de seguridad de la estructura en su conjunto, aparentemente es alto pero una estructura se diseña por rigidez antes que por resistencia.

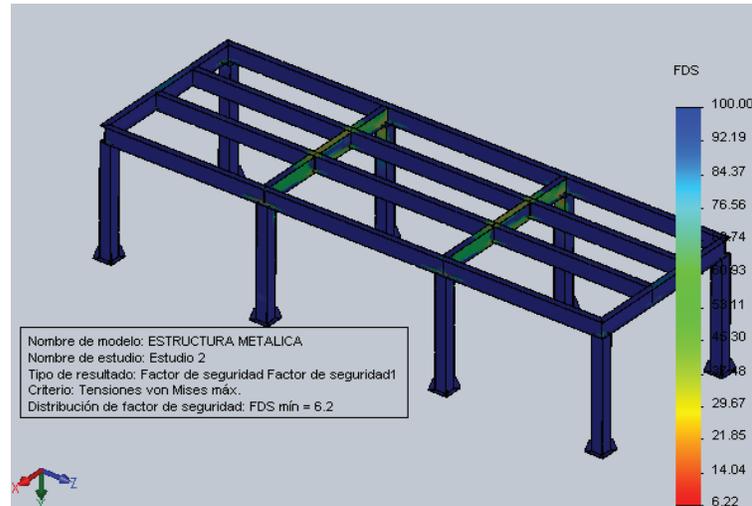


Figura 4.21 Factor de seguridad de la plataforma de carga

En cuanto a la rigidez la simulación muestra que la estructura en su conjunto tendría una deflexión máxima de 0.57 mm en una luz de 6000 mm, lo que hace rígida y confiable como se observa en la figura 4.22.

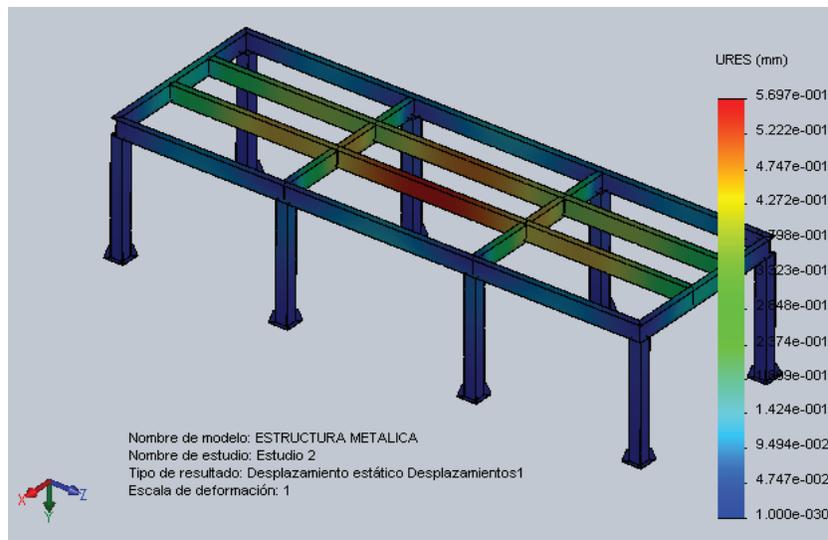


Figura 4.22 FEA de desplazamientos de la plataforma de carga

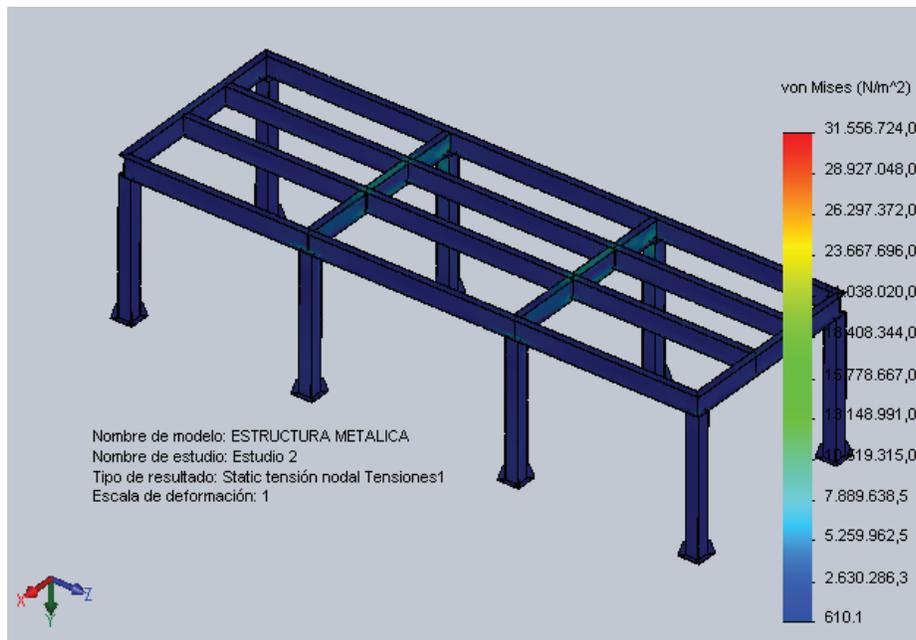


Figura 4.23 FEA de tensiones de la plataforma de carga

Finalmente se presenta en la figura 4.23 el análisis de tensiones de la estructura, misma que no presenta ningún inconveniente, puesto que los valores de límite de fluencia del material (ASTM A-36) es superior al esfuerzo máximo que actúan en la estructura.

4.7 SIMULACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS DEL TRANSPORTADOR

En la fase de producción, los transportadores de envases de pintura son elementos críticos, por lo que también son simulados para analizar su comportamiento.

La figura 4.24 muestra el análisis de tensiones del transportador, mismo que se diseña utilizando acero ASTM A 36 en el cuerpo principal y tubo estructural cuadrado como soportes.

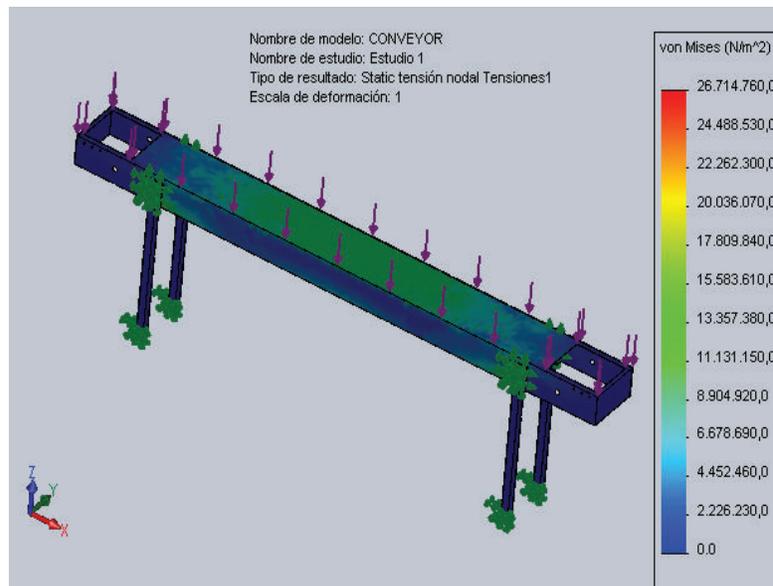


Figura 4.24 FEA de tensiones del transportador

Seguidamente se analizan la rigidez de la estructura del transportador, dando como resultado una deflexión máxima de 0,83 mm que garantiza el diseño como se aprecia en la figura 4.25

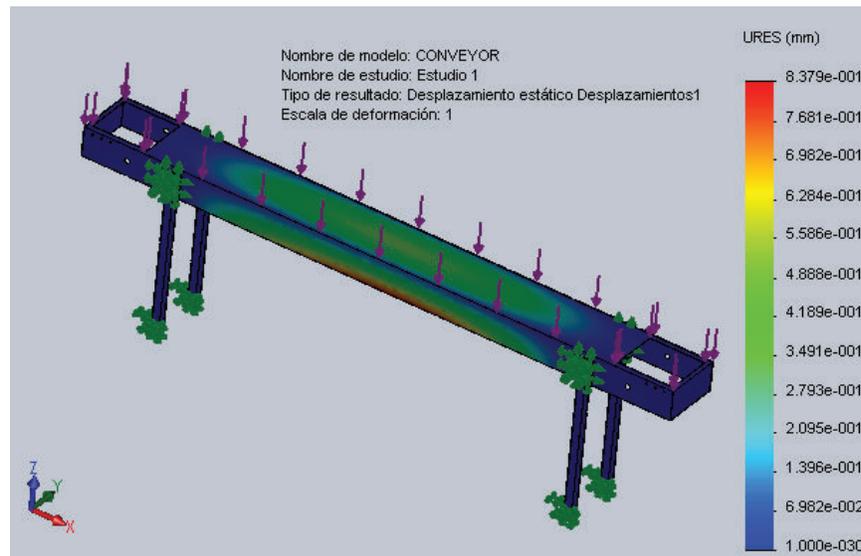


Figura 4.25 FEA de desplazamientos del transportador

Finalmente se simula el análisis del factor de seguridad, que en este caso es de 8, un

valor alto para resistencia, pero adecuado para rigidez, este análisis se aprecia en la figura 4.26, mismo que verifica y valida el diseño realizado.

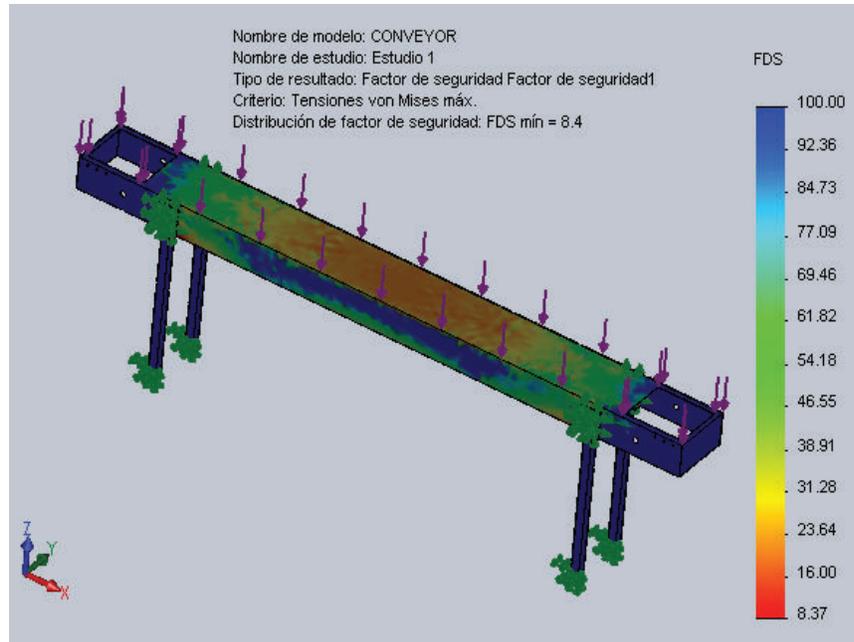


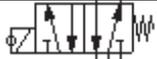
Figura 4.26 Factor de seguridad mínimo del transportador

4.8 AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ENVASADO Y SELLADO DE PINTURAS.

4.8.1 Neumática

Como elementos de fuerza y posicionamiento de envases en el proceso de automatización de la fábrica se empleará cilindros neumáticos de doble efecto, para la actuación de las carreras se utiliza válvulas direccionales de 5/2 vías, las mismas son de accionamiento eléctrico con reposición de resorte, la tabla 4.6 muestra los elementos neumáticos a utilizar con su respectivo símbolo.

