

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL
EJÉRCITO**

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA
UNIDAD SEMIAUTOMÁTICA DE FUMIGACIÓN PARA EL
CULTIVO DE ROSAS EN INVERNADERO PARA LA
EMPRESA FLORÍCOLA JARDINES PIAVERI CIA. LTDA.”

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

**ANDRÉS ACOSTA GARCÉS
DANIEL FIERRO SALVADOR**

Sangolquí

Noviembre 2005

CERTIFICACIÓN

El presente proyecto ha sido elaborado por los señores Santiago Andrés Acosta Garcés y Daniel Esteban Fierro Salvador, egresados de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército, como requisito parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Sangolquí, 16 de noviembre de 2005

Ing. Luis Echeverría
Director

Ing. Fernando Montenegro
Codirector

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA UNIDAD SEMIAUTOMÁTICA DE FUMIGACIÓN PARA EL CULTIVO DE ROSAS EN INVERNADERO PARA LA EMPRESA FLORÍCOLA JARDINES PIAVERI CIA. LTDA.”

Sangolquí, 16 de noviembre de 2005

ELABORADO POR:

Santiago Andrés Acosta Garcés

Daniel Esteban Fierro Salvador

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

MAYO Edgar Pazmiño

Decano de Facultad

DEDICATORIA

- A nuestros padres y familiares.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos sinceramente por la culminación de este proyecto a los ingenieros Luis Echeverría y Fernando Montenegro por su dirección y ayuda, a la empresa florícola Jardines PIAVERI y sus responsables, a todas las personas que nos brindaron apoyo en algún instante del desarrollo de este proyecto y a lo largo de toda nuestra carrera de ingeniería; familiares, amigos, profesores, maestros y sobre todo a DIOS.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO 1.....	12
GENERALIDADES.....	12
1.1 Presentación.....	12
1.1.1 Antecedentes.....	12
1.1.2 Misión y visión de la empresa.....	13
1.2 Definición del problema.....	14
1.3 Objetivos.....	14
1.4 Alcances.....	15
CAPÍTULO 2.....	16
PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA UNIDAD FUMIGADORA.....	16
2.1 Descripción del sistema de fumigación actual.....	16
2.2 Disposición de la unidad de fumigación.....	19
2.3 Parámetros de evaluación.....	19
2.3.1 Funcionalidad.....	19
2.3.2 Operación.....	22
2.3.3 Mantenimiento.....	22
2.3.4 Fiabilidad.....	23
2.3.5 Costo.....	23
2.3.6 Vida útil.....	24
2.4 Presentación de alternativas.....	24
2.5 Evaluación de alternativas.....	26
2.6 Selección de alternativa óptima.....	29
CAPÍTULO 3.....	32
DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DEL FUMIGADOR.....	32
3.1 Generalidades.....	36
3.2 Diseño de la unidad principal.....	36
3.2.1 Cálculos para la selección del motor.....	38
3.2.2 Análisis estático.....	39
3.2.3 Diseño de los elementos.....	46
3.2.3.1 Diseño del eje motriz.....	47
3.2.3.2 Diseño del soporte lateral.....	53
3.2.3.3 Diseño de la base.....	56
3.2.3.4 Diseño de la pared.....	59
3.2.3.5 Selección de elementos normalizados.....	63
3.3 Cálculo de la tensión del alambre en los invernaderos.....	70
3.4 Diseño del sistema de transporte.....	72
3.4.1 Plataforma móvil.....	72
3.4.2 Diseño de carrete multipropósito.....	73
3.4.2.1 Cálculos para selección de motor.....	74
3.4.2.2 Análisis de fuerzas.....	75
3.4.2.3 Selección de elementos normalizados.....	78
3.4.2.4 Diseño de sistemas complementarios.....	86

3.5	Diseño del sistema de circulación de líquido fumigante.....	95
3.5.1	Sistema de alimentación de fumigante.....	95
3.5.2	Lanza Rociadota.....	98
3.6	Diseño del sistema eléctrico y selección de instrumentación básica.....	100
CAPÍTULO 4.....		110
CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS.....		110
4.1	Construcción del prototipo.....	110
4.2	Montaje del prototipo.....	113
4.3	Pruebas del prototipo.....	123
CAPÍTULO 5.....		136
ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO.....		136
5.1	Análisis financiero.....	136
5.1.1	Presupuesto.....	136
5.1.2	Relación beneficio vs costo.....	139
5.1.3	Tasa interna de retorno (TIR) – Valor actual neto (VAN).....	146
5.2	Análisis económico.....	148
CAPÍTULO 6.....		150
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		150
6.1	Conclusiones.....	150
6.2	Recomendaciones.....	151
RESUMEN.....		152
BIBLIOGRAFÍA.....		154
ANEXOS.....		156

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Movilización del equipo.....	17
Figura 2.2 Proceso de fumigación.....	17
Figura 2.3 Advertencias en áreas fumigadas.....	18
Figura 2.4 Invernadero tipo capilla.....	20
Figura 2.5 Invernadero tipo circular.....	20
Figura 2.6 Diferencia en el tamaño de los rosales.....	21
Figura 2.7 Tomas eléctricas dentro de los invernaderos.....	21
Figura 3.1 Unidad principal.....	37
Figura 3.2 DCL del conjunto.....	40
Figura 3.3 DCL del eje motriz.....	41
Figura 3.4 DCL del eje seguidor.....	42
Figura 3.5 DCL del soporte lateral.....	42
Figura 3.6 DCL del motor.....	43
Figura 3.7 DCL de la base.....	44
Figura 3.8 DCL del brazo soporte.....	44
Figura 3.9 DCL de la pared.....	45
Figura 3.10 Diagrama de fuerzas del eje motriz.....	47
Figura 3.11 Fuerza cortante vs distancia del eje motriz.....	47
Figura 3.12 Momento flector vs distancia del eje motriz.....	48
Figura 3.13 Torque vs distancia del eje motriz.....	48
Figura 3.14 Diagrama de fuerzas del soporte lateral.....	53
Figura 3.15 Fuerza cortante vs distancia del soporte lateral.....	54
Figura 3.16 Momento flector YZ vs distancia del soporte lateral.....	54
Figura 3.17 Momento flector XY vs Distancia del soporte lateral.....	55
Figura 3.18 Sección crítica.....	55
Figura 3.19 Diagrama de fuerzas de la base.....	56
Figura 3.20 Fuerza normal vs distancia de la base.....	57
Figura 3.21 Fuerza cortante vs Distancia de la base.....	57
Figura 3.22 Momento flector vs distancia de la base.....	58
Figura 3.23 Diagrama de fuerzas de la pared.....	59
Figura 3.24 Fuerza normal vs distancia de la pared	60
Figura 3.25 Fuerza cortante vs distancia de la pared.....	60
Figura 3.26 Momento flector XY vs distancia de la pared.....	61
Figura 3.27 Momento flector YZ vs Distancia de la pared.....	61
Figura 3.28 Ubicación de pernos.....	65
Figura 3.29 Distribución de pernos superiores.....	66
Figura 3.30 Solución software SKF.....	69
Figura 3.31 Flexión en alambre.....	70
Figura 3.32 Esquema Unidad de transporte.....	72
Figura 3.33 Carrete multipropósito.....	74
Figura 3.34 DCL del carrete.....	75
Figura 3.35 Disposición de manguera y cable respecto al tambor.....	78
Figura 3.36 Disposición de catalinas.....	81
Figura 3.37 Fuerzas en el soporte.....	82
Figura 3.38 Distribución de fuerzas en los pernos de las patas soportantes.....	83
Figura 3.39 Solución software SKF.....	85
Figura 3.40 Esquema rodillos.....	87
Figura 3.41 Sistemas de acomodador y templador.....	88

Figura 3.42 Disposición de poleas.....	88
Figura 3.43 Solución software MITCalc_beam.....	90
Figura 3.44 Momento flector vs distancia.....	91
Figura 3.45 Torque vs distancia.....	92
Figura 3.46 Esquema de circulación del fumigante.....	95
Figura 3.47 Lanza de fumigación.....	99
Figura 3.48 Conos de aspersion.....	100
Figura 3.49 Disposición sistema de escobillas y sistema infrarrojo.....	101
Figura 3.50 Esquema de transmisión infrarroja.....	104
Figura 3.51 Circuito impreso para fuente rectificadora y LED´s emisores.....	105
Figura 3.52 Circuito impreso para el control de la válvula solenoide.....	106
Figura 3.53 Circuito impreso para LED´s receptores y LED emisor.....	107
Figura 4.1 Ensamble de soportes laterales y ejes de la unidad principal.....	114
Figura 4.2 Ensamble de la pared de la unidad principal.....	114
Figura 4.3 Ensamble de la base de la unidad principal.....	115
Figura 4.4 Ensamble del moto reductor de la unidad principal.....	115
Figura 4.5 Ensamble de tirantes de la base de la unidad principal.....	116
Figura 4.6 Unidad principal finalizada.....	116
Figura 4.7 Ensamble del tambor del carrete con los semiejes.....	117
Figura 4.8 Ensamble del tambor y las patas soportes del carrete.....	118
Figura 4.9 Ensamble del carrete sobre la plataforma móvil.....	118
Figura 4.10 Ensamble del motor del acomodador y templador a la plataforma móvil.....	119
Figura 4.11 Ensamble del moto reductor impulsor del carrete a la plataforma móvil.....	119
Figura 4.12 Ensamble del acomodador con el templador.....	120
Figura 4.13 Ensamble del subconjunto de templador y acomodador sobre la plataforma móvil.....	120
Figura 4.14 Ensamble de la catalinas.....	121
Figura 4.15 Ensamble de cadena.....	121
Figura 4.16 Ensamble de banda.....	122
Figura 4.17 Unidad de transporte finalizada.....	122
Figura 4.18 Dispersión obtenida en las 10 pruebas.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Matriz de decisión.....	30
Tabla 3.1 Términos empleados en el capítulo.....	32
Tabla 3.2 Características técnicas de los motores a ser probados.....	38
Tabla 3.3 Elementos de control y protección.....	109
Tabla 4.1 Lista de Materiales adquiridos en el mercado.....	110
Tabla 4.2 Lista de elementos normalizados.....	111
Tabla 4.3 Lista de herramientas.....	112
Tabla 4.4 Lista de equipos utilizados.....	112
Tabla 4.5 Resultados obtenidos en la primera placa impresa.....	125
Tabla 4.6 Resultados obtenidos en la segunda placa impresa.....	125
Tabla 4.7 Resultados obtenidos en la tercera placa impresa.....	125
Tabla 4.8 Medición de voltaje en las escobillas.....	128
Tabla 4.9 Comprobación de transmisión de señal infrarroja.....	129
Tabla 4.10 Comportamiento de los elementos mecánicos.....	130
Tabla 4.11 Medición de velocidad de desplazamiento.....	132
Tabla 5.1 Inversión del proyecto (Prototipo).....	137
Tabla 5.2 Inversión del proyecto (Dos unidades).....	138
Tabla 5.3 Flujo de caja mensual actual.....	140
Tabla 5.4 Flujo de caja mensual con el prototipo.....	140
Tabla 5.5 Flujo de caja mensual proyectado a futuro	141
Tabla 5.6 Flujo de caja con horizonte a 10 años.....	144

INTRODUCCIÓN

El trabajo que se presenta a continuación nació con el anhelo de desarrollo tecnológico dentro de una industria fuerte en el Ecuador como lo es el cultivo de rosas. Además, el proyecto se enmarca también en la preocupación por el recurso humano dentro de un proceso que se lleva a cabo diariamente en esta industria y que por su misma característica puede ser nocivo para quienes realizan esta labor en la actualidad.

La tarea de fumigación de cultivos de rosas es demorada y tediosa, ocupando a más de un obrero para la operación, subutilizando el recurso humano pues solamente uno de ellos es quien propiamente cumple con el objetivo de fumigar y al menos un trabajador puede ser eliminado de su función con la introducción del prototipo desarrollado, y otro alejado parcialmente del contacto permanente con los químicos fumigantes.

La empresa florícola Jardines PIAVERI con sus cultivos ubicados en Lazo fue la promotora de este proyecto y fue en ese mismo lugar donde se llevó a cabo las pruebas y finalmente podría implementarse en su totalidad tomando en cuenta lo expuesto en este documento.

Los resultados que se obtuvieron y que se ven plasmados a lo largo de la memoria técnica cumplieron los objetivos trazados, considerando las limitaciones técnicas y financieras expuestas en la misma.

De esta forma todo lo mencionado y calculado a continuación desemboca en la consecución de un prototipo práctico y funcional y que además sirve de guía para un proyecto que puede ser ampliado y de mayor dimensión según se requiera.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 Presentación

El presente proyecto se desarrolló con el propósito de complementar de una manera práctica los conocimientos adquiridos durante el transcurso de los años de estudio en la Facultad además de solucionar un problema existente en una de las industrias más prósperas del país como lo es el cultivo de flores.

El trabajo se realizó con la mayor seriedad y responsabilidad de quienes lo llevaron a cabo, tarea que no solamente beneficia a los estudiantes en búsqueda de un exitoso fin de carrera, sino que es un aporte tecnológico - investigativo a la institución que a lo largo de nuestra formación profesional nos ha acogido, y a la sociedad en aras del desarrollo industrial del país por medio de una empresa nacional como es Jardines PIAVERI.

Este proyecto consiste en el diseño y construcción de un prototipo semiautomático para la fumigación de flores cultivadas en invernadero con la finalidad de evitar el constante contacto del elemento humano con un ambiente saturado de sustancias nocivas para la salud, además de cumplir con los estándares internacionales de protección al trabajador.

1.1.1 Antecedentes

La empresa florícola “Jardines PIAVERI CIA. Ltda.”, creada jurídicamente en el año 1997; se dedica a la producción y exportación de rosas, incursionando en los últimos años en el cultivo de mini rosas.

Esta compañía posee en la actualidad un área de producción que abarca ocho hectáreas de cultivo bajo invernaderos, alcanzando una producción de 23.000 botones diarios destinados a la comercialización tanto nacional como internacional.

Jardines PIAVERI cuya gerencia general ha estado a cargo del Ing. José Ricardo Dávalos, desde sus orígenes se ha preocupado por dar apoyo a la investigación y desarrollo para la industrialización de procesos productivos. Para alcanzar este propósito la empresa dispone del Departamento de Investigación y Desarrollo liderado por el Ing. Patricio Angueta. Dicho departamento ha venido desarrollando en los últimos años proyectos enfocados en la mejora de calidad de la rosa para obtener características como fortificación del tallo, mayor durabilidad del botón, diversidad de colores entre otros y ahora ha volcado sus esfuerzos a la mejora de la eficiencia realizando estudios para la implementación de sistemas automatizados en la parte operativa de algunos de sus procesos.

Cabe resaltar que debido a las buenas relaciones que Jardines PIAVERI ha mantenido con algunas instituciones del Ejército y que en el pasado ya ha realizado proyectos en conjunto obteniendo excelentes resultados, ha decidido confiar nuevamente en la capacidad de sus miembros para el desarrollo de este proyecto.

1.1.2 Misión y visión de la empresa

Misión

Jardines PIAVERI es una empresa joven y dinámica, abierta al cambio y desarrollo, dedicada a la producción y comercialización de rosas a nivel internacional con los más exigentes estándares de calidad, manejado bajo un código de honestidad y ética.

El desarrollo de la industria florícola en el Ecuador con la meta de producir flores de primera calidad, teniendo en cuenta siempre un medio ambiente limpio y un estándar de vida bueno para nuestro equipo de trabajadores. Nosotros nos esforzaremos al límite para entregar a nuestros clientes una flor fresca, fragante, y bella.

Visión

Ser una empresa líder en todos los campos de acción, dónde la tecnología armoniza con el medio ambiente bajo una base de respeto y unión, con el compromiso de permanente esfuerzo de todos para garantizar el posicionamiento de nuestras rosas en el más alto escalafón a nivel mundial.

1.2 Definición del problema

Jardines PIAVERI tiene la necesidad de disminuir la intervención humana en un proceso de fumigación con productos químicos, además que quiere lograr una optimización tanto en el uso de dichos productos como en el tiempo que lleva la fumigación, con el agregado que se podrá reubicar a ese personal en otras áreas ó incluso expandir el área productiva actual. Por otra parte se conseguirá alcanzar un alto nivel de industrialización y automatización fundamental en los actuales momentos para la competitividad a nivel nacional e internacional, cumpliendo con los estándares de calidad que las empresas florícolas deben manejar, teniendo en cuenta que Jardines PIAVERI consta con el aval de la norma alemana Sello Verde¹. Además es fundamental mantener el nombre y los parámetros de calidad de la Empresa en el más alto nivel en el mercado nacional e internacional.

Desde el punto de vista social la importancia de este proyecto también es notable ya que evitará que los trabajadores que en este momento se hacen cargo de la fumigación se expongan a productos químicos que les podría causar enfermedades a corto o largo plazo, lo que podría llevar además a confrontaciones legales perjudiciales para la empresa.

1.3 Objetivos

- Analizar los parámetros de diseño de la fumigadora para obtener una solución óptima al problema.
- Diseñar una unidad semiautomática encargada de la fumigación.

¹ “Green Label” de FLOWER LABEL PROGRAM.

- Elaborar los planos de diseño, taller, conjunto de la máquina.
- Construir un prototipo de la unidad fumigadora y ejecutar pruebas para evaluar el desempeño.
- Crear un manual básico de funcionamiento y mantenimiento.

1.4 Alcances

Este proyecto tiene como alcance el solucionar con éxito un problema presente en la industria florícola nacional que radica en la falta de desarrollo tecnológico dentro de un proceso productivo con muchas demandas, por otro lado cumplir con el requerimiento básico para alcanzar el título de ingeniero mecánico. Además, la búsqueda de enriquecimiento cognoscitivo por medio del auto aprendizaje e investigación y obtener experiencia y reconocimiento en el ámbito laboral.

Con el afán de salvaguardar la integridad física del recurso humano e impulsar la tecnificación en la industria Florícola, se ha propuesto diseñar el sistema semiautomático de fumigación para los invernaderos de Jardines PIAVERI, que lleve al cumplimiento de las normas y estándares de calidad.

El trabajo abarcará diferentes actividades que irán desde la recopilación de información y análisis del actual sistema de fumigación, pasando por etapas de planteamiento y evaluación de alternativas ligadas posteriormente al diseño definitivo de la unidad óptima que cumpla a cabalidad la función requerida y culminando en la construcción de un prototipo que será montado y probado en un sector de la plantación. Este prototipo será la base del proyecto que Jardines PIAVERI implementará a futuro en la totalidad de la plantación.

CAPÍTULO 2

PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA UNIDAD FUMIGADORA

2.1 Descripción del sistema de fumigación actual

Es fundamental para el propósito de este proyecto entender en su totalidad el sistema de fumigación que en la actualidad se maneja en la plantación, enfocando la atención en la causa raíz del problema planteado en el capítulo introductorio.

Así, una descripción breve abrirá el horizonte para poder solventar eficazmente la situación de la empresa.

El proceso de fumigación se inicia con la movilización de los equipos necesarios hasta la zona a ser fumigada, dicho equipo está constituido por:

- Bomba
- Manguera de 100 m de longitud
- Tanque de 500 litros de capacidad
- Lanzas fumigadoras

Además el fumigador esta equipado con un uniforme protector el cual consta de un traje impermeable de caucho (pantalón, mandil y capucha), botas, mascarilla con filtros, lentes de protección y un visor transparente que cubre el rostro en su totalidad.



Figura 2.1 Movilización del equipo

Posteriormente a la preparación de todo el equipo y la previa disposición de quien va a efectuar la fumigación, se procede a encender la bomba que suministra el líquido fumigante y el obrero se desplaza caminando entre las camas de cultivo rociando el producto yendo y viniendo por el mismo sendero tomándole aproximadamente un tiempo de 45 s en su recorrido por cada cama arrastrando consigo la manguera que esta totalmente desenrollada, un segundo trabajador lo ayuda evitando que la manguera se atore en los parantes de las camas, mientras un tercero controla en caso de emergencia o requerimiento el funcionamiento de la bomba.



Figura 2.2 Proceso de fumigación

Al terminar con un sector se realiza el mismo procedimiento para pasar a otro.

La composición química de los productos utilizados y su nivel de toxicología obligan a que los turnos de las personas encargadas de la fumigación sean rotativos con el fin de alejar a la persona del ambiente posiblemente dañino durante un período, antes de volver a realizar nuevamente este trabajo. La rotación de los fumigadores está regida por la norma alemana Sello Verde con el propósito de precautelar el bienestar del recurso humano implicado en la tarea de la fumigación.



Figura 2.3 Advertencias en áreas fumigadas

2.2 Disposición de la unidad de fumigación

En lo que respecta a la disposición que tendrá la unidad, se debe analizar ciertos aspectos como:

- La unidad constará de dos partes, la primera encargada del control automático y una segunda que será la encargada de la fumigación propiamente.
- La tarea de fumigación se lleva a cabo todos los días sin excepción, con una carga diaria aproximadamente de 6 horas.
- Debido al lugar de trabajo, la unidad estará sometida a un ambiente polvoriento a causa de la tierra propia de los cultivos.
- El tipo de trabajo que realizará implica la exposición a factores como humedad y químicos en el entorno provocados por la aspersion.
- Para el funcionamiento de la unidad lo más conveniente sería la utilización de energía eléctrica por la facilidad que prestan las instalaciones de los invernaderos.
- Por ser un proyecto de automatización el operador se limita a ubicar el equipo en el lugar de trabajo, verificar que no existan inconvenientes antes de encenderlo y una vez en marcha su misión es observar que todo funcione óptimamente.

2.3 Parámetros de evaluación

2.3.1 Funcionalidad

Un parámetro que deberá siempre ser analizado a la hora de realizar un diseño o de elegir la mejor alternativa en un dispositivo a ser construido o implementado es su funcionalidad, que viene dado a su vez por requerimientos característicos del entorno bajo el cual trabajará la unidad. Así, debemos considerar que la unidad esté dispuesta de tal modo que cumpla con los siguientes puntos:

- No debe obstaculizar ni impedir el normal desenvolvimiento del resto de actividades que se llevan a cabo ni debe interferir con equipos ya existentes en el área de funcionamiento

- Debe cumplir su objetivo sin importar el tipo de invernadero en el cual se trabaje puesto que en la plantación existen al menos dos clases (de capilla y circulares) o el tipo de planta (brote o tallos largos)



Figura 2.4 Invernadero tipo capilla



Figura 2.5 Invernadero tipo circular



Figura 2.6 Diferencia en el tamaño de los rosales

- El suministro de energía debe ser coherente con las facilidades que prestan las instalaciones actuales.



Figura 2.7 Tomas eléctricas dentro de los invernaderos

2.3.2 Operación

Además de la funcionalidad, otro factor determinante en industrialización de procesos es la manera de operar del equipo, que como se sabe es más afable si su modo de operación es lo más sencilla posible sin dejar de ser eficiente y segura. Así, se debe tomar en cuenta que quien estará a cargo de la unidad no será siempre una persona con amplios conocimientos técnicos por cuanto su operabilidad debe ser fácil y no requerir alta capacitación.

Otra característica manejable a nivel operacional es el poder tener control sobre parámetros preponderantes para el correcto desenvolvimiento del proceso, por citar un ejemplo la presión de suministro del líquido fumigante. Del mismo modo es indispensable un control de emergencia en caso de accidente o mal funcionamiento.

Para el efecto, es necesario un manual detallado que explique su modo de operación.

2.3.3 Mantenimiento

El mantenimiento es básico en una unidad que contiene elementos mecánicos y es fundamental para preservar el equipo y alargar de esta manera su vida útil. Es por esta razón que el diseñador debe prever este tipo de situaciones y procurar que el mantenimiento del dispositivo sea sencillo de realizar, por cuanto, el montaje y desmontaje de la unidad deberá ser fácil y rápido a fin de no perder tiempo, ocupar la menor cantidad de mano de obra disponible, los elementos deberán estar bien protegidos para evitar elementos contaminantes que aceleren el desgaste pero con accesibilidad para su mantenimiento preventivo o reemplazo.

Se debe contar por tanto con todos los planos necesarios del equipo, así como un manual guía que contenga el procedimiento para dar el correcto mantenimiento y los plazos adecuados para el mismo.

2.3.4 Fiabilidad

Un cuarto parámetro a evaluar a la hora de arriesgarse en un proyecto que implica una inversión de capital es la fiabilidad del dispositivo que se está ofreciendo, y es algo que comúnmente decide por una opción, así es bien conocido que años atrás por citar un ejemplo la diferencia de fiabilidad de un automóvil alemán en contraste con la de un coreano, el primero que casi con toda seguridad no presentaba fallas más allá de las previstas por su fabricante y el segundo que en muchas ocasiones daba más de un dolor de cabeza como usuarios por fallas imprevistas de considerable atención.

La fiabilidad va de la mano con el mantenimiento, puesto que un equipo fiable requiere de un menor mantenimiento y a su vez un buen mantenimiento previene fallas conservando su fiabilidad.

Es obligación de los diseñadores y constructores de la unidad establecer y comunicar las limitaciones y garantías suficientes al cliente. Se ha de procurar utilizar los materiales de mejor calidad y los más adecuados para el buen desempeño de la unidad en el entorno y con las condiciones impuestas, así, no es concebible entregar un aparato que muestre prematuro desgaste por cuestiones de abrasión debido al ambiente polvoriento propio de una plantación o deterioro por ataque químico del agente fumigante entre otras causas de una falla temporal o permanente como muestras de poca fiabilidad, causando una para repentina en una actividad vital para la producción de rosas que no sólo sería causa de una pérdida económica sino que tendría directa repercusión en la falta de confianza en la capacidad del profesional e industria nacional, principalmente en sus autores, situación que bajo ningún punto de vista se ha de permitir.

2.3.5 Costo

En el cotidiano vivir, un factor fundamental es el económico, más aún cuando el proyecto presentado requiere de una inversión de dinero para su consecución y no

resulta extraño decir que es el que más peso tiene a la hora de tomar una decisión dentro de una empresa.

Es por esta razón que el éxito del proyecto se verá reflejado en la recuperación de la inversión en el menor plazo posible y que reporte ganancia a mediano y largo plazo en términos de beneficio vs costo, es decir, que haya un balance positivo del beneficio proporcionado por la unidad sobre el costo que la misma representa.

De esta manera se tiene proyectado que los trabajadores que hasta el momento estaban encargados de la fumigación pasaran a formar parte del personal utilizado en otras áreas de la plantación e incluso se podrá ampliar el área de cultivo de rosas y no solamente eso sino que con la automatización de este proceso se ganará en tiempo y se optimizarán recursos evitando el desperdicio del químico fumigante.

2.3.6 Vida útil

Según el conocimiento, los datos proporcionados por casas comerciales en cuanto a materiales se refiere, y del análisis de todos los factores que afectan directamente el funcionamiento, mantenimiento y modo de operación, el diseñador está en la facultad de predecir durante que período de tiempo su aparato funcionará adecuadamente sin que represente un gasto a la empresa o un peligro latente.

Para que la vida útil de la unidad no se vea disminuida, es muy importante como se señaló en puntos anteriores dejar bien en claro el correcto proceder en los factores que la afectan, elaborando manuales explicativos y procedimientos bien establecidos.

2.4 Presentación de alternativas

Tomando en cuenta los antecedentes y parámetros de evaluación antes explicados, se propuso algunas alternativas de solución categorizadas de la siguiente manera:

- **Por su forma de desplazamiento**

Debido al recorrido que la unidad debe realizar para la fumigación se presentan dos opciones que son:

Por tierra, es decir que la unidad se moviliza sobre el suelo siguiendo el sendero del fumigador (humano) entre las camas.

Elevada, desplazándose por un cable tendido a manera de teleférico, guiando la lanza de fumigación entre las camas.

- **Por el tipo de motor**

MCI (Motor de Combustión Interna).

Motor eléctrico.- Con alimentación ya sea cableada o batería de acumulación.

- **Por la distribución del líquido fumigante**

Sistema de tubería central, se coloca una tubería fija que pasa por todos los invernaderos bombeando el líquido desde una cisterna, a lo largo de la tubería existirían tomas para conectar la manguera dependiendo del sector que se desea fumigar.

Sistemas de mangueras móviles, presenta similitud con el sistema actual pero elimina la necesidad de una persona que hale la manguera, en lugar de eso consta de un sistema de carretes.

- **Por la manera de transmitir los datos**

Por cable, por el cual se debe pasar todas las señales de entrada al hacia el controlador y las ordenes que saldrán de él.

De manera inalámbrica, se realiza la transmisión de datos por ondas de radio.

- **Por el tipo de controlador**

Se dispone de algunos tipos de controlador como son las computadoras personales, las tarjetas o microcontroladores y los PLC's, todos ellos útiles para realizar el control del proceso.

- **Por material**

Existen varios materiales que podrían ser utilizados para la construcción de una unidad de este tipo para sus diferentes componentes como:
Acero, aluminio, polímeros, cobre, caucho, etc.

2.5 Evaluación de alternativas

De las diferentes alternativas presentadas en el numeral anterior se detallan sus ventajas y desventajas con el fin de elegir las mejores opciones destinadas a conformar el conjunto final.

