



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

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

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA
AUTOMÁTICA DE ORUGAS PARA MOVILIZAR UNA SILLA DE
RUEDAS A TRAVÉS DE ESCALERAS.”**

**AUTORAS: NANCY ELIZABETH TIPANLUISA CUASQUER
IVONE ESTEFANÍA VILLACÍS TOAPANTA**

**DIRECTOR: ING. SANTILLÁN, ERNESTO
CODIRECTOR: ING. MANJARRÉS, FÉLIX**

LATACUNGA

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
CERTIFICADO

ING. ERNESTO SANTILLÁN (DIRECTOR)

ING. FÉLIX MANJARRÉS (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado **“Diseño y construcción de una estructura automática de orugas para movilizar una silla de ruedas a través de escaleras”** realizado por las señoritas: NANCY ELIZABETH TIPANLUISA CUASQUER e IVONE ESTEFANÍA VILLACÍS TOAPANTA, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Latacunga, Abril del 2015.

ING. ERNESTO SANTILLÁN
DIRECTOR

ING. FÉLIX MANJARRÉS
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

NANCY ELIZABETH TIPANLUISA CUASQUER

IVONE ESTEFANÍA VILLACÍS TOAPANTA

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado titulado **“Diseño y construcción de una estructura automática de orugas para movilizar una silla de ruedas a través de escaleras”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme a las referencias que constan en las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Abril del 2015.

NANCY TIPANLUISA CUASQUER
C.C.: 05002877681

IVONE VILLACÍS TOAPANTA
C.C.: 0502883879

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
AUTORIZACIÓN

NANCY ELIZABETH TIPANLUISA CUASQUER
IVONE ESTEFANÍA VILLACÍS TOAPANTA

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo denominado titulado **“Diseño y construcción de una estructura automática de orugas para movilizar una silla de ruedas a través de escaleras”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Abril del 2015.

NANCY TIPANLUISA CUASQUER
C.C.: 05002877681

IVONE VILLACÍS TOAPANTA
C.C.: 0502883879

DEDICATORIA

El presente trabajo que ha sido fruto de mi esfuerzo y dedicación se lo dedico a mis padres Gregorio y Martha por brindarme siempre su amor y ser un gran ejemplo de lucha y trabajo constante para salir adelante.

A mis hermanos Dianita y Dieguito por siempre estar a mi lado y darme una palabra de aliento cuando lo he necesitado.

A mis familiares que siempre han estado pendientes de mi avance y de una u otra manera han sido mi apoyo para poder realizar este proyecto.

A mis abuelitos Alejandro, Manuela y Sabina que son mis ángeles, que desde el cielo me han llenado de sus bendiciones cada día a mí y a toda mi familia.

Nancy Elizabeth
neliza_t@hotmail.com

Mi presente logro Profesional dedico a mis padres, Augusto y Rosita por brindarme la vida y la dicha de estar hoy aquí, por su ejemplo a superarme cada día, por los valores que en mi han inculcado, por regalarme la gran herencia de la vida la educación. A mis hermanos Rommel y Ariel por ser el complemento en mi vida, a Sandrita por ser más que mi cuñada mi hermana, mi amiga incondicional. A mi sobrinita Romina niña de mis ojos, angelito que llego en el mejor momento a cambiarnos la vida.

Ivone Estefanía
ievillacis@gmail.com

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a mi Dios por brindarme su bendición cada día y permitirme culminar este trabajo con éxito.

A mis padres por todo el esfuerzo que han realizado para que pueda culminar con mis estudios y ser mi guía y ejemplo de vida.

A mis hermanos por ser una razón en mi vida que me anima siempre a salir adelante y estar a mi lado en cada momento.

A mi tía Charito por ser una mujer fuerte y luchadora que ha sido mi ejemplo a seguir e inspiración, por todo su enorme sacrificio, toda su ayuda y valiosos consejos que han sido muy importantes en todo el transcurso de mi vida.

A todos mis familiares que siempre me animaron, se preocuparon por mí y estuvieron a mi lado para apoyarme.

A mi amiga Ivonchis por todo su esfuerzo, paciencia e incondicional amistad, por todos los momentos buenos y malos que hemos compartido juntas, pero sobre todo por compartir esta gran alegría al culminar juntas una etapa de nuestras vidas. Nunca olvidaré tu gran apoyo y tu linda amistad. Que Diosito siempre te colme de bendiciones y te acompañe siempre en la realización de cada una de tus nuevas metas.

A mis grandes amigos Pao, Yess, Pame, Wilmer, Dianita, Cristian, Mary, Ney, Fabricio, Juan, por haber compartido una linda amistad, que con el pasar del tiempo ha ido creciendo, con su compañía han hecho que este camino sea mucho más divertido. Por los recuerdos que durante todos estos años hemos ido creando. Siempre los llevare en mi corazón.

Nancy

neliza_t@hotmail.com

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme permitido culminar mis estudios a través de los años y ahora poder agradecer por un día más de vida, a mis padres Augusto y Rosita por todo el apoyo incondicional en el trajinar de mi vida, por guiarme en cada paso de vida infinitamente agradecida, gracias a ustedes llegue a obtener mi profesión, con sacrificio, paciencia, perseverancia, amor, responsabilidad, valores que en mi han inculcado, que Diosito siempre les cuide y les brinde muchos años más de vida son mi mejor ejemplo de vida.

A mis hermanos Rommel y Ariel gracias por ser mi soporte a cada lado por brindarme su apoyo moral, afectivo, que es fundamental en la vida del ser humano, a Sandrita que se ha convertido más que cuñada en mi hermana que nunca tuve gracias por tus palabras de aliento, cariño, hacia mi persona.

A mi sobrina Romina agradecida a la vida y a Dios porque llegaste a cambiar mi vida, en medio de tanto dolor, tu pureza, tu ternura da luz a mi vida.

A mis amigos Diana, Mary, Pame, Yess, Pao, Cristian, Wilmer, Ney, Fabricio, Juan por ser en este camino estudiantil mi segunda familia gracias por ser amigos verdaderos que siempre llevare en mi corazón, por cada una de las cosas que hemos convivido ya sea logro, fracasos, pero el apoyo como familia siempre perduro y ahora vivirá por siempre una eterna amistad.

A mi querida amiga Nancy como olvidarme de ti gracias por esa paciencia, confianza, comprensión, en el logro que hemos conseguido que Dios y la virgen santísima te bendiga por el camino que recorras, este trabajo ha sido arduo pero la fe y la esperanza en Dios nos ayudado a seguir y no desmayar.

Ivone Estefanía
ievillacis@gmail.com

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
CERTIFICADO	ii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT.....	xxii
PRESENTACIÓN.....	xxiii
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1. Sistemas automatizados para movilizar sillas de ruedas en gradas	1
1.1.1. Historia de las sillas de rueda.....	1
1.1.2. Silla de oruga salvaescaleras	1
1.1.3. Elevadores verticales para poca altura	2
1.1.4. Salvaescaleras recto fijo.....	3
1.1.5. Silla Tanque o Todo Terreno	3
1.2. Ventajas y desventajas del empleo de Sistemas automatizados para movilizar sillas de ruedas en gradas.....	4
1.3. Ventajas y desventajas del empleo de orugas.....	6
1.4. Ventajas y desventajas del empleo de ruedas	7

1.5.	Tipos de estructuras de sillas de ruedas.....	9
1.5.1.	Sillas de ruedas manuales.....	9
1.5.2.	Sillas manuales para tránsito.....	10
1.5.3.	Sillas de ruedas eléctricas.....	11
1.5.4.	Sillas tipo scooter.....	12
1.5.5.	Sillas para deportes.....	13
1.5.6.	Silla para Pararse.....	14
1.5.7.	Sillas de ruedas para la playa.....	15
1.5.8.	Sillas de ruedas bariátricas.....	16
1.6.	Proceso de funcionamiento del sistema de movilización en gradas con silla de ruedas Automatizado.....	17
1.7.	Normas que rigen el diseño y construcción de sistemas de movilización en gradas.....	18
CAPÍTULO II.....		19
ESTADO DEL ARTE.....		19
2.1.	Sistemas fabricados en el país.....	19
2.2.	Sistemas disponibles internacionalmente.....	19
2.3.	Máquinas de movilización automáticas.....	19
2.3.1.	Oruga salvaescalera Stairmax.....	20
2.4.	Dispositivos de movilización semiautomáticos.....	21
2.4.1.	Oruga salvaescalera Standard.....	21
2.4.2.	Oruga salvaescalera Pública.....	22
2.5.	Dispositivos de movilización manual.....	23
CAPÍTULO III.....		25
ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO.....		25

3.1.	Consideraciones para la determinación de las especificaciones	25
3.1.1.	Restricciones.....	25
3.2.	La casa de la calidad	27
3.2.1.	Voz del usuario.....	27
3.2.2.	Voz del ingeniero.....	28
3.3.	Resultados.....	28
3.4.	Conclusiones de la casa de la calidad.....	30
3.5.	Especificaciones técnicas del sistema.....	31
CAPÍTULO IV		32
DEFINICIÓN Y DISEÑO CONCEPTUAL		32
4.1.	Análisis funcional.....	32
4.1.1.	Definición del análisis funcional	32
4.1.2.	Desarrollo de los diagramas funcionales	33
4.1.3.	Análisis de los diagramas funcionales.....	34
4.1.4.	Definición de módulos.....	35
4.2.	Soluciones para cada módulo	38
4.2.1.	Módulo 1.....	38
4.2.2.	Módulo 2.....	45
4.2.3.	Selección de la mejor alternativa.....	48
CAPÍTULO V.....		52
CÁLCULO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES		52
5.1.	Consideraciones para los estudios por elementos finitos	52
5.1.1.	Verificación de la convergencia	52
5.1.2.	Mallado.....	53
5.1.3.	Condiciones de contorno	54

5.2.	Cargas aplicadas sobre el sistema.....	54
5.3.	Justificación del mallado	62
5.3.1.	Cálculo tubo estructura espaldar.....	67
5.3.2.	Cálculo del tubo para pivote	69
5.3.3.	Cálculo placa para soporte motores.....	73
5.4.	Análisis estático del conjunto estructural	77
5.5.	Análisis dinámico del sistema	78
5.5.1.	Distribución de cargas del sistema automático con orugas.	78
5.5.2.	Ubicación del centro de gravedad	80
5.5.3.	Caso 1	81
5.5.4.	Caso 2	84
5.5.5.	Caso 3	88
5.5.6.	Cálculo potencia motores	91
5.6.	Cálculos para el eje acople del motor.....	92
5.6.1.	Diseño a fatiga del eje	99
5.6.2.	Análisis estático estructural del eje	103
5.6.3.	Análisis modal del eje.....	105
5.6.4.	Análisis Harmonic Response.....	107
5.6.5.	Análisis Transient.....	109
5.7.	Cálculos para la banda de transmisión	113
5.8.	Cálculo para poleas dentadas.....	117
5.9.	Cálculo soldadura	120
	CAPÍTULO VI	122
	CONTROL DEL SISTEMA AUTOMÁTICO CON ORUGAS.....	122
6.1.	Introducción.....	122

6.2.	Requerimientos para el control de la máquina	122
6.3.	Restricciones para el control de la máquina	122
6.4.	Análisis de las Alternativas para el sistema automático con orugas	123
6.4.1.	Elementos para la locomoción del sistema.....	123
6.4.2.	Etapas de control	126
6.4.3.	Etapas de comunicación.....	131
6.4.4.	Etapas de potencia.....	133
6.4.5.	Etapas de alimentación.....	137
6.5.	Selección de la mejor alternativa para el control del sistema automático con orugas	138
6.6.	Desarrollo del sistema de control	141
6.6.1.	Control Remoto.	142
6.6.2.	Etapas de control	146
6.6.3.	Etapas de potencia.....	151
CAPÍTULO VII.....		153
ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN DEL SISTEMA		153
7.1.	Diseño de para la manufactura (Riba Romeva, 2002).....	153
7.1.1.	Guía de referencia para piezas torneadas.....	153
7.1.2.	Guía de referencia para piezas taladradas:.....	154
7.1.3.	Guía de referencia para piezas fresadas:.....	154
7.1.4.	Guía de referencia para diseño de conjuntos soldados	155
7.2.	Diseño para el entorno (DFE).....	155
7.2.1.	Disponibilidad del sistema.....	155
7.2.2.	La relación hombre-máquina.....	156
7.2.3.	La seguridad de la máquina	157

7.2.4.	La problemática del fin de vida de sistema	157
7.2.5.	Impactos ambientales	157
7.3.	Diagrama de procesos del sistema.....	158
7.3.1.	Diagrama de proceso de producción del espaldar	159
7.3.2.	Diagrama de proceso de fabricación del eje para rodamientos	160
7.3.3.	Diagrama proceso de fabricación acople eje motor.....	161
7.3.4.	Diagrama de proceso de la base del sistema de arugas	162
7.3.5.	Diagrama de proceso del seguro del espaldar.....	163
7.3.6.	Diagrama de proceso del sujetador de la silla	164
7.3.7.	Diagrama proceso fabricación de las poleas de sistema de orugas	165
7.3.8.	Diagrama procesos fabricación de las orugas.....	166
7.3.9.	Diagrama de proceso implementación control del sistema	167
7.3.10.	Diagrama de proceso implementación etapa de potencia del control del sistema de arugas	168
7.4.	Análisis de costos	169
7.4.1.	Costos para la construcción del Sistema automático de orugas	169
CAPÍTULO VIII.....		174
PROTOCOLO DE PRUEBAS.....		174
8.1.	Importancia del protocolo de pruebas	174
8.2.	Definición de objetivos del ensayo.....	174
8.3.	Definición del ensayo	174
8.4.	Planificación del ensayo.	175
8.5.	Control de elementos empleados en la materialización del sistema.....	175
8.6.	Pruebas de funcionamiento.....	175
8.7.	Interpretación y validación de resultados	176

8.8.	Tabulación resultados del ensayo.....	176
CAPÍTULO IX		179
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		179
9.1.	Conclusiones.....	179
9.2.	Recomendaciones	180
GLOSARIO		182
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		185
Bibliografía		185
Netgrafía		185
ANEXOS.....		188
Anexo A: Planos mecánicos.....		188
Anexo B: Construcción del sistema		188
Anexo C: Hojas Especificaciones técnicas		188
Anexo D: Manual de operación y mantenimiento		188
Anexo E: Artículo Científico		188

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Especificaciones técnicas.....	31
Tabla 4.1: Posibles soluciones para el módulo 1	44
Tabla 4.2: Posibles soluciones para el módulo 2	48
Tabla 4.3: Evaluación importancia de cada criterio.....	49
Tabla 4.4: Evaluación soluciones con respecto al peso	50
Tabla 4.5: Evaluación soluciones con respecto a la portabilidad.....	50
Tabla 4.6: Evaluación soluciones con respecto al costo	50
Tabla 4.7: Evaluación soluciones con respecto a la seguridad	50
Tabla 4.8: Evaluación soluciones con respecto a la fácil operación	51
Tabla 4.9: Resultados matriz de ponderación	51
Tabla 5.1: Sumatoria Cargas muertas	54
Tabla 5.2: Sumatoria Cargas vivas.....	54
Tabla 5.3: Parámetros para selección de material.....	59
Tabla 5.4: Opciones de mallado.....	67
Tabla 5.5: Sumatoria Cargas muertas	79
Tabla 5.6: Sumatoria Cargas vivas.....	79
Tabla 5.7: Resultado Fuerzas	91
Tabla 5.8: Resultado analítico y computacional	105
Tabla 5.9: Resultados Frecuencias del Análisis Modal	106
Tabla 5.10: Resultados análisis modal	106
Tabla 5.11: Resultado analítico y computacional	112
Tabla 5.12: Medidas máximas bandas paso XL, L, H, XH, XXH.....	114
Tabla 6.1: Características y aplicaciones del motor de corriente continua	124
Tabla 6.2: Características y aplicaciones de los servomotores	125
Tabla 6.3: Características y aplicaciones de la tarjeta Arduino UNO.....	127
Tabla 6.4: Características y aplicaciones de microcontrolador Pic 16f877	129
Tabla 6.5: Características y aplicaciones de los módulos XBee Pro S1	132
Tabla 6.6: Características y aplicaciones de la Sabertooth 2x60	134

Tabla 6.7: Características y aplicaciones del puente H.....	135
Tabla 6.8: Características y aplicaciones de baterías de plomo-ácido	137
Tabla 6.9: Alternativas control del sistema.....	138
Tabla 6.10: Evaluación de la importancia del sistema.....	139
Tabla 6.11: Evaluación soluciones respecto a ser ligero.....	139
Tabla 6.12: Evaluación soluciones a ser inalámbrico	139
Tabla 6.13: Evaluación soluciones con respecto al costo	140
Tabla 6.14: Evaluación soluciones con respecto a la seguridad	140
Tabla 6.15: Evaluación soluciones con respecto a la fácil operación	140
Tabla 6.16: Evaluación soluciones con respecto a la fácil implementación	140
Tabla 6.17: Resultados matriz de ponderación para el sistema de control	141
Tabla 6.18: Parámetros configuración Transmisor	144
Tabla 6.19: Parámetros configuración XBee Receptor.....	146
Tabla 7.1: Guía de referencia para piezas torneadas.....	153
Tabla 7.2: Guía de referencia para piezas taladradas.....	154
Tabla 7.3: Guía de referencia para piezas fresadas.....	154
Tabla 7.4: Guía de referencia para diseño de conjuntos soldados	155
Tabla 7.5: Simbología empleada en diagrama de procesos	158
Tabla 7.6: Costos de material para construcción del sistema.....	170
Tabla 7.7: Costos sistema electrónico y de control.....	171
Tabla 7.8: Costos de elementos Normalizados	171
Tabla 7.9: Costos de maquinado de piezas según horas empleadas por la maquinaria.....	172
Tabla 7.10: Costos de diseño	173
Tabla 7.11: Costo total del proyecto	173
Tabla 8.1: Verificación dimensiones principales	176
Tabla 8.2: Verificación componentes principales.....	176
Tabla 8.3: Verificación Funcionamiento Módulo1	177
Tabla 8.4: Verificación Funcionamiento Módulo2.....	177
Tabla 8.5: Verificación fuentes de alimentación para control	177
Tabla 8.6: Verificación recepción y procesamiento de señales	178

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Silla de orugas salva escaleras.....	2
Figura 1.2: Elevadores verticales para poca altura.....	2
Figura 1.3: Elevadores verticales para poca altura.....	3
Figura 1.4: Silla tanque o todo terreno.....	4
Figura 1.5: Silla de ruedas manuales.....	9
Figura 1.6: Sillas manuales de tránsito	10
Figura 1.7: Sillas de ruedas eléctricas	11
Figura 1.8: Sillas tipo scooter	12
Figura 1.9: Sillas para deportes	13
Figura 1.10: Silla de ruedas para pararse	14
Figura 1.11: Sillas de ruedas para la playa.....	15
Figura 1.12: Sillas de ruedas bariátricas	16
Figura 2.1: Oruga salvaescalera-Stairmax	20
Figura 2.2: Oruga salvaescalera-Standard.....	21
Figura 2.3: Oruga salvaescalera-Public.....	22
Figura 2.4: Silla de ruedas convencional	23
Figura 3.1: Escalera en forma de L	26
Figura 3.2: Escalera en forma de U.....	26
Figura 3.3: Casa de la calidad para el sistema automático con orugas	29
Figura 4.1: Diagrama funcional del sistema	33
Figura 4.2: Nivel 0	34
Figura 4.3: División de Módulo 1	37
Figura 4.4: División de Módulo 2.....	37
Figura 4.5: Palanca bloqueo y desbloqueo espaldar.	39
Figura 4.6: Espaldar para acoplar silla de ruedas.....	40
Figura 4.7: Pomo con pasador instalado en la parte posterior de espaldar	40
Figura 4.8: Gancho sujeción silla.....	41
Figura 4.9: Espaldar posición vertical.....	42
Figura 4.10: Espaldar posición de ascenso escaleras	42

Figura 4.11: Gancho en posición de bloqueo espaldar	43
Figura 4.12: Motores DC	45
Figura 4.13: Tracción con orugas	46
Figura 4.14: Rieles Fijas	47
Figura 5.1: Fuerzas aplicadas sobre el sistema en reposo.....	56
Figura 5.2: Diagrama de cuerpo libre del sistema.....	56
Figura 5.3: Distribución de cargas sobre tubo espaldar	57
Figura 5.4: Diagrama de cargas	58
Figura 5.5: Diagrama de momento flexionante.....	59
Figura 5.6: Selección material empleando CES Edupack2009.....	60
Figura 5.7: Características tubo estructural cuadrado ASTM 500.....	61
Figura 5.8: Mallado por defecto para sujetador espaldar silla.	63
Figura 5.9: Condiciones de borde y cargas aplicadas al sistema de sujeción del espaldar	64
Figura 5.10: Factor de seguridad del sistema de sujecion del espaldar	64
Figura 5.11: Refinamiento mallado de 2mm.....	65
Figura 5.12: Refinamiento mallado de 3mm.....	66
Figura 5.13: Resultado factor de seguridad con mallado 3mm.....	66
Figura 5.14: Fuerzas aplicadas en la estructura espaldar	68
Figura 5.15: Mallado estructura espaldar.....	68
Figura 5.16: Factor de seguridad del espaldar	68
Figura 5.17: Gráfica carga aplicada sobre el tubo pivote.....	69
Figura 5.18: Diagrama de Fuerzas cortante, tubo pivote	70
Figura 5.19: Diagrama Momento flexionante.....	70
Figura 5.20: Características Tubo estructural redondo ASTM 500	71
Figura 5.21: Mallado tubo para pivote	72
Figura 5.22: Condición de borde y carga aplicada sobre el pivote	72
Figura 5.23: Factor de Seguridad del Tubo pivote.....	73
Figura 5.24: Soporte motor	73
Figura 5.25: Medidas soporte motores.....	74
Figura 5.26: Carga aplicada sobre placa para soporte motores.....	75

Figura 5.27: Diagrama esfuerzo cortante en placa soporte motores	75
Figura 5.28: Diagrama de momento flexionante en placa soporte motores.....	76
Figura 5.29: Condiciones de borde y carga en soporte para motor.....	77
Figura 5.30: Factor de Seguridad de soporte para motor	77
Figura 5.31: Factor de Seguridad conjunto estructural completo.	78
Figura 5.32: Visualización centro de gravedad.....	80
Figura 5.33: Ubicación centro de gravedad	81
Figura 5.34: Fuerzas mientras el sistema se desplaza en superficie plana.....	81
Figura 5.35: Fuerzas en el sistema al superar la primera grada	85
Figura 5.36: Fuerzas sobre el sistema al desplazarse sobre las gradas.	88
Figura 5.37: Diagrama de cuerpo libre del eje del motor	93
Figura 5.38: Diagrama de carga y diagrama cortante	96
Figura 5.39: Diagrama de momento flector máximo.....	96
Figura 5.40: Valores de la resistencia a la tensión S_{ut} y resistencia a la fluencia S_y	99
Figura 5.41: Parámetros en el factor de la condición superficial.....	100
Figura 5.42: Factores de confiabilidad.....	102
Figura 5.43: Condiciones de borde y cargas sobre el eje.....	104
Figura 5.44: Esfuerzo en el eje.....	104
Figura 5.45: Factor de seguridad estático	105
Figura 5.46: Configuración Análisis Harmonic Response.....	107
Figura 5.47: Esfuerzo equivalente de Von Misses.....	108
Figura 5.48: Factor de seguridad estático	108
Figura 5.49: Configuración del paso 1	110
Figura 5.50: Configuración del paso 2.....	110
Figura 5.51: Deformación total del eje	111
Figura 5.52: Esfuerzo Equivalente de Von Mises.....	111
Figura 5.53: Factor de seguridad Resultante Análisis Transient.....	112
Figura 5.54: Resultado de la Convergencia	112
Figura 5.55: Dimensiones entre centros de las poleas.	113
Figura 5.56: Dimensiones de paso y profundidad de diente según el tipo de banda	114
Figura 5.57: Bandas Tipo H.....	115

Figura 5.58: Dimensiones de huella y contrahuella de una grada.....	116
Figura 5.59: Paso y altura del diente externo.....	117
Figura 5.60: Diámetro primitivo (polea), y línea primitiva (banda)	118
Figura 5.61: Selección del material para poleas en CES Edupack.	119
Figura 6.1: Motor DC 24 V.....	123
Figura 6.2: Servomotor	125
Figura 6.3: Arduino UNO	127
Figura 6.4: Microcontrolador 16f877a.....	129
Figura 6.5: Módulos XBee Pro S1	132
Figura 6.6: Sabertooth 2x60.....	133
Figura 6.7: Puente H	135
Figura 6.8: Diagrama del sistema de control	142
Figura 6.9: Fuente de Voltaje V_{in} , 9V, V_{out} 5V.....	143
Figura 6.10: Fuente de Voltaje V_{in} 9V , V_{out} 3,3V	143
Figura 6.11: Divisor de Voltaje V_{in} , 9V, V_{out} 3,3V.....	143
Figura 6.12: Modelo y serie del XBee Pro S1	144
Figura 6.13: Configuración Transmisor en X-CTU.....	145
Figura 6.14: Configuración Receptor en X-CTU.....	146
Figura 6.15: Configuración DIP.....	151
Figura 7.1: Diagrama de proceso del espaldar	159
Figura 7.2: Diagrama de proceso de fabricación del eje para rodamiento.....	160
Figura 7.3: Diagrama proceso fabricación acople eje motor	161
Figura 7.4: Diagrama de proceso de la base del sistema.....	162
Figura 7.5: Diagrama de proceso del seguro del espaldar	163
Figura 7.6: Diagrama de proceso del sujetador de la silla	164
Figura 7.7: Diagrama de proceso de las poleas del sistema de orugas	165
Figura 7.8: Diagrama de proceso de las orugas	166
Figura 7.9: Diagrama de proceso implementación control	167
Figura 7.10: Diagrama de proceso implementación etapa de potencia.....	168

RESUMEN

Las gradas pasan a ser una gran barrera para personas con discapacidad motriz, estas limitan a gran escala su movilidad, y resultan ser de difícil acceso con una silla de ruedas convencional. En algunos lugares esta problemática se resuelve con la existencia de ascensores, pero existen tanto instituciones públicas como privadas que no poseen esta herramienta para que personas con discapacidad puedan moverse desde una planta de un edificio hacia otra, superando esta barrera arquitectónica, de una manera fácil y sin realizar un mayor esfuerzo. Con el proyecto Diseño y construcción de una estructura automática de orugas para mover una silla de ruedas a través de escaleras, se desea plantear una alternativa viable, implementando un sistema que sea capaz de transportar a una persona con discapacidad en una silla de ruedas convencional desde la planta de un edificio hacia otra, superando escaleras, de una manera más fácil. Tomando como base el diseño concurrente y empleando herramientas como la casa de la calidad, el diagrama funcional y el análisis morfológico que ayudan a determinar cuál de las alternativas presentadas para el diseño del sistema es la más adecuada para satisfacer las necesidades del usuario. Seleccionada la mejor alternativa de diseño se emplearán los fundamentos teóricos para validar el diseño de la parte mecánica, electrónica y de control, e integrar a las tres ramas para obtener un buen producto final. Como ayuda para la aplicación de los fundamentos teóricos se emplean herramientas CAD, CAM y CAE que permiten comprobar que los resultados obtenidos al realizar el diseño del sistema son correctos. Además se considera el Diseño para la manufactura, que ayuda a determinar cuánto tiempo y dinero se deberá invertir para la materialización del proyecto, sin dejar de lado los efectos ambientales que el sistema diseñado puede provocar durante su funcionamiento y al terminar su tiempo de vida útil.

PALABRAS CLAVE:

SISTEMA AUTOMÁTICO DE ORUGAS

TRANSPORTE DE DISCAPACITADOS

HERRAMIENTAS CAD

DISEÑO CONCURRENTE

ABSTRACT

Ladders become a major barrier for people with motor disabilities, these limited their mobility to big scale, and are difficult to access with a conventional wheelchair. In some places this problem is solved by the existence of elevators, but there are both public and private institutions that do not have this tool for people with disabilities to move from one floor of a building to another, overcoming the architectural barriers, in an easy way without more effort. The project "Design and construction of an automatic structure of rubber tracks to mobilize a wheelchair by stairs, is desired propose a viable alternative, implementing a system that is capable of transporting a disabled person in a conventional wheelchair from the floor of a building to another, overcoming stairs, in an easier way. Based on concurrent design and using tools like the house of quality, functional and morphological analysis chart to help determine which of the alternatives presented for the system design is best suited to meet the needs of the user. Selected the best design alternative will identify technical characteristics and constraints of the selected system, use the theoretical foundations and validate the design of mechanics, electronics and control, and integrate three to get a good final product. As support for the implementation of the theoretical foundations CAD, CAM and CAE tools to verify that the results obtained by performing design are correct system is used. Also consider the design for manufacturing, which helps determine how much time and money will be invest for the realization of the project, without neglecting the environmental effects that the designed system can result during operation and to finish his lifetime.

KEY WORDS:

- **AUTOMATIC SYSTEM OF RUBBER TRACKS**
- **TRANSPORT OF DISABLED**
- **CAD TOOLS**
- **CONCURRENT DESIGN**

PRESENTACIÓN

En este proyecto se detalla el “Diseño y construcción de una estructura automática de orugas para movilizar una silla de ruedas a través de escaleras”

El Capítulo I, contiene el marco teórico con información fundamental de las principales tipos de sillas de ruedas, y sistemas empleados para movilizar a personas discapacitadas a través de escaleras.

El Capítulo II, describe el estado del arte de sistemas Salvaescaleras fabricados en el país y disponibles internacionalmente, además descripción de sistemas automáticos y semiautomáticos Salvaescaleras.

El Capítulo III, describe las especificaciones y requerimientos para el diseño del sistema automático con orugas; restricciones que debe tener el sistema; la casa de la calidad; determinación de especificaciones técnicas del sistema.

En el Capítulo IV, contiene la definición y diseño conceptual del sistema detallado en el análisis funcional; definición de módulos; solución de módulos del sistema; selección de la mejor alternativa.

El Capítulo V, detalla el cálculo para el diseño del sistema y la selección de componentes de acuerdo los parámetros establecidos para el diseño y construcción del sistema automático con orugas

El Capítulo VI, describe el control del sistema, requerimientos para el control; análisis para el control del sistema; descripción de componentes electrónicos para la implementación del control para el sistema automático con orugas.

El Capítulo VII, describe el diseño para la manufactura del sistema mecánico y de control.

El Capítulo VIII, banco de pruebas del sistema automático con orugas.

El Capítulo IX, análisis de costos del sistema automático con orugas.

El Capítulo X, conclusiones y recomendaciones del sistema automático con orugas

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Sistemas automatizados para movilizar sillas de ruedas en gradas

1.1.1. Historia de las sillas de rueda

La necesidad por sillas de ruedas se extiende muchos años hacia atrás. Algunos comentadores incluso han sugerido que como la evidencia más antigua de sillas y ruedas data de alrededor de 4000 A.C. (Antes de Cristo), es posible que las dos fueran combinadas para hacer una silla con ruedas hasta seis mil años atrás. No fue hasta siglos después, alrededor del 525 D.C. (después de Cristo), cuando se comenzó a representar en el arte chino la diferencia de funciones de este asiento con ruedas para transportar personas.

La primera silla de rueda conocida y creada especialmente para ese propósito fue la del rey Felipe II de España 1595, que adolecía de un trastorno motriz que le imposibilitaba el desplazamiento normal y adecuado. La primera patente sobre una silla de ruedas data de 1869, se trataba de un modelo bimanual impulsado por ruedas traseras, con el transcurso del tiempo surgen otros tipos de sillas de ruedas modificadas, tales como: (Bedón, 2014)

1.1.2. Silla de oruga salvaescaleras

La silla de oruga salvaescaleras conocida también como montaescaleras es un equipo compacto ligero y manejable que permite desplazarse sobre escaleras sin necesidad de instalación y con autonomía de uso, este sistema es ideal para personas que se desplazan en sillas de ruedas. (Silla oruga salvaescalera, 2014)



Figura 1.1. Silla de orugas salva escaleras.

Fuente: <http://www.sillasalvaescaleras.com/portatiles/oruga/>

1.1.3. Elevadores verticales para poca altura

Los elevadores son de mucha utilidad teniendo una altura limitada de 2 metros en espacios interiores o exteriores, en unifamiliares, portales como los ascensores, funcionan mediante dos guías con rodillo integrado, disponen de puertas para brindar seguridad al cliente.



Figura 1.2 Elevadores verticales para poca altura

Fuente: <http://decoestilo.mujerhoy.com/articulo/casa-sin-barreras/>

1.1.4. Salvaescaleras recto fijo

Los salvaescaleras se utilizan, tanto en edificaciones renovadas como en edificaciones nuevas. Son de gran ayuda para las personas de avanzada edad o que han sufrido algún accidente y se les hace difícil moverse a través de escaleras.

Existen salvaescaleras básicos: los rectos instalados en las escaleras rectas en un solo tramo, y las giratorias que pueden seguir el recorrido de escaleras en forma de L de U incluso de caracol. (La evolución del diseño de salvaescaleras, 2009 Conzentra).



Figura 1.3: Elevadores verticales para poca altura

Fuente: <http://www.reine.es/blog/la-evolucion-del-diseno-de-las-sillas-salvaescaleras>

1.1.5. Silla Tanque o Todo Terreno

La silla tanque o todo terreno ha sido creada para ampliar la movilidad de las personas que utilizan una silla de ruedas para su desplazamiento, permitiéndose transitar por las superficies totalmente lisas o por cualquier terreno agreste. (Curiosa silla de ruedas todo terreno, 2014)



Figura 1.4: Silla tanque o todo terreno

Fuente: <http://www.dogguie.net/curiosa-silla-de-ruedas-todo-terreno/>

1.2. Ventajas y desventajas del empleo de Sistemas automatizados para movilizar sillas de ruedas en gradas.

A continuación se presentan las ventajas y desventajas de diferentes tipos de sistemas automáticos empleados para el transporte de personas con discapacidad motriz a través de escaleras.

Salvaescaleras Portátiles

Ventajas

- Ayuda a superar escaleras con el usuario sentado en su propia silla de ruedas.
- Compatibles con diferentes modelos de sillas de ruedas.
- El esfuerzo del acompañante es mucho menor
- Son desmontables para facilitar su transporte de un lugar a otro.
- Son sistemas de seguridad garantizados.
- Fáciles de usar.
- Larga duración de baterías.

Desventajas

- Costo elevado.
- En el caso de diseños para tramos curvos se vuelve complejo pero no imposible ya que se requiere de un mayor número de elementos lo que incrementa además el costo del sistema.

Sillas Salvaescaleras Fijas

Ventajas

- Dan un paso de independencia en el lugar de instalación.
- Pueden colocarse en escaleras de tramos rectos o de tramos curvos.
- Ayudan al usuario a conseguir autonomía.
- Diseño económico.
- Son silenciosos.
- Cumplen con todas las normas de seguridad y calidad.

Desventajas

- No son portátiles.
- Únicamente pueden instalarse en el lugar para el cual se realizó el diseño.
- El usuario debe transportarse de su silla convencional a la silla salva escaleras.

Plataforma Salvaescaleras

Ventajas

- Las plataformas salvaescaleras ofrecen una solución idónea para ser instalada en el interior o en el exterior de las edificaciones.

- Funcionamiento sencillo y de fácil implementación.
- Diseño económico.

Desventajas

- Es un sistema fijo.
- Requiere tiempo para su instalación.
- Necesidad de espacio amplio.

1.3. Ventajas y desventajas del empleo de orugas

El empleo de orugas el sistema de locomoción tanto para vehículos como robots se utiliza de acuerdo a las aplicaciones, es por ello que a continuación se presenta las ventajas y desventajas que se tiene al emplear orugas en un sistema de tracción.

Ventajas

- La flotabilidad, que consta en la capacidad que tienen los sistemas con orugas de no hundirse en superficies blandas debido a la distribución de fuerzas que existe a lo largo de la banda de goma, fenómeno que no permiten las llantas normales porque tienden a hundirse y a causar daños en la superficies suaves.
- La presión ejercida sobre el suelo es el factor que caracteriza a las orugas de goma, gracias a estas el equipo no deja surcos profundos en la superficie en la que se desplaza el sistema.
- La estabilidad que brinda, cuando se desee tener acceso a superficies irregulares e incluso con pendientes los neumáticos normales tienden a resbalar mientras que las orugas de goma tienen un mayor agarre con el suelo por tanto no rebotan como los neumáticos.
- En suelos rocosos las cintas continuas de goma presentan una gran ventaja que al estar diseñadas para trabajar en suelos irregulares arcillosos tienden a desgastarse en un mínimo porcentaje.

- Existen varias configuraciones geométricas para seleccionar la más adecuada según la aplicación que se vaya a desarrollar.

Desventajas

- El control de posición de un sistema con orugas es más complejo que un sistema de ruedas, debido a que el radio de giro es mucho mayor que un sistema de tracción por ruedas.
- En suelos con arena suave las orugas no son tan favorables porque las ruedas ejercen una mayor presión por unidad de superficie lo que ayuda a tener un mayor empuje.
- Las velocidades con tracción con orugas son bajas a comparación de sistemas que emplean ruedas.
- El costo es elevado a comparación de un sistema con neumáticos convencionales.
- La mayoría de vehículos movilizadas con orugas se destinan para actividades pesadas, a diferencia de los sistemas que se movilizan por ruedas, por tanto la vida útil de las orugas es menor en comparación con los vehículos movilizadas por ruedas.

Los mecanismos con orugas hoy en día se emplean un sinnúmero de equipos y maquinaria de actividades como en tractores, montacargas, tanques de guerra, máquinas excavadoras, por ser empleadas en lugares de difícil acceso.

En base a estas aplicaciones se han ido desarrollando otras que requieren de orugas con menores dimensiones, que cumplan con la misma finalidad de acceder a lugares difíciles.

1.4. Ventajas y desventajas del empleo de ruedas

Al igual que las orugas las ruedas también son empleadas en numerosas aplicaciones, para ello se describen las ventajas y desventajas de las mismas:

Ventajas

- El lado positivo de los neumáticos está el control de manejo y el costo total. Una característica neutral para ambos sistemas es la calidad del viaje.
- Las máquinas de ruedas tienen mayor velocidad y movilidad que los vehículos de orugas.
- En suelos sin cohesión (arena), los neumáticos dan un dilatado servicio y son de bajo costo, mientras que las orugas se desgastan rápidamente.
- En suelos arenosos es donde los neumáticos encuentran su mejor aplicación. En estos suelos sin cohesión, generalmente tienen una elevada capacidad de carga, un neumático de goma ejerce mayor presión por unidad de superficie que las cadenas de orugas que genera un elevado empuje. Esto explica por qué los neumáticos se utilizan en los desiertos donde predomina la arena seca.

Desventajas

- En terreno pedregoso, las ruedas se desgastan rápidamente, mientras que las orugas se conservan aceptablemente.
- En terrenos con suelos irregulares los neumáticos dejan surcos en la superficie dañándola, siendo esta una desventaja pues en determinados casos se necesita que la superficie no sea afectada.
- En superficies irregulares los neumáticos tienden a rebotar, el empleo en este tipo de suelos es deficiente porque el agarre que estos ejercen sobre el suelo es mucho menor.
- En superficies resbaladizas los vehículos, en particular los de ruedas no pueden ejercer la tracción suficiente para desplazarse. En estos casos puede producirse simplemente el patinaje de las ruedas, sin que el vehículo se desplace ni penetre apreciablemente en el suelo.

- Muy pocos vehículos de orugas quedan gravemente dificultados por una superficie del suelo escurridiza. El efecto de esta queda realizado cuando se asocia con pendientes, debido a la reducción de la carga normal sobre aquellas.

1.5. Tipos de estructuras de sillas de ruedas

El rango de sillas de ruedas refleja la demanda para cubrir necesidades individuales de las personas con discapacidades motrices.

1.5.1. Sillas de ruedas manuales

Las sillas de ruedas manuales son aquellas movidas por el usuario o un ayudante. Por eso los usuarios pueden viajar hacia adelante y hacia atrás a velocidades dictadas por la cantidad de fuerza que son capaces de aplicar.

Para operar sillas de ruedas manuales, los usuarios deben tener un buen estándar de habilidad muscular y coordinación en sus brazos y hombros. (Ortopedia del Sur SRL, 1999 – 2015)



Figura 1.5: Silla de ruedas manuales

Fuente: <http://ortopediadelsursrl.blogspot.com/p/silla-de-ruedas.html>

Ventajas

- Son más baratas.
- Son adecuadas para usos temporales.

- Son fáciles de transportar y livianos.
- No requieren de un mantenimiento sofisticado.

Desventajas

- No son difíciles de maniobrar como una silla eléctrica.
- Depende de la condición en que el usuario se encuentre, caso contrario necesitara de un ayudante para que lo ayude a la movilizarse.
- Falta de habilidad o fuerza en la parte superior del cuerpo y la habilidad de moverse por sí solo no es recomendable tener una silla de ruedas manual.

1.5.2. Sillas manuales para tránsito

Las sillas manuales para tránsito generalmente tienen ruedas traseras pequeñas sin bordes para empujar. Estas sillas de ruedas son más probablemente vistas en edificios como aeropuertos y hospitales donde los porteros actúan como ayudantes. (Tipos de Sillas de Ruedas, 2013)



Figura 1.6: Sillas manuales de tránsito

Fuente: <http://www.farmaciasolipadris.com/img/cont/prod215.jpg>

Ventajas

- Son livianas
- Son de fácil transporte

- Variedad de sillas de ruedas, diferentes dimensiones
- Es robusta y resistente
- Son accesibles en cuanto al precio

Desventajas

- Necesita de una persona que ayude a su desplazamiento.
- No son accesibles a edificaciones con gradas.

1.5.3. Sillas de ruedas eléctricas

Las sillas de ruedas con motor eléctrico son ideales para personas con limitación de fuerza como para guiar una silla de ruedas manual. Las baterías recargables montadas bajo el asiento suministran la energía para los motores eléctricos que impulsan dos o las cuatro ruedas. Como con los autos, los diferentes arreglos de tracción determinan la forma en que la silla de ruedas se mueve y maniobra. (Tipos de Sillas de Ruedas, 2013)



Figura 1.7: Sillas de ruedas eléctricas

Fuente: http://grupo5atoubu.blogspot.com/2012/11/ayudame-vivir-mejor_4.html

Ventajas

- Fácil operación
- Autónomas

- Son cómodas
- Sillas de ruedas eléctricas para pesos elevados

Desventajas

- Son muy costosas
- Poca duración de batería
- No son plegables

1.5.4. Sillas tipo scooter

Las sillas tipo scooter tienen cuatro pequeñas ruedas que se extienden desde una plataforma baja. El tipo de silla montada sobre esta plataforma varía de acuerdo con la discapacidad y las necesidades del usuario, algunas incluso son modeladas a partir de un molde tomado de la postura más apropiada del usuario sentado.

Una de las ventajas de las sillas tipo scooter es que la misma puede pivotar y permitir al usuario subirse de cualquiera de los lados. Una desventaja es que el usuario debe mantener una postura rígida cuando maneja. (Tipos de Sillas de Ruedas, 2013)



Figura 1.8: Sillas tipo scooter

Fuente: <http://www.sillasderuedas.es/SCOOTERS-ELECTRICOS>

Ventajas

- Puede pivotar y permitir al usuario subirse de cualquiera de los lados. Esto significa que las sillas tipo scooter rara vez son apropiadas para los discapacitados graves.
- Autonomía
- Confort y seguridad para los usuarios

Desventajas

- El usuario debe mantener una postura rígida cuando maneja.
- Son muy costosas
- Difícil de transportar

1.5.5. Sillas para deportes

Las sillas de deportes son aquellas que se utilizan para diferentes tipos de actividades deportivas como su nombre lo menciona.



Figura 1.9: Sillas para deportes

Fuente: <http://www.outlandish.ferengi.com.ar/Gallery/6385.jpg>

Ventajas

- Livianas

- Estabilidad en giros bruscos
- Ideales para actividades de baloncesto

Desventajas

- No son plegables
- Son costosas
- Habilidad de la persona para poder desplazarse

1.5.6. Silla para Pararse

Las sillas de ruedas para pararse están ajustadas con una bomba hidráulica que levanta y gira el asiento, permitiendo al usuario "pararse" y aún tener soporte completo. La característica invaluable de este tipo de sillas ayuda al usuario a tener acceso a artículos que no están al alcance por ejemplo en estantes, perchas.



Figura 1.10: Silla de ruedas para pararse

Fuente: http://img2.mlstatic.com/s_MLA_v_V_f_2818557809_062012.jpg

Ventajas

- Fácil operación
- Seguro

- La persona con discapacidad queda totalmente parada.

Desventajas

- Son costosos
- Depende de la discapacidad motriz de la persona.
- No son plegables

1.5.7. Sillas de ruedas para la playa

Una silla de ruedas para la playa es inmediatamente reconocida por sus anchas ruedas que le permiten andar suavemente en la arena sin hundirse. Algunos balnearios ahora proveen no solamente acceso para silla de ruedas sino también ofrecen a los clientes discapacitados sillas de ruedas para la playa.