Tabla 4.6 Elementos neumáticos

Elementos	
Símbolo	Descripción
	Fuente de aire comprimido
	Unidad de mantenimiento FRL
	Válvula solenoide 5/2 vías reposición resorte
	Cilindro doble efecto
	Silenciador de purga

Fuente: FluidSIM /Festo

Elaboración: Los autores

A continuación, la tabla 4.7 muestra los equipos considerados para la automatización de la planta en las etapas de envasado (dosificado), tapado (colocador de tapas), acomodador de envases y termo sellado con sus respectivas características técnicas.

Tabla 4.7 Elementos para automatización de la planta de pinturas

Cantidad	Dosificador	
	Descripción	Característica técnicas
3	Cilindro doble efecto	Diámetro 65mm, carrera 100mm
2	Válvula solenoide 5/2 vías	Mando 1/8" solenoide 24 voltios 1.5A
	Colocador de tapas	
2	Cilindro doble efecto	Diámetro 32mm, carrera 100mm
1	Cilindro doble efecto	Diámetro 32mm, carrera 120mm
2	Válvula solenoide 5/2 vías	Mando 1/8" solenoide 24 voltios 1.5A
	Acomodador de envases	

2	Cilindro doble efecto	Diámetro 42mm, carrera 200mm
1	Cilindro doble efecto	Diámetro 32mm, carrera 120mm
2	Válvula solenoide 5/2 vías	Mando 1/8" solenoide 24 voltios 1.5A
Termo selladora		
1	Cilindro doble efecto	Diámetro 32mm, carrera 100mm
1	Válvula solenoide 5/2 vías	Mando 1/8" solenoide 24 voltios 1.5A

Fuente: Varias

Elaboración: Loas autores

En la figura 4.27 se muestra el diagrama de conexión de un cilindro doble efecto controlado por una válvula 5/2 vías.

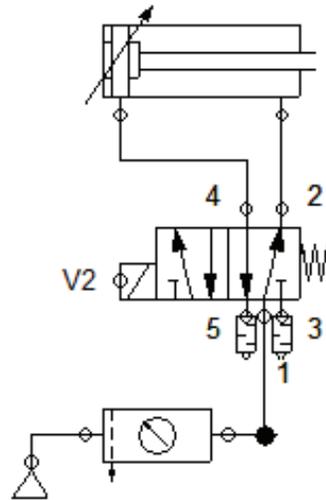


Fig.4.27 Esquema de conexión de un cilindro y válvula 5/2

El diagrama general de todos los elementos neumáticos considerados para la automatización de la planta de pintura, se muestran en la figura 4.28. Los solenoides de las válvulas están denominados como V1, V2,... V8 respectivamente y acorde al número de cilindros a utilizar.

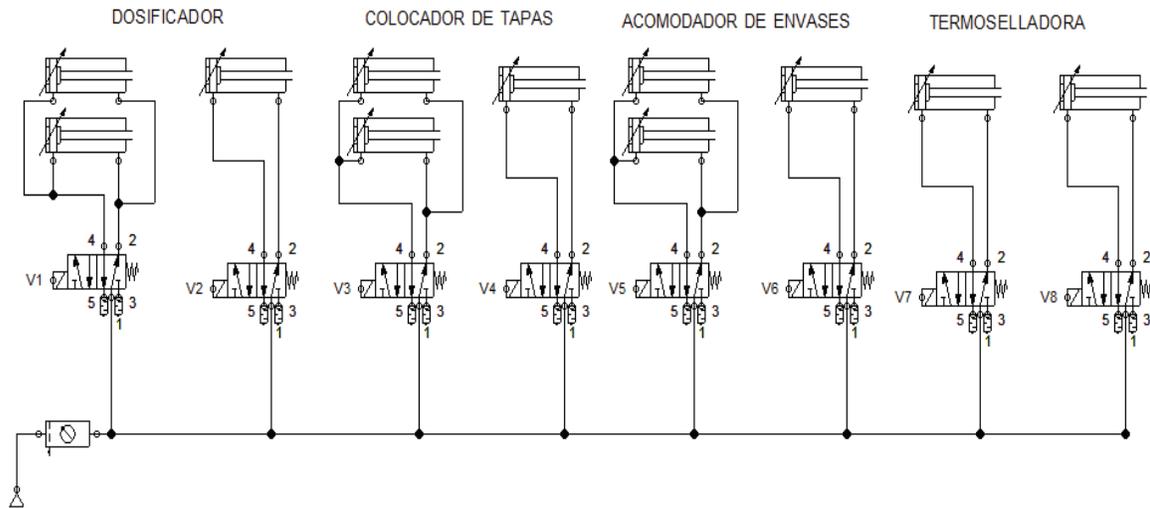


Figura 4.28 Esquema de cilindros a utilizar en la planta de pintura

4.8.1.1 Consumo de aire comprimido en cilindros¹⁶

Tabla 4.8 Cilindros neumáticos

Cantidad	Dosificador	
	<i>Descripción</i>	<i>Característica técnicas</i>
3	Cilindro doble efecto	Diámetro 65mm, carrera 100mm
2	Cilindro doble efecto	Diámetro 32mm, carrera 100mm
1	Cilindro doble efecto	Diámetro 32mm, carrera 120mm
2	Cilindro doble efecto	Diámetro 42mm, carrera 200mm
1	Cilindro doble efecto	Diámetro 32mm, carrera 120mm
1	Cilindro doble efecto	Diámetro 32mm, carrera 100mm

¹⁶ Carnicer Royo E, teoría y cálculo de instalaciones de aire comprimido. Gilis España (1977)

Para el cálculo de consumo de aire comprimido se emplea la siguiente ecuación

$$Q = 2(snq)$$

Donde:

Q = consumo de aire total. (L/min)

q = consumo de aire por centímetro de carrera

s = carrera en centímetros

n = número de carreras por minuto (4)

El valor de q se muestra en el anexo 7

Diámetro 65mm, carrera 100mm

$$Q = 2[(10)(4)(0.294)]$$

$$Q = 28.70l / \text{min} \quad (Q = 1CFM)$$

Diámetro 42mm, carrera 200mm

$$Q = 2[(20)(4)(0.153)]$$

$$Q = 24.48l / \text{min} \quad (Q = 0.85CFM)$$

Diámetro 32mm, carrera 120mm

$$Q = 2[(12)(4)(0.075)]$$

$$Q = 6l / \text{min} \quad (Q = 0.211\text{CFM})$$

El caudal total es de 6.22CFM

Para el accionamiento de los solenoides se ha programado un módulo digital llamado también PLC, cuenta con 8 entradas y 8 salidas, la conexión eléctrica se muestra en la figura 4.29 en la que se observa el uso de 3 entradas y 7 salidas para la automatización del proceso completo.

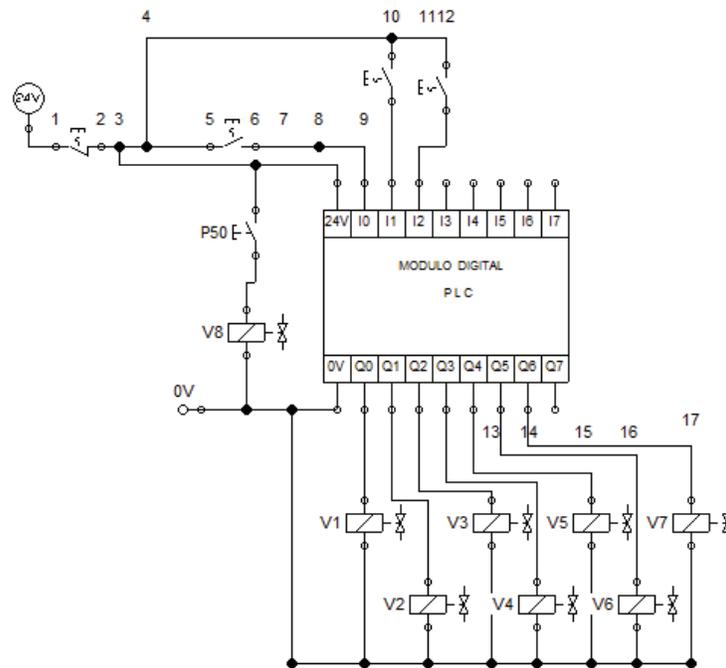


Figura 4. 29 Esquema de conexión del PLC

4.8.2 Descripción del proceso desarrollado

a. Dosificador

El cilindro neumático P3 como se aprecia en la figura 4.30, realiza la función de frenar y posicionar los recipientes que marchan sobre el transportador de banda, una vez detenidos los envases actúan los cilindros P1 y P2, estos elementos corresponden al dosificador volumétrico para envasado de litros, galones y canecas.

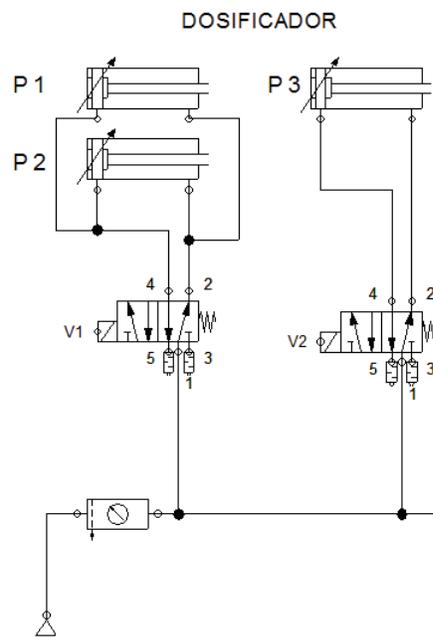


Figura 4.30 Esquema neumático del dosificador

b. Colocador de tapas

En este equipo el cilindro P6 detiene y posiciona el envase, luego los cilindros P4 y P5 actúan dejando caer la columna de tapas sobre el envase, al volver a accionarse estos levantan la columna de tapas dejando una sobre el envase, luego actúa P6 dejando pasar el envase con su tapa y se repite el ciclo (ver figura 4.31).