- **Por su forma de desplazamiento**

Por tierra, presenta algunos inconvenientes a la hora de la práctica ya que para realizar su recorrido depende o bien de una riel guía, imposible de instalar sin interrumpir el normal desarrollo de las actividades actualmente existentes o guiado por sensores pero requiriendo un mayor nivel control. Aparte, la tracción se ve dificultada por las condiciones del terreno muy irregular y cambiante además de necesitar de total independencia (sin cables ni mangueras) para su óptimo funcionamiento.

Elevada, de esta forma es más fácil colocar la guía ya que son cables tendidos a lo largo del invernadero llevando la unidad sobre ellos, la dificultad que se presenta aquí es el cambio de dirección al tener que pasar de una cama a otra principalmente por la estructura de los invernaderos cuyos parantes obstaculizan su desplazamiento lateral. Tiene la ventaja de poder arrastrar consigo tanto la manguera con fumigante como cables de alimentación y control de ser necesarios.

- **Por el tipo de motor**

MCI, aunque puede proporcionar una mayor potencia e independencia, presenta algunos inconvenientes para este tipo de aplicación como son su robustez y tamaño, crítico debido al espacio entre las camas de rosas, es ruidoso lo que sería molesto para un operador debido a ser un ambiente cerrado y contaminante debido a los gases de combustión, lo cual provocaría daño a los rosales y a las personas que se encontrasen dentro de los invernaderos.

Motor eléctrico, su principal ventaja es la de no contaminar el ambiente, se puede encontrar en tamaños más pequeños con la potencia suficiente. Si requiere de cable de alimentación presenta limitaciones para su desplazamiento pero se ve compensado con su reducción en tamaño en comparación con los de batería de acumulación, que si bien presentan independencia necesitan llevar dichas baterías consigo lo cual conllevaría a un aumento en la robustez de la unidad. Otros limitantes del motor a batería son alto costo y la necesidad de constante recambio de baterías.

- **Por la distribución de líquido fumigante**

Sistema de tubería central, si bien presenta la facilidad de tener varias tomas dentro de un mismo invernadero, no evita la presencia de manguera para el tramo final, es decir a lo largo de cada cama. Además presenta la desventaja de tener que tender tramos de tubería en todos los invernaderos y necesitaría un tanque cisterna del cual provendría el fluido.

Sistema de mangueras móviles, elimina el problema de tener estirada toda la manguera al momento de la fumigación, evita la presencia innecesaria de un tercer operario que ayude con su arrastre, su único inconveniente es que al girar el carrete y tener un extremo fijo la manguera sufre una torsión.

- **Por la manera de transmitir los datos**

Por cable, además de ser la manera más común de pasar datos, por la presencia de manguera el cable puede ir junto y desplazarse de la misma forma que ésta. La mayor desventaja es que al igual que la manguera presenta torsión, que en este caso puede llegar a romper los conductores.

De manera inalámbrica, este sistema aunque nos evita la necesidad de llevar cable presenta las siguientes desventajas; la alimentación requiere de baterías de acumulación aumentando su peso, además ya que la transmisión se debería realizar por ondas de radio existiría la posibilidad de interferencia debido a que en la plantación todo tipo de comunicación se la realiza por frecuencias de radio, y por último que este tipo de tecnología es más costosa y difícil de encontrar en nuestro medio, actualmente es casi desconocida aquí.

- **Por el tipo de controlador**

Por medio de un PC (Computador Personal), es muy amigable en cuanto a su manejo se refiere ya que en la actualidad el computador es un elemento de común uso, es muy versátil ya que podría estar conectado con otros computadores de ser necesario e interactuar con diferentes procesos, sin embargo es demasiado frágil para el medio en el cual tendrá que estar físicamente debido a la humedad y calor excesivos especialmente.

Por medio de tarjetas o microcontroladores, permiten un alto nivel de control y son de tamaño reducido, sin embargo necesitan de programadores especiales (hardware), su programación es compleja y suelen ser limitados en cuanto al número de entradas y salidas se refiere y difícilmente puede ser expandidos en caso de necesitar integrar algún parámetro adicional.

Por medio de un PLC (Controlador Lógico Programable), es la manera más común de controlar un proceso y están especialmente desarrollados para aplicaciones industriales por lo que soportan condiciones de trabajo hostiles, son de tamaños compactos, su programación no es mayormente difícil y poseen módulos de ampliación de ser el caso. En cuanto al costo se refiere en cada caso depende mucho de los requerimientos pero en términos generales los microcontroladores son los más baratos seguidos de los PLC's y por último los PC's siendo estos los más costosos.

- **Por material**

El material a utilizarse en los diferentes componentes de la unidad vendrá determinado por la función que cumplirán, y es así como todos ellos o algunos pueden ser usados, situación que se explicará posteriormente.

2.6 Selección de alternativa óptima

Para tomar la decisión adecuada de cómo quedará conformado el conjunto final en búsqueda de una solución óptima, se ha decidido evaluar cada una de las alternativas teniendo en cuenta ventajas y desventajas de las mismas, dándose una valoración cuantificable que va desde 1 equivalente a una calificación pobre, hasta 5 equivalente a la mejor calificación. A continuación se presenta una tabla de decisión que muestra los criterios considerados para cada alternativa y la ponderación que se dio.

Tabla 2.1 Matriz de decisión

Alternativa	Criterio y calificación			
Desplazamiento: Por tierra Elevada	Independencia en su movimiento	Facilidad de control y direccionamiento		Total
	4	1		5
	1	5		6
Motor MCI Eléctrico Cableado Batería	Independencia	Peso y tamaño	Ruido y contaminación	Total
	5	1	1	7
	3	5	5	13
	5	3	5	13
Distribución de fumigante Tubería central Mangueras móviles	Facilidad de instalación	Costo		Total
	3	2		5
	4	4		8
Transmisión de datos Por cable Inalámbrica	Fiabilidad	Costo	Accesibilidad	Total
	5	5	5	15
	3	3	2	8
Controlador PC Microcontrolador PLC	Resistencia al ambiente	Costo	Prestaciones	Total
	2	2	4	8
	3	5	2	10
	5	4	5	14

Con las consideraciones anteriormente presentadas se decidió que :

El desplazamiento de la unidad fumigadora será del tipo elevado impulsada por un motor eléctrico, la misma arrastrará consigo la manguera que suministra el fumigante y la lanza de fumigación. Dicha manguera será proporcionada por un carrete que ayudará en su enrollamiento, este mismo carrete proporcionará a la unidad de los cables para energización y para transmisión de datos y el control se lo hará por medio de un PLC. Para todo esto se empleará diferentes materiales como se indicará en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DEL FUMIGADOR

Tabla 3.1 Términos empleados en el capítulo

Ar	Área
At	Área de esfuerzo a tensión
C	Factor de corrección
af	por arranques frecuentes
carga	por tipo de carga
conf	por confiabilidad
he	por humedad excesiva
ig	por inversión de giro
mv	para multiplicador de velocidad
sa	por suciedad ambiental
superf	por efectos superficiales
tam	por efectos de tamaño
temp	por efectos de temperatura
c	Distancia de la línea neutra hasta la fibra externa
D	Diámetro
c	de cable
i	interno
m	de manguera
p	de paso
d	Distancia
E	Módulo de elasticidad
m	de material sujeto
p	de perno
F	Fuerza
a	de arrastre
c	de cadena
i	de precarga
t	de tensión
FS	Factor de seguridad
f	de fatiga
j	de junta
f	Factor de fricción
frod	Coefficiente de rozamiento por rodadura

Tabla 3.1 Términos empleados en el capítulo (Continuación)

h	Cabeza de altura
A	total necesaria
C	debida a pérdidas por curvatura
L	debida a pérdidas en tubería
R	debida a pérdidas por accesorios
I	Momento de inercia
i	Relación de transmisión
J	Momento polar de inercia
K	Constante de rigidez
c	total de la junta
m	del material sujeto
p	del perno
k	Factor de concentración de esfuerzos
f	fatiga
t	estático
ke	Constante elástica del resorte
ki	Factor de interpolación
kpt	Coefficiente del par de torsión
l	Longitud
c	de cama
m	de manguera
t	de tambor
M	Momento
N	Normal
Np	Número de pernos
NR	Número de Reynolds
n	Número de eslabones de la cadena
P	Carga
Pd	Potencia de diseño
Pr	Potencia transmitida por banda
Ps	Presión
Pt	Potencia del motor
p	Paso de la cadena
pc	Distancia entre centros en número de pasos
pr	Perímetro
Q	Caudal
q	Sensibilidad a las muescas del material
R	Reacción

Tabla 3.1 Términos empleados en el capítulo (Continuación)

r	Radio
S	Límite de resistencia
e	fatiga sin corregir
E	fatiga corregido
p	de prueba
sy	fluencia a cortante
u	última
y	fluencia
SF	Factor de servicio
C	corregido
T	Torque
a	de apriete
e	efectivo
m	entregado por motor
q	requerido
t	Tiempo
V	Fuerza cortante
v	Velocidad lineal
W	Peso
w	Peso por unidad de longitud
y	Deflexión
Z	Número de dientes
g	Gravedad específica
da	Densidad del acero
e	Energía
r	Radio en cualquier punto a analizar cortante
s	Esfuerzo normal
a	alternante
b	por flexión
eq	equivalente
m	medio
max	máximo
min	mínimo
P	por tracción
T	total
v	por cortante

Tabla 3.1 Términos empleados en el capítulo (Continuación)

t	Esfuerzo cortante
a	alternante
m	medio
max	máximo
min	mínimo
t	por torsión
n	Viscosidad cinemática
ms	Coefficiente de fricción estática
w	Velocidad angular

3.1 Generalidades

Una vez determinada la solución más adecuada para alcanzar el objetivo planteado, se la dividió en diferentes sistemas, cada uno correspondiente a determinada área de la mecánica, facilitando de este modo el diseño del conjunto.

Así, los sistemas que lo conforman son los siguientes:

- Unidad principal.- es aquella que se desplaza a lo largo de las camas de rosas portando consigo la lanza de fumigación.
- Sistema de circulación de líquido fumigante.- permite que la mezcla de agua y fumigante llegue hasta la lanza rociadora permitiendo efectuar la fumigación bajo los parámetros requeridos y con el menor desperdicio.
- Sistema de transporte.- sirve para movilizar la unidad principal desde su lugar de almacenamiento hasta el invernadero a ser fumigado, además porta consigo parte del sistema de circulación de fluido y el sistema de control.
- Sistema de control.- es el encargado de dar la automatización al proceso.

A continuación se detallará los pasos y criterios para el diseño de cada sistema.

3.2 Diseño de la unidad principal

Luego de decidir que la unidad se desplazaría a modo de funicular, la principal preocupación se centró en que la misma fuera lo mas ligera posible, obligando a buscar un material liviano pero resistente; y a la vez que el motor que proporcionara la tracción fuera lo más compacto y ligero, sin dejar de tener la potencia suficiente y pueda funcionar bajo las condiciones de trabajo dentro de los invernaderos.

Para esto se partió de la búsqueda de un motor que cumpla con el requerimiento, de este modo se encontró algunos modelos y en base a ellos se elaboró un diseño previo, guardando una armonía geométrica y dimensional.

Además, el material elegido para el diseño de la mayoría de las partes de esta unidad fue el Duralón (Ver anexo A), por sus características de alta resistencia mecánica y bajo peso específico, ideal para el propósito a ser alcanzado.

Una vez determinado el material, las dimensiones y los posibles motores a utilizarse, se procedió a realizar los cálculos pertinentes con el fin de establecer si los elementos mecánicos resistirían y cual de los motores sería el más adecuado, teniendo en cuenta sus características técnicas.

Así mismo, se debe decir que para el desplazamiento de la unidad se eligió ruedas de caucho, para tener una buena tracción en contacto con el alambre de acero que se tensará a lo largo de las camas.

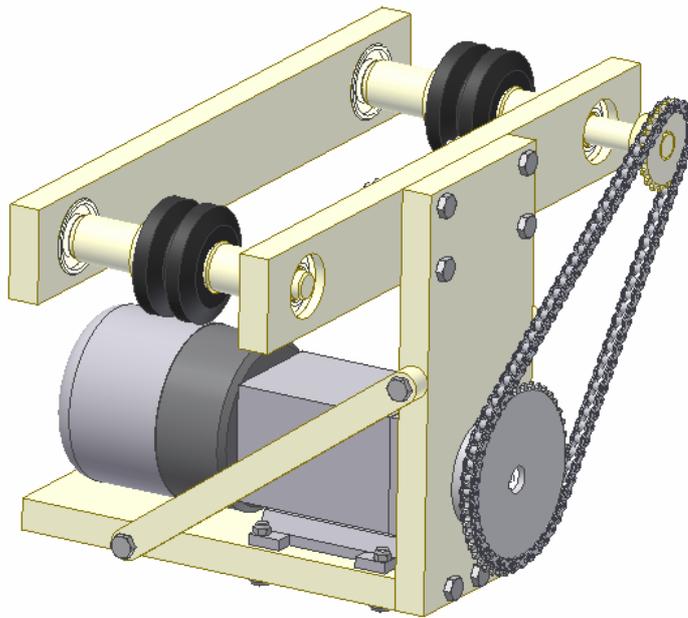


Figura 3.1 Unidad principal

3.2.1 Cálculos para la selección del motor

El análisis que se presenta a continuación se lo realizó con cada uno de los motores encontrados en el mercado que se ajustaban esencialmente al tamaño y peso deseados.

Tabla 3.2 Características técnicas de los motores a ser probados

Características	Motoreductor #1	Motoreductor #2	Motor #3
Potencia [W]	12	44	186.5
Velocidad Salida [rpm]	134	140	1750
Peso [N]	24.5	18	40
Voltaje [V]	110	220	110
Alimentación	Monofásica	Trifásica	Monofásica
Torque calculado (N.m)	0.29	1.07	4.53

Ejemplo de cálculo (Motoreductor #2).

$$W1 := 0.57N$$

$$W6 := 3.5N$$

$$W2 := 0.45N$$

$$W7 := 3N$$

Ver figura 3.2

$$W3 := 1.66N$$

$$W8 := 0.3N$$

$$W4 := 2.4N$$

$$W9 := 2.8N$$

$$W5 := 18N$$

$$W10 := 50N$$

$$Wt := 2 \cdot W1 + 2W2 + W3 + 2W4 + W5 + W6 + W7 + 2W8 + W9 + W10$$

$$Wt = 86.4N$$

$$\Sigma Fy := 0$$

$$N1 := Wt$$

$$f_{rod} := 0.0077m$$

Ver tabla de coeficientes de fricción por rodadura. Anexo B

$$Tq := f_{rod} \cdot N1$$

$$Tq = 0.67N \cdot m$$

Motor seleccionado

$$P_t := 44W$$

$$\omega_m := 140\text{rpm}$$

$$i = 2.8$$

$$T_m := \frac{P_t}{\omega_m}$$

$$T_m = 3\text{N}\cdot\text{m}$$

$$T_e := \frac{T_m}{i}$$

$$T_e = 1.07\text{N}\cdot\text{m}$$

$$T_e > T_q$$

Como se puede apreciar el torque entregado por el motor y transmitido por la cadena es mayor al torque requerido para vencer el reposo de la unidad, por lo cual el motor satisface las condiciones de potencia y torque para la aplicación.

De los resultados obtenidos, se escogió el motoreductor #2, ya que no solo cumple con el requerimiento de torque sino que además es considerablemente más ligero que el motor #3; y este último necesitaría de una caja reductora añadiéndole más peso aún.

3.2.2 Análisis estático

El siguiente análisis se lo realizó con el propósito de determinar las fuerzas que actúan sobre los elementos de la unidad.

$W_1 := 0.57\text{N}$	$d_1 := 61.5\text{mm}$
$W_2 := 0.45\text{N}$	$d_2 := 52.5\text{mm}$
$W_3 := 1.66\text{N}$	$d_3 := 70.5\text{mm}$
$W_4 := 2.4\text{N}$	$d_4 := 98\text{mm}$
$W_5 := 18\text{N}$	$d_5 := 71.25\text{mm}$
$W_6 := 3.5\text{N}$	$d_6 := 102.5\text{mm}$
$W_7 := 3\text{N}$	$d_7 := 105.5\text{mm}$
$W_8 := 0.3\text{N}$	
$W_9 := 2.8\text{N}$	
$W_{10} := 50\text{N}$	

Análisis de fuerzas del conjunto

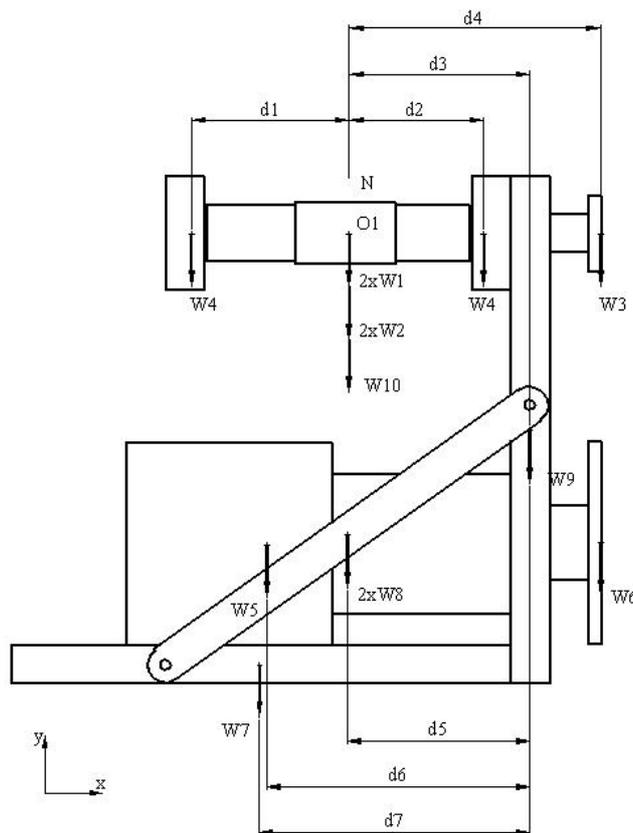


Figura 3.2 DCL del conjunto

$$\Sigma F_y = 0$$

$$N_1 - 2 \cdot W_1 - 2 \cdot W_2 - W_3 - 2 \cdot W_4 - W_5 - W_6 - W_7 - 2 \cdot W_8 - W_9 - W_{10} = 0$$

$$\Sigma M_{o1} = 0$$

$$d_1 \cdot W_4 + (d_7 - d_3) \cdot W_7 + (d_6 - d_3) \cdot W_5 + (d_5 - d_3) \cdot 2 \cdot W_8 - d_2 \cdot W_4 - d_3 \cdot W_9 - d_4 \cdot (W_3 + W_6) = 0$$

$$N_1 = 86.4 \text{ N}$$

Análisis de fuerzas del eje motriz

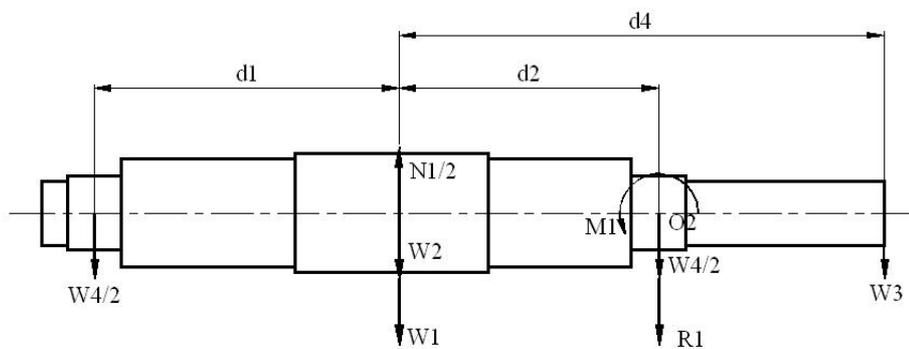


Figura 3.3 DCL del eje motriz

$$\Sigma F_y = 0$$

$$\frac{N_1}{2} - W_1 - W_2 - W_3 - W_4 - R_1 = 0$$

$$\Sigma M_{o2} = 0$$

$$M_1 + d_2 \cdot \left(W_1 + W_2 - \frac{N_1}{2} \right) + (d_1 + d_2) \cdot \frac{W_4}{2} - (d_4 - d_2) \cdot W_3 = 0$$

$$R_1 = 38.12 \text{ N}$$

$$M_1 = 2.153 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Análisis de fuerzas del eje seguidor

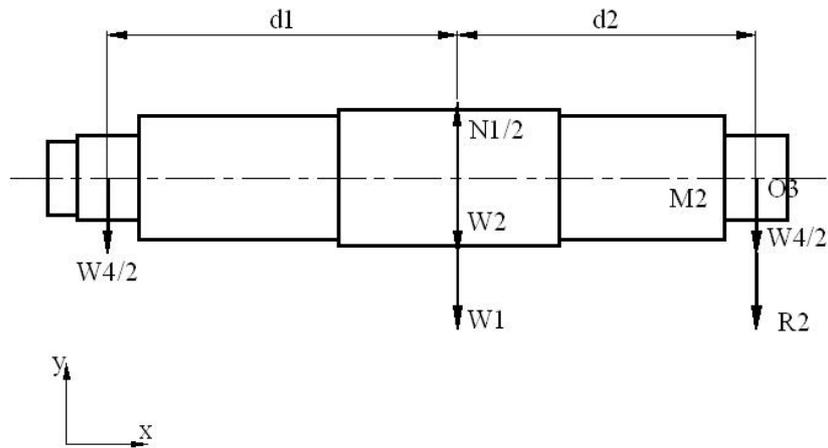


Figura 3.4 DCL del eje seguidor.

$$\Sigma F_y = 0$$

$$\frac{N1}{2} - W1 - W2 - W4 - R2 = 0$$

$$\Sigma M_{O3} = 0$$

$$M2 + d2 \cdot \left(W1 + W2 - \frac{N1}{2} \right) + (d1 + d2) \cdot \frac{W4}{2} = 0$$

$$R2 = 39.78 \text{ N}$$

$$M2 = 2.078 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Análisis de fuerzas del soporte lateral

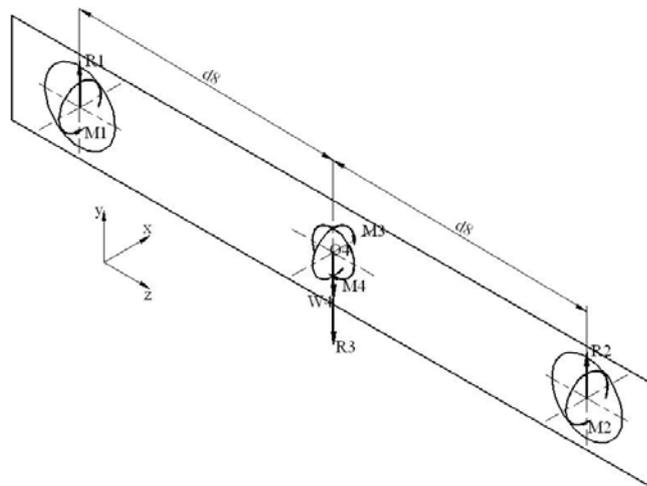


Figura 3.5 DCL del soporte lateral.

$$d8 := 126\text{mm}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R1 + R2 - R_3 - W4 = 0$$

$$\Sigma M_{xy\ O4} = 0$$

$$M1 + M2 - M_3 = 0$$

$$\Sigma M_{yz\ O4} = 0$$

$$d8 \cdot R2 - d8 \cdot R1 - M_4 = 0$$

$$R3 = 75.5\text{N}$$

$$M3 = 4.231\text{N}\cdot\text{m}$$

$$M4 = 0.209\text{N}\cdot\text{m}$$

Análisis de fuerzas del motor

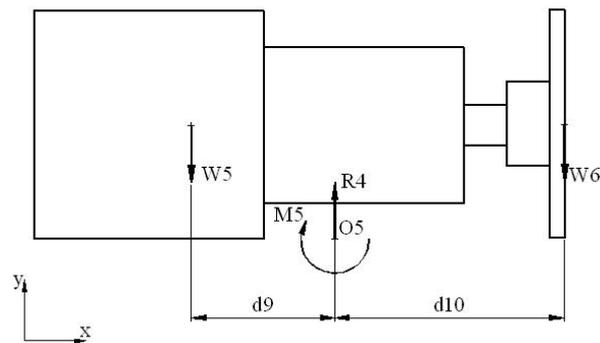


Figura 3.6 DCL del motor

$$d9 := 50\text{mm}$$

$$d10 := 80\text{mm}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_4 - W5 - W6 = 0$$

$$\Sigma M_{O5} = 0$$

$$d9 \cdot W5 - d10 \cdot W6 - M_5 = 0$$

$$R4 = 21.5\text{N}$$

$$M5 = 0.62\text{N}\cdot\text{m}$$

Análisis de fuerzas de la base del motor

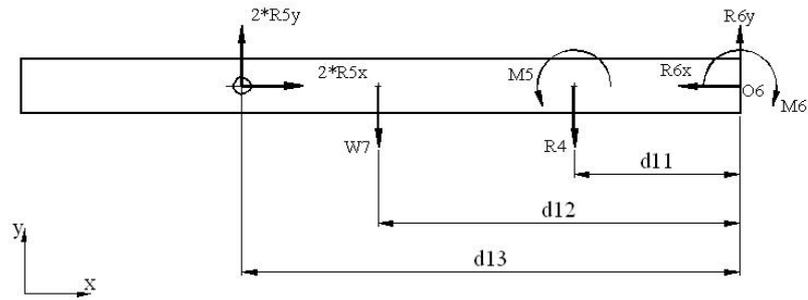


Figura 3.7 DCL de la base

$$d11 := 45\text{mm}$$

$$d12 := 98\text{mm}$$

$$d13 := 135\text{mm}$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$2R_{5x} - R_{6x} = 0$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$2R_{5y} + R_{6y} - R_4 - W_7 = 0$$

$$\Sigma M_{O6} = 0$$

$$M_5 + d11 \cdot R_4 + d12 \cdot W_7 - d13 \cdot R_{5y} - M_6 = 0$$

Análisis de fuerzas del brazo soporte

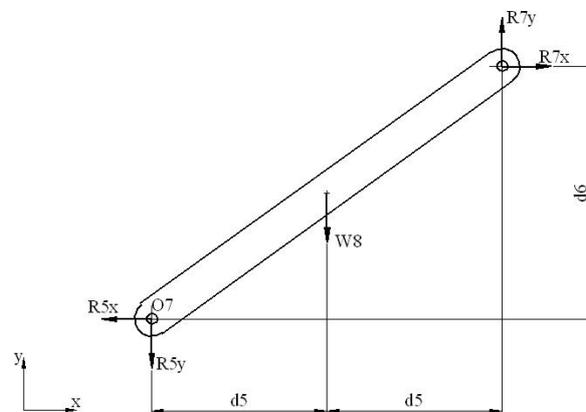


Figura 3.8 DCL del brazo soporte

$$\Sigma F_x = 0$$

$$R_{7x} - R_{5x} = 0$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_{7y} - R_{5y} - W_8 = 0$$

$$\Sigma M_{O7} = 0$$

$$2 \cdot d_5 \cdot R_{7y} - d_5 \cdot W_8 - d_6 \cdot R_{7x} = 0$$

Análisis de fuerzas de la pared

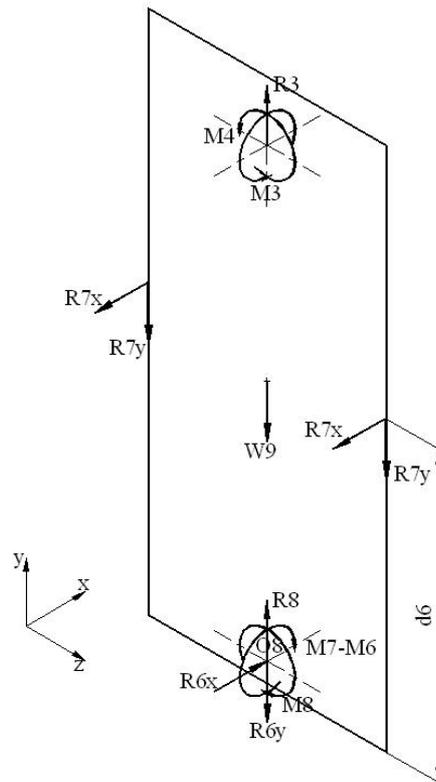


Figura 3.9 DCL de la pared

$$\Sigma F_x = 0$$

$$R_{6x} - 2 \cdot R_{7x} = 0$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_3 - R_{6y} - 2 \cdot R_{7y} + R_8 - W_9 = 0$$

$$\Sigma M_{xy_{O8}} = 0$$

$$M_3 + M_6 - M_7 + 2 \cdot d_6 \cdot R_{7x} = 0$$

$$\Sigma M_{yz_{O8}} = 0$$

$$M_4 - M_8 = 0$$

Resultados de reacciones y momentos en el conjunto que forman la base, la pared y el brazo soporte.

$$R_{5x} = 0.209 \text{ N}$$

$$R_{5y} = 0 \text{ N}$$

$$R_{6x} = 0.417 \text{ N}$$

$$R_{6y} = 24.5 \text{ N}$$

$$R_{7x} = 0.209 \text{ N}$$

$$R_{7y} = 0.3 \text{ N}$$

$$R_8 = -47.6 \text{ N}$$

$$M_6 = 1.881 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_7 = 6.155 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_8 = 0.209 \text{ N} \cdot \text{m}$$

3.2.3 Diseño de los elementos

Una vez determinadas las fuerzas a las cuales están sometidas las partes de la unidad, se realizó la comprobación de que las mismas soportarían dichas cargas.