Figura 1.11: Sillas de ruedas para la playa

Fuente: <http://www.chairdex.com/stypes.htm>

Ventajas

- Sus ruedas son anchas para que puedan desplazarse sobre la arena sin hundirse
- Fácil operación

Desventajas

- Son costosas

- Son muy pesadas

1.5.8. Sillas de ruedas bariátricas

Las sillas de ruedas convencionales no pueden soportar en forma segura pesos mayores a 250 libras. Una silla de ruedas bariátrica, sin embargo, puede acomodar a alguien que pese tanto como 1000 libras. La capacidad de peso de una silla bariátrica, y las medidas del asiento, varían y son mostradas en la literatura promocional.



Figura 1.12: Sillas de ruedas bariátricas

Fuente: <http://www.pillbox123.com/shop/wheelchairs-mobility/bariatric-wheelchairs/>

Ventajas

- Ideales para personas que tenga contuntura gruesa.
- Fácil operación
- Amplias

Desventajas

- Costosas
- De peso elevado
- No soportan pesos mayores a 250 libras de forma segura

1.6. Proceso de funcionamiento del sistema de movilización en gradas con silla de ruedas Automatizado

El funcionamiento de los sistemas automáticos dedicados a la transportación de silla de ruedas a través de escaleras se basan principalmente en un vehículo de DC (Corriente Directa), en el caso de los sistemas portátiles se emplea como fuente de energía baterías recargables, las mismas se encargan de alimentar todo el sistema mientras se encuentra en funcionamiento, sin necesidad que esté conectado a una fuente de energía fija durante su uso.

Existen sistemas que se desplazan a través de gradas en los cuales la silla está incorporada de una manera fija, y en otro caso el sistema es desmontable permitiendo que sea transportado con facilidad y que se adapte la silla de ruedas al sistema. En el segundo caso se debe colocar el espaldar sobre el cual se apoyara la silla de ruedas asegurándola, una vez instalado el espaldar se puede montar la silla sobre el sistema con orugas para asegurarlo.

Para preservar la seguridad del usuario al encender este tipo de sistemas se debe verificar que ninguno de los indicadores de posibles errores esté activado, una vez verificado esto se puede utilizar el sistema sin ningún inconveniente.

Para el funcionamiento de este tipo de sistema se necesita de diferentes actuadores como los motores que mediante una caja de reducción disminuyen su velocidad para poder aumentar la cantidad de torque, a esta caja de reducción se acopla un eje que es el encargado de transmitir el movimiento hacia una rueda motriz dentada, a la rueda motriz le ayuda una rueda guía que es la que ayuda a que la cinta de goma gire y de esta manera el sistema se moviliza. El usuario de estos sistemas puede controlar el sentido de giro del motor según la necesidad sea para subir o bajar escaleras.

1.7. Normas que rigen el diseño y construcción de sistemas de movilización en gradas.

En nuestro país la entidad que se encarga de la normalización de diferentes tipos de productos es el INEN(Instituto Ecuatoriano de Normalización), para el presente estudio no se han encontrado normalización que se refiere a la construcción de sistemas de movilización de sillas de ruedas en escaleras para personas discapacitadas; como norma de referencia para movilidad se dispone de la NTE INEN 2 299:2001 que se titula "Accesibilidad de las personas con discapacidad y movilidad reducida al medio físico. Ascensores." tiene como objetivo establecer los requisitos que deben cumplir los ascensores en los edificios, de tal forma que permitan la accesibilidad de las personas con discapacidad y movilidad reducida. Pero existen entidades que realizan normalización de este tipo de sistemas a nivel internacional, es por ello que se ha referenciado la norma española **UNE-EN 81-40:2009** que tiene como título "Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores. Ascensores especiales para el transporte de personas y cargas. Parte 40: salvaescaleras y plataformas elevadoras inclinadas. Para el uso de personas con movilidad reducida". En esta norma se trata sobre el montaje y desmontaje de salvaescaleras accionados eléctricamente (de silla, con plataforma para usuarios de pie y de plataforma para silla de ruedas) fijados a la estructura de un edificio, que se mueven en un plano inclinado para su uso por personas con movilidad reducida: que se desplazan a lo largo de una escalera o una superficie inclinada accesible; previstos para su uso por una persona y con un vehículo directamente guiado y retenido por una guía o por rieles. (Accesibilidad de las personas con discapacidad y movilidad reducida al medio físico. Ascensores, 2001)

CAPÍTULO II

ESTADO DEL ARTE

2.1. Sistemas fabricados en el país

En nuestro país en la actualidad existen empresas que se dedican a la importación de sistemas ortopédicos, como sillas de ruedas manuales, camillas hospitalarias entre otros. Además existen empresas que se dedican a la implementación de sistemas de elevación. Sin embargo no existen empresas que se dediquen al diseño e implementación de sistemas salvaescaleras para personas con discapacidad motriz.

2.2. Sistemas disponibles internacionalmente

Internacionalmente existen una gran cantidad de fabricantes que se dedican al diseño y construcción de sistemas que sirvan para movilizar a personas con discapacidades motrices a través de escaleras principalmente se encuentra ubicados en países desarrollados como Estados Unidos, España, China, Japón, países que se caracterizan por su elevado nivel tecnológico.

Fabricantes como IMCALift Elevacion con sus sistemas ROBY T09, SCALACOMBY T10; Einer con sus modelos salvaescaleras SA-2, SA-S, Oruga Stairmax, Oruga Trans en España, otro fabricante de este tipo de sistema es ANTANO GROUP con su modelo salvaescaleras más conocido LG2004 ubicados en Italia.

2.3. Máquinas de movilización automáticas

Las máquinas de movilización automáticas con el avance tecnológico han desarrollado sistemas salvaescaleras, elevadores, plataformas que han ayudado a las personas con discapacidades motrices a movilizarse con mayor facilidad y con menor esfuerzo, arrancando desde sistemas manuales que si bien han sido de ayuda al momento de superar escaleras resultan muy incómodos y exigen un gran esfuerzo del acompañante de la persona discapacitada, con el avance tecnológico se ido realizando modificaciones para lograr que la movilización de personas con discapacidad sean más fáciles. Para ello

se han implementado sistemas electrónicos y de control a elementos mecánicos que interactúan entre sí formando sistemas de movilización automáticos para personas con discapacidad motriz.

2.3.1. Oruga salvaescalera Stairmax

La oruga salvaescalera Stairmax es un sistema con orugas que se emplea para movilizar silla de ruedas a través de escaleras de manera automática, la persona únicamente debe presionar el botón de encender y los mandos de subida o bajada según su necesidad logrando autonomía. (Stairmax Oruga salvaescalera, 2015)



Figura 2.1: Oruga salvaescalera-Stairmax

Fuente: http://es.moutec.com/img/productes/altres/oruga-stairmax_prev_big.jpg

Ventajas

- Fácil transportación
- Seguridad
- Fiabilidad
- Confort
- Fácil mantenimiento

Desventajas

- Necesidad de ayudante para el transporte del sistema de un lugar a otro.
- Uso de baterías

2.4. Dispositivos de movilización semiautomáticos

Las máquinas de movilización semiautomáticas son elementos mecánicos que son accionados y manipulados por el usuario.

Un claro ejemplo de máquinas de movilización semiautomática son las sillas de ruedas eléctricas que puede ser guiada por el usuario mediante una palanca o joystick.

Este sistema es la evolución de sistemas manuales, que se han incorporado sistemas electrónicos que son los encargados de movilizar los componentes mecánicos cada vez que el usuario desee.

2.4.1. Oruga salvaescalera Standard

La oruga salvaescalera Standard permite el traslado de una persona en su silla de ruedas pero debe realizarse con la compañía de un ayudante que sea quien active o desactive el sistema.



Figura 2.2: Oruga salvaescalera-Standard

Fuente: <http://www.lehner-lifttechnik.at/es/products>

Ventajas

- Diseño económico
- Fácil operación del sistema
- Fácil mantenimiento
- Seguro
- Confiable

Desventajas

- Límite de altura de las gradas para su movilización
- Desgaste de las baterías

2.4.2. Oruga salvaescalera Pública

La oruga salvaescalera Pública es un sistema similar al anterior solo que un poco más grande con una plataforma que permite el acceso a diferentes tipos de sillas de ruedas.



Figura 2.3: Oruga salvaescalera-Public

Fuente: <http://www.lehner-lifttechnik.at/es/products>

Ventajas

- Fácil operación

- Cómodas
- Seguras

Desventajas

- Requiere de espacios grande para su transporte
- Peso elevado
- Diseños costosos

2.5. Dispositivos de movilización manual

El accionamiento de los dispositivos de movilización manual es totalmente requerido por el ser humano al no poseer sistemas electrónicos que complementen e impulsen al sistema a moverse.

La silla de ruedas convencional forma parte de este grupo de máquinas manuales es decir, puede ser movilizada por la persona discapacitada o por un ayudante, considerando que las sillas de ruedas convencionales tienen limitación en su accesibilidad de lugares.



Figura 2.4: Silla de ruedas convencional

Fuente: <http://ortopediadelsursrl.blogspot.com/p/silla-de-ruedas.html>

Ventajas

- Son de fácil adquisición

- Adecuadas para usos de corto plazo
- Fáciles de transportar y livianos en cuanto estructura
- No requieren de un mantenimiento sofisticado

Desventajas

- Dificultad al maniobrar
- Depende de la discapacidad motriz para poder movilizarse
- Limitación de accesibilidad

CAPÍTULO III

ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO

3.1. Consideraciones para la determinación de las especificaciones

Este punto es de gran importancia, para realizar el diseño de un sistema o mecanismo sea este electrónico, mecánico, lo que respecta a la parte de control del mismo es fundamental establecer las necesidades que se van a cubrir, los lineamientos que se deben seguir y quién? , Cómo?, donde?, cuando? y de qué? manera se va a emplear el dispositivo.

El proyecto tiene como propósito satisfacer los requerimientos de las personas con discapacidad motriz y que por sus limitaciones motrices no puedan moverse libremente a través de gradas rectas.

3.1.1. Restricciones

Para que el sistema opere de la manera deseada existen algunas consideraciones que se deben tomar en cuenta antes de ponerlo en funcionamiento para evitar que este se dañe, cause alguna incomodidad al usuario y su funcionamiento sea completamente exitoso.

No permitir el accionamiento de los controles de mando, sin verificar la cantidad de energía antes, para evitar posteriores inconvenientes de operación mientras se encuentra subiendo o bajando gradas.

El sistema estará garantizado para transportar una masa máxima de 140 kg para evitar una sobre carga y daño en los equipos el sistema bloqueará su funcionamiento en caso de superar el peso limitado.

El dispositivo se utilizará solamente en gradas que sean rectas o que puedan tomar la forma en L figura 3.1 o U figura 3.2, evitando las curvaturas típicas de gradas en espiral, el grado de inclinación de las gradas no debe superar los 35°, de superarse este valor se

perderá la estabilidad del sistema y para evitar inconvenientes el sistema queda inmovilizado.

El dispositivo no debe funcionar en pisos mojados y se debe evitar pisos con alfombras para evitar posibles atascos.

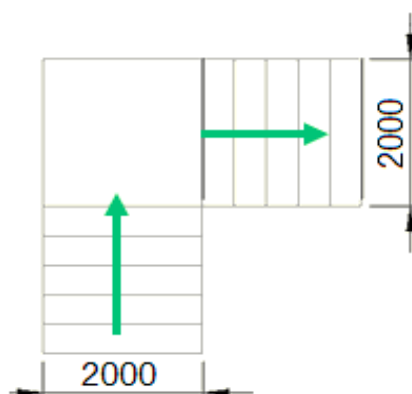


Figura 3.1: Escalera en forma de L

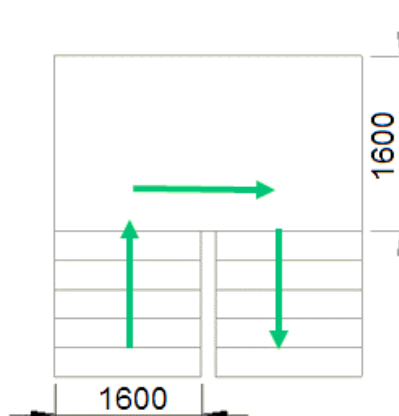


Figura 3.2: Escalera en forma de U

El sistema debe entrar en funcionamiento únicamente cuando todos los indicadores de seguridad lo permitan, y el usuario se encuentre bien asegurado. Caso contrario el sistema debe encontrarse bloqueado.

La emisión de ruido y de elementos contaminantes debe ser mínima de tal manera que no cause molestias al usuario.

3.2. La casa de la calidad

La casa de la calidad es una metodología de diseño que se emplea para proyectar las alternativas de diseños tendientes a satisfacer las necesidades y requerimientos del usuario, las mismas que son traducidas en términos, parámetros y funciones de ingeniería, y se pueda garantizar la calidad del producto desde su diseño hasta la etapa final de su ciclo de vida.

Es así que el usuario establece sus requerimientos y el ingeniero se encarga de reflejarlos de manera técnica.

3.2.1. Voz del usuario

En la actualidad en el Ecuador existe variedad en sillas de ruedas tanto manuales como eléctricas, sin embargo no existen sistemas que cubran esta necesidad o permite que las personas con discapacidad motriz puedan transportarse de un piso hacia otro con facilidad, superando un gran obstáculo a su movilización que son las gradas.

Las personas con discapacidad motriz necesitan de un sistema que les permita movilizarse a través de escaleras que cumpla con los siguientes requerimientos:

- Accesibilidad a escaleras para poder transportarse desde una planta hacia otra de manera fácil y sin esfuerzo.
- Seguridad al emplear el sistema.
- Portabilidad, para poder transportar de un lugar a otro.
- Desmontable, para que utilice menos espacio.
- Facilidad de operación.
- Bajo consumo de energía.
- Bajo costo.

3.2.2. Voz del ingeniero

Al conocer las necesidades planteadas por el usuario se realiza la interpretación y codificación de estos requerimientos o características que se traducen en especificaciones técnicas detalladas a continuación:

- Velocidad del sistema
- Capacidad de carga del sistema
- Dimensiones
- Peso del sistema de movilización
- Sistema motriz
- Alimentación para el funcionamiento del sistema
- Ángulo de inclinación máximo de los escalones a superar
- Sistema de seguridad
- Sistema de frenado
- Ergonomía

3.3. Resultados

La casa de la calidad en la Figura 3.3 muestra las necesidades del usuario para ayudar a determinar las características técnicas que pueden ayudar a satisfacerlas. Se ha determinado la correlación que existe entre cada una de estas características, estableciendo metas a las que se desea llegar, presentando diferentes tipos de alternativas de diseño para

entonces ponderarlas según las relaciones e influencia entre ellas y determinar cuál alternativa es más factible a desarrollarse.

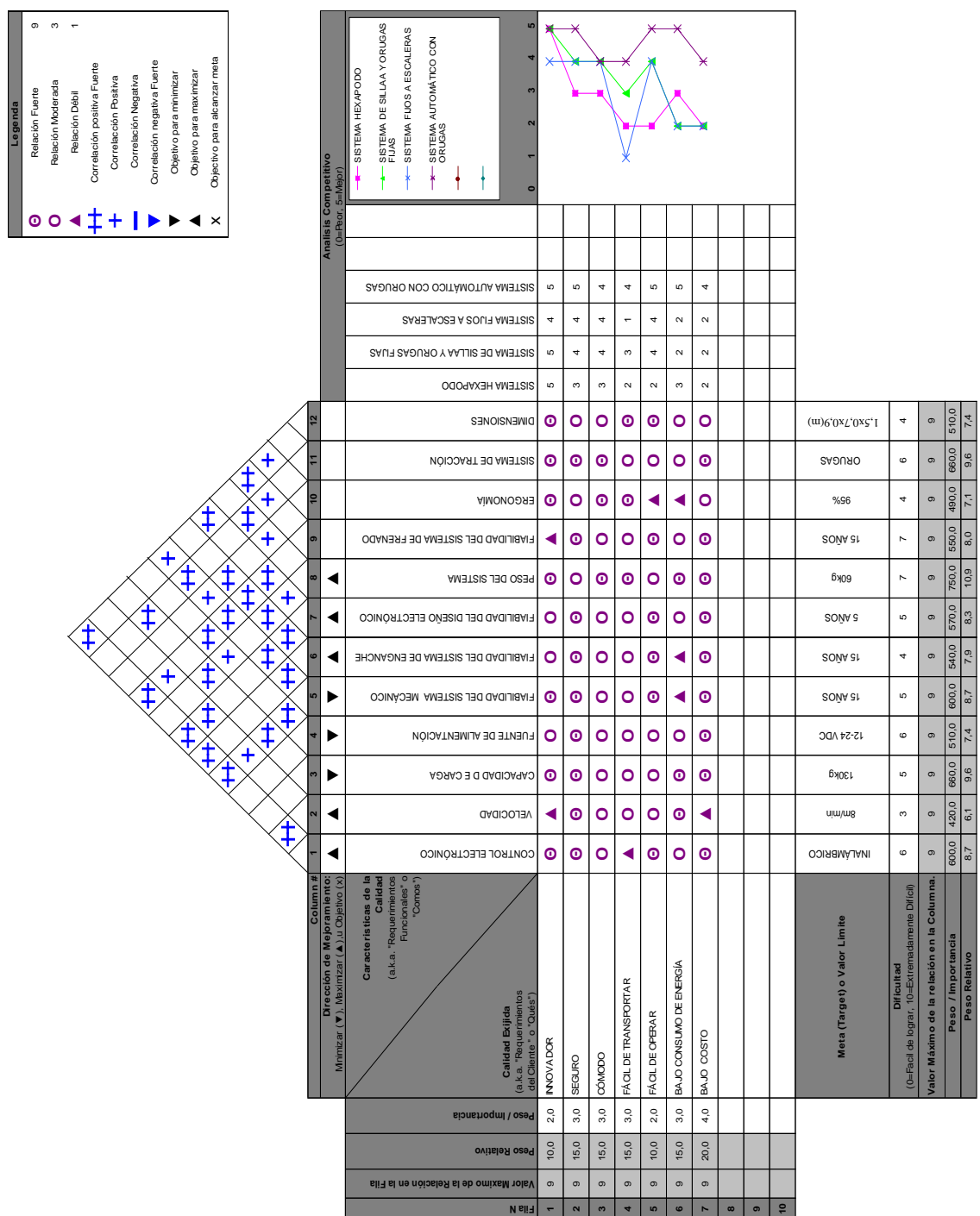


Figura 3.3: Casa de la calidad para el sistema automático con orugas

3.4. Conclusiones de la casa de la calidad

Una vez elaborada la casa de la calidad se tiene como resultados las siguientes conclusiones:

La velocidad debe ser constante tanto en el ascenso como en el descenso del sistema, evitando movimientos bruscos, sumándole a esto un frenado suave para evitar sacudones que impidan la comodidad del usuario, se considera que la velocidad no puede superar los 8m/min.

Es importante que el sistema pueda soportar una carga de al menos 140 kg para subir los escalones sin ningún inconveniente, una de las metas es lograr que el sistema sea lo más ligero posible.

El largo ancho y alto del sistema debe tomarse en cuenta para que pueda acceder a escalones que no sean muy anchos y para lograr la estabilidad del sistema al ascender o descender escalones.

La potencia de los motores debe ser lo suficiente para movilizar la carga total del sistema, de la persona a moverse, y además superar la pendiente de inclinación de las gradas.

Para el suministro de energía se desea que el sistema sea autónomo, que durante su funcionamiento no esté conectado a cables que limiten su movilidad.

Un factor a tomar en cuenta es que el sistema brinde seguridad y confort al usuario, es decir que alcance la máxima estabilidad al momento que empieza tanto en el ascenso como en el descenso de las gradas, sin dejar de lado la comodidad del usuario. El frenado del sistema debe ser confiable y a este se le debe añadir un sistema de emergencia en caso de que el sistema presente fallos durante su funcionamiento.

3.5. Especificaciones técnicas del sistema

Con la elaboración de la Casa de la calidad se ha podido determinar las especificaciones técnicas requeridas para cubrir las necesidades del usuario, las mismas que se presentan en la Tabla 3.1:

Tabla 3.1

Especificaciones técnicas.

Empresa: UFA ESPE Latacunga		Producto: sistema con orugas para transportar personas en sillas de ruedas a través de escaleras		Fecha inicial: 27/10/2014 Última revisión: 05//12/2014 Página 1/1
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función	27/10/14	D	R	Movilizar personas discapacitadas en silla de ruedas a través de escaleras
Capacidad de carga	27/10/14	D	D	130 Kg
Peso del sistema	27/10/14	D+M	R	50 Kg
Velocidad	27/10/14	D+I	D	8m/min
Alimentación	27/10/14	I	R	DC mediante baterías
Potencia motores	27/10/14	I+C	R	300 W
Dimensiones	27/10/14	M+D	R	1.5m x 0.7m x 1m
Inclinación máx.	27/10/14	D	D	35°
Freno	27/10/14	D+I	R	Electromagnético
Mando	27/10/14	C+I	R	Control con botones de mando, visualización de variables, leds indicadores, paro de emergencia.
Cargador de baterías	27/10/14	C	D	Automático
Portátil	27/10/14	C	D	Fácil desmontaje y montaje para su transportación
Mantenimiento	27/10/14	C+M	R	Sencillo

Propone: M = Marketing; D = diseño; P = Producción; F = Financiación; C = Cliente; I = Ingeniería

R/D: R = Requerimiento; MR = Modific. Requerimiento; NR = Nuevo requerimiento; D = Deseo

CAPÍTULO IV

DEFINICIÓN Y DISEÑO CONCEPTUAL

4.1. Análisis funcional

4.1.1. Definición del análisis funcional

Según Lawrence Miler el análisis funcional es un método que se emplea con la finalidad de reducir costos, independizando la acción a realizar por el producto del producto mismo, en este análisis se presentan varias soluciones para realizar una misma función. Este método ayuda a identificar, clasificar y determinar la dependencia entre las funciones que puede tener el producto logrando diseñar así un producto multifuncional.

Para la elaboración de este análisis funcional se debe determinar la función principal a realizar por el producto a diseñar, que en este caso es la de movilizar a un persona con discapacidad motriz desde una planta hacia otra a través de gradas, esta es la necesidad que desea satisfacer el usuario y las funciones secundarias que son aquellas que hacen posible que el producto ejecute la función principal de una manera adecuada. Luego de que se han determinado tanto la función primaria como las funciones secundarias se procede a plantear las posibles soluciones para estas funciones, para luego escoger la más adecuada.

Además se dividirá las funciones en niveles, iniciando con el nivel 0 para la función principal hasta el nivel que se crea conveniente. Realizada la división en niveles se procede a realizar una agrupación en módulos. Que posteriormente permitirá establecer las alternativas de diseño mediante el mapa.

Para facilitar el análisis funcional se procede a realizar una representación gráfica del mismo, donde se presenta cada función al interior de un cuadro, los cuales pueden entrar o salir diferentes tipos de señales como material, energía eléctrica y señal de control.

4.1.2. Desarrollo de los diagramas funcionales

Presentación del Diagrama Funcional para el ascenso y descenso del sistema para movilizar silla de ruedas a través de escaleras.

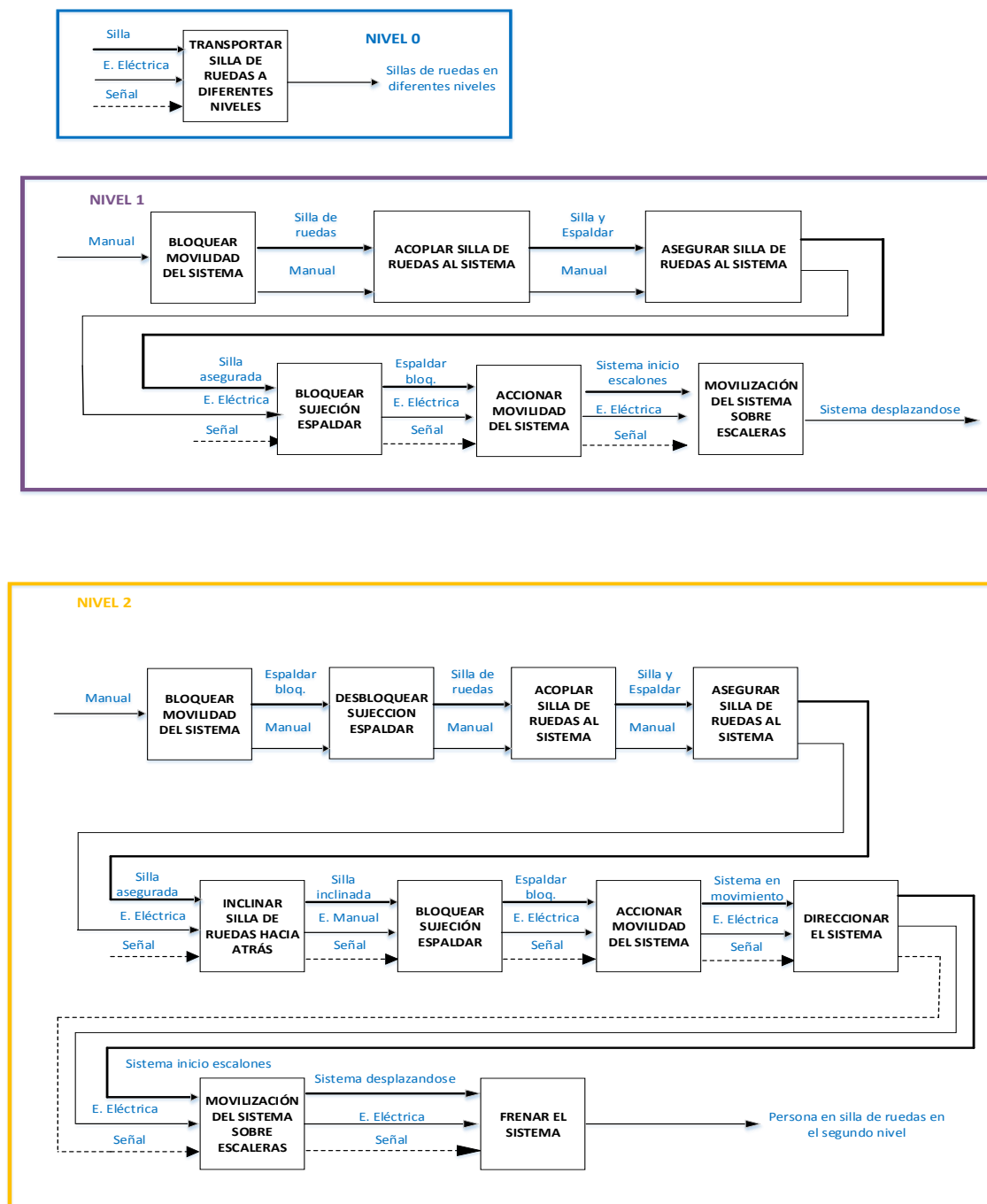


Figura 4.1: Diagrama funcional del sistema

4.1.3. Análisis de los diagramas funcionales

Como se explica anteriormente el diagrama funcional tiene como propósito determinar la función que debe cumplir el sistema.

En el caso del sistema con orugas la función principal es movilizar una persona con discapacidad motriz en sillas de ruedas desde un nivel a otro sea este superior o inferior, para lo cual se tiene como entrada a la persona discapacitada montada en su silla de ruedas, energía eléctrica y además una señal de control, y como salida se tiene a la persona discapacitada movilizada hacia la planta o nivel que desee, con ello queda definido el Nivel 0.

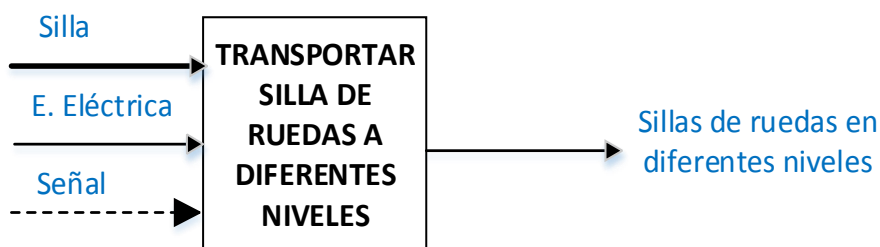


Figura 4.2: Nivel 0

Para evitar la aparición de soluciones virtuales una vez establecidos los niveles y sus módulos se ha determinado que el sistema está compuesto por 2 niveles únicamente.

En el Nivel 1 se detallan las funciones necesarias para poner el sistema en marcha y que este pueda cumplir con la función primaria establecida en el nivel 0. Se especifica el tipo de flujo que se transmite, sea señal manual o señal eléctrica según a lo que se requiere en cada función.

En el Nivel 2 se encuentran las sub-funciones que hacen posibles que las funciones mencionadas en el Nivel 1 se cumplan.

Para poder anclar la silla de ruedas al sistema, primero se debe revisar que la movilización del sistema se encuentre bloqueada para evitar que el sistema se mueva mientras la persona está anclando la silla, a continuación se debe desbloquear el espaldar

del sistema para poder moverlo hacia a delante y entonces acoplar la silla de ruedas al sistema, desplazando la silla hasta que tope con el espaldar posicionado de manera vertical, es ahí cuando hay que asegurar la silla de ruedas con el sistema transportador, para poder inclinar la silla de ruedas acoplada, esto ayuda a posicionar la silla y a la persona de tal manera que se compense el grado de inclinación de las gradas para evitar perdida de equilibrio, se debe bloquear el espaldar del sistema transportador, no olvidar verificar las condiciones de variables del sistema, para saber si el sistema está en condiciones óptimas para continuar con la función de accionar movilidad del sistema, para direccionar sistema, y permitir desplazar sistema transportador sobre las escaleras, y para finalizar la función de frenar sistema que permite detener el sistema una vez que este ha superado las gradas, o incluso en caso de emergencia que se necesita que el sistema pare.

4.1.4. Definición de módulos

Los módulos no son más que divisiones funcionales que se realizan para optimizar el diseño de un producto, gracias a la modularidad se puede desarrollar, probar y realizar modificaciones de manera simple y sin afectar las demás partes del sistema. De ser necesario resolver un problema lo mejor es dividirlo en partes pequeñas para poder encontrar una solución en menor tiempo.

Para alcanzar a resolver la función principal se debe realizar varias funciones con nuestro sistema es por ello que se lo ha dividido en diferentes módulos para facilitar y agilizar el diseño del mismo. Para ello se debe observar detenidamente nuestro diagrama funcional realizado ya que de este partir para la división modular.

Al observar el diagrama funcional detenidamente, está dividido en dos conjuntos principales de funciones de los cuales se partirá.

En el Módulo 1 están ubicadas las funciones enlistadas a continuación:

- Bloquear sistema de locomoción del sistema
- Desbloquear sistema de enganche espaldar

- Acoplar la silla de ruedas al sistema de enganche
- Asegurar la silla de ruedas
- Inclinar hacia atrás silla de ruedas acoplada
- Bloquear el sistema de enganche del espaldar

Teniendo así para el Módulo 2 las siguientes funciones:

- Accionar movilidad del sistema
- Direcccionar el sistema transportador
- Posicionar el transportador al inicio de las gradas
- Desplazar el sistema sobre los escalones
- Activar el freno del sistema en caso de ser necesario

Cabe mencionar que una vez realizada la última función del primer módulo para empezar con el segundo módulo se debe verificar las condiciones de variables del sistema, para saber si el sistema está en condiciones óptimas para continuar con la función de accionar movilidad del sistema.

Se ha realizado esta división tomando en cuenta que la relación de operación entre estos dos grupos de funciones es menor. El primer conjunto se encarga de anclar a la persona con su silla de ruedas al sistema y el segundo conjunto se encarga de movilizar el sistema y desplazarlo sobre los escalones o gradas cumpliendo de esta manera con la función principal planteada en el Nivel 0.

4.1.4.1. División modular del primer conjunto

Realizadas las dos agrupaciones de funciones principales del diagrama funcional Nivel 2, el primer conjunto realiza una función principal que es la de asegurar la silla de

ruedas al sistema de transportación con lo que se determina la división modular del primer conjunto.

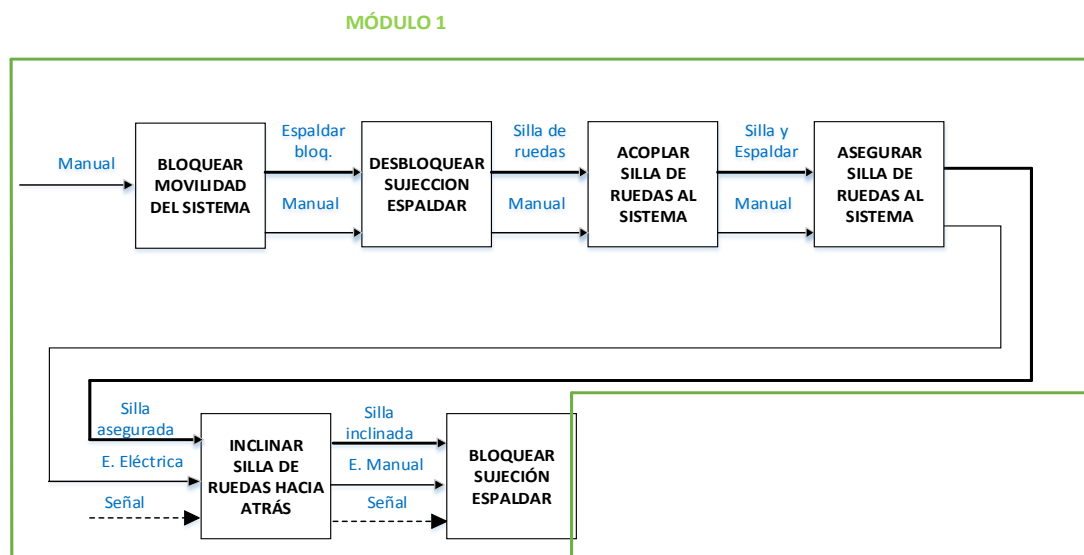


Figura 4.3: División de Módulo 1

4.1.4.2. División modular del segundo conjunto

El segundo conjunto de funciones queda dividido en posicionamiento del sistema con la silla anclada al inicio de los escalones a superar y movilizar el sistema para subir o bajar las gradas.

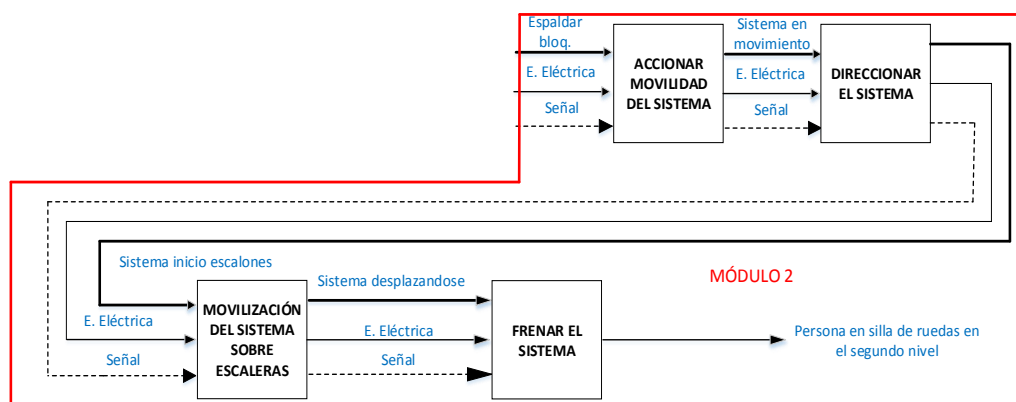


Figura 4.4: División de Módulo 2

En el siguiente apartado se detallará las posibles soluciones o alternativas para la solución de cada módulo.

4.2. Soluciones para cada módulo

4.2.1. Módulo 1

Este módulo se encuentra conformado por las siguientes funciones:

- Bloquear sistema de locomoción del sistema
- Desbloquear el sistema de sujeción del sistema
- Acoplar silla de ruedas al espaldar
- Asegurar la silla de ruedas.
- Inclinar hacia atrás silla de ruedas acoplada.
- Bloquear el sistema de enganche del espaldar

Para cada una de estas funciones pueden existir varias soluciones, las mismas detalladas a continuación con su respectiva matriz de ponderación y matriz morfológica para analizar y evaluar cuál será la mejor opción.

4.2.1.1. Bloquear locomoción del sistema

Esta función es posible realizarla con un freno electromagnético que podrá ser activado por el usuario cuando desee que el sistema no se movilice y quede bloqueada la movilidad del mismo. Para permitir que el usuario acople la silla de ruedas al sistema sin ningún inconveniente y previniendo cualquier posible accidente.

4.2.1.2. Desbloquear el espaldar

Al encontrarse el sistema en reposo el espaldar que sujeta la silla se encuentra sujetado hacia atrás con una pequeña inclinación, para liberar el espaldar con los elementos de sujeción de la silla cuando sea necesario se ha planteado como alternativa el implementar una palanca que podrá ser accionada con el pie del ayudante. Una vez que esta palanca sea presionada se puede lograr la liberación del sistema de sujeción.

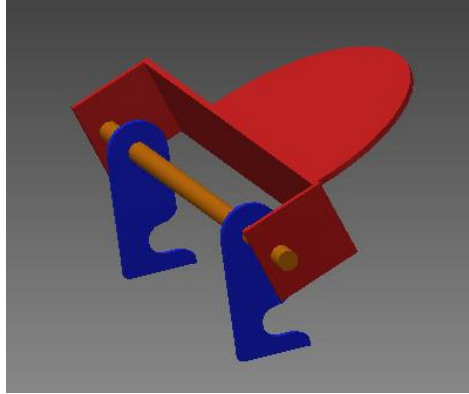


Figura 4.5: Palanca bloqueo y desbloqueo espaldar.

Ventajas

- Fácil implementación
- Permite el bloqueo y desbloqueo del espaldar con facilidad.
- Seguro.
- Económico

Desventajas

- Se requiere de un ayudante para el bloqueo y desbloqueo en vista de que esta palanca se encuentra colocado en la parte posterior.

4.2.1.3. Acoplar la silla de ruedas al sistema

Para poder acoplar la silla de ruedas al sistema de transportación se ha optado por el diseño de un espaldar desmontable en el cual se pueda apoyar la silla de ruedas. Es por ello que en la parte inferior del espaldar se debe colocar una base que permita enganchar y desenganchar el espaldar y además colocarlo en una posición que permita el acople con la silla de ruedas. En la parte posterior del espaldar la opción es colocar una placa agujerada que limite y asegure una abrazadera que debe subir y bajar a lo largo del espaldar, esta abrazadera deberá tener un agujero en la parte posterior. Una vez determinada la altura a la que se necesita que se ubique la abrazadera se buscara el orificio más próximo que coincida con la placa agujerada colocada en el espaldar, para entonces

pasar por ambos agujeros el pasador con agarradera blanca instalado en la abrazadera. Junto con esta abrazadera se deslizarán los elementos finales de sujeción de la silla de ruedas.

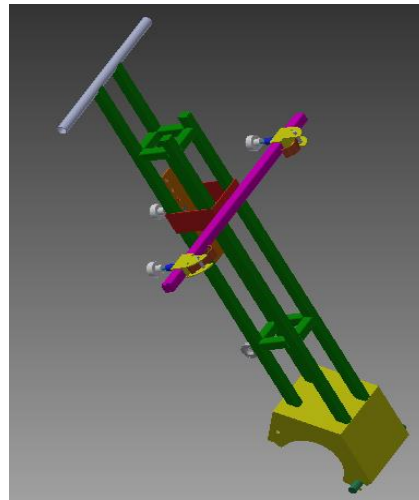


Figura 4.6: Espaldar para acoplar silla de ruedas.

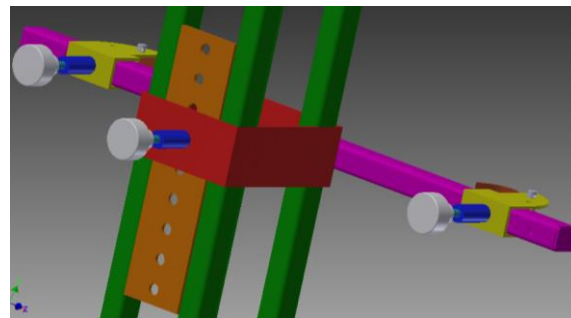


Figura 4.7: Pomo con pasador instalado en la parte posterior de espaldar

Ventajas

- Sistema fácil de implementar
- Brinda seguridad en la sujeción
- Su implementación resulta económica
- Gracias a los deslizantes es regulable

Desventajas

- Al acoplar la silla de ruedas al sistema se requerirá de ayuda.

4.2.1.4. Asegurar la silla de ruedas

Para que la silla y el sistema queden acoplados y asegurados se requiere la implementación de un seguro que permita bloquear la silla de manera efectiva, para evitar que esta se mueva mientras la persona está siendo movilizada. Para ello lo más conveniente será un pasador que se lo colocara una vez que el sistema este regulado a la altura y anchura de la silla de ruedas.

Este pasador estará ubicado frente al gancho que sujeta la silla de ruedas de tal manera que bloquee el gancho en la posición deseada evitando que este se vaya hacia adelante liberando la silla de ruedas.

Adicional a esto se debe colocar un cinturón de seguridad para aumentar la seguridad del sistema.

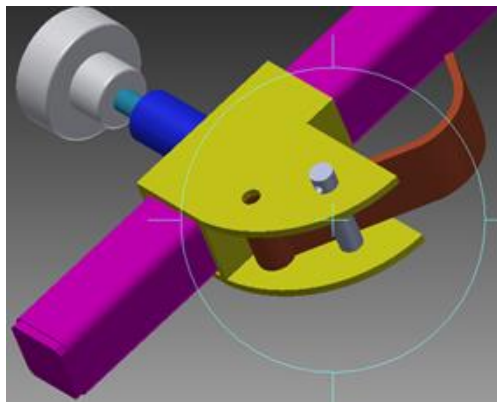


Figura 4.8: Gancho sujeción silla

4.2.1.5. Inclinar hacia atrás silla de ruedas acoplada.

Para el cumplimiento de esta función la alternativa más sencilla es la de implementar en la parte inferior del bastidor dos ejes, uno de ellos que permita que la base del espaldar gire sobre el para ubicar el espaldar en posición vertical o ayudar como guía para llevar el espaldar hacia atrás y el segundo que sirva como tope en la parte posterior de la base

para evitar que el espaldar vaya por completo hacia atrás, ya que la inclinación de la silla debe ser tal que ayude a compensar el grado de inclinación de las gradas y permite que el usuario se sienta más cómodo tanto en el ascenso como en el descenso de las gradas. Adicional a esto para facilitar la inclinación de la silla de ruedas se debe colocar un tubo en cada costado del bastidor que sirva como pivote en las ruedas de la silla.

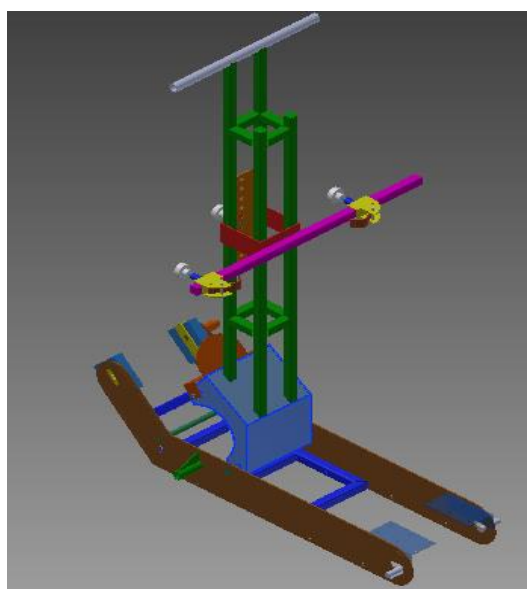


Figura 4.9: Espaldar posición vertical

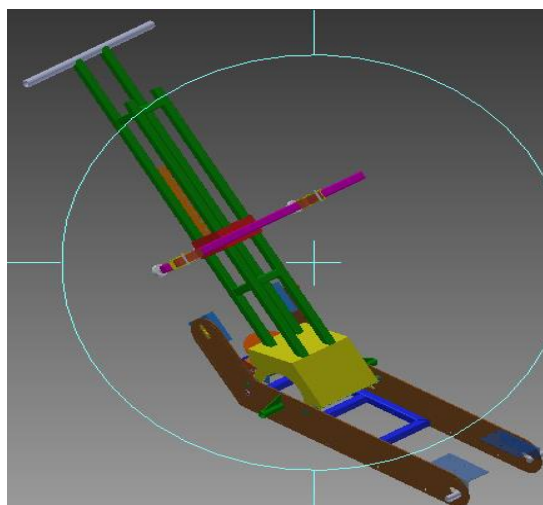


Figura 4.10: Espaldar posición de ascenso escaleras

Ventajas

- Fácil de implementar
- Seguro para el usuario
- Resulta ser liviano
- Bajo costo
- El espacio para su implementación no requiere ser grande

Desventajas

- Requiere de ayuda para inclinar la silla hacia atrás

4.2.1.6. Bloquear enganche espaldar

Para la solución de esta función la mejor opción es el empleo del seguro ubicado en la parte posterior de la base, mismo que se ha empleado para el desbloqueo del espaldar en una de las funciones anteriores. Siendo esta alternativa la mejor por su funcionalidad permitiendo tanto el desbloqueo como el bloqueo de la base del espaldar con tan solo presionar la palanca hacia abajo con el pie, llevar el espaldar con la silla hasta el tope y entonces dejar de presionar para que el gancho regrese a su posición inicial obligado por un resorte que detiene al gancho bloqueándolo.

