

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA**

**REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE UNA  
MESA QUIRÚRGICA MANUAL**

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

**RIVERA VALENZUELA MARIO AUGUSTO**

marv1977ec@yahoo.es

**SARANGO PUMA VÍCTOR DAVID**

da\_sa\_16@hotmail.com

**DIRECTOR: ING. IVÁN ZAMBRANO OREJUELA MSc.**

ivan.zambrano@epn.edu.ec

**Quito, mayo de 2015**

## DECLARACIÓN

Nosotros Mario Augusto Rivera Valenzuela y Víctor David Sarango Puma, declaramos que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

---

**Rivera Valenzuela Mario Augusto**

---

**Sarango Puma Víctor David**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Mario Augusto Rivera Valenzuela y Víctor David Sarango Puma bajo mi supervisión.

---

**Ing. Iván Zambrano Orejuela MSc.**  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos de manera especial a la Escuela Politécnica Nacional por permitirnos realizar nuestro trabajo de titulación con un proyecto dentro de la Facultad de Ingeniería Mecánica, brindándonos todo el apoyo necesario para el mismo.

Agradecemos al Ingeniero Iván Zambrano Orejuela MSc., tutor del presente proyecto, por brindarnos su apoyo, conocimientos, consejos, y guía para así poder culminar de la mejor manera el presente trabajo.

Agradecemos a las autoridades y profesores de la Escuela Politécnica Nacional, por brindarnos la oportunidad de cursar nuestros estudios en su prestigiosa institución educativa y ofrecernos la mejor educación tanto humana como técnica.

## DEDICATORIA

Dedico este título profesional a DIOS, ya que gracias a él, e tenido la fuerza para realizar uno de mis sueños; ya que ha puesto a mis Padres Víctor y Martha para acompañarme y guiarme con su amor, a mis hermanas Andrea y Daniela por su cariño y apoyo; A mi sobrino Andrés que por su amor.

Un agradecimiento especial a mi novia Angélica Freire que con su apoyo, comprensión y amor que me ha entregado durante este tiempo ha sido un pilar fundamental para conseguir este sueño que junto a ella es más especial, Te Amo.

Además mi gratitud a mis mejores amigos: Mario Rivera, Juan Carlos Vallejo, Mario Pérez, Patricio Cruz, Jhonny Malla, Israel Villacrés, Carolina Real y mi Primo José Angos, que a pesar de la distancia siempre me hicieron sentir en un hogar cuando compartí con ustedes, gracias.

**David Sarango P.**

## DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de iniciar y terminar este proyecto dándome la vida, abundante salud y muchas energías.

A mi padre por enseñarme principios y valores que han sido fundamentales para mi vida diaria.

A mi madre por el cariño, apoyo y aliento diario en mis proyectos a realizar.

A mi esposa por la paciencia que me ha tenido durante la culminación de este proyecto.

A mis compañeros de aula los cuales siempre estuvieron prestos a eliminar mis dudas.

A mi compañero David porque jamás se desanimó ante las adversidades que se presentaron durante la elaboración de esta tesis.

A mis amigos Mario P., Mario V. por la ayuda que me brindaron para realizar la tesis, V.M. por esas palabras de aliento que permitieron iniciar este proyecto.

A mis hijas que son la razón de vivir, ya que cada logro es pensando en ustedes hijas bellas.

A mi hermano que aunque no estés con nosotros físicamente estas en mi corazón y en mi mente.

**Mario Rivera V.**

## CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE	DE
FIGURA.....	iv
ÍNDICE	DE
TABLA.....	xii
RESUMEN.....	1
4	
PRESENTACIÓN.....	2
1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.....	3
1.1.1 PARTES DE LA MESA QUIRÚRGICAS.....	4
1.1.2 POSICIONES QUIRÚRGICAS.....	4
1.1.2.1 Posición Supina o decúbito dorsal.....	5
1.1.2.2 Posición de Trendelenburg.....	5
1.1.2.3 Posición de Trendelenburg Invertido.....	6
1.1.2.4 Posición de Litotomía.....	6
1.1.2.5 Kraske (Posición de Navaja).....	7
1.1.2.6 Posición de Sims o lateral.....	7
1.1.2.7 Posición de Fowler o sentado.....	8
1.2 NORMAS DE EQUIPOS MÉDICOS.....	8
1.3 ANÁLISIS FUNCIONAL DE LA MESA QUIRÚRGICA.....	9
1.3.1 DIAGRAMAS FUNCIONALES.....	10
1.3.2 ANÁLISIS DE LOS DIAGRAMAS FUNCIONALES.....	12
1.3.3 DEFINICIÓN DE MÓDULOS.....	12
1.3.4 ANÁLISIS MODULAR.....	13
2. CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DEL DISEÑO ORIGINAL.....	16
2.1 METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN.....	16

2.1.1	DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA.....	16
2.1.2	RECURSOS DE LA PRUEBA.....	17
2.1.3	PROCESAMIENTO DE DATOS.....	17
2.1.4	CONCLUSIONES.....	18
2.2	EVALUACIÓN MODULAR.....	19
2.2.1	MÓDULO 1.....	19
2.2.1.1	Descripción de la prueba del módulo 1.....	19
2.2.1.2	Recursos de la prueba del módulo 1.....	20
2.2.1.3	Procesamiento de datos del módulo 1.....	21
2.2.1.4	Conclusiones del módulo 1.....	22
2.2.2	MÓDULO 2.....	22
2.2.2.1	Descripción de la prueba del módulo 2.....	22
2.2.2.2	Recursos de la prueba del módulo 2.....	23
2.2.2.3	Procesamiento de datos del módulo 2.....	24
2.2.2.4	Conclusiones del módulo 2.....	25
2.2.3	MÓDULO 3.....	25
2.2.3.1	Descripción de la prueba del módulo 3.....	26
2.2.3.2	Recursos de la prueba del módulo 3.....	27
2.2.3.3	Procesamiento de datos del módulo 3.....	27
2.2.3.4	Conclusiones del módulo 3.....	29
2.2.4	MÓDULO 4.....	29
2.2.4.1	Descripción de la prueba del módulo 4.....	29
2.2.4.2	Recursos de la prueba del módulo 4.....	31
2.2.4.3	Procesamiento de datos del módulo 4.....	31
2.2.4.4	Conclusión del Cuarto Módulo.....	32
3.	CAPITULO 3: SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	33
3.1	PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS.....	33
3.2	PLANTEAMIENTO DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	34
3.2.1	ALTERNATIVAS DEL MÓDULO 1.....	34
3.2.2	ALTERNATIVAS DEL MÓDULO 2.....	37
3.2.3	ALTERNATIVAS DEL MÓDULO 3.....	40
3.2.4	ALTERNATIVAS DEL MÓDULO 4.....	44
3.3	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	50