Para esto se hizo uso de las teorías de fallas, calculando los esfuerzos en secciones críticas y comparándolos con los límites de resistencia de los materiales¹.

3.2.3.1 Diseño del eje motriz

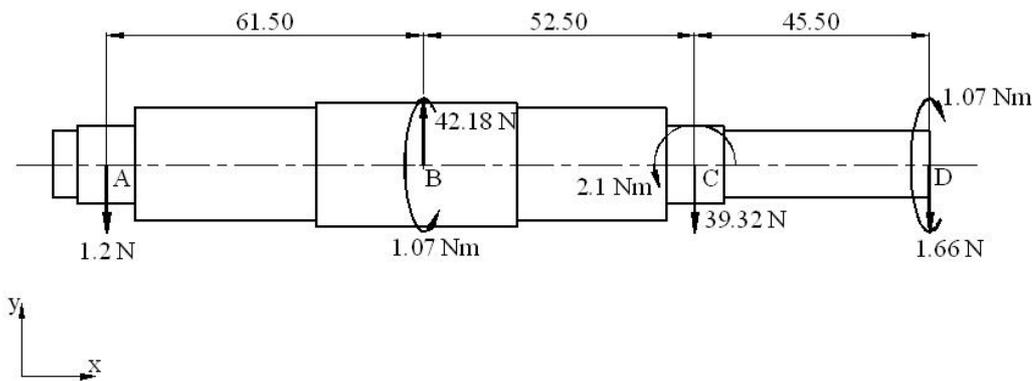


Figura 3.10 Diagrama de fuerzas del eje motriz

Diagramas de Fuerza Cortante, Momento Flector y Torque

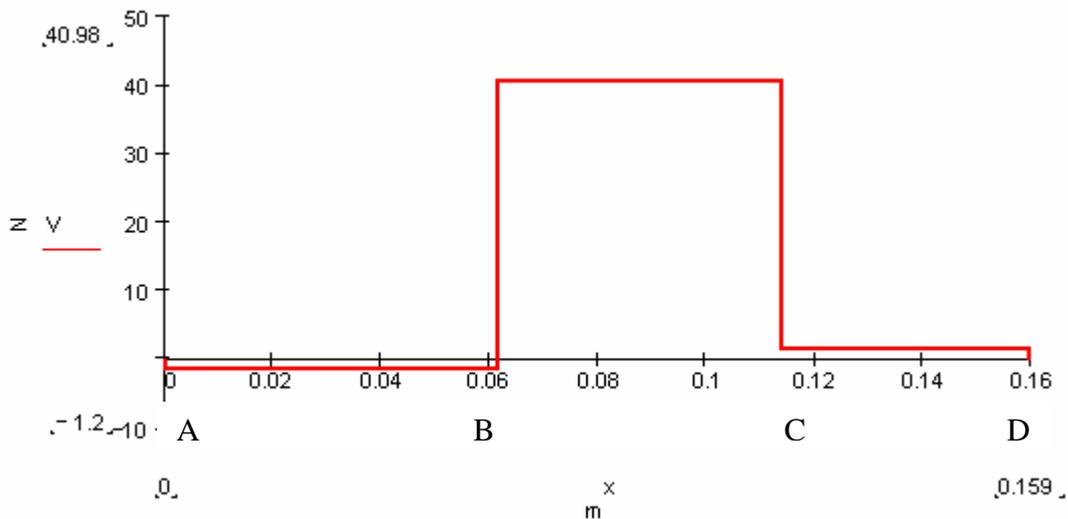


Figura 3.11 Fuerza cortante vs distancia del eje motriz

¹ NORTON ROBERT, Diseño de máquinas, caps. 4-5 y SHIGLEY EDUARD, Diseño en ingeniería mecánica, cap. 7

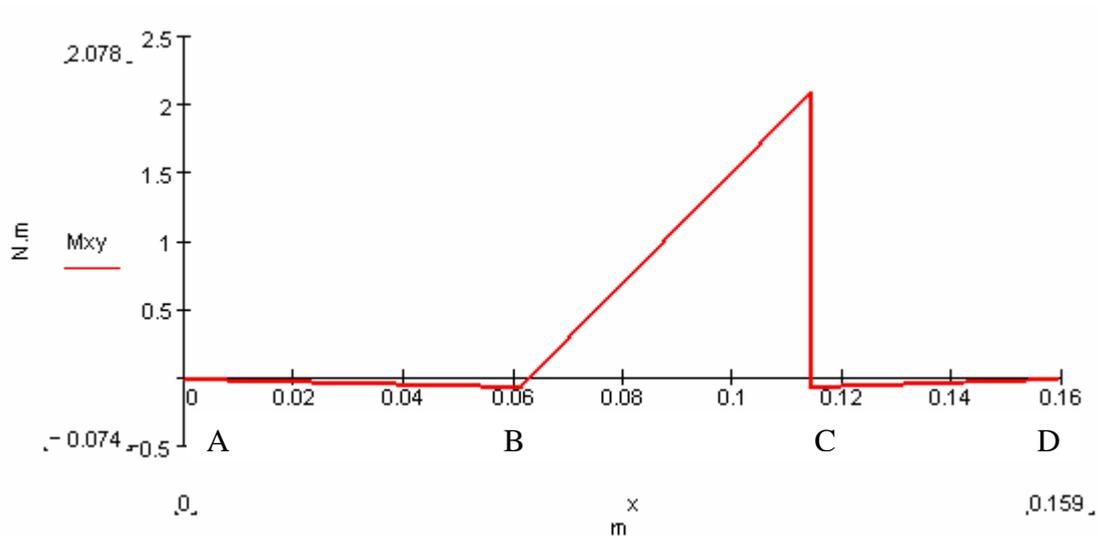


Figura 3.12 Momento flector vs distancia del eje motriz

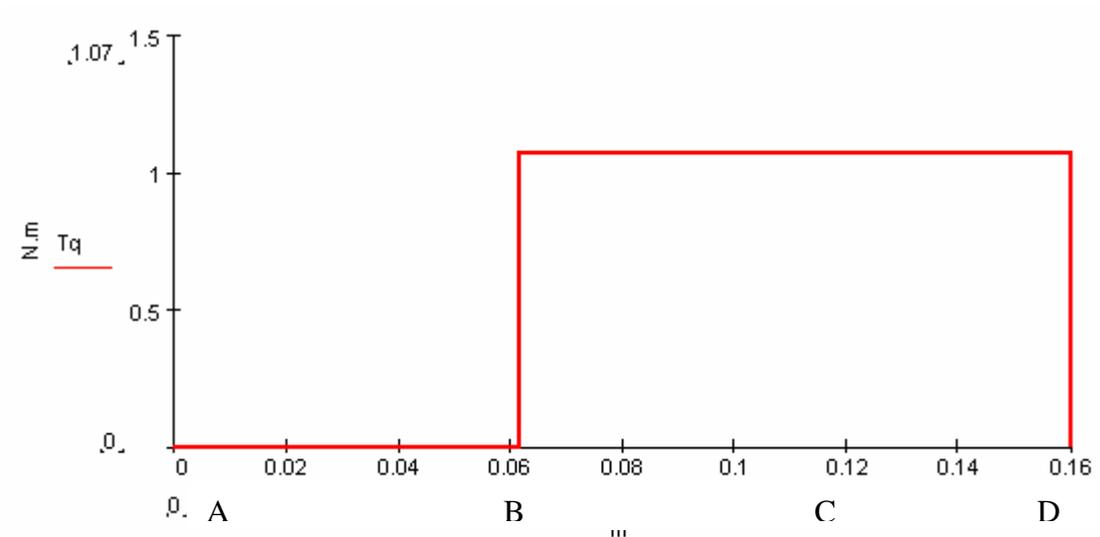


Figura 3.13 Torque vs distancia del eje motriz

Análisis de esfuerzos en la sección crítica

Como se puede observar en la sección C se tienen las fuerzas más grandes, y además se tiene cambios de sección convirtiéndola en la sección crítica.

$$M_c = 2.078 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$D_c := 15 \text{ mm}$$

$$S_y := 540 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$T_c = 1.07 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Cálculo de esfuerzos

$$\sigma_{b_c} := \frac{32 \cdot M_c}{\pi \cdot D_c^3}$$

$$\sigma_{b_c} = 6.27 \text{ MPa}$$

$$\tau_{t_c} := \frac{16 \cdot T_c}{\pi \cdot D_c^3}$$

$$\tau_{t_c} = 1.615 \text{ MPa}$$

Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo (T.E.C.M)

$$\sigma_{eq_c} := \sqrt{\sigma_{b_c}^2 + 4 \cdot \tau_{t_c}^2}$$

$$\sigma_{eq_c} = 7.053 \text{ MPa}$$

$$FS := \frac{S_y}{\sigma_{eq_c}}$$

$$FS = 7.508$$

Análisis dinámico

$$\sigma_{\max_c} := \frac{32 \cdot M_c}{\pi \cdot D_c^3}$$

$$\sigma_{\min_c} := \frac{-32 \cdot M_c}{\pi \cdot D_c^3}$$

$$\sigma_{m_C} := \frac{\sigma_{\max_C} + \sigma_{\min_C}}{2}$$

$$\sigma_{m_C} = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{a_C} := \frac{\sigma_{\max_C} - \sigma_{\min_C}}{2}$$

$$\sigma_{a_C} = 6.27 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\max_C} := \frac{16 \cdot T_C}{\pi \cdot D_C^3}$$

$$\tau_{\min_C} := \frac{-16 \cdot T_C}{\pi \cdot D_C^3}$$

$$\tau_{m_C} := \frac{\tau_{\max_C} - \tau_{\min_C}}{2}$$

$$\tau_{m_C} = 1.615 \text{ MPa}$$

$$\tau_{a_C} := \frac{\tau_{\max_C} + \tau_{\min_C}}{2}$$

$$\tau_{a_C} = 0 \text{ MPa}$$

T.E.C.M.

Esfuerzos Medios.

$$\sigma_{eqm_C} := \sqrt{\sigma_{m_C}^2 + 4 \cdot \tau_{m_C}^2}$$

$$\sigma_{eqm_C} = 3.229 \text{ MPa}$$

Esfuerzos Alternantes

$$Dc1 := 15\text{mm}$$

$$Dc2 := 13\text{mm}$$

$$\frac{Dc1}{Dc2} = 1.154$$

$$r := 0.5\text{mm}$$

$$\frac{r}{Dc} = 0.033$$

$$kt := 2.1$$

$$q := 0.3$$

$$kf := 1 + q \cdot (kt - 1)$$

$$kf = 1.33$$

$$\sigma_{eqa_c} := \sqrt{(kf \cdot \sigma_{a_c})^2 + 4 \cdot (kft \cdot \tau_{a_c})^2}$$

$$\sigma_{eqa_c} = 8.34 \text{ MPa}$$

Resistencia a la Fatiga del material

$$Su := 850 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$Se := 0.45 \cdot Su$$

$$Se = 382.5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$Ccarga := 1$$

$$Ctam := 1$$

$$Csuperf := 1$$

$$Ctemp := 1$$

$$Cconf := 0.897$$

$$SE := Se \cdot C_{\text{carga}} \cdot C_{\text{tam}} \cdot C_{\text{superf}} \cdot C_{\text{temp}} \cdot C_{\text{conf}}$$

$$SE = 343.103 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$FSf := \frac{Sy}{\sigma_{eqm_C} + \frac{Sy}{SE} \cdot \sigma_{eqa_C}}$$

$$FSf = 3.238$$

Segundo cambio de diámetro en la sección

$$Dc3 := 22\text{mm}$$

$$Dc1 = 15\text{mm}$$

$$\frac{Dc3}{Dc1} = 1.467$$

$$r := 1\text{mm}$$

$$\frac{r}{Dc} = 0.067$$

$$kt := 1.9$$

$$q := 0.35$$

$$kf := 1 + q \cdot (kt - 1)$$

$$kf = 1.315$$

$$\sigma_{eqa_C} := \sqrt{(kf \cdot \sigma_{a_C})^2 + 4 \cdot (kft \cdot \tau_{a_C})^2}$$

$$\sigma_{eqa_C} = 8.246\text{MPa}$$

Resistencia a la fatiga del material

$$Su := 850 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$Se := 0.45 \cdot Su$$

$$Se = 382.5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$C_{\text{carga}} := 1$$

$$C_{\text{tam}} := 1$$

$$C_{\text{superf}} := 1$$

$$C_{\text{temp}} := 1$$

$$C_{\text{conf}} := 0.897$$

$$SE := S_e \cdot C_{\text{carga}} \cdot C_{\text{tam}} \cdot C_{\text{superf}} \cdot C_{\text{temp}} \cdot C_{\text{conf}}$$

$$SE = 343.103 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$FS_f := \frac{S_y}{\sigma_{eqm_c} + \frac{S_y}{SE} \cdot \sigma_{eqa_c}}$$

$$FS_f = 3.267$$

Observando el valor de los factores de seguridad obtenidos en el diseño a fatiga para los dos cambios de diámetro en la sección crítica se puede predecir que el elemento no fallará.

3.2.3.2 Diseño del soporte lateral

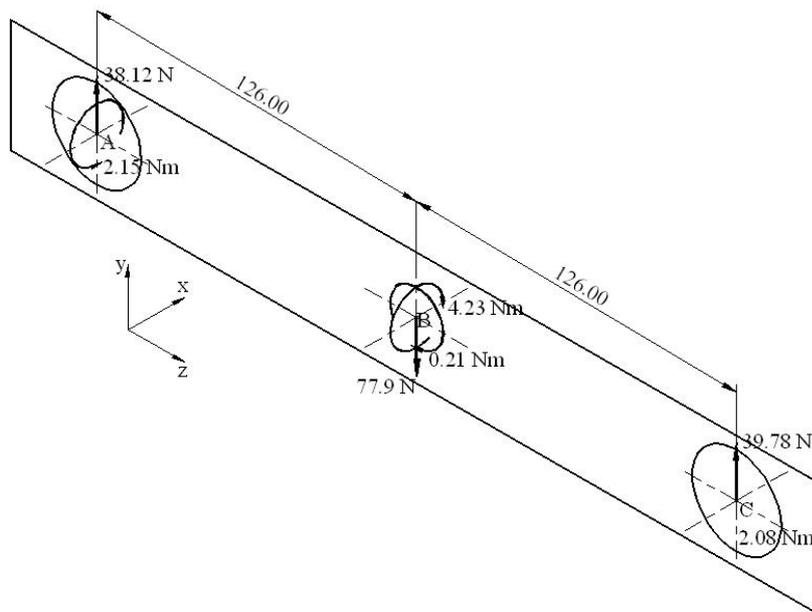


Figura 3.14 Diagrama de fuerzas del soporte lateral

Diagramas de fuerza cortante, momento flector y torque

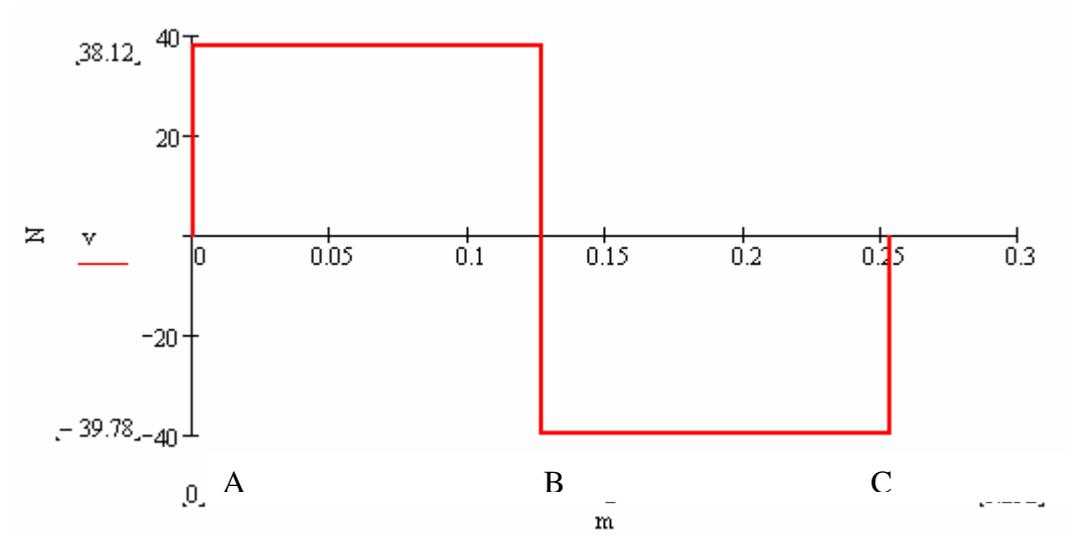


Figura 3.15 Fuerza cortante vs distancia del soporte lateral

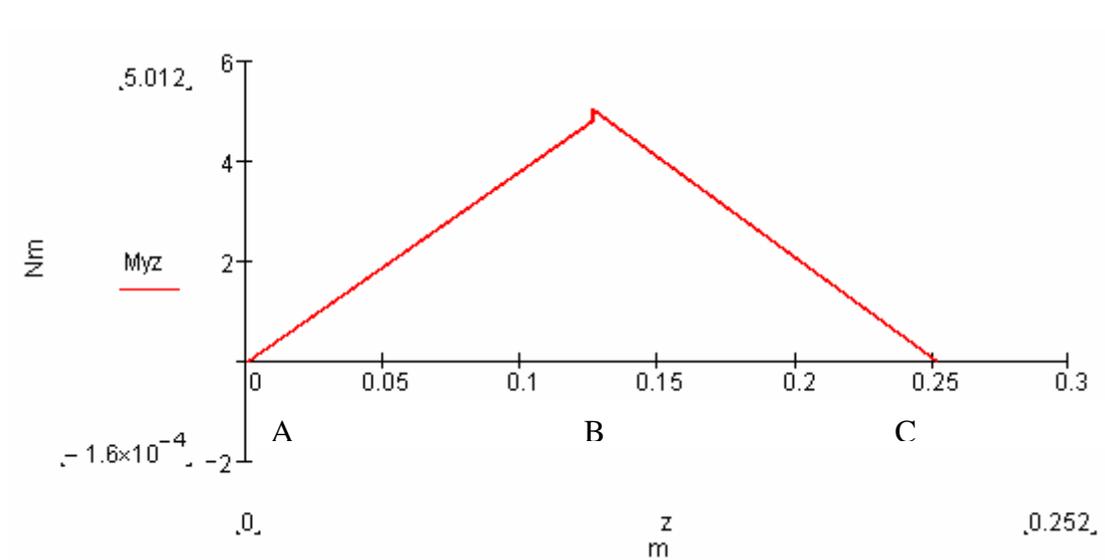


Figura 3.16 Momento flector YZ vs distancia del soporte lateral

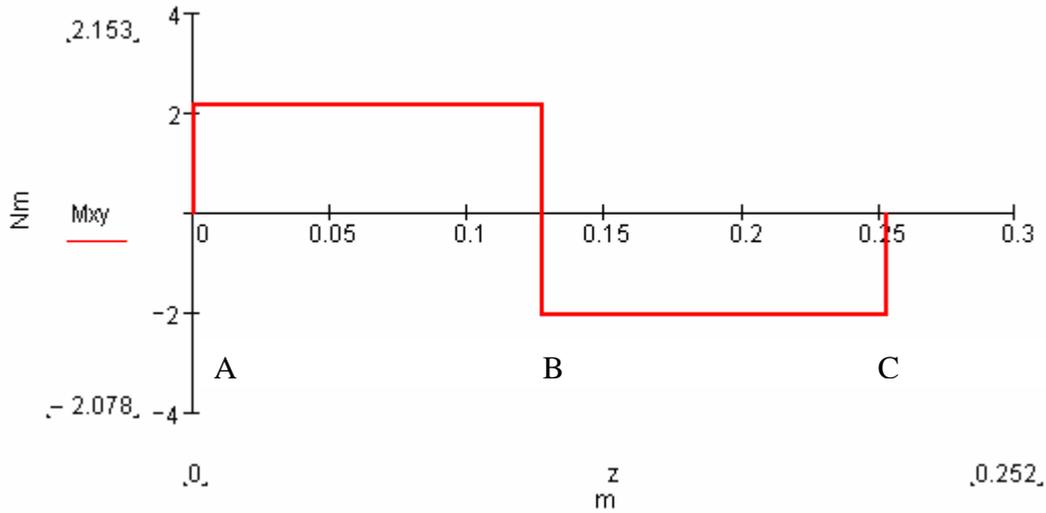


Figura 3.17 Momento flector XY vs Distancia del soporte lateral

Análisis de esfuerzos en la sección crítica

Sección crítica B

$$S_y := 560 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$V_B = 38.12 \text{ N}$$

$$A_r := 180 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{vB} := \frac{V_B}{A_r}$$

$$\tau_{vB} = 0.212 \text{ MPa}$$

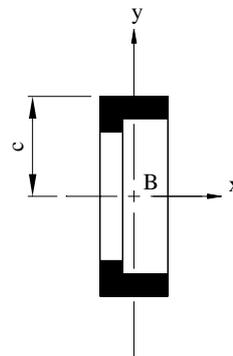


Figura 3.18 Sección crítica

$$M_B = 5.012 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$c := \frac{45}{2} \text{ mm}$$

$$\sigma_B := \frac{M_B \cdot c}{I_x}$$

$$\sigma_B = 1.685 \text{ MPa}$$

$$I_x := 66927 \text{ mm}^4$$

$$I_y := 3400 \text{ mm}^4$$

$$J_z := I_x + I_y$$

$$J_z = 7.033 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$T_B = 2.153 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$\rho := \frac{45}{2} \text{ mm}$$

$$\tau_{tB} := \frac{\rho \cdot T_B}{J_z}$$

$$\tau_{tB} = 0.689 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eq} := \sqrt{\sigma_B^2 + 4 \cdot \tau_{tB}^2}$$

$$\sigma_{eq} = 2.176 \text{ MPa}$$

$$FS := \frac{S_y}{\sigma_{eq}}$$

$$FS = 25.232$$

3.2.3.3 Diseño de la base

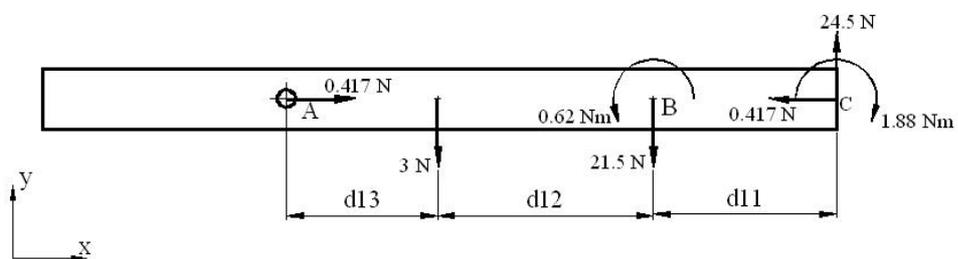


Figura 3.19 Diagrama de fuerzas de la base

Diagramas de fuerza normal, fuerza cortante y momento flector

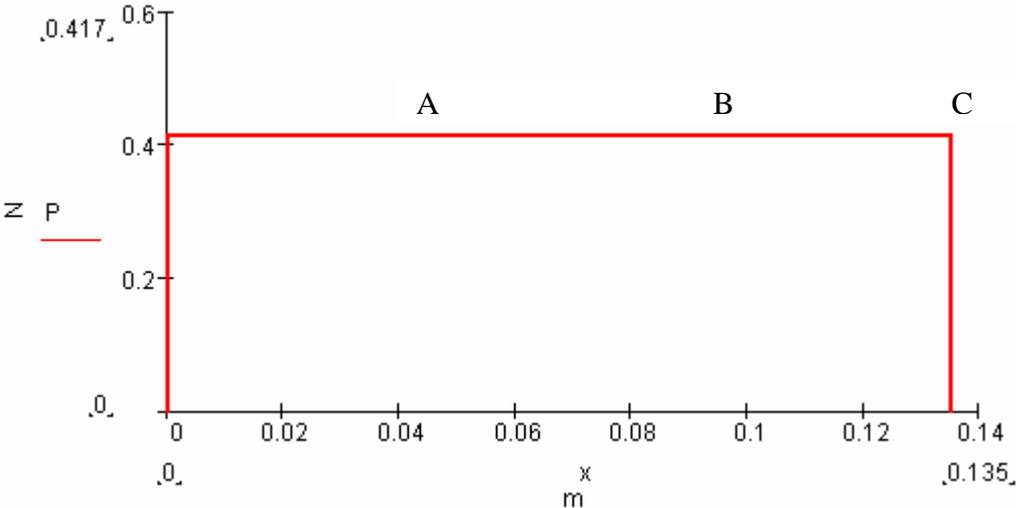


Figura 3.20 Fuerza normal vs distancia de la base

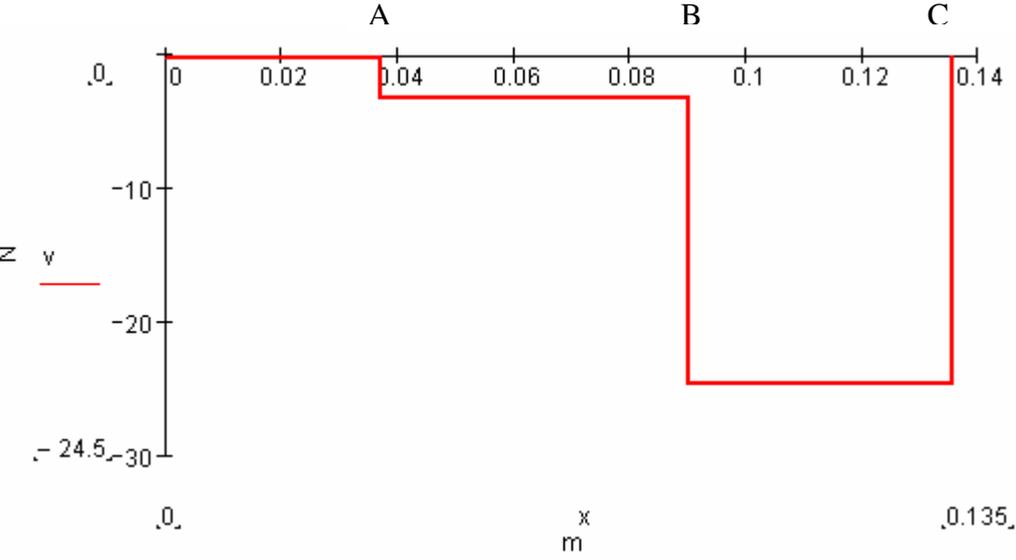


Figura 3.21 Fuerza cortante vs Distancia de la base

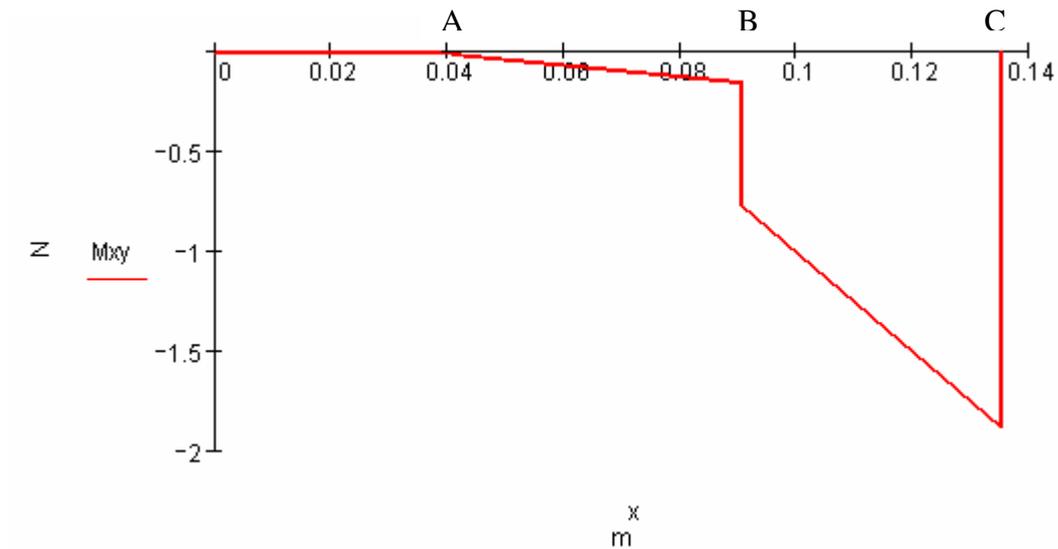


Figura 3.22 Momento flector vs distancia de la base

Análisis de esfuerzos en la sección crítica

Sección crítica C

$$S_y := 560 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$P_C = 0.417 \text{ N}$$

$$A_r := 1350 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_P := \frac{P_C}{A_r}$$

$$\sigma_P = 308.889 \text{ Pa}$$

$$V_C = 24.5 \text{ N}$$

$$\tau_V := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_C}{A_r}$$

$$\tau_V = 0.027 \text{ MPa}$$

$$M_C = 1.881 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$c := \frac{15}{2} \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{1}{12} 90 \text{ mm} \cdot (15 \text{ mm})^3$$