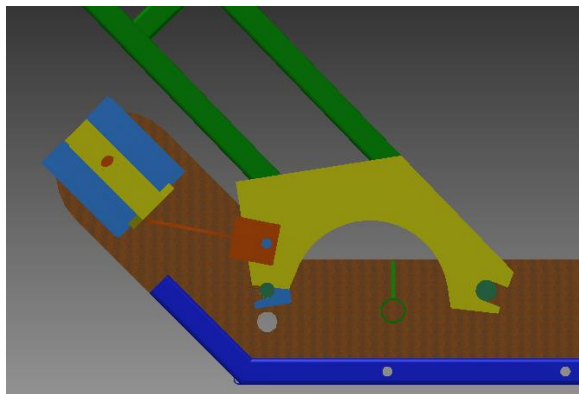


Figura 4.11: Gancho en posición de bloqueo espaldar

4.2.1.7. Alternativas módulo 1

A continuación las alternativas presentadas para solucionar cada una de las funciones que comprenden el Módulo 1.

Tabla 4.1

Posibles soluciones para el módulo 1

FUNCIÓN	COMPONENTE
Bloquear la locomoción del sistema	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">FRENO</div>
Desbloquear sujeción del espaldar	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">PALANCA + GANCHO</div>
Acoplar silla de ruedas al sistema de enganche.	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">DESLIZANTES + PASADORES</div>
Asegurar la silla de ruedas.	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">GANCHO + PASADOR</div>
Inclinar hacia atrás silla de ruedas acoplada.	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">BASE + EJES PARA PIVOTE</div>
Bloquear el sistema de enganche	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">PALANCA + GANCHO SIN PRESIONAR</div>
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> ALTERNATIVA1 ALTERNATIVA2 </div>

4.2.2. Módulo 2

4.2.2.1. Accionar movilidad del sistema

Para que el sistema pueda empezar a movilizarse se debe empezar por activar los actuadores que en este caso son motores DC, estos pueden ser alimentados con acumuladores o baterías que pueden ser transportadas en el interior del sistema cumpliendo así con el requerimiento de que el sistema puede manejarse sin la necesidad de estar conectado a cables que limiten su movilidad.

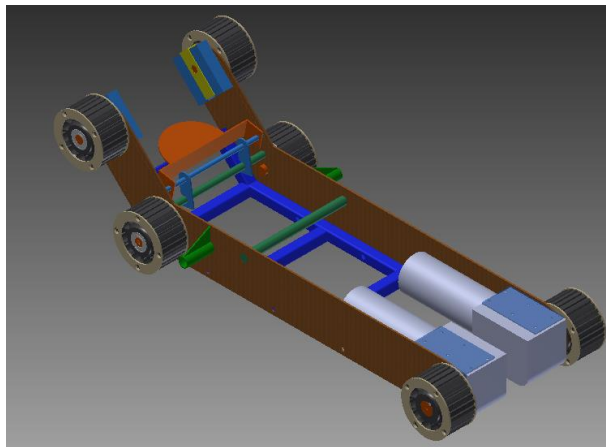


Figura 4.12: Motores DC

4.2.2.2. Direccionar el sistema transportador

Se emplean para el direccionamiento un conjunto de botones que conforman el control conjuntamente con una palanca que permiten que el usuario puede dirigirlo según su necesidad. Se considera que esta es la mejor opción, al encontrarse fácilmente en el mercado, es fácil de emplear y segura. Con empleo de este sistema de control se puede movilizar el sistema hasta la posición deseada para que empiece a cumplir con la siguiente función que es la de desplazarse sobre las gradas o escalones.

4.2.2.3. Desplazar el sistema sobre los escalones

a) Orugas

Para lograr que el sistema se movilice sobre las escaleras las orugas de goma es una de las alternativas por su alta adherencia al suelo.

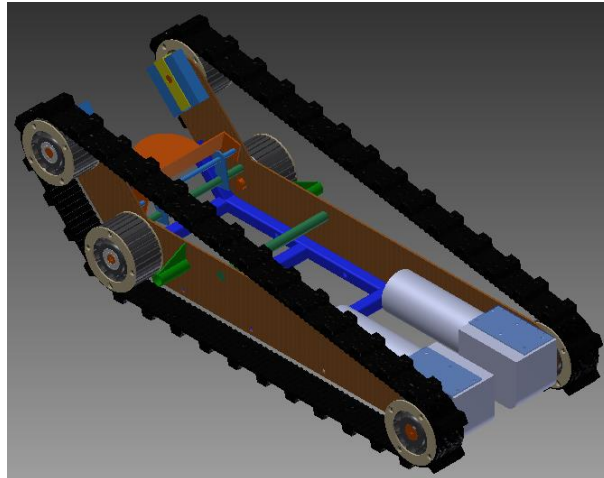


Figura 4.13: Tracción con orugas

Ventajas

- Poseen una gran tracción y buen agarre en diferentes superficies
- Permiten que el sistema sea portable
- Al ser de goma no dañan los escalones
- Pueden emplearse en diferentes edificaciones

Desventajas

- No pueden utilizarse en gradas en forma de caracol

b) Salvaescaleras fijo

Otra alternativa es implementar el sistema sobre rieles fijos que se encuentren empotradas en la pared siguiendo la trayectoria de las gradas que funcionan mediante un

sistema de piñón cremallera activadas por un motor que movilizan la silla sobre las escaleras.

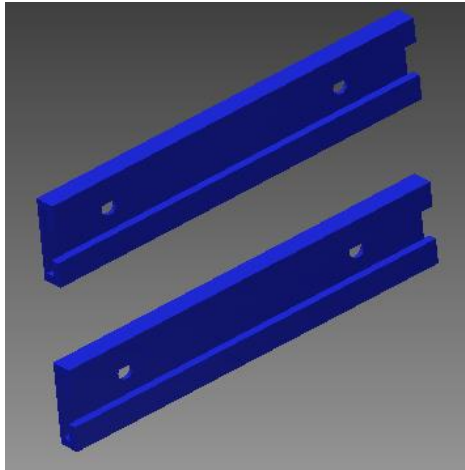


Figura 4.14: Rieles Fijas

Ventajas

- Puede implementarse en gradas curvas

Desventajas

- Es una estructura fija
- Se puede implementar nada más en una edificación específica.
- El costo de implementación es elevado.

4.2.2.4. Activar el freno del sistema en caso de ser necesario

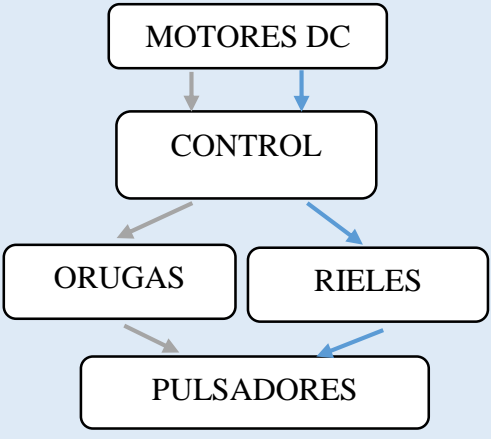
El freno del sistema es electrónico se podrá activar a través del controlador bloqueando los motores para que estos no giren. Este freno puede ser activado o desactivado desde el panel de control del usuario. Para aumentar la seguridad del sistema se puede activar el freno desde un botón que será un paro de emergencia para detener el sistema por completo en caso de algún inconveniente.

4.2.2.5. Alternativas Módulo 2

En la siguiente tabla se presenta las alternativas contempladas para solucionar las funciones a realizar en el segundo módulo.

Tabla 4.2

Posibles soluciones para el módulo 2

FUNCIÓN	COMPONENTE
Accionar la movilidad del sistema	 <pre> graph TD A[MOTORES DC] --> B[CONTROL] B --> C[ORUGAS] B --> D[RIELES] C --> E[PULSADORES] D --> E style C stroke:#808080 style D stroke:#0000FF style E stroke:#0000FF </pre>
Direccionar el sistema	
Desplazar sobre las escaleras	
Frenar el sistema	
	ALTERNATIVA 1 ALTERNATIVA 2

4.2.3. Selección de la mejor alternativa

4.2.3.1. Evaluación solución Módulo 1

Las alternativas planteadas en el módulo 1 aplican para ambas alternativas en vista de que estas resultan ser fáciles de implementar, de bajo costo, seguras y resuelven cada una de las funciones de una manera eficiente.

4.2.3.2. Evaluación solución Módulo 2

En este módulo al tener dos alternativas de diseño se ha visto la necesidad de crear una matriz morfológica que ayude a determinar cuál de las alternativas resulta ser la que más cumpla con los requerimientos del usuario.

Para el desarrollo de nuestra matriz morfológica se tomarán en cuenta los requerimientos más determinantes.

El bajo peso es importante, para que el sistema puede ser transportado de un lugar a otro.

Que el sistema sea desmontable para poder movilizarlo de una edificación a otra de una manera sencilla y ocupe menos espacio, es un punto que se debe tomar muy en cuenta.

El precio debe ser accesible. De tal manera que sea posible adquirirlo para el beneficio de las personas con discapacidad motriz.

Un requerimiento que debe cumplir sin duda alguna cualquiera que sea la alternativa es la seguridad del sistema mientras está siendo operado.

La operación del sistema debe ser fácil de tal manera que quien la opere lo pueda hacer de una manera sencilla. A continuación se presenta la evaluación de cada uno de los requerimientos para cada alternativa en tablas:

Tabla 4.3

Evaluación importancia de cada criterio

	Bajo peso	Portabilidad	Bajo costo	Seguridad	Fácil operación	$\Sigma+1$	Ponderación
Bajo peso		1	0,5	0,5	0,5	3,5	0,25
Portabilidad	1		0	1	0,5	2,5	0,18
Bajo costo	0	0,5		0,5	0	2	0,14
Seguridad	1	1	1		1	4	0,29
Fácil operación	0,5	0,5	0	0,5		2	0,14
						14	1
Bajo peso >Portabilidad>Costo moderado=Fácil operación<Seguridad							

Tabla 4.4**Evaluación soluciones con respecto al peso**

Bajo peso	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,67
Alternativa 2	0		1	0,33
			3	1

ALTERNATIVA 1>ALTERNATIVA 2

Tabla 4.5**Evaluación soluciones con respecto a la portabilidad**

Portabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,67
Alternativa 2	0		1	0,33
			3	1

ALTERNATIVA 1>ALTERNATIVA 2

Tabla 4.6**Evaluación soluciones con respecto al costo**

Bajo Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,67
Alternativa 2	0		1	0,33
			3	1

ALTERNATIVA 1>ALTERNATIVA 2

Tabla 4.7**Evaluación soluciones con respecto a la seguridad**

Seguridad	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,50
Alternativa 2	1		2	0,50
			4	1

ALTERNATIVA 1=ALTERNATIVA 2

Tabla 4.8**Evaluación soluciones con respecto a la fácil operación**

Fácil operación	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,67
Alternativa 2	0		1	0,33
			3	1

ALTERNATIVA 1 > ALTERNATIVA 2

Una vez realizado la evaluación de las alternativas con respecto a cada requerimiento se puede realizar un cuadro en el cual se resume los resultados para entonces determinar la mejor alternativa.

Tabla 4.9**Resultados matriz de ponderación**

Conclusión	Bajo peso	Portabilidad	Costo Moderado	Seguridad	Fácil operac.	Σ	PRIORIDAD
Alternativa 1	0,167	0,119	0,095	0,143	0,095	0,619	1
Alternativa 2	0,083	0,060	0,048	0,143	0,048	0,381	2

Como se puede ver en la Tabla 4.9, luego de un análisis sobre las alternativas que se pueden realizar se ha obtenido que la que cumple con un mayor número de requerimientos planteados por el usuario es la primera alternativa.

CAPÍTULO V

CÁLCULO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

5.1. Consideraciones para los estudios por elementos finitos

El método de los elementos finitos (MEF) es una técnica numérica para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales con la intención de obtener unos resultados lo más próximos a la realidad posible sin tener que materializar el modelo y someterlo físicamente a las condiciones reales de trabajo. La resolución de estas ecuaciones de forma discreta se realiza de forma iterativa hasta que se alcanza convergencia en la solución.

El (MEF) ha adquirido una gran importancia en la solución de problemas de ingeniería, físicos, etc., ayudando a tener una optimización de los diseños mediante un análisis previo antes de ser manufacturados con la finalidad de evitar gastos innecesarios y poder ahorrar tiempo y dinero obteniendo al momento de la fabricación un diseño confiable, que brinde productividad y ganancias.

Las herramientas software que permiten realizar este proceso de forma eficiente y cómoda se denominan herramientas de análisis por elementos finitos, o simplemente herramientas de elementos finitos (HEF), para el proyecto en mención se ha utilizado el programa ANSYS (Versión Estudiantil), simulador que ayuda a realizar un estudio de movimiento minucioso en el diseño, efectuando los análisis en condiciones estáticas y dinámicas bajo los parámetros deseados para la obtención de resultados confiables.

5.1.1. Verificación de la convergencia

La verificación de convergencia es una técnica que permite precisión en el estudio de los esfuerzos y deformaciones con cargas a ser aplicadas para el estudio de diseño. Mediante el software ANSYS (Versión Estudiantil) se emplea varios métodos para obtener soluciones y resultados eficientes que ayudan a la disminución de errores en los diseños asistidos por computador, para obtener un proyecto real que trabaje de manera eficiente y acorde a los requerimientos establecidos.

5.1.2. Mallado

Se puede decir que mallar es que el modelo sólido está conformado de nodos y elementos. Al realizar el mallado se transforma el modelo sólido en un modelo de elementos finitos.

Existen tres principales en el mallado de un modelo sólido: (INTRODUCCIÓN A LOS ELEMENTOS FINITOS, 2015)

- Especificar la densidad de mallado deseada.
- Especificar los atributos de los elementos generales al mallar (tipos de elementos, reales, constantes, materiales, sistema de coordenada del elemento).
- Dirigir al programa en el mallado de elementos y nodos.
- Se debe considerar los siguientes parámetros para realizar el mallado de una manera adecuada:

Mallado estándar.- utiliza el esquema de mallado de Voronoi-Delaunay (FrameConcepto, 2014) para operaciones de mallado posteriores.

Calidad de malla.- Una malla con calidad de borrador no tiene nodos centrales y puede utilizarse para una evaluación rápida y, en modelos sólidos, cuando los efectos de la flexión son leves.

Malla utilizada en curvaturas.- El mallado basado en la curvatura crea más elementos en zonas de mayor curvatura automáticamente.

Puntos jacobianos.- Se utilizará para comprobar el nivel de distorsión de los elementos tetraédricos de nivel superior.

El criterio de estudio se lo realiza de acuerdo a los parámetros establecidos para el estudio y diseño del sistema aplicando métodos de esfuerzos del material a utilizar y tener la aceptación de la simulación con el objetivo de tener un diseño que se ajuste a la realidad.

5.1.3. Condiciones de contorno

Las condiciones del contorno del sistema requerido se las efectúan en el momento que se realiza la simulación particular de cada proceso con las condiciones inicialmente establecidas.

5.2. Cargas aplicadas sobre el sistema.

Para realizar el análisis del sistema con arugas se debe establecer en primer lugar las condiciones de borde y las cargas aplicadas, para calcular los esfuerzos y el factor de seguridad.

Se proyecta diseñar un sistema automático con orugas para que una silla de ruedas con su ocupante puedan ser enganchados y de esta manera movilizar a la persona con discapacidad desde un piso a otro.

Tabla 5.1

Sumatoria Cargas muertas

CARGAS MUERTAS	
ELEMENTO	MASA (Kg)
Orugas	6
Silla de ruedas	10
Sistema Electrónico	4
Motores (Especificaciones técnicas)	14
Masa total	34

Tabla 5.2

Sumatoria Cargas vivas

CARGAS VIVAS	
ELEMENTO	MASA (Kg)
Persona	130
Masa total	130

La persona sobre la silla de ruedas ejerce una carga sobre el espaldar del sistema con orugas, una vez que esta se ha anclado al sistema y se ha inclinado hacia atrás. Además ejerce una carga sobre los tubos que son empleados como pivote y soporte para la silla. Para determinar el esfuerzo al que están sometidos estos elementos se realiza el siguiente análisis analítico.

Considerando las masas de la persona y la silla de ruedas de la tabla anterior y se tiene:

$$m_p = 130kg$$

$$m_s = 10kg$$

$$m_T = 140kg \quad W = m_T * g$$

Ecuación (1)

$$W = 140Kg * 9,8 \frac{m}{s^2} = 1372 \text{ N}$$

m_p : masa promedio de una persona [kg]

m_s : masa tomada de una silla de ruedas manual [kg]

m_T : sumatoria masa de la persona y masa de la silla de ruedas [kg]

W : Peso aplicado por la persona y la silla de ruedas [N]

Obteniendo como resultado que la fuerza resultante aplicada sobre el sistema es de 1372N, se debe considerar que al momento de anclar la silla de ruedas con el ocupante al sistema este debe ser llevado hacia atrás para que el espaldar quede a una inclinación de 45° grados, Esta inclinación se da para compensar la pendiente de las gradas que puede ser máximo de 35° grados. De esta manera la persona queda en una posición más cómoda el momento de ascender o descender las gradas. En la gráfica a continuación se explica la forma en la que el peso de la persona en la silla se ubica sobre el sistema.

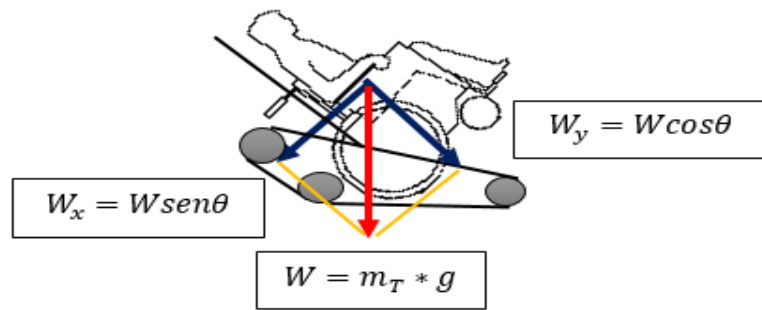


Figura 5.1: Fuerzas aplicadas sobre el sistema en reposo.

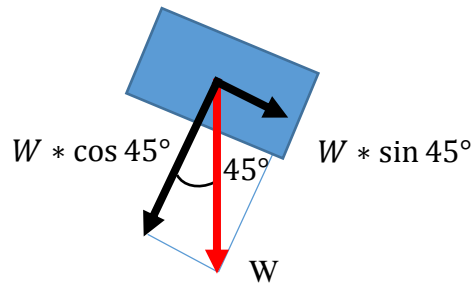


Figura 5.2: Diagrama de cuerpo libre del sistema

En esta figura se observa como la silla queda inclinada hacia atrás una vez que es enganchado al espaldar del sistema transportador. Además se ha colocado la forma en la que queda aplicada la fuerza sobre el tubo para el espaldar y el tubo para pivote.

De lo cual se tiene:

$\theta = 45^\circ$, ángulo de inclinación del espaldar.

$$W_x = W * \text{sen}\theta \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$W_x = (m_T * g) * \text{sen}45^\circ$$

$$W_x = (140Kg * 9,8) * \text{sen}45^\circ = 970,15 \text{ N}$$

$$W_y = W * \text{cos}\theta \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$W_y = (m_T * g) * \text{cos}45^\circ$$

$$W_y = (140Kg * 9,8) * \text{cos}45^\circ = 970,15 \text{ N}$$

$$W_y = 970,15 \text{ N}$$

Luego de establecer las cargas que se aplican sobre el sistema es posible calcular los esfuerzos a los que son sometidos los componentes, este es un paso importante para verificar si el diseño de las piezas es el correcto y asegurar que el sistema soporte las cargas a las que va a ser sometido.

MDSolid es una herramienta diseñada para análisis de esfuerzos en vigas es por ello que se ha empleado este software para detallar de manera gráfica los resultados obtenidos analíticamente.

En el tubo que se encuentran colocados los ganchos de sujeción de la silla de ruedas se aplicará una carga $W_x = 970,15N$, la misma que se divide para dos a cada lado se colocará un gancho de sujeción.

Teniendo:

$$P_1 = P_2 = 485N \quad \text{Ecuación (4)}$$

En la siguiente figura se encuentra la distribución de fuerzas aplicadas sobre el tubo para espaldar y además se han colocado los soportes para el tubo.

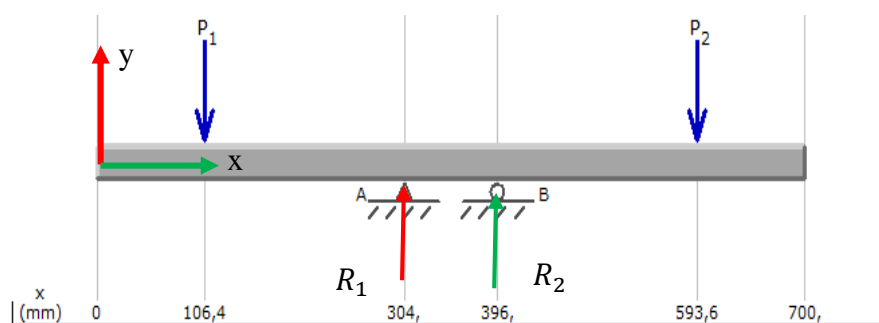


Figura 5.3: Distribución de cargas sobre tubo espaldar

Entonces se procede a resolver aplicando las ecuaciones de condición de equilibrio:

$$+\uparrow \sum F_y = 0 \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$-485N + R_1 + R_2 - 485N = 0$$

$$R_1 + R_2 = 970,15 N$$

Sumatoria de Momentos:

$$+\circlearrowleft \sum M_A = 0$$

Ecuación (6)

$$485(0,198) + R_2(0,092) - 485(0,290) = 0$$

Al despejar R_2 se obtiene:

$$R_2 = 485N$$

$$R_1 = -485N$$

En la Figura 5.4 se ha colocado el diagrama de cargas que actuarán sobre al tubo de sujeción del espaldar de la silla de ruedas al sistema.

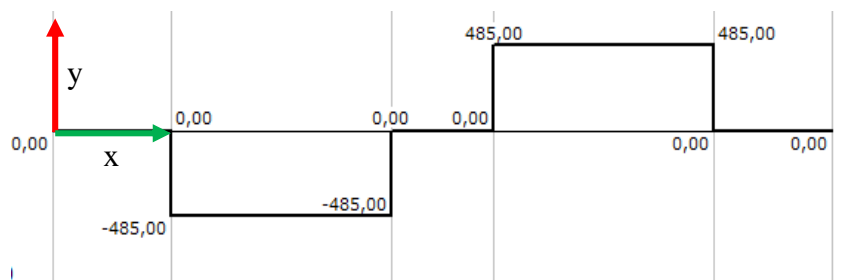


Figura 5.4: Diagrama de cargas

Cálculo de áreas:

$$A_1 = 0$$

$$A_2 = 485 * 0,198 = 96 [Nm]$$

$$A_3 = 0$$

$$A_4 = 485 * 0,198 = 96 [Nm]$$

$$A_5 = 0$$

Cálculo de Momentos:

$$M_0 = 0$$

$$M_1 = 0 - 96Nm = -96Nm$$

$$M_2 = -96Nm - 0 = -96Nm$$

$$M_3 = -96Nm + 96Nm = 0$$

$$M_4 = 0$$

Para avanzar con el análisis estático del sistema, primero se realizó la selección del material a utilizar. Como ayuda para determinar el tipo de material se ha empleado el software CES Edupack 2009, mismo que permite determinar las propiedades que se desea que el material posea mostrando al diseñador las posibles soluciones de manera rápida y efectiva.

Identificación del Momento Máximo

$$M_{m\acute{a}x} = -96Nm$$

Para corroborar el resultado obtenido se observa en la Figura 5.5 el diagrama de momentos obtenido:

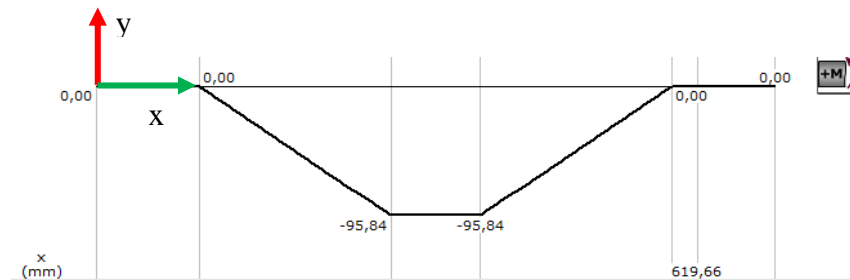


Figura 5.5: Diagrama de momento flexionante

Se ha determinado la densidad del material, el límite elástico, el precio y además se desea que el material pueda ser reciclado una vez que el sistema haya cumplido su tiempo de vida útil.

Tabla 5.3

Parámetros para selección de material

Parámetro	Unidades	Valor Min.	Valor Max.
Densidad	(kg/m^3)	7800	7900
Límite Elástico	($MPas$)	250	350
Precio	(USD)	0	2
Reciclable	√		

Al crear un nuevo proyecto en el software CES e ingresar los parámetros indicados en la tabla, se debe seleccionar aplicar para que el software proceda a buscar en su base de datos el material que cumple con los parámetros deseados. La lista de estos materiales se presenta en la parte inferior izquierda de la ventana.

En este caso en la Figura 39 se muestra que el acero bajo en carbono y el acero medio en carbono son los que poseen las características que se requiere. Es por ello que para el análisis del Diseño de la estructura mecánica se empleará el acero ASTM 500, ya que se encuentra fácilmente en el mercado, es fácil de maquinarse y su soldabilidad es muy buena.

The screenshot displays the 'MATERIAL ESTRUCTURA' window in CES Edupack 2009. The interface is divided into several sections:

- 1. Selection Data:** Database: CES EduPack 2009 Levels 1 & Change...; Select from: Custom: MaterialUniverse (Edu Level 1)
- 2. Selection Stages:** Graph, Limit, Tree; Stage 1: MATERIAL ESTRUCTURA
- 3. Results: 2 of 67 pass**
 - Show: Pass all Stages
 - Rank by: Alphabetical
 - Name:
 - Low carbon steel
 - Medium carbon steel

The main panel shows the following material properties and their selection ranges:

Property	Minimum	Maximum	Unit
Density	7800	7900	kg/m ³
Price	0	2	USD/kg
Mechanical properties			
Young's modulus			GPa
Yield strength (elastic limit)	250	350	MPa
Tensile strength			MPa
Elongation			%
Hardness - Vickers			HV
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles			MPa
Fracture toughness			MPa.m ^{1/2}
Thermal properties			
Electrical properties			
Optical properties			
Eco properties			
Embodied energy, primary production			MJ/kg
CO2 footprint, primary production			kg/kg
Recycle			<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 5.6: Selección material empleando CES Edupack2009.

Una vez seleccionado el material se establece para el análisis del sujetador del espaldar un tubo cuadrado estructural de 25mm y de un espesor de 1,5mm, es uno de los tubos que se han encontrado en el catálogo de productos de Dipac.

DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A	ESPESOR	PESO	AREA	I	W	i
mm	mm	Kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97

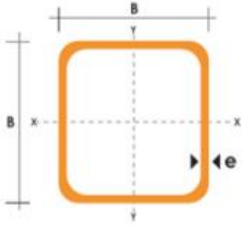


Figura 5.7: Características tubo estructural cuadrado ASTM 500

Fuente: Catálogo Productos DIPAC

En la Figura anterior se puede encontrar el valor del Módulo de resistencia para la sección cuadrada hueca $S = 0,97\text{cm}^3$.

Partiendo de las ecuaciones:

$$\sigma = \frac{+ M_{\text{máx}}}{- S} \quad \text{Ecuación (7)}$$

$$\sigma = \frac{S_y}{N} \quad \text{Ecuación (8)}$$

Dónde:

σ : Esfuerzo por flexión [N/m^2]

$M_{\text{máx}}$: Momento Máximo [Nm]

S = Módulo de resistencia [m^3]

n = Factor de Seguridad

S_y = Resistencia a flexión [Pas]

Encontrado el Momento máximo de flexión, y teniendo el valor de S obtenido de las características del material en el catálogo se reemplaza:

$$\sigma = \frac{96Nm}{9,7 * 10^{-7}m^3} = 98,97 * 10^6 N/m^2$$

El S_y para el acero ASTM 500 es de 315 MPas, al tener los datos necesarios se obtiene:

$$n = \frac{S_y}{\sigma} \quad \text{Ecuación (9)}$$

$$n = \frac{315Mpas}{98,97 * 10^6 N/m^2}$$

$$n = 3,18$$

5.3. Justificación del mallado

Una vez que se determina las cargas, se calculó los esfuerzos a los que está siendo sometido el sistema y se encuentra el factor de seguridad del diseño de manera analítico es de suma importancia comprobar los resultados obtenidos, en el presente estudio se emplea el análisis de elementos finitos y este paso se puede realizar con la ayuda de un software CAE, que en esta caso es ANSYS(Version estudiantil).

Para realizar un análisis de elemento finitos existen diferentes tipos de mallados que se deben seleccionar según la geometría del elemento que se desea analizar. En el caso de este sistema se empleará el elemento de tipo tetraédrico ya que este tipo de elemento es el más empleado en el análisis de elementos finitos de estructuras que no involucran fluidos.

Además se debe considerar criterios de convergencia, que son empleados para asegurar que los resultados obtenidos se apeguen a la realidad, para estudiar la calidad de los elementos finitos, que permiten determinar si el análisis tiende a una correcta solución.

Para el análisis de estructuras uno de los criterios de convergencia más empleados es el criterio de razón de aspecto (aspect ratio). Que en elementos finitos es la relación entre el lado más largo y el más pequeño del elemento. El rango de valores aceptables depende del problema y del tipo de elemento, pero habitualmente se utilizan límites de 1 hasta 6

en elementos que sufren deformaciones y en los casos en los que no interviene ningún tipo de fluido.

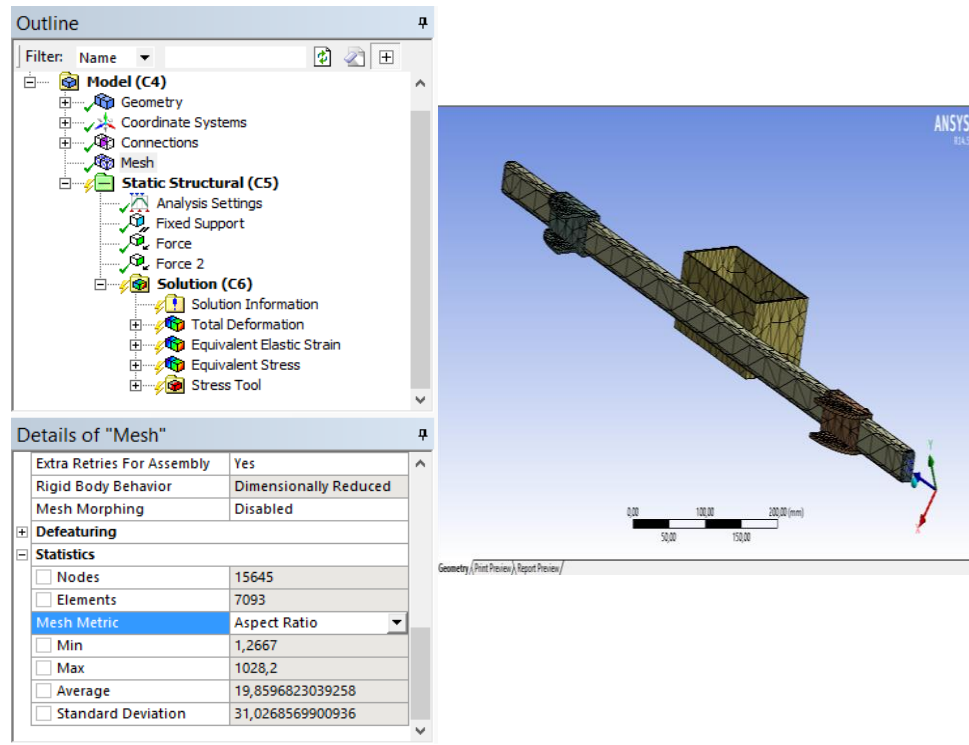


Figura 5.8: Mallado por defecto para sujetador espaldar silla.

ANSYS (Versión estudiantil) es una herramienta CAE que permite la generación del mallado de diferentes modelos, en el menú Outline la opción Mesh al ingresar en detalles, permite configurar el mallado según las necesidades del usuario, al ingresar en la opción estadísticas el sistema muestra el número de nodos, número de elementos y es posible establecer el tipo de convergencia a emplear para determinar la calidad de la malla obtenida.

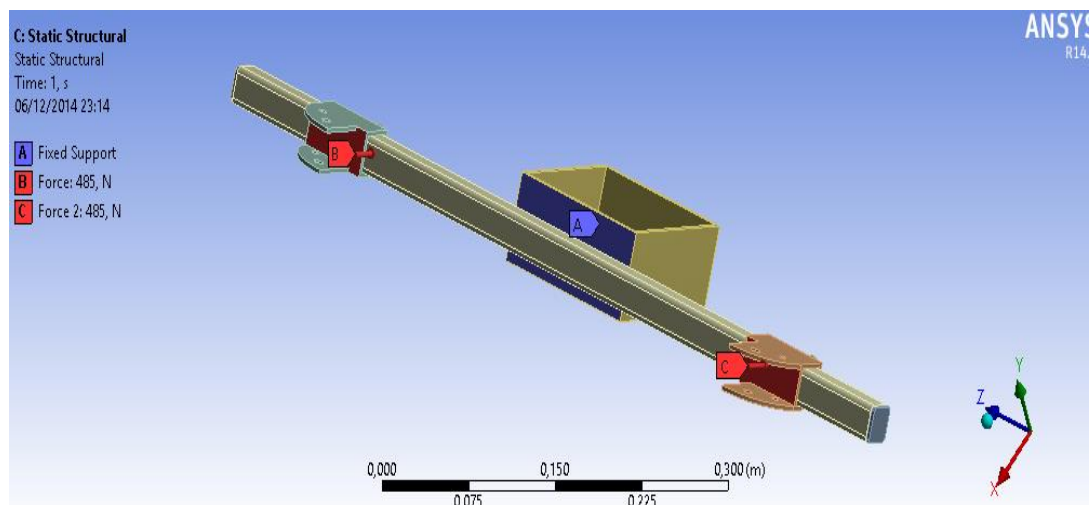


Figura 5.9: Condiciones de borde y cargas aplicadas al sistema de sujeción del espaldar

Al realizar un análisis del sistema con las cargas a las que será sometido se ha obtenido la figura presentada a continuación.

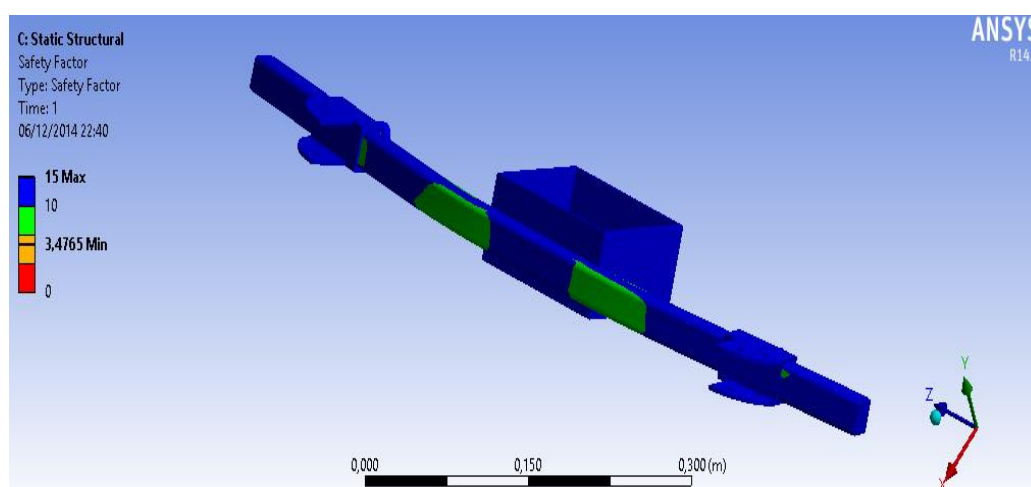


Figura 5.10: Factor de seguridad del sistema de sujeción del espaldar

Como primer paso se realizó el mallado por defecto según las configuraciones de ANSYS (Versión estudiantil). Y como se puede observar en la figura anterior se ha obtenido una relación de aspecto de 19,85, valor que no cumple con la convergencia elegida para el análisis del mallado. Por esta razón el paso a seguir es el refinamiento de la malla. Tomando en cuenta que el refinamiento de la malla de todo el sistema demandaría de mucho tiempo se realiza este paso únicamente en los elementos de mayor interés.

Se ha realizado un mallado de 2mm con el cual se obtienen los resultados mostrados en la figura a continuación:

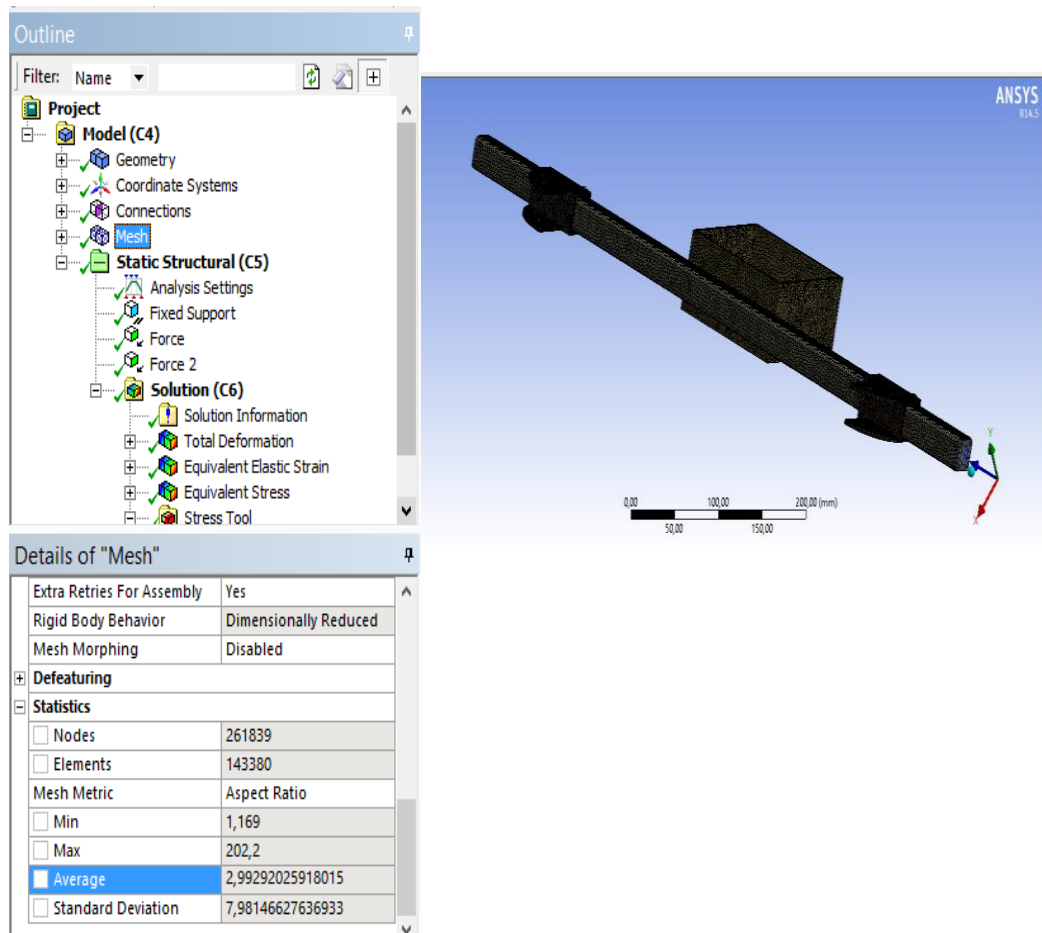


Figura 5.11: Refinamiento mallado de 2mm

Se ha realizado además un mallado de 3mm del cual se obtiene los datos presentados en la figura 5.12:

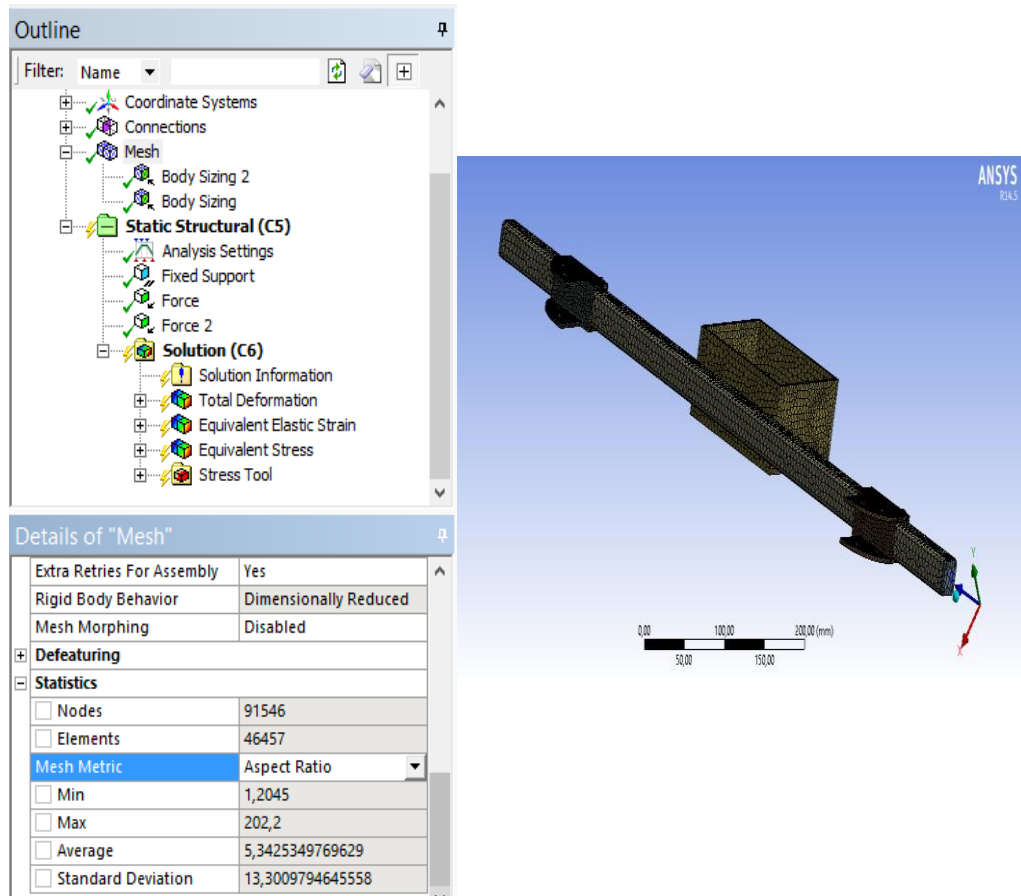


Figura 5.12: Refinamiento mallado de 3mm

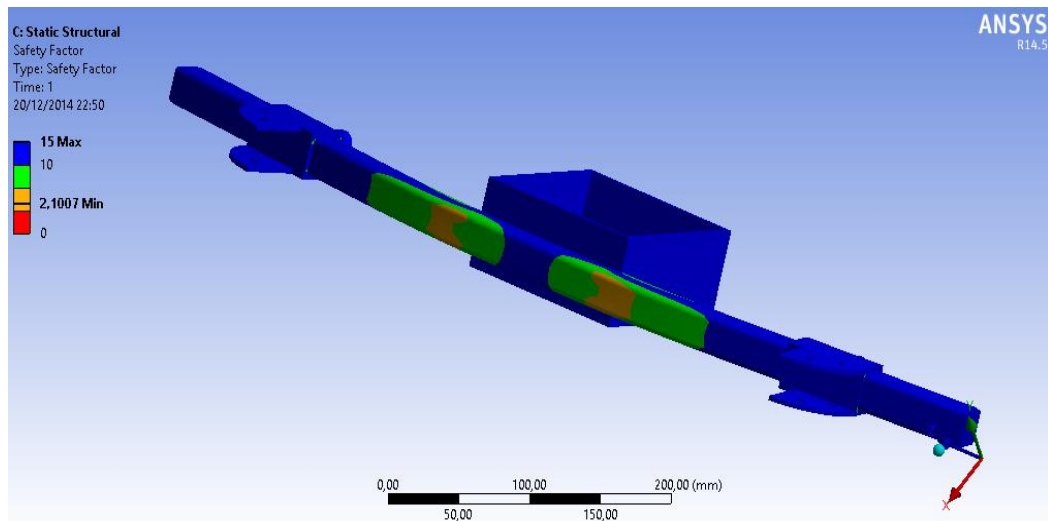


Figura 5.13: Resultado factor de seguridad con mallado 3mm.