3.3.1	CRITERIO DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS .....	50
3.3.2	EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS. ....	51
4.	<b>CAPÍTULO 4: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO.....</b>	<b>59</b>
4.1	<b>DISEÑO DE LAS ALTERNATIVAS.....</b>	<b>59</b>
4.1.1	<b>SOLUCIÓN DEL MÓDULO 1: VOLANTE CIRCULAR.....</b>	<b>60</b>
4.1.1.1	Cálculo del volante.....	60
4.1.1.2	Plano de construcción .....	61
4.1.1.3	Simulación de solución del módulo 1 .....	61
4.1.2	<b>SOLUCIÓN AL MÓDULO 2: GUÍAS CILÍNDRICAS.....</b>	<b>64</b>
4.1.2.1	Cálculo de las guías circulares .....	65
4.1.2.2	Plano de construcción.....	65
4.1.2.3	Simulación de solución del módulo 2. ....	65
4.1.3	<b>SOLUCIÓN AL MÓDULO 2: CAMBIO DE DISPOSICIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD. ....</b>	<b>69</b>
4.1.3.1	Cálculo del centro de gravedad. ....	69
4.1.3.2	Plano de construcción.....	71
4.1.3.3	Simulación de solución del módulo 2. ....	71
4.1.4	<b>SOLUCIÓN AL MÓDULO 3: CARDÁN .....</b>	<b>74</b>
4.1.4.1	Cálculo del Cardán.....	75
4.1.4.2	Plano de construcción .....	75
4.1.4.3	Simulación de solución del módulo 3.....	75
4.1.5	<b>SOLUCIÓN AL MÓDULO 4: ACCIONAMIENTO MECÁNICO.....</b>	<b>78</b>
4.1.5.1	Cálculo del accionamiento mecánico.....	78
4.1.5.2	Plano de construcción.....	79
4.1.5.3	Simulación de solución del módulo 4. ....	79
4.2	<b>CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO PROTOTIPO.....</b>	<b>81</b>
4.2.1	<b>ACTIVACIÓN DE LOS SEGUROS DE FIJACIÓN.....</b>	<b>82</b>
4.2.2	<b>MOVIMIENTO PERPENDICULAR.....</b>	<b>82</b>
4.2.3	<b>MOVIMIENTO PARALELO.....</b>	<b>83</b>
4.2.4	<b>ACCIONAMIENTO LINEAL.....</b>	<b>84</b>
4.2.5	<b>MOVIMIENTO LONGITUDINAL.....</b>	<b>85</b>
4.2.6	<b>MOVIMIENTO TRANSVERSAL.....</b>	<b>85</b>

4.2.7	MOVIMIENTO DE ESPALDA.....	86
4.2.8	MOVIMIENTO DE PIERNAS.....	87
4.2.9	MOVIMIENTO DE CABEZA.....	87
4.3	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL NUEVO PROTOTIPO.....	88
4.3.1	EVALUACIÓN FINAL DE MODULO UNO.....	89
4.3.2	EVALUACIÓN FINAL DE MÓDULO DOS.....	90
4.3.3	EVALUACIÓN FINAL DE MÓDULO TRES.....	91
4.3.4	EVALUACIÓN FINAL DEL MÓDULO CUATRO.....	92
4.4	PRESUPUESTO DE UNA MESA QUIRÚRGICA MANUAL.....	94
4.4.1	PRESUPUESTO DEL PROTOTIPO.....	94
4.4.2	COSTO DE UNA MESA QUIRÚRGICA MANUAL.....	96
4.4.3	RENTABILIDAD.....	97
4.4.3.1	Consideraciones Generales del “Método que considera el valor del dinero en el tiempo”.....	98
4.4.3.1.1	<i>Valor Actual Neto (VAN)</i> .....	98
4.4.3.1.2	<i>Tasa Interna de Rendimiento (TIR)</i> .....	99
4.4.3.1.3	<i>Beneficio Costo</i> .....	99
4.4.3.1.4	<i>Criterio de aceptación</i> .....	100
4.4.3.1.5	<i>Tasa de actualización</i> .....	101
4.4.3.2	Rentabilidad del Proyecto.....	102
5.	CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	105
5.1	CONCLUSIONES.....	105
5.2	RECOMENDACIONES:.....	107
	ANEXOS.....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1.1 Partes de la mesa quirúrgica.....	4
Figura. 1.2 Posición Supina. ....	5
Figura. 1.3 Posición de Trendelenburg.....	6
Figura. 1.4 Posición de Trendelenburg Invertido.....	6
Figura. 1.5 Posición de Litotomía.....	7
Figura. 1.6 Posición Kraske.....	7
Figura. 1.7 Posición Sims.....	8
Figura. 1.8 Posición Fowler.....	8
Figura. 1.9 Diagramas de nivel 0, 1 y 2 de la mesa quirúrgica manual.....	12
Figura. 1.10 Diagrama modular de la mesa quirúrgica manual.....	13
Figura. 2.1. Esquema de evaluación del Módulo 1.....	20
Figura. 2.2. Evaluación del Módulo 2. ....	23
Figura. 2.3. Evaluación del Módulo 3.....	26
Figura. 2.4. Evaluación del Módulo 4.....	30
Figura 4.1. Centro de gravedad de una placa rectangular.....	69
Figura 4.2a. Sistema anterior.....	82
Figura 4.2b. Sistema actual.....	82
Figura 4.3a. Elementos anteriores.....	83
Figura 4.3b. Elementos actuales.....	83
Figura 4.4a. Elementos anteriores.....	84
Figura 4.4b. Elementos actuales.....	84
Figura 4.5a. Elementos anteriores.....	84
Figura 4.5b. Elementos actuales.....	84
Figura 4.6a. Elementos anteriores.....	85
Figura 4.6b. Elementos actuales.....	85
Figura 4.7a. Elementos anteriores.....	86
Figura 4.7b. Elementos actuales.....	86