$$\sigma_b := \frac{M_C \cdot c}{I_z}$$

$$\sigma_b = 0.557 \text{ MPa}$$

$$FS := \frac{S_y}{\sigma_b + \sigma_P}$$

$$FS = 98.455$$

$$FS := \frac{S_y}{\sigma_b + \sigma_P}$$

$$FS = 98.455$$

3.2.3.4 Diseño de la pared

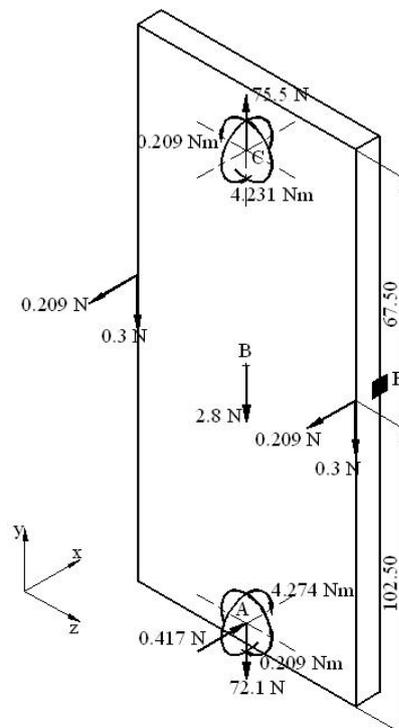


Figura 3.23 Diagrama de fuerzas de la pared

Diagramas de fuerza normal, fuerza cortante, momento flector

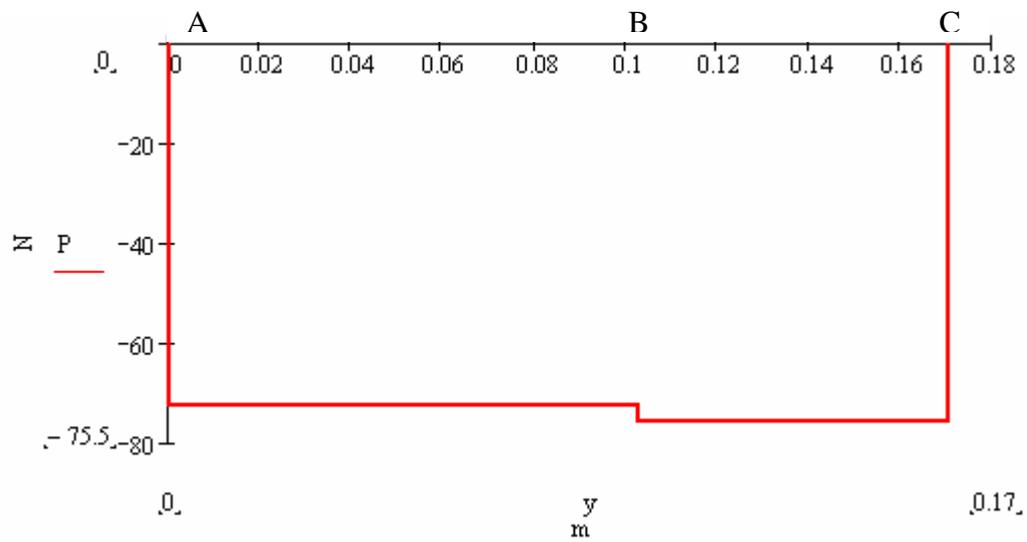


Figura 3.24 Fuerza normal vs distancia de la pared

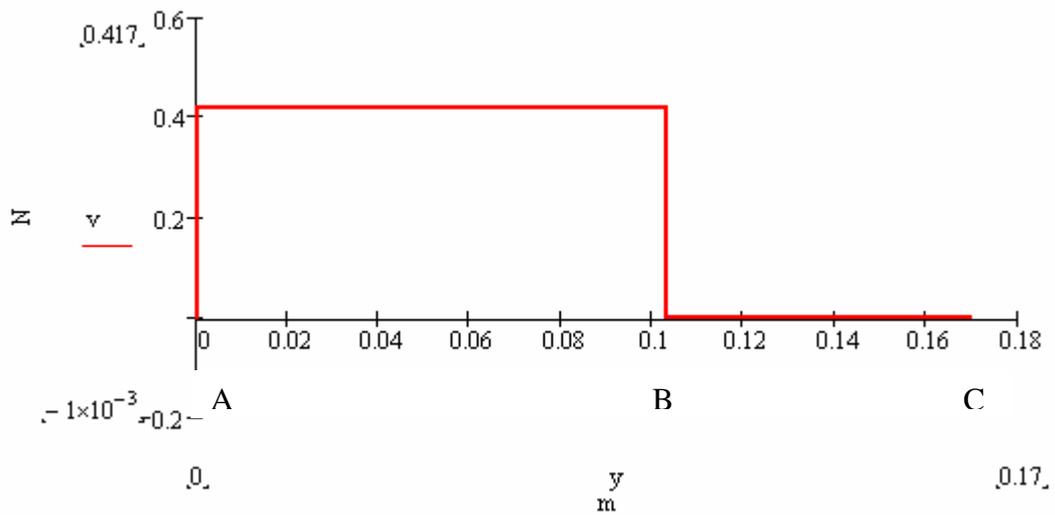


Figura 3.25 Fuerza cortante vs distancia de la pared

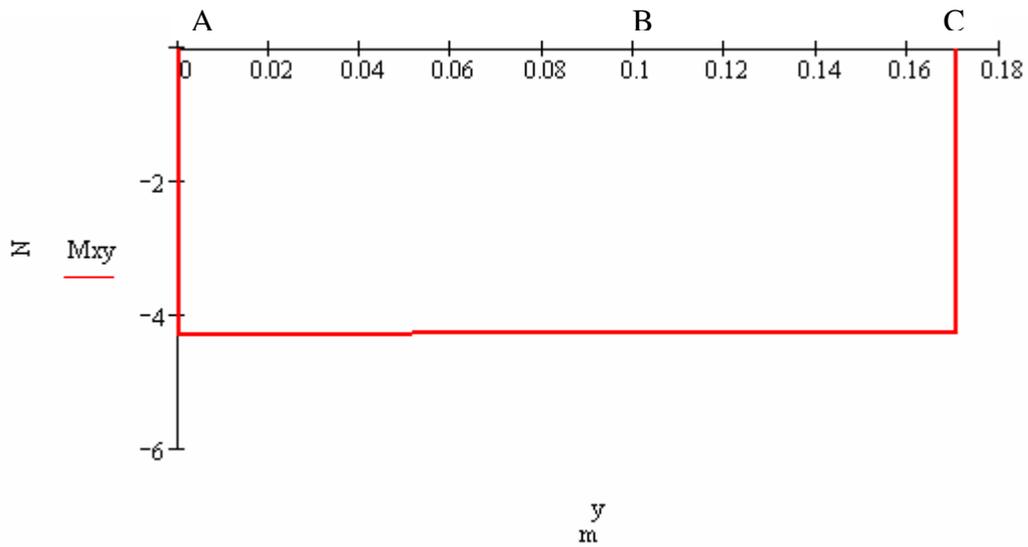


Figura 3.26 Momento flector XY vs distancia de la pared

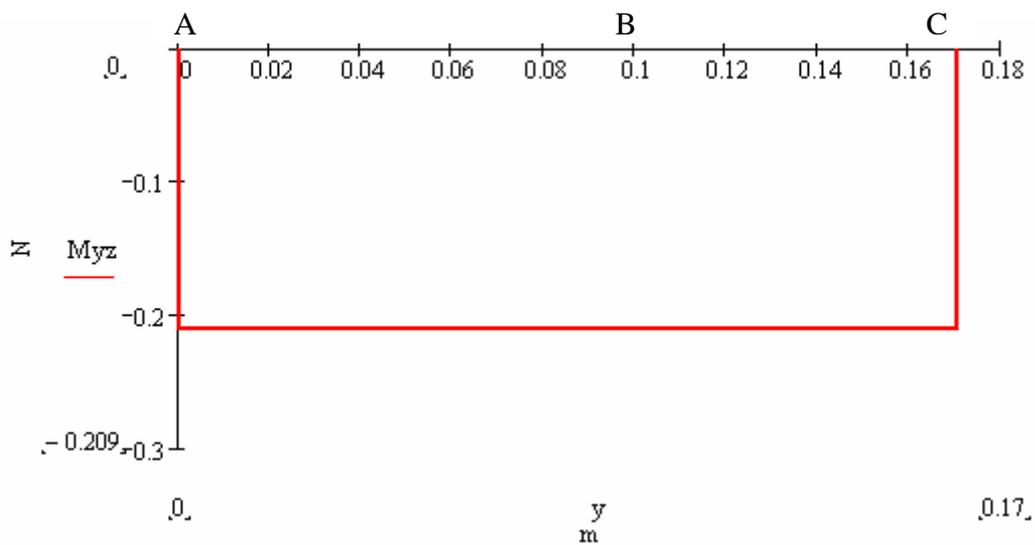


Figura 3.27 Momento flector YZ vs Distancia de la pared

Análisis de esfuerzos en la sección crítica

Sección crítica B punto H

$$S_y := 560 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$V_B = 0.417\text{N}$$

$$A_r := 1350\text{mm}^2$$

$$\tau_{vB} := \frac{V_B}{A_r}$$

$$\tau_{vB} = 308.889\text{Pa}$$

$$M_{B1} = 4.274\text{N}\cdot\text{m}$$

$$I_x := \frac{1}{12}90\text{mm}(15\text{mm})^3$$

$$c_1 := \frac{15}{2}\text{mm}$$

$$\sigma_{BH1} := \frac{M_{B1} \cdot c_1}{I_x}$$

$$\sigma_{BH1} = 1.266\text{MPa}$$

$$M_{B2} = 0.209\text{N}\cdot\text{m}$$

$$I_z := \frac{1}{12}15\text{mm}(90\text{mm})^3$$

$$c_2 := \frac{90}{2}\text{mm}$$

$$\sigma_{BH2} := \frac{M_{B2} \cdot c_2}{I_z}$$

$$\sigma_{BH2} = 0.01\text{MPa}$$

$$P_B = 72.1\text{N}$$

$$\sigma_P := \frac{P_B}{A_r}$$

$$\sigma_P = 0.053\text{MPa}$$

$$\sigma_T := \sigma_{BH1} + \sigma_{BH2} + \sigma_P$$

$$\sigma_T = 1.33\text{MPa}$$

$$FS := \frac{S_y}{\sigma_T}$$

$$FS = 41.288$$

3.2.3.5 Selección de elementos normalizados

Empleando métodos de diseño preestablecidos para elementos de uso común y por medio de catálogos, se realizó la elección de algunos elementos normalizados tales como: rodamientos, pernos, catalinas y cadenas.

Selección y Cálculo de la Transmisión (Cadena y Catalinas)

Utilizando como referencia el catálogo Browning de cadenas y catalinas (Ver Anexo C) , se procedió de la siguiente manera.

Para el cálculo de la relación de transmisión, se tomó como referencia la velocidad de salida del moto reductor (ω_1) y la velocidad necesaria en el eje motriz para cumplir con la tarea de fumigación en el tiempo estipulado (ω_2)

$$d := 36\text{m}$$

$$t := 45\text{s}$$

$$r := 19.5\text{mm}$$

$$v := \frac{d}{t}$$

$$v = 0.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\omega_2 := \frac{v}{r}$$

$$\omega_2 = 391.766\text{rpm}$$

$$Pt := \frac{1}{15} \cdot \text{hp}$$

$$\omega_1 := 140\text{-rpm}$$

$$\omega_2 := 390\text{-rpm}$$

Factor de Servicio

$$SF := 1$$

Factores de Corrección

$$Cmv := 0.2$$

$$Caf := 0.2$$

$$Che := 0.2$$

$$Cig := 0.4$$

Factor de servicio corregido

$$SFC := SF + Cmv + Caf + Che + Cig$$

$$SFC = 2$$

Tasa de Potencia

$$Pd := Pt \cdot SFC$$

$$Pd = 0.133 \text{ hp}$$

Selección de la cadena

Se seleccionó una cadena de #25 con paso 1/4 de pulgada, que tiene una resistencia de 0.26 hp a 400 rpm

$$i := \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

$$i = 2.786$$

$$Z_2 := 42$$

$$Z_1 := 15$$

Cálculo de la longitud de la Cadena.

$$dc := 6.6\text{in}$$

$$p := \frac{1}{4}\text{in}$$

$$pc := \frac{dc}{p}$$

$$pc = 26.4$$

$$ki := 1.99$$

$$n1 := 70$$

$$n2 := (pc - 20.3) \cdot ki$$

$$n2 = 12.139$$

$$n := n1 + n2$$

$$n = 82.139$$

El número total de eslabones necesarios es de 82.

Selección y Cálculo de Pernos

Los pernos para las juntas existentes en la unidad se seleccionaron partiendo de un cálculo básico de resistencia que involucra la medida y el grado de los mismos².

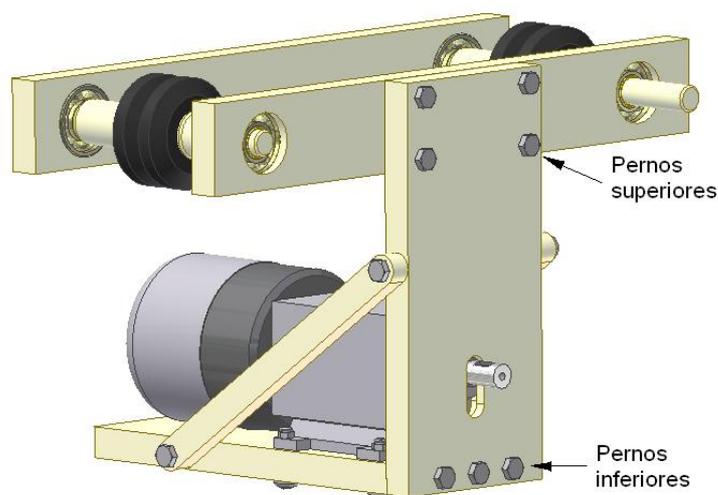


Figura 3.28 Ubicación de pernos.

² NORTON ROBERT, Diseño de máquinas, cap. 14.

Pernos Superiores.

Pernos M6 con número de clase 4.6

$$N_p := 4$$

$$F_1 := 75.5\text{N}$$

$$M_1 := 4.231\text{N}\cdot\text{m}$$

$$M_2 := 0.209\text{N}\cdot\text{m}$$

$$d_1 := 15\text{mm}$$

$$d_2 := 35\text{mm}$$

$$l := 35\text{mm}$$

$$D := 6\text{mm}$$

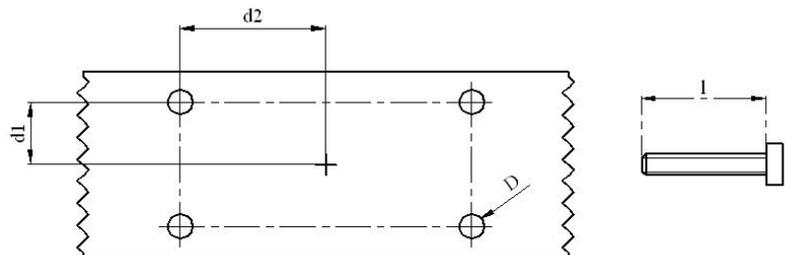


Figura 3.29 Distribución de pernos superiores

$$E_p := 207\text{GPa}$$

$$E_m := 219\text{MPa}$$

$$k_p := \frac{\pi \cdot D^2 \cdot E_p}{l}$$

$$k_p = 1.672 \times 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$k_m := \frac{0.577 \cdot \pi \cdot E_m \cdot D}{2 \ln \left(5 \cdot \frac{0.577 \cdot l + 0.5 \cdot D}{0.577l + 2.5 \cdot D} \right)}$$

$$k_m = 9.987 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$k_c := \frac{k_p}{k_p + k_m}$$

$$k_c = 0.994$$

$$P := \frac{M_1}{N_p d_1}$$

$$P = 70.517\text{N}$$

$$A_t := 20.1\text{mm}^2$$

$$S_p := 225\text{MPa}$$

$$F_i := 0.75 \cdot A_t \cdot S_p$$

$$F_i = 3.392\text{kN}$$

$$FS_j := \frac{Sp \cdot At - F_i}{kc \cdot P}$$

$$FS_j = 16.129$$

$$r := \sqrt{d_1^2 + d_2^2}$$

$$r = 38.079 \text{ mm}$$

$$V_1 := \frac{M_2}{N_{pr}}$$

$$V_1 = 1.372 \text{ N}$$

$$V_t := \sqrt{V_1^2 + \frac{F_1^2}{N_p^2} - 2 \cdot V_1 \cdot \frac{F_1}{N_p} \cdot \cos(18.43)}$$

$$V_t = 17.631 \text{ N}$$

$$k_{pt} := 0.3$$

$$T_a := k_{pt} \cdot F_i \cdot D$$

$$T_a = 6.105 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\tau := \frac{V_t}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2}$$

$$\tau = 0.624 \text{ MPa}$$

$$S_{sy} := 240 \text{ MPa}$$

$$FS := \frac{0.577 S_{sy}}{\tau}$$

$$FS = 222.08$$

Pernos Inferiores

$$N_p := 3$$

$$F_1 := 72.1 \text{ N}$$

$$M_1 := 0.209 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$d_1 := 22.5 \text{ mm}$$

$$l := 35 \text{ mm}$$

$$D := 6 \text{ mm}$$

$$A_t := 20.1 \text{ mm}^2$$

$$S_p := 225 \text{ MPa}$$

$$F_i := 0.75 \cdot A_t \cdot S_p$$

$$F_i = 3.392 \text{ kN}$$

$$k_{pt} := 0.3$$

$$T_a := k_{pt} \cdot F_i \cdot D$$

$$T_a = 6.105 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$V_1 := \frac{M_1}{(N_p - 1) \cdot d_1}$$

$$V_1 = 4.644 \text{ N}$$

$$V_t := V_1 + \frac{F_1}{3}$$

$$V_t = 28.678 \text{ N}$$

$$\tau := \frac{V_t}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2}$$

$$\tau = 1.014 \text{ MPa}$$

$$S_{sy} := 240 \text{ MPa}$$

$$FS := \frac{0.577 S_{sy}}{\tau}$$

$$FS = 136.532$$

Selección y Cálculo de Rodamientos

Los rodamientos en este caso fueron elegidos considerando la geometría del conjunto y al final solamente se hizo la comprobación de que soportarían las cargas a las que estaban sometidos, dicha comprobación se la realizó con el software proporcionado por SKF.

Los rodamientos elegidos en base a los ejes en los que iban a ir montados fueron los 6202-Z.

Corrida del Software de SKF

Viscosidad

Viscosidad requerida

Rodamiento	6202-Z
d, mm	15
D, mm	35
n, rpm	392
Temperatura de funcionamiento, °C	40
Temperatura de referencia para la viscosidad, °C	40
	<input type="button" value="Calcular"/>

Viscosidad requerida a la temperatura de funcionamiento v_1 , mm ² /s	54.2
Viscosidad requerida a la temperatura de referencia para un lubricante con VI=95 para obtener $\kappa=1$ a la temperatura de funcionamiento	54.2

Vida del rodamiento

Selección	Rodamiento	6202-Z
1	η_c d, mm	15
	D, mm	35
	C, kN	8.06
	P_u , kN	0.16
	P, kN	0.03932
	n, rpm	392
	v , mm ² /s	54.2
		<input type="button" value="Calcular"/>

κ	1	L_{10}	8613201	L_{10h}	3.6E8
v_1	54.2				
a_{SKF}	50	L_{10m}	4.3E8	L_{10mh}	1.8E10

Método antiguo a_{23} para una comparación

a_{23}	1	L_{10a}	8611849	L_{10ah}	3.6E8
----------	---	-----------	---------	------------	-------

Para los rodamientos lubricados con grasa, compruebe la vida de la grasa. Ver la sección "Lubricación"
 Para el cálculo de dos rodamientos en un eje, consulte el programa "SKF Bearing Select"
 Para calcular el factor de contaminación η_c , consulte el programa "SKF Bearing Select"

Figura 3.30 Solución software SKF

Para ver características técnicas del rodamiento véase Anexo D.

Si bien algunos de los elementos antes mencionados se encuentran sobredimensionados, no se los cambió ya que no sólo se pensó en la funcionalidad sino también en la estética del conjunto.

3.3 Cálculo de la tensión del alambre en los invernaderos

Este cálculo se lo realizó para saber que tensión era la necesaria para el alambre sobre el cual se desplazaría la unidad principal, tomando en cuenta una deflexión máxima en la mitad de su longitud³.

El alambre utilizado fue alambre de acero galvanizado número 14.

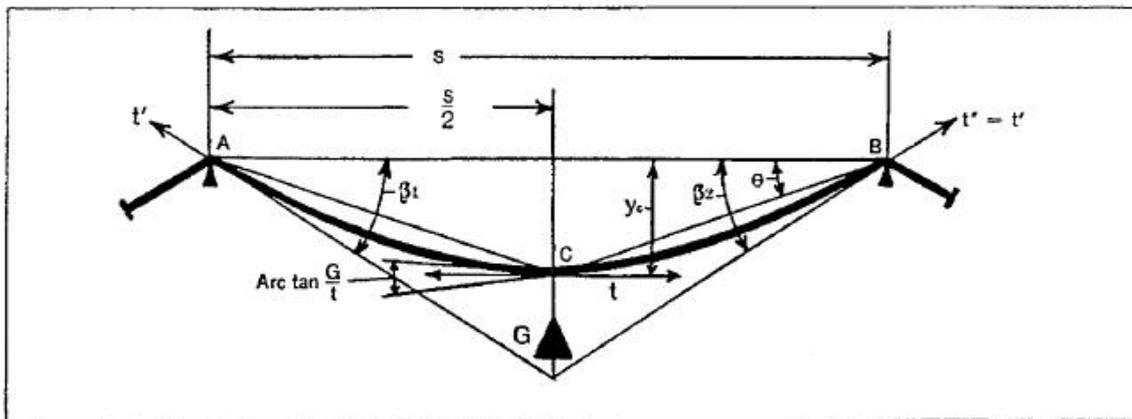


Figura 3.31 Flexión en alambre

$$P := 16\text{lb}$$

$$d := 40\text{m}$$

$$y_c := 15\text{cm}$$

$$D := 2\text{mm}$$

$$\delta_a := 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$S_y := 2000\text{kg}$$

³ Tramways army technical manual.

$$Ar := \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$Ar = 3.142 \text{ mm}^2$$

$$w := Ar \cdot \delta a$$

$$w = 0.025 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$Ft := \frac{d \cdot (2 \cdot P + w \cdot d)}{8 \cdot yc}$$

$$Ft = 516.504 \text{ kg}$$

$$\beta := \text{atan}\left(\frac{P + w \cdot d}{2 \cdot Ft}\right)$$

$$\beta = 0.457 \text{ deg}$$

$$Ft' := Ft \cdot \sec(\beta)$$

$$Ft' = 516.521 \text{ kg}$$

$$FS := \frac{Sy}{Ft'}$$

$$FS = 3.872$$

$$d1 := \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + yc^2}$$

$$d1 = 20.001 \text{ m}$$

$$\theta := \text{atan}\left(\frac{2 \cdot yc}{d}\right)$$

$$\theta = 0.43 \text{ deg}$$

$$Lt := 2 \cdot \left[d1 + \frac{w^2 \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^3 \cdot (\cos(\theta))^3}{24 \cdot Ft^2} \right]$$

$$Lt = 40.001 \text{ m}$$

Hay que decir que para evitar una flexión excesiva del alambre sería factible ubicar en los parantes de los invernaderos otros alambres transversales a un nivel superior, desde los cuales se suspenderían ganchos tipo J que ayudarían en la suspensión del alambre por el cual recorre la unidad principal. Esto facilitaría el desplazamiento de la misma al no tener una pendiente a favor en el un sentido y en contra en el otro sentido, manteniendo también uniforme la velocidad de la unidad.

3.4 Diseño del sistema de transporte

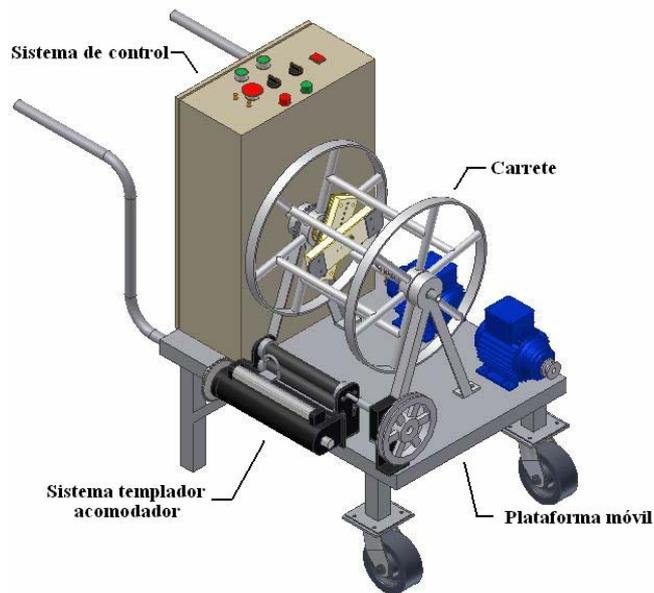


Figura 3.32 Esquema Unidad de transporte

3.4.1 Plataforma móvil

La idea del sistema de transporte pretende integrar en un aparato móvil todos los elementos que involucra el proceso de fumigación de manera que puedan ser fácilmente transportados hasta el lugar a desarrollarse las labores.

Dicho aparato reúne en él al panel de control (PLC), la unidad principal, las lanzas rociadoras y el carrito con la manguera.

Su configuración a modo de carretilla le permite portar los elementos antes mencionados y ser movilizado por los senderos de la plantación. No se presentan cálculos ya que su estructura soporta sin problema cargas superiores incluso a las que el conjunto presenta y en la metalmecánica nacional es muy común fabricar artefactos similares, el único diseño se basó en la geometría para distribuir en ella el resto de elementos.

3.4.2 Diseño de carrete multipropósito

Este carrete se lo desarrolló con el fin de suministrar a la unidad principal tanto de manguera como de cables de alimentación y control

Se desea que la manguera se pueda soltar y recoger con facilidad y además que durante estas acciones el fumigante sea capaz de circular a través de ella. La dificultad que esto presentaba era que al tener un extremo de la manguera fijo mientras el carrete giraba para desenrollarla producía un efecto de torniquete que atascaba al carrete y obstruía la manguera. Dicho problema se lo resolvió utilizando un acople especial llamado giratorio o destorcedor.

El mismo inconveniente se tenía para el cable de alimentación y se lo corrigió con un sistema de escobillas que se explicará más adelante.

El problema con el cable de control, el cual es el encargado de la transmisión de datos se lo resolvió con una idea parecida, empleando un sistema óptico infrarrojo que se lo detallará posteriormente.

Tomando en cuenta lo antes mencionado, se fue dando forma al carrete en cuestión enfocándose en los parámetros limitantes, así, se inició por el tambor del carrete al cual se lo dimensionó considerando el radio de curvatura que podían soportar tanto el cable de alimentación como el cable de control y a la vez que evitara tener mucha pérdida dentro de la manguera. La confluencia de dichos cables y manguera obligó a no tener un eje único en el centro del carrete sino dos semiejes fijos en los extremos con entradas por el uno para los cables y por el otro tener un acople para la manguera. Ver Figura 3.33.

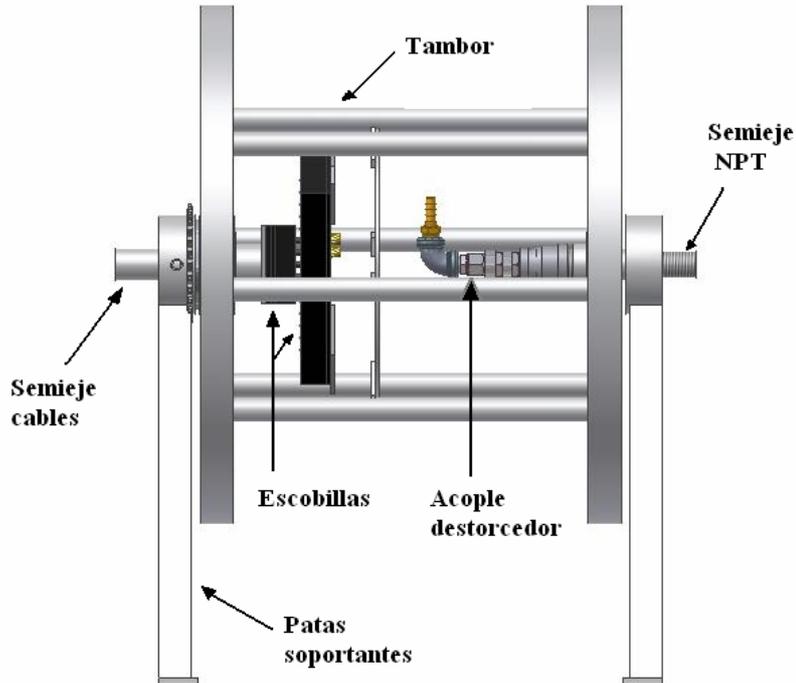


Figura 3.33 Carrete multipropósito

3.4.2.1 Cálculos para selección de motor

Para conseguir que la manguera se desplace a la misma velocidad que la unidad principal se decidió incorporar un motor al carrete que desplegara la manguera de una manera uniforme. Fue necesario medir la fuerza de arrastre de la manguera para así poder calcular el torque necesario y la transmisión para mover al carrete.

$$F_t := 52.228\text{N}$$

$$F_a = 66.723\text{N}$$

$$r := 200\text{mm}$$

$$\omega_1 := 45\text{rpm}$$

$$T_q := (F_a + F_t) \cdot r$$

$$T_q = 23.79\text{N}\cdot\text{m}$$

Luego de que se realizó los cálculos respectivos se adquirió un moto reductor con las siguientes características

$$Pt := \frac{1}{4} \text{hp}$$

$$Pt = 186.425 \text{W}$$

$$Tm := 100 \text{lb} \cdot \text{in}$$

$$Tm = 11.298 \text{N} \cdot \text{m}$$

Con la transmisión necesaria para conseguir la velocidad giro correcta del carrete da:

$$i := 2.2$$

$$Te := Tm \cdot i$$

$$Te = 24.857 \text{N} \cdot \text{m}$$

El torque efectivo entregado hacia el carrete es suficiente para mover al carrete ya que supera al torque requerido.