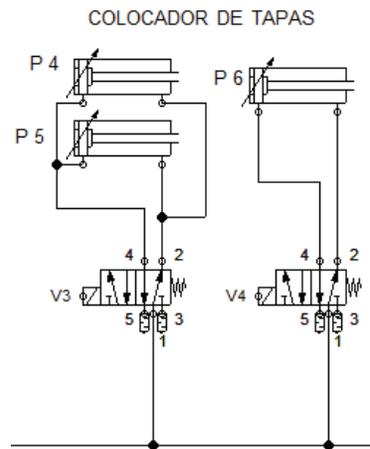


Figura 4.31 Esquema neumático del colocador de tapas

c. Acomodador de envases

Una vez que los envases son dosificados y tapados avanzan por el transportador en forma lineal, es decir en columnados uno tras de otro, para ingresar a la máquina termoselladora deben estar agrupados en dos columnas y ser embalados en presentaciones de cuatro galones, P7 y P8 (figura 4.32) detienen los envases y P9 deja pasar un envase y actúa para posicionar el siguiente de esta manera se forman dos columnas para conseguir grupos de cuatro.

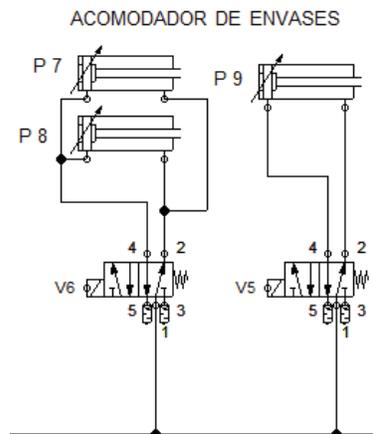


Figura 4.32 Esquema neumático del acomodador de envases

d. Termo selladora

A la máquina ingresan cuatro envases, entonces actúa el cilindro P10 y los empuja sobre la cortina de plástico que está formada por dos rollos uno superior y el otro inferior, al momento de retornar a su posición inicial actúa el cilindro P11 para cortar y sellar la cortina de plástico formando un empaque, luego ingresa al túnel de termo sellado y se repite el ciclo (ver figura 4.33).

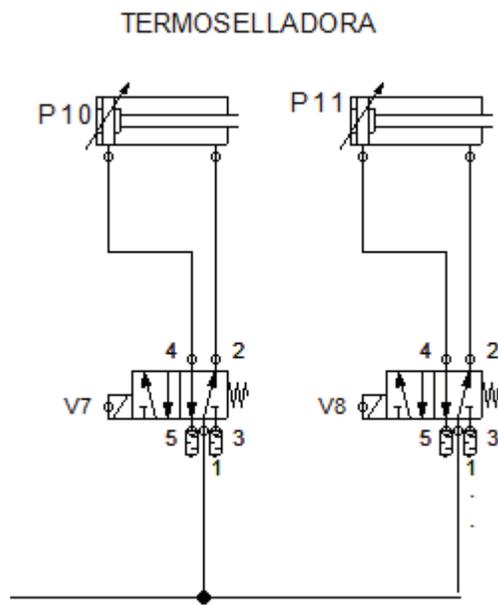
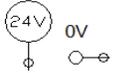


Figura 4.33 Esquema neumático de la Termo-selladora

e. Programación del PLC

La tabla 4.9 y 4. 10 muestran los elementos eléctricos y electrónicos utilizados para la automatización de la fábrica de pinturas.

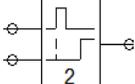
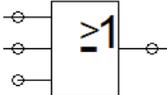
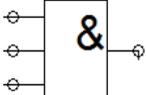
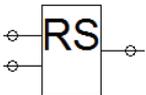
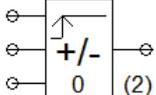
Tabla 4.9 Elementos Eléctricos

Elementos eléctricos	
Símbolo	Descripción
	Modulo digital
	Pulsador
	Solenoide de válvula
	Fuente de voltaje 24 y 0 voltios

Fuente: FluidSIM /Festo

Elaboración: Los autores

Tabla 4.10 Elementos electrónicos

Elementos de programación	
Símbolo	Descripción
	Temporizador
	Temporizador con retención
	Nor
	And
	Relé con enclavamiento
	Contador ascendente

Fuente: FluidSIM /Festo

Elaboración: Los autores

En el interior del módulo digital se desarrolla la secuencia lógica que cada uno de los pistones debe realizar para completar el proceso, desde el envasado o dosificado hasta el empackado o termo sellado.

A continuación las figuras 4.34, 4.35 y 4,36 indican las secuencias utilizadas para los procesos de dosificación, colocación de tapas, acomodador de envases y termo sellado, todas ellas con los elementos indicados en la tabla 4.6