Como resumen de los resultados para el refinamiento de la malla se presenta la siguiente tabla:

Tabla 5.4

Opciones de mallado

OPCIÓN MALLADO 1		OPCIÓN MALLADO 2		OPCIÓN MALLADO 3	
DEFAULT (Aspect ratio=19,85)		2mm (Aspect ratio=2,9)		3mm (Aspect ratio=5,34)	
V.M (MPas)	Safety Factor	V.M (Mpas)	Safety factor	V.M(MPas)	Safety factor
90,93	3,46	193,81	1,63	149,95	2,1

Como resultado para el dimensionamiento del mallado se ha obtenido que la mejor opción es la 3, con una relación de aspecto de 5,34 y un factor de seguridad de 2,1 que es admisible para la aplicación del componente y garantiza su fiabilidad.

De este modo al realizar la selección del mallado, la verificación de la convergencia, el cálculo del factor de seguridad mediante el análisis de elementos finitos, y el cálculo de manera analítica se logra comprobar que el diseño del elemento se encuentra bien desarrollado al hallar un factor de seguridad superior a uno.

5.3.1. Cálculo tubo estructura espaldar

Tomando como base el análisis anterior se determina que para el resto de la estructura del espaldar del sistema se puede emplear el mismo tipo de tubo, se realiza el mallado.

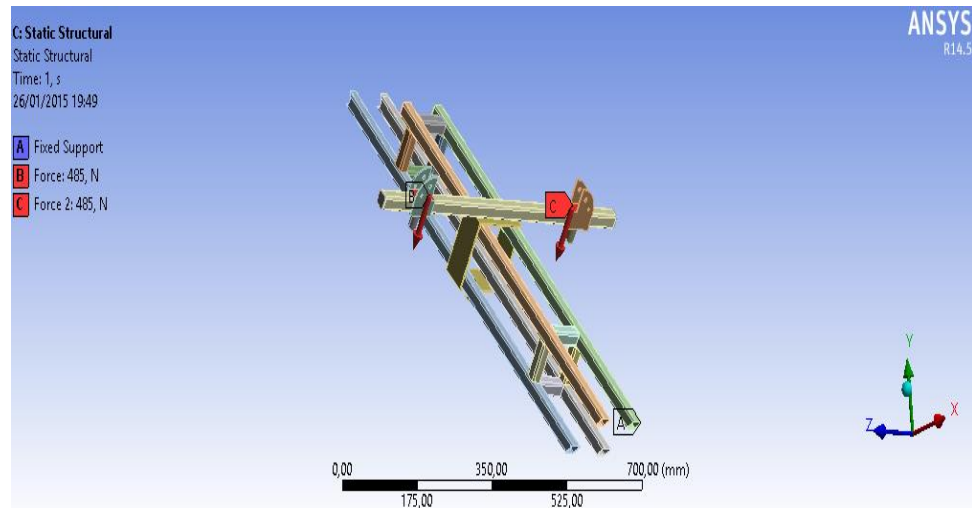


Figura 5.14: Fuerzas aplicadas en la estructura espaldar

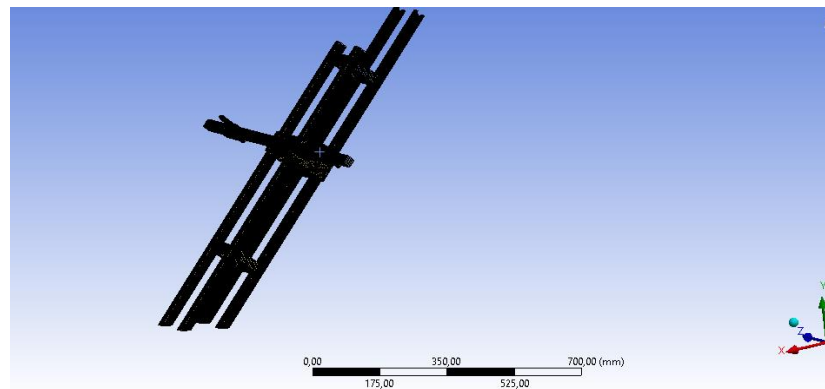


Figura 5.15: Mallado estructura espaldar

Una vez que se ha realizado el mallado y se han colocado la fuerzas aplicadas sobre el espaldar se obtiene como resultado la figura 5.16:

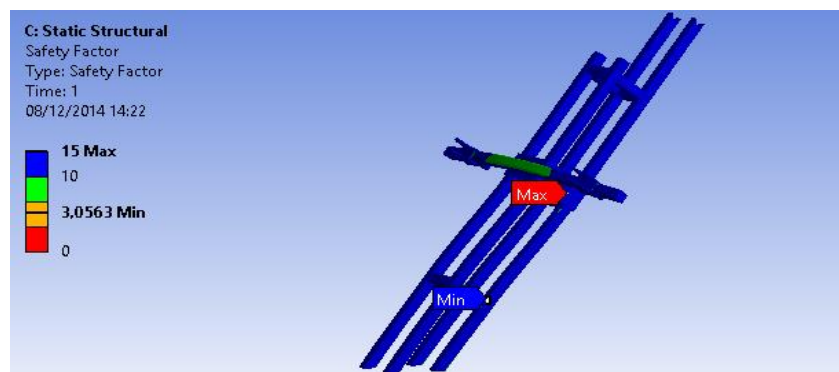


Figura 5.16: Factor de seguridad del espaldar

Una vez realizado el análisis de este elemento con el tubo estructural ASTM500 de 25mm y 1,25mm de espesor se obtiene que el factor de seguridad mínimo es de 3 lo que significa que el diseño de la estructura del espaldar es óptimo.

5.3.2. Cálculo del tubo para pivote

Para ayudar a que la silla de ruedas sea llevada hacia atrás sin realizar mayor esfuerzo se desea colocar a cada lado de las placas de la estructura del sistema un pequeño tubo que servirá como punto de apoyo para hacer palanca. Sobre este pivote se aplica una fuerza $W = 140 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1372\text{N}$, que se divide para dos ya que se ubica un pivote al lado izquierdo y uno al lado derecho del sistema.

Por tanto:

$$P_1 = P_2 = 686\text{N}$$

Con esta carga aplicada sobre el pivote se procede a realizar el análisis de esfuerzos. Al ingresar los respectivos datos en MDSolid se obtiene la figura 5.17:

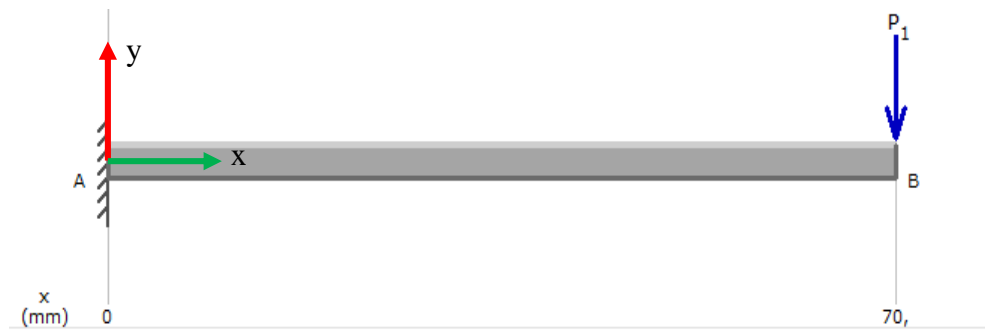


Figura 5.17: Gráfica carga aplicada sobre el tubo pivote

Se aplican las condiciones de equilibrio :

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

Ecuación (10)

$$R_1 - P_1 = 0$$

$$R_1 = 686\text{N}$$

Para comprobar se puede observar el diagrama de fuerza cortante en la figura 5.18:

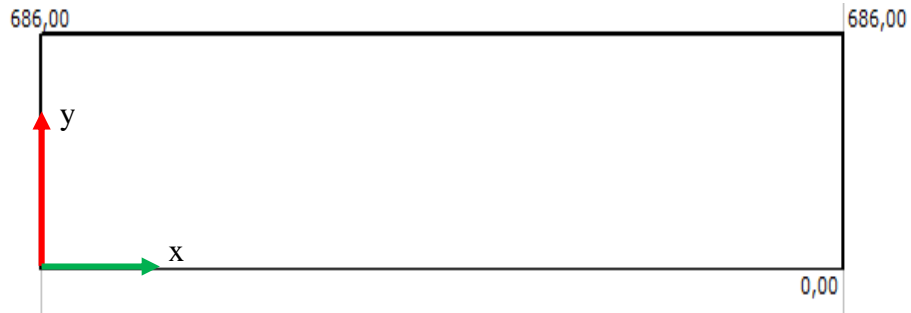


Figura 5.18: Diagrama de Fuerzas cortante, tuvo pivote

Calcular el área:

$$A_1 = 686 * 0.070 = 48,02 [Nm]$$

Calcular el momento máximo:

$$M_{m\acute{a}x} = 48,02 Nm$$

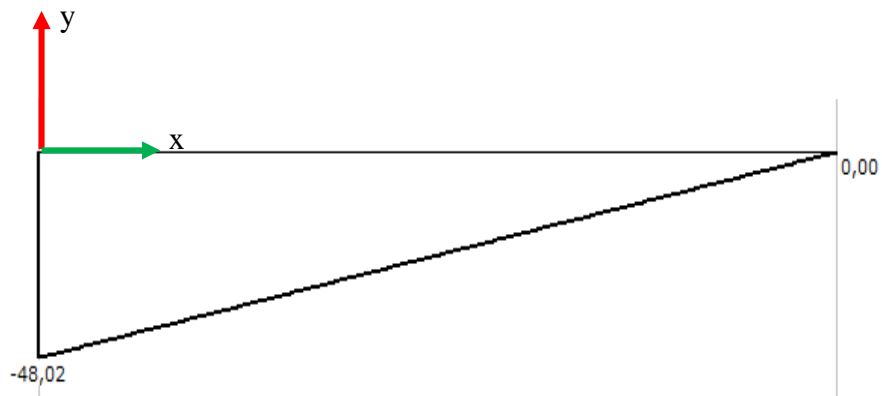


Figura 5.19: Diagrama Momento flexionante

Para iniciar con el diseño de este elemento se toma el tubo estructural circular existente en el catálogo de productos Dipac de ASTM 500 de 1 pulgada y de 2mm de espesor.

DIAMETRO pulgadas	ESPESOR mm	PESO kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
7 / 8 "	1.50	0.77	0.98	0.53	0.47	0.73
1 "	1.50	0.88	1.13	0.81	0.64	0.85
1 1/4 "	1.50	1.12	1.43	1.63	1.03	1.07
1 1/2 "	1.50	1.35	1.72	2.89	1.52	1.30
1 3/4 "	1.50	1.59	2.02	4.67	2.10	1.52
2 "	1.50	1.82	2.32	7.06	2.78	1.74
2 1/2 "	1.50	2.29	2.92	14.05	4.42	2.19
3 "	1.50	2.76	3.52	24.56	6.45	2.64
1 "	2.00	1.15	1.47	1.01	0.80	0.83
1 1/4 "	2.00	1.47	1.87	2.08	1.31	1.05
1 1/2 "	2.00	1.78	2.27	3.71	1.95	1.29

Figura 5.20: Características Tubo estructural redondo ASTM 500

Fuente: Catálogo Productos DIPAC

En la figura anterior se puede encontrar el valor del Módulo de resistencia para la sección cuadrada hueca $S = 0,80 \text{ cm}^3$

Partiendo de las fórmulas:

$$\sigma = \frac{+ M_{\text{máx}}}{- S} \quad \text{Ecuación (11)}$$

$$\sigma = \frac{S_y}{n} \quad \text{Ecuación (12)}$$

Donde:

σ : Esfuerzo por flexión [N/m^2]

M_{max} : Momento Máximo [Nm]

S = Módulo de resistencia [m^3]

n = Factor de Seguridad

S_y = Resistencia a flexión [Pa]

Se ha calculado el momento máximo y se tiene el valor del módulo de resistencia para tubo redondo, valores que pueden reemplazarse :

$$\sigma = \frac{48,02 Nm}{8 * 10^{-7} m^3} = 60,25 * 10^6 N/m^2$$

El S_y para el acero ASTM 500 es de 315 MPas.

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Ecuación (13)

$$n = \frac{315 \text{ Mpas}}{60,025 * 10^6 \text{ N/m}^2}$$

$$n = 5,25$$

El Factor de Seguridad obtenido analíticamente es de 5,25.

Para poder verificar que los cálculos realizados anteriormente se configura el mallado en el software CAE del tubo para pivote tomando en cuenta las consideraciones analizadas en la acápite de justificación del mallado, se ingresa las cargas aplicadas y las condiciones de borde del tubo para el pivote como se muestra en la figura 5.21 y 5.22

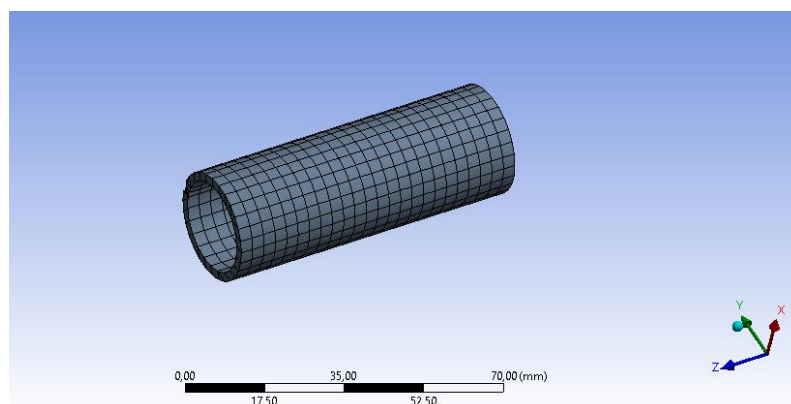


Figura 5.21: Mallado tubo para pivote

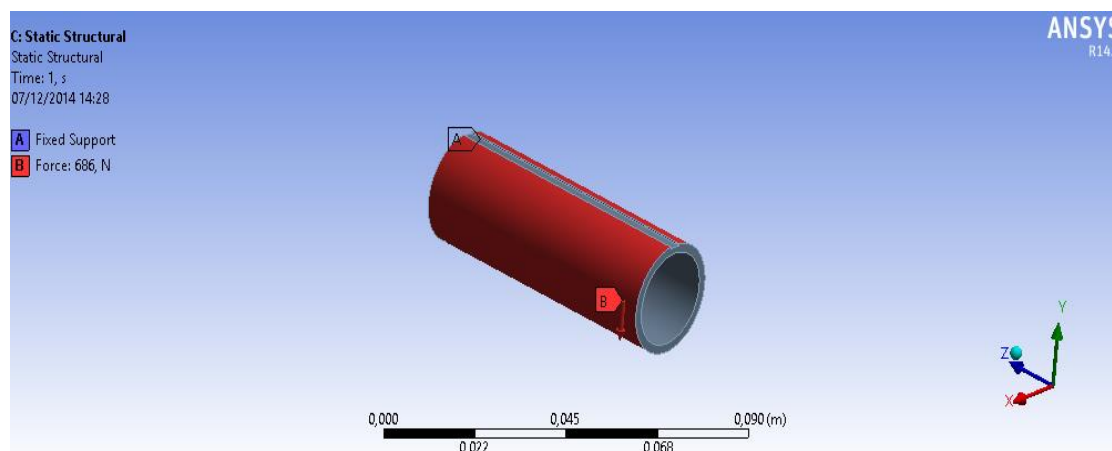


Figura 5.22: Condición de borde y carga aplicada sobre el pivote

Una vez establecida la fuerza aplicada sobre el tubo para pivote con la ayuda del software se procede a determinar el factor de seguridad para poder verificar resultados.

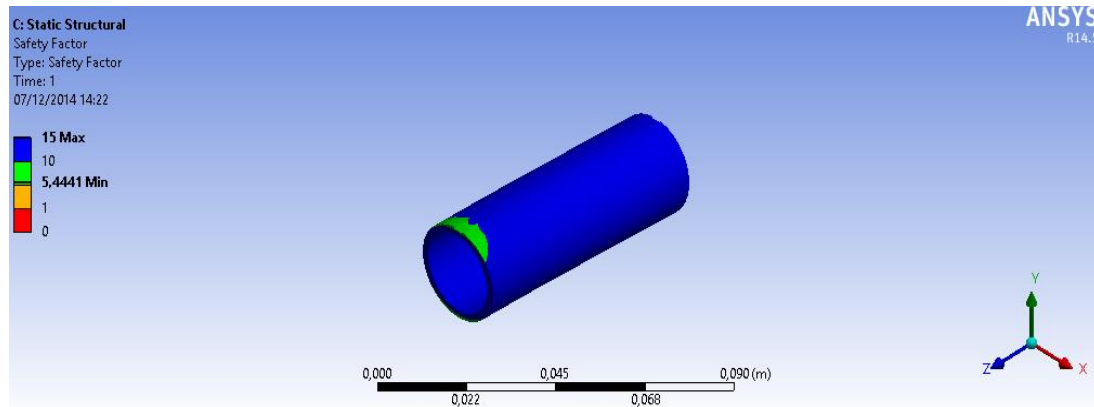


Figura 5.23: Factor de Seguridad del Tubo pivote

En este caso el software ha calculado un factor de seguridad mínimo de 5,44, valor que en la gráfica se encuentra representado de color verde. Con el valor obtenido en el cálculo y el arrojado por el software se ha logrado verificar que el factor de seguridad del tubo para pivote seleccionado es superior a 1, valor que permite interpretar que el elemento ha sido diseñado de manera adecuada para la aplicación a realizar dentro del sistema.

5.3.3. Cálculo placa para soporte motores

Para colocar los motores eléctricos se emplearán dos placas en forma de L, para saber si el material y el espesor del material son los adecuados es necesario en primer lugar determinar la carga aplicada sobre cada una de las placas.

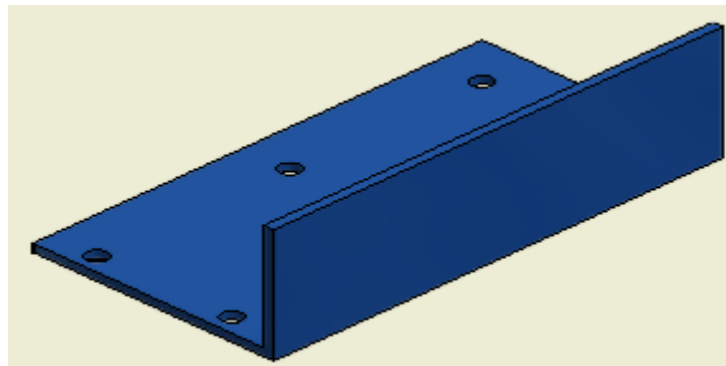


Figura 5.24: Soporte motor

Para realizar el análisis de la placa que soportará los motores se tiene los siguientes datos:

$$m_m = 7Kg$$

$$W_m = 7Kg * 9,8 \frac{m}{s^2} = 68,6 N$$

Dónde:

m_m : masa del motor [kg](obtenida de datos técnicos del motor ANEXO C)

W_m : Peso ejercido por cada motor [N]

Otro dato importante son las dimensiones de la placa que soportará los motores, las cuales se pueden obtener la figura 5.25.

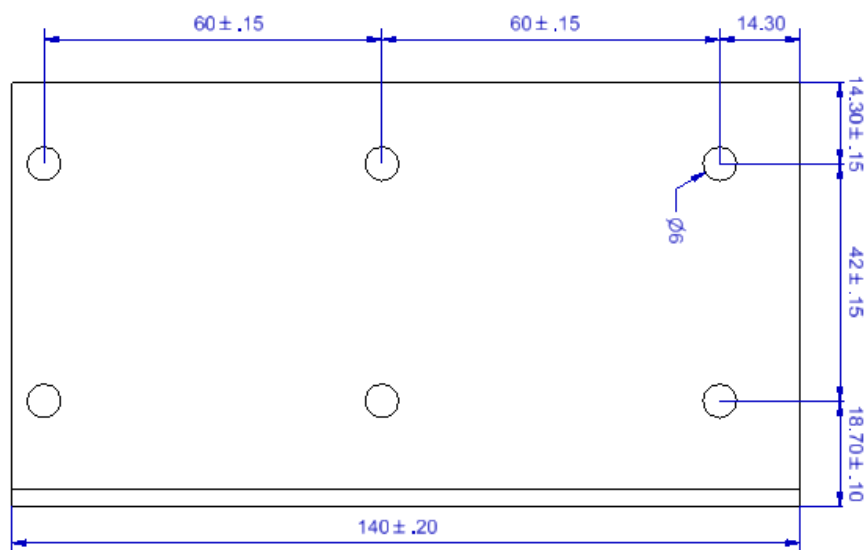


Figura 5.25: Medidas soporte motores

El peso ejercido del motor sobre cada placa es de 68,6N que se distribuye a lo largo de 0,07m, se obtiene de la división de estos valores una fuerza distribuida de $980 N/m$ que será la carga que se aplica sobre el soporte para motor.

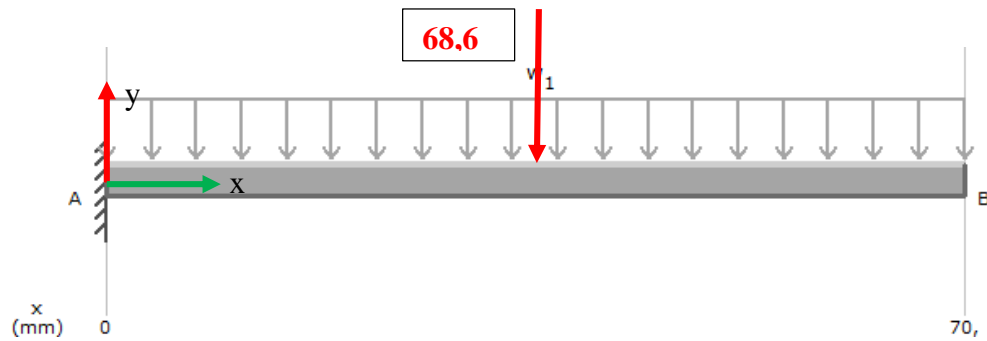


Figura 5.26: Carga aplicada sobre placa para soporte motores

Al aplicar las condiciones de equilibrio :

$$\sum F_y = 0 \quad \text{Ecuación (14)}$$

$$R_1 - P_1 = 0$$

$$R_1 = 68,6N$$

Verificar si el valor obtenido coincide con el valor representado en la Figura 5.27.

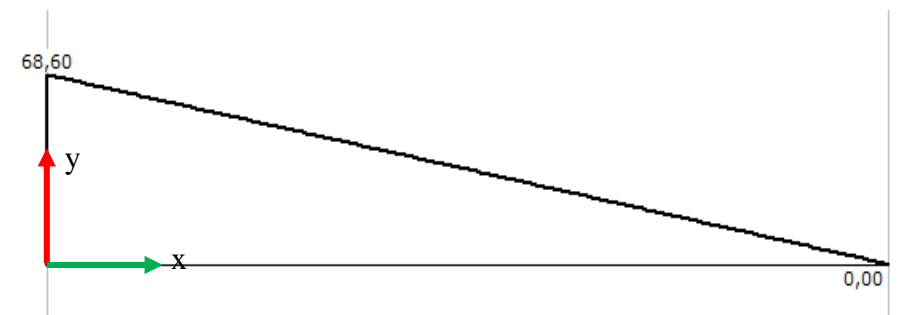


Figura 5.27: Diagrama esfuerzo cortante en placa soporte motores

Encontrar el valor del momento flector Máximo:

$$M_{\text{máx}} = 68,6N * 0,035m = 2,4 Nm$$

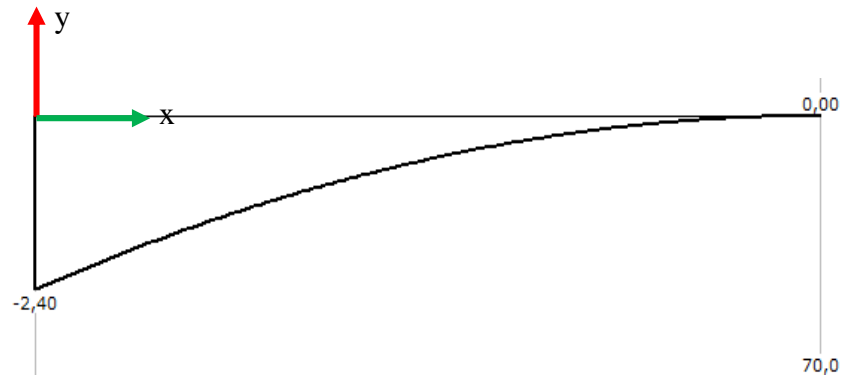


Figura 5.28: Diagrama de momento flexionante en placa soporte motores

Para el soporte de los motores se realiza el análisis con una placa de acero ASTM A36, de 3mm de espesor, se calcula el módulo de resistencia elástico para una sección rectangular.

$$S = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad \text{Ecuación (15)}$$

$$S = \frac{0,14 \cdot 0,003^2}{6} = 2,1 \cdot 10^{-7} m^3$$

Este valor debe ser reemplazado en la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{+ M_{\text{máx}}}{- S}$$

$$\sigma = \frac{2,4 Nm}{2,1 \cdot 10^{-7} m^3} = 11,42 \cdot 10^6 N/m^2$$

EL S_y para el acero ASTM A36 es de 250 Mpas este valor se coloca en la ecuación:

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$n = \frac{250 \cdot 10^6 Pas}{11,42 \cdot 10^6 Pas} = 21,89$$

Al realizar el cálculo de manera analítica el factor de seguridad es de 21,89

Para comprobar este valor se ha ingresado las cargas sobre la placa en software de la siguiente manera:

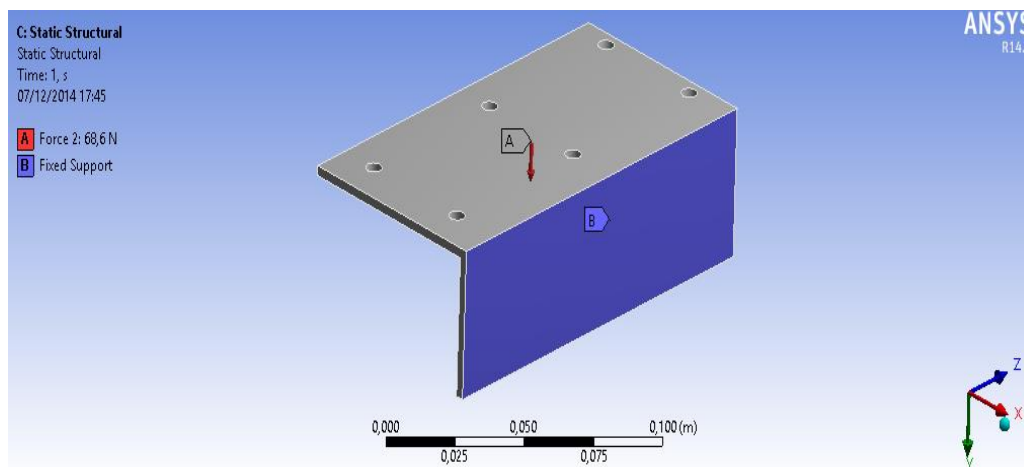


Figura 5.29: Condiciones de borde y carga en soporte para motor

El resultado obtenido por el software es que el factor de seguridad es mayor a 15. Es por ello que la placa se presenta de un color rojo.

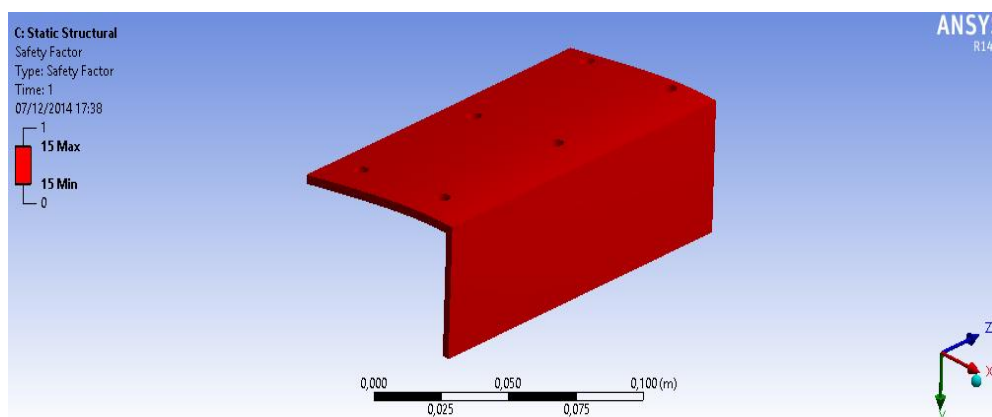


Figura 5.30: Factor de Seguridad de soporte para motor

El factor de seguridad de 21,89 es elevado, factor que garantiza que los motores se encuentren bien sujetos, sin que su soporte se flexione, el factor obtenido garantiza la rigidez del soporte para los motores .

5.4. Análisis estático del conjunto estructural

Una vez que se han proyectado los elementos sobre los cuales se encontraran aplicadas las cargas directamente, se analizará la estructura completa para observar cual es el comportamiento del resto de piezas frente a las cargas aplicadas. Para ello se han

proyectado todas las piezas y se ha realizado el ensamble de la estructura para proceder a realizar el estudio mediante el software ANSYS (Versión estudiantil). Obteniendo como resultado la figura 5.31:

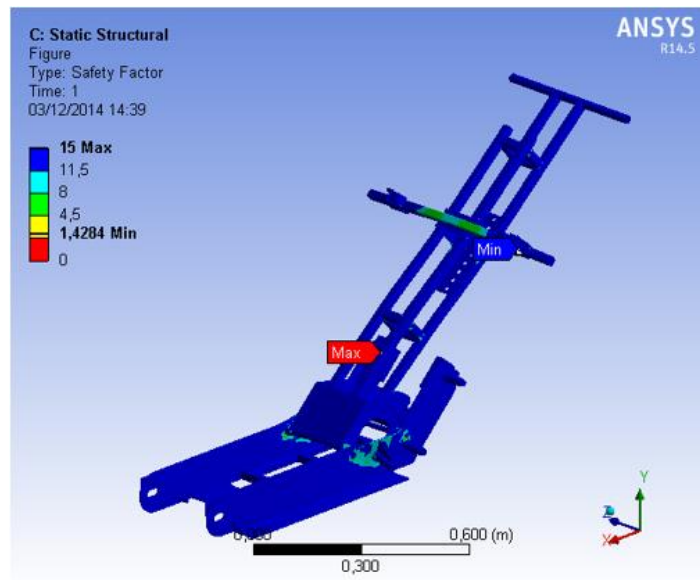


Figura 5.31: Factor de Seguridad conjunto estructural completo.

Como se encuentra establecido dentro del diseño de elementos de máquinas para que un elemento se encuentre bien diseñado el factor de seguridad calculado debe ser superior a 1, garantizando que el sistema soportará las cargas aplicadas. Al calcular el factor de seguridad del bastidor del sistema automático con orugas se ha obtenido un valor de 1,4. Este valor es un indicativo de que la estructura analizada esta bien diseñada y soportará las cargas aplicadas de manera segura.

5.5. Análisis dinámico del sistema

5.5.1. Distribución de cargas del sistema automático con orugas.

Para realizar el análisis de los esfuerzos a los que es sometido el sistema es importante considerar las cargas que contiene. Al ser un sistema transportador este se encuentra conformado por cargas vivas y muertas las mismas que se detallan en las siguientes tablas para justificar el peso final del sistema.

Tabla 5.5

Sumatoria Cargas muertas

CARGAS MUERTAS	
ELEMENTO	MASA (Kg)
Bastidor	2
Placas laterales	10
Orugas	6
Espaldar	5
Silla de ruedas	10
Transmisión	9
Sistema Electrónico	4
Motores (Especificaciones técnicas)	14
Masa total	60

Tabla 5.6

Sumatoria Cargas vivas

CARGAS VIVAS	
ELEMENTO	MASA (Kg)
Persona	140
Masa total	140

Al observar los resultados obtenidos en las tablas anteriores se tiene:

$$m_{TS} = m_{cm} + m_{cv}$$

Ecuación (16)

$$m_{TS} = 60Kg + 140kg = 200kg$$

Dónde:

$$m_{TS}: \text{Masa total del sistema [Kg]}$$

5.5.2. Ubicación del centro de gravedad

Para el desarrollo del análisis dinámico del sistema es importante determinar el centro de gravedad, sobre este punto se realizará la concentración de los esfuerzos que actúan sobre el sistema.

Para hallar el centro de gravedad del sistema se ha empleado una herramienta computacional CAD que facilite el cálculo, se ha desarrollado la geometría del sistema transportador en Autodesk Inventor 2015 (Versión estudiantil), se ha colocado la silla de ruedas anclada al sistema y además se ha optado por ubicar sobre la silla de ruedas un humano para obtener el cálculo lo más cercano a la realidad, posteriormente se procede a seleccionar el material de las partes que constituyen el sistema, una vez que se ha determinado el material, el software permite visualizar el centro de gravedad al seleccionar la opción View, Visibility y por último Center of Gravity. Al finalizar el programa muestra el punto en el que se ubica el centro de gravedad como se observa en la Figura 5.32.

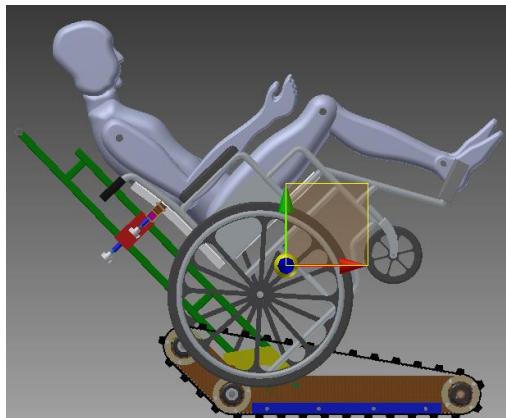


Figura 5.32: Visualización centro de gravedad

Una vez que se ha determinado el centro de gravedad en el sistema estudiado se puede ubicar las coordenadas de su ubicación, para poder visualizar estos datos de mejor manera se presenta la figura 5.33:

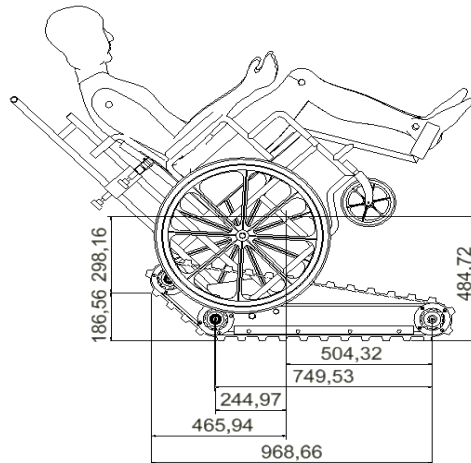


Figura 5.33: Ubicación centro de gravedad

En el caso del sistema automático con orugas para desplazar silla de ruedas a través de gradas existen tres escenarios que deben analizarse para determinar el comportamiento del sistema.

5.5.3. Caso 1

Uno de los escenarios en análisis es cuando el sistema se moviliza sobre una superficie plana, y para facilitar el análisis del sistema en este caso se presenta la siguiente figura en la que se encuentran detalladas las fuerzas que actúan sobre el sistema cuando este se desplaza.

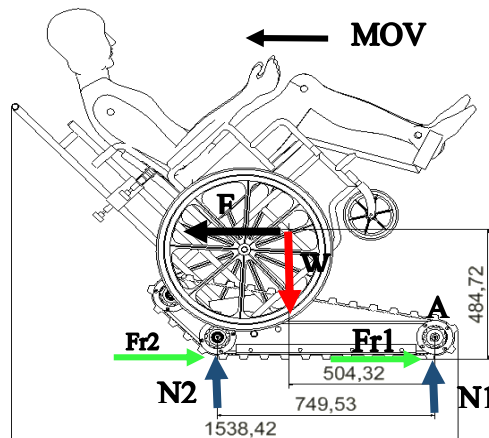


Figura 5.34: Fuerzas mientras el sistema se desplaza en superficie plana

$$m_{TS} = 200 \text{ kg}$$

$$w = m_{TS} * g$$

$$g = 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$w = 200 \text{ kg} * 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$w = 1960[N]$$

Un parámetro necesario para continuar con el análisis de la dinámica del sistema es la aceleración. Para hallar la aceleración del sistema al momento del arranque, se considera que parte del reposo hasta alcanzar una Velocidad final de $8m/min$, en un tiempo máximo de 1 segundo. La velocidad final que alcanza el sistema se considerada moderada para que la persona con discapacidad se sienta cómoda y el desplazamiento no sea brusco. Al finalizar el arranque la velocidad permanece constante. De este modo se obtiene:

$$V_f = 8 \frac{m}{min} = 0,13 \frac{m}{s}$$

$$t = 1s$$

$$a = \frac{V_f - V_o}{t} \quad \text{Ecuación (17)}$$

$$a = \frac{0,13 \frac{m}{s} - 0}{1s}$$

$$a = 0,13 \frac{m}{s^2}$$

Se aplica las ecuaciones de condiciones de equilibrio:

$$+\rightarrow \sum F_x = m_{TS} * a$$

$$fr_2 + fr_1 - F = m_{TS} * a \quad \text{Ecuación (18)}$$

Fuerza de rozamiento

$$f_r = \mu * N \quad \text{Ecuación (19)}$$

Dónde:

$\mu =$ coeficiente de fricción dinámico

$$\mu = 0,7$$

$N =$ fuerza normal [N]

Se reemplaza la ecuación (19) en la ecuación (18):

$$\mu_2 * N_2 + \mu_1 * N_1 - F = m_{TS} * a$$

$$0,7 * N_2 + 0,7 * N_1 - F = 200 \text{ kg} * 0,13 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$0,7 * (N_2 + N_1) - F = 26[N] \quad \text{Ecuación (20)}$$

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$-w + N_1 + N_2 = 0$$

$$-1960[N] + N_1 + N_2 = 0$$

$$N_1 + N_2 = 1960[N] \quad \text{Ecuación (21)}$$

Se reemplaza la ecuación (21) en la (20):

$$0,7 * 1960[N] - F = 26[N]$$

$$-F = -1372[N] + 26[N]$$

$$-F = -1346[N]$$

$$F = 1346[N]$$

$$\curvearrowright + \sum M_A = 0$$

$$-N_2(0,749\text{m}) + 1960[N](0,504\text{m}) + F(0,504\text{m}) = 0$$

$$-N_2(0,749m) + 987,84[N * m] + F(0,504m) = 0$$

$$-N_2 = \frac{-987,84[N*m] - F(0,504m)}{0,749m}$$

Ecuación (22)

Se reemplaza el valor de F en la ecuación (22)

$$-N_2 = \frac{-987,84[N * m] - (1346[N])(0,504m)}{0,749m}$$

$$-N_2 = -2224,59 [N]$$

$$N_2 = 2224,59 [N]$$

Se reemplaza el valor de N_2 en la ecuación (21)

$$N_1 + 2224,59[N] = 1960[N]$$

$$N_1 = 1960[N] - 2224,59[N]$$

$$N_1 = -264,59[N]$$

5.5.4. Caso 2

Una vez que el sistema es puesto en movimiento se procede a ubicarlo al inicio de las gradas que se desea superar, y es aquí cuando se analiza el segundo escenario, en este momento el sistema debe superar la primera grada y las fuerzas externas que actúan sobre el mismo son las detalladas en la figura 5.35:

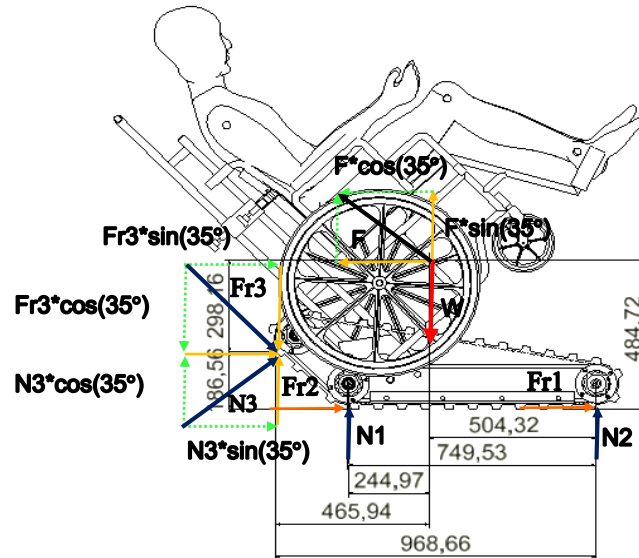


Figura 5.35: Fuerzas en el sistema al superar la primera grada

En este caso se tiene que actúan una Fr_3 y por lo tanto una N_3 que se generan al momento que el sistema tiene contacto con la primera grada. Y el valor a determinar es la fuerza necesaria para que el sistema pueda superar este primer obstáculo.

$$m_{TS} = 200 \text{ kg}$$

$$w = m_{TS} * g$$

$$g = 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$w = 200 \text{ kg} * 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$w = 1960 [N]$$

$$a = 0,13 \frac{m}{s^2}$$

Al aplicar las condiciones de equilibrio:

$$\rightarrow + \sum F_x = m * a$$

$$fr_3 * \cos 35^\circ + N_3 * \cos 35^\circ + fr_2 + fr_1 - F * \cos 35^\circ = m * a \quad \text{Ecuación (23)}$$

Fuerza de rozamiento:

$$fr = \mu * N$$

Dónde:

$\mu =$ coeficiente de fricción dinámico

$$\mu = 0,7$$

$N =$ fuerza normal

Reemplazamos fr en la ecuación (23)

$$fr_3 * \cos 35^\circ + N_3 * \cos 35^\circ + fr_2 + fr_1 - F * \cos 35^\circ = m * a$$

$$\begin{aligned} \mu_3 * N_3 * \cos 35^\circ + N_3 * \cos 35^\circ + \mu_2 * N_2 + \mu_1 * N_1 - F * \cos 35^\circ \\ = 200kg * 0,13 \frac{m}{s^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,7 * N_3 * \cos 35^\circ + N_3 * \cos 35^\circ + 0,7 * N_2 + 0,7 * N_1 - F * \cos 35^\circ \\ = 200kg * 0,13 \frac{m}{s^2} \end{aligned}$$

$$0,573m * N_3 + N_3 * \cos 35^\circ + 0,7 * N_2 + 0,7 * N_1 - F * \cos 35^\circ = 26[N]$$

$$0,573m * N_3 + N_3 * 0,819m + 0,7 * N_2 + 0,7 * N_1 - F * \cos 35^\circ = 26[N]$$

$$1,392m * N_3 + 0,7(N_2 + N_1) - F * 0,819m = 26[N]$$

$$(N_2 + N_1) = \frac{26[N] - 1,392m * N_3 + F * 0,819m}{0,7} \quad \text{Ecuación (24)}$$

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$-fr_3 * \sin 35^\circ + N_3 * \sin 35^\circ + F * \sin 35^\circ + N_1 + N_2 - w = 0 \quad \text{Ecuación (25)}$$

$$-\mu_3 * N_3 * \sin 35^\circ + N_3 * \sin 35^\circ + F * \sin 35^\circ + N_1 + N_2 - 1960[N] = 0$$

$$-0,7 * N_3 * \sin 35^\circ + N_3 * \sin 35^\circ + F * \sin 35^\circ + N_1 + N_2 - 1960[N] = 0$$

$$-0,402m * N_3 + N_3 * 0,574m + F * 0,574m + N_1 + N_2 - 1960[N] = 0$$

$$0,172m * N_3 + F * 0,574m + N_1 + N_2 - 1960[N] = 0 \quad \text{Ecuación (26)}$$

Se reemplaza la ecuación (24) en ecuación (26)

$$0,172m * N_3 + F * 0,574m + \left(\frac{26[N] - 1,392m * N_3 + F * 0,819m}{0,7} \right) - 1960[N] = 0$$

$$(0,172m * N_3)0,7 + (F * 0,574m)0,7 + 26[N] - 1,392 * N_3 + F * 0,819m - (1960[N])0,7 = 0$$

$$0,120m * N_3 + 0,402m * F + 26[N] - 1,392m * N_3 + F * 0,819m - 1372[N] = 0$$

$$-1,272m * N_3 + 1,221m * F - 1346[N] = 0$$

$$N_3 = \frac{-1,221m * F + 1346[N]}{-1,272m} \quad \text{Ecuación (27)}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$-N_3 * \cos 35^\circ * (0,186m) - N_3 * \sin 35^\circ * (0,968m) - fr_3 * \cos 35^\circ * (0,186m) + fr_3 * \sin 35^\circ * (0,968m) - N_2 * (0,749m) - F * \sin 35^\circ * (0,504m) + F * \cos 35^\circ * (0,504m) + 1960[N] * (0,504m) = 0$$

$$-N_3 * 0,152m - N_3 * 0,555m - fr_3 * 0,152m + fr_3 * 0,555m - N_2 * (0,749m) - F * 0,289m + F * 0,413m + 987,84[N * m] = 0$$

$$-0,707m * N_3 + 0,282m * N_3 - N_2 * (0,749m) + 0,124m * F + 987,84[N * m] = 0$$

$$-0,425m * N_3 - 0,749m * N_2 + 0,124m * F = -987,84[N * m] \quad \text{Ecuación (28)}$$

De la ecuación (25),(26),(27) y (28) en forma matricial

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0,17 & 0,57 \\ 0,7 & 0,7 & 1,39 & -0,81 \\ 0 & -0,74 & -0,42 & 0,12 \\ 0 & 0 & -1,27 & 1,22 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} N1 \\ N2 \\ N3 \\ F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1960 \\ -26 \\ 987,84 \\ -1346 \end{bmatrix}$$

Se resuelve la matriz y se tiene:

$$N_1 = 715,53[N]$$

$$N_2 = 1017,83[N]$$

$$N_3 = 360,49[N]$$

$$F = 1477,92 [N]$$

De este modo se determinan los valores de las fuerzas normales que se generan cuando el sistema empieza a superar la primera grada y se ha determinado la Fuerza requerida para movilizar el sistema en este caso.