3.4.2.2 Análisis de fuerzas

Este análisis se realizó para ver como estaban cargados los elementos que conforman el carrete. Los componentes del carrete en su mayoría son de acero de ahí sus propiedades.

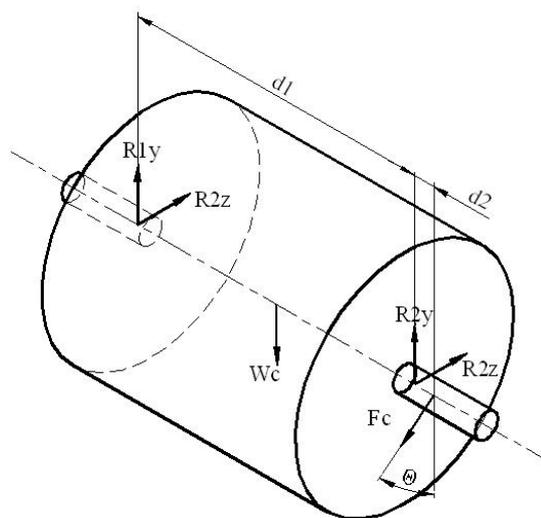


Figura 3.34 DCL del carrete

$$D_p := 86\text{mm}$$

$$F_c := \frac{2T_e}{D_p}$$

$$F_c = 578.07\text{N}$$

$$d_1 := 290\text{mm}$$

$$d_2 := 15\text{mm}$$

$$\theta := 50\text{deg}$$

$$W_c = 120.547\text{N}$$

$$R_{1y} + R_{2y} - W_c - F_c \cdot \cos(\theta) = 0$$

$$R_{1z} - R_{2z} + F_c \cdot \sin(\theta) = 0$$

$$-R_{1z} \cdot (d_1 + d_2) + R_{2z} \cdot d_2 = 0$$

$$R_{1y} \cdot (d_1 + d_2) - W_c \cdot \left(\frac{d_1}{2} + d_2 \right) + R_{2y} \cdot d_2 = 0$$

$$R_{1y} = 41.054\text{N}$$

$$R_{1z} = 22.905\text{N}$$

$$R_{2y} = 451.069\text{N}$$

$$R_{2z} = 465.732\text{N}$$

En base a los resultados, se puede observar que el semieje del extremo en que se encuentra el motor estaba sometido a las fuerzas más grandes, por esta razón se calculó los esfuerzos y se comprobó que resista.

$$d3 := 50\text{mm}$$

$$R4y := R2y$$

$$R4y = 451.069\text{N}$$

$$R4z := R2z$$

$$R4z = 465.732\text{N}$$

$$Ryz := \sqrt{R4y^2 + R4z^2}$$

$$Ryz = 648.359\text{N}$$

$$Ar := \frac{\pi}{4} \cdot (24^2 - 14^2) \cdot \text{mm}^2$$

$$Ar = 298.451\text{mm}^2$$

$$\tau_v := 2 \frac{Ryz}{Ar}$$

$$\tau_v = 4.345\text{MPa}$$

$$M1 := R4y \cdot d3$$

$$M1 = 22.553\text{N} \cdot \text{m}$$

$$M2 := R4z \cdot d3$$

$$M2 = 23.287\text{N} \cdot \text{m}$$

$$M := \sqrt{M1^2 + M2^2}$$

$$M = 32.418\text{N} \cdot \text{m}$$

$$I := \frac{\pi \cdot (24^4 - 14^4)}{64} \cdot \text{mm}^4$$

$$c := \frac{24}{2} \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_b := \frac{M \cdot c}{I}$$

$$\sigma_b = 27.014\text{MPa}$$

$$FS := \frac{Sy}{\sigma_b}$$

$$FS = 7.663$$

3.4.2.3 Selección de elementos normalizados

Selección y Cálculo de la Transmisión (Cadena y Catalinas)

Así como se hizo con anterioridad, se siguió el catálogo Browning para la selección de Catalinas y Cadena de este conjunto.

Para determinar la relación de transmisión que se utilizó para mover el carrete fue necesario primero calcular la velocidad angular (w_2) que éste debía tener.

$$l_c := 36m$$

$$t := 45s$$

$$D_t := 25cm$$

$$l_t := 26cm$$

$$l_m := 40m$$

$$D_m := 13mm$$

$$D_c := 8mm$$

$$a := D_m + D_c$$

$$a = 21\text{ mm}$$

$$b := \frac{l_t}{a}$$

$$b = 12.381$$

$$b_1 := 12$$

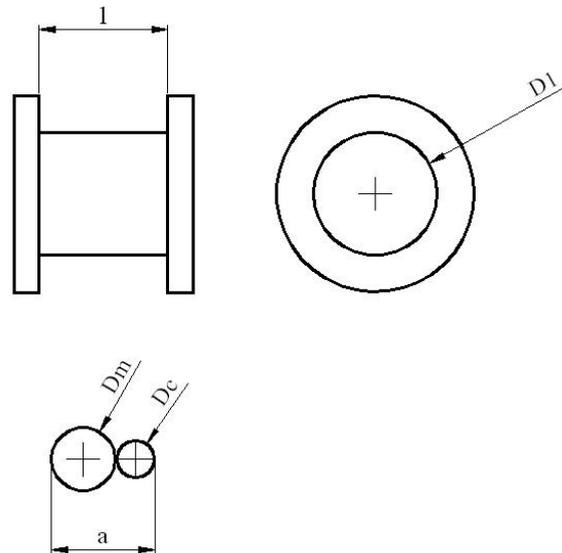


Figura 3.35 Disposición de manguera y cable respecto al tambor

$$D_1 := D_t + D_m$$

$$pr_1 := \pi \cdot D_1 \quad pr_1 = 0.826m$$

$$l_1 := pr_1 \cdot b_1 \quad l_1 = 9.915m$$

$$D_2 := D_1 + 2D_m \quad D_2 = 0.289m$$

$$pr_2 := \pi \cdot D_2 \quad pr_2 = 0.908m$$

$$l_2 := pr_2 \cdot b_1 \quad l_2 = 10.895m$$

$$D3 := D2 + 2Dm \quad D3 = 0.315 \text{ m}$$

$$pr3 := \pi \cdot D3 \quad pr3 = 0.99 \text{ m}$$

$$l3 := pr3 \cdot b1 \quad l3 = 11.875 \text{ m}$$

$$D4 := D3 + 2Dm \quad D4 = 0.341 \text{ m}$$

$$pr4 := \pi \cdot D4 \quad pr4 = 1.071 \text{ m}$$

$$l4 := pr4 \cdot b1 \quad l4 = 12.855 \text{ m}$$

$$l := l1 + l2 + l3 + l4$$

$$l = 45.541 \text{ m}$$

$$D_{med} := \frac{D1 + D4}{2}$$

$$D_{med} = 30.2 \text{ cm}$$

$$pr_{med} := \pi \cdot D_{med}$$

$$pr_{med} = 0.949 \text{ m}$$

$$nv := \frac{lc}{pr_{med}}$$

$$nv = 37.944$$

$$\omega2 := \frac{nv}{t}$$

$$\omega2 = 50.592 \text{ rpm}$$

Esta velocidad del carrete es referencial ya que no todas las camas son de la misma longitud y se consideró la distancia más larga, así mismo el acumulamiento de manguera no es exacto por lo que el diámetro medio seguramente será mayor siendo necesaria una velocidad angular inferior a la mostrada.

Cálculo de la cadena

$$P := \frac{1}{4} \cdot \text{hp}$$

$$\omega_1 := 100 \cdot \text{rpm}$$

$$\omega_2 := 45 \cdot \text{rpm}$$

Factor de servicio

$$\text{SF} := 1$$

Factores de corrección

$$\text{Caf} := 0.2$$

$$\text{Che} := 0.2$$

$$\text{Cig} := 0.4$$

Factor de servicio corregido

$$\text{SFC} := \text{SF} + \text{Caf} + \text{Che} + \text{Cig}$$

$$\text{SFC} = 1.8$$

Tasa de Potencia

$$\text{Pd} := \text{Pt} \cdot \text{SFC}$$

$$\text{Pd} = 0.45 \text{ hp}$$

Selección de la cadena

Se seleccionó una cadena de #35 con paso 3/8 de pulgada, que tiene una resistencia de 0.51 HP a 100 rpm

$$i := \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

$$i = 1.961$$

$$Z_2 := 29$$

$$Z_1 := 13$$

Cálculo de la longitud de la cadena (Se tiene 3 catalinas)

Tramo 1

$$dc1 := 340\text{mm}$$

$$p := \frac{3}{8}\text{in}$$

$$pc1 := \frac{dc1}{p}$$

$$pc1 = 35.696$$

$$ki1 := 2$$

$$n1 := 82$$

$$n2 := (pc1 - 30.66) \cdot ki1$$

$$n2 = 10.071$$

$$nt1 := n1 + n2$$

$$nt1 = 92.071$$

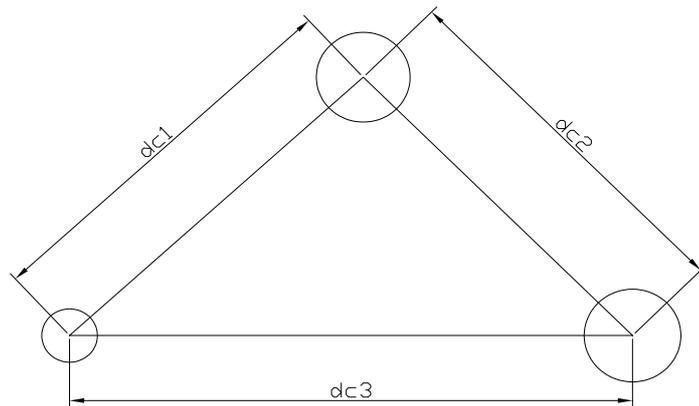


Figura 3.36 Disposición de catalinas

Tramo 2

$$dc2 := 325\text{mm}$$

$$p := \frac{3}{8}\text{in}$$

$$pc2 := \frac{dc2}{p}$$

$$pc2 = 34.121$$

$$ki2 := 2$$

$$n3 := 92$$

$$n4 := (pc2 - 30.5) \cdot ki2$$

$$n4 = 7.241$$

$$nt2 := n3 + n4$$

$$nt2 = 99.241$$

Tramo 3

$$dc3 := 480\text{mm}$$

$$p := \frac{3}{8}\text{in}$$

$$pc3 := \frac{dc3}{p}$$

$$pc3 = 50.394$$

$$ki3 := 1.99$$

$$n5 := 104$$

$$n6 := (pc3 - 40.64) \cdot ki3$$

$$n6 = 19.41$$

$$nt3 := n5 + n6$$

$$nt3 = 123.41$$

Longitud total.

$$nt := \frac{nt1 + nt2 + nt3}{2}$$

$$nt = 157.41$$

$$lt := nt \cdot p \quad lt = 1.499\text{m}$$

Selección y cálculo de pernos.

$$R2y := 451.069\text{N}$$

$$R2z := 465.732\text{N}$$

$$d3 := 50\text{mm}$$

$$d4 := 320\text{mm}$$

$$d5 := 142.5\text{mm}$$

$$R5y := R2y$$

$$R5z := R2z$$

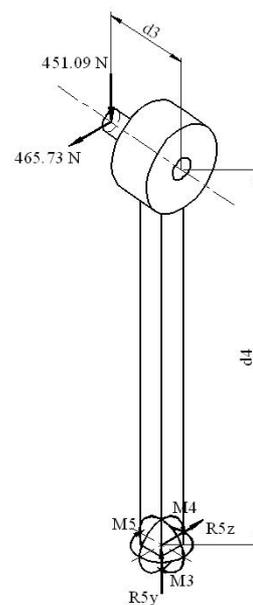


Figura 3.37 Fuerzas en el soporte

$$M3 := d3 \cdot R2y$$

$$M3 = 22.553 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M4 := d4 \cdot R2z$$

$$M4 = 149.034 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M5 := d3 \cdot R2z$$

$$M5 = 23.287 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$F'' := \frac{M5}{2 \cdot d5}$$

$$F'' = 81.707 \text{ N}$$

$$F''' := \frac{M4}{2d5}$$

$$F''' = 522.927 \text{ N}$$

$$P := F''' - \frac{R5y}{2}$$

$$P = 297.393 \text{ N}$$

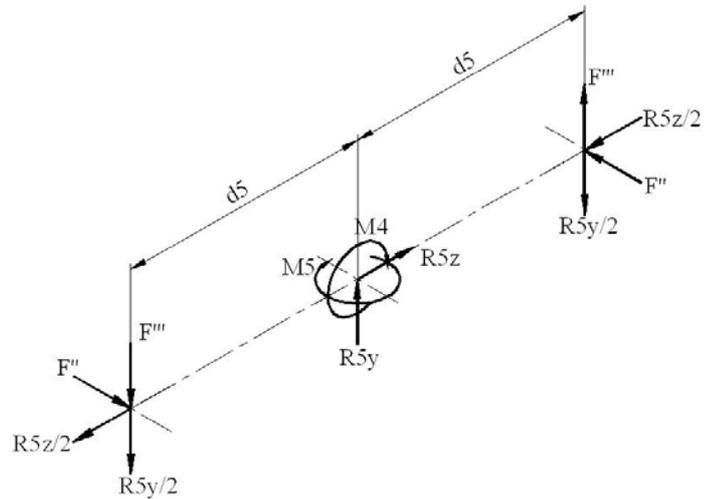


Figura 3.38 Distribución de fuerzas en los pernos de las patas soportantes

$$l := 46 \text{ mm}$$

$$D := 8 \text{ mm}$$

$$E_p := 207 \text{ GPa}$$

$$E_m := 110 \text{ GPa}$$

$$k_p := \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \frac{E_p}{l}$$

$$k_p = 226.195 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

$$k_m := \frac{0.577 \cdot \pi \cdot E_m \cdot D}{2 \ln \left(5 \cdot \frac{0.577 \cdot l + 0.5 \cdot D}{0.577 l + 2.5 \cdot D} \right)}$$

$$k_m = 671.265 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

$$k_c := \frac{k_p}{k_p + k_m}$$

$$k_c = 0.252$$

$$A_t := 36.6 \text{ mm}^2$$

$$S_p := 600 \text{ MPa}$$

$$F_i := 0.75 \cdot A_t \cdot S_p$$

$$F_i = 16.47 \text{ kN}$$

$$F_{Sj} := \frac{S_p \cdot A_t - F_i}{k_c \cdot \left(\frac{P}{2} \right)}$$

$$F_{Sj} = 146.489$$

$$k_{pt} := 0.3$$

$$T_a := k_{pt} \cdot F_i \cdot D$$

$$T_a = 39.528 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$F_v := \sqrt{F_i^2 + \left(\frac{R5z}{2} \right)^2}$$

$$F_v = 246.785 \text{ N}$$

$$\tau := \frac{F_v}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2}$$

$$\tau = 4.91 \text{ MPa}$$

$$S_{sy} := 240 \text{ MPa}$$

$$F_S := \frac{0.577 S_{sy}}{\tau}$$

$$F_S = 28.206$$

Selección de rodamientos

Se seleccionó rodamientos rígidos de bolas de una hilera, número 6205-2Z y utilizando el software proporcionado en la página web de SKF (www.skf.com) se obtuvo los resultados mostrados a continuación.

Viscosidad

Viscosidad requerida

Rodamiento	6205-2Z
d, mm	25
D, mm	52
n, rpm	45
Temperatura de funcionamiento, °C	40
Temperatura de referencia para la viscosidad, °C	40
	<input type="button" value="Calcular"/>

Viscosidad requerida a la temperatura de funcionamiento v_1 , mm ² /s	284
Viscosidad requerida a la temperatura de referencia para un lubricante con VI=95 para obtener $\kappa=1$ a la temperatura de funcionamiento	284

Vida del rodamiento

Seleccionar η_c	0.5
Rodamiento	6205-2Z
d, mm	25
D, mm	52
C, kN	14.8
P_u , kN	0.335
P, kN	0.32
n, rpm	45
v , mm ² /s	284
	<input type="button" value="Calcular"/>

		L_{10}	98932	L_{10h}	3.6E7
κ	1				
v_1	284				
a_{SKF}	50	L_{10m}	4946582	L_{10mh}	1.8E9
Método antiguo a_{23} para una comparación					
a_{23}	1	L_{10a}	98934	L_{10ah}	3.6E7

Para los rodamientos lubricados con grasa, compruebe la vida de la grasa. Ver la sección "Lubricación"

Para el cálculo de dos rodamientos en un eje, consulte el programa "SKF Bearing Select"

Para calcular el factor de contaminación η_c , consulte el programa "SKF Bearing Select"

Figura 3.39 Solución software SKF

3.4.2.4 Diseño de sistemas complementarios

En este subcapítulo se presentan dos subsistemas que son complementarios al carrete ya que ayudan a este en la labor de enrollamiento y entrega de la manguera y los cables.

El primero de ellos consta de un mecanismo que transforma un movimiento rotacional en un movimiento lineal por medio de un seguidor sobre un fresado helicoidal que permite que con el giro del carrete la manguera vaya acomodándose conforme la misma se va enrollando, evitando el abultamiento en un solo sector del tambor. Si bien este dispositivo no se lo encuentra en el mercado local, se encuentra disponible en otros países o bien se lo puede fabricar en un buen taller. Es necesario señalar que el acomodador de manguera que se encuentra instalado en el prototipo no fue ni importado ni fabricado sino que hubo la suerte de encontrarlo en un depósito de maquinaria y que fue adaptado para su uso.

El segundo sistema es un templador, que ayuda a que el carrete entregue manguera conforme gira, pero dando siempre una tensión en el borde saliente evitando que la manguera tienda a aflojarse durante el proceso y pueda ocasionar atascamientos. Este sistema fue diseñado de forma que la manguera tuviese un apriete lo suficientemente firme para ser impulsada pero de tal manera que no la estrangulase impidiendo la circulación del fluido. Por otra parte se consideró que el sistema solamente entraría en funcionamiento mientras la manguera se desenrollaba pero no al momento de ser recogida ya que por la mayor velocidad que aseguraba la permanente tensión de la manguera, en el sentido inverso provocaría que la manguera intentara entrar al carrete en mayor proporción de la que el carrete con su giro podría recoger.

A continuación se muestran los cálculos que se realizaron.

Los rodillos empleados son de caucho para asegurar su buena tracción y su eje central es de acero.

$$r := 15\text{mm}$$

$$k_e := 0.203 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$W := 1.5\text{lb}$$

$$l_n := 18\text{mm}$$

$$l_f := 40\text{mm}$$

$$x := l_f - l_n$$

$$x = 0.022\text{m}$$

$$F_1 := k_e \cdot x$$

$$F_1 = 4.466\text{N}$$

$$\Sigma F := 0$$

$$N_m := 4F_1 - W$$

$$N_m = 11.192\text{N}$$

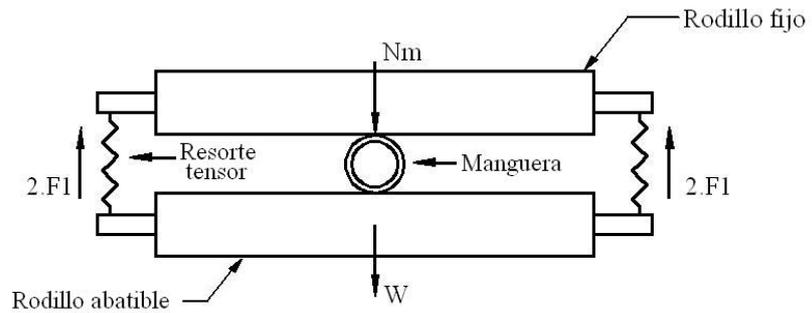


Figura 3.40 Esquema rodillos

$$\mu_s := 4$$

$$f_{rod} := 0.01\text{m}$$

$$F_t := N_m \cdot \mu_s + N_m \cdot \frac{f_{rod}}{r}$$

$$F_t = 52.228\text{N}$$

Aquí se puede apreciar el apriete de los rodillos sobre la manguera. Este cálculo además muestra la fuerza necesaria para halar la manguera entre los rodillos cuando el sistema templador esta inmóvil al recogerse la manguera y se la utilizó para el cálculo del motor del carrete.

Los dos sistemas anteriormente descritos actúan de forma simultánea y se encuentran juntos. VÉR figura 3.41.



Figura 3.41 Sistemas de acomodador y templador

Si bien el movimiento del acomodador se lo dio acoplándolo al sistema de transmisión que mueve al carrete, el templador debía ser independiente y se decidió incorporar un motor conectado a un juego de poleas y banda como se presenta a continuación.

Selección de la banda

$$P_t := 0.5\text{hp}$$

$$\omega_1 := 3450\text{rpm}$$

$$D_{p1} := 29\text{mm}$$

$$D_{p2} := 138\text{mm}$$

$$d_c := 423\text{mm}$$

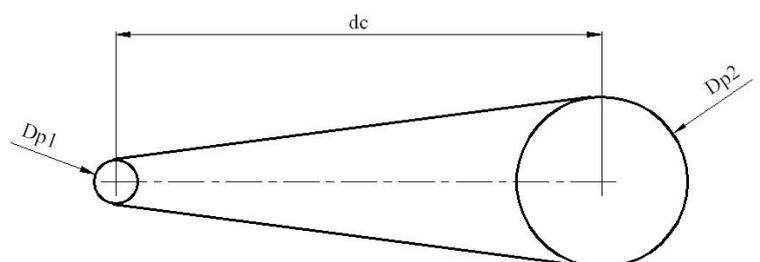


Figura 3.42 Disposición de poleas

1) Factor de servicio FS

$$SF := 1$$

Incrementos en el factor de servicio

$$C_{he} := 0.1$$

$$C_{sa} := 0.1$$

$$SFC := SF + C_{he} + C_{sa}$$

$$SFC = 1.2$$

2) Potencia de diseño

$$P_d := P_t \cdot SFC$$

$$P_d = 0.6 \text{ hp}$$

3) Tipo de banda seleccionada

Tipo Z

4) Relación de transmisión

$$i := \frac{D_{p2}}{D_{p1}}$$

$$i = 4.759$$

5) Velocidad de la banda

$$v := \omega_1 \cdot \frac{D_{p1}}{2}$$

$$v = 5.239 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

6) Potencia transmitida por banda

Entrando con D_{p1} , ω_1 , i

$$P_r := 0.15 + 0.17$$

$$P_r = 0.32$$

7) Longitud de la banda

$$l := 2 \cdot d_c + 1.57(D_{p1} + D_{p2}) + \frac{(D_{p1} - D_{p2})^2}{4 \cdot d_c}$$

$$l = 1.115 \text{ m}$$

La banda comercial encontrada que más se ajustó fue HM46 con longitud interior de 1117mm que se ajusta al cálculo realizado.

Para el diseño del eje de los rodillos se tomó en cuenta la carga debido a la polea que es:

$$K_2 := 0.97$$

$$F_t := \frac{SFC \cdot P_t}{10 \cdot v \cdot K_2}$$

$$F_t = 8.804 \text{ N}$$

$$F_t = F_{t1} - F_{t2}$$

$$\frac{F_{t1}}{F_{t2}} = 5$$

$$F_r = F_{t1} + F_{t2}$$

$$F_r := 1.5F_t$$

$$F_r = 13.206N$$

Una vez que se tuvo la fuerza, y según la disposición del eje como viga se realizó el análisis del mismo para ver como estaba cargado en toda su longitud determinando reacciones en sus apoyos, haciendo uso del software MITCalc_beam como se muestra a continuación.

Straight beams with constant cross-section Beam calculation

i Calculation without errors.

? + Input section

1.0 Beam type, dimensions and loading

1.1 Calculation units: SI Units (N, mm, kW...)

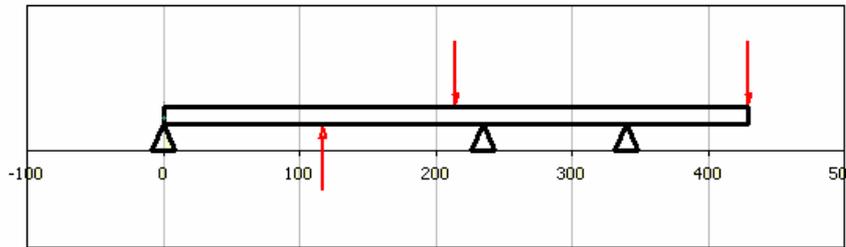
1.2 Left beam end: B...Support

1.3 Number of supports between: 2

1.4 Right beam end: A...Free end

1.5 Beam field no: L1 L2 L3

1.6 Length of beam field	L	235.0	105.000	90.0	[mm]
1.7 Continuous loading	Q	0.000	0.000	0.000	[N/mm]
1.8 Field beginning co-ordinates			235.0	340.0	[mm]



1.9 Beam loading

	a [mm]	F [N]	b [mm]	M [Nm]
Force F1 / Moment M1	117.5	-11.9	0.0	0.0
Force F2 / Moment M2	215.0	17.8	0.0	0.0
Force F3 / Moment M3	430.0	13.2	0.0	0.0
Force F4 / Moment M4	0.0	0.0	0.0	0.0
Force F5 / Moment M5	0.0	0.0	0.0	0.0
Force F6 / Moment M6	0.0	0.0	0.0	0.0
Force F7 / Moment M7	0.0	0.0	0.0	0.0
Force F8 / Moment M8	0.0	0.0	0.0	0.0
Force F9 / Moment M9	0.0	0.0	0.0	0.0

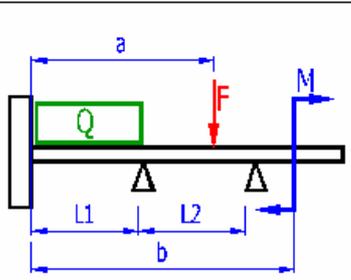


Figura 3.43 Solución software MITCalc_beam

2.0 **Static values of the profile and material values of the beam**

2.1 Beam profile

2.2 Profile type: 08...Circle (Calculated)

2.3 Profile dimensions: Empty table

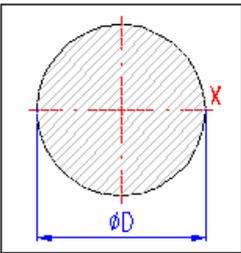
2.4 User properties of the profile: Yes

2.5 Number of beams abreast: 1

2.6 Area: A = 63.61725124 [mm²]

2.7 Quadratic moment to the axis: Ix = 322.0623344 [mm⁴]

2.8 Cross-section bending modulu: Sx = 71.56940764 [mm³]



2.9 **Beam material**

2.10 List of materials: Structural steel EC 3, EN 10025; Fe 360 (210000)

2.11 Density: γ = 7850.0 [kg/m³]

2.12 Modulus of elasticity in tension: E = 210000 [MPa]

2.13 Permissible bending stress: σ_b = 141 [MPa]

Results section

3.0 **Calculation results**

3.1 Support number from left: R1, R2, R3

3.2 Reaction in supports: -3.03, -5.53, 27.66 [N]

3.3 Bending moment Min. / Max.: M_0 = -1.19, 0.51 [Nm]

3.4 Beam deflection Min. / Max.: y = -0.095, 0.014 [mm]

3.5 Bending stress Min. / Max.: σ_b = -16.6, 7.1 [MPa]

3.6 Weight of the beam: m = 0.2 [kg]

3.7 Max. length of the free end (buckling): L_{max} = 0.0 [mm]

3.8 Relative beam deflection Max.: y' = 0.104 [%]

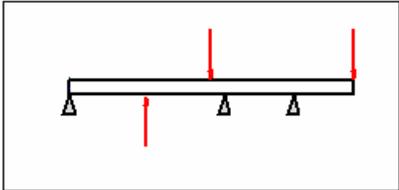


Figura 3.43 Solución software MITCalc_beam

Posteriormente se analizó si la flecha cargada soportaría los esfuerzos, para lo cual se utilizó la teoría de fallas como en ocasiones anteriores.