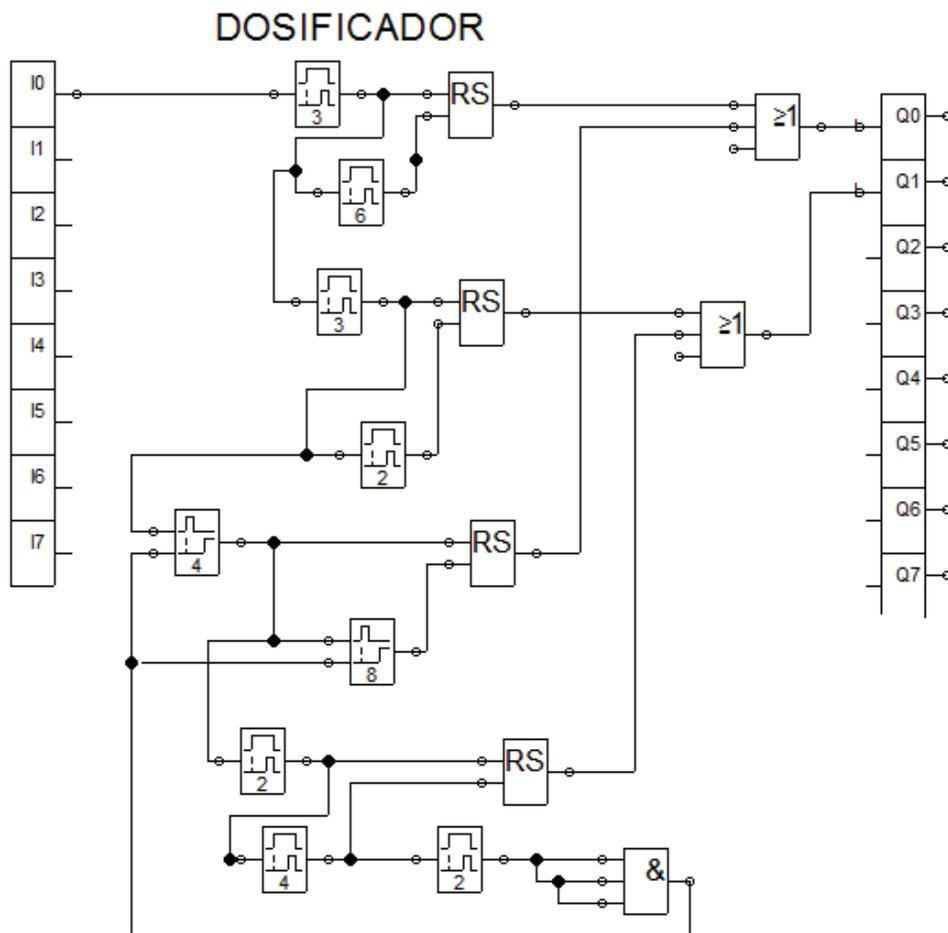


Figura 4.34 Secuencia programada para el dosificado de pintura

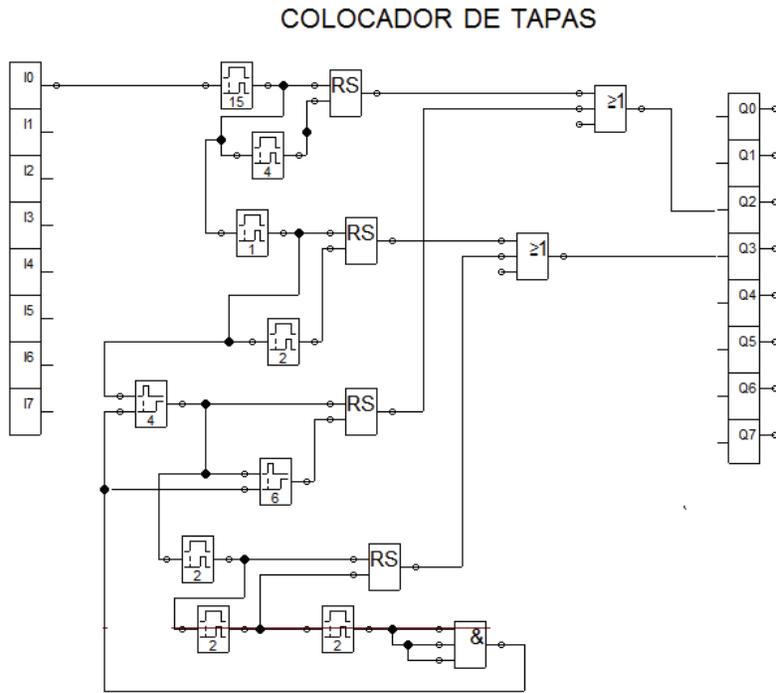


Figura 4.35 Secuencia programada para la colocación de tapas

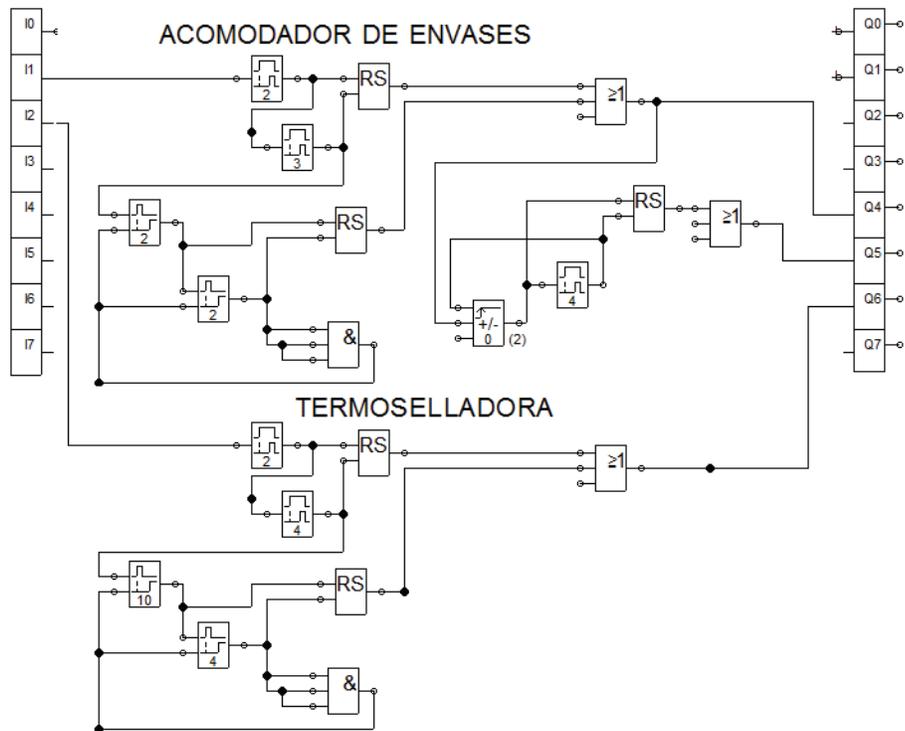


Figura 4.36 Secuencia para acomodar envases y termo sellado

4.9 SIMULACIÓN DE LA PLANTA

Para visualizar el funcionamiento de la planta se procede a realizar una simulación en la que se destacan las etapas de mezclado, llenado, tapado y termo-sellado en la línea de producción de pinturas que se muestra en la figura 4.37 hasta llegar a la presentación del producto final, el mismo que sale en presentaciones de 4 unidades de producto cubiertas con plástico termo-encogible.

En la automatización se ha considerado cada una de las etapas antes mencionadas las mismas que funcionan con sistemas neumáticos que serán calibrados por tiempo en la programación del PLC. El funcionamiento de cada etapa se describe a continuación:

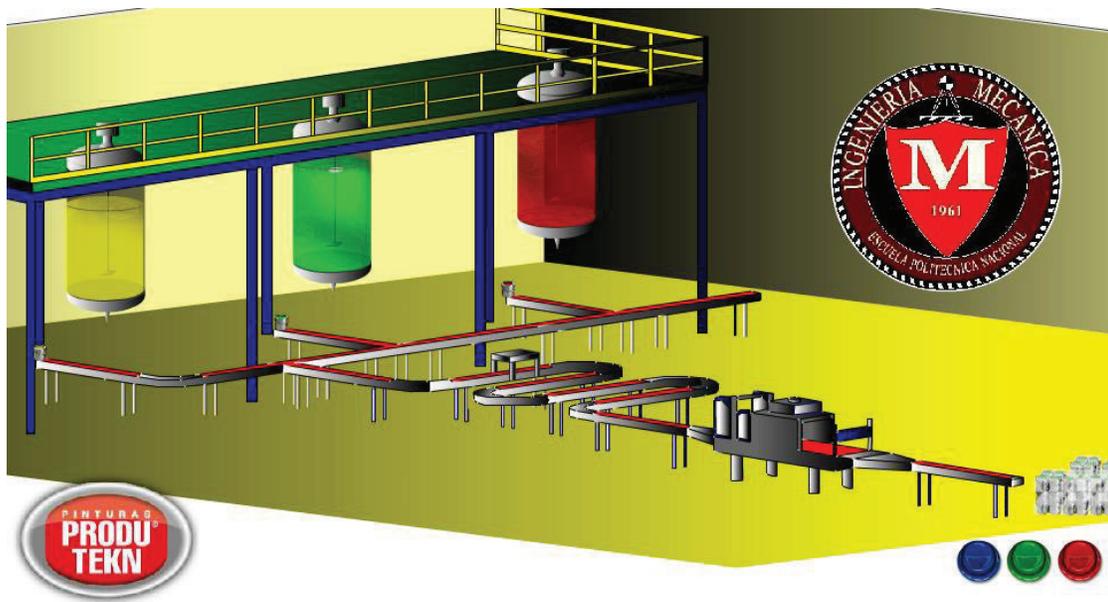


Fig. 4.37 Vista general de la línea de producción de pinturas PRODU TEKN

Fuente: Adobe Flash CS6

4.9.1 Mezclado

En esta etapa se ingresa la materia prima a los tanques respectivos y se procede a homogenizar la mezcla como se aprecia en la figura 4.38.

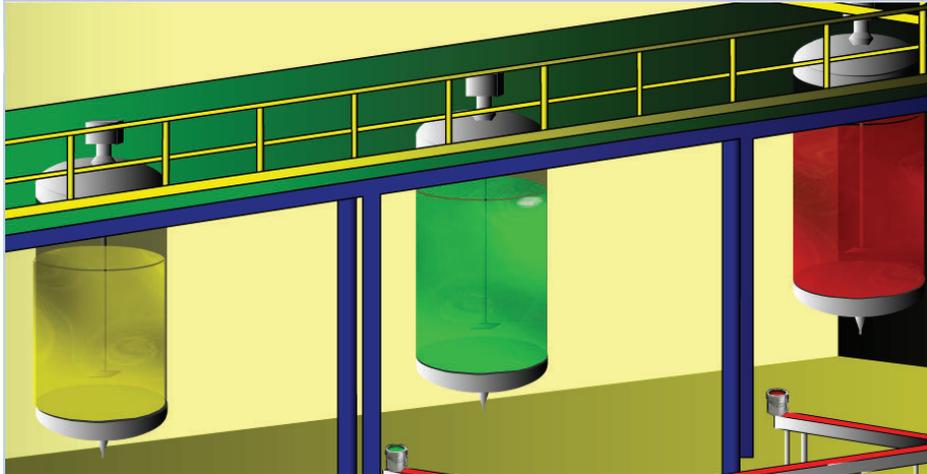


Fig. 4.38 Proceso de mezclado y homogenizado de pinturas

4.9.2 Envasado

Luego del homogenizado de la mezcla se realizan pruebas de laboratorio antes de iniciar con el envasado del producto (ver figura 4.39).

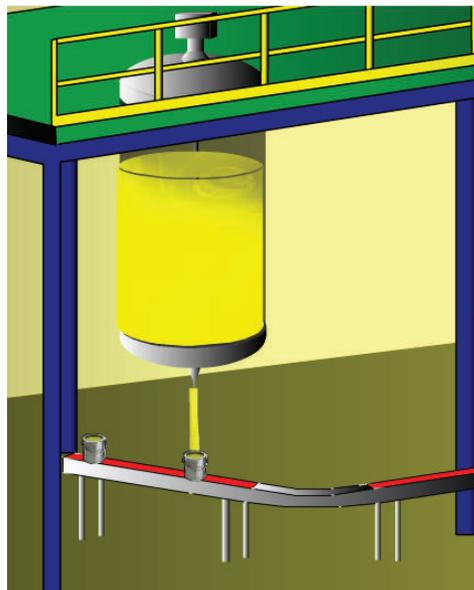


Fig. 4.39 Vista general del envasado de pintura

En el procedimiento de envasado, primero el pistón P3 detiene los envases bajo el dosificador, luego los pistones P1 y P2 accionan la carga del dosificador abriendo la check de entrada y cerrando la de salida como se aprecia en la figura 4.40, los pistones P1 y P2 se accionan nuevamente generando el llenado del envase como se aprecia en la figura 4.41, la check 2 de salida se abre y la de entrada check 1 se cierra. El pistón P3 se abre y permite el paso del envase, luego se repite el ciclo.

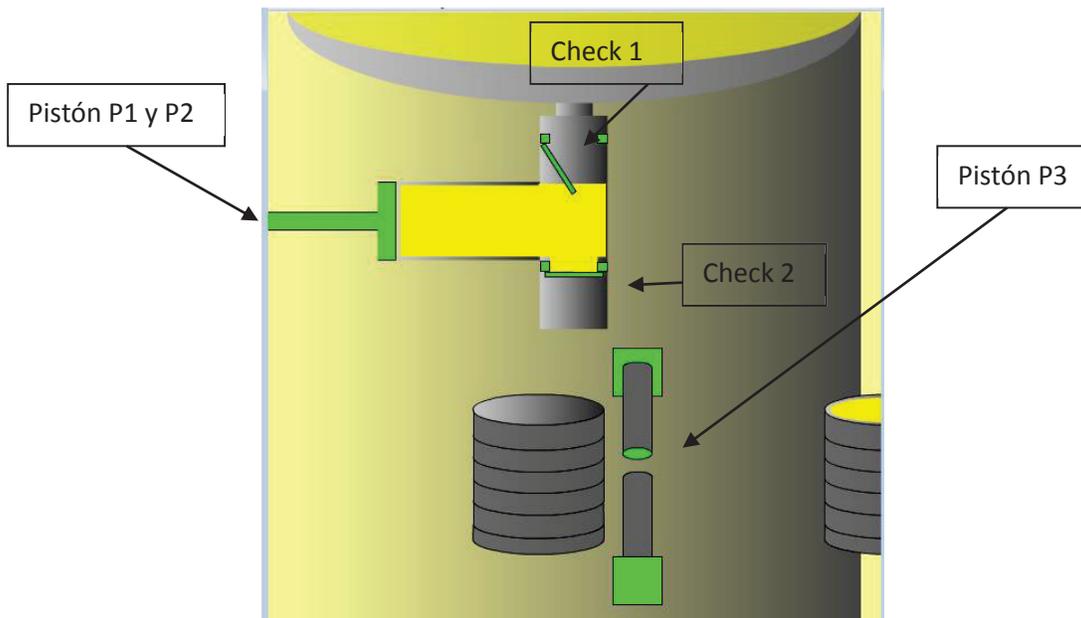


Fig. 4.40 Llenado del dosificador

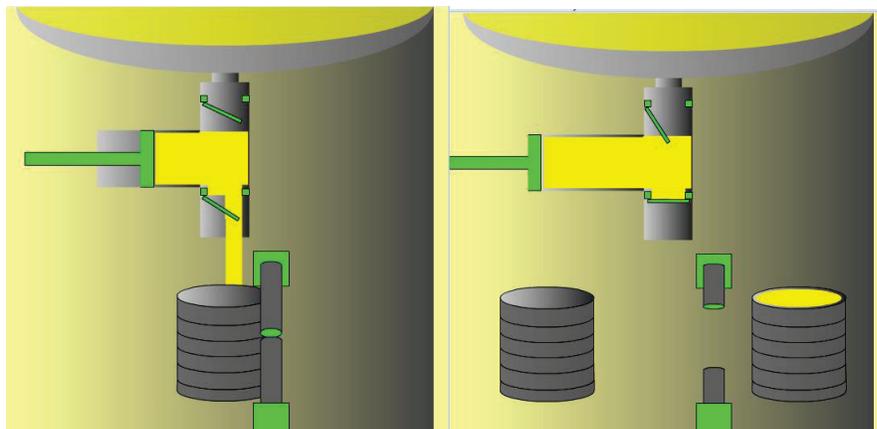


Fig. 4.41 Descarga y llenado del envase

4.9.3 Colocador de tapas

El pistón P6 sale del cilindro y detiene los envases bajo la torre de tapas mientras los pines H son retraídos para liberar las tapas como se observa en la figura 4. 42, el soporte de los pines se desplaza según el accionamiento que se da a los pistones P4 y P5 encargados de subir y bajar la torre de tapas.