Figura 4.8a. Elementos anteriores.....	86
Figura 4.8b. Elementos actuales.....	86
Figura 4.9a. Elementos anteriores.....	87
Figura 4.9b. Elementos actuales.....	87
Figura 4.10a. Elementos anteriores.....	88
Figura 4.10b. Elementos actuales.....	88

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	1.1.	Descripción	gráfica	de	los	
		módulos.....				15
Tabla 2.1.		Tabla de recursos.....				17
Tabla 2.2.		Tabla 1 de procedimiento de datos.....				18
Tabla 2.3.		Tabla 2 de procedimiento de datos.....				18
Tabla 2.4.		Tabla de recursos del módulo 1.....				21
Tabla 2.5.		Tabla 1 de procesamiento de datos del módulo 1.....				21
Tabla 2.6.		Tabla 2 de procesamiento de datos del módulo 1.....				22
Tabla	2.7.	Tabla	de	recursos	del	módulo
		.....				214
Tabla 2.8.		Tabla 1 de procesamiento de datos del módulo 2. ....				25
Tabla 2.9.		Tabla 2 del procesamiento de datos del módulo 2.....				25
Tabla 2.10.		Tabla de recursos del módulo 3.....				27
Tabla 2.11.		Tabla 1 de procesamiento de datos del módulo 3.....				28
Tabla 2.12.		Tabla 2 de procesamiento de datos del módulo 3.....				29
Tabla 2.13.		Tabla de recursos del módulo 4.....				31
Tabla 2.14.		Tabla 1 de procesamiento de datos del módulo 4.....				32
Tabla 2.15		Tabla 2 procesamiento de datos del módulo 4. ....				32
Tabla 3.1.		Descripción de alternativas. ....				34
Tabla 3.2a.		Descripción de alternativas de módulo 1.....				35
Tabla 3.2b.		Solución gráfica de las alternativas.....				37
Tabla 3.3.		Ventajas y desventajas del módulo 1.....				37
Tabla 3.4a.		Descripción de alternativas de módulo 2.....				38
Tabla 3.4b.		Solución gráfica de las alternativas.....				40
Tabla 3.5.		Ventajas y desventajas del módulo 2.....				40
Tabla 3.6a.		Descripción de alternativas de módulo 3.....				41
Tabla 3.6b.		Solución gráfica de las alternativas. ....				43

Tabla 3.7. Ventajas y desventajas del módulo 3.....	44
Tabla 3.8a. Descripción de alternativas de módulo 4.....	45
Tabla 3.8b. Solución gráfica de las alternativas.....	48
Tabla 3.9. Ventajas y desventajas del módulo 4.....	49
Tabla 3.10. Evaluación de criterios para residuos ponderados.....	53
Tabla 3.11. Evaluación mediante residuos ponderados Módulo 1.....	54
Tabla 3.12. Evaluación mediante residuos ponderados Módulo 2.....	54
Tabla 3.13. Evaluación mediante residuos ponderados Módulo 2.....	55
Tabla 3.15. Evaluación mediante residuos ponderados Módulo 3. ....	55
Tabla 3.16. Evaluación mediante residuos ponderados Módulo 3.....	56
Tabla 3.17. Evaluación mediante residuos ponderados Módulo 4.....	56
Tabla 3.18. Evaluación mediante residuos ponderados Módulo 4.....	57
Tabla 3.19. Evaluación mediante residuos ponderados Módulo 4. ....	57
Tabla 4.1. Resumen de medidas.....	61
Tabla 4.2. Simulación de la solución 1.....	64
Tabla 4.3. Resultados de la simulación de la módulo 1.....	64
Tabla 4.4. Resumen de medidas.....	65
Tabla 4.5. Simulación de la solución 2.....	68
Tabla 4.6. Resultados de la simulación del módulo 2.....	69
Tabla 4.7. Simulación de la solución 2.....	74
Tabla 4.8. Resultados de la simulación del módulo 2.....	74
Tabla 4.9. Resumen de medidas.....	75
Tabla 4.10. Simulación de la solución 3.....	78
Tabla 4.11. Resultados de la simulación del módulo 3.....	78
Tabla 4.12. Simulación de la solución módulo 4.....	81
Tabla 4.13. Resultados de la simulación del módulo 4.....	81
Tabla 4.13. Tabla 1 de procesamiento de datos de la reevaluación módulo1.....	89
Tabla 4.14. Tabla 2 del procesamiento de datos de la reevaluación módulo1.....	89
Tabla 4.16. Tabla 1 de procesamiento de datos de la reevaluación módulo2.....	90
Tabla 4.17. Tabla 2 del procesamiento de datos de la reevaluación módulo2.....	91
Tabla 4.18. Tabla 1 de procesamiento de datos de la reevaluación módulo 3.....	92
Tabla 4.19. Tabla 2 del procesamiento de datos de la reevaluación módulo 3....	92
Tabla 4.20. Tabla 1 de procesamiento de datos de la reevaluación módulo 4.....	93

Tabla 4.21 Tabla 2 del procesamiento de datos del módulo 4.....	93
Tabla 4.22 Costo de elaboración del proyecto.....	95
Tabla 4.23 Costo referencial de la mesa quirúrgica manual.....	97
Tabla 4.24. Tasa de actualización para proyectos.....	102
Tabla 4.25 Cálculo de la Rentabilidad del Proyecto.....	103

## RESUMEN

El objetivo del presente proyecto es rediseñar una mesa quirúrgica manual, ésta fue diseñada y construida en el año 2010 en la Escuela Politécnica Nacional como parte de un proyecto de tesis de pregrado. Para mejorar los movimientos de la mesa se adaptaron mecanismos, se diseñaron partes y se construyeron elementos mecánicos con el fin de obtener un mejor funcionamiento de este prototipo.

En el primer capítulo se establecen los requerimientos que debe cumplir el nuevo prototipo durante una intervención quirúrgica, además información que complementa el desarrollo del análisis modular, que con la ayuda de los diagramas funcionales hace que se establezcan los requerimientos necesarios para el mismo.