5.5.5. Caso 3

El escenario que resulta ser el más crítico es cuando el sistema se encuentra en plena marcha sobre las gradas. Y para explicar las cargas que actúan sobre el sistema en este caso se tiene la figura presentada a continuación:

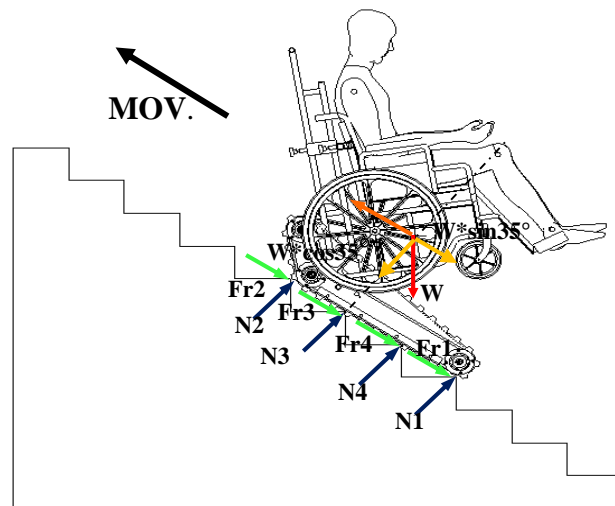


Figura 5.36: Fuerzas sobre el sistema al desplazarse sobre las gradas.

En este caso el sistema completo debe superar un plano inclinado a máximo 35°. Y para ello además se considera las fuerzas de rozamiento que se encuentran ubicadas en la figura anterior y generan sus respectivas fuerzas normales.

Es así que se obtienen las ecuaciones presentadas a continuación:

$$m_T = 200 \text{ kg}$$

$$w = m_T * g$$

$$g = 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$w = 200 \text{ kg} * 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$w = 1960[N]$$

$$a = 0,13 \frac{m}{s^2}$$

$$\rightarrow + \sum F_x = m * a$$

$$-F + fr_2 + fr_1 + w * \sin 35^\circ = m * a$$

Ecuación (29)

La Fuerza de rozamiento:

$$fr = \mu * N$$

Dónde:

$\mu =$ *coeficiente de fricción dinámico*

$$\mu = 0,7$$

$N =$ *fuerza normal*

Reemplazar la fr en la ecuación (29):

$$-F + fr_2 + fr_1 + w * \sin 35^\circ = m * a$$

$$-F + \mu_2 * N_2 + \mu_1 * N_1 + w * \sin 35^\circ = m * a$$

$$-F + 0,7 * N_2 + 0,7 * N_1 + 1960[N] * \sin 35^\circ = 200 \text{ kg} * 0,13 \frac{m}{s^2}$$

$$-F + 0,7 * (N_2 + N_1) = -1124,209[N] + 26[N]$$

$$-F + 0,7 * (N_2 + N_1) = -1098,209[N]$$

Ecuación (30)

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$-w * \cos 35^\circ + N_1 + N_2 = 0$$

$$-1960[N] * \cos 35^\circ + N_1 + N_2 = 0$$

$$N_1 + N_2 = 1605,538[N]$$

Ecuación (31)

$$\curvearrowright + \sum M_A = 0$$

$$-N_2(0,749m) + 1960[N](0,504m) * \cos 35^\circ - 1960[N](0,484m) * \sin 35^\circ + F * (0,484) = 0$$

$$-N_2(0,749m) + 809,191[N * m] - 544,117[N * m] + F * (0,484) = 0$$

$$-0,749m * N_2 = -265,074[N * m] + F * (0,484)$$

$$N_2 = \frac{-265,074[N * m] + F * (0,484m)}{-0,749m}$$

Ecuación (32)

De la ecuación (30), (31), (32) en forma matricial

$$\begin{bmatrix} 0,7 & 0,7 & -1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & -0,74 & -0,484 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} N1 \\ N2 \\ F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1098,2 \\ -1605,5 \\ 265,074 \end{bmatrix}$$

Al resolver la matriz se obtiene como resultado:

$$N_1 = 2687,09[N]$$

$$N_2 = -1081,99[N]$$

$$F = 2222,08[N]$$

Al realizar el análisis respectivo en los tres escenarios a los que es sometido el sistema se obtiene los resultados presentados en la tabla:

Tabla 5.7**Resultado Fuerzas**

Escenario N.-	Resultado Fuerza Necesaria (N)
1	1346
2	1477,924
3	2222,5

De la cual se obtiene que la Fuerza ejercida para que el sistema logre superar las escaleras en el escenario 3 es la mayor, por lo que se tomará este valor para el cálculo de la potencia que deben tener los motores a emplear en el sistema.

5.5.6. Cálculo potencia motores

Para poder determinar la potencia que requiere el motor se debe tomar en cuenta que el sistema a diseñar debe superar gradas que formen hasta un ángulo de 35° máximo.

Los motores realizarán mayor fuerza cuando el sistema se encuentre en pleno ascenso o descenso de las gradas como se pudo determinar anteriormente. Al tener como dato del acápite anterior que el sistema debe tener una aceleración de :

$$a = 0,13 \frac{m}{s^2}$$

Y además que la fuerza necesaria es de:

$$F = 2274,09N$$

Con la Fuerza requerida para movilizar el sistema, se puede calcular con la misma el trabajo necesario:

$$\omega = F * d \tag{Ecuación (33)}$$

La distancia se encuentra con la fórmula :

$$V = \frac{e}{t}; \tag{Ecuación (34)}$$

Despejando $e = V * t$;

$$e = 0,13 \frac{m}{s} * 1s = 0,13m$$

$$\omega = 2274,09N * 0,13m = 295,63Nm$$

Con el resultado del trabajo necesario para movilizar el sistema con su ocupante sobre las gradas se procede a calcular la potencia.

$$P = \frac{\omega}{t} \quad \text{Ecuación (35)}$$

Al reemplazar ω y t en la ecuación (35):

$$P = \frac{295,63Nm}{1s} = 295,63 \text{ watts.}$$

Con el cálculo realizado se determina que el motor que se necesita para movilizar el sistema debe tener 300 watts de potencia.

Al hallar el valor de la potencia requerida para movilizar el sistema, se determina que el motor a emplear es un motor de 24V DC (Corriente Directa), de 300 watts de potencia. Para obtener mayor información sobre el motor seleccionado ver el ANEXO C , que contiene la información técnica del motor para accionar el desplazamiento del sistema.

5.6. Cálculos para el eje acople del motor

El acople del eje del motor con la polea es un elemento de importancia en el sistema automático con orugas, al encargarse de transmitir el movimiento del eje principal del motor hacia la polea motriz y mediante una banda sincrónica con dentado externo es transmitido hacia las poleas conducidas.

Como dato se tiene que el motor que generará movimiento, posee un torque de 60 N*m, el material para la construcción del eje de transmisión es el AISI 1018 según los datos obtenidos en el catálogo de Dipac.

El eje se encuentra sometido a una fuerza que ejerce la banda de transmisión al ser tensionada . Para encontrar la tensión que genera la banda de transmisión sobre el eje se realiza el siguiente análisis.

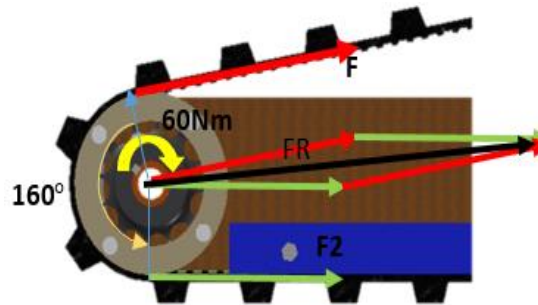


Figura 5.37: Diagrama de cuerpo libre del eje del motor

Datos:

$$T = 60 \text{ N} * m$$

$$r_{extpolea} = 0,124 \text{ m}$$

$$M = (F_1 - F_2) * r$$

Ecuación (36)

Dónde:

$$M = \text{torque del motor [Nm]}$$

$$r = \text{radio externo de la polea [m]}$$

$$\frac{M}{r} = (F_1 - F_2)$$

Ecuación (37)

Reemplazar T y r en la ecuación (37)

$$\frac{60 \text{ N} * m}{0,124 \text{ m}} = (F_1 - F_2)$$

$$(F_1 - F_2) = 482,664 \text{ N}$$

Ecuación (38)

Se despeja F_1 de la ecuación (38):

$$F_1 = 482,664 \text{ N} + F_2$$

Ecuación (39)

Además se tiene la ecuación:

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{\mu\theta}$$

Ecuación (40)

Dónde:

$\mu = \text{coeficiente de fricción}$

$\theta = \text{relación de transmisión en radianes}$

Coeficiente de fricción caucho sobre el aluminio:

$$\mu = 0,22$$

$$\theta = 160^\circ * \frac{\pi \text{rad}}{180^\circ} = 2,79 \text{ rad}$$

De la ecuación (39):

$$F_1 = 482,664 \text{ N} + F_2$$

Se reemplaza en la ecuación (40):

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{\mu\theta}$$

Para obtener:

$$\frac{482,664 \text{ N} + F_2}{F_2} = e^{\mu\theta} \quad \text{Ecuación (41)}$$

De la ecuación (41) se despeja F_2 y se reemplaza los valores de μ y θ para obtener el valor de:

$$F_2 = 569,85 \text{ N}$$

Reemplazar F_2 en ecuación (39):

$$F_1 = 482,664 \text{ N} + F_2$$

$$F_1 = 1052,515 \text{ N}$$

Al encontrar F_1 y F_2 se puede encontrar:

$$F_R = \sqrt{(F_1)^2 + (F_2)^2 - 2(F_1)(F_2) * \cos 160^\circ} \quad \text{Ecuación (42)}$$

Dónde:

$F_R = \text{fuerza resultante [N]}$

$$F_R = \sqrt{(1052,515 \text{ N})^2 + (569,85 \text{ N})^2 - 2(1052,515 \text{ N})(569,85 \text{ N}) * \cos 160^\circ}$$

$$F_R = \sqrt{2559726,395 \text{ N}}$$

$$F_R = 1599,91 \text{ N}$$

El valor de la Fuerza resultante es de 1599,91 N, esta es la fuerza que se distribuye sobre el eje de 0,064m de largo. Con los datos obtenidos se procede a realizar el análisis de esfuerzos como se detalla a continuación:

$$F_R = \frac{1599,91 \text{ N}}{0,064 \text{ m}} = 24998,664 \text{ N/m}$$

$$R_1 = F_R * l \quad \text{Ecuación (43)}$$

$$M_1 = \frac{F_R * l^2}{2} \quad \text{Ecuación (44)}$$

Donde:

$R_1 = \text{Reacción 1 [N]}$

$F_R = \text{fuerza resultante [N/m]}$

$l = \text{longitud del eje [m]}$

Se reemplaza l y F_R en ecuación (43)

$$R_1 = 24998,664 \text{ N/m} * 0,064 \text{ m}$$

$$R_1 = 1599,9 \text{ N}$$

En la figura 5.38 se encuentran los resultados obtenidos en MDSolid de manera gráfica.

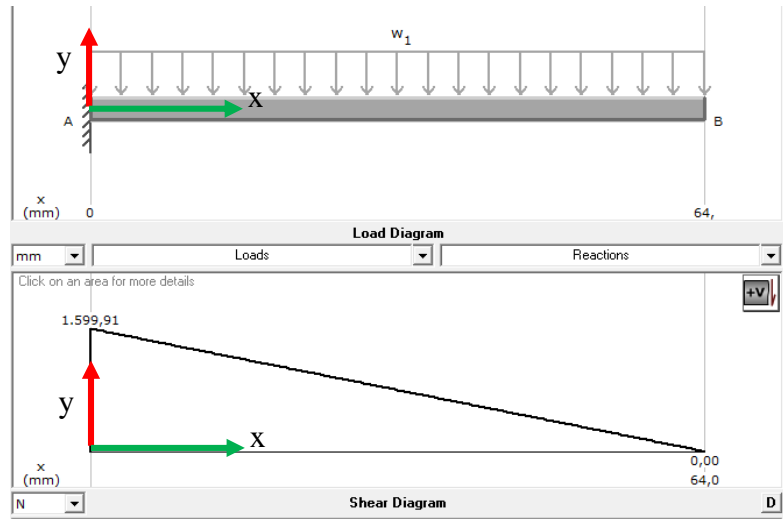


Figura 5.38: Diagrama de carga y diagrama cortante

Para el momento flector máximo se debe reemplazar l y F_R en ecuación (44) de la siguiente manera:

$$M_1 = -\frac{24998,664 \text{ N/m} * (0,064\text{m})^2}{2}$$

$$M_1 = -51,197 \text{ N} * \text{m}$$

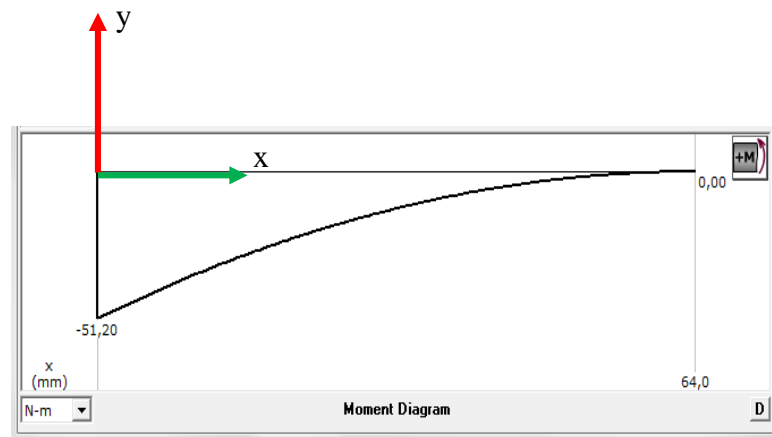


Figura 5.39: Diagrama de momento flector máximo

a. Análisis por flexión

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

Dónde:

$\sigma = \text{esfuerzo normal flector máximo [MPas]}$

$M = \text{momento flector máximo [Nm]}$

$S = \text{módulo de resistencia de la sección circular maciza}$

$$S = \frac{\pi d^3}{32} \quad \text{Ecuación (45)}$$

$$\sigma = \frac{51,197 \text{ N} * m}{\frac{\pi d^3}{32}}$$

$$\sigma = \frac{51,197 \text{ N} * m}{\frac{\pi (0,032m)^3}{32}}$$

$$\sigma = 15,9146 \text{ MPa}$$

b. Análisis por torsión

$$\tau = \frac{T*r}{J} \quad \text{Ecuación (46)}$$

Dónde:

$\tau = \text{esfuerzo normal torsor máximo [MPas]}$

$$\tau = 60 \text{ N} * m$$

$$r = 0,016 \text{ m}$$

$$J = \pi \frac{d^4}{32} \quad \text{Ecuación (47)}$$

$$\tau = \frac{60 \text{ N} * m * 0,016}{\pi \frac{(0,032)^4}{32}}$$

$$\tau = 9,32548 \text{ MPa}$$

Se procede a encontrar el esfuerzo máximo con la fórmula:

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad \text{Ecuación (48)}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{15,91}{2}\right)^2 + 9,32^2} = 12,25 MPa$$

$$\tau_{max} = \frac{S_y * 0,5}{n} \quad \text{Ecuación (49)}$$

Al despejar n:

$$n = \frac{S_y * 0,5}{\tau_{max}} = \frac{220 * 0,5 MPa}{12,25 MPa} = 8,97$$

De este modo se determina que el factor de seguridad para carga estática del eje es de 8,97, con este valor se procede a realizar la verificación del factor de seguridad empleando el análisis de elementos finitos.

Teoría del esfuerzo normal máximo (TENM)

$$\sigma_1 \sigma_2 = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + (\tau_{xz})^2} \quad \text{Ecuación (50)}$$

$$\sigma_1 \sigma_2 = \frac{15,9146 MPa}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{15,9146 MPa}{2}\right)^2 + (9,32548 MPa)^2}$$

$$\sigma_1 \sigma_2 = 7,9573 MPa \pm 12,2590 MPa$$

$$\sigma_1 = 20,2163 MPa$$

$$\sigma_2 = -4,3017 MPa$$

Teoría de la energía de la distorsión (TED)

Teoría de Von Misses

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2^2} \quad \text{Ecuación (51)}$$

$$\sigma' = \sqrt{(20,2163 \text{ MPa})^2 - (20,2163 \text{ MPa})(-4,3017 \text{ MPa}) + (-4,3017 \text{ MPa})^2}$$

$$\sigma' = 22,6753 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{sy}{\sigma'}$$

$$n = \frac{220 \text{ MPa}}{22,6753 \text{ MPa}}$$

$$n = 9,7022$$

Se obtiene un factor de seguridad de 9,7 de manera analítica.

5.6.1. Diseño a fatiga del eje

Al realizar el diseño de ejes por las características dinámicas del sistema se requiere realizar el diseño del eje considerando el análisis del eje a consideraciones de fatiga.

Para el análisis de diseño del eje a fatiga se cuenta con los datos presentados en la Tabla A-20 (DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY, pág. 1020)

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg. %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126

Figura 5.40: Valores de la resistencia a la tensión S_{ut} y resistencia a la fluencia S_y

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley

$$s_{ut} = 400 \text{ MPa}$$

$$s_y = 220 \text{ MPa}$$

$$se = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * \frac{1}{k_f} * se' \quad \text{Ecuación (52)}$$

$$se' = 0,5 s_{ut} \quad \text{Ecuación (53)}$$

Dónde:

s_e = límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico [MPas]

s_e' = límite de la muestra de una viga rotatoria [MPas]

k_a = factor de superficie

k_b = factor del tamaño flexión y torsión

k_c = factor de carga

k_d = factor de temperatura

k_e = factor de confiabilidad

k_f = factor de efectos diversos

factor de acabado superficial , k_a .- Este factor se determina en la tabla 6-2 del libro (DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY, pág. 280).

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

Figura 5.41: Parámetros en el factor de la condición superficial

Fuente: Diseño En Ingeniería Mecánica de Shigley

$$k_a = a * s_{ut}^b$$

Ecuación (54)

a y b = constantes a fatiga

De tabla 6.2 parámetros en el factor de la condición superficial

Acabado superficial maquinado o laminado en frío

$$a = 4,51 \text{ MPa}$$

$$b = -0,265 \text{ MPa}$$

Reemplazar a y b en la ecuación (54) para obtener:

$$ka = 4,51 \text{ MPa} * (400 \text{ MPa})^{-0,265}$$

$$ka = 0,9217$$

factor de corrección por tamaño , kb.- Por torsión, flexión o ambos

$$kb = \left\{ \begin{array}{ll} \left(\frac{d}{0,3} \right)^{-0,107} = 0,879d^{-0,107} & 0,11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0,91d^{-0,157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ \left(\frac{d}{7,62} \right)^{-0,107} = 1,24^{-0,107} & 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1,51d^{-0,157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{array} \right\}$$

$$\left(\frac{d}{7,62} \right)^{-0,107} = 1,24^{-0,107} \quad 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm}$$

$$kb = \left(\frac{d}{7,62} \right)^{-0,107}$$

Ecuación (55)

$d =$ diámetro del eje 32 mm

$$kb = \left(\frac{32}{7,62} \right)^{-0,107}$$

$$kb = 0,85766$$

factor carga, kc.- Se realizan ensayos a fatiga con carga de flexión rotatoria, axial y de torsión.

$$kc = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{flexión} \\ 0,85 & \text{axial} \\ 0,59 & \text{torsión} \end{array} \right\}$$

$$kc = 1$$

factor de temperatura , kd.- se determina según las formulas

$$kd = 1 \text{ si } T \leq 450^\circ\text{C} (840^\circ\text{F})$$

$$kd = 1 - (5,8 * 10^{-3}) * (T - 450) \text{ si } 450^\circ\text{C} < T \leq 550^\circ\text{C}$$

$$k_d = 1 - (3,2 * 10^{-3}) * (T - 840) \text{ si } 840^{\circ}F < T \leq 1020^{\circ}F$$

$$k_d = 1 \text{ si } T \leq 450^{\circ}C (840^{\circ}F) \text{ Temperatura ambiente}$$

$$k_d = 1$$

factor de confiabilidad , ke.- se determina el valor en la tabla 6-5 (DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY, pág. 285).

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_o	Factor de confiabilidad k_o
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99,9	3.091	0.753
99,99	3.719	0.702
99,999	4.265	0.659
99,9999	4.753	0.620

Figura 5.42: Factores de confiabilidad

Fuente: Diseño En Ingeniería Mecánica De Shigley

Se considera un 50% de confiabilidad por tanto:

$$k_e = 1$$

factor de efectos diversos , kf.- cuando no se conoce la sección el factor es igual a uno.

$$k_f = 1$$

Una vez hallado los factores se determina el límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico.

$$s_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * \frac{1}{k_f} * s_e'$$

$$s_e = 0,9217 * 0,8576 * 1 * 1 * 1 * \frac{1}{1} * s_e'$$

$$s_e = 0,9217 * 0,8576 * 200MPa$$

$$s_e = 158,089MPa$$

Se aplica Ecuación de Goodman Modificada:

$$\frac{\sigma_a}{s_e} + \frac{\sigma_m}{s_{ut}} = \frac{1}{n} \quad \text{Ecuación (56)}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_m = \frac{15,91MPa + 0}{2} = 7,95 MPa$$

$$\sigma_a = \frac{15,91MPa - 0}{2} = 7,95 MPa$$

$$\frac{7,95}{s_e 158,08} + \frac{7,95}{s_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$$0,0503 + 0,0198 = \frac{1}{n}$$

$$n = \frac{1}{0,0701}$$

$$n = 14,26$$

5.6.2. Análisis estático estructural del eje

El análisis de elementos finitos para el eje es importante para determinar si los cálculos realizados de manera analítica son correctos. Para realizar el análisis de estático estructural del eje se coloca las cargas y el apoyo.

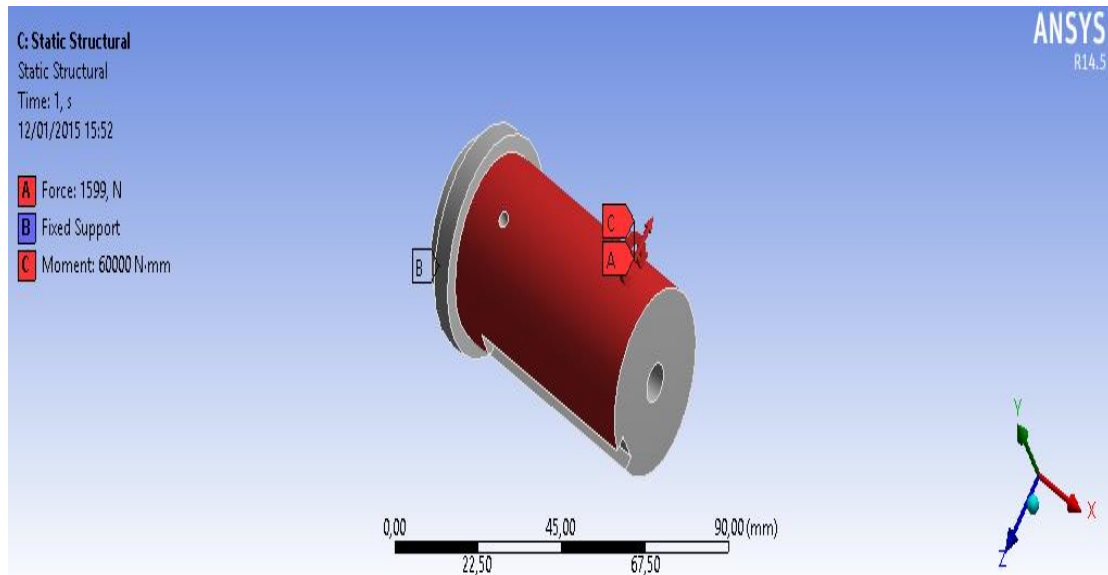


Figura 5.43: Condiciones de borde y cargas sobre el eje.

Al realizar el análisis estructural del eje se puede determinar las soluciones que el usuario desee obtener. Para el eje se ha obtenido el esfuerzo máximo que se encuentra en la siguiente figura 5.44:

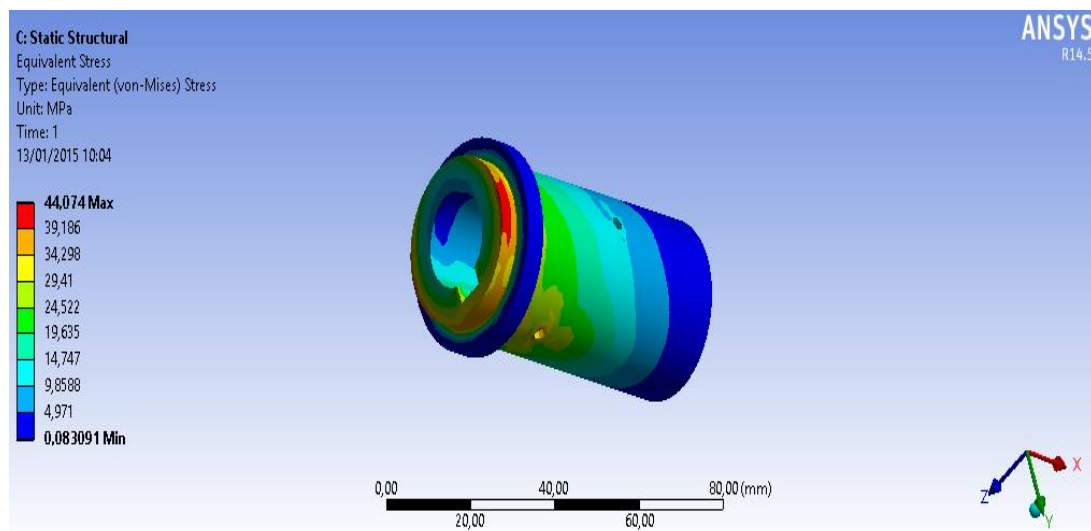


Figura 5.44: Esfuerzo en el eje

Otra solución que es de suma importancia en el análisis del eje es el factor de seguridad que al realizar el análisis arrojó un resultado de 8,39 como se puede visualizar en la figura presentada a continuación:

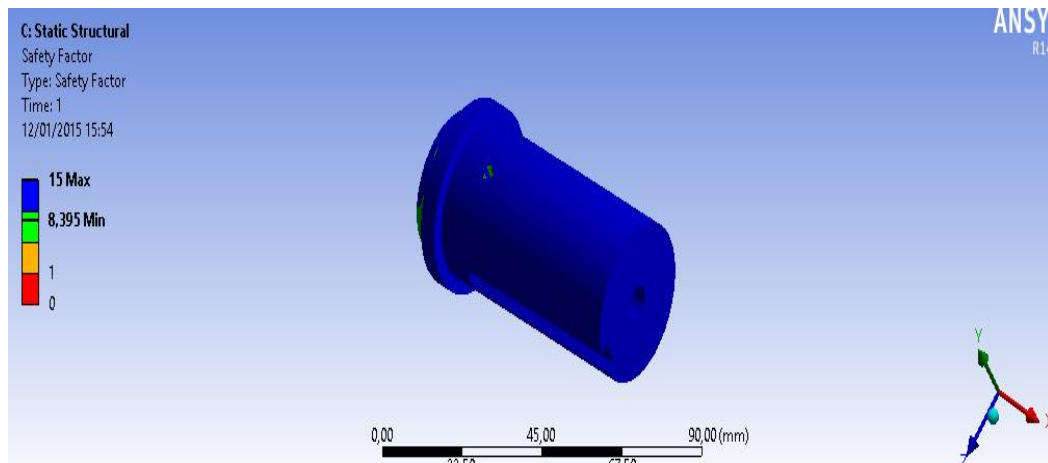


Figura 5.45: Factor de seguridad estático

Tabla 5.8

Resultado analítico y computacional

Análisis estático del eje	
Resultado de forma analítica	Resultado computacional
8,97	8,39

De este modo se ha podido comprobar que los valores hallados son correctos y que el eje soportará de manera adecuada las cargas a las que va a ser sometido. Considerando el estudio estático.

5.6.3. Análisis modal del eje

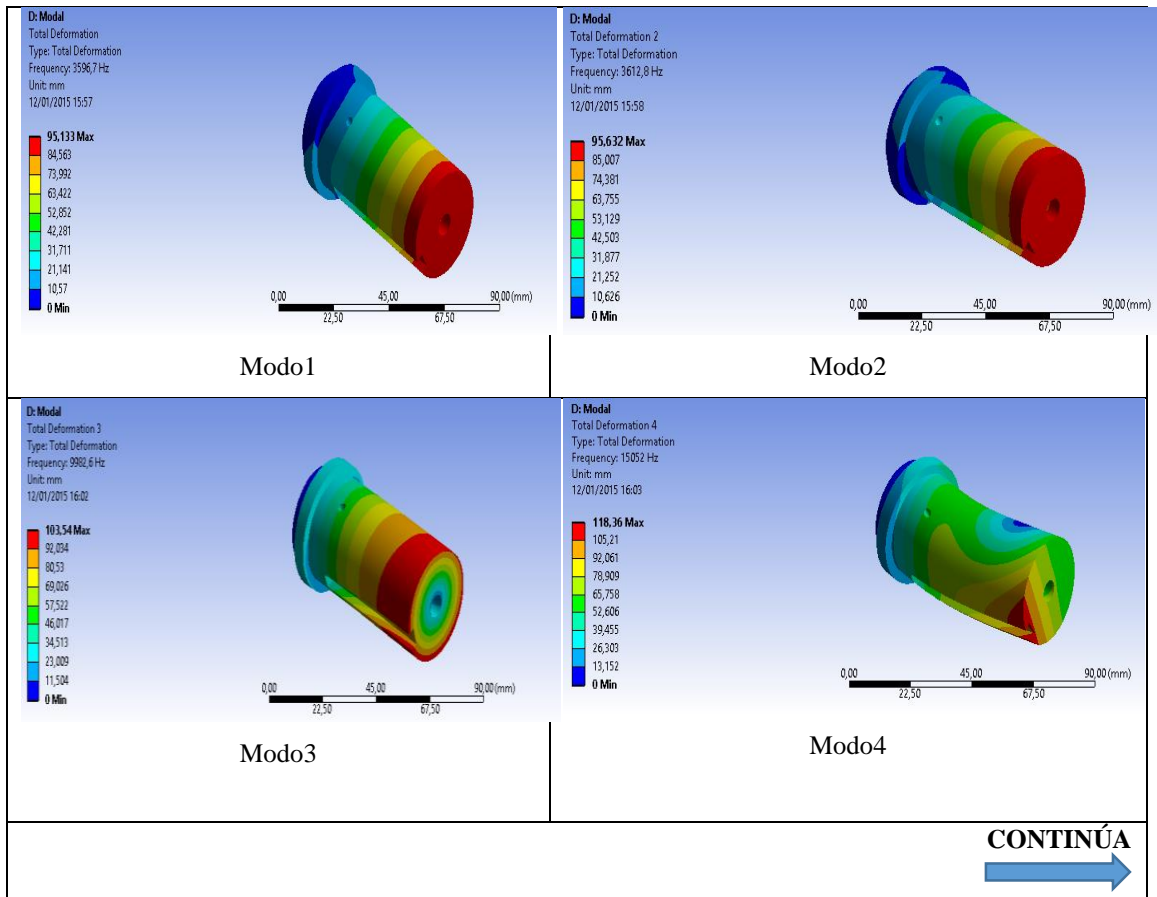
Para este análisis se toma los resultados obtenidos en el análisis estructural, como condiciones de pre-esfuerzo. El análisis Modal ayuda a determinar los modos de vibración que puede tener el eje. El usuario puede configurar la cantidad de modos de vibración que se desea obtener, para este caso serán 6 modos de vibración para diferenciar las posibles deformaciones a las que se somete el eje. Las frecuencias de los 6 modos de vibración obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

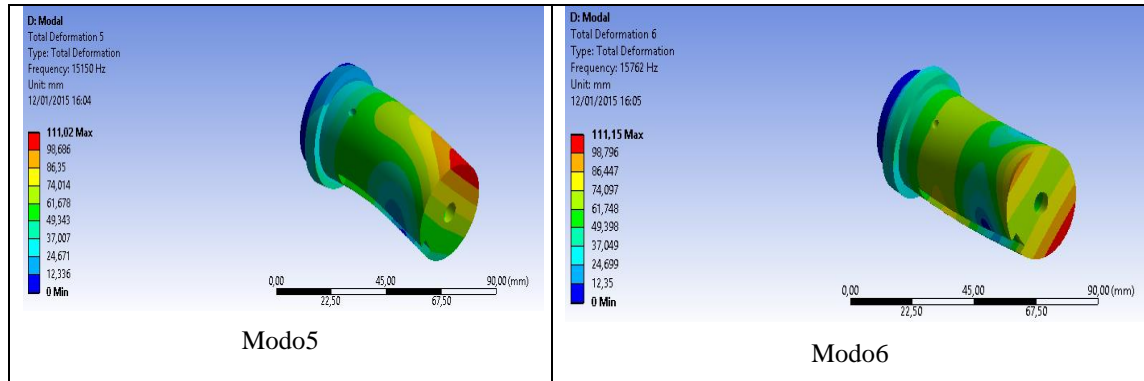
Tabla 5.9
Resultados Frecuencias del Análisis Modal

Modo	Frecuencia (hz)
1	3597
2	3613,3
3	9983,2
4	15053
5	15151
6	15763

Además de los valores de las frecuencias, se obtienen resultados gráficos de los 6 primeros modos de vibración como se puede observar en la tabla 5.10.

Tabla 5.10
Resultados análisis modal





5.6.4. Análisis Harmonic Response

El análisis de respuesta armónica ayuda a predecir el comportamiento dinámico de la estructura o componente que se desea estudiar. Permite verificar si soportará con éxito la resonancia, la fatiga y otros efectos nocivos producidos por las vibraciones.

En la figura 5.46 se observa la configuración para el análisis Harmonic Response, se debe tomar en cuenta el valor de las frecuencias mínima y máxima obtenidas en el análisis Modal.

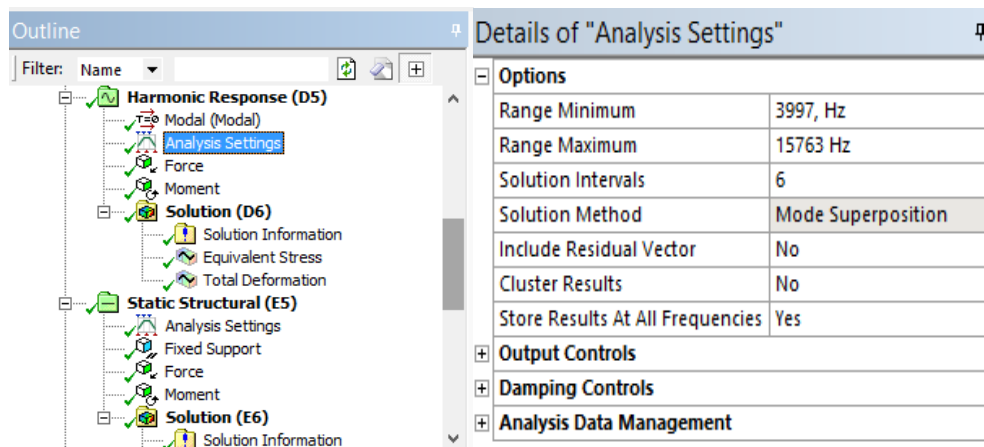


Figura 5.46: Configuración Análisis Harmonic Response

El esfuerzo equivalente de Von Mises en el análisis Harmonic Response da como resultado 46,69 MPas. Este valor se encuentra representado en la figura 5.47:

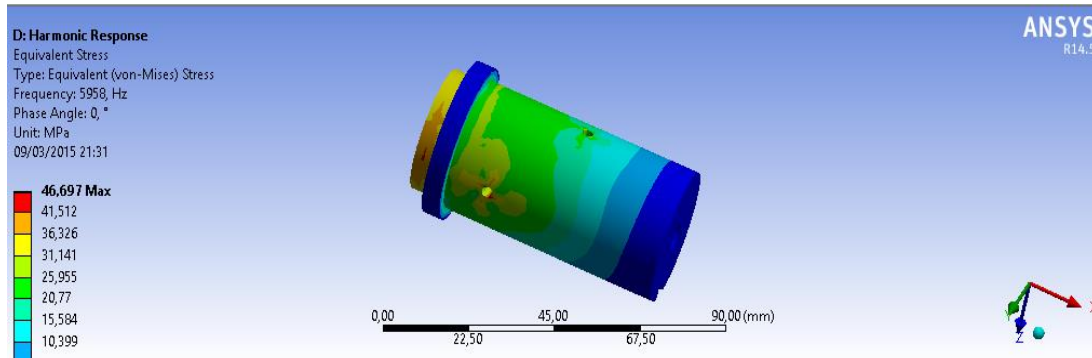


Figura 5.47: Esfuerzo equivalente de Von Misses

Una vez realizado el análisis Modal y el Harmonic Response se procede a realizar un análisis Static Structural para verificar si una vez que se han tomado en cuenta los posibles modos de vibración y la respuesta a los armónicos del componente en estudio el factor de seguridad que se obtiene continúa siendo superior a uno.

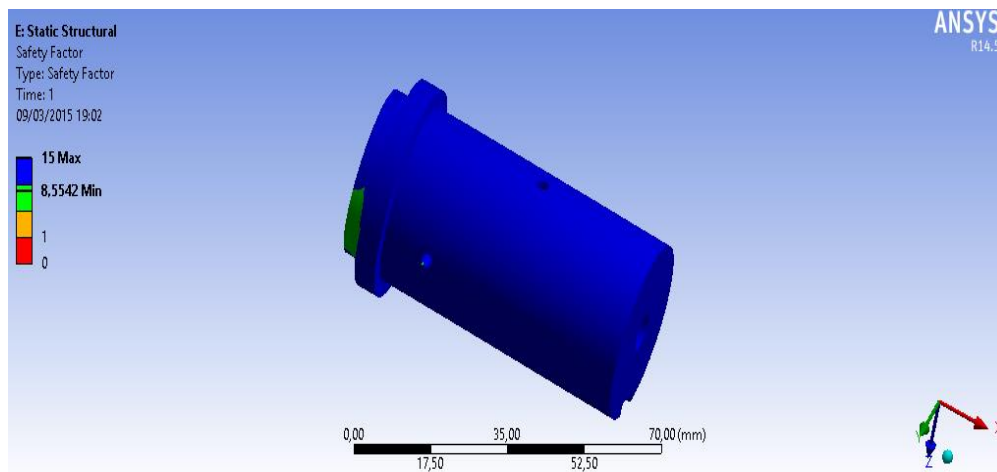


Figura 5.48: Factor de seguridad estático

Al realizar el análisis Static Structural se ha obtenido como resultado un factor de seguridad de 8,55 representado de manera gráfica en la figura 5.48. Al obtener un factor de seguridad superior a uno se puede concluir que el eje de acople para el motor se desempeñará de una manera satisfactoria ante sus posible modos de vibración y reaccionará de manera adecuada ante los armónicos a los que será sometido.

5.6.5. Análisis Transient

El estructural transient es una herramienta empleada para realizar el análisis de transitorios de estructuras o componentes sometidos a diferente tipo de esfuerzos. En este caso ayudará a determinar el comportamiento dinámico del eje para el motor.

El análisis transient permite configurar los rangos de tiempos de deformación. Para el análisis transient se debe configurar el número de pasos y el intervalo de tiempo dentro de cada uno. En el análisis del eje para el motor se van a emplear dos pasos para el desarrollo de la simulación. El primero se da cuando el eje es sometido a esfuerzo y el segundo paso es cuando el eje recupera su estabilidad.

El tiempo para el primer paso debe ser muy pequeño, mientras el sistema se impulsa, tomando en cuenta esto se toma un tiempo de 0,0001s para el paso 1. El tiempo de duración para el segundo paso se encuentra limitado por los recursos del computador, mientras mayor sea el tiempo de duración del paso mayor cantidad de recursos y por ende mayor tiempo para obtener resultados, el tiempo para el segundo paso se ubicará en 0,005s. Estos tiempos se han planteado considerando recomendaciones existentes en tutoriales de Ansys.

Es importante determinar un paso inicial de tiempo, para lo que se emplea la siguiente fórmula:

$$t = \frac{1}{20f} \quad \text{Ecuación (57)}$$

Donde f es el valor de la frecuencia del modo de vibración de interés que para este caso es el modo 6 al poseer la frecuencia de vibración más alta.

$$t = \frac{1}{20 * 15763} = 0,000003s$$

En base al tiempo hallado se pueden determinar el tiempo máximo y mínimo dentro de los cuales el programa realiza el cálculo. En base a recomendaciones brindadas en tutoriales de ANSYS estos tiempos pueden ser iguales para que cada punto de solución se encuentre a una misma distancia.

Una vez que se han determinado el número de pasos, el tiempo para cada uno, con el cálculo del paso inicial se pueden establecer también los tiempos máximos y mínimos para cada paso. Se puede ingresar estos parámetros en la configuración de cada uno de los pasos como se ve en la figura 5.49 y figura 5.50.

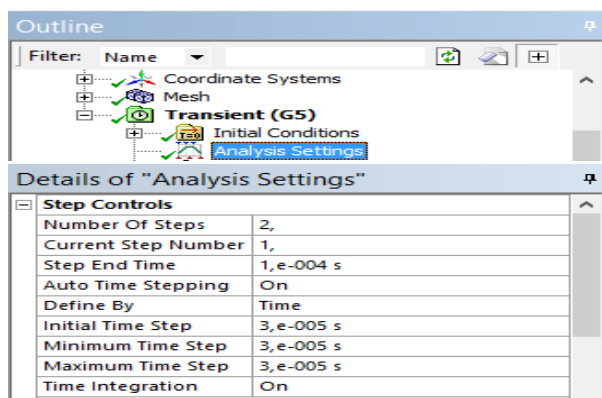


Figura 5.49: Configuración del paso 1

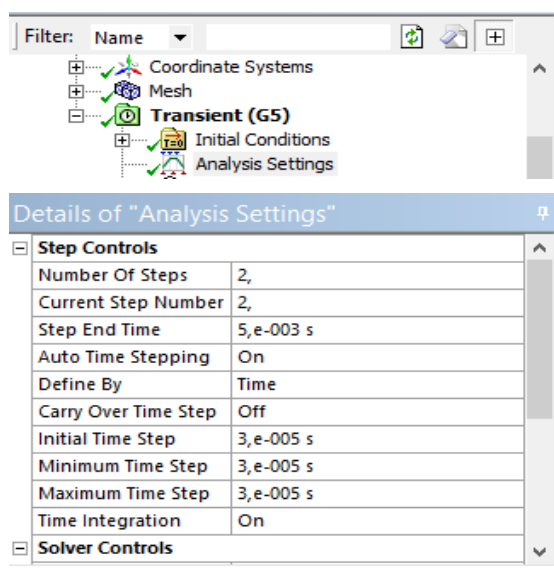


Figura 5.50: Configuración del paso 2

Las soluciones que se han obtenido al realizar el análisis Transient son la Deformación, Esfuerzo y el Factor de Seguridad, que se presentan de manera gráfica en las siguientes figuras.