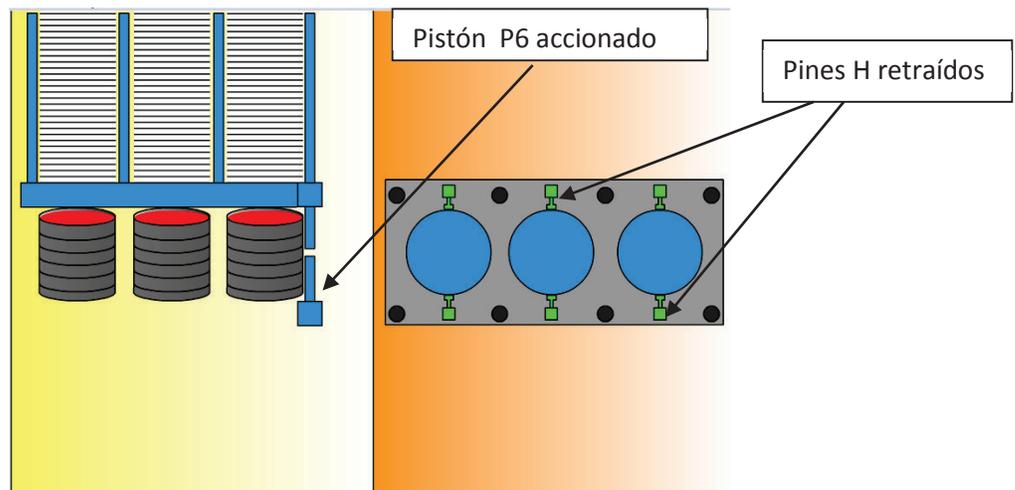


Fig. 4.42 Ubicación de envases para tapado

Una vez ubicadas las tapas, los pistones P4 y P5 son accionados para elevar la torre de tapas luego de haber liberado una fila sobre los envases, en ese momento el pistón P6 libera los envases (ver figura 4.43) para que continúen con su trayectoria sobre la banda transportadora.

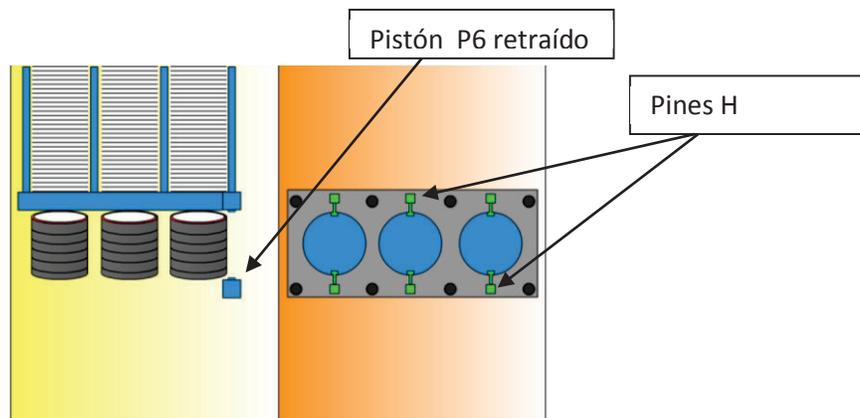


Figura 4.43 Colocación de tapas y liberación de envases

4.9.4 Acomodador de envases

Los pistones P7 y P8 detienen los envases antes del termo sellador, mientras el pistón P9 actúa de forma intermitente acomodando los envase en grupos de a 4 como se aprecia en la figura 4.44 y 4.45, uno de los envase pasa y el otro es pateado para acomodarse junto al anterior (ver figura 4.46), el ciclo se repite hasta acomodar grupos de 4 unidades para que ingresen al termo sellador como se aprecia en la figura 4.47. Toda la automatización se la realiza calibrando tiempos y velocidades de los transportadores en cada etapa de la línea de producción.

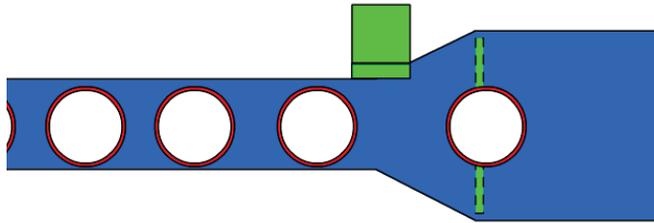


Fig. 4.44 Envases llegando a la entrada del termo sellador

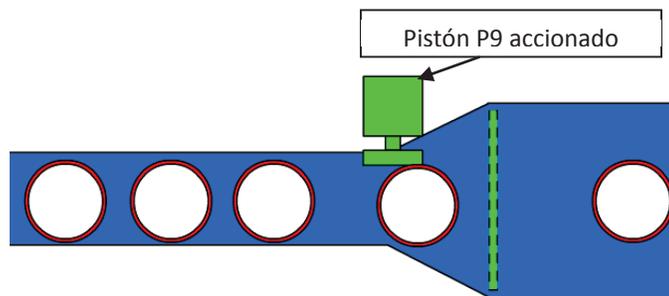


Fig. 4.45 Envase pateado por el pistón P9

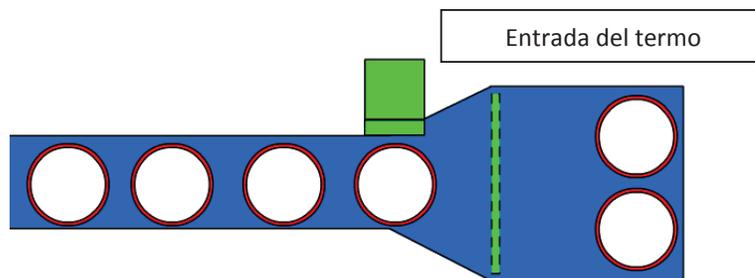


Fig. 4.46 Envases detenidos a la entrada del termo sellador

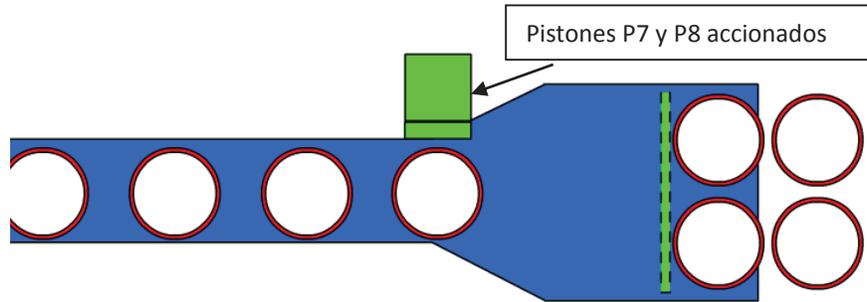


Fig. 4.47 Envases ingresando al termo sellador

4.10 SIMULACIÓN DE LA PLANTA CON INTOUCH

El uso del programa InTouch facilita la visualización del proceso, mediante pantallas graficas de los elementos, máquinas y piezas diseñadas.

4.10.1 Panel principal

Esta pantalla se muestra al iniciar la simulación, en esta imagen se puede colocar información visual como logotipo, nombre de la empresa o institución educativa, haciendo click en la flecha de color negro y amarillo se accede a la siguiente pantalla del programa.



Fig. 4.48 Panel Principal

Fuente: InTouch

4.10.2 Menú principal

Se tiene las operaciones principales con la ilustración en conjunto de toda la planta