En el desarrollo del segundo capítulo se evalúa el prototipo original, que mediante la aplicación de pruebas funcionales se logra establecer el rendimiento de cada mecanismo, este análisis nos permite saber el grado de cumplimiento de cada módulo y así poder establecer los elementos que deben ser rediseñados.

En el tercer capítulo se plantea las alternativas de diseño para cada uno de los mecanismos que no están trabajando en óptimas condiciones, estas opciones son evaluadas mediante el criterio de Residuos Ponderados con el fin de obtener numéricamente la mejor alternativa para cada componente.

En el cuarto capítulo se diseña las alternativas seleccionadas, para ello se utiliza el software ANSYS 14.0, el mismo que permite desarrollar una simulación y de

esta manera obtener los esfuerzos de von Mises, Deformaciones y Factores de Seguridad. Luego del análisis de los resultados se aprueban los mecanismos para la construcción, esto se complementa con la elaboración, adaptación y la nueva evaluación de los elementos diseñados, para comprobar si su funcionamiento es el correcto

## **PRESENTACIÓN**

A partir de un estudio realizado en el Distrito Metropolitano de Quito en las instituciones dedicadas al cuidado de la salud (hospitales, clínicas, centros de salud, entre otros), se verificó que la mayoría del equipamiento es obsoleto, inadecuado y falta de mantenimiento en lo que a mesas quirúrgicas se refiere.

Esta investigación se alinea a las necesidades de salud del país con la facilidad de llegar a ciudades y pueblos de difícil acceso, además de crear fuentes de empleo para su construcción y mantenimiento.

El elevado costo de adquisición de estos equipos, así como el complejo mantenimiento, la dificultad de tener un stock de repuestos de los mismos, hace que las instituciones públicas y privadas de salud no puedan sustentar una inversión de este tipo.

Es por estas razones que se crea la necesidad de rediseñar una mesa quirúrgica para cirugía, esto amerita una investigación más profunda que permita establecer las ventajas y desventajas del mismo para llegar a suplir las importaciones de este tipo de producto, por lo que se deberá aplicar tecnologías que se encuentren en el país, las cuales potenciaran el diseño que estará de acuerdo al mercado nacional tanto en especificaciones técnicas y en costos de construcción, tomando en cuenta el mantenimiento y la sustentabilidad a mediano o largo plazo.

El presente proyecto complementa el estudio realizado anteriormente por estudiantes de pregrado, optimizando así la funcionabilidad del prototipo, cumpliendo así con los diseños definitivos de la mesa quirúrgica manual.

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

En la actualidad el Ecuador está por debajo de los países con similitud de economía y mucho más con países desarrollados a nivel mundial en lo que respecta a la salud, es por ello que se necesita de profesionales que ayuden a mejorar el diario vivir, en consecuencia se requiere mejorar el equipamiento hospitalario de las casas de salud del país. El presente proyecto está dirigido a contribuir en lo que a equipamiento médico se refiere.

Es fundamental establecer parámetros funcionales de la máquina además de conocer las normas que rigen a nivel nacional e internacional, para realizar el rediseño y la construcción con un amplio criterio profesional. Es necesario tener en cuenta que existen procedimientos que permiten pasar de un prototipo a una construcción nacional de alta calidad, inclusive este producto puede perfilarse para una exportación.

Para el rediseño mecánico de este prototipo se debe tomar en cuenta los movimientos que requieren los médicos con su respectivo análisis funcional, basándose en la teoría de Carles Riba y su libro Diseño Concurrente.

En el primer capítulo se analiza la información obtenida del proyecto de tesis de pregrado de la Escuela Politécnica Nacional realizada en el año 2010, denominada “Diseño de una mesa quirúrgica manual y un equipo de suministro de anestesia para clínicas y hospitales”; además se analiza los requerimientos y se destaca lo necesario para poder desarrollar el rediseño correspondiente.

## 1.1 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

Para describir el principio de funcionamiento de la mesa quirúrgica manual se debe reconocer cuales son los elementos que generan los diferentes movimientos. El análisis de esos elementos nos indica el comportamiento que tiene cada uno de ellos dentro del conjunto que lo conforma, de esta manera podemos analizar la eficiencia de cada uno de los mecanismos.

### 1.1.1 PARTES DE LA MESA QUIRÚRGICAS

En las mesas quirúrgicas se tienen varios elementos que van a interactuar dentro de los mecanismos, los cuales facilitan los distintos movimientos que da como resultado una combinación de posiciones, en la figura 1.1 se muestra las partes principales.

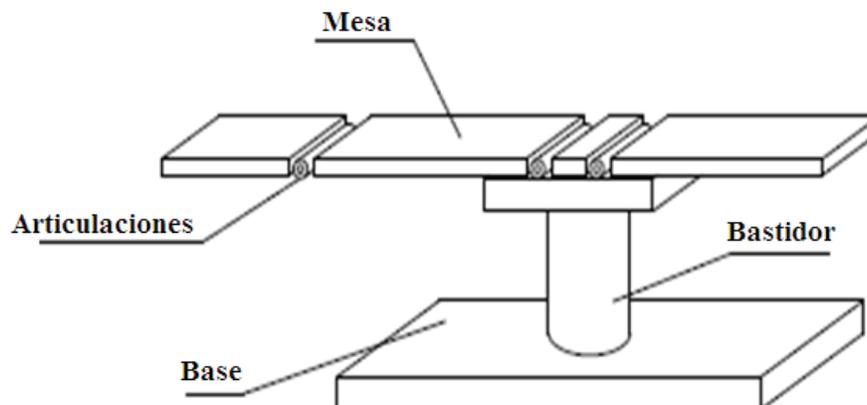


Fig. 1.1 Partes de la mesa quirúrgica.

### 1.1.2 POSICIONES QUIRÚRGICAS

La mesa quirúrgica es el componente central del quirófano, esta proporciona al paciente el soporte físico necesario durante la intervención quirúrgica. Este equipo como toda la instrumentación médica deben estar ergonómicamente diseñados y poseer un alto grado de seguridad e higiene.