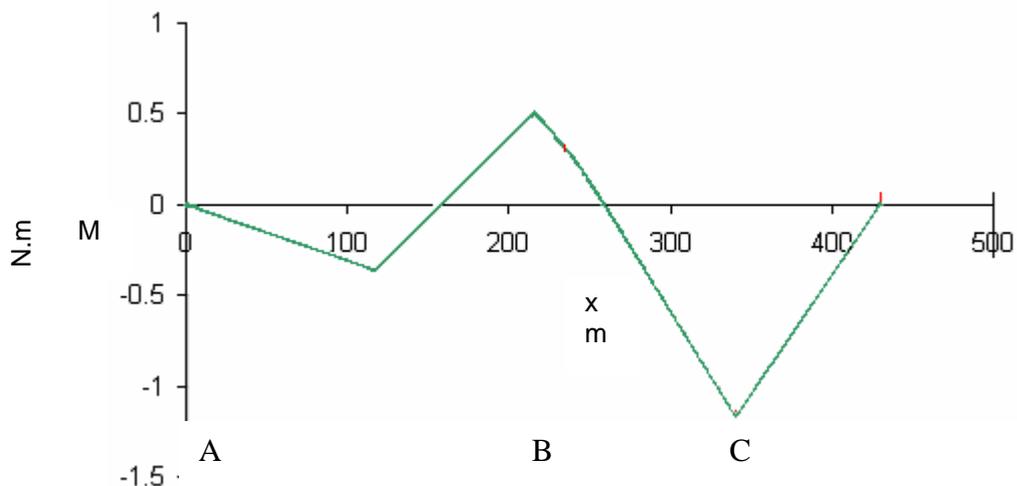


Figura 3.44 Momento flector vs distancia

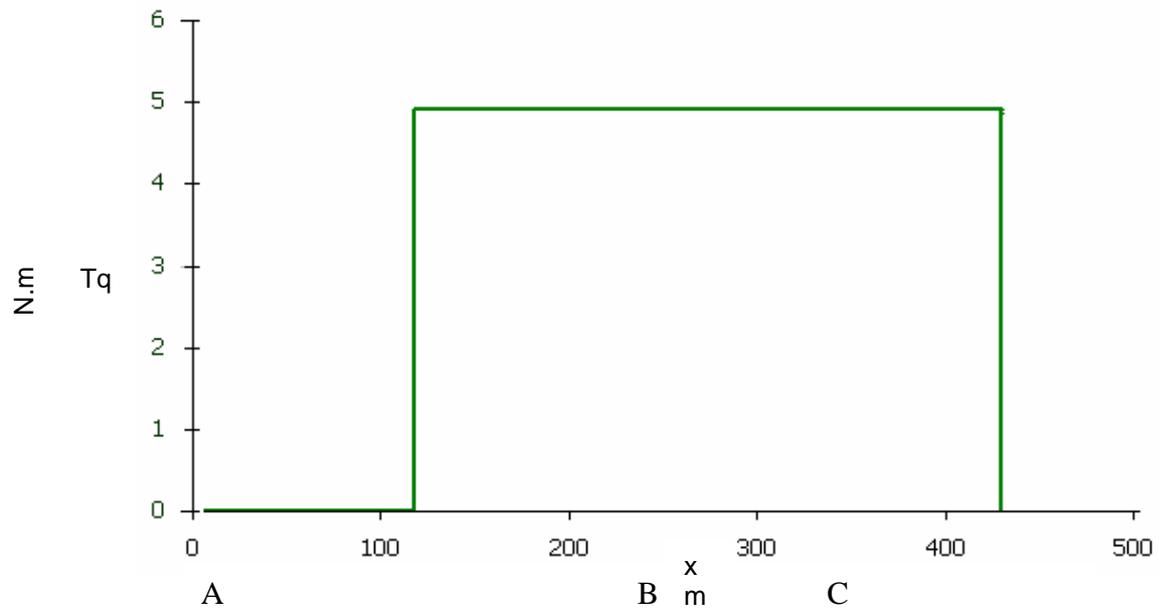


Figura 3.45 Torque vs distancia

La sección C es la que se encuentra soportando las mayores cargas

$$M_c := 1.19 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$D_c := 9 \text{ mm}$$

$$S_y := 207 \text{ MPa}$$

$$T_c := 4.91 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Cálculo de esfuerzos

$$\sigma_c := \frac{32 \cdot M_c}{\pi \cdot D_c^3}$$

$$\sigma_c = 16.627 \text{ MPa}$$

$$\tau_c := \frac{16 \cdot T_c}{\pi \cdot D_c^3}$$

$$\tau_c = 34.302 \text{ MPa}$$

T.E.C.M.

$$\sigma_{eq_C} := \sqrt{\sigma_{b_C}^2 + 4 \cdot \tau_{t_C}^2}$$

$$\sigma_{eq_C} = 70.591 \text{ MPa}$$

$$FS := \frac{S_y}{\sigma_{eq_C}}$$

$$FS = 2.932$$

Análisis dinámico

$$\sigma_{max_C} := \frac{32 \cdot M_C}{\pi \cdot D_C^3}$$

$$\sigma_{min_C} := \frac{-32 \cdot M_C}{\pi \cdot D_C^3}$$

$$\sigma_{m_C} := \frac{\sigma_{max_C} + \sigma_{min_C}}{2}$$

$$\sigma_{m_C} = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{a_C} := \frac{\sigma_{max_C} - \sigma_{min_C}}{2}$$

$$\sigma_{a_C} = 16.627 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max_C} := \frac{16 \cdot T_C}{\pi \cdot D_C^3}$$

$$\tau_{min_C} := \frac{-16 \cdot T_C}{\pi \cdot D_C^3}$$

$$\tau_{m_C} := \frac{\tau_{max_C} + \tau_{min_C}}{2}$$

$$\tau_{m_C} = 34.302 \text{ MPa}$$

$$\tau_{a_C} := \frac{\tau_{max_C} - \tau_{min_C}}{2}$$

$$\tau_{a_C} = 0 \text{ MPa}$$

T.E.C.M. para esfuerzos medios

$$\sigma_{eqm_C} := \sqrt{\sigma_{m_C}^2 + 4 \cdot \tau_{m_C}^2}$$

$$\sigma_{eqm_C} = 68.605 \text{ MPa}$$

Esfuerzos alternantes

$$Dc1 := 9 \text{ mm}$$

$$Dc2 := 9 \text{ mm}$$

$$\frac{Dc1}{Dc2} = 1$$

$$k_t := 1$$

$$k_f := 1$$

$$\sigma_{eqa_C} := \sqrt{(k_f \cdot \sigma_{a_C})^2 + 4 \cdot (k_t \cdot \tau_{a_C})^2}$$

$$\sigma_{eqa_C} = 16.627 \text{ MPa}$$

Resistencia a fatiga

$$S_u := 379 \text{ MPa}$$

$$S_e := 0.45 \cdot S_u$$

$$S_e = 170.55 \text{ MPa}$$

$$C_{carga} := 1$$

$$C_{tam} := 1$$

$$C_{superf} := 1$$

$$C_{temp} := 1$$

$$C_{conf} := 0.897$$

$$S_E := S_e \cdot C_{carga} \cdot C_{tam} \cdot C_{superf} \cdot C_{temp} \cdot C_{conf}$$

$$S_E = 152.983 \text{ MPa}$$

$$FS_f := \frac{S_y}{\sigma_{eqm_C} + \frac{S_y}{S_E} \cdot \sigma_{eqa_C}}$$

$$FS_f = 2.272$$

La flecha del rodillo resiste sin fallar.

3.5 Diseño del sistema de circulación de líquido fumigante

La necesidad de la utilización de manguera como conducto para el fumigante y la extensión de la misma obligó a buscar la manera más fácil de que ésta fuera transportada e integrarla a la unidad principal, sin dejar de lado el cálculo de una bomba que suministrase el fluido de manera eficiente. Por otro lado se debía buscar la manera en que la unidad al desplazarse por medio de las camas consiguiese a pesar de encontrarse siempre a una misma altura cubrir el alto de cualquier tipo de rosal.

3.5.1 Sistema de alimentación de fumigante

En lo concerniente al sistema de alimentación del fumigante, la preocupación se centró en las pérdidas debido a la gran distancia que el fluido debía recorrer y al reducido diámetro por el cual debía desplazarse, que conjuntamente con el caudal a usarse determinaban la capacidad de la bomba empleada. Valga la aclaración que este cálculo se lo realizó para comprobar que la bomba con la que la florícola disponía podría abastecer al sistema de suministro de fumigante que se diseñó (carretes), ya que no podía darse el caso de reemplazar una bomba (AR30) que estaba en buen estado a menos que su capacidad fuera insuficiente para el trabajo requerido.

Cálculo de pérdidas en la manguera.

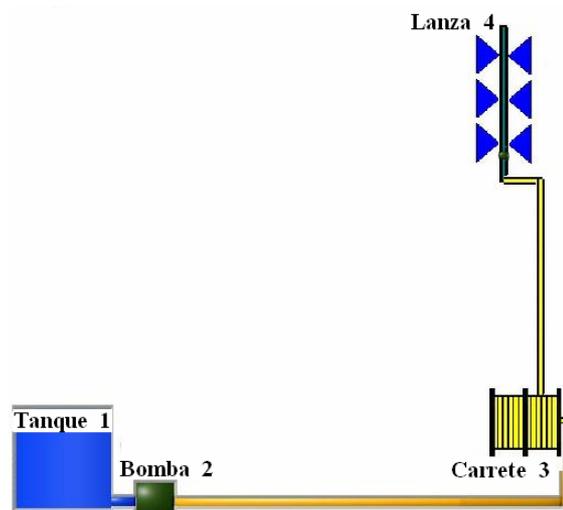


Figura 3.46 Esquema de circulación del fumigante

Pérdidas en tubería⁴

$$Q := \frac{8L}{45s}$$

$$Q = 1.778 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$Di := 8.5mm$$

$$Ar := \frac{\pi}{4} \cdot Di^2$$

$$Ar = 56.745mm^2$$

$$lm := 50m$$

$$v := 1.15 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$\gamma := 9.81 \frac{kN}{m^3}$$

Primer tramo (2-3)

$$v := \frac{Q}{Ar}$$

$$v = 3.133 \frac{m}{s}$$

$$NR := \frac{v \cdot Di}{\nu}$$

$$NR = 2.316 \times 10^4$$

$NR > 4000 \Rightarrow$ flujo turbulento

$$f := 0.024$$

Fórmula de Darcy

$$h_L := \frac{f \cdot lm \cdot v^2}{Di \cdot 2 \cdot g}$$

$$h_L = 70.65m$$

⁴ MOTT ROBERT, Mecánica de fluidos aplicada, caps. 9-10.

Segundo tramo (3-4)

Pérdida por curvatura

$$r_m := 150\text{mm}$$

$$\frac{r_m}{D_i} = 17.647$$

$$l_{eq} := 45$$

$$h_C := \frac{f \cdot l_{eq} \cdot v^2}{2 \cdot g}$$

$$h_C = 0.54\text{m}$$

$$h_C := h_C \cdot 4 \cdot 12 \cdot 4$$

$$h_C = 103.77\text{m}$$

Ecuación de Bernoulli

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_4$$

$$\frac{P_{s1}}{\gamma} + h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + h_A - h_L - h_C - h_R = \frac{P_{s4}}{\gamma} + h_4 + \frac{v_4^2}{2 \cdot g}$$

$$P_{s1} := 0$$

$$h_1 := 0$$

$$v_1 := 0$$

$$h_R := 0$$

$$P_4 := 50\text{psi}$$

$$h_4 := 2\text{m}$$

$$D4 := 6\text{mm}$$

$$A4 := \frac{\pi}{4} \cdot D4^2$$

$$A4 = 28.274\text{mm}^2$$

$$Q4 := \frac{Q}{4}$$

$$Q4 = 4.444 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$v4 := \frac{Q4}{A4}$$

$$v4 = 1.572 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h_A := \frac{P_{s4}}{\gamma} + h_4 + \frac{v4^2}{2 \cdot g} + h_L + h_C$$

$$h_A = 211.688\text{m}$$

$$h_A := h_A \cdot \gamma$$

$$h_A = 20.767\text{bar}$$

Si revisamos las características de la bomba en el Anexo E podemos ver que su capacidad es de 19L/s a 40 bar, lo que es más que suficiente para el sistema calculado.

3.5.2 Lanza Rociadora

La lanza rociadora si bien no presentaba una dificultad grande, debía ser bien diseñada ya que debía reemplazar a las lanzas que se utilizaban y debían acoplarse a la unidad principal.

La diferencia con las lanzas anteriores estaba en que aquellas tenían 3 boquillas de aspersión reunidas en un extremo de la lanza y el movimiento del trabajador era la que hacía posible abarcar la totalidad de los rosales; en cambio, las lanzas diseñadas debían conseguir el mismo efecto con el limitante de encontrarse fijas a una misma altura durante su recorrido longitudinal.

Dicho efecto se logró utilizando una lanza larga en posición vertical con boquillas repartidas a lo largo de la misma, fijándonos en el cono de aspersión de las nuevas boquillas, su presión de operación, el tamaño de gota y el caudal total.

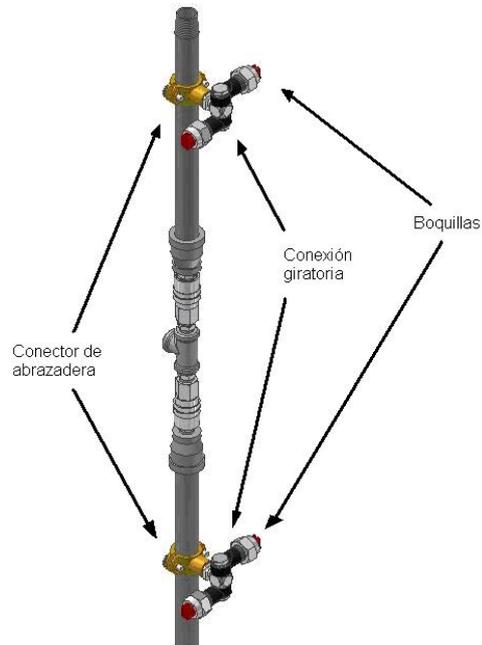


Figura 3.47 Lanza de fumigación

Los elementos que se muestran en la figura fueron indispensables para conformar la nueva lanza, así; las conexiones giratorias permiten fumigar hacia los dos lados de la unidad debido a la disposición central de la lanza, los conectores de abrazadera gracias a los cuales se logró acoplar los conectores giratorios a la lanza sin necesidad de colocar otros accesorios como uniones tipo T, y por último las boquillas de fumigación 110SF-04 marca Jacto con patrón de abanico plano las cuales rocían el líquido fumigante.

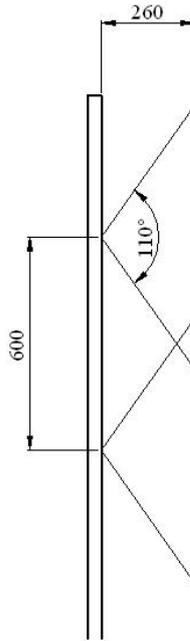


Figura 3.48 Conos de aspersión

Las boquillas fueron colocadas a una distancia de 60 cm entre sí teniendo en cuenta el cono de aspersión que se puede conseguir y la altura máxima que se debía alcanzar, colocando 4 conexiones giratorias a lo largo de la lanza cubriendo con esto el alto de las camas de rosas.

Además, dependiendo del tipo de fumigación, es decir, ya sea de botón, de penetración, de as o enves de hoja, se podrá tener un juego de lanzas que satisfagan todas las posibilidades mencionadas, fácilmente reemplazables mediante los acoples rápidos (FOSTER) desde la unidad principal.

3.6 Diseño del sistema eléctrico y selección de instrumentación básica

El sistema eléctrico se dividió en dos partes, una de potencia y otra de control.

Si bien el conjunto requiere para la parte de fuerza de dos tipos de voltaje, la alimentación primaria que llega al sistema de transporte es de la línea trifásica de 220V existente en todos los invernaderos, de la cual hacemos dos derivaciones a 110V para alimentar uno de los motores y el PLC utilizando un transformador y para el motor

restante, que usa la alimentación de línea se fabricará un sistema de escobillas que permitan enlazar la parte fija con la móvil.

Como se mencionó anteriormente e igual a como sucedía con la manguera, al tener la necesidad de que mientras el carrete gira la energía fluya hacia la unidad principal, se planteó un sistema de escobillas que constan de unas pistas fijas de bronce y unos carbones que permanecen en contacto mientras giran respecto a las primeras, proporcionando energía eléctrica ininterrumpidamente.

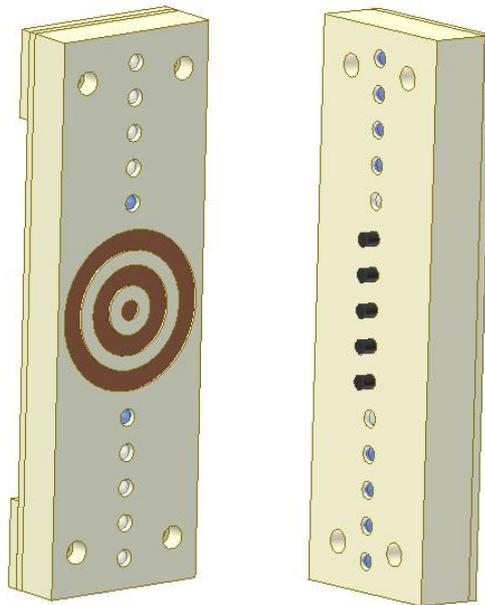


Figura 3.49 Disposición sistema de escobillas y sistema infrarrojo

Antes de proceder con la selección de los instrumentos que formarán parte del sistema de control, se debe detallar en que consiste el proceso a ser automatizado.

El proceso arranca dando una señal hacia la unidad principal la cual inicia su desplazamiento a través de las camas de rosas, la misma señal pone en marcha al motor del carrete permitiendo que este desenrolle la manguera, al llegar la unidad al final de su recorrido debe detenerse y empezar su retorno por el mismo camino, implicando una inversión de giro tanto en el motor de la unidad como en el del carrete, adicionalmente se tiene la condición de apertura de la válvula que controla la salida del líquido fumigante. Una vez que la unidad ha regresado a la posición de inicio, el proceso se detiene completamente hasta volverlo a reiniciar desde la siguiente ubicación. También

se contemplan dos posibilidades de fallo, que son: la primera que la unidad sufra algún tipo de interrupción durante su desplazamiento o bien que durante la fumigación exista falta de fluido, casos en los cuales se activa un paro de emergencia deteniendo automáticamente el proceso.

Por otra parte, siempre es necesario poder de alguna manera actuar directamente sobre el proceso, por lo cual se tiene controles manuales para que el operario pueda activar los actuadores en el orden necesario a fin de llevar a cabo el proceso.

Una vez que se tuvo claro el panorama respecto al control se enfocó la atención en la selección de: sensores, que alertasen al controlador sobre la necesidad de una acción en un momento dado; de actuadores, que llevasen a cabo las instrucciones enviadas desde el controlador; el cable de control, que tuviese la capacidad de llevar y traer todas las señales desde y hacia el controlador; del sistema de transmisión de datos, que permitiese pasar las señales de la parte fija a la móvil y viceversa; y del controlador, que fuese capaz de recoger y enviar las señales necesarias desde los sensores y hacia los actuadores.

Antes que nada se debe especificar que por facilidad todas las señales que se utilizaran son de tipo digital y que para unificar se manejan voltajes de 24 Vdc.

Sensores

Los sensores que se utilizarán con el fin de controlar el proceso trabajan a 24 Vdc y son los siguientes.

- Finales de Carrera que anuncian el principio y el fin del recorrido de la unidad en cada cama de rosas. Estos son del tipo ON/OFF con accionamiento multidireccional con vástago largo a resorte debido a la distancia que existe hacia el punto de accionamiento y a la fuerza ejercida sobre él.
- Sensor Inductivo que alerta si la unidad dejó de desplazarse a pesar de que el motor continúe encendido. Se encuentra en el eje seguidor de la unidad principal y es de tamaño reducido por el espacio físico en el cual debe estar alojado y su distancia de sensibilidad es corta por la misma razón.

- Sensor presencia de fluido que advierte la falta de fumigante durante la operación de fumigación. Este es un dispositivo fabricado específicamente para esta aplicación, no es más que un acople macho con rosca NPT hecho en duralón con dos terminales largos cilíndricos hechos en bronce insertados en el acople que al estar en contacto con el fumigante (el cual se comprobó que era conductor) hace las veces de interruptor cerrando el circuito que manda la señal al PLC.

Actuadores

- Contactores que realizan el arranque de los motores tanto de la unidad principal como del carrete y las inversiones de giro respectivamente, su activación es a 110Vac, sus contactos soportan 250Vac.
- Válvula Solenoide que abre y cierra el paso de líquido fumigante, la misma soporta una presión máxima de 10 bar y su activación es con 24 Vdc.

Cable de Control

- 50 metros de cable multipar con el número de hilos necesarios para la transmisión de todos los datos en este caso 8 conductores de AWG22.

Sistema de Transmisión de Datos

Se encarga de interconectar la parte fija y la móvil del sistema de control de tal manera que se logre evitar como se hizo con anterioridad la torcedura del cable.

Para conseguir esto se diseñó un sistema óptico infrarrojo (Véase figuras 3.49 y 3.50), que emita y recepte las señales que viajan por el cable desde y hacia la unidad principal. Dicho sistema posee una interfase electrónica que transforma las señales digitales de los elementos y las convierte a un voltaje que activa LED's infrarrojos y de manera inversa.

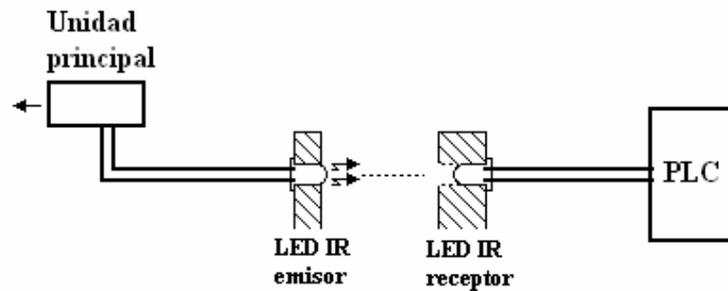


Figura 3.50 Esquema de transmisión infrarroja

Debido a que tanto la parte fija como la móvil necesitan de esta interfase, se elaboró circuitos electrónicos separados, de manera que pudieran ser montados en las dos partes, además en la unidad principal se puso una fuente de alimentación para los instrumentos, los cuales trabajan a 24Vdc y los circuitos como tal que manejan 12Vdc.

Detalle de los circuitos electrónicos

En primer lugar se debe mencionar que se trabaja con cinco señales, cuatro de las cuales provenientes de los sensores van desde la unidad principal hasta el controlador y una que va en sentido contrario para la activación del actuador, motivo por el cual se requiere de cuatro emisores y un receptor infrarrojos en el un lado y sus correspondientes en el otro lado.

Los esquemas son los siguientes:

Fuente y emisores

En esta placa se agrupan a la fuente rectificadora de alimentación y los circuitos que reciben las señales de los sensores transformándolas en luz infrarroja.

Este primer circuito es una fuente rectificadora de voltaje que toma 24Vac entregados por el transformador y por medio de puentes de diodos y circuitos integrados reguladores rectifica la onda y entrega finalmente voltajes (12 y 24 Vdc) libres de

fluctuaciones que puedan afectar a los circuitos y a los demás elementos. Ver Anexo N (planos eléctricos).

Los dos siguientes circuitos corresponden a las líneas que conectan las señales ON/OFF de los finales de carrera y las que provienen tanto del sensor inductivo como del sensor de presencia de fluido con los LED's emisores infrarrojos. En el caso de los finales de carrera se tiene además relés para un enclavamiento de la señal. Ver Anexo N (planos eléctricos).

A continuación se presenta como quedó configurada la primera placa impresa que contiene los circuitos anteriores.

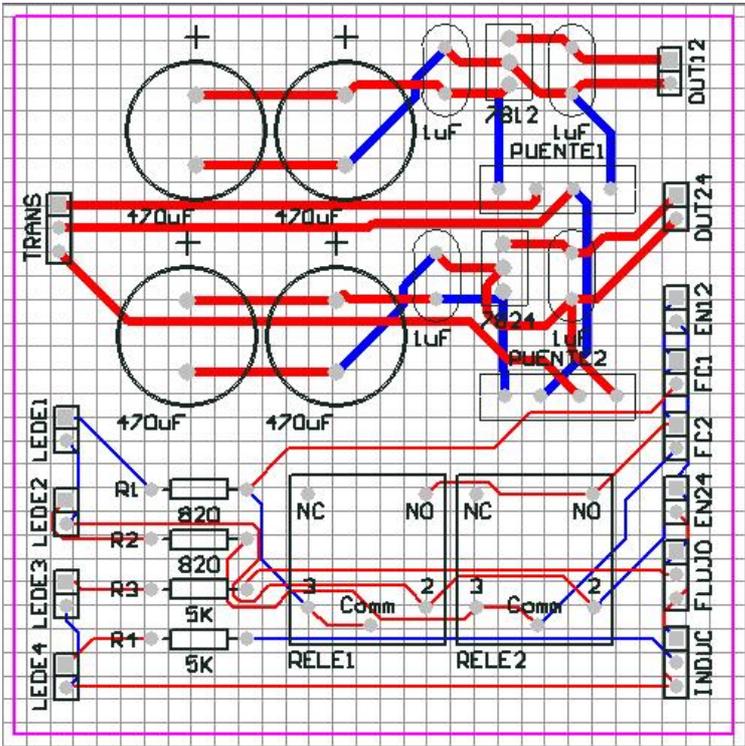


Figura 3.51 Circuito impreso para fuente rectificadora y LED's emisores

Receptor Solenoide

Este circuito permite que el receptor infrarrojo al recibir la señal desde el PLC, actúe sobre la solenoide. El mismo tiene un circuito integrado 555 que da un

enclavamiento temporizado de la señal, también tiene un circuito integrado 4013B conocido como flip - flop que permite encender la solenoide con un pulso y apagarla al recibir otro permitiendo el control manual de la misma. Finalmente tiene un circuito integrado LM339 que es un comparador lógico que traduce la señal infrarroja a un valor de voltaje que permite trabajar al circuito en su totalidad. Ver Anexo N (planos eléctricos).

Así quedó configurada la segunda placa impresa.

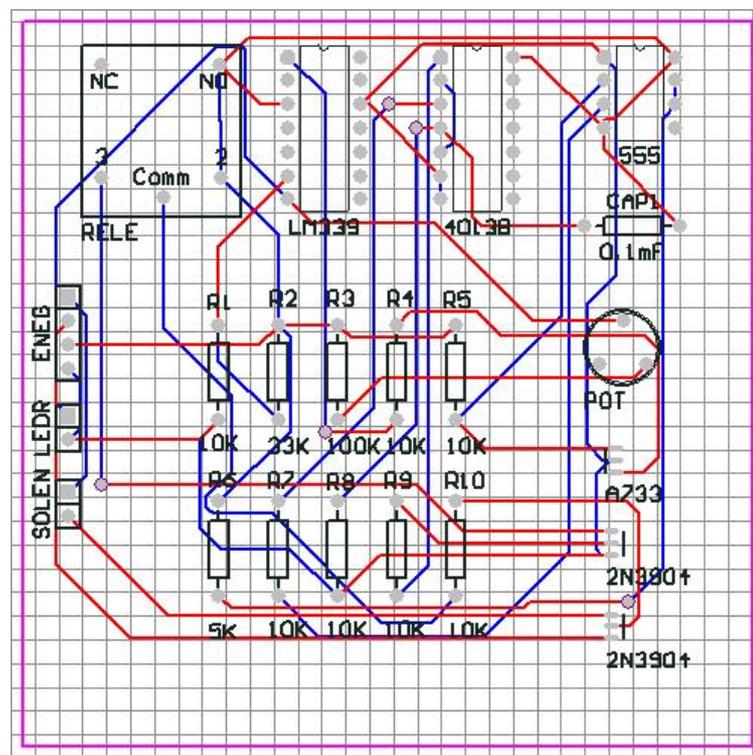


Figura 3.52 Circuito impreso para el control de la válvula solenoide

La razón por la cual los circuitos anteriores se encuentran en placas distintas a pesar de estar ambas junto a la unidad principal, fue la limitación de espacio físico.

Receptores y emisor solenoide

Esta placa se encuentra en el sistema de transporte y contiene los circuitos complementarios a los anteriores, es decir, para los cuatro receptores y un emisor

infrarrojos. Los circuitos mencionados contienen las líneas que traducen la señal infrarroja recibida a voltajes capaces de ser reconocidos por el PLC para ejecutar las acciones correspondientes, y al igual que en la unidad principal tienen para esto al elemento LM339 como comparador lógico, adicionalmente tienen relés de activación para llegar al PLC. Las líneas correspondientes al emisor son muy sencillas ya que a diferencia de la unidad principal quien emite el pulso es el PLC evitándose mayor complicación.

La configuración de la última placa impresa quedó de la siguiente manera.