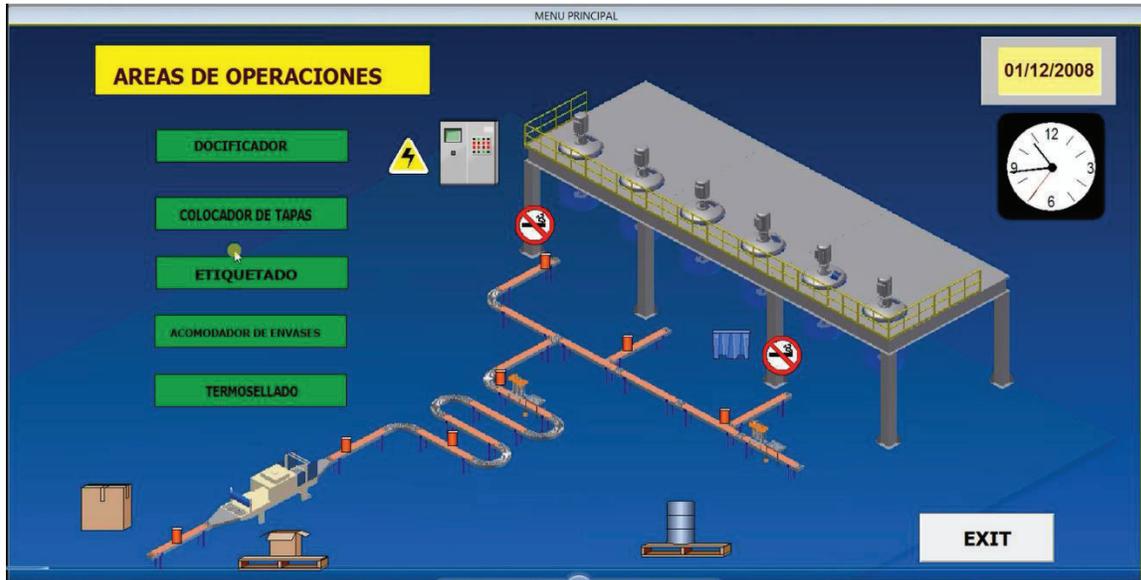


Fig. 4.49 Menú Principal

4.10.3 Dosificado

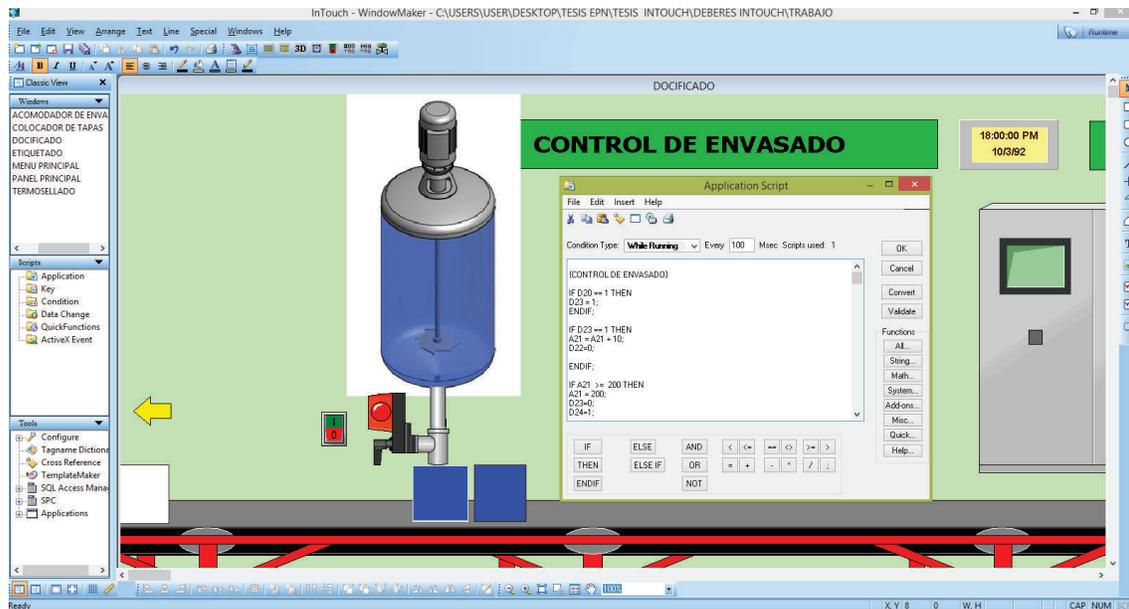


Fig. 4.50 Dosificado

4.10.4 Colocador de tapas

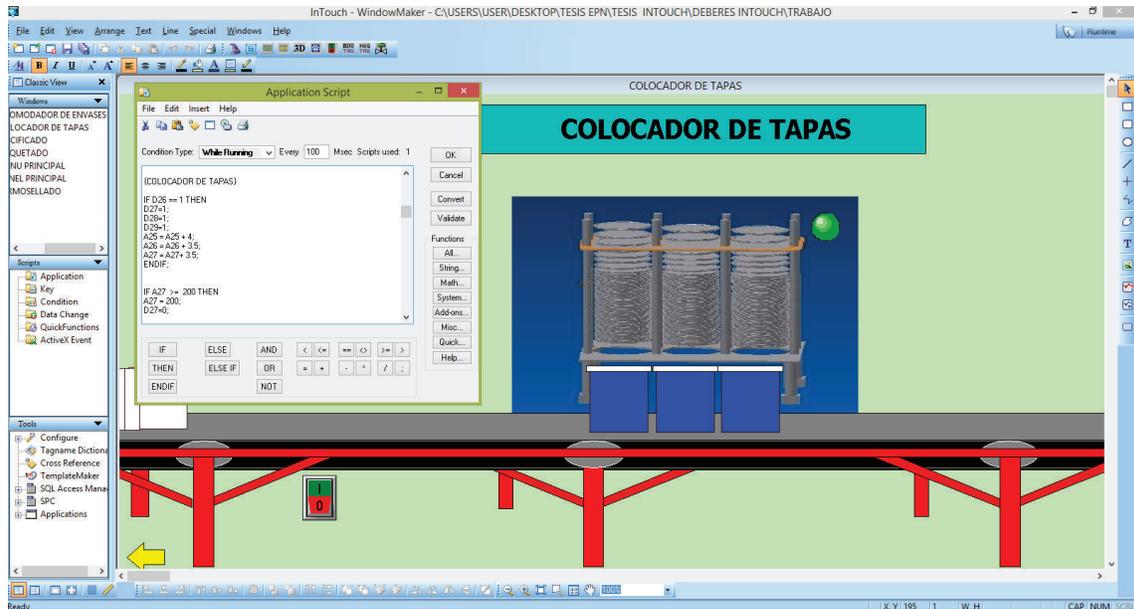


Fig. 4.51 Colocador de tapas

4.10.5 Etiquetado

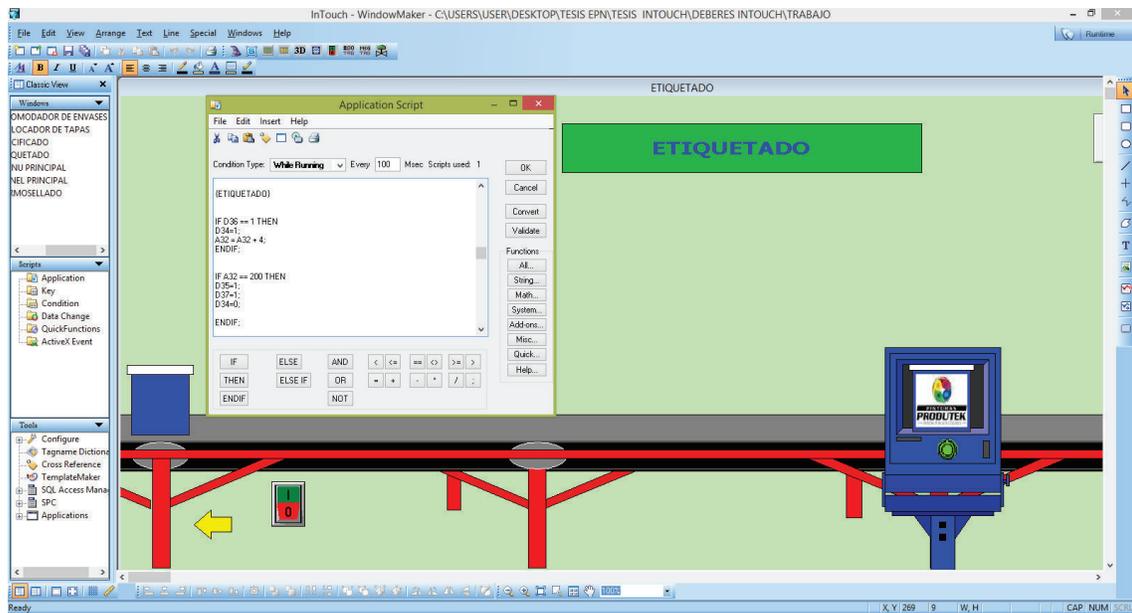


Fig. 4.52 Etiquetado

4.10.6 Acomodador de envases

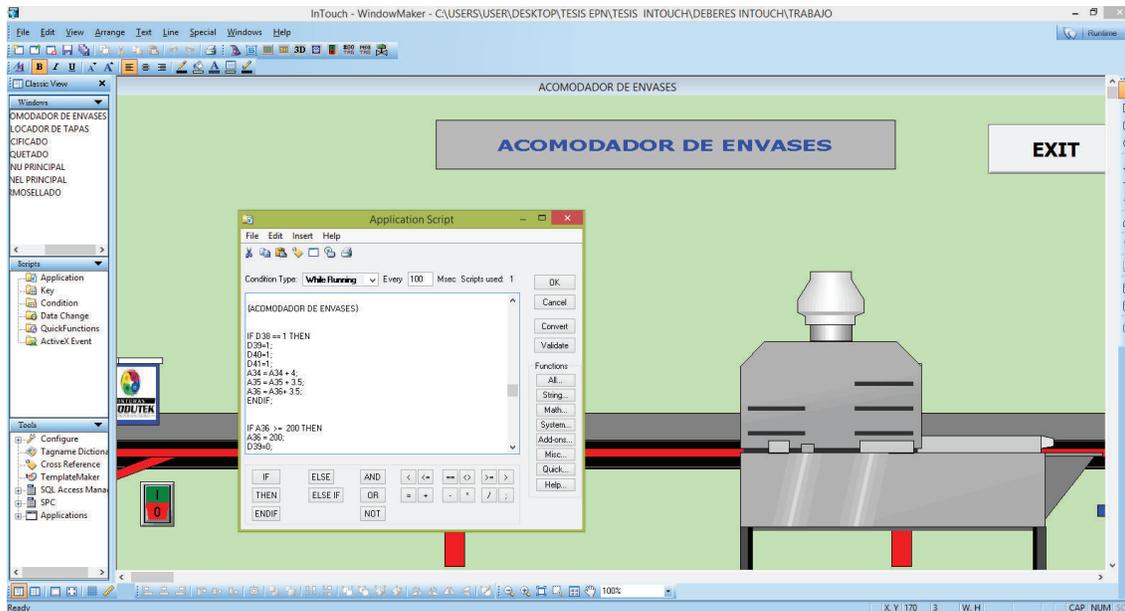


Fig. 4.53 Acomodador de envases

4.10.7 Termo sellado

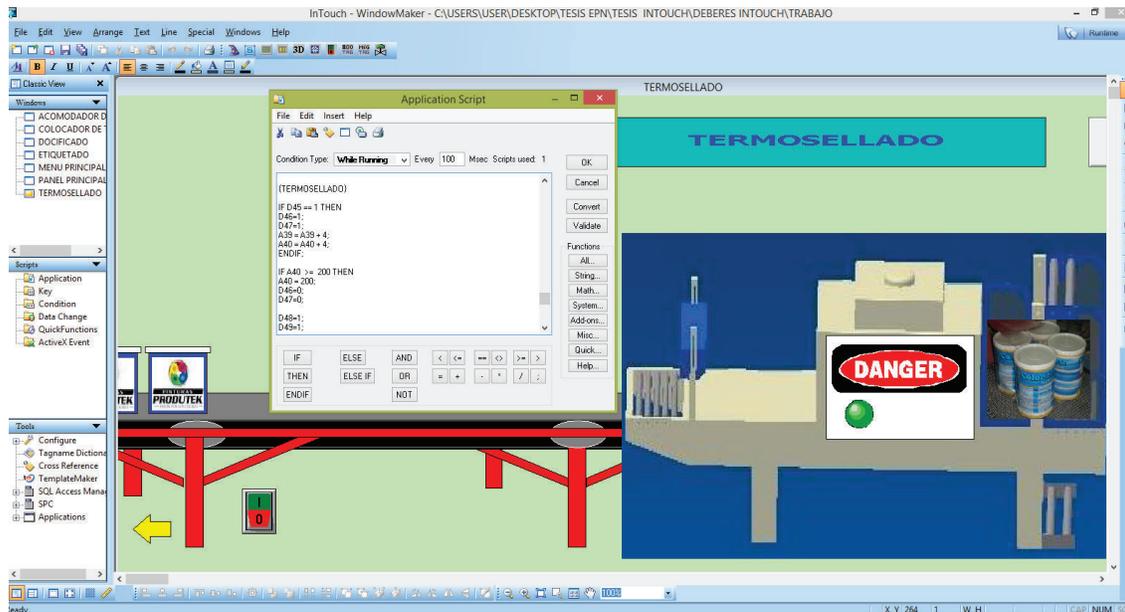


Fig. 4.54 Termo sellado

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El diseño conceptual facilita la consolidación de los parámetros que define el producto y el análisis funcional permite establecer los módulos principales del proyecto, mismos que constituyen las mejores combinaciones como alternativas de solución al problema planteado.