El diseño de la mesa tiene una importancia trascendental ya que de esto depende que tanto el paciente como el equipo médico puedan reducir los riesgos durante la operación, al proporcionar las comodidades y facilidades de acceso, disminuyendo así el riesgo durante la intervención. Existen diversas posiciones para todas las especialidades quirúrgicas, para las que se debe tener presente la fisiología del individuo.

Las posiciones básicas tienen ciertas variaciones específicas, las cuales dependen directamente de la cirugía que se va a realizar. A continuación se presenta de manera esquemática la conformación que debería tener cada uno de las partes para poder obtener las distintas posiciones de operación<sup>1</sup>.

#### 1.1.2.1 Posición Supina o decúbito dorsal

En esta posición se requiere que los módulos estén alineados a 180° entre sí (figura 1.2). Esta se utiliza en: Intervenciones abdominales, ginecológicas, urológicas, cara y cuello, tórax y hombro vascular.



Figura. 1.2 Posición Supina.

#### 1.1.2.2 Posición de Trendelenburg.

Para lograr esta posición se requiere que la mesa quirúrgica gire en referencia al plano horizontal  $-20^{\circ}$  como se indica en la figura 1.3.

---

<sup>1</sup>BEÑOGA BASOZABAL, Zamakona; DURAN DÍAZ, María de los Ángeles, Manual de enfermería Quirúrgica, España Gobierno Vasco 2003, Hospital de Galdakao, p.102

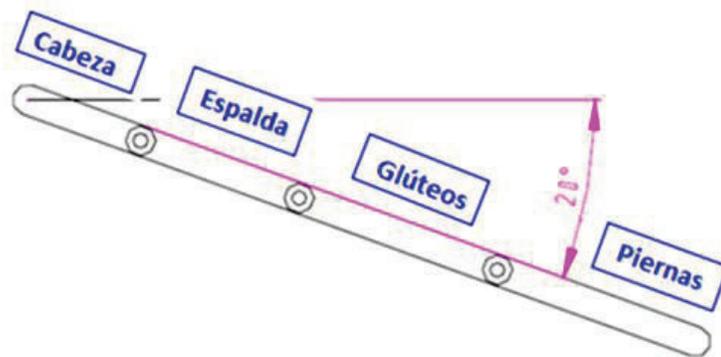


Figura. 1.3 Posición de Trendelenburg.

#### 1.1.2.3 Posición de Trendelenburg Invertido.

Para obtener esta posición la mesa debe girar  $+20^\circ$  con referencia al plano horizontal (figura 1.4), se utiliza para cirugías de cabeza y cuello.

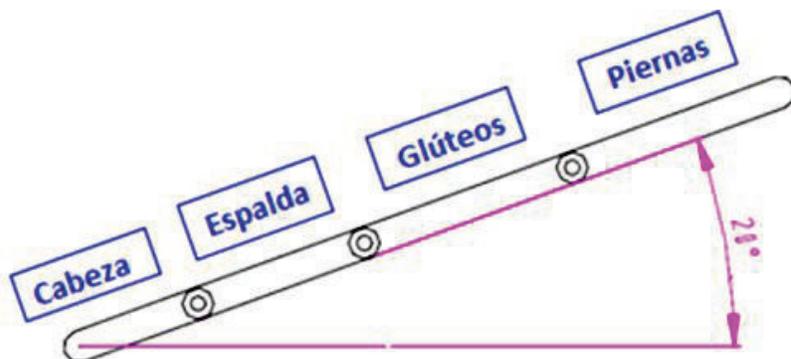


Figura. 1.4 Posición de Trendelenburg Invertido.

#### 1.1.2.4 Posición de Litotomía.

Para conseguir esta postura se requiere que las piernas giren a  $-90^\circ$  con respecto al cuerpo, como señala la figura 1.5, la mencionada posición permite efectuar cirugías vaginales, perineales, urologías y rectales.

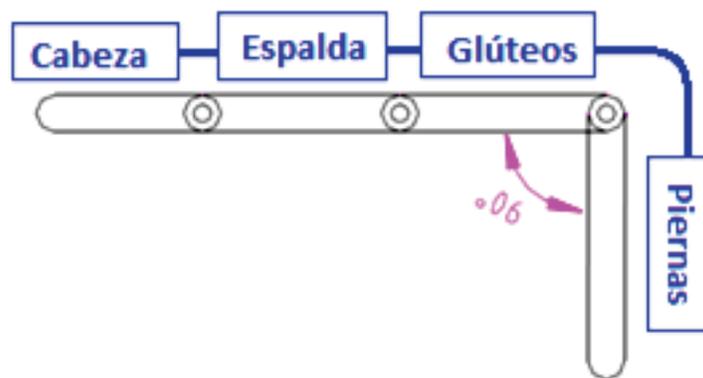


Figura. 1.5 Posición de Litotomía.

#### 1.1.2.5 Kraske (Posición de Navaja).

En la parte central de la mesa se realiza un giro con un ángulo moderado o severo, dependiendo de la necesidad del cirujano como indica la figura 1.6.

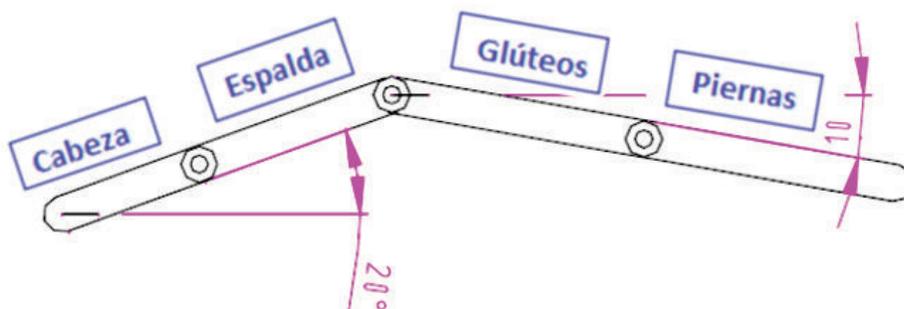


Figura. 1.6 Posición Kraske.