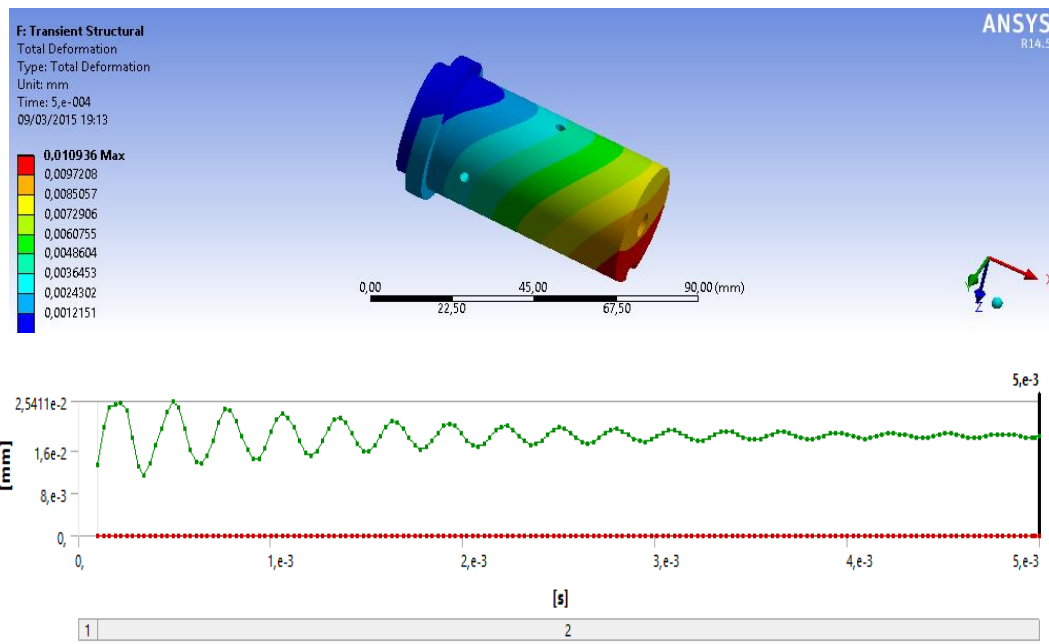


Figura 5.51: Deformación total del eje

En la figura se muestra además la curva de deformación con respecto al tiempo del eje. El valor máximo de deformación es de 0,010 en un tiempo de $1,9e^{-4}$.

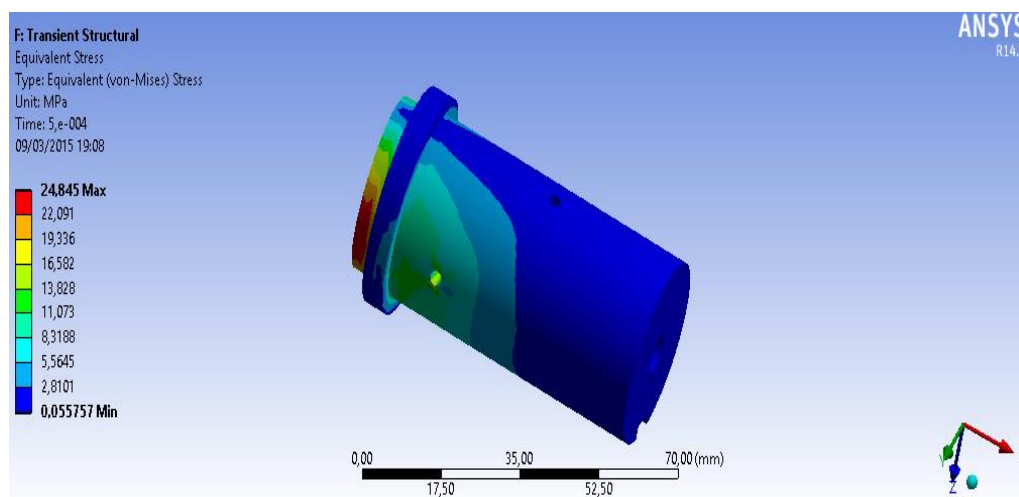


Figura 5.52: Esfuerzo Equivalente de Von Mises

Al culminar el análisis se obtiene un factor de seguridad en el eje de 14,89 como se puede ver en la figura 5.53:

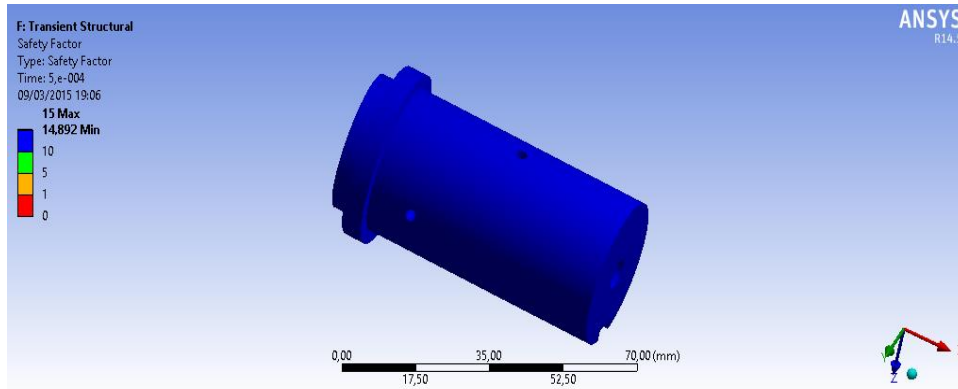


Figura 5.53: Factor de seguridad Resultante Análisis Transient.

Este factor de seguridad es comparado con el factor de seguridad obtenido de manera analítica en el análisis de falla por fatiga realizado anteriormente en la tabla 5.11.

Tabla 5.11

Resultado analítico y computacional

Análisis dinámico del eje	
Resultado de forma analítica	Resultado Computacional
14,26	14,89

Al observar los dos factores de seguridad obtenidos se determina que el eje se encuentra bien diseñado para soportar cargas a fatiga.

Una gráfica muy importante que se obtiene al realizar el análisis es la de convergencia de fuerza que se encuentra en la figura 5.54.

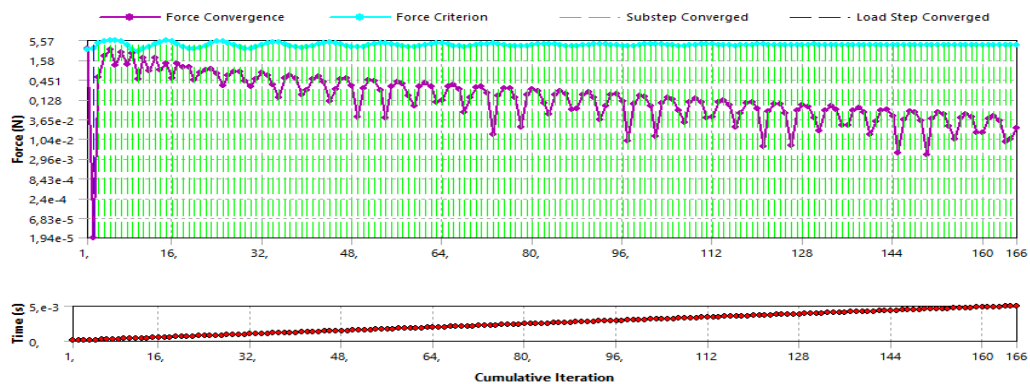


Figura 5.54: Resultado de la Convergencia

En esta gráfica se representa el número de iteraciones que realiza el software para encontrar una solución, en el caso del eje se han realizado 166 iteraciones, dentro de cada iteración se ha realizado 164 subpasos, que representan un intervalo de tiempo. Dentro de estos subpasos se realizan las iteraciones necesarias hasta que el programa converja una solución según el criterio elegido por el sistema.

5.7. Cálculos para la banda de transmisión

Existe una gran variedad de bandas de transmisión en el mercado para diferentes tipos de aplicaciones, pero en este caso la alternativa seleccionada anteriormente fue una banda con dentado trapezoidal tanto externo como interno. Para poder seleccionar la banda se ha determinado que el diámetro externo mínimo de las poleas debe ser de 120mm en virtud que este es el alto de la placa del bastidor del sistema en el que se encuentran colocados los ejes para posicionar las poleas.

Se tiene como dato la distancia entre centros de las poleas para determinar la longitud o también denominado desarrollo de la banda.

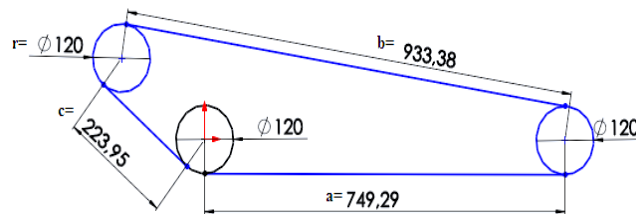


Figura 5.55: Dimensiones entre centros de las poleas.

Para calcular la longitud de la banda se empleará la siguiente fórmula:

$$l = a + b + c + 2\pi r \quad \text{Ecuación (58)}$$

Reemplazando los valores obtenidos de la Figura 88 se tiene:

$$l = 749,29\text{mm} + 933,38\text{mm} + 223,95\text{mm} + 2\pi 60\text{mm} = 2283,61\text{mm}$$

$$l = 89,9\text{inch.}$$

Una vez determinada la longitud de la banda se puede seleccionar el paso que se desea. Para determinar el paso de la banda interna ha servido de guía la figura 89, en la cual se

encuentran detallados los tipos de paso existentes según las normas ISO (Organización Internacional de Normalización) y DIN (Instituto Alemán de Normalización), además especifica la altura total de la banda y la profundidad del diente correspondiente a cada tipo.

Dimensiones para correas sincronas de perfil trapecoidal, según normas ISO y DIN									
Series de perfiles de dientes trapecoidal según ISO/DIS 5296									
Tipo	Paso, P		H	h1	B	r ₀	r ₁	Φ	Aplicaciones
	in	mm							
MXL	2/25	2,032	1,14	0,51	1,14	0,13	0,13	40	Precisión
XXL	1/8	3,175	1,52	0,76	1,73	0,30	0,20	50	Extra ligera
XL	1/5	5,08	2,30	1,27	2,57	0,38	0,38	50	Muy ligera
L	3/8	9,525	3,60	1,91	4,65	0,51	0,51	40	Ligera
H	1/2	12,70	4,30	2,29	6,12	1,02	1,02	40	Pesada
XH	7/8	22,225	11,20	6,35	12,57	1,19	1,57	40	Muy pesada
XXH	1/4	31,75	15,70	9,53	19,05	1,52	2,29	40	Extra pesada

Figura 5.56: Dimensiones de paso y profundidad de diente según el tipo de banda

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>

Al observar los datos de bandas estandarizadas en catálogos para su selección se obtiene que las longitudes máximas en bandas MXL, XL, L, H, XH y XXH son las que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 5.12

Medidas máximas bandas paso XL, L, H, XH, XXH

PASO	# DE DIENTES MÁXIMO	DESARROLLO MAX (mm)
MXL	653	1.326,9
XL	355	1.803,4
L	218	2.075,2
H	340	4.318,00
XH	200	4.445,00
XXH	144	4.572,00

Fuente: Catálogo bandas de transmisión GOODYEAR

Al observar la tabla anterior se descarta las bandas de paso XL y L, al no alcanzar la longitud deseada. Y las bandas tipo XH y XXH al tener un paso y profundidad de diente muy grande factores que incrementa el peso de la correa. Se debe tomar muy en cuenta que mientras mayor es el paso de la correa, el diámetro mínimo que debe tener la polea incrementa. Quedando como la opción más indicada las bandas tipo H se procede a buscar en el catálogo la longitud más próxima a la calculada.

PASO H (1/2" - 12,7 mm.)		
REF.	Nº. Dientes	Desarrollo mm.
240 H	48	609,60
270 H	54	685,80
300 H	60	762,00
330 H	66	838,20
360 H	72	914,40
390 H	78	990,60
420 H	84	1.066,80
450 H	90	1.143,00
480 H	96	1.219,20
490 H	98	1.244,60
510 H	102	1.295,40
540 H	108	1.371,60
560 H	112	1.422,40
570 H	114	1.447,80
600 H	120	1.524,00
630 H	126	1.600,20
660 H	132	1.676,40
700 H	140	1.778,00
750 H	150	1.905,00
800 H	160	2.032,00
850 H	170	2.159,00
900 H	180	2.286,00
1000 H	200	2.540,00
1100 H	220	2.794,00
1250 H	250	3.175,00
1400 H	280	3.556,00
1700 H	340	4.318,00

Figura 5.57: Bandas Tipo H

Fuente: Catálogo bandas de transmisión GOODYEAR

La banda que posee la longitud más cercana resulta ser la 900H que posee 180 dientes y una longitud de desarrollo de 2286mm.

En este caso es importante mencionar que seleccionada la banda con el dentado interno se puede establecer el paso para el dentado externo, tomando como dato el desarrollo de la banda 900H.

En el mercado nacional no existen el tipo de bandas con dentado interno y externo como la que se desea emplear en el sistema, es por este motivo que se consideró como una opción el realizar la fabricación de la banda. Tomando como base la banda 900H existente en el mercado nacional se procederá a realizar el prensado y vulcanizado del dentado externo.

Para realizar el prensado del dentado externo se debe realizar una matriz en la cual se alojará el material, en este caso el material a emplear es el nitrilo Cédula 60. El cual al momento del prensado toma la forma de la matriz y gracias a un pegamento especial para caucho se adhiere a la banda ya elaborada.

Como dato para el diseño del diente externo se ha tomado las dimensiones de las gradas de una edificación para tener una referencia y poder determinar las dimensionar la oruga.

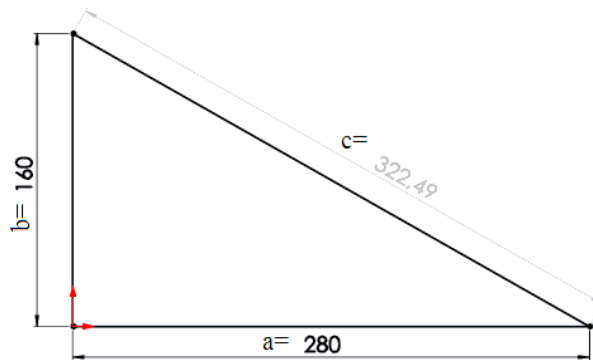


Figura 5.58: Dimensiones de huella y contrahuella de una grada

$a = 280\text{mm}$ (medida de la huella)

$b = 160\text{mm}$ (medida de la contrahuella)

$c = 322,5\text{ mm}$ (hipotenusa formada entre la huella y contrahuella)

Se ha planteado como dato que la banda externa tenga un total de 32 dientes. Al tener la longitud total de la banda y el número de dientes deseados se puede calcular el paso de la banda externa.

Se divide el desarrollo de la banda interna para el número de dientes.

$$P = \frac{2286}{32} = 71,4mm$$

Si se tiene un paso de 71,4 mm, sobre la banda interna alcanzarán 32 dientes.

Para verificar si el número de dientes planteado es correcto se puede dividir la hipotenusa que se forma en la grada para el paso encontrado.

$$\frac{322.5mm}{71,4mm} = 4,5 \text{ dientes}$$

Esto significa que en la hipotenusa formada por la grada existirán 4 dientes y medio, los cuales garantizarán el agarre de la oruga en la grada.

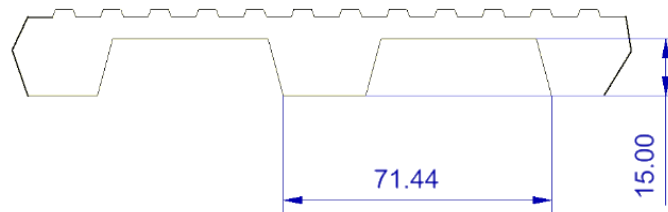


Figura 5.59: Paso y altura del diente externo.

Cabe mencionar que la altura para el diente externo se determinó con la elaboración de una muestra realizada de manera manual. Logrando determinar que una altura de 15mm es suficiente para que el diente tenga agarre con la grada.

5.8. Cálculo para poleas dentadas

El cálculo para fabricar las poleas dentadas se realiza una vez que se ha determinado el paso de la banda a emplear. Para el sistema en análisis se ha seleccionado una banda de transmisión sincronizada 900H.

Al centro de la diferencia entre estas dos dimensiones se la denomina "Línea primitiva", se trata de la fibra que permanece invariable en longitud cuando se flexiona la correa, se la denomina "fibra neutra".

Para comprender de mejor manera cual es el diámetro primitivo de la polea y la línea primitiva de la correa se puede observar la figura 5.60.

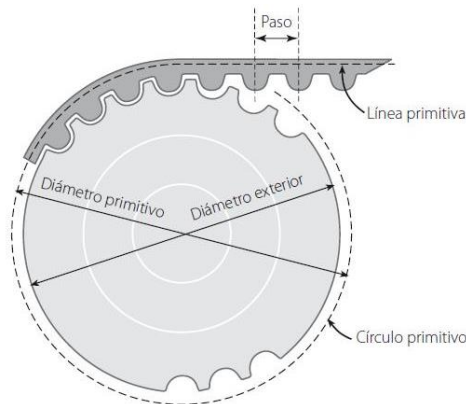


Figura 5.60: Diámetro primitivo (polea), y línea primitiva (banda)

Fuente: <http://foro.metalaficion.com/index.php?topic=3591.0>

Para determinar el diámetro real de las poleas se tiene la siguiente fórmula :

$$D_{ext} = \frac{z \cdot P}{\pi} - \frac{H - h_1}{2} \quad \text{Ecuación (59)}$$

D_{ext} = Diámetro exterior de la polea [mm]

z = Número de dientes

P = Paso [mm]

H = Altura total de la banda [mm]

h_1 = Altura del diente [mm]

En este caso se desea que la polea tenga 31 dientes, de lo cual se obtiene:

$$\text{Dientes } (Z) = 31$$

$$\text{Paso } (P) = 12,7 \text{ mm}$$

$$H = 4,30mm$$

$$h1 = 2,29mm$$

Reemplazando estos valores en la ecuación:

$$D_{ext} = \frac{31 * 12,7}{\pi} - \frac{4,30 - 2,29}{2} = 124,31mm.$$

Obteniendo que el diámetro exterior para la polea con 31 dientes de paso H es de 124,31 mm. En lo que respecta a la selección del material para la fabricación de las poleas, dentro de las condiciones establecidas se encuentra que sea un material liviano, fácil de mecanizar y resistente. Se ha empleado como ayuda para seleccionar el material la herramienta CES Edupack (Versión estudiantil), ingresando la densidad que puede variar entre 2500 a 2800 Kg/m^3 . Además se ha planteado un coeficiente de poisson de 0,32 a 0,33 y el módulo de young de 69,5 a 70 Gpas. Obteniendo 31 materiales con las características deseadas.

The screenshot displays the CES Edupack software interface for material selection. The main window is titled "MATERIAL PARA POLEAS DENTADAS". It features several sections:

- 1. Selection Data:** Shows the current selection criteria and a "Change..." button.
- 2. Selection Stages:** Includes options for "Graph", "Limit", and "Tree", and shows "Stage 1: MATERIAL PARA POLEAS DENTADAS".
- 3. Results: 31 of 2920 pass:** A list of materials is shown, including various aluminum alloys (e.g., Aluminum, 6060, wrought, T4; Aluminum, 7075, wrought, T6).
- Mechanical properties section:** A table of filters for material selection:

Property	Minimum	Maximum	Unit
Young's modulus	69.5	70	GPa
Shear modulus			GPa
Bulk modulus			GPa
Poisson's ratio	0.32	0.33	
Yield strength (elastic limit)			MPa
Tensile strength			MPa
Compressive strength			MPa
Flexural strength (modulus of rupture)			MPa
Elongation			%
Hardness - Vickers			HV

Figura 5.61: Selección del material para poleas en CES Edupack.

Existen 31 materiales que cumplen con las características deseadas, pero en este caso se ha seleccionado el aluminio 7075, también conocido comercialmente como

duraluminio, por la facilidad de conseguir en el mercado y por las buenas propiedades mecánicas que tiene.

5.9. Cálculo soldadura

Para verificar si la soldadura a emplear en el ensamblaje del sistema automático para transportar sillas de ruedas soportará las cargas, se emplea el cálculo del esfuerzo máximo aplicado en uno de los puntos críticos. Para este cálculo se emplea la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{P}{0,707 * h * l} \quad \text{Ecuación (60)}$$

Dónde:

P: Es la Fuerza aplicada sobre el punto de análisis [N]

h: Es la altura del filete de soldadura [m]

l: Es la longitud del filete de soldadura. [m]

En este caso se considera para el cálculo la estructura del espaldar, se conoce que la fuerza aplicada sobre el espaldar es de 970,15 N según el cálculo realizado en el acápite 5.2. A demás se conoce que $l = 0,003\text{m}$ y $h = 0,003\text{ m}$ de alto, de modo que al reemplazar se tiene:

$$\tau = \frac{970,15\text{N}}{0,707 * 0,003 * 0,003} = 152,46\text{MPas}$$

Para determinar el factor de seguridad de la soldadura se tiene la siguiente ecuación:

$$n = \frac{S_y}{\tau} \quad \text{Ecuación (61)}$$

Dónde:

S_y: Corresponde al límite de fluencia del material de aporte [Mpas]

En este caso al aplicarse la suelda MIG para hacer al carbono el $S_y = 450\text{MPas}$, al reemplazar τ y S_y en la ecuación (61):

$$n = \frac{450\text{Mpas}}{152,46\text{Mpas}} = 2,95$$

Se encuentra un factor de seguridad de 2,95, lo que significa que la soldadura a emplear soportará las cargas a aplicarle de manera satisfactoria.

CAPÍTULO VI

CONTROL DEL SISTEMA AUTOMÁTICO CON ORUGAS

6.1. Introducción

En este capítulo se detallará los requerimientos para el diseño del control de la máquina. Se presentarán diferentes alternativas con sus ventajas y desventajas, para solucionar los requerimientos planteados. Se evaluará cada una de las alternativas con el empleo de herramientas como la matriz morfológica, y determinar cuál es la más adecuada para desarrollarse. Lo que permite optimizar el diseño del control de la máquina, garantizar un buen funcionamiento y seguridad para el usuario.

6.2. Requerimientos para el control de la máquina

En este apartado se describen las necesidades que el control de la máquina debe satisfacer.

Es importante que la máquina pueda controlarse de manera inalámbrica, para evitar que el cableado sea un impedimento para desmontaje y posterior transporte.

Emplear energía de alta duración y fácil mantenimiento.

Cuidar que el control de la máquina sea ligero, fácil de operar, sin dejar de lado la seguridad que debe garantizar.

Mientras menos compleja sea la implementación del sistema de control, mucho más accesible será su costo.

6.3. Restricciones para el control de la máquina

Al igual que existen restricciones para la parte mecánica del sistema deben existir restricciones para el desarrollo del controlador de la máquina.

En caso de detectarse algún problema en la parte electrónica el sistema debe bloquearse hasta que el daño sea corregido.

6.4. Análisis de las Alternativas para el sistema automático con orugas

El análisis presentado a continuación es importante para determinar cuáles son los elementos que pueden emplearse en la implementación del controlador del sistema con orugas. Además se describe las ventajas y desventajas de cada elemento como ayuda para la selección de la mejor alternativa.

6.4.1. Elementos para la locomoción del sistema

6.4.1.1. Motores corriente directa

Los motores de corriente continua son similares en su construcción a los generadores. Cuando la corriente pasa a través del rotor de un motor de corriente continua, se genera un par de fuerzas por la reacción magnética, y el rotor gira. La acción del conmutador y de las conexiones de las bobinas del campo de los motores son exactamente las mismas que usan los generadores. La revolución del rotor induce un voltaje en las bobinas de ésta. (MOTOR DE CC, 2014)



Figura 6.1: motor DC 24 V

Fuente: <http://www.mantech.co.za/datasheets/products/DYD-D-320W.pdf>

Tabla 6.1**Características y aplicaciones del motor de corriente continua**

Motor	Características	Aplicaciones
Motor de corriente continua	<ul style="list-style-type: none"> -Es muy versátil en la industria. -Facilidad de posición, par y velocidad. -Una máquina que convierte energía eléctrica en movimiento o trabajo mecánico. -Son imprescindible utilizar corriente directa, para los motores accionados por pilas o baterías. 	<ul style="list-style-type: none"> Aplicaciones de control y automatización de procesos.

Ventajas

- Alta confiabilidad y seguridad, asociada a largos intervalos de tiempo sin necesidad de mantenimiento.
- Amplio rango de variación de velocidad
- Baja relación peso / potencia
- Alta eficiencia
- Bajo nivel de ruido
- Construcción robusta
- Alta resistencia a vibraciones
- Tamaño y peso son más reducidos.
- Se puede construir de cualquier tamaño.

Desventajas

- Mantenimiento caro y laborioso
- Incapacidad de funcionar a velocidades bajas.

- El motor de rotor bobinado, a diferencia de uno de imán, tiene el problema en que el embobinado necesita una corriente circulando.
- Los motores con imanes tienen limitaciones en cuanto a la potencia del motor, por la debilidad del imán.

6.4.1.2. Servomotores

Un servo es un dispositivo pequeño que tiene un eje de rendimiento controlado. Este puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada. Con tal de que una señal codificada exista en la línea de entrada, el servo mantendrá la posición angular del engranaje. (El servomotor, 2014)



Figura 6.2: servomotor

Fuente: http://robots-argentina.com.ar/MotorServo_basico.htm

Tabla 6.2

Características y aplicaciones de los servomotores

Motor	Características	Aplicaciones
Servomotor	<ul style="list-style-type: none"> - Un servomotor es un motor eléctrico que consta con la capacidad de ser controlado, tanto en velocidad como en posición. - Es un actuador mecánico, posee los suficientes elementos de control como para que se puedan monitorizar los parámetros de su actuación mecánica, como su posición, velocidad, torque. - Tienen tres cables de conexión eléctrica; Vcc, GND, y entrada de control. 	<ul style="list-style-type: none"> - Posicionar superficies de control como el movimiento de palancas, pequeños ascensores y timones. - Usados en radio control , y principalmente en ROBÓTICA

Fuente: http://robots-argentina.com.ar/MotorServo_basico.htm

Ventajas

- Es sumamente poderoso para su tamaño (mucho torque).
- Potencia proporcional para cargas mecánicas.
- No consume mucha energía.
- Mayor precisión.

Desventajas

- No es posible cambiar las características eléctricas del motor por tanto no se puede cambiar la velocidad del mismo.
- Está limitado por el circuito de control a únicamente variar de 0° a 180°.
- Su construcción puede ser costosa.
- Poder controlar varias secuencias de posiciones, es difícil sin utilizar sistemas basados con micros.

6.4.2. Etapa de control

6.4.2.1. Tarjeta controladora Arduino Uno

Arduino es una marca de microcontroladores mundialmente conocida por los amantes de la electrónica, la programación y la robótica.

La comunicación entre la computadora y Arduino UNO se produce a través del puerto serie, sin embargo posee un convertidor usb-serie, por lo que sólo se necesita conectar el dispositivo a la computadora utilizando un cable USB como el que utilizan las impresoras. (Placa Arduino Uno, 2012)

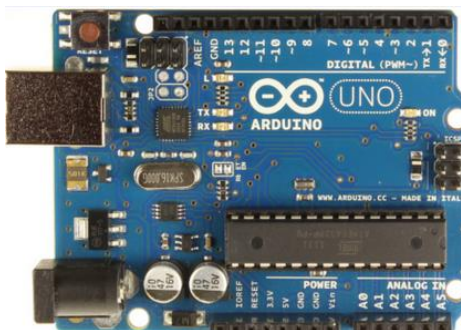


Figura 6.3: Arduino UNO

Fuente: <http://www.menosmedia.org/spip.php?article43>

Tabla 6.3

Características y aplicaciones de la tarjeta Arduino UNO

Tarjeta	Características	Aplicaciones
Arduino UNO	<ul style="list-style-type: none"> -Capacidad de memoria del microcontrolador es muy amplia. -Voltaje de operación -Tamaño, por ejemplo para diseño de dispositivos de uso cotidiano en ocasiones es mucho mejor utilizar los arduinos mini o nano que son de poco tamaño. -Número de entradas/ salidas, es necesario saber cuántas entradas y cuantas salidas serán necesarias para el proyecto. - Arduino viene listo para usar, es muy gratificante cuando se compra un arduino saber que puedo llegar a casa, conectar los sensores, los actuadores y programar inmediatamente 	<ul style="list-style-type: none"> -Equipo científico para investigaciones. -Ardupilot: software y hardware de aeronaves no tripuladas. -ArduinoPhone: un teléfono móvil construido sobre un módulo Arduino. Impresoras 3D.

Fuente: <https://sites.google.com/site/temasdedisenoymanufactura/arduino>

Ventajas

- Facilidad de conexión de dispositivos
- Fácil programación.

- Una vez programado no necesita estar conectado al PC.
- Dispone de entradas y salidas analógicas para ser utilizadas de acuerdo a lo que se requiera programar.
- Dado que tanto el software como el hardware es libre, se hacen ideal para los proyectos de la universidad y de pequeñas empresas sin temor a estar violando los derechos de autor de alguien.

Desventajas

- Dado que la programación no se realiza en ensamblador, el precio a pagar por el uso de las librerías es un retraso en la ejecución de las instrucciones, algunos microsegundos que en el caso de dispositivos de uso cotidiano son irrelevantes, pero significativos a la hora de hacer adquisición de datos.
- El hecho de que la plataforma venga ya ensamblada le quita flexibilidad a los proyectos, así por ejemplo estaríamos obligados a usar un espacio y forma acorde con el PCB del arduino, para superar esto, se debe trabajar con un microcontrolador diferente al de la plataforma y diseñar las PCB desde cero como con los PICs.
- No admite voltajes mayores a 5V.

6.4.2.2. Microcontroladores Pic 16F877a

Un microcontrolador con memoria de programa tipo FLASH, lo que representa gran facilidad en el desarrollo de prototipos y en su aprendizaje, no se requiere borrarlo con luz ultravioleta como las versiones EPROM, sino que permite reprogramarlo nuevamente sin ser borrado con anterioridad. (El Microcontrolador PIC16F877, 2014)

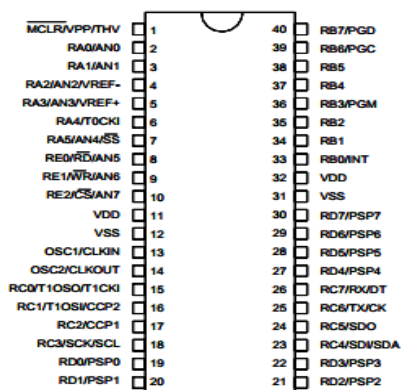


Figura 6.4: Microcontrolador 16f877a

Fuente: <http://www.utp.edu.co/~eduque/arquitec/PIC16F877.p>

Tabla 6.4

Características y aplicaciones de microcontrolador Pic 16f877

Microcontrolador	Características	Aplicaciones
PIC 16F877a	<ul style="list-style-type: none"> -Núcleos de CPU de 8/16 bits con Arquitectura Harvard modificada -Memoria Flash y ROM disponible desde 256 bytes a 256 kilobytes -Puertos de E/S (típicamente 0 a 5.5 voltios) -Temporizadores de 8/16/32 bits -Convertidores analógico/digital de 8-10-12 bits -Comparadores de tensión -Módulos de captura y comparación PWM -Controladores LCD -Periféricos de control de motores -Soporte de interfaz USB -Soporte de controlador Ethernet 	<p>-Es utilizado para diferentes proyectos como control de temperatura, control de motores y varias aplicaciones industriales pero su programación requiere muchas librerías de acuerdo a la aplicación que se requiera.</p>

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador_PIC#Caracter.C3.ADsticas

Ventajas

- Los microcontroladores PIC son muy fácil de grabar, solo se necesita de una computadora. Un PIC se puede grabar mediante diferentes puertos, como por ejemplo serie o el USB.
- La gran ventaja de un PIC que no existía antes, es que permite controlar, programar y sincronizar tareas electrónicas a través del tiempo simplemente realizando una correcta programación.
- Un microcontrolador PIC, este circuito integrado hace todo por nosotros. En el mercado existen varios softwares que ayudan a programar un microcontrolador de este tipo, como por ejemplo el PICC, o el MPLAB, es decir, que los PIC, están muy extendidos y difundidos en la electrónica actual.
- Existe una gran diversidad de microcontroladores PIC en el mercado de Microchip y ésta también es una gran ventaja, se puede elegir entre diversas características que uno no tiene pero otro si, como cantidad de puertos, cantidad de entradas y salidas, conversor Analógico a Digital, cantidad de memoria, espacio físico, y este tipo de cualidades permiten tener una mejor elección de un PIC.

Desventajas

- Una de las desventajas de un microcontrolador PIC es que se necesitan llamar a muchas instrucciones para realizar una tarea en particular. Esto siempre y cuando el proyecto sea complejo.
- Otra de las desventajas pero no tan significativas o importantes es que los PIC no son tan baratos.
- El software de los PIC no son de librería libre requiere de un programa con licencia.

6.4.3. Etapa de comunicación

6.4.3.1. Módulos XBee Pro S1

El XBee Pro es un módulo de la serie # 1 con un protocolo (802.15.4) módulo inalámbrico, este módulo es bueno para conexiones punto a punto, multipunto y convertible a un punto de la red de malla, son más versátiles que los módulos XBee llanos, los módulos de la serie uno (s1) son más fáciles de ponerse en marcha.

Los módulos XBee Pro S1 poseen tres configuraciones que se detalla a continuación: (Oyarce, 2014)

El Coordinador: Es el nodo de la red que tiene la única función de formar una red. Es el responsable de establecer el canal de comunicaciones y del PAN ID (identificador de red) para toda la red. Una vez establecidos estos parámetros, el Coordinador puede formar una red, permitiendo unirse a él a dispositivos Routers y End Points. Una vez formada la red, el Coordinador hace las funciones de Router, esto es, participar en el enrutado de paquetes y ser origen y destinatario de información.

El Router: Es un nodo que crea y mantiene información sobre la red permite determinar la mejor ruta para transmitir un paquete de información. Lógicamente un router debe unirse a una red Zigbee antes de poder actuar como Router retransmitiendo paquetes de otros routers o de End points.

End Device: Los dispositivos finales no tienen capacidad de enrutar paquetes. Deben interactuar siempre a través de su nodo padre, ya sea este un Coordinador o un Router, es decir, no puede enviar información directamente a otro end device. Normalmente estos equipos van alimentados a baterías. El consumo es menor al no tener que realizar funciones de enrutamiento.



Figura 6.5: Módulos XBee Pro S1

Fuente: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet.pdf>

Tabla 6.5

Características y aplicaciones de los módulos XBee Pro S1

Módulo	Características	Aplicaciones
XBee Pro S1	<ul style="list-style-type: none"> -La sensibilidad de sus receptores. -Alcance de comunicación alto. -La tensión de operación es 3 a 3,3V -fácil configuración para su operación. -Módulo compatible con Arduino. 	<ul style="list-style-type: none"> -Redes de sensores de bajo consumo en el campo para medir y recoger distintos parámetros. -Domótica, automatización de edificios y hogares, control industrial. -Control remoto de electrónica de consumo, como el mando de la televisión, luces.

Fuente: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet.pdf>

Ventajas

- Están diseñadas para aplicaciones de alto rendimiento que requieren de baja latencia y sincronización de comunicación predecibles.
- La principal ventaja de las redes inalámbricas es la facilidad de movilidad de los equipos.

Desventajas

- Al usar varios módulos es posible que existan interferencias y no puedan recibir o enviar bien la información.
- Voltajes de 3,4 V para su alimentación.

6.4.4. Etapa de potencia

6.4.4.1. Tarjeta Sabertooth 2x60

La tarjeta Sabertooth 2x60 es una tarjeta controladora de motores utilizada por lo general en la implementación de robots. Se encarga de proporcionar tanto la dirección como la propulsión de los motores, al poseer un puente H tiene la capacidad de controlar el sentido de giro y la velocidad de motores según la aplicación a realizar. Se puede utilizar en diferentes modos ya que tiene una placa con dip switches para elegir el modo en el que desea que opere. (Quinde & Ulloa, 2014)



Figura 6.6: Sabertooth 2x60

Fuente: <https://www.dimensionengineering.com/datasheets/Sabertooth2x60.pdf>

Tabla 6.6**Características y aplicaciones de la Sabertooth 2x60**

Tarjeta	Características Sabertooth	Aplicaciones
Sabertooth 2x60	<ul style="list-style-type: none"> - Sabertooth 2X60 es uno de los conductores a utilizar motores duales más versátiles, eficientes y fáciles de usar en el mercado. -Sabertooth puede controlar dos motores DC con un máximo de 60A cada uno. - Protección a sobrecorriente. -Sabertooth tiene modos de funcionamiento independientes dirección y velocidad +, por lo que es el conductor ideal para accionamiento diferencial. 	<ul style="list-style-type: none"> -Robots de combate hasta 120 libras. - Robots accionamiento diferencial - Fácil control de velocidad / dirección para bombas, transportadores, automatización y cualquier aplicación que utiliza dos motores de corriente continua.

Fuente: <https://www.dimensionengineering.com/products/sabertooth2x60>

Ventajas

- Posee acondicionamiento de señal integrado
- DIP switch que se configuran de acuerdo a la aplicación que se requiera
- Fácil conexión
- Fácil operación
- No existe ruido
- Protegido contra sobrecargas
- Protegido contra altas temperaturas

Desventajas

- La tarjeta no es liviana
- Precio es elevado

6.4.4.2. Puente H

Un puente H es un circuito electrónico que permite a los motores eléctricos ser activados en un sentido u otro, avance y retroceso y a la vez permitiendo controlar variables como velocidad y torque de los mismos. Estos circuitos son de uso frecuente en robótica. Los puentes H están disponibles como circuitos integrados, o se pueden construir de componentes separados. (El Puente H, 2012)

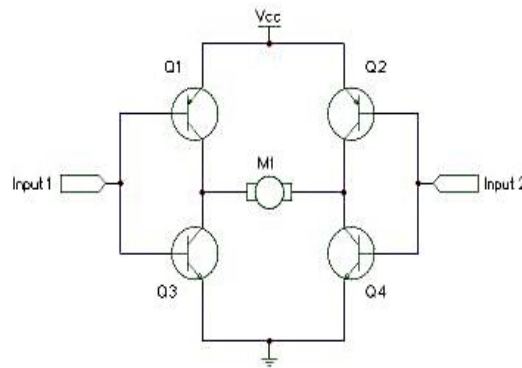


Figura 6.7: Puente H

Fuente: <http://www.neoteo.com/puente-h-con-mosfet-para-motores-cc/>

Tabla 6.7

Características y aplicaciones del puente H

	Características	Aplicaciones
Puente H	<ul style="list-style-type: none"> -Se construye con 4 interruptores sean estos mecánicos o electrónicos. -Rango de alimentación: 4.8 ~ 46V -4 switches de resistores como pull-up -Salida para 2 motores de CD o 1 motor de pasos de 4 hilos y dos fases - LEDs que indican la dirección del motor 	<ul style="list-style-type: none"> -Se usa para invertir el giro de un motor. - Microcontrolador de un vehículo. - Automóvil robótico.

Fuente: <http://www.neoteo.com/puente-h-con-mosfet-para-motores-cc/>

Ventajas

- Inversión de giro del motor
- Utilizado para frenado de motores
- Son utilizados para controlar pequeños motores hasta 600 mA en cada circuito y una tensión entre 4,5V a 36 V.
- Es de peso ligero, pequeñas dimensiones
- Controlador de súper capacidad
- Interruptor de selección.

Desventajas

- No permite controlar la velocidad con acondicionamiento de señal.
- Se debe realizar un estudio más exhaustivo de todos los componentes y asumir una probabilidad de fallo más alta para evitar sobrecargas.
- Al construir un puente H hay la posibilidad que existan vibraciones o perturbaciones.
- Para proteger el Puente H se debe implementar un circuito para proteger que ambas señales se activen al mismo tiempo.

6.4.5. Etapa de alimentación

6.4.5.1. Baterías plomo-ácido

Tabla 6.8

Características y aplicaciones de baterías de plomo-ácido

Baterías	Características	Aplicaciones
Plomo ácido	<p>-Fuente de energía económica y segura.</p> <p>-Utilizadas en equipos portátiles y sistemas automáticos de fabricación y gestión, tanto en aplicaciones cíclicas como en aquellas de uso estacionario.</p> <p>-Son compactas, ligeras y con gran densidad de energía.</p> <p>-Su rendimiento es muy alto.</p>	<p>-La batería plomo-ácido es, en el momento actual, imprescindible e insustituible, especialmente en automoción, pero también en muchas otras aplicaciones que exigen continuidad en el suministro de energía eléctrica.</p>

Fuente: http://www.zigor.com/eu/index.php?option=com_content&view=article&id=28&Itemid=140&lang=es

Ventajas

- Bajo costo
- Tecnología conocida
- Rápida disponibilidad (cantidades, tamaños y diseños)
- Comportamiento moderadamente bueno a bajas y altas temperaturas
- Celdas de voltaje elevado (en comparación con otro tipo de celdas)
- Componentes fácilmente reciclables.

Desventajas

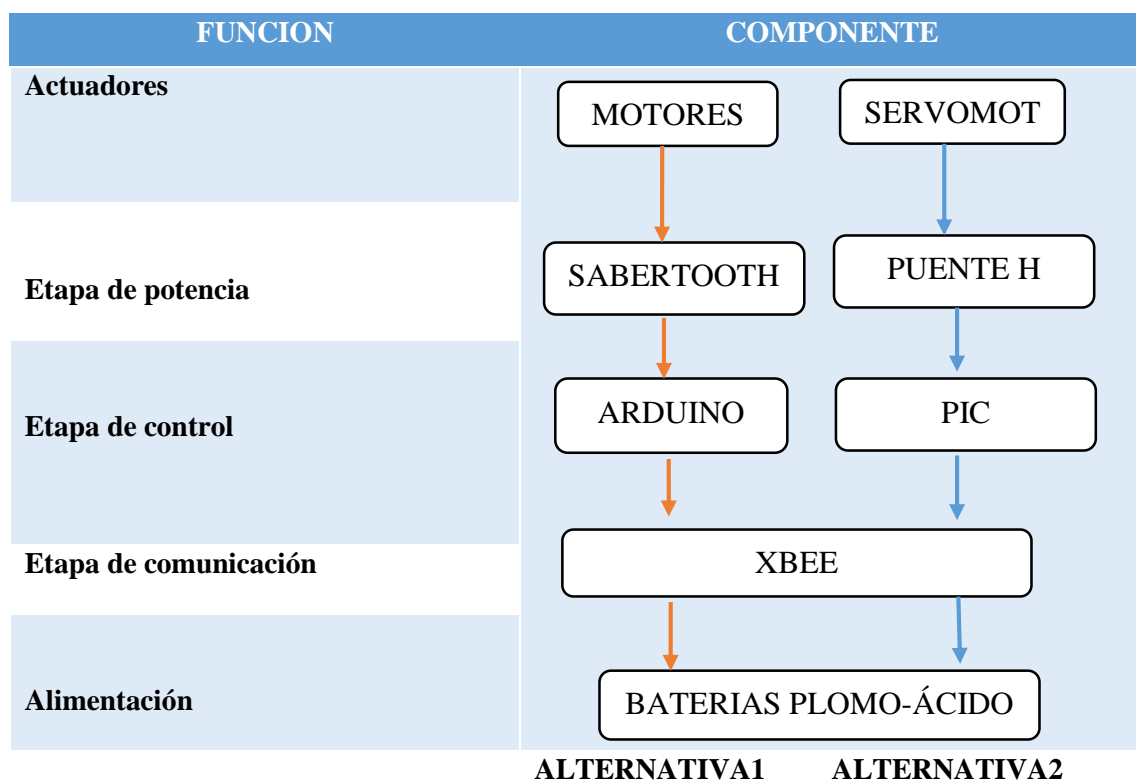
- Energía específica baja

- Potencia específica baja
- Ciclo de vida relativamente corto
- Mantenimiento elevado
- Amenaza medioambiental (plomo y ácido sulfúrico)

En la siguiente tabla se presenta las alternativas contempladas para solucionar las funciones a realizar.

Tabla 6.9

Alternativas control del sistema



6.5. Selección de la mejor alternativa para el control del sistema automático con orugas

Para el sistema de control de la máquina se ha considerado dos alternativas a partir de las cuales se puede crear la matriz morfológica previa a establecer cuál es la más óptima para realizar el sistema de control.

A continuación se presenta el análisis de la matriz morfológica, basándonos en los requerimientos para el control de la máquina detallados en el acápite 6.1.