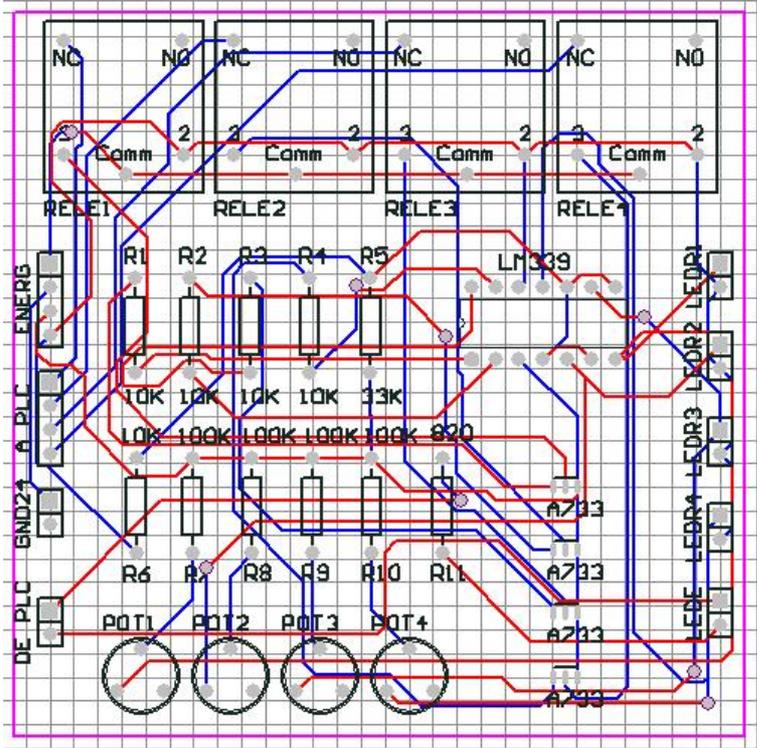


Figura 3.53 Circuito impreso para LED's receptores y LED emisor

Cabe anotar que las líneas de color azul en las placas impresas se encuentran en la parte anterior de la misma y las líneas de color rojo corresponden a las ubicadas en la parte posterior. Esto es para optimizar el tamaño de las placas.

Todos estos circuitos fueron realizados con un software llamado PROTEL DXP.

Elemento principal de control o controlador

PLC (Controlador Lógico Programable)

Recuérdese que al final del capítulo dos se definió que el elemento principal de control sería un PLC. Este es el encargado de dirigir el control automático del proceso de fumigación interactuando con los sensores y actuadores antes mencionados.

Existen en el mercado PLC's de diversas marcas entre las cuales podemos señalar SIEMENS, FESTO, TELEMECANIQUE, entre otras e incluso algunas sin marca definida.

De todas las opciones que se encontró, se escogió a la marca TELEMECANIQUE de Schneider Electric debido a que es la más empleada en el mercado nacional, muy reconocida y con gran respaldo, además fue en la que mayor variedad de controladores se encontró, su precio sin lugar a dudas fue el más conveniente de cara a sus altas prestaciones y principalmente se decidió trabajar con ella debido a que en la florícola ha habido proyectos en los cuales ya ha sido utilizada con resultados satisfactorios y la gente está familiarizada con su entorno y funcionamiento.

Dentro de la gama de controladores que TELEMECANIQUE tiene disponibles, se eligió uno de la familia TWIDO (TWDLCAA24DRF) el cual es un PLC compacto que tiene 14 entradas digitales y 10 salidas de relé las cuales son suficientes para la aplicación, además es el único PLC compacto con capacidad de 4 módulos de expansión ya que la idea es que el equipo pueda tener más de una unidad en funcionamiento en el futuro. Ver anexo F.

Se procuró que todos los elementos involucrados en el proceso de control fueran de una misma marca para evitar problemas de incompatibilidad. No obstante, la mayoría de elementos para control son compatibles por lo que se encontrarán elementos que no son necesariamente de dicha marca por no encontrarse en el mercado.

También se tiene elementos de protección debido a las variaciones de energía eléctrica que puedan afectar a los equipos, para lo cual se tiene transformadores de

control que reducen el voltaje de 220 a 110 Vac, además guardamotores y fusibles de respuesta rápida.

Tabla 3.3 Elementos de control y protección.

Elemento	Marca	Modelo	Referencia
PLC TWIDO	Telemecanique	TWDLCAA24DRF	Anexo F
Sensor inductivo	Telemecanique	XS5 *18B1L* PNP	Anexo G
Sensor de presencia de fluido	Fabricado por los autores		
Finales de carrera	Camsco Electric Corporation	AZ8169	Anexo H
Válvula solenoide	SMC	VXZ2240-04-5DZ	Anexo I
Contactores	Telemecanique	LC1D09	Anexo J
Guardamotor	Telemecanique	GV2-M01	Anexo J
Transformador de control (500W)	Lian Long	LLD500UB	
Transformador de control (100W)	Lian Long	LLD100UB	
Cable de control	Belden	9514	Anexo K

Programa realizado en TwidoSoft.

Este programa es el que ejecutará las rutinas desde el PLC. Ver anexo L.

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS

Una vez concluidos todos los cálculos de diseño y selección de los elementos que formarán parte del prototipo se realizará la descripción de todo aquello que tuvo que ver con el proceso de fabricación, la forma de montaje y las pruebas realizadas posteriormente.

4.1 Construcción del prototipo

Todo proyecto mecánico que implique la construcción de elementos requiere de una detallada explicación de los procesos que se llevarán a cabo y no solamente eso sino una clara secuencia de pasos a ser seguidos, facilitando así su construcción y ahorrando tiempo de procesamiento.

Para esto se han elaborado las respectivas hojas de proceso para las diferentes partes que conforman el conjunto final a ser ensamblado y los diagramas de proceso que indican el orden en el que deberán ser realizadas las operaciones.

Primeramente es necesario hacer una lista de los materiales que fueron utilizados para la construcción de las partes y además señalar que herramientas y equipos se emplearon.

Tabla 4.1 Lista de Materiales adquiridos en el mercado

Material	Cantidad	Proveedor
Angulo 25x25x3 mm	1 m	Acero Comercial
Eje acero de transmisión d = 1.5"	30 cm	Importcom
Eje acero de transmisión d = 3"	30 cm	Importcom
Eje de acero de transmisión d = 2"	10 cm	Importcom
Eje de Duralón C100 d = 30 mm	50 cm	Industrias Carrión-Alvarez
Lámina de acero e = 2mm	2 m ²	Importcom
Lámina de acero e = 3mm	250 cm ²	Acero Comercial
Lámina de acero e = 6mm	250 cm ²	Acero Comercial

Tabla 4.1 Lista de Materiales adquiridos en el mercado (Continuación)

Material	Cantidad	Proveedor
Plancha Duralón C100 e = 15mm	5 kg	Industrias Carrión-Alvarez
Pletina 25x4 mm	3 m	Acero Comercial
Tocho de bronce d = 2.5"	10 cm	Importcom
Tubo acero estructural d = ¾"	6 m	Acero Comercial
Tubo acero estructural d = 1"	3 m	Acero Comercial
Tubo cuadrado de acero 25x25x3 mm	5 m	Acero Comercial

Tabla 4.2 Lista de elementos normalizados

Elemento	Cantidad	Proveedor
Acople Foster	3u	EQUIAGRO
Acople girotorio	1u	EQUIAGRO
Acople para manguera de 3/8" a rosca ¼"	2u	MANGUERCOL
Banda HM 46	1u	BATRA
Boquillas	8u	EQUIAGRO
Bushing ½" - ¼"	2u	Acero Comercial
Cadena #25	1 m	Transmisión de Potencia
Cadena #35	2m	Transmisión de Potencia
Catalina #25 z15	1u	Transmisión de Potencia
Catalina #25 z42	1u	Transmisión de Potencia
Catalina #35 z13	1u	Transmisión de Potencia
Catalina #35 z29	1u	Transmisión de Potencia
Catalina #35 z32	1u	Transmisión de Potencia
Codo ¼"	2u	Acero Comercial
Codo reducido ½" - ¼"	1u	Acero Comercial
Conector de abrazadera	4u	EQUIAGRO
Conexión giratoria	4u	EQUIAGRO
Pernos varios		IMPORPERNOS
Polea de aluminio D = 138 mm	1u	Importadora Orbea
Polea de aluminio d = 29 mm	1u	Importadora Orbea
Reducción ½" - ¼"	4u	Acero Comercial
Rodamiento	1u	La casa del rulimán
Rodamientos	4u	La casa del rulimán
Rodamientos 6202	4u	La casa del rulimán
Rodamientos 6205	2u	La casa del rulimán
T ½" con reducción ¼"	1u	Acero Comercial
T ¼"	1u	Acero Comercial
Tapón hembra plástico ½"	2u	Acero Comercial
Tubería acero ¼"	50 cm	Acero Comercial
Tubería plástica ½"	2 m	Acero Comercial

Tabla 4.3 Lista de herramientas.

Herramienta	Características
Juego de llaves de boca	4 – 13 mm
Combo	Punta de acero y empuñadura de nogal
Cuchillas de torno	Tronzadora, de desbaste, de afinado, para interiores.
Entenalla	
Escuadra	
Flexómetro	Long. 5m, apreciac. 1mm
Juego de brocas de acero de alta velocidad	
Juego de destornilladores	Planos y Estrella
Juego de fresas	
Juego de llaves allen	
Juego de machuelos	M4 – M5 – M6
Llaves de torno	Llave de Mandril Llave de torreta
Pie de rey	Apreciac. 0.05mm
Puntos	
Rayador	
Regla de ingeniero	Apreciac. 0.5mm
Sierra de arco	18TPI
Soplete de pintura	
Terraja	½" NPT

Tabla 4.4 Lista de equipos utilizados

Equipo
Taladro de banco
Amoladora
Cizalla manual
Cortadora de plasma
Dobladora de tol
Dobladora de tubos
Esmeril
Fresadora vertical
Sierra circular
Soldadora MIG
Taladro de mano
Torno

Una vez que se tiene el material necesario para empezar la construcción de los elementos individuales se puede iniciar con los procesos de manufactura de los mismos.

Cada hoja de proceso especifica el tipo de operación a realizarse, las herramientas y maquinaria específicas involucradas y dentro de lo posible el tiempo que toma llevar a cabo esas operaciones. Ver Anexo M

4.1 Montaje del prototipo

Una vez que se tienen listas las partes que conformarán el conjunto es preciso tener en claro su forma de montaje o ensamblaje para de este modo ahorrar tiempo en esta operación, en especial si se quiere realizar su mantenimiento en el futuro.

Para esto se cuenta con la ayuda de los diagramas de proceso que indican el orden en el cual se van montando las piezas conforme se va terminando con su construcción. No obstante existen elementos normalizados que no aparecen en los diagramas, por lo que es importante señalar en que sitio de la secuencia de ensamblaje tienen su lugar. Además, otra guía que se tiene para el ensamblaje son los planos de despiece. Todas estas ayudas visuales aparecen adjuntas en los anexos.

Se empieza por la unidad principal que, como se puede ver en el anexo M, al finalizar las operaciones de maquinado de todos sus componentes el último paso a seguir es ensamblar, pero se indica este procedimiento de forma más explícita.

Unidad principal

- a) Se toma las dos piezas que forman los soportes laterales y se acoplan a los dos ejes (motriz y seguidor) por medio de los 4 rodamientos 6202z.



Figura 4.1 Ensamble de soportes laterales y ejes de la unidad principal

- b) A continuación este subconjunto se une por medio de 4 pernos M6x35mm a la pared.

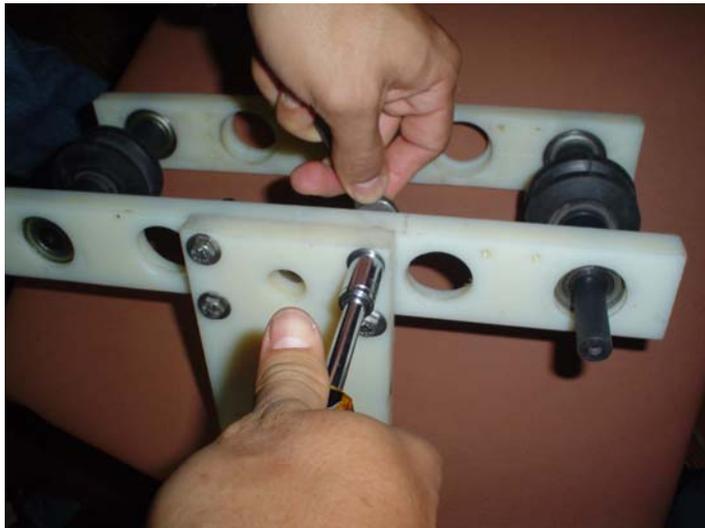


Figura 4.2 Ensamble de la pared de la unidad principal

- c) A su vez, dicha pared se sujeta con 3 pernos M6x35 a la base.



Figura 4.3 Ensamble de la base de la unidad principal

- d) Una vez que se tiene lista la estructura base de la unidad se da paso al montaje del moto reductor de 44W que se fija con 4 pernos M4x20 a la base.

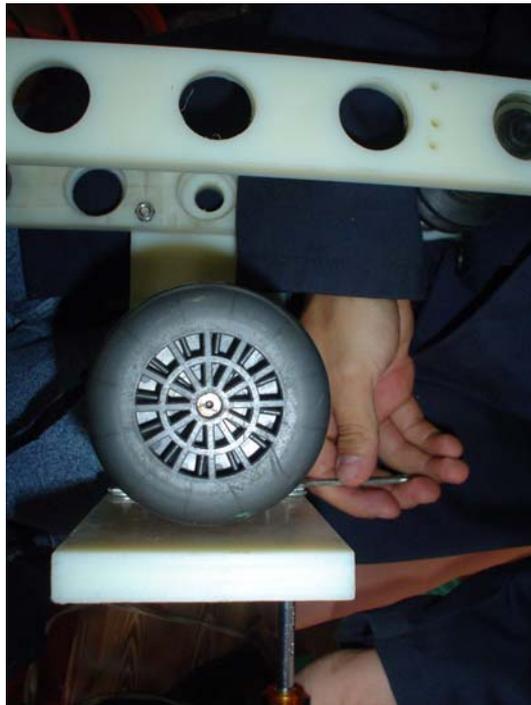


Figura 4.4 Ensamble del moto reductor de la unidad principal

- e) Posteriormente se ubica los tirantes que ayudan a dar buen soporte de la base y se los une a la pared y a la base con 4 pernos M6x35.

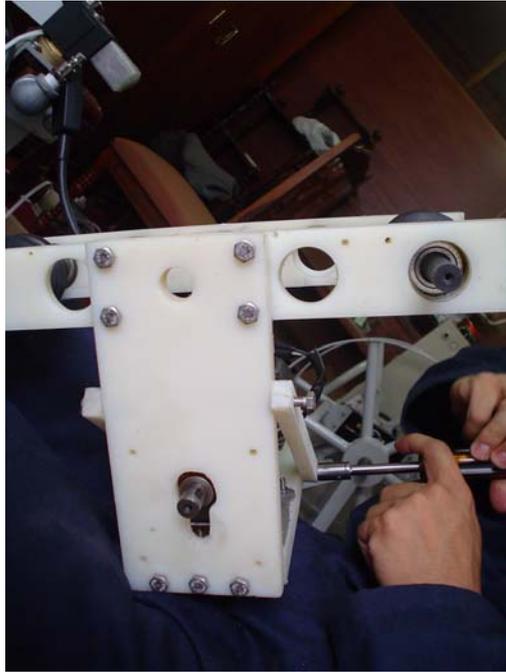


Figura 4.5 Ensamble de tirantes de la base de la unidad principal

- f) Luego se colocan las catalinas #25 en el eje del motor y en el eje motriz de la unidad respectivamente y se monta la cadena de transmisión.
- g) Por último se da lugar a la sujeción de los sensores y actuadores así como la caja de circuitos de control.

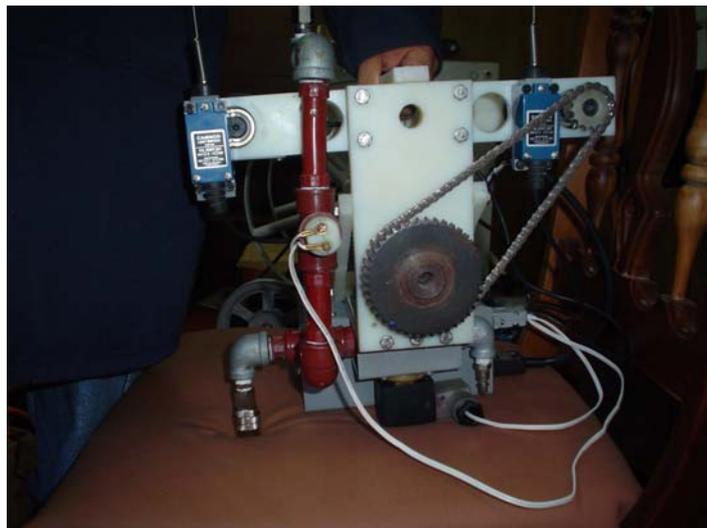


Figura 4.6 Unidad principal finalizada

Unidad de transporte

Del mismo modo como se describió brevemente el ensamblaje de la unidad principal, así mismo se hará un breve recuento de cómo se procedió para el ensamblaje de la unidad de transporte una vez que sus componentes fueron fabricados conforme a los diagramas y hojas de proceso.

- a) Se empezó por armar por completo el carrete multipropósito uniendo cada una de sus partes; al tambor se acoplaron los semiejes por medio de 2 rodamientos 6205-2z.



Figura 4.7 Ensamble del tambor del carrete con los semiejes

- b) En segundo lugar se juntó el tambor con las patas soporte ajustándolos por medio de 2 prisioneros M6x10.

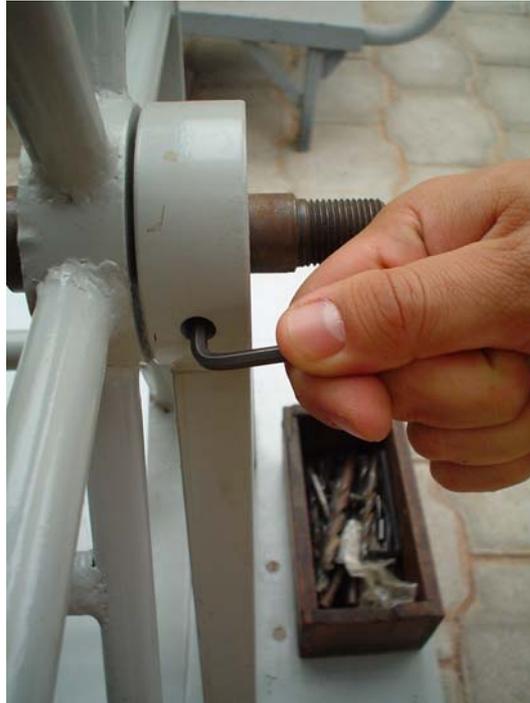


Figura 4.8 Ensamble del tambor y las patas soportes del carrete

- c) Después se pasó a unir a todo el carrete a la plataforma móvil por medio 4 de pernos M10x35.



Figura 4.9 Ensamble del carrete sobre la plataforma móvil

- d) Se sujetan también a la plataforma móvil el motor de $\frac{1}{2}$ hp y el motorreductor de $\frac{1}{4}$ de hp cada uno con 2 pernos M6x35 y 2 pernos M6x65 debido a su disposición.



Figura 4.10 Ensamble del motor del acomodador y templador a la plataforma móvil



Figura 4.11 Ensamble del moto reductor impulsor del carrete a la plataforma móvil

- e) A continuación se unieron entre si los subsistemas que corresponden al templador y acomodador con 4 pernos M5x45.



Figura 4.12 Ensamble del acomodador con el templador

- f) Este subconjunto se ubicó en la plataforma móvil sujetados con 3 pernos M6x65.



Figura 4.13 Ensamble del subconjunto de templador y acomodador sobre la plataforma móvil

- g) Una vez puestos todos los elementos mecánicos que interactuaban se dio paso a la colocación de las catalinas, cadena, poleas y banda restantes.



Figura 4.14 Ensamble de la catalinas



Figura 4.15 Ensamble de cadena



Figura 4.16 Ensamble de banda

- h) Finalmente se fijó a la plataforma móvil la caja que lleva los elementos de control y PLC con 4 pernos M8x35. Y conjunto en su totalidad queda conformado de la siguiente manera.



Figura 4.17 Unidad de transporte finalizada

4.2 Pruebas del prototipo

El fin de llevar a cabo pruebas es verificar el correcto funcionamiento del prototipo y saber si cumple a cabalidad con los objetivos planteados al iniciarse el proyecto.

Existen ciertos parámetros que han sido fijados como indicadores del desempeño del prototipo, con los cuales se ha desarrollado el siguiente plan de pruebas.

Funcionamiento de los circuitos electrónicos de interface

Objetivo:

- Comprobar el correcto funcionamiento de los circuitos electrónicos.

Procedimiento:

1. En primer lugar se conecta la fuente rectificadora y con la ayuda de un voltímetro se comprueba que a la salida se tenga 12Vdc y 24 Vdc estables.
2. En la misma placa impresa se conecta un pulsador en la entrada correspondiente al final de carrera 1 y una luz indicadora en la salida destinada al LED emisor infrarrojo.
3. Se da un pulso y se verifica que haya señal y que la misma quede enclavada.
4. Se repite los pasos 2 y 3 para el final de carrera 2.
5. Se repite los pasos 2 y 3 para el sensor inductivo y el sensor de presencia de fluido con la excepción de que la señal no debe quedar enclavada.
6. En la segunda placa impresa se conecta un LED receptor infrarrojo en la entrada correspondiente y con la ayuda de un circuito emisor infrarrojo simple con pulsador se comprueba con una luz indicadora que al recibir un pulso esta se encienda quedando enclavada y al dar otro pulso se apague y reaccione así con cada pulso dado.
7. Se dan pulsos cada cierto tiempo para comprobar el cambio de estado de la señal.
8. Finalmente en la tercera placa se conecta un LED receptor infrarrojo en la entrada correspondiente y con la ayuda del mismo circuito emisor y una luz indicadora se verifica con el encendido de esta que el circuito funciona.
9. Se repite el paso anterior para todos los receptores restantes de dicha placa.

Tablas y datos:

Tabla 4.5 Resultados obtenidos en la primera placa impresa

	Resultado		
PLACA 1			
emisor 1	ok		
emisor 2	ok		
emisor 3	ok		
emisor 4	ok		
PLACA 1	Intervalo (s)	Vmax	Vmin
Fuente 12Vdc	10	12.1	12.1
	10	12.1	12.1
	10	12.1	12.1
	10	12.1	12.1
Fuente 24Vdc	10	24.4	24.3
	10	24.4	24.4
	10	24.4	24.3
	10	24.4	24.3

Tabla 4.6 Resultados obtenidos en la segunda placa impresa

PLACA 2	intervalo (s)	Cambio de estado
Receptor solenoide	2	si
	2	no
	2	no
	2	no
	2	si
	5	no
	5	si
	5	no
	5	no
	5	no
	10	si
	10	no
	10	si
	10	no
	10	no
	10	si

Tabla 4.7 Resultados obtenidos en la tercera placa impresa

PLACA 3	Resultado
receptor 1	ok
receptor 2	ok
receptor 3	ok
receptor 4	ok
emisor 5	ok

Conclusiones:

- La fuente rectificadora es confiable sin presentar variaciones bruscas de voltaje.
- El circuito de interface de la válvula solenoide presenta cambios de estado no deseados por lo que es necesario su modificación o reemplazo.
- Los demás circuitos funcionaron sin inconvenientes según lo esperado.

Alineamiento de escobillas y diodos infrarrojos

Objetivo

- Comprobar la correcta alineación de las escobillas y de los diodos infrarrojos emisores con receptores respectivamente.
- Verificar que no haya variaciones ni pérdidas de voltaje durante la rotación del carrete.
- Comprobar que la transmisión de datos sea eficaz y no haya interferencia de una señal con otra.

Procedimiento

Se realizó dos tipos de procedimiento, el primero enfocado a la parte de potencia (escobillas) y el segundo a la parte de control (LED's IR).

1. Primero se alineó las placas que se fijan en la parte interior del tambor del carrete asegurándonos de mantener paralelismo y perpendicularidad entre las mismas.
2. Seguidamente se conectó un ohmetro a los terminales correspondientes a la entrada y salida de la escobilla y mientras se hacía girar manualmente al carrete se comprobó que en todo instante se tuviese continuidad.
3. Posteriormente se conectó la energía a los terminales de entrada de las escobillas y con la ayuda de un voltímetro se midió la salida de voltaje mientras se hacía girar de nuevo manualmente al carrete registrando medidas cada 20°.
4. Finalmente se midió la salida de voltaje mientras el carrete giraba a velocidad de operación evaluando que no haya caídas bruscas de tensión.
5. Los pasos 2, 3 y 4 se repiten con cada una de las líneas.

Para la parte de control se procedió de la siguiente manera:

1. Primero se alineó las placas que se fijan en la parte interior del tambor del carrete asegurándose de mantener paralelismo y perpendicularidad entre las mismas.
2. Se conecta los cables de energía y de control a la unidad principal.

3. Se enciende el sistema y se comprueba que las luces indicadoras del PLC correspondientes a los diodos infrarrojos se encuentren encendidas.
4. Se activa manualmente el final de carrera número uno y se observa que la luz indicadora correspondiente se apague y además que sea la única en apagarse.
5. Se gira el carrete 180° y se repite el paso anterior.
6. Se repite los pasos 4 y 5 para el segundo final de carrera, el sensor inductivo y el sensor de presencia de fluido.
7. Se pulsa el botón de activación de la solenoide y se comprueba que esta se encienda.
8. Se gira el carrete 180° y se repite el paso anterior.

Tablas y datos

Tabla 4.8 Medición de voltaje en las escobillas

Angulo	Línea 1		Línea 2		Línea 3	
	Conductividad	Voltaje	Conductividad	Voltaje	Conductividad	Voltaje
0	ok	217	ok	216	ok	217
20	ok	217	ok	215	ok	214
40	ok	218	ok	214	ok	216
60	ok	219	ok	216	ok	217
80	ok	219	ok	216	ok	216
100	ok	219	ok	215	ok	215
120	ok	218	ok	214	ok	215
140	ok	219	ok	214	ok	214
160	ok	217	ok	214	ok	214
180	ok	217	ok	215	ok	217
200	ok	218	ok	216	ok	216
220	ok	217	ok	216	ok	217
240	ok	217	ok	216	ok	216
260	ok	219	ok	214	ok	216
280	ok	219	ok	215	ok	214
300	ok	219	ok	214	ok	214
320	ok	218	ok	215	ok	215
340	ok	218	ok	215	ok	216
360	ok	218	ok	215	ok	217

Tabla 4.9 Comprobación de transmisión de señal infrarroja

	Angulo	Recepción de señal	Interferencia
Final de carrera 1	0	ok	Si
	180	ok	No
Final de carrera 2	0	ok	Si
	180	ok	No
Sensor inductivo	0	ok	No
	180	ok	No
Sensor de presencia de fluido	0	ok	No
	180	ok	No
Solenoides	0	ok	No
	180	ok	No

Conclusiones

- De acuerdo a las tablas presentadas, la variación de voltaje se encuentra dentro de un rango admisible sin ser una amenaza para los equipos.
- Como se ve en la tabla 4.8 existe una interferencia en la señal de los dos finales de carrera, encendiéndose más de una luz indicadora por lo que se tuvo que aislar de mejor manera los diodos infrarrojos.
- Una vez corregido el desperfecto todo trabajo eficazmente.

Funcionamiento de elementos mecánicos

Objetivos

- Comprobar el buen desempeño de todos los elementos mecánicos existentes en el prototipo.

Procedimiento

1. En primer lugar se procedió a conectar todos los sistemas mecánicos que tiene el conjunto.
2. Posteriormente se conectó la manguera y los cables al conjunto.
3. Se energizó los motores que dan impulso a los sistemas.
4. Se observó con cuidado que todo trabajó óptimamente, es decir, sin dificultades ni atascamientos, tanto al recoger como al soltar manguera.
5. Finalmente se enciende la bomba y se constata que no haya fugas especialmente en el acoplamiento del carrete.

Tablas y datos

Tabla 4.10 Comportamiento de los elementos mecánicos

Sistema	Observación
Unidad principal	Buena tracción sobre alambre, desplazamiento sin problemas y buen balance.
Carrete multipropósito	Giró sin dificultades
Transmisión de cadena	Sin dificultades
Motorreductor	Presentó falta de fuerza para enrollar la manguera
Acomodador y templador	Atascamiento de cables y manguera en la guía del acomodador durante el desenrollamiento.
Transmisión por banda	Sin dificultades
Acoples NPT	Sin fugas

Conclusiones

- Los motores y sistemas de transmisión no funcionaron adecuadamente, en especial al recoger la manguera debido a la falta de fuerza en el motorreductor.

- El sistema de acomodador y templador presentó atascamiento entre la manguera y la guía del acomodador por lo cual dicha guía tuvo que ser modificada de modo que la manguera deslice sin problemas.
- No existió fugas de líquido en los acoples ni la manguera, además se probó el buen sello de la válvula solenoide.

Velocidad de desplazamiento de la unidad principal

Objetivo

- Comprobar que el desplazamiento de la unidad sea uniforme.
- Ver que la unidad realice el recorrido en los tiempos previstos.

Procedimiento

1. Ubicar la unidad sobre el alambre al inicio de una cama de rosas.
2. Energizar la unidad.
3. Con la ayuda de un cronómetro y una cinta métrica, medir tiempos y distancias de desplazamiento.
4. Tabular los valores obtenidos y sacar la media aritmética.