#### 1.1.2.6 Posición de Sims o lateral.

Para obtener esta postura la cabeza debe girar  $195^\circ$  con respecto al eje horizontal así mismo los módulos de la espalda y glúteos deben desplazarse  $-15^\circ$  con respecto al mismo eje mientras que las piernas deben realizar un giro de  $-35^\circ$  como se muestra en la figura 1.7. Se utiliza para cirugías de uréter, riñón y pulmón.

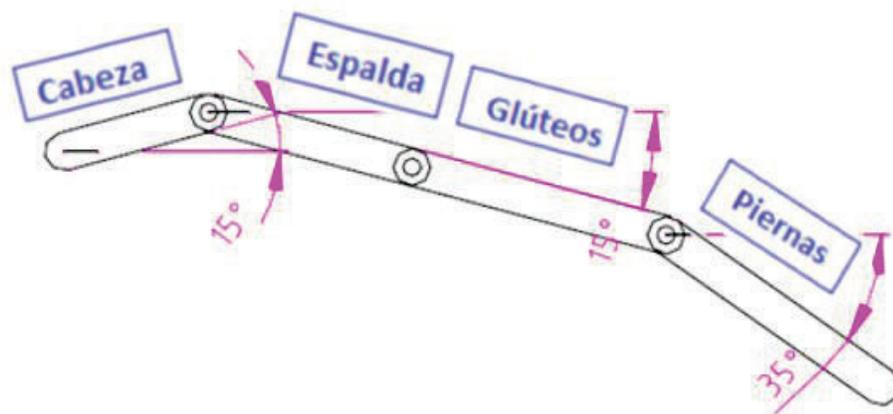


Figura. 1.7 Posición Sims.

### 1.1.2.7 Posición de Fowler o sentado

La mesa se dobla a nivel de las rodillas y cadera creando los ángulos descritos en la figura 1.8. El uso de esta es para operaciones a nivel de la columna cervical.

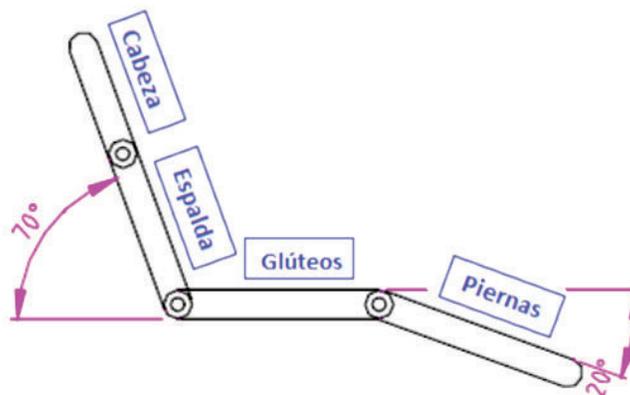


Figura. 1.8 Posición Fowler.

## 1.2 NORMAS DE EQUIPOS MÉDICOS

La normativa ecuatoriana no tiene ninguna referencia en lo que a normativa de equipos médicos se refiere, esto se interpreta como una falencia ya que en este campo normalmente los países desarrollados existen lineamientos rígidos para la

actividad médica, pues involucra la salud de la comunidad. La falta de las normas provoca que esta industria se desarrolle de manera artesanal e inclusive se realicen importaciones de menor calidad.

La conciencia de agregar normas ecuatorianas a una industria creciente y vital para el desarrollo del país, invita a tomar en cuenta que varios países ya tienen normas de esta clase, por lo que se podría adoptar una de ellas para el control y especificaciones en las adquisiciones, sea de fabricación local o importación.

Entre las normas más conocidas se pueden nombrar algunas, las cuales sirven en el momento del diseño y posterior construcción como una guía para así obtener un producto de mejor calidad.

A continuación se cita las normas más importantes:

- ISO 13485, norma publicada en julio de 2003.<sup>2</sup>
- NOM-197-SSA1-2000, normativa Mexicana del 2006<sup>3</sup>
- Real Decreto 39/2000 de Reglamento de equipamiento medico<sup>4</sup>
- Covenin 2260-88, Normativa venezolana de programa de higiene y Salud<sup>5</sup>

### **1.3 ANÁLISIS FUNCIONAL DE LA MESA QUIRÚRGICA**

Para desarrollar el análisis funcional de la mesa quirúrgica manual se toma como referencia la teoría de la “Ingeniería Concurrente”, la cual establece las herramientas para el diseño de un producto, dichos conceptos se pueden aplicar tanto en la creación, así como en el mejoramiento continuo de productos o servicios.

---

<sup>2</sup>NORMA ISO 13485:2003, Dispositivos Médicos, Inglaterra

<sup>3</sup>NORMA oficial Mexicana 197-SSA-200, Riquitos mínimos de infraestructura y equipos en hospitales, Octubre de 2001

<sup>4</sup>Manual General de Protección Quirúrgica. Instituto Nacional de la Salud. Ministerio de Sanidad y Consumo. Publicación INSALUD nº 1627(1995).

<sup>5</sup>NORMA COVENIN 2260-88, Programa de Higiene Hospitalario, Fondonarma, 2001.

El análisis funcional de un producto se lo realiza mediante el concepto de modularidad de los sistemas involucrados, es decir se divide la mesa quirúrgica manual en módulos necesarias para que el análisis sea lo más sencillo posible. Paralelamente se elabora la estructura funcional la cual nos ayuda a establecer la *estructura modular* y con estas herramientas se busca obtener lo siguiente:

- a) **Agrupación de las funciones en módulos**, se debe lograr que una función se realice en un solo módulo de no ser el caso hay que delimitar convenientemente la parte de la función que realiza cada módulo.
- b) **Establecer interfaces**, deben ser las más adecuadas entre los módulos, las cuales son cualquier superficie real o imaginaria entre módulos de un sistema, se relacionan mediante:
  - **Interfaz de energía**, es con la cual se establece un flujo de energía entre módulos. Los más frecuentes son alimentación eléctrica, aire comprimido, flujo hidráulico y en este caso es manual.
  - **Interfaz de materiales**, es la que establece un flujo de material entre los módulos. Por ejemplo alimentación de materia prima, retiro de piezas terminadas.
  - **Interfaz de señal**, es la que establece un flujo de señal entre los módulos.<sup>6</sup>

### 1.3.1 DIAGRAMAS FUNCIONALES.

La aplicación de esta metodología permite identificar dos tipo de funciones: las primarias y secundarias estas se interrelacionan mediante una propuesta dentro de los diagramas.