En las siguientes tablas se presenta la evaluación de cada uno de los requerimientos para cada alternativa:

Tabla 6.10
Evaluación de la importancia del sistema

	Ligero	Inalámbrico	Bajo costo	Seguridad	Fácil operación	Fácil implement.	$\Sigma+1$	Ponderación
Ligero		1	0	0	0,5	1	2,5	0,12
Inalámbrico	1		0	1	1	0,5	3,5	0,17
Bajo costo	0	1		0,5	0	0,5	2	0,09
Seguridad	1	1	1		1	1	5	0,24
Fácil Operación	1	1	0	1		0,5	3,5	0,17
Fácil implement.	1	0,5	1	1	0,5		4	0,19
							20,5	1

Ligero< Inalámbrico>Bajo costo<Seguridad>Fácil operación <Fácil implementación

Tabla 6.11
Evaluación soluciones respecto a ser ligero

Ligero	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,67
Alternativa 2	0		1	0,33
			3	1

ALTERNATIVA 1>ALTERNATIVA 2

Tabla 6.12
Evaluación soluciones a ser inalámbrico

Portabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,67
Alternativa 2	0		1	0,33
			3	1

ALTERNATIVA 1>ALTERNATIVA 2

Tabla 6.13**Evaluación soluciones con respecto al costo**

Bajo Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,67
Alternativa 2	0		1	0,33
			3	1

ALTERNATIVA 1>ALTERNATIVA 2

Tabla 6.14**Evaluación soluciones con respecto a la seguridad**

Seguridad	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,50
Alternativa 2	1		2	0,50
			4	1

ALTERNATIVA 1=ALTERNATIVA 2

Tabla 6.15**Evaluación soluciones con respecto a la fácil operación**

Fácil operación	Alternativa 1	Alternativa 2	Σ	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,67
Alternativa 2	0		1	0,33
			3	1

ALTERNATIVA 1>ALTERNATIVA 2

Tabla 6.16**Evaluación soluciones con respecto a la fácil implementación**

Fácil operación	Alternativa 1	Alternativa 2	Σ	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,67
Alternativa 2	0		1	0,33
			3	1

ALTERNATIVA 1>ALTERNATIVA 2

Una vez realizado la evaluación de cada una de las soluciones mediante la matriz morfológica se detalla los resultados a continuación:

Tabla 6.17**Resultados matriz de ponderación para el sistema de control**

Conclusión	Ligero	Inalámbrico	Bajo costo	Seguridad	Fácil operac.	Fácil implementac.	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,080	0,114	0,060	0,161	0,114	0,127	0,656	1
Alternativa 2	0,039	0,056	0,029	0,079	0,056	0,063	0,322	2

Como conclusión se determina que la alternativa 1 es la más conveniente para solucionar los requerimientos del control del sistema.

6.6. Desarrollo del sistema de control

Para controlar el posicionamiento del sistema automático con orugas se empleará un joystick de 2 ejes, este dispositivo es el encargado de enviar las señales de posicionamiento hasta un XBee Pro S1 que debe ser configurado como emisor.

El XBee Pro S1, envía las señales recibidas del joystick hacia un segundo XBee Pro S1 que debe ser configurado como receptor, una vez que el segundo Xbee recibe los datos del joystick, este comunica la información a la tarjeta de control Arduino Uno. La tarjeta Arduino procesa la información recibida y la transforma en señales que puedan ser interpretadas por la tarjeta Sabertooth 2x60. Una vez que la Sabertooth recibe las señales enviadas por el joystick, se encarga de accionar a los motores DC (Corriente Directa), según las necesidades de la persona que se encuentra operando el sistema.

Para comprender de mejor manera el funcionamiento del control para el sistema se lo ha dividido en una Etapa de control, Etapa de Potencia y como adicional se tiene un control remoto que permite manejar el sistema de manera inalámbrica.

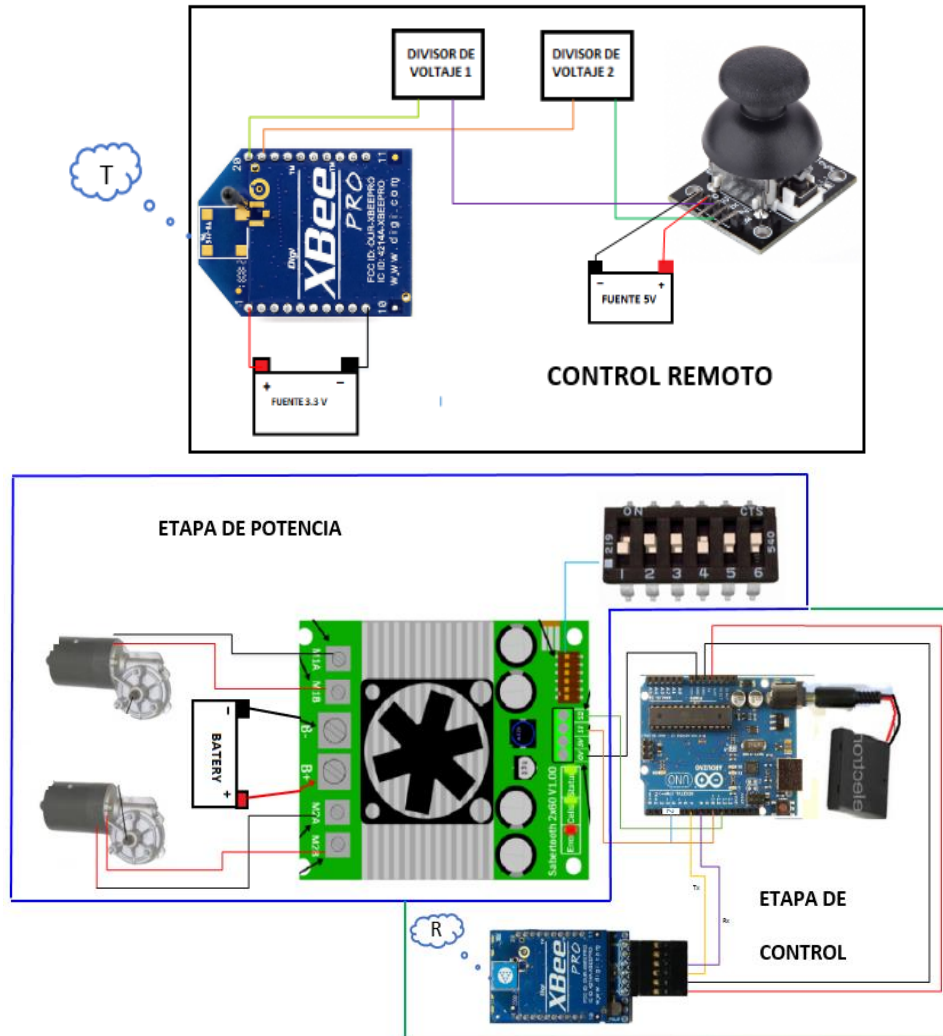


Figura 6.8: Diagrama del sistema de control

6.6.1. Control Remoto.

Para el diseño del control remoto se emplea un joystick de dos ejes, según los datos técnicos del componente debe ser alimentado con 5v. Para obtener esta cantidad de voltaje se realiza el diseño de una fuente que se encargue de brindar la cantidad de voltaje necesaria empleando una batería de 9V.

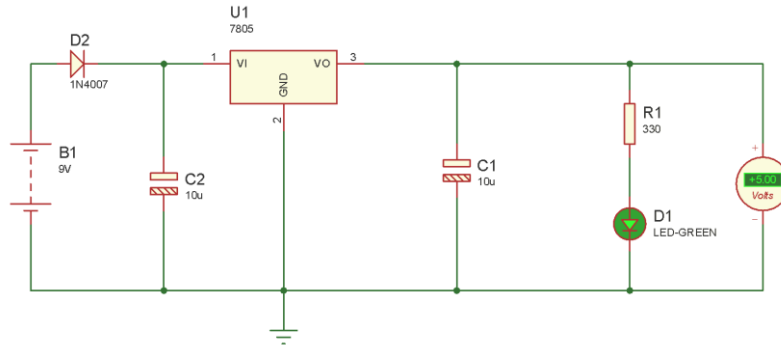


Figura 6.9: Fuente de Voltaje V_{in} , 9V, V_{out} 5V

Otro dispositivo que se encuentra en esta etapa es el Xbee Pro S1 configurado como transmisor, se debe tomar en cuenta que este dispositivo se alimenta con 3,3V, razón por la cual también se debe diseñar una fuente de voltaje.

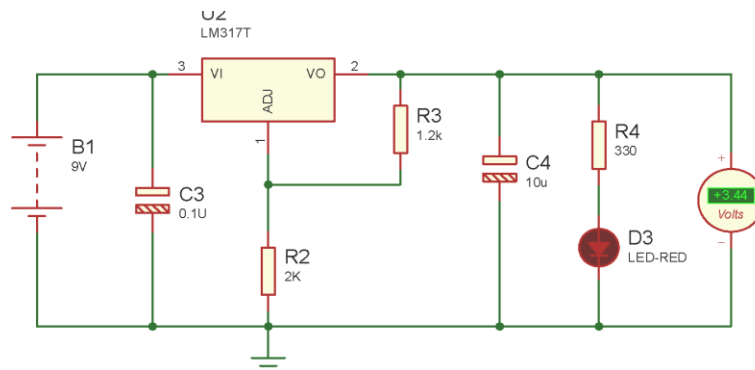


Figura 6.10: Fuente de Voltaje V_{in} 9V , V_{out} 3,3V

Al energizar el Joystick este emite señales que varían desde 0 hasta 5V tanto en X como en Y dependiendo de su posición. El Xbee recibe señales de 0 a 3,3V únicamente, en caso de superar este voltaje se puede provocar daños en el Xbee, por lo que se debe colocar divisores de voltaje a las salidas de señal del joystick.

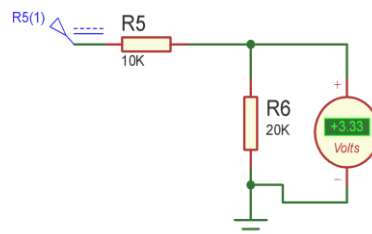


Figura 6.11: Divisor de Voltaje V_{in} , 9V, V_{out} 3,3V

6.6.1.1. Configuración del Xbee Pro S1 como transmisor

Una vez que se ha realizado los ajustes necesarios para las señales que recibe el Xbee Pro S1 del joystick, se procede a configurarlo para que pueda transmitir los datos de manera inalámbrica hacia la etapa de control principal. Para ello se debe conectar el Xbee al computador con la ayuda del cable de comunicación. Se debe verificar la conexión para lo cual se emplea software X-CTU, una vez que se obtenga una comunicación exitosa se puede proceder a la configuración del módulo Transmisor empleando el mismo software.

Para configurar con éxito el módulo se debe seleccionar el modelo y la serie adecuada si no elige correctamente estos dos parámetros el software no permitirá realizar la configuración de nuestro módulo de comunicación inalámbrica.

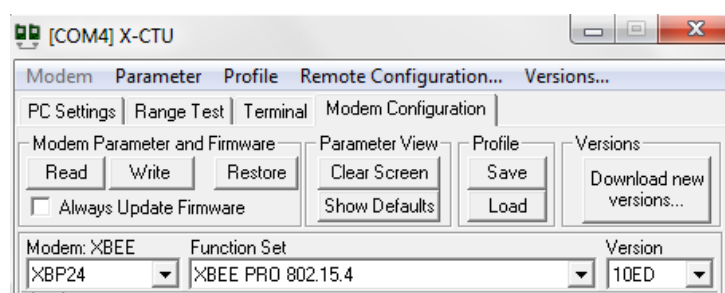


Figura 6.12: Modelo y serie del XBee Pro S1

En el caso del transmisor los parámetros a configurar son los siguientes:

Tabla 6.18

Parámetros configuración Transmisor

PARÁMETRO	VALOR
PAN ID	100
DL	2
MY	1
D2	2
D1	2
D0	2
IT	5
IR	14

Dónde:

Pan id: Identificación de la red de área personal, este valor puede ser cualquier número que va entre 0 y 65535 y debe tomar el mismo número según los Xbee que se utilice y estos puedan comunicarse.

DL: Dirección de destino baja, se coloca el número único de serie del módulo Xbee al cual va a transmitir.

MY: Es la dirección de 16 bits (de nuevo entre 0 y 0xFFFF), los Xbee a utilizarse deben tener la misma dirección de origen del otro.

D2, D1, D0: Configuración de salida de señales PWM.

IT: Muestras que recogerá el Xbee antes de transmitir al coordinador.

IR: Frecuencia de muestreo, el Xbee se puede configurar para que envíe automáticamente los datos de entrada/salida digital o señales analógicas.

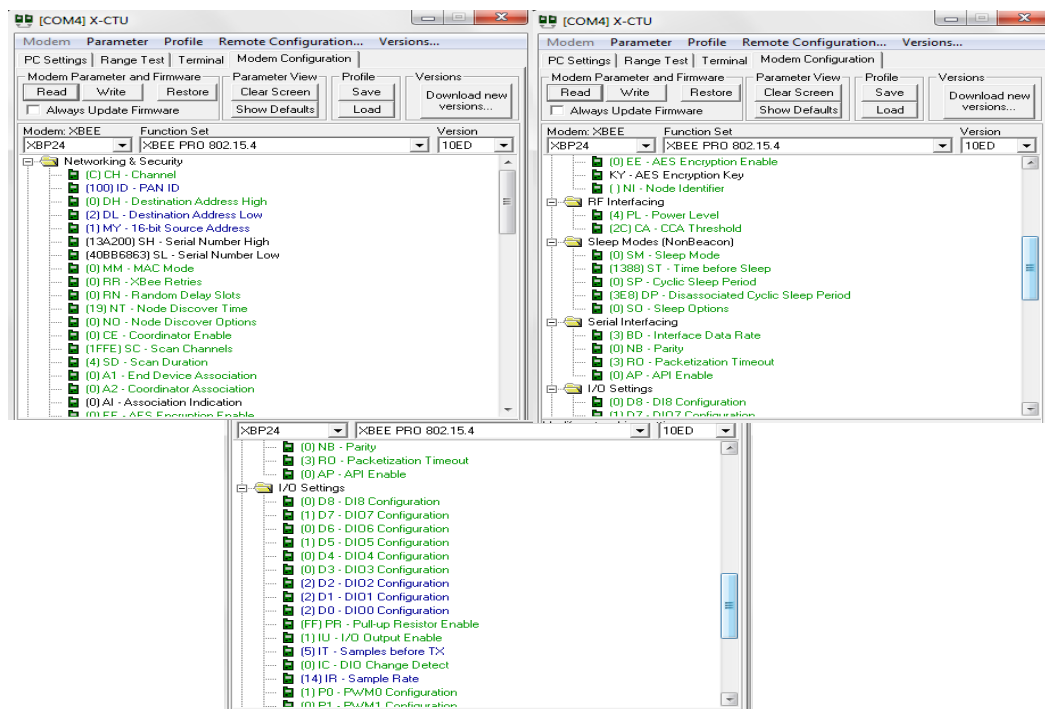


Figura 6.13: Configuración Transmisor en X-CTU

Al terminar la configuración del módulo se debe escribir los parámetros, para guardar los cambios que se han realizado.

6.6.2. Etapa de control

Esta etapa puede considerarse la más importante en el sistema de control, al ser la encargada de recibir los datos para procesarlos y transferirlos a la etapa de potencia.

6.6.2.1. Configuración XBee Pro S1 como Receptor

En la etapa de control se encuentra el segundo XBee que debe ser configurado como Receptor, su función es la de recibir los datos enviados por el XBee Transmisor para ingresarlos en la tarjeta Arduino. Los parámetros que deben configurarse para este Xbee son:

Tabla 6.19

Parámetros configuración XBee Receptor

PARAMETRO	VALOR
PAN ID	100
DL	1
MY	2

Los parámetros modificados en el X-CTU se presentan en la figura presentada:

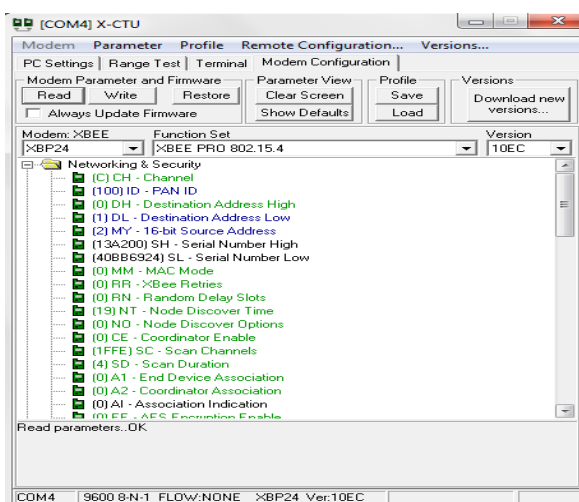


Figura 6.14: Configuración Receptor en X-CTU

Seleccionar escribir para guardar los cambios realizados en el Xbee Receptor.

6.6.2.2. Programación Tarjeta Arduino Uno

La tarjeta Arduino Uno es la que se encarga de tomar los datos del xbee receptor para procesarlos y obtener datos que pueden ser interpretados por la sabertooth. Para que la tarjeta pueda realizar este procesamiento de datos, debe ser programada. La programación de la tarjeta se realiza en el software Arduino 1.6.0.

Para realizar el control del sistema en este caso es importante verificar que se encuentren instaladas las librerías Xbee.h y SoftwareSerial.h, Estas dos librerías son la base para empezar la programación de nuestra tarjeta. En caso de no tener instaladas estas dos librerías se debe acudir a la página oficial de Arduino para descargarlas e instalarlas.

El programa desarrollado para establecer comunicación entre dos XBee para obtener salida de señales PWM se encuentra a continuación:

```
//LLAMADO DE LIBRERIAS

#include <XBee.h>

#include <SoftwareSerial.h>

/*

PROGRAMA PARA REALIZAR COMUNICACION ENTRE DOS RADIOS XBEE

PARA RECIBIR PAQUETES DE 16BITS

*/

// Define los pines TX Y RX

// CONECTA EL PIN 8 DEL ARDUINO CON EL TX DEL XBEE

#define rxPin 1

#define txPin 2

uint8_t ssRX = 8;

// CONECTA EL PIN 7 DEL ARDUINO CON EL RX DEL XBEE
```

```

uint8_t ssTX = 7;

//DESIGNACION DE PINES DE SALIDA SEÑAL PWM

int analog=A0;

int pwmmotor1=9;

int pwmmotor2=10;

SoftwareSerial nss(ssRX, ssTX);

SoftwareSerial mySerial=SoftwareSerial(rxPin,txPin);

XBee xbee = XBee();

Rx16IoSampleResponse ioSample = Rx16IoSampleResponse();

//ASIGNAR A PINES COMO ENTRADAS O SALIDAS DE SEÑAL

void setup() {

pinMode(analog,INPUT);

pinMode(pwmmotor1,OUTPUT);

pinMode(pwmmotor2,OUTPUT);

pinMode(rxPin, INPUT);

pinMode(txPin, OUTPUT);

//INICIAL EL PUERTO SERIAL A 9600 BUADIOS PARA MONITOREO

Serial.begin(9600);

mySerial.begin(9600);

//INICIA SOFTWARESERIAL A 9600 DAUDIOS

nss.begin(9600);

// INICIA LIBRERIA XBEE USANDO SOFTWARE DE PUERTO SERIAL

xbee.setSerial(nss);

}

void loop() {

//INTENTO LEER UN PAQUETE DE DATOS

```

```

xbee.readPacket();

if (xbee.getResponse().isAvailable()) {

// REALICE LO SIGUIENTE

xbee.getResponse().getRx16IoSampleResponse(ioSample);

//DECLARACION VARIABLES A EMPLEAR

int SumOfSampleValues = 0;

int SumOfSampleValues2 = 0;

int av=0;

int av2=0;

int SAMPLESIZE=0;

int valmotor1=0;

int valmotor2=0;

//CICLO PARA RECIBIR DATO, SALIDA 1 EMPEZANDO DESDE 1 POR QUE EL CERO TIENDE A
SER ERRADO

for (int k = 1; k < ioSample.getSampleSize(); k++) {

//SUMA DE LOS VALORES RECIBIDOS

SumOfSampleValues = SumOfSampleValues + ioSample.getAnalog(0, k);

av=SumOfSampleValues / (ioSample.getSampleSize()-1);

}

//CICLO PARA RECIBIR DATO, SALIDA 2 EMPEZANDO DESDE 1 POR QUE EL CERO TIENDE A
SER ERRADO

for (int i = 1; i < ioSample.getSampleSize(); i++) {

//SUMA DE LOS VALORES RECIBIDOS

SumOfSampleValues2 = SumOfSampleValues2 + ioSample.getAnalog(1, i);

av2=SumOfSampleValues2 / (ioSample.getSampleSize()-1);

}

```

```
valmotor1=av;

valmotor2=av2;

//MAPEO DE VALORES

valmotor1=map(valmotor1,0,1023,128,252);

valmotor2=map(valmotor2,0,1023,128,252);

//CONDICIONES PARA ACTIVAR SALIDAS

if (valmotor1>=128) {

//ADELANTE Y ATRÁS

analogWrite(pwmmotor1,valmotor1);

analogWrite(pwmmotor2,valmotor1);

}

//IZQUIERDA

if (valmotor2<=180){

analogWrite(pwmmotor1,243);

analogWrite(pwmmotor2,140);

}

//DERECHA

if (valmotor2>185){

analogWrite(pwmmotor1,140);

analogWrite(pwmmotor2,243);

}

//VISUALIZACION DE VARIABLES EN EL PUERTO SERIAL

Serial.print("posc ");

Serial.print(av,1);

Serial.print("xxxxx ");

Serial.print(av2,1);
```

```

Serial.print("yyyyy ");

Serial.print(valmotor1,1);

Serial.print("valor1 ");

Serial.print(valmotor2,1);

Serial.println("valor2 ");

}

}

```

Una vez que se ha desarrollado el programa se procede a compilarlo para verificar si no existen errores. Si la compilación resulta ser exitosa se debe cargar el programa a la tarjeta de control. Se pueden visualizar los datos obtenidos mediante el puerto serial para verificar si el programa cargado a la tarjeta realiza la operación deseada.

6.6.3. Etapa de potencia

En la etapa de potencia se encuentra la tarjeta controladora de los motores Sabertooth 2x60, esta tarjeta recibe la señal de la Arduino y según los valores de las señales activas o desactiva los motores, permite controlar el sentido de giro y la velocidad de los actuadores. La sabertooth se debe configurar según la aplicación a realizar y el tipo de señal que se tenga. El DIP es el elemento que permite la configuración y para este caso se configurará así:

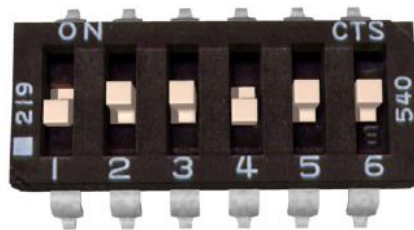


Figura 6.15: Configuración DIP

Fuente: Manual sabertooth 2x60

Cuando el switch 4 está abajo la Saber se encuentra en modo Independiente. En este modo la señal que ingrese en S1 controlará directamente el motor 1 y la señal que ingrese

en S2 controlará el motor 2. Con el switch 1 abajo y el 2 arriba se configura el tipo de recepción de datos que en este caso es de control remoto.

Para energizar tanto la Saber cómo los motores se emplean baterías secas de Plomo Ácido de 12V a 7Ah.

CAPÍTULO VII

ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN DEL SISTEMA

7.1. Diseño de para la manufactura (Riba Romeva, 2002)

El análisis de producción del sistema se realiza para optimizar, reducir los tiempos y costos de fabricación, garantizando la calidad de las piezas que conforman el sistema de transportación de silla de ruedas a través de escaleras.

Se ha empleado guías de referencia de fabricación en las cuales se detallan las recomendaciones, para la fabricación de las piezas según el proceso con las que sean realizadas, señalando en que etapas tienen más incidencia: Diseño=D; Utillaje=U; Proceso=P; Mecanizado posterior=M; y se detallan los efectos en los que tienen mayor repercusión: Costo=C; Q=Calidad. (Riba Romeva, Diseño para la Manufactura, 2002, págs. 24-27)

7.1.1. Guía de referencia para piezas torneadas

Tabla 7.1

Guía de referencia para piezas torneadas

Recomendaciones:	Etapas	Efectos
Asegurar que el material de la herramienta de corte sea el adecuado para el material a mecanizar.	U, P	C, Q
Sujetar y centrar correctamente la pieza a mecanizar, en caso de mecanizar piezas grandes emplear el contrapunto del torno para sujetar bien la pieza.	U	Q
Diseñar formar simples para mecanizar	D,P,U	C,Q
Evitar en lo posible el mecanizado de ranuras internas en especial si estas requieren de tolerancias estrechas	D,U	C
Dar tolerancias estrechas únicamente en las piezas que lo requieran.	P	C,Q
Emplear refrigerante según el tipo de material a mecanizar para aumentar la vida útil de la herramienta de corte	P, U	C

7.1.2. Guía de referencia para piezas taladradas:

Tabla 7.2

Guía de referencia para piezas taladradas

Recomendaciones	Etapas	Efectos
Sujetar correctamente la pieza a mecanizar.	P,U	C, Q
Procurar que las perforaciones de entrada y salida sean perpendiculares a la herramienta.	P,U	Q
Respecto de los agujeros roscados el diámetro de la broca del agujero debe ser la que corresponda de acuerdo con el tipo de rosca que se utilice y el diámetro nominal del tornillo o del perno.	U	Q
En los tornillos ciegos se debe profundizar más la broca que la longitud de la rosca por problema de la viruta del macho de roscar	P,U	Q
Emplear refrigerante según el tipo de material a mecanizar para garantizar mayor tiempo de duración de la herramienta de corte.	P,U	C

7.1.3. Guía de referencia para piezas fresadas:

Tabla 7.3

Guía de referencia para piezas fresadas

Recomendaciones	Etapas	Efectos
Seleccionar de preferencia superficies planas para la operación de fresado.	D,U	C,Q
Sujetar la pieza a mecanizar de tal modo que no existan vibraciones para evitar daños en la herramienta de corte.	U,P	C,Q
Emplear refrigerante en caso mecanizar materiales demasiado blandos o pastosos como el aluminio para evitar que el material se emboce en el filo de la herramienta, provocando imperfecciones en el acabado superficial.	U,P	C,Q

7.1.4. Guía de referencia para diseño de conjuntos soldados

Tabla 7.4

Guía de referencia para diseño de conjuntos soldados

Recomendaciones:	Etapas	Efectos
Procurar que el conjunto se encuentre formado por el menor número de piezas posible.	D	C,Q
Establecer la ubicación de cada pieza antes de proceder a soldar.	U,P	C
Prever el espacio necesario para el acceso y comodidad de colocación de la soldadura.	D,U	C,Q
Evitar acumulación de cordones de soldadura en un mismo punto	D,P	C,Q

7.2. Diseño para el entorno (DFE)

Para realizar el diseño para el entorno se consideran los aspectos tales como:

- La disponibilidad del sistema
- La relación hombre-máquina
- La seguridad de la máquina
- Impactos ambientales
- La problemática del fin de vida de sistema

7.2.1. Disponibilidad del sistema

La disponibilidad es que tan eficaz puede ser el sistema.

Las baterías recargables que se emplearán para alimentar el sistema, permitirán que el sistema se encuentre listo para usarse siempre y cuando las baterías se encuentren cargadas, en caso de descargarse el sistema deberá reposar mientras las baterías son cargadas.

Fiabilidad: Es la probabilidad de que ese sistema funcione o desarrolle una cierta función, bajo condiciones fijadas y durante un período determinado. (fiabilidad, 2015).

Es por ello que el sistema de orugas debe estar diseñado de tal manera que cumpla con su función principal de una manera satisfactoria, llenando las expectativas del usuario.

Mantenibilidad: La mantenibilidad está inversamente relacionada con la duración y el esfuerzo requerido por las actividades de mantenimiento. Puede ser asociada de manera inversa con el tiempo que se toma en lograr acometer las acciones de mantenimiento, en relación con la obtención del comportamiento deseable del sistema. (Mantenibilidad, 2015)

El sistema con orugas no requiere de mantenimientos sofisticados, la mantenibilidad y fiabilidad van de la mano, al depender el uno del otro para que el sistema tenga su funcionamiento óptimo y esté libre de fallos.

A largo plazo hay que considerar que las orugas tendrán desgaste, el material con el que se diseñará la oruga va a estar en rozamiento con superficie del suelo, este mantenimiento puede ser costoso y así limitar la disponibilidad de operación del sistema.

Logística de mantenimiento: Es un concepto que tiene que ver con la capacidad de una organización para proporcionar, bajo demanda y en unas condiciones dadas, los recursos necesarios para mantener un elemento, de acuerdo con una política de mantenimiento determinada. (Concepto de confiabilidad , 2015)

Todos los componentes del sistema de orugas son fáciles de conseguir y transportar para facilitar su mantenimiento.

7.2.2. La relación hombre-máquina

Ergonomía: la persona discapacitada que va a utilizar el sistema con orugas para transportarse a través de escaleras cubra satisfactoriamente sus necesidades brindando seguridad, confiabilidad y comodidad al usuario.

Los impactos que generará el sistema con orugas sobre la persona serán mínimos al no emitir ruidos fuertes, ni generar gases tóxicos que puedan afectar al usuario.

Es importante tomar en cuenta que la comunicación entre el hombre-máquina será amigable es decir que el control del sistema con orugas será de fácil operación y tendrá la señalización correspondiente.

7.2.3. La seguridad de la máquina

Es de mucha importancia considerar la seguridad del sistema con orugas y que cumpla con cada norma de seguridad teniendo en cuenta que el sistema será usado netamente por personas.

Es por ello que el sistema de han eliminado los posibles riesgos que afecten a las personas discapacitadas. Y se han implementado protecciones en caso de fallos.

7.2.4. La problemática del fin de vida de sistema

El sistema de control puede definir el tiempo de vida útil del sistema automático con orugas de orugas de 5 años, al estar conformado por elementos electrónicos que pueden llegar a quemarse con el uso constante del sistema. La solución a la problemática puede ser que se lo diseñe de manera modular, dado el caso que algún componente se quemase o tenga alguna avería pueda ser remplazado por uno nuevo, de esta manera incrementar el tiempo de vida útil del todo el sistema.

En la parte mecánica la vida útil del sistema es más amplia, puede llegar a superar los 10 años, al implementarse con materiales resistentes

7.2.5. Impactos ambientales

La parte mecánica del sistema automático con orugas no afecta al medio ambiente, por implementarse con materiales que no emiten elementos contaminantes a la atmósfera, no contamina el agua, no genera productos nocivos que afecten a la salud de las personas.

En cuanto a la alimentación del sistema para su funcionamiento se puede considerar que se utilizará baterías de plomo-ácido, tomando en cuenta que las mismas generan componentes tóxicos que afectan al medio ambiente y a la salud humana.






7.3. Diagrama de procesos del sistema.

Los diagramas de procesos son una herramienta que ayudan a determinar los pasos a seguir para obtener los componentes del sistema. Tienen como finalidad aumentar la productividad, e identificar las diferentes operaciones para encontrar potenciales y debilidades.

La simbología empleada en los diagramas de procesos realizados en este capítulo es la siguiente:

Tabla 7.5

Simbología empleada en diagrama de procesos

SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
	Almacenamiento
	Operación
	Inspección
	Transporte
	Demora

Conocida la simbología se presenta a continuación los diagramas de procesos de cada uno de los elementos, que conforman el sistema automático con orugas para movilizar sillas de ruedas a través de escaleras.

7.3.1. Diagrama de proceso de producción del espaldar

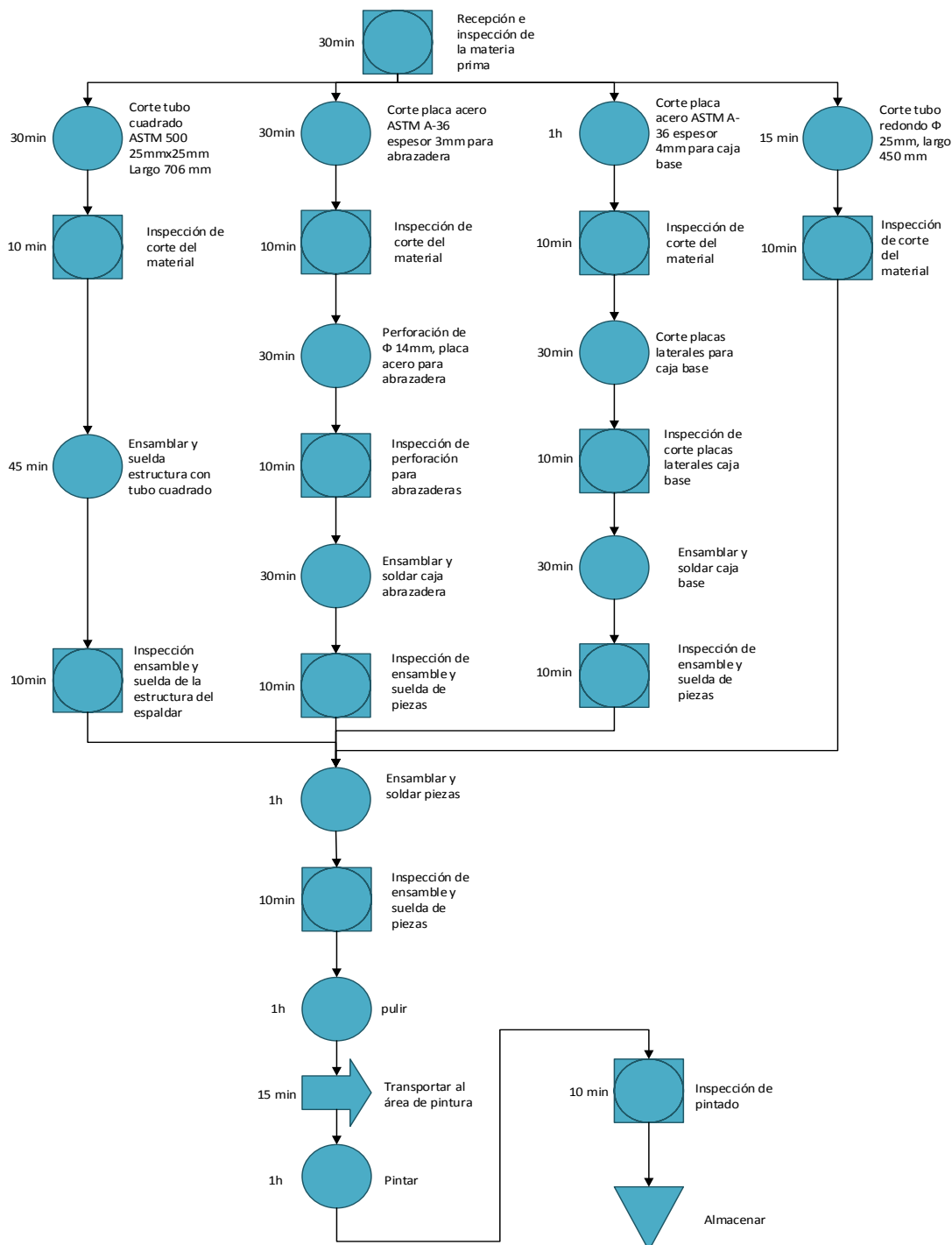


Figura 7.1: Diagrama de proceso del espaldar

Una vez realizado el diagrama de proceso para la elaboración del espaldar se establece un tiempo de 8h con 35 min para su fabricación.

7.3.2. Diagrama de proceso de fabricación del eje para rodamientos

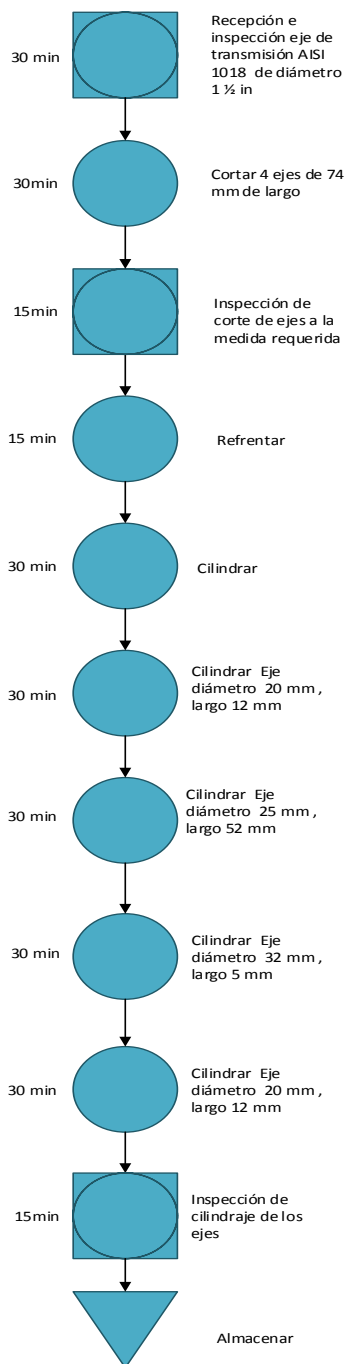


Figura 7.2: Diagrama de proceso de fabricación del eje para rodamiento

Realizado el diagrama de proceso de fabricación del eje para rodamientos se establece un tiempo de 4 h con 15 min.

7.3.3. Diagrama proceso de fabricación acople eje motor

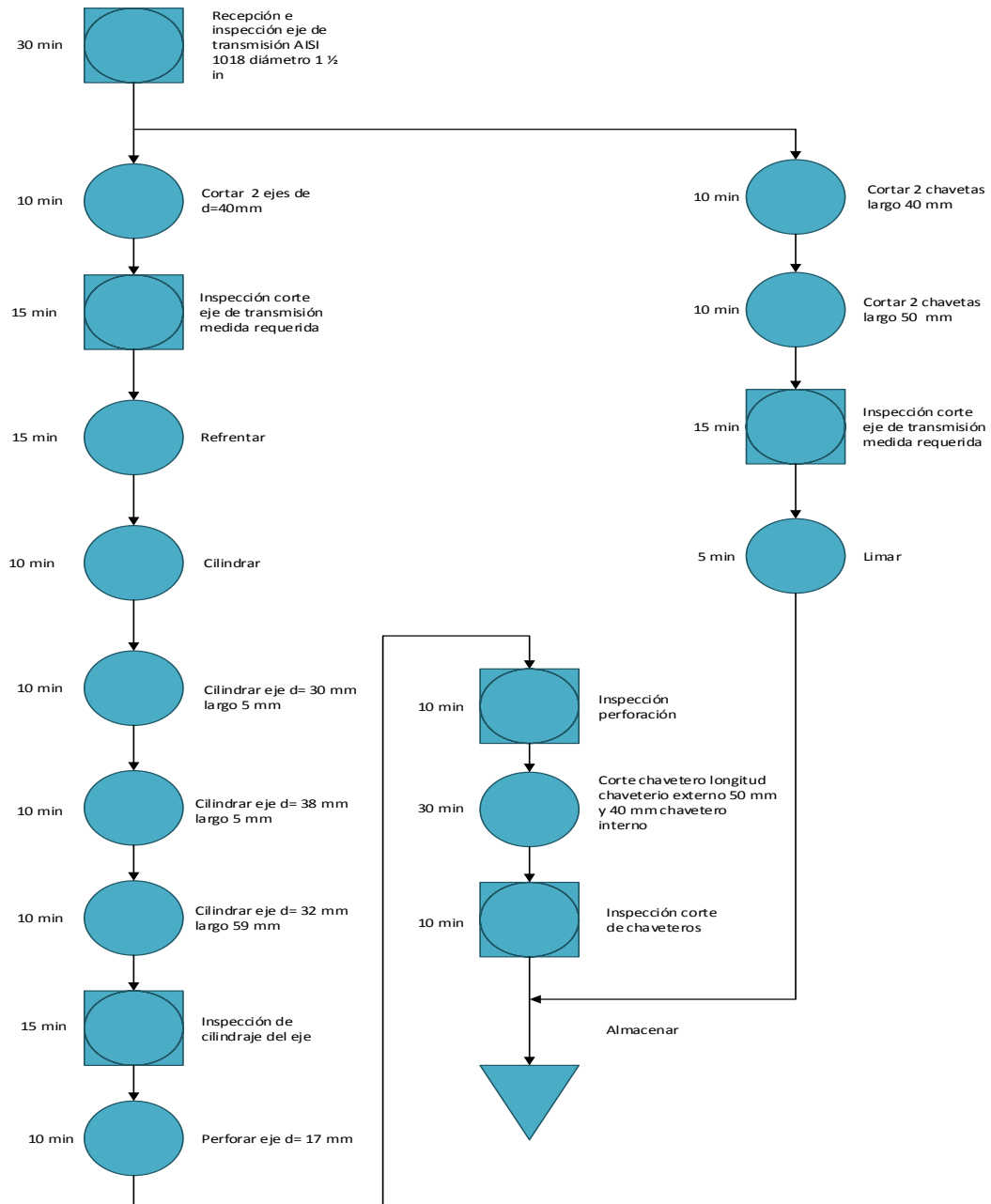


Figura 7.3: Diagrama proceso fabricación acople eje motor

El tiempo de fabricación del acople eje para motor es de 3h con 45 min. Sin olvidar que deben fabricarse dos piezas iguales.