Tablas y datos

Tabla 4.11 Medición de velocidad de desplazamiento

Distancia (m)	Tiempo	v (m/s)
5	8.41	0.595
5	7.8	0.641
5	7.19	0.695
5	7.15	0.699
5	7.37	0.678
5	7.2	0.694
5	7.32	0.683
5	7.33	0.682
5	7.29	0.686
5	7.22	0.693
	Media	0.675

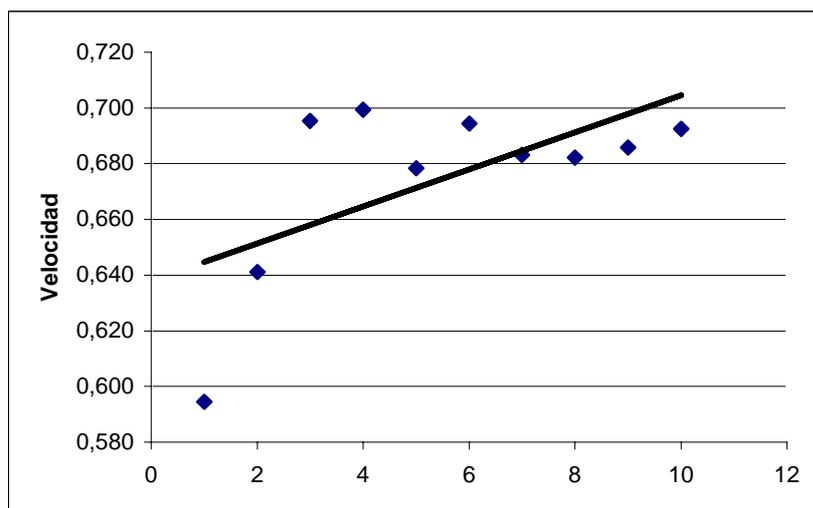


Figura 4.18 Dispersión obtenida en las 10 pruebas

Conclusiones

- Debido a la catenaria del alambre la unidad experimenta leves aumentos y disminuciones de velocidad, sin embargo esto no implica ningún inconveniente para el proceso de fumigación.
- La unidad mantuvo una regularidad en cuanto al tiempo empleado durante cada recorrido, indicando que la velocidad se mantuvo constante de una prueba a otra.
- La velocidad media de desplazamiento se encontró por encima de la velocidad prevista en los cálculos.

Funcionamiento de sensores, actuadores y control

Objetivo

- Probar la respuesta de los sensores y actuadores.
- Verificar el correcto funcionamiento del control automático y manual.

Procedimiento

1. Conectar todos los sensores y actuadores.
2. Encender el controlador.
3. Poner el selector en modo manual de control.
4. Activar los sensores y comprobar mediante las luces indicadoras su funcionamiento.
5. Activar mediante los pulsadores y selectores los actuadores correspondientes y verificar su funcionamiento.
6. Cambiar a modo automático de control y realizar un ciclo de proceso y verificar que las rutinas de programa realicen lo previsto.
7. Iniciar un nuevo ciclo y volver a comprobar su correcta operación.

Conclusiones

- Todas las señales fueron correctamente enviadas confirmando el buen funcionamiento de los sensores.
- De igual forma todos los actuadores funcionaron adecuadamente según lo esperado.
- El proceso en modo automático funcionó sin contratiempos comprobando la correcta programación del PLC.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO

Es preciso señalar que para determinar si un proyecto ha de llevarse a cabo o no, es fundamental realizar un estudio financiero del mismo, es decir, cuantificar por medio de los distintos índices económicos y financieros si el monto de dinero destinado para este propósito representará para la empresa una inversión rentable y si la es, cuan rentable resulta.

5.1 Análisis financiero

Para hacer una evaluación financiera es necesario determinar el monto de la inversión a realizarse, esto implica conocer el costo de llevar a la práctica el proyecto y además los ingresos y egresos que se generen con la implementación de éste.

Se van a realizar dos estudios financieros simultáneamente, uno de los cuales hará referencia al prototipo tal cual se encuentra desarrollado y construido para efectos prácticos y un segundo análisis el cual se ajusta a valores del proyecto tal como si ya estuviese en marcha, es decir, con todas las demandas y objetivos proyectados.

5.1.1 Presupuesto

A continuación se detalla los costos del proyecto por razón de materiales utilizados, mano de obra implicada en la construcción del prototipo y el costo por ingeniería. La inversión del prototipo difiere en algunos aspectos con la inversión real proyectada a implementarse por completo, dicha diferencia es marcada por considerarse dos máquinas en funcionamiento en lugar de una y por que los elementos que están en el prototipo son de segunda mano cosa que debe ser considerada y es de suma importancia.

Tabla 5.1 Inversión del proyecto (Prototipo)

Inversión	CANT	UNIDAD	C. UNIT.	C. TOTAL
Motor 1/2 hp	1	[U]	20,00	20,00
Motor minimotor 44W	1	[U]	120,00	120,00
Motor reductor 1/4 HP	1	[U]	150,00	150,00
Unidad de Duralón	1	[U]	200,00	200,00
Placas electrónicas	1	[U]	95,00	95,00
Elementos electrónicos	1	[U]	70,00	70,00
Unidad de transporte	1	[U]	250,00	250,00
Elementos de control	1	[U]		700,18
PLC	1	[U]	211,53	211,53
cable de datos y software	1	[U]	142,83	142,83
Contactores	5	[U]	19,07	95,36
Borneras	3	[U]	0,68	2,04
Botoneras	3	[U]	2,32	6,96
Selectores	2	[U]	2,50	4,99
Guardamotor	1	[U]	39,35	39,35
Fusibleras	6	[U]	5,05	30,29
Valv.Solenoides	1	[U]	39,84	39,84
Sensor inductivo	1	[U]	59,78	59,78
Finales de carrera	2	[U]	9,60	19,20
Caja de controles	1	[U]	48,00	48,00
Elementos normalizados	1	[U]		120,57
Catalina #25 z19	1	[U]	4,26	4,26
Catalina #25 z42	1	[U]	16,42	16,42
Catalina #35 z13	1	[U]	2,73	2,73
Catalina #35 z29	1	[U]	11,63	11,63
Catalina #35 z32	1	[U]	13,17	13,17
Poleas	1	[U]	5,00	5,00
Banda	1	[U]	4,25	4,25
Rodamientos	varios	[U]	26,00	26,00
Pernos	varios	[U]	9,15	9,15
Cadena #25	1	[m]	8,00	8,00
Cadena #35	1,5	[m]	11,33	17,00
Candados	2	[U]	1,48	2,96
Cables de alimentación	50	[m]	0,45	22,50
Cables de control	50	[m]	0,30	15,00
Alambre galvanizado	2757	[Kg]	1,02	2.812,14
Otros	1	[U]	200,00	200,00
Costos por ingeniería	2	Pers.	960,00	1.920,00
TOTAL INVERSIÓN				7.516,12

Tabla 5.2 Inversión del proyecto (Dos unidades)

Inversión	CANT	UNIDAD	C. UNIT.	C. TOTAL
Motor 1/2 hp	1	[U]	75,00	66,96
Motorreductor minimotor 60W	2	[U]	256,00	512,00
Motorreductor 3/4 hp	1	[U]	335,00	335,00
Unidad de Duralón	2	[U]	200,00	400,00
Placas electrónicas	2	[U]	95,00	190,00
Elementos electrónicos	2	[U]	62,5	140,00
Unidad de transporte	1	[U]	350,00	350,00
Elementos de control	1	[U]	959,44	959,44
PLC	1	[U]	211,53	211,53
Cable de datos y software	1	[U]	142,83	142,83
Contactores	5	[U]	19,15	95,76
Borneras	5	[U]	0,68	3,40
Botoneras	3	[U]	2,32	6,96
Selectores	2	[U]	2,50	4,99
Guardamotor	2	[U]	39,35	78,70
Fusibleras	6	[U]	5,05	30,29
Valv.Solenoides	2	[U]	38,08	76,16
Sensor inductivo	2	[U]	59,78	119,57
Finales de carrera	4	[U]	19,28	77,12
Módulo expansión 4 in 4 out	1	[U]	64,13	64,13
Caja de controles	1	[U]	48,00	48,00
Elementos normalizados	1	[U]	130,57	130,57
Catalina #25 z19	1	[U]	4,26	4,26
Catalina #25 z42	1	[U]	16,42	16,42
Catalina #35 z13	1	[U]	2,73	2,73
Catalina #35 z29	1	[U]	11,63	11,63
Catalina #35 z32	1	[U]	13,17	13,17
Poleas	1	[U]	5,00	5,00
Banda	1	[U]	4,25	4,25
Rodamientos	varios	[U]	36,00	36,00
Pernos	varios	[U]	9,15	9,15
Cadena #25	1	[m]	8,00	8,00
Cadena #35	1,5	[m]	11,33	17,00
Candados	2	[U]	2,96	2,96
Cable de alimentación	100	[m]	0,45	45,00
Cable de control	100	[m]	0,30	30,00
Alambre galvanizado	2757	[kg]	1,02	2812,14
Otros	1	[U]	200,00	200,00
Costo por ingeniería	2	Pers.	2000,00	4000,00
TOTAL INVERSIÓN				11261,12

Se debe anotar que en algunos ítems como son la unidad principal de Duralón y la unidad de transporte están incluidos los costos de la mano de obra para su manufactura.

5.1.2 Relación beneficio vs costo

Lo que se pretende en este subcapítulo es establecer que existe un balance positivo en la relación de beneficio sobre el costo del proyecto, es decir, que el beneficio obtenido a corto o mediano plazo sea superior al costo de la inversión, tomando en cuenta además los gastos operativos anteriores y posteriores a la implementación del mismo.

Con este motivo se realizó un flujo de caja comparando las dos situaciones, esto es la situación actual (sin implementación) y la situación nueva o futura (con la implementación), en primera instancia en el lapso de un año y posteriormente ampliado a un horizonte de 10 años. Ver tabla 5.3, 5.4 y 5.5.

Tabla 5.3 Flujo de caja mensual actual

SITUACIÓN ACTUAL	Año 1												
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
SUELDO FIJO	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	1485,0
DECIMO TERCERO									123,75				123,75
DECIMO CUARTO												123,75	123,75
TOTAL x EMPLEADO	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	247,5	123,75	123,75	247,5	1732,5
# EMPLEADOS	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
TOTAL NOMINA	371,25	371,25	371,25	371,25	371,25	371,25	371,25	371,25	742,5	371,25	371,25	742,5	5197,5

Tabla 5.4 Flujo de caja mensual con el prototipo

SITUACION NUEVA	Año 1												
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
SUELDO FIJO	165,00	165,00	165,00	165,00	165,00	165,00	165,00	165,00	165,00	165,00	165,00	165,00	1.980,00
DECIMO TERCERO									165,00				165,00
DECIMO CUARTO												165,00	165,00
TOTAL x EMPLEADO	165,00	165,00	165,00	165,00	165,00	165,00	165,00	165,00	330,00	165,00	165,00	330,00	2.310,00
# EMPLEADOS	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
TOTAL NOMINA	330,00	330,00	330,00	330,00	330,00	330,00	330,00	330,00	660,00	330,00	330,00	660,00	4.620,00
DEPRECIACION	- 62,63	- 62,63	- 62,63	- 62,63	- 62,63	- 62,63	- 62,63	- 62,63	- 62,63	- 62,63	- 62,63	- 62,63	-751,61
MANTENIMIENTO	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	200,04
ENERGIA	14,40	14,40	14,40	14,40	14,40	14,40	14,40	14,40	14,40	14,40	14,40	14,40	172,80
TOTAL PROYECTO	298,44	298,44	298,44	298,44	298,44	298,44	298,44	298,44	628,44	298,44	298,44	628,44	4.241,23

Tabla 5.5 Flujo de caja mensual proyectado a futuro

SITUACION NUEVA	Año 1												
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTALES
SUELDO FIJO	103,13	103,13	103,13	103,13	103,13	103,13	103,13	103,13	103,13	103,13	103,13	103,13	1.237,56
DECIMO TERCERO									103,13				103,13
DECIMO CUARTO												103,13	103,13
TOTAL x EMPLEADO	103,13	103,13	103,13	103,13	103,13	103,13	103,13	103,13	206,26	103,13	103,13	206,26	1.443,82
# EMPLEADOS	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
TOTAL NOMINA	206,26	206,26	206,26	206,26	206,26	206,26	206,26	206,26	412,52	206,26	206,26	412,52	2.887,64
DEPRECIACION	- 93,84	- 93,84	- 93,84	- 93,84	- 93,84	- 93,84	- 93,84	- 93,84	- 93,84	- 93,84	- 93,84	- 93,84	- 1126,11
MANTENIMIENTO	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	200,04
ENERGIA	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	345,60
TOTAL PROYECTO	157,89	157,89	157,89	157,89	157,89	157,89	157,89	157,89	364,15	157,89	157,89	364,15	2.307,17

Como se puede apreciar la diferencia sustancial que presentan las dos tablas anteriores con la primera son la reducción en primer lugar de un trabajador en el proceso, aumentando por otro lado costos debido al incremento de utilización de energía eléctrica, tiempo de operación y mantenimiento. Además un rubro por depreciación, que para este caso representa una deducción tributaria debido a la característica del proceso de ser una operación contable interna, por no generar movimiento de dinero fuera de la empresa.

Para dejar en claro las tablas anteriormente presentadas se ha de explicar en que consiste la variación principalmente en lo que se refiere a salario de los empleados y al costo por energía eléctrica.

En la primera situación, es decir, lo que actualmente se maneja en la florícola, el salario de un obrero de fumigación es de 165 USD/mes por jornada de 8 horas de las cuales destinan 6 horas exclusivamente para fumigación por lo cual el salario destinado a fumigación es de 123.75 USD con tres obreros en el proceso y obviamente no se incurre en gastos de energía eléctrica extras a lo que actualmente se consume. Con el prototipo se tiene un incremento en la carga horaria de un 33%, lo que significa en total 2 horas diarias debido a que no se alcanzó la velocidad óptima de desplazamiento, por lo tanto se debería acabar de fumigar en las 8 horas de jornada exigiendo un incremento al total de salario por fumigación quedando con el nominal de 165 USD/mes pero manteniendo únicamente a dos obreros en el mismo proceso y aumentando el consumo de energía eléctrica para su funcionamiento.

Finalmente se tiene la situación proyectada a futuro, la cual se plantea con los elementos finales que mejorarán el desempeño de la unidad acortando el tiempo y lo ideal es que un obrero manipule dos unidades simultáneamente, reduciendo la carga horaria en un 20% implicando una reducción de una hora diaria para completar la fumigación, conllevando las respectivas variaciones en el consumo de electricidad en el proceso, de igual manera se contempla quedar sólo con dos obreros.

A continuación se analizan las consecuencias de cada una de las dos situaciones nuevas comparadas con la actualidad en la florícola.

Tabla 5.6 Flujo de caja con horizonte a 10 años

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SITUACIÓN ACTUAL											
SUELDO FIJO		1.485,00	1.633,50	1.796,85	1.976,54	2.174,19	2.391,61	2.630,77	2.893,84	3.183,23	3.501,55
DECIMO TERCERO		123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75	123,75
DECIMO CUARTO		123,75	136,13	149,74	164,71	181,18	199,30	219,23	241,15	265,27	291,80
TOTAL x EMPLEADO		1.732,50	1.893,38	2.070,34	2.265,00	2.479,12	2.714,66	2.973,75	3.258,75	3.572,25	3.917,10
# EMPLEADOS		3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
TOTAL S. ACTUAL		5.197,50	5.680,13	6.211,01	6.794,99	7.437,36	8.143,97	8.921,25	9.776,25	10.716,7	11.751,3
SITUACIÓN NUEVA CON EL PROTOTIPO											
SUELDO FIJO		1.980,00	2.178,00	2.395,80	2.635,38	2.898,92	3.188,81	3.507,69	3.858,46	4.244,31	4.668,74
DECIMO TERCERO		165,00	165,00	165,00	165,00	165,00	165,00	165,00	165,00	165,00	165,00
DECIMO CUARTO		165,00	181,50	199,65	219,62	241,58	265,73	292,31	321,54	353,69	389,06
TOTAL x EMPLEADO		2.310,00	2.524,50	2.760,45	3.020,00	3.305,49	3.619,54	3.965,00	4.345,00	4.763,00	5.222,80
# EMPLEADOS		2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
TOTAL NOMINA		4.620,00	5.049,00	5.520,90	6.039,99	6.610,99	7.239,09	7.930,00	8.690,00	9.526,00	10.445,60
DEPRECIACION		- 751,61	- 751,61	- 751,61	- 751,61	- 751,61	- 751,61	- 751,61	- 751,61	- 751,61	- 751,61
MANTENIMIENTO		200,04	220,04	242,05	266,25	292,88	322,17	354,38	389,82	428,80	471,68
ENERGIA		172,80	172,80	172,80	172,80	172,80	172,80	172,80	172,80	172,80	172,80
SITUACIÓN NUEVA		4.241,23	4.690,23	5.184,14	5.727,43	6.325,06	6.982,44	7.705,57	8.501,01	9.375,99	10.338,47
AHORRO	- 7.516,12	956,27	989,89	1.026,88	1.067,56	1.112,31	1.161,53	1.215,68	1.275,24	1.340,76	1.412,83

Tabla 5.6 Flujo de caja con horizonte a 10 años (Continuación)

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SITUACIÓN NUEVA PROYECTADA A FUTURO											
SUELDO FIJO		1.237,56	1.361,32	1.497,45	1.647,19	1.811,91	1.993,10	2.192,41	2.411,65	2.652,82	2.918,10
DECIMO TERCERO		103,13	103,13	103,13	103,13	103,13	103,13	103,13	103,13	103,13	103,13
DECIMO CUARTO		103,13	113,44	124,79	137,27	150,99	166,09	182,70	200,97	221,07	243,18
TOTAL x EMPLEADO		1.443,82	1.577,89	1.725,36	1.887,59	2.066,03	2.262,32	2.478,24	2.715,76	2.977,02	3.264,41
# EMPLEADOS		2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
TOTAL NOMINA		2.887,64	3.155,78	3.450,73	3.775,18	4.132,07	4.524,65	4.956,49	5.431,51	5.954,04	6.528,81
DEPRECIACION		- 1.126,11	- 1.126,11	- 1.126,11	- 1.126,11	- 1.126,11	- 1.126,11	- 1.126,11	- 1.126,11	- 1.126,11	- 1.126,11
MANTENIMIENTO		200,04	220,04	242,05	266,25	292,88	322,17	354,38	389,82	428,80	471,68
ENERGIA		345,60	345,60	345,60	345,60	345,60	345,60	345,60	345,60	345,60	345,60
TOTAL S. NUEVA		2.307,17	2.595,31	2.912,27	3.260,92	3.644,44	4.066,30	4.530,36	5.040,82	5.602,33	6.219,99
AHORRO	- 11.261,12	2.890,33	3.084,82	3.298,75	3.534,07	3.792,93	4.077,67	4.390,89	4.735,43	5.114,42	5.531,31

Cabe resaltar que el beneficio financiero de este proyecto es cuantificable en términos de ahorro y no como ingresos, debido a la característica del mismo.

Se puede apreciar que en los dos flujos de caja, la introducción del prototipo y por ende la reducción de un obrero en la operación representa un ahorro neto anual para la empresa.

5.1.3 Tasa interna de retorno (TIR) – Valor actual neto (VAN)

Una vez realizado el flujo de caja del proyecto, se analiza por medio de los índices financieros más utilizados como son la tasa interna de retorno (TIR) que representa el porcentaje de ganancia que generará el proyecto en un lapso de tiempo determinado, el cual es comparado con una tasa de inversión que toda empresa pone como base a sus proyectos para tener una idea si el proyecto vale la pena o es preferible hacer otro tipo de inversión según el costo de oportunidad que se presente.

Este índice es calculado guiándose por la siguiente fórmula:

$$I = \frac{FC_1}{(1+TIR)^1} + \frac{FC_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+TIR)^n}$$

En donde: FC son los flujos de caja de cada período considerado

I es la inversión inicial del proyecto

TIR es la tasa interna de retorno que arroja el proyecto

Este valor fue calculado con la ayuda de la hoja de cálculo EXCEL y el resultado fue para el prototipo un valor de 8.08%. Y en el caso a futuro con una TIR de 28.72%. (Ver Anexo)

Si bien la TIR encontrada es alta, no es muy representativa para el proyecto debido al hecho de que no está basada en ingresos que pueda tener cualquier proyecto sino más bien en un ahorro, por lo que la única referencia que se tendría es una tasa pasiva, es decir la que se nos pague en un banco por nuestros ahorros haciendo algo irreal el resultado.

El otro índice en el que todo proyecto suele basarse es el VAN, que se enfoca en traer a valor presente todos los flujos que se han calculado para el horizonte dentro de los próximos 10 años y si ese valor es superior a la inversión realizada el proyecto es considerado como rentable. Ahora dicho valor es calculado con la siguiente fórmula.

$$VAN = \frac{FC_1}{(1+k)^1} + \frac{FC_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+k)^n} - I$$

En donde: FC son los flujos de caja de cada período considerado

I es la inversión inicial del proyecto

k es la tasa de descuento (tasa de rendimiento mínima a considerarse debido a la índole del proyecto y el riesgo país)

VAN es el valor actual neto

Como se hizo anteriormente este valor fue calculado con la ayuda de la hoja de cálculo EXCEL y el resultado fue de -1565.68 USD en el caso del prototipo, lo cual indica que el proyecto no es rentable a la capacidad de trabajo del prototipo y que si bien su introducción representa anualmente un ahorro la inversión no llega a pagarse en los 10 años de proyección.

Para el segundo caso el valor del VAN es de 8956.27 USD, teniendo un proyecto lo bastante rentable en términos de ahorro y beneficio, amortizando el valor del equipo en 4 años y obteniendo beneficio netamente a final del quinto año. Debe considerarse que la inversión no es mucho mayor a la del prototipo teniendo un cambio drástico en términos financieros positivos. La razón para esto son los beneficios de dos unidades a su capacidad real y además que el mayor costo en la inversión es el alambre a tender necesariamente en los invernaderos, mas no en costos de la unidad de fumigación propiamente dicha.

Como es de suponerse un proyecto se espera sea pagado por si sólo en un tiempo no muy largo y es el punto para el cual el VAN tiene su punto de inflexión al volverse positivo. Considerando esto la mejor alternativa sería la segunda propuesta, en el cual el tiempo estimado para este proyecto resultaría pasado el cuarto año.

5.2 Análisis económico

Si bien los índices financieros anteriormente calculados ayudan a predecir si el proyecto será rentable y si valdría la pena su ejecución, es posible dar un enfoque más amplio en cuanto al entorno económico dentro de la empresa. De este modo, se podría destinar al trabajador que se está reemplazando a otra área complementaria dentro de la plantación o considerar el estudio financiero que está realizado para dos unidades manejadas por un único trabajador, incidiendo positivamente a la economía interna de PIAVERI.

Un último factor a ser tomado en cuenta y como se mencionó en los primeros capítulos es un aporte social del proyecto ya que se reduciría el contacto de los obreros con los productos químicos utilizados para la fumigación que por su toxicidad pueden llegar a ser nocivos para la salud.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

1. La realización del presente trabajo ha dejado como resultado en primer lugar la obtención de los objetivos planteados en su inicio
2. Se encontró una solución viable para la automatización del proceso de fumigación en invernaderos
3. Se construyó un prototipo funcional evaluando el desempeño del mismo.
4. Se complementó de una manera práctica y completa la formación profesional de quienes realizaron este trabajo tecnológico e investigativo.
5. Se ha logrado determinar también que la industria ecuatoriana no posee la infraestructura necesaria para llevar a cabo de una manera rápida y eficiente un proyecto fuera de lo común.
6. Del mismo modo, tras este período de estudio se puede afirmar que el desarrollo tecnológico de las comunicaciones es una gran ventaja ya que las falencias encontradas en el mercado nacional pudieron ser resueltas mediante ayudas globales como lo es el Internet por citar un ejemplo.
7. La solución presentada es la mejor de entre las que analizamos dada las limitaciones financieras impuestas.
8. Se puede hacer mejoras al proyecto pero se requiere un mayor nivel de control con un costo superior.

9. Los proyectos novedosos dan una gran oportunidad para desarrollar la creatividad y ejercer nuestros conocimientos.

6.2 Recomendaciones

1. Construir el fumigador propiamente dicho y hacer uso de Él al ver que los resultados del análisis financiero y económico son positivos.
2. Es de mucha importancia que al llevarse a cabo cualquier proyecto que involucre construcción de elementos mecánicos se busque un taller que tenga buenos equipos, herramientas y personal calificado para evitar demoras y trabajos mal realizados.
3. Se recomienda que si no se tiene conocimientos sobre alguna materia complementaria sobre algún proyecto, primeramente se instruya al respecto o consulte con un profesional en el campo.
4. Es de vital importancia que para el correcto desempeño de la máquina se sigan los pasos descritos en el manual de usuario y mantenimiento.
5. Una sugerencia que puede ser útil y complementaria con lo realizado en este trabajo es la adaptación de un sensor de nivel para el control de la bomba, con lo cual podría eliminarse del proceso al operario que siempre se encuentra junto a la bomba.
6. Queda a criterio de la empresa hacer los cambios que se muestran en el análisis financiero para aprovechar de mejor manera el proyecto. La utilización de elementos nuevos que cumplan con los requerimientos planteados, es decir, el cambio de los moto reductores principalmente.

RESUMEN

En síntesis, el trabajo desarrollado deja como resultado un prototipo semiautomático para fumigación de rosas bajo invernadero, respondiendo a la necesidad primordial de dar un impulso tecnológico en una tarea cotidiana en la industria floricultora nacional, con el valor agregado de velar por la salud de los obreros que ejecutan hoy en día esa labor, alejándolos parcialmente de las sustancias químicas utilizadas.

El estudio técnico – investigativo se lo llevó a cabo de una manera teórico – práctica, aplicando los conocimientos adquiridos durante los años de estudio y basados en la experiencia propia y ajena dados los casos. Se empleó además todas las herramientas disponibles, unas tradicionales y otras que gracias a la tecnología de hoy en día facilitan el trabajo de quienes las tienen a la mano y saben aplicarlas.

Las diferentes fases por las que se pasó van desde la identificación del problema, pasando por un análisis completo de los parámetros principales que involucró el proceso a ser satisfecho, de tal modo que se contara con opciones manejables, extrayendo la mejor alternativa para así ser posteriormente desarrollada en sus etapas de diseño y construcción.

Como conclusión general se puede decir que la máquina construida cumplió con la meta planteada de manera práctica y funcional, pudiendo con ella satisfacer la tarea de fumigación para la cual fue creada, no obstante el prototipo no es más que una muestra de un proyecto que puede ser más completo.

BIBLIOGRAFÍA

- **ROBERT L. NORTON.** Diseño de máquinas. Primera edición. México. PRENTICE HALL. 1999.
- **SHIGLEY J.E. Y MISCHKES C.R.** Diseño en Ingeniería Mecánica. Traducido del inglés por Javier León Cárdenas. 6ta. Ed. México. McGraw-Hill. 2002.
- **ROBERT L. MOTT.** Mecánica de Fluidos Aplicada. Cuarta edición. México. PRENTICE HALL. 1999.
- **MARKS.** Manual del Ingeniero Mecánico. Traducido del Inglés por Francisco G. Noriega, J. E. de la Cera Alonso, Ma. Teresa Aguilar O, Novena edición. México. McGraw-Hill 1995.
- **SINGER F. L.** Resistencia de Materiales. 2da ed. México. Harla. 1991.
- **WILLIAM F. SMITH.** Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. 3ra ed. Madrid. McGraw-Hill. 1998.
- **VARELA VILLEGAS RODRIGO.** Evaluación Económica de Proyectos de Inversión. Sexta edición. Colombia. Grupo editorial Iberoamérica. 1997.
- **BREALEY RICHARD.** Principio de Finanzas Corporativas. Cuarta edición. Colombia. McGraw-Hill. 1993.
- **NTE INEN.** Código de Dibujo Técnico – Mecánico. Quito. 1981.
- **CATÁLOGO DE CATALINAS Y CADENAS.** Browning. 1990.
- **CATÁLOGO DE BOQUILLAS.** Spraying system. 1995.
- **CATÁLOGO DE CABLES,** BELDEN, 2003.

- www.minimotor.it. Selección de moto reductores de bajo peso y tamaño. Inglés. 2004.
- www.skf.com. Selección de rodamientos. Español. 2005.
- www.belden.com. Selección de cables para control y potencia. Inglés. 2005.
- www.telemecanique.com. Selección de elementos de control. Inglés. 2005.
- www.co_of_friect.htm. Coeficientes de fricción. Español. 2003.

ANEXOS

- ANEXO A. Propiedades del Duralón.
- ANEXO B. Coeficientes de fricción.
- ANEXO C. Catálogo Browning para cálculo y selección de cadenas y catalinas.
- ANEXO D. Catálogo SKF para selección de rodamientos.
- ANEXO E. Catálogo de bomba AR30.
- ANEXO F. Manual del controlador compacto TWIDO.
- ANEXO G. Catálogo Telemecanique Osiprox. Detectores de proximidad inductivos y capacitivos.
- ANEXO H. Catálogo Telemecanique Osiswitch. Interruptores de posición.
- ANEXO I. Catálogo válvula solenoide serie VXZ.
- ANEXO J. Catálogo Tesys. Protección y control de potencia.
- ANEXO K. Catálogo de cables Belden.
- ANEXO L. Programa para controlar el ciclo de fumigación.
- ANEXO M. Hojas y diagramas de procesos.
- ANEXO N. Planos.
- ANEXO O. Manual usuario y mantenimiento.
- ANEXO P. Carta de satisfacción por parte de la empresa auspiciante.