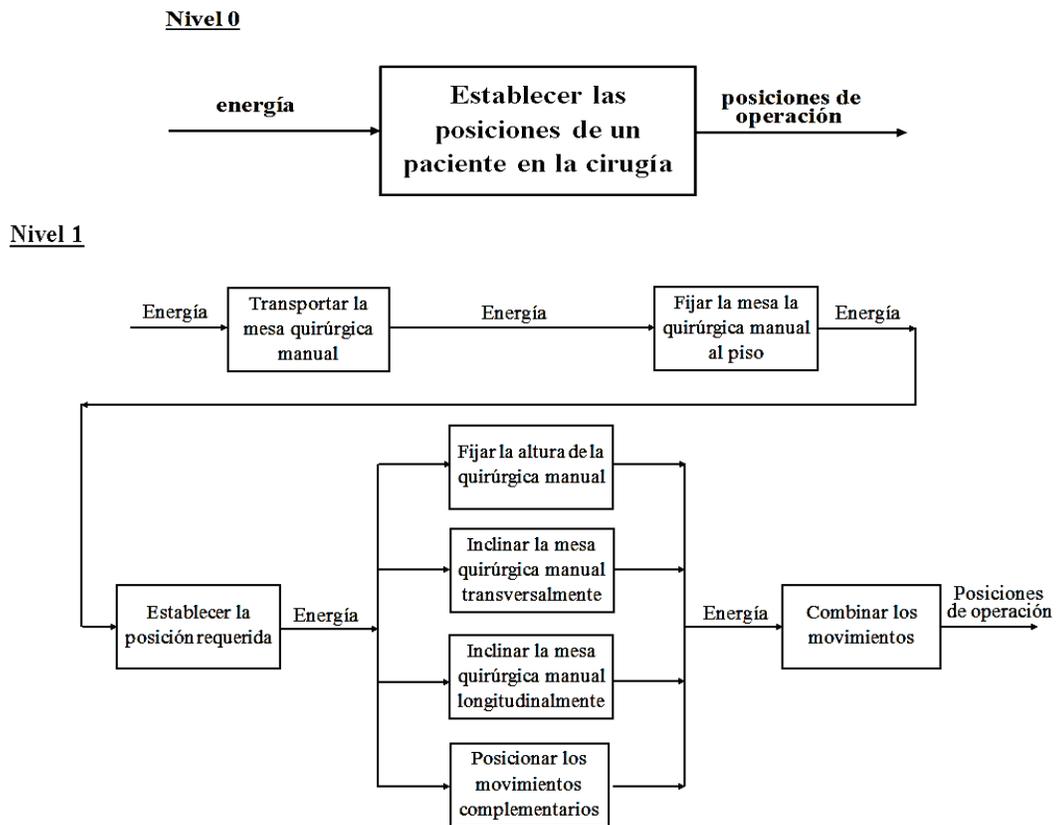
Las funciones primarias son los requerimientos y necesidades del cliente, que en este caso puntal se trata de una mesa quirúrgica, la cual debe posicionar de una manera predeterminada al paciente durante las intervenciones quirúrgicas según las necesidades específicas. Las funciones secundarias en cambio son aquellas que permiten que las funciones primarias se ejecuten de manera eficiente y deben

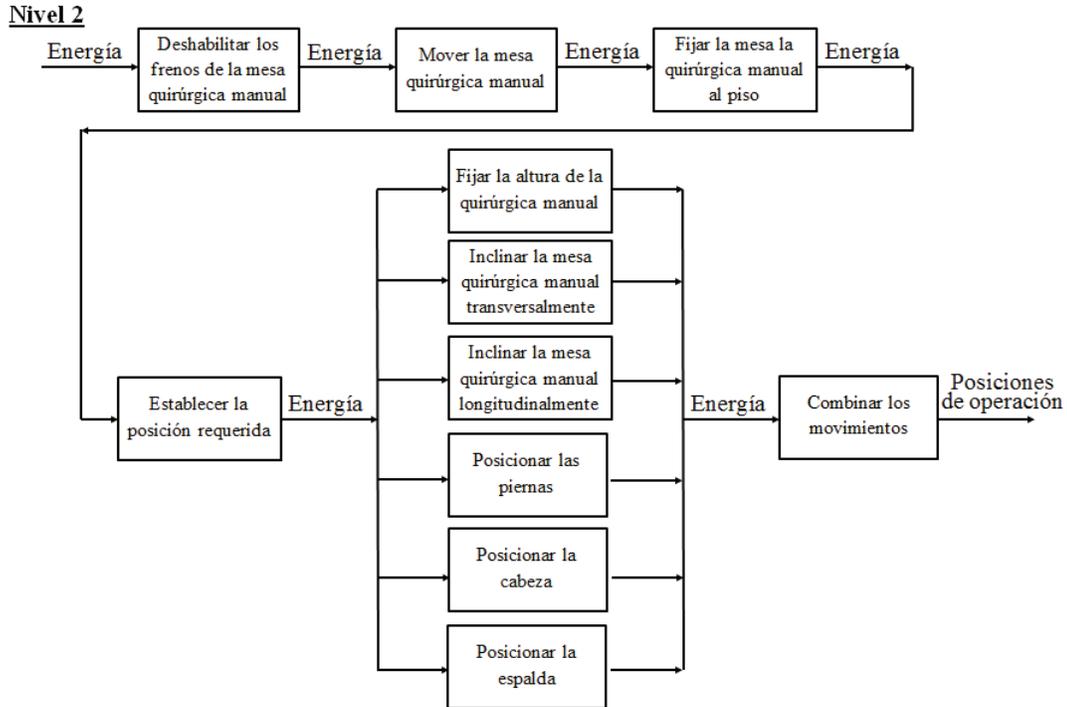
---

<sup>6</sup> RIBA, Carles, Diseño Concurrente, España 2002, p.121.

ser analizadas mediante los diagramas funcionales de tal manera que logren complementar las necesidades de la mejor manera.