Para el diseño de la estructura del mezanine se consideraron las especificaciones ANSI/AISC 360-10 como base del cálculo, concertando con la normativa Ecuatoriana NEC 2011 Cap. 1 y 2, dando como resultado una estructura rígida con una deflexión combinada máxima de 0,6 mm en una luz de 6 m.

Las herramientas computacionales como Inventor, Solidworks, FluidSim e In Touch utilizadas en este proyecto permiten acceder a elementos estandarizados, optimizando el diseño y facilitando cambios y ajustes en periodos cortos de tiempo, además en la simulación y automatización del proceso se generan pantallas de visualización del comportamiento del sistema para un mejor entendimiento y comprensión del proceso.

Los diseños teóricos permitieron validar el uso del Software, mediante comparaciones de los resultados arrojados en el diseño por elementos finitos FEA, mismos que convergen en la mayoría de casos a partir de los 100 000 nodos analizados.

El diseño, automatización y simulación realizados en este proyecto en su conjunto dan como resultado una línea de producción de pinturas base agua con una capacidad inicial de producción de 2000 Galones/día con la posibilidad de ampliarse un 50% más en función de los requerimientos y necesidad de la empresa.

5.2 RECOMENDACIONES

Las tecnologías computacionales especializadas demandan un gran recurso de procesamiento, por ello se debe escoger un tipo de mallado adecuado para que el programa complete su análisis y arroje resultados, los mismos para ser aceptados requieren ser validados con cálculos teóricos en elementos de menor grado de complejidad.

La operación de la planta requiere de una capacitación previa a los operarios, para que entiendan la secuencia y lógica utilizada en la automatización.

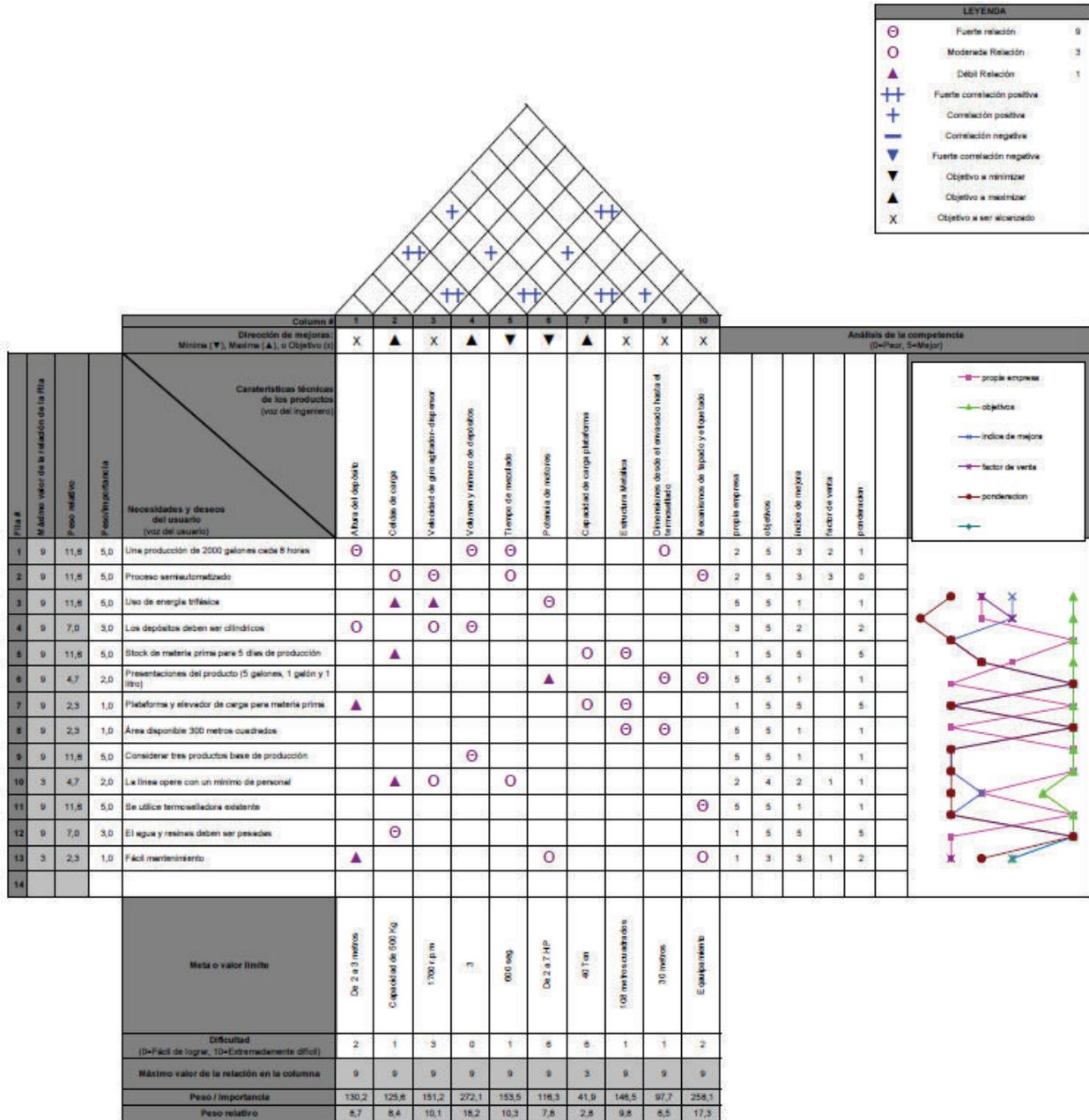
Al tratarse de una estructura de acero, combinada con el manejo de productos químicos, se debe realizar el mantenimiento correspondiente para evitar daños en la misma. El cambio de producto en la operación de la planta, requiere que previamente se adecuen los transportadores para recibir el nuevo producto y encaminarlo a la zona de empaquetamiento.

Utilizar cada tanque para el producto correspondiente según la especificación del cliente (colores claros, oscuros o resinas), con ello se garantiza la calidad del mismo y se optimiza los tiempos de producción al evitar la limpieza que requerirían los tanques si se los utiliza de forma indistinta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANSI AISC 360-05, "Specification for Structural Steel Buildings". (2005).
- Especificación ANSI/AISC 360-10 para construcciones de Acero (2010).
- NEC-11: *Norma Ecuatoriana de la construcción*, capítulo 1. Ecuador (2011).
- NEC-11: *Norma Ecuatoriana de la construcción*, capítulo 2. Ecuador (2011).
- Mc CORMAC, Jack: *Diseño de estructuras de acero Método LRFD*, Alfa omega, Segunda edición, México (2002).
- PEREIRA, Giudice: *Tecnología de pintura y recubrimientos*, México (2009).
- RESTREPO, Jorge: *Diseño, Fabricación, Montaje y Reconstrucción de tanques soldados de acero Según API 650 y 653*, Colombia (2007).
<http://es.scribd.com/doc/100551089/API-650-Y-653-Parte-1>.
- RIBA, Carles: *Diseño Concurrente, Departamento Ingeniería ETSEIB*, España (2002).
- SHIGLEY, Joseph: *Diseño en Ingeniería Mecánica*, Editorial Mc Graw-Hill, Sexta Edición, México (2004).
- VINNAKOTA, Sriramulu: *Estructuras de acero. Comportamiento y LRFD*, Mc Graw Hill, Segunda edición, México (2006).

ANEXO 1.- Casa de la calidad



ANEXO 2.- Materiales de construcción de uso común

Tabla 1.1. Pesos unitarios de materiales de construcción

Material	Peso Unitario kN/m³
A. Rocas	
Basalto	29.0 - 30.0
Granito	26.0 - 28.0
Andesita	26.0 - 28.0
Sienita	27.0 - 29.0
Pórfido	26.0 - 27.0
Gabro	29.0 - 31.0
Arenisca	26.0 - 27.5
Calizas compactas y mármoles	27.0 - 28.0
Pizarra para tejados	28.0
B. Piedras artificiales	
Adobe	16.0
Amianto-cemento	20.0
Baldosa cerámica	18.0
Baldosa de gres	19.0
Hormigón simple	22.0

ANEXO 3.- Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas y concentradas

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kNm ²)	Carga concentrada (kN)
Almacenes		
Venta al por menor		
Primer piso	4.80	4.50
Pisos superiores	3.60	4.50
Venta al por mayor. Todos los pisos	6.00	4.50
Amerías y salas de instrucción militar	7.20	
Áreas de Reunión y Teatros		
Asientos fijos	2.90	
Áreas de recepción	4.80	
Asientos móviles	4.80	
Estadios y Coliseos		
Graderíos	4.80 ^d	
Asientos fijos	3.00 ^d	
Fábricas/Industria/Manufactura		
Livianas	6.00	9.0
Pesadas	12.00	13.40
Garaje (únicamente vehículos para pasajeros)		2.0 ^{ab}
Camiones y Buses		a,b
Gimnasios	4.80	
Graderíos para estadios y similares	4.80 ^d	
Hoteles (ver residencias)		
Hospitales		
Sala de quirófanos, laboratorios	2.90	4.50
Sala de pacientes	2.00	4.50
Corredores en pisos superiores a la planta baja	4.00	4.50
Instituciones penales		
Celdas	2.00	
Corredores	4.80	
Pasamanos, guardavías y agarraderas de seguridad	Ver sección 4.5 ASCE/SEI 7-10	
Pasarelas y plataformas elevadas (excepto rutas de escape)	3.00	
Patios y terrazas peatonales	4.80	
Pisos para cuarto de máquinas de elevadores (áreas de 2600 mm ²)		1.40