7.3.4. Diagrama de proceso de la base del sistema de arugas

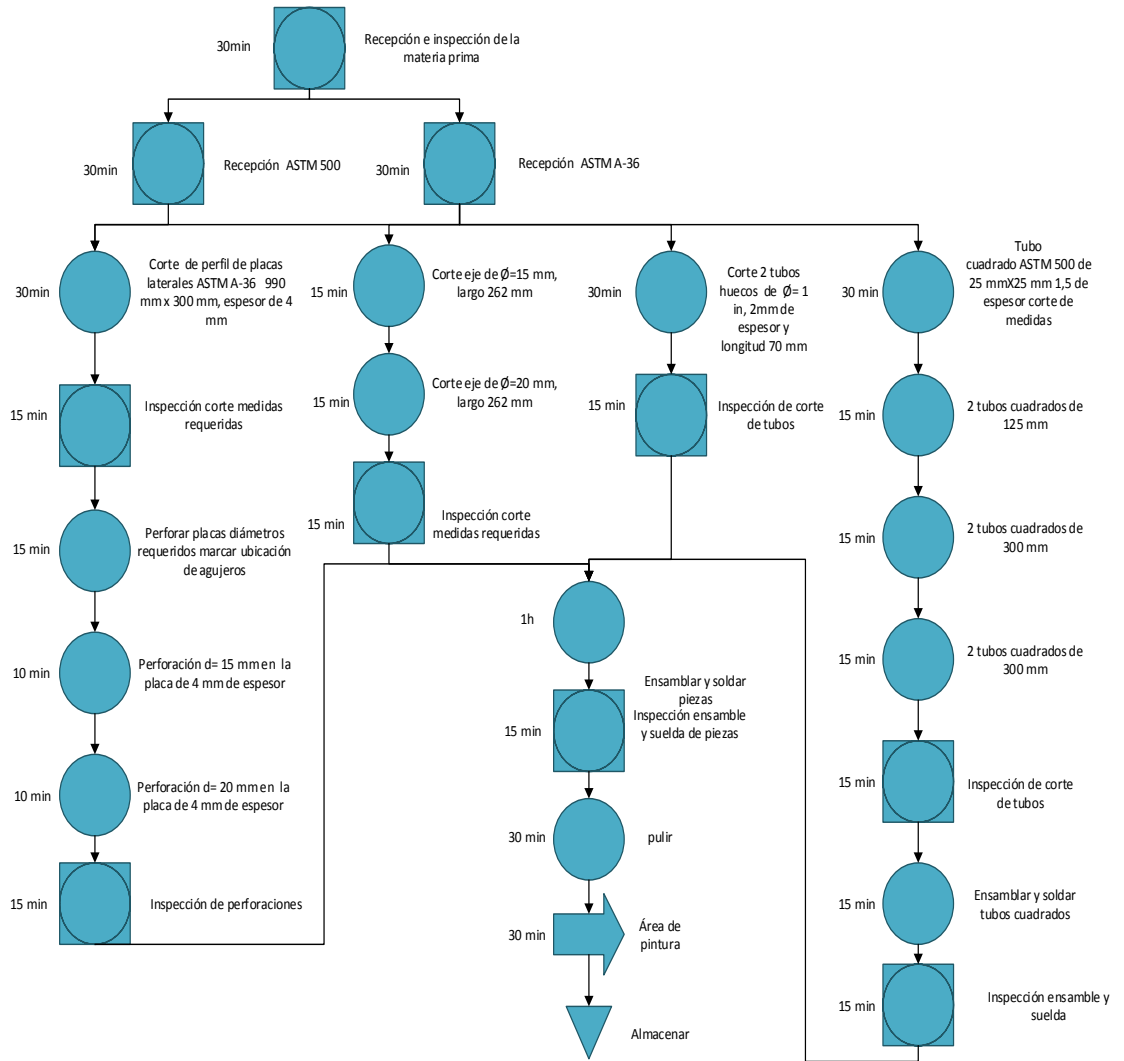


Figura 7.4: Diagrama de proceso de la base del sistema

Para la fabricación de la base del espaldar se requiere 6h 20 min

7.3.5. Diagrama de proceso del seguro del espaldar

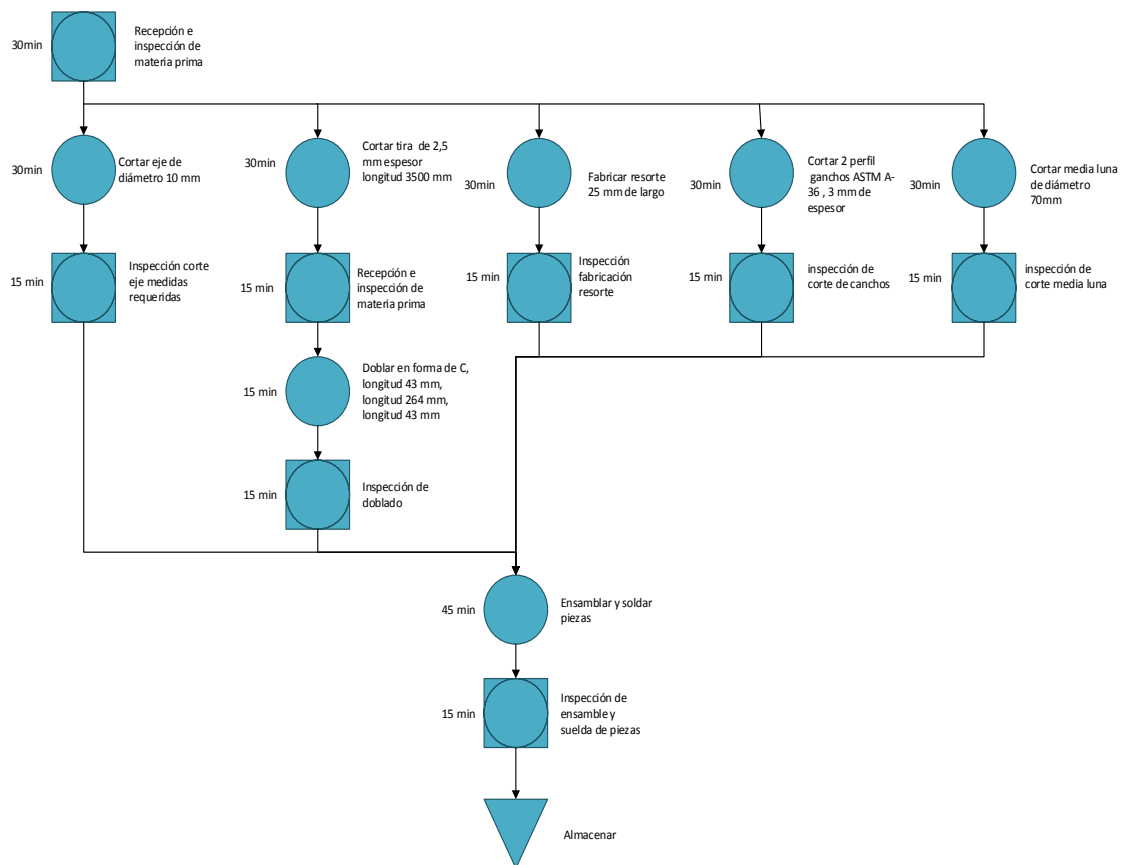


Figura 7.5: Diagrama de proceso del seguro del espaldar

En la fabricación del seguro del espaldar el tiempo estimado es de 5h 45 min

7.3.6. Diagrama de proceso del sujetador de la silla

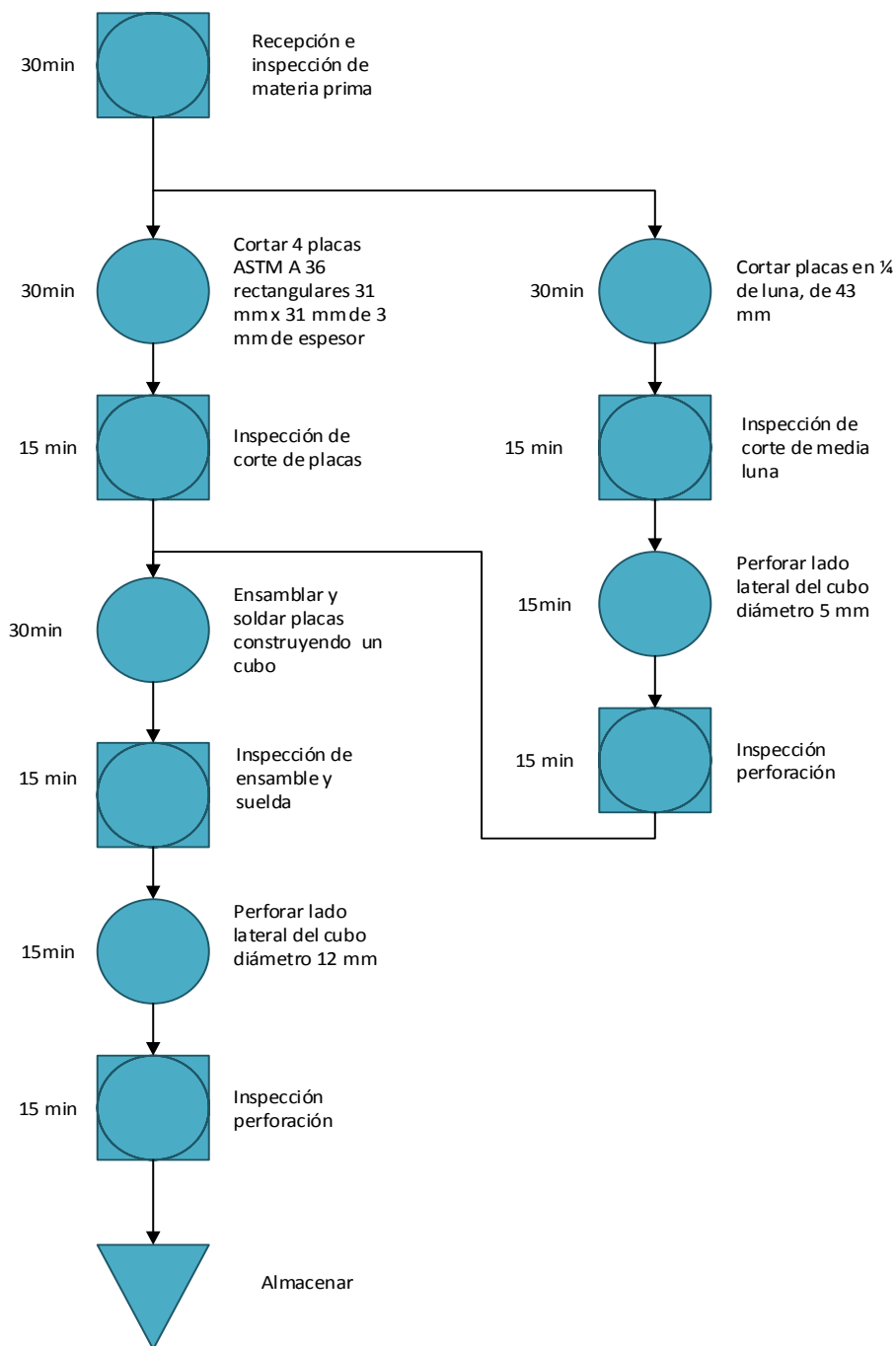


Figura 7.6: Diagrama de proceso del sujetador de la silla

En el sujetador de la silla se estima una demora de 3h 45 min, sin olvidar que son dos piezas iguales.

7.3.7. Diagrama proceso fabricación de las poleas de sistema de orugas

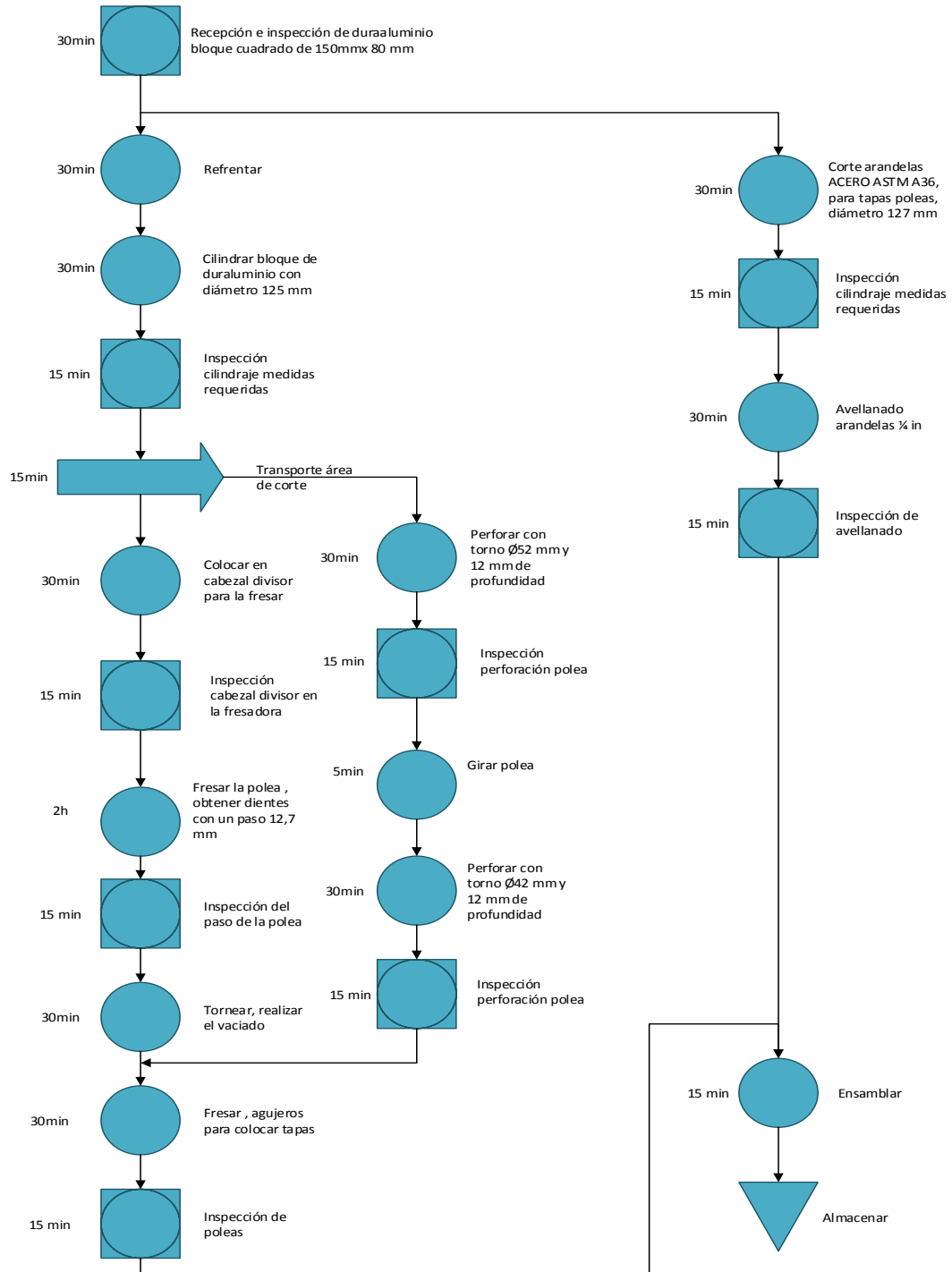


Figura 7.7: Diagrama de proceso de las poleas del sistema de orugas

En las poleas el tiempo de fabricación es de 9h 40min, sin olvidar que son 6 poleas.

7.3.8. Diagrama procesos fabricación de las orugas

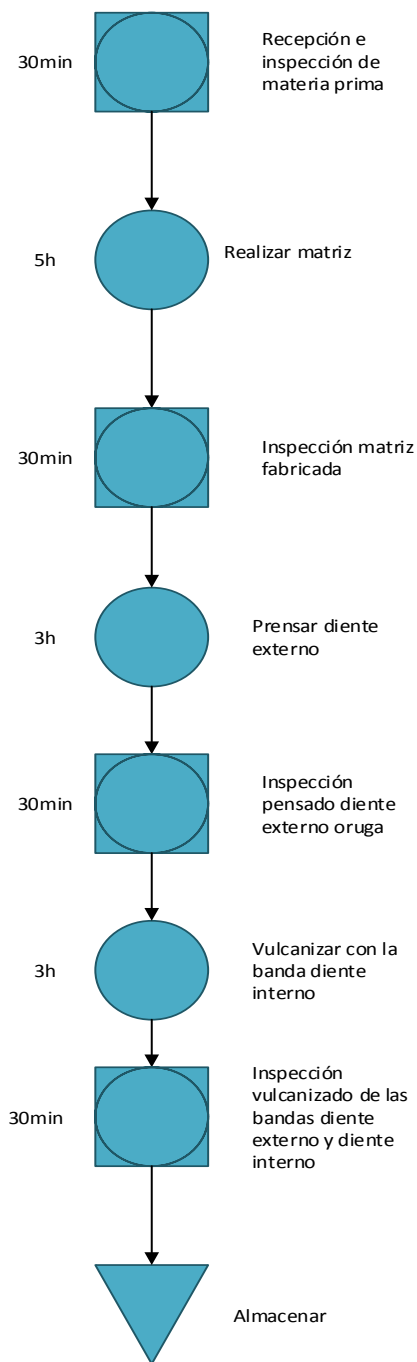


Figura 7.8: Diagrama de proceso de las orugas

En la fabricación de una oruga se ha empleado 13h 00 min, y se debe considerar que el sistema emplea dos orugas.

7.3.9. Diagrama de proceso implementación control del sistema

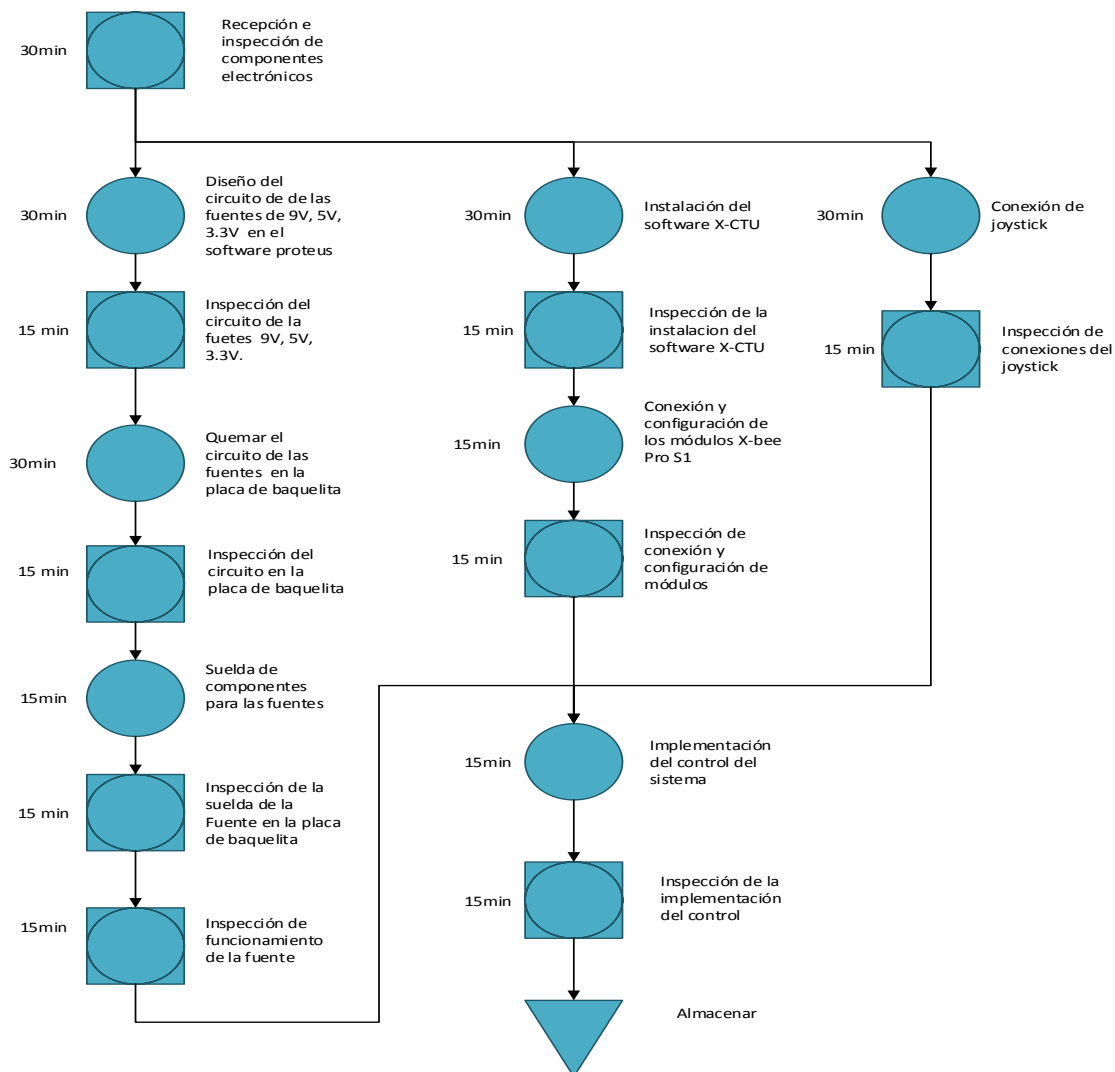


Figura 7.9: Diagrama de proceso implementación control

En la implementación del control del sistema con orugas se ha empleado 5h 15 min, para la transición de datos.

7.3.10. Diagrama de proceso implementación etapa de potencia del control del sistema de arugas

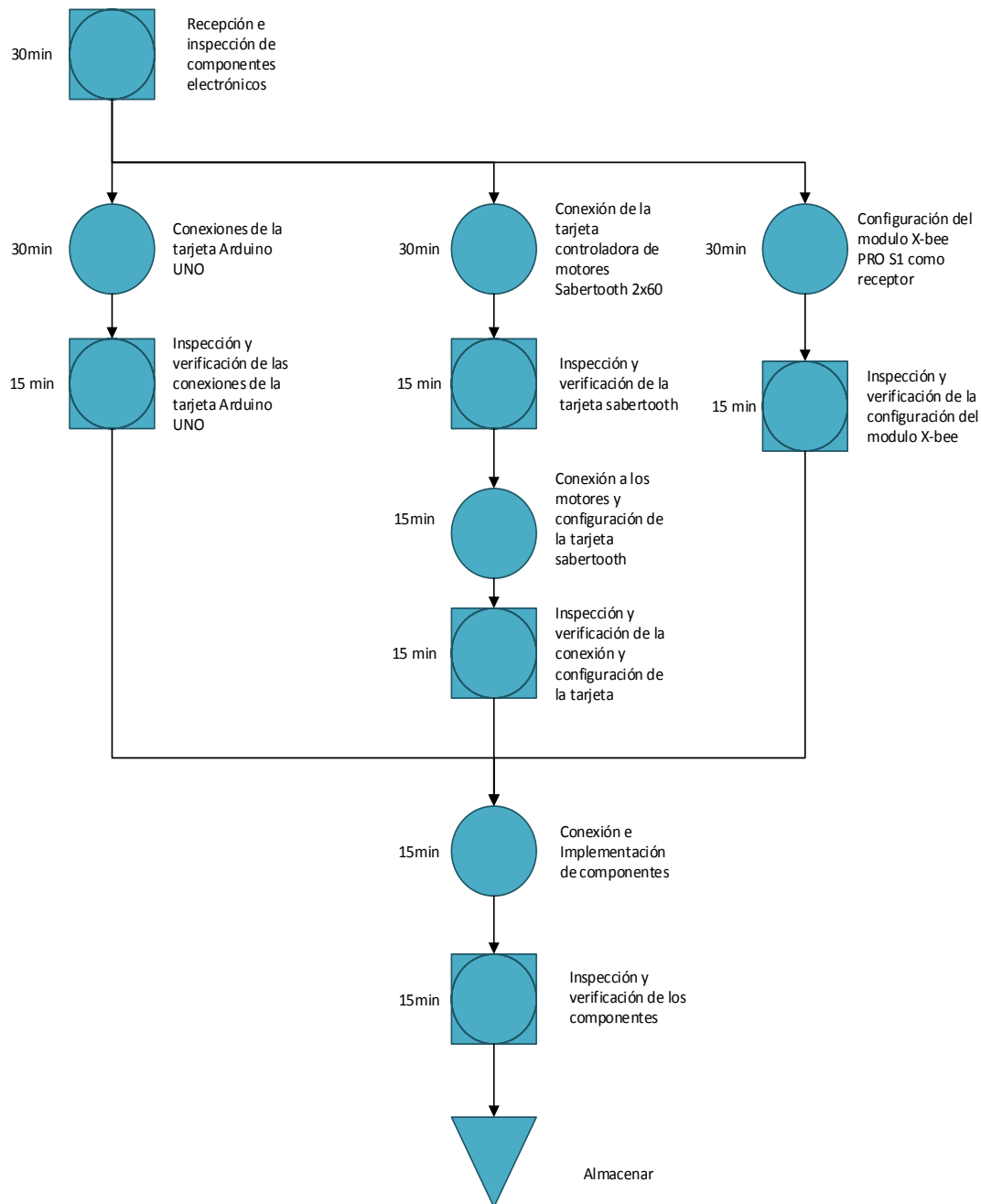


Figura 7.10: Diagrama de proceso implementación etapa de potencia

En la implementación del control del sistema con arugas se ha empleado 3h 45 min, para la etapa de potencia y recepción de los datos para la movilidad.

7.4. Análisis de costos

En esta parte se presenta un estudio sobre los costos que incurren, para llevar a cabo la construcción del sistema, es así que se establecen los costos para los diferentes elementos clasificándolos en las siguientes categorías:

- Materiales para la estructura
- Material electrónico.
- Materiales normalizados
- Manufactura de componentes
- Costos de diseño

7.4.1. Costos para la construcción del Sistema automático de orugas

Para determinar los valores de cada uno de los ítems, considerados a continuación se ha empleado como fuente cotizaciones e información brindada por diferentes proveedores de material ubicados en la ciudad de Quito y Latacunga.

Tabla 7.6**Costos de material para construcción del sistema**

MATERIAL	PROVEEDOR	V/UNIT. USD	CANT.	V/TOTAL USD
Tubo estructural cuadrado 25 x 600 x 2 mm	DIPAC	11,5	2	23
Tubo redondo 25 x 600 mm	DIPAC	10,5	1	10,5
placa en acero ASTM A36 1000x400x4 mm	ACEROS HGB	27,5	2	55
placa en acero ASTM A36 1000x1000x3mm	ACEROS HGB	22,75	1	22,75
Duralón Ø40x40mm	ACEROS HGB	2,75	2	5,5
Bloque de hierro fundido 400X90X30mm	ACEROS HGB	9,85	1	9,85
Bloque de hierro fundido 300X90X50mm	ACEROS HGB	12,3	1	12,3
Bloque de hierro fundido 400X15X80mm	ACEROS HGB	6,7	2	13,4
Eje AISI 1018 Ø30x1000mm	ACEROS HGB	8,25	1	8,25
Eje AISI 1018 Ø20x400mm	ACEROS HGB	7,15	1	7,15
Eje AISI 1018 Ø15X400mm	ACEROS HGB	6,9	1	6,9
Eje AISI 1018 Ø10X400mm	ACEROS HGB	6	1	6
Chaveta M6 x 300mm	ACEROS HGB	4,3	1	4,3
Disco duraluminio Ø135x70mm	ACEROS HGB	37,5	6	225
Nitrilo 60	SUPERCAUCHOS	8,9	20	178
Bandas sincrónica 900H	BATRA	168,9	2	337,8
Resortes Di=8mm, h=15mm, p=3	Resortes Luis	1,5	2	3
Resortes Di=10mm, h=35mm, p=3	Resortes Luis	1	3	3
			TOTAL	931,7

Tabla 7.7**Costos sistema electrónico y de control**

SISTEMA ELECTRÓNICO Y MOTRIZ	PROVEEDOR	V/UNIT. USD	CANTIDAD	V/TOTAL USD
Motor DC	INVACARE	225	2	450
Batería	SECOMIN	39	2	78
Cargador de baterías	SECOMIN	75	1	75
Tarjeta controladora motores	ELECTROSONIDO	200	1	200
Joystick	APM	15	1	15
Freno Eletromagnético	RAMSAM	120	2	240
X-Bee Pro S1	APM	65	2	130
Tarjeta Arduino	ELECTROSONIDO	39	1	39
Sabertooth 2x60	APM	200	1	200
TOTAL				\$ 1427

Fuente: Proveedores**Tabla 7.8****Costos de elementos Normalizados**

ELEMENTOS NORM.	ESPECIFICACIÓN	PROVEEDOR	V/UNIT	CANTIDAD	V/TOTAL
Prisioneros		CASA DEL PERNO	1,25	4	5
Pernos	Avellanado 3/4"x1/4"	CASA DEL PERNO	0,28	48	13,44
Pernos	5/8"x1"	CASA DEL PERNO	0,3	6	1,8
Rodamientos	KOYO 6004	ACEROS HGB	9,5	4	38
Rodamientos	KOYO 6205	ACEROS HGB	12,25	4	49
TOTAL				107,24	

Fuente: Proveedores

Tabla 7.9

Costos de maquinado de piezas según horas empleadas por la maquinaria

MAQUINARIA	CANT. PIEZAS	TORNO		FRESADORA		CORTE POR HILO		SOLDADORA		OXICORTE		MOLADORA		TALADRO		PINTURA		PRENSADO POLIMERO S		Operario		TOTAL
		H/M	USD	H/M	USD	H/M	USD	H/M	USD	H/M	USD	H/M	USD	H/M	USD	H/M	USD	H/M	USD	H/M	USD	
COSTO H/MAQ. (USD)		15		15		25		12		18		7		7		12		25		5		
PIEZAS		H/M	USD	H/M	USD	H/M	USD	H/M	USD	H/M	USD	H/M	USD	H/M	USD	H/M	USD	H/M	USD	H/M	USD	
POLEAS DENTADAS	6	3	45	8	120	0,5	12,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	55	177,5
PLACAS PARA EJES	2	-	-	1	15	-	-	-	-	2	36	-	-	-	-	0,5	6	-	-	3	15	57
ESTRUCTURA ESPALDAR	1	-	-	-	-	-	-	1	12	-	-	-	-	-	-	0,5	6	-	-	1,5	7,5	18
ABRAZADERA DESILIZANTE ESPALDAR	1	-	-	-	-	-	-	0,5	6	-	-	0,5	3,5	0,5	3,5	0,5	6	-	-	2	10	19
BASE PARA ESPLADAR	1	-	-	-	-	1	25	1	12	-	-	-	-	0,25	1,75	0,5	6	-	-	2	10	44,75
EJES PARA POLEAS	4	3	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	15	45
ACOPLE EJE POLEA	2	2	30	-	-	0,5	12,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	10	42,5
EJES SOPORTE ESPALDAR	2	-	-	-	-	-	-	0,5	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	2,5	6
SOPORTES PARA MOTORES	2	-	-	-	-	-	-	0,5	6	-	-	-	-	0,5	3,5	0,5	6	-	-	1,5	7,5	15,5
SUJETADOR BASE ESPALDAR	1	-	-	0,5	7,5	1	25	0,5	6	0,5	9	-	-	0,5	3,5	0,5	6	-	-	2,5	12,5	57
SUJETADOR SILLA	2	0,5	7,5	-	-	-	-	0,5	6	-	-	-	-	0,5	3,5	-	-	-	-	1,5	7,5	17
PASADORES ANCLAJE	3	1	15	-	-	-	-	0,5	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,5	7,5	21
Tapas poleas	12	1	15	2	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	6	-	-	3,5	17,5	51
Matriz para banda	1	-	-	2	30	32	800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,5	12,5	830
Banda diente externo	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	300	8	40	300
																					TOTAL USD	1701,25

Tabla 7.10**Costos de diseño**

COSTOS DE DISEÑO	
MATERIAL	COSTO USD
Implementos de oficina	25
Impresiones	40
Diseñador	800
TOTAL USD	865

Tabla 7.11**Costo total del proyecto**

COSTO TOTAL DEL PROYECTO	
RUBROS	COSTO TOTAL USD
MATERIALES	931,7
SIST. ELECTR. Y CONTROL	994,5
ELEMENTOS NORMALIZADOS	107,24
MAQUINADO DE PARTES INCLUIDO MANO DE OBRA	1701,25
COSTOS DE DISEÑO	865
IMPREVISTOS	500
TOTAL USD	5099,69

CAPÍTULO VIII

PROTOCOLO DE PRUEBAS

8.1. Importancia del protocolo de pruebas

El protocolo de pruebas es un paso importante en lo que respecta a la materialización del diseño de un sistema. Los protocolos de pruebas bien desarrollados y documentados constituyen una parte fundamental en el proceso de construcción del sistema. En este caso el objetivo es plantear un ensayo que ayude a determinar que el sistema automático con orugas logre transportar a una silla de ruedas con su ocupante desde una planta de un edificio hacia otra. Para ayudar a determinar el ensayo del sistema se considera la división modular del conjunto que en el caso del sistema en análisis posee dos módulos.

Lo que se desea con el desarrollo del ensayo es determinar que cada uno de los módulos responde de la manera esperada a las condiciones para las que fueron diseñados.

8.2. Definición de objetivos del ensayo.

Las pruebas a realizarse en este apartado deben garantizar la funcionalidad y confiabilidad de los módulos de este sistema es por ello que se deben establecerse los objetivos a cumplir con la elaboración del ensayo.

- a. Los desplazamientos y cargas a emplear para realizar el ensayo deben ser representativos.
- b. La secuencia del ensayo debe ayudar a pronosticar el funcionamiento exhaustivo de los componentes empleados en la materialización del sistema con arugas.
- c. El nivel de complejidad de las pruebas a las que se somete el sistema debe ser representativo para obtener resultados confiables.

8.3. Definición del ensayo

Para obtener resultados con alto nivel de confiabilidad se determina realizar el manejo del sistema automático con orugas para el ascenso y descenso de cuatro pisos, por tres

ocasiones consecutivas, ya que este sería la capacidad que tendrían las baterías recargables.

8.4. Planificación del ensayo.

El tiempo que se tiene en funcionamiento el sistema para el ensayo es de 15min, y todos los datos que se recolectan se tabularán de manera ordenada.

8.5. Control de elementos empleados en la materialización del sistema.

Todos los elementos con los que se encuentra manufacturado el sistema con orugas deben garantizar su funcionalidad y seguridad, de este modo los principales sistemas de los que se va a verificar el funcionamiento son:

- Registro de componentes encargados de la transmisión de potencia
- Registro de elementos encargados del anclaje y sujeción de la silla de ruedas al sistema
- Registro de elementos empleados en el control para manipular todo el conjunto.
- Registro de elementos empleados en el freno del sistema.

8.6. Pruebas de funcionamiento

En primer lugar se han realizado las pruebas sin carga, para establecer el correcto funcionamiento de todo el sistema, antes de exponer a una persona a posibles fallas.

Si el sistema sin carga ha respondido de buena forma se procede a realizar las pruebas con una carga de 130 Kg, para observar el comportamiento del sistema completo al someterlo a la carga máxima para la que ha sido diseñado.

- El funcionamiento del sistema motriz
- El funcionamiento del sistema de acople y sujeción de la silla de ruedas

- El funcionamiento del sistema de control.

Como escenario para realizar los ensayos de funcionamiento el sistema no se necesita la construcción del banco de pruebas, en este caso se empleará como banco de pruebas, las gradas existentes en el edificio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPEL.

8.7. Interpretación y validación de resultados

Para la validación del ensayo realizado al sistema automático con orugas para movilizar una silla de ruedas a través de escaleras, el sistema debe ser capaz de realizar las operaciones establecidas para el ensayo sin fallar ni deteriorarse. De lo contrario se deberá realizar las modificaciones necesarias y realizar el ensayo nuevamente.

8.8. Tabulación resultados del ensayo.

Tabla 8.1

Verificación dimensiones principales

Dimensiones principales				
	Dimensiones[mm]		Aceptación	
	Diseño CAD	Sistema	SI	NO
LARGO	1537,66	1535	X	
ALTO	941,37	940,5	X	
ANCHO	706	706	X	

Tabla 8.2

Verificación componentes principales

COMPONENTES PRINCIPALES			
ELEMENTOS	FUNCIONAMIENTO		
	BUENO	REGULAR	MALO
Transmisión de potencia	X		
Anclaje y sujeción de la silla	X		
Frenado del sistema	X		

Para la verificación del funcionamiento modular del sistema se tiene las siguientes tablas, en las que F= Funciona; NF=No funciona.

Tabla 8.3

Verificación Funcionamiento Módulo1

OPERACIONES MÓDULO 1								
TIEMPO	BLOQUEO Y DESBLOQUEO LOCOMOCIÓN		DESBLOQUEO Y BLOQUEO ESPALDAR		ACOPLE SILLA DE RUEDAS		SUJECCIÓN SILLA DE RUEDAS	
	F	NF	F	NF	F	NF	F	NF
0-15	X		X		X		X	
15-30	X		X		X		X	

Tabla 8.4

Verificación Funcionamiento Módulo2

OPERACIONES MÓDULO 2								
TIEMPO [min]	ACCIONAR MOVILIDAD		DIRECCIONAR		MOVILIZAR SOBRE GRADAS		FRENAR	
	F	NF	F	NF	F	NF	F	NF
0-15	X		X		X		X	
15-30	X		X		X		X	

Para ayudar a realizar las pruebas de lo que corresponde al control del sistema automático con orugas se han realizado las mediciones del voltaje que arrojan las fuentes que se han diseñado, para establecer si los voltajes arrojados son aceptables.

Tabla 8.5

Verificación fuentes de alimentación para control

FUENTES ALIMENTACIÓN PARA SISTEMA DE CONTROL						
	VOLTAJE REQUERIDO (V)		VOLTAJE MEDIDO FUENTE(V)		ACEPTACIÓN	
					SI	NO
Fuente Joystick	5		5,13		X	
Fuente Xbee	3,3		3,39		X	
Fuente Sabertooth	12-24		13		X	

Una vez que se ha realizado la prueba para las fuentes de alimentación, se procede a revisar si la adquisición de las señales que recibe el Xbee Receptor son las deseadas para procesar y enviar a la Sabertooth. Este proceso se puede realizar empleando el puerto serial que permite activar la tarjeta Arduino al estar conectada a la PC.

Para esta prueba se presenta los valores que debe arrojar la señal según la posición del joystick en la siguiente tabla:

Tabla 8.6

Verificación recepción y procesamiento de señales

SEÑALES RECEPTADAS Y PROCESADAS EN ARDUINO						
	Valores de señal obtenida		Valores de señal esperados		ACEPTACIÓN	
	Val1	Val2	Val1	Val2	SI	NO
Joystick en reposo	185	185	184-186	184-186	X	
Joystick X+	255	185	255	128	X	
Joystick X-	185	128	185	128	X	
Joystick Y+	255	185	255	185	X	
Joystick Y-	185	128	185	128	X	

Con la tabulación de los resultados obtenidos, al realizar las pruebas tanto de la parte mecánica como la del control, se puede determinar que la implementación del sistema responde de manera fiable y segura a la carga y condiciones sometidas. Y además satisface las necesidades planteadas por el usuario.

CAPÍTULO IX

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. Conclusiones

- Con el diseño y la construcción de la estructura automática con orugas se logró movilizar a una persona en su silla de ruedas de manera satisfactoria cumpliendo con sus necesidades.
- La capacidad de carga del sistema con orugas es de 140 kg máximo para que pueda realizar el desplazamiento de personas con discapacidad motriz en una silla de ruedas a través de gradas.
- El control del sistema inalámbrico facilita su operación y permite que el espaldar del sistema pueda desmontarse para su transporte y almacenamiento.
- El ángulo de inclinación máximo que el sistema puede superar es de 35°, de superar esta inclinación el sistema puede perder estabilidad.
- Para determinar las características técnicas del sistema de orugas se recopiló las necesidades de personas con capacidades especiales y se presentó los resultados en la casa de la calidad para proceder a realizar un análisis de las alternativas para el diseño del sistema.
- Se obtuvo como resultado de la casa de la calidad que el sistema debe ser traccionado por orugas al ser esta la opción con mayor ponderación.
- El sistema se encuentra sometido a una aceleración de $0,13 \text{ m/s}^2$ al arrancar, para luego estabilizarse hasta alcanzar una velocidad constante.
- Al determinar el factor de seguridad estático del tubo para sujeción de la silla y del eje para acoplar la polea al motor del sistema se obtuvieron valores superiores a 1 con lo que se puede determinar que el diseño del sistema es adecuado y soporta las cargas a las que se lo somete.

- Se realizó el estudio dinámico del sistema en tres escenarios importantes que son al movilizarse sobre una superficie plana, al iniciar el ascenso de las gradas y cuando se encuentra a la mitad de las gradas, de este modo se concluyó que la fuerza ejercida para movilizar el sistema es mayor cuando este se encuentra sobre las gradas.
- Se desarrolló un análisis transient para los elementos sometidos a movimiento como los ejes, se calculó de manera analítica el factor de seguridad, se obtuvo un valor de 14,26 y se comparó con el valor de 14,89 obtenido de manera computacional, estos valores ratifican que el eje soporta las cargas a fatiga para las cuales fue diseñado.
- La banda seleccionada para la transmisión interna es la 900H, esta cumple con la longitud de correa calculada para el sistema.
- Al obtener la banda de transmisión interna se pudo realizar el prensado del dentado externo con el empleo de una matriz con las medidas que se desea en la parte externa de la banda.
- La selección de elementos electrónicos realizada fue la más adecuada, se obtuvo el funcionamiento esperado por el sistema.
- Al realizar el cálculo de la potencia requerida por los motores para que logren movilizar el sistema se halló un valor 295,63 watts, en el sistema se emplearon motores DC (Corriente Directa) de 300watts, que funcionan de manera óptima en el sistema.

9.2. Recomendaciones

- Para la implementación del sistema se debe considerar las normas de seguridad y procesos de calidad de manufactura.
- Se debe realizar una inspección visual de cada una de las piezas antes de ser ensambladas para evitar problemas posteriores al ensamble.
- Se debe tomar muy en cuenta los ajustes y tolerancias especificados en los planos, al momento de la construcción para obtener los resultados esperados de cada una de las piezas.

- Al ensamblar las piezas se debe verificar que el funcionamiento sea el correcto, para evitar posteriores problemas en el funcionamiento.
- Utilizar un software de diseño para modelar el sistema con dimensiones reales ayuda a obtener resultados de diferentes tipos de análisis lo más cercanos a lo real.
- Al momento de realizar el diseño se debe pensar también en los impactos ambientales que las piezas del sistema pueden causar.
- Utilizar el sistema automático con arugas en gradadas que no superen los 35° de inclinación, de lo contrario se puede provocar inestabilidad al sistema.
- Al momento de operar la máquina se debe tomar muy en cuenta las características y restricciones del mismo para evitar daños permanentes, que afecten la vida útil del sistema de orugas.

GLOSARIO

DC = Corriente Directa

INEN = Instituto Ecuatoriano de Normalización

ISO = Organización Internacional de Normalización

DIN = Instituto Alemán de Normalización

MEF = Métodos de Elementos Finitos

m_p = masa promedio de una persona [kg]

m_s = masa tomada de una silla de ruedas manual [kg]

m_T = sumatoria masa de la persona y masa de la silla de ruedas [kg]

W = Peso aplicado por la persona y la silla de ruedas [N]

σ = Esfuerzo por flexión [N/m²]

M_{max} = Momento Máximo [Nm]

S = Módulo de resistencia [m³]

n = Factor de Seguridad

S_y = Resistencia a flexión [Pas]

m_m = masa del motor [kg]

W_m = Peso ejercido por cada motor [N]

m_{TS} = Masa total del sistema

μ = coeficiente de fricción dinámico

N = fuerza normal [N]

M = torque del motor [Nm]

r = radio externo de la polea [m]

θ = relación de transmisión

R_1 = reacción [N]

F_R = fuerza resultante [N/m]

l = longitud del eje [m]

M = momento flector máximo [Nm]

S = módulo de resistencia de la sección circular maciza

τ = esfuerzo normal torsor máximo

se = límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico

se' = límite de la muestra de una viga rotatoria

ka = factor de superficie

kb = factor del tamaño flexión y torsión

kc = factor de carga

kd = factor de temperatura

ke = factor de confiabilidad

kf = factor de efectos diversos D_{ext} = Diámetro exterior de la polea [mm]

z = Número de dientes

P = Paso [mm]

H = Altura total de la banda

h_1 = Altura del diente [mm]

$PAN ID$ = Identificación de la red de área personal, este valor puede ser cualquier número que va entre 0 y 65535 y debe tomar el mismo número según los Xbee que se utilice y estos puedan comunicarse.

DL = Dirección de destino baja, se coloca el número único de serie del módulo Xbee al cual va a transmitir.

MY = Es la dirección de 16 bits (de nuevo entre 0 y 0xFFFF), los Xbee a utilizarse deben tener la misma dirección de origen del otro.

D0, D1, D2 = Configuración de salida de señales PWM.

IT = Muestras que recogerá el Xbee antes de transmitir al coordinador.

IR = Frecuencia de muestreo, el Xbee se puede configurar para que envíe automáticamente los datos de entrada/salida digital o señales analógicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía

Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. En R. G. Budynas, & J. K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. México, D. F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. DE C.V.

Riba Romeva, C. (2002). Diseño Concurrente. Cataluña: Ediciones UPC.

Riba Romeva, C. (2002). Diseño para la Manufactura. En R. R. Carles, Diseño concurrente. Cataluña: Ediciones UPC.

Netgrafía

(25 de Septiembre de 2014). Obtenido de Sabertooth 2x60 User's Guide:
<https://www.dimensionengineering.com/datasheets/Sabertooth2x60.pdf>

(25 de Noviembre de 2014). Obtenido de Vetco Electronics:
http://www.vetco.net/catalog/product_info.php?products_id=12830

(22 de Noviembre de 2014). Obtenido de Wikipedia:
http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua

Accesibilidad de las personas con discapacidad y movilidad reducida al medio físico. Ascensores. (2001). Obtenido de
<https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2299.2001.pdf>

Bedón, C. (8 de Noviembre de 2014). Diseño de un elevador de silla de ruedas. Obtenido de
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3783/1/CD-3514.pdf>

Concepto de confiabilidad . (21 de Enero de 2015). Obtenido de AEC:
http://www.aec.es/c/document_library/get_file?p_l_id=234146&folderId=532417&name=DLFE-12503.pdf

Curiosa silla de ruedas todo terreno. (2014). Obtenido de Dogguie.net:
<http://www.dogguie.net/curiosa-silla-de-ruedas-todo-terreno/>

- El Microcontrolador PIC16F877. (7 de Diciembre de 2014). Obtenido de utp:
<http://www.utp.edu.co/~eduque/arquitect/PIC16F877.pdf>
- El Puente H. (3 de Agosto de 2012). Obtenido de
<http://www.hispavila.com/3ds/atmega/hpuente.html>
- El servomotor. (10 de Noviembre de 2014). Obtenido de DSL: <http://www.info-ab.uclm.es/labelec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm>
- fiabilidad. (21 de Enero de 2015). Obtenido de wikipedia :
http://es.wikipedia.org/wiki/Fiabilidad_de_sistemas
- Introducción a los elementos finitos. (2015). Obtenido de slideshare:
<http://es.slideshare.net/balzasbravas/apuntes-ansys>
- La evolución del diseño de salvaescaleras. (2009 Conzentra). Obtenido de Blog sobre accesibilidad: <http://www.reine.es/blog/la-evolucion-del-diseno-de-las-sillas-salvaescaleras/>
- Mantenibilidad. (21 de Enero de 2015). Obtenido de Wikipedia:
<http://es.wikipedia.org/wiki/Mantenibilidad>
- MOTOR DE CC. (16 de Noviembre de 2014). Obtenido de Motores de corriente continua:
<http://platea.pntic.mec.es/~lmarti2/robotinfra/motoresdecorrientecontinua3.htm>
- Ortopedia del Sur SRL. (1999 – 2015). Obtenido de Blogger:
<http://ortopediadelsursrl.blogspot.com/p/silla-de-ruedas.html>
- Oyarce, A. (25 de Octubre de 2014). Modulos X-bee Pro S1. Obtenido de o l i m e x :
www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia_Usuario.pdf
- Placa Arduino Uno. (Diciembre de 2012). Obtenido de ARDUINO:
<http://www.menosmedia.org/spip.php?article43>
- Quinde, J., & Ulloa, L. (9 de Diciembre de 2014). Diseño y construcción de dos Robots tipo Warbot. Obtenido de:
<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6849/1/UPS-GT000656.pdf>

Silla oruga salvaescalera. (20 de Marzo de 2014). Obtenido de Vertitec:
<http://www.sillasalvaescaleras.com/portatiles/oruga/>

Stairmax Oruga salvaescalera. (2015). Obtenido de Lenhner Lifttechnik:
<http://www.lehner-lifttechnik.at/es/products/Stairmax>

Tipos de Sillas de Ruedas. (14 de Agosto de 2013). Obtenido de Chairdex:
<http://www.chairdex.com/stypes.htm>

ANEXOS.

Anexo A: Planos mecánicos

Anexo B: Construcción del sistema

Anexo C: Hojas Especificaciones técnicas

Anexo D: Manual de operación y mantenimiento

Anexo E: Artículo Científico

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE
INGENIERÍA MECATRÓNICA
CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Tipanluisa Cuasquer Nancy Elizabeth e Villacís Toapanta Ivone Estefanía bajo mi supervisión.

ING. SANTILLÁN ERNESTO
DIRECTOR

ING. MANJARRÉS FÉLIX
CODIRECTOR

ING. HALLO VICENTE
DIRECTOR CARRERA DE
INGENIERÍA MECATRÓNICA

DR. JARAMILLO FREDDY
SECRETARIO ACADÉMICO