En la figura 1.9 se describen los diagramas funcionales de la mesa quirúrgica manual, desde el Nivel 0 hasta el Nivel 2 en el cual se determinan los requerimientos necesarios para lograr obtener las posiciones quirúrgicas.





**Figura. 1.9** Diagramas de nivel 0, 1 y 2 de la mesa quirúrgica manual.

### 1.3.2 ANÁLISIS DE LOS DIAGRAMAS FUNCIONALES

Según el *análisis funcional* el diagrama tiene un Nivel 2, ya que al desarrollar un mayor despliegue de funciones introduce implícitamente las soluciones. En la mesa quirúrgica no se aplica ningún sistema de control debido a que el movimiento es producido manualmente, por lo que se desestima del proceso los flujos de señales en la obtención de los diagramas funcionales.

En el Nivel 0, se presenta la función principal, la cual es la encargada de “Establecer las posiciones del paciente en la cirugía”, que representa la especificación requerida que entrega el cliente en base a sus necesidades.

En el Nivel 1, se especifica de manera general las funciones y procesos que se van a realizar, para la obtención de las posiciones necesarias durante la cirugía.

En el Nivel 2, se describe los diferentes movimientos de una manera específica que se deben obtener con la mesa quirúrgica.

### 1.3.3 DEFINICIÓN DE MÓDULOS

Los productos modulares son aquellos que están organizados según una estructura de diversos bloques constructivos, orientada a ordenar e implementar las distintas funciones y a facilitar las operaciones de composición del producto.<sup>7</sup>

Para realizar la división modular se debe partir del diagrama funcional de Nivel 2 (figura 1.10), el cual presenta en su análisis todos los movimientos de la mesa quirúrgica manual dando énfasis importante en las interfaces de los flujos energéticos y de material.

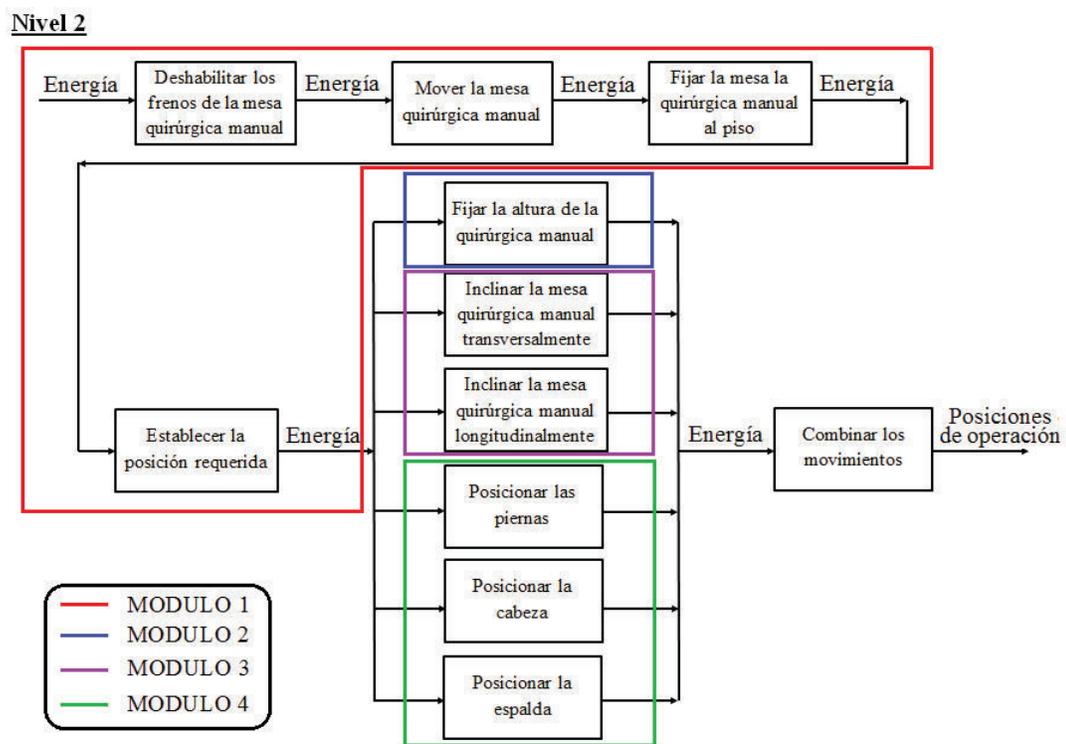


Figura. 1.10 Diagrama modular de la mesa quirúrgica manual.

Después de realizar el diagrama modular se obtienen cuatro *módulos*, los cuales son relacionados por sus movimientos que estos generan o por la complementariedad entre ellos.

### 1.3.4 ANÁLISIS MODULAR

<sup>7</sup> RIBA, Carles, Diseño Concurrente, España 2002, p.121

A continuación se establecen las funciones de cada módulo de la mesa quirúrgica manual, estos son agrupados de manera que tengan semejanzas en su principio de funcionamiento. Este tipo de agrupación da como resultado que las soluciones propuestas sean compatibles o mejoren indirectamente a otra parte que conforma el módulo.

**Módulo 1 o Módulo de Estabilidad.-** Permite establecer el movimiento principal de la mesa para trasladar al paciente, la misma posee la facilidad de desplazamiento por el espacio de la sala de cirugía y además se puede movilizar en el exterior de esta hacia una sala post-operatoria.

También se debe obtener una fijación segura de la mesa quirúrgica con respecto al piso, debido a la posibilidad de movimientos involuntarios que puedan provocar desplazamientos no deseados durante la operación.

**Módulo 2 o Módulo de desplazamiento.-** El prototipo posee varios movimientos pero uno fundamental es la regulación de altura. Esta variación depende de la operación que se va a realizar así como el grado de complejidad de la misma, tomando en cuenta que la cirugía puede demorar varias horas, además de que existe la posibilidad de que intervengan varios especialistas.

**Módulo 3 o Módulo de inclinación.-** Permite generar un movimiento de inclinación en sentido longitudinal y transversal de la parte superior de la mesa por lo que esta posición es difícil de obtener.

En la tabla 1.1 se puede observar de manera gráfica los movimientos de los módulos uno, dos y tres.

<b>MÓDULO DE DESPLAZAMIENTO</b>	
Vista Frontal	
Posición Inicial	Posición de desplazamiento