Fuente: Norma Ecuatoriana de la construcción NEC11_Capítulo 1, p 4-6

ANEXO 4.- MAPA SISMICO

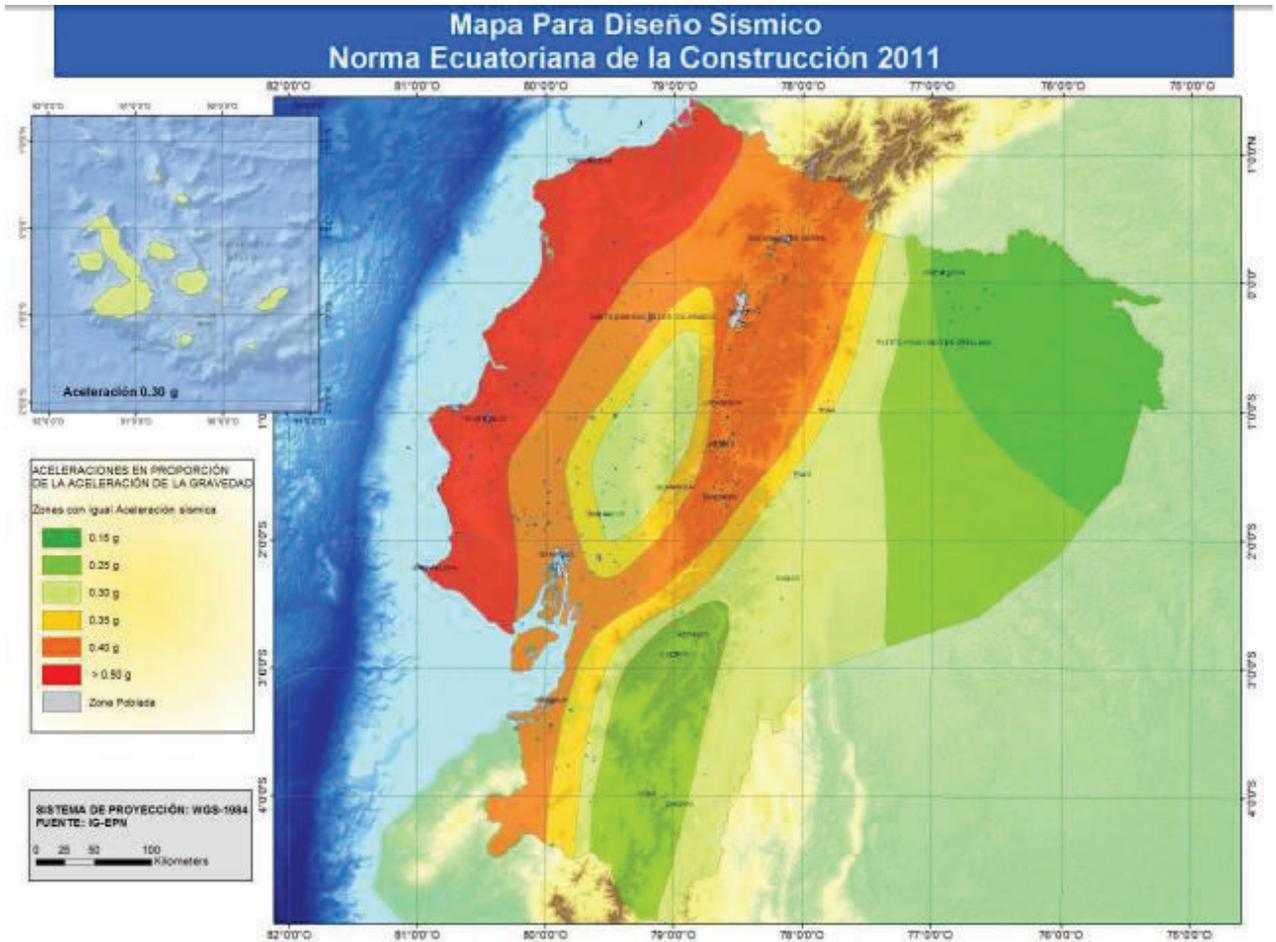


Tabla 2.1. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización de la amenaza sísmica	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

ANEXO 5.- Uso e importancia de la estructura

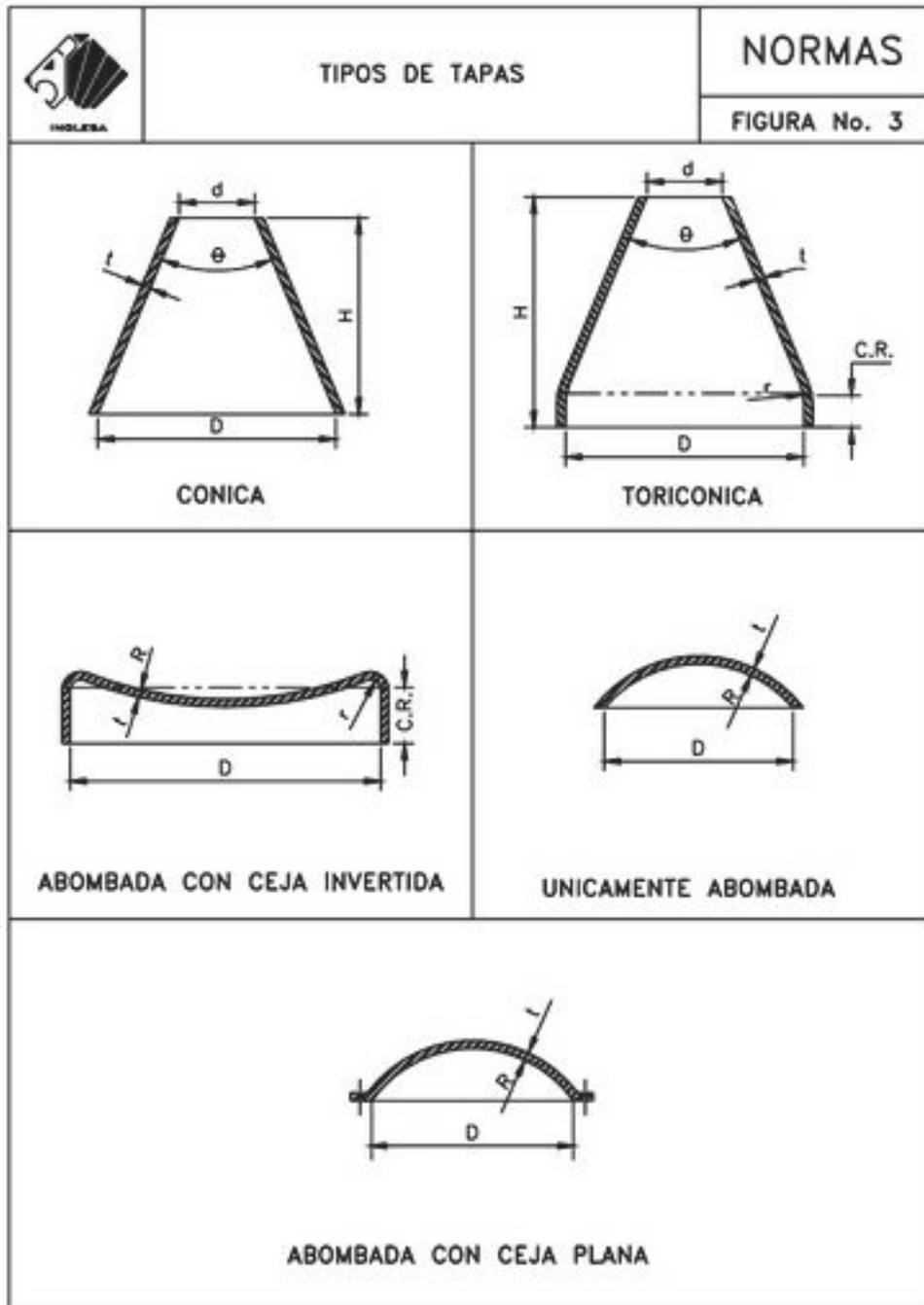
Tabla 2.9. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Factor
Edificaciones esenciales y/o peligrosas	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Tabla 11.5 Consumo de aire para cilindros neumáticos

		<i>Presión de trabajo en atmósferas</i>														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Dámetro cilindro, mm</i>																
		<i>Consumo de aire en litros por cm de carrera del cilindro</i>														
6	0,0005	0,0008	0,0011	0,0014	0,0016	0,0019	0,0022	0,0025	0,0027	0,0030	0,0033	0,0036	0,0038	0,0041	0,0044	
12	0,002	0,003	0,004	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,018	
16	0,004	0,006	0,008	0,010	0,011	0,014	0,016	0,018	0,020	0,022	0,024	0,026	0,028	0,029	0,032	
25	0,010	0,014	0,019	0,024	0,029	0,033	0,038	0,043	0,048	0,052	0,057	0,062	0,067	0,071	0,076	
35	0,019	0,028	0,038	0,047	0,056	0,066	0,075	0,084	0,093	0,103	0,112	0,121	0,131	0,140	0,149	
40	0,025	0,037	0,049	0,061	0,073	0,085	0,097	0,110	0,122	0,135	0,146	0,157	0,171	0,183	0,195	
50	0,039	0,058	0,077	0,096	0,115	0,134	0,153	0,172	0,191	0,210	0,229	0,248	0,267	0,286	0,305	
70	0,076	0,113	0,150	0,187	0,225	0,262	0,299	0,335	0,374	0,411	0,448	0,485	0,523	0,560	0,597	
100	0,155	0,231	0,307	0,383	0,459	0,535	0,611	0,687	0,763	0,839	0,915	0,991	1,067	1,143	1,219	
140	0,303	0,452	0,601	0,750	0,899	1,048	1,197	1,346	1,495	1,644	1,793	1,942	2,091	2,240	2,389	
200	0,618	0,923	1,227	1,531	1,835	2,139	2,443	2,747	3,052	3,356	3,660	3,964	4,268	4,572	4,876	
250	0,966	1,441	1,916	2,392	2,867	3,342	3,817	4,292	4,768	5,243	5,718	6,193	6,668	7,144	7,619	

ANEXO 8.- TIPOS DE TAPAS UTILIZADAS EN RECIPIENTES A PRESIÓN



Fuente: León J; Diseño y Cálculo de recipientes sujetos a presión; 2001:

http://www.academia.edu/7116276/Dise%C3%B1o_y_C%C3%A1lculo_de_Recipientes_a_Presi%C3%B3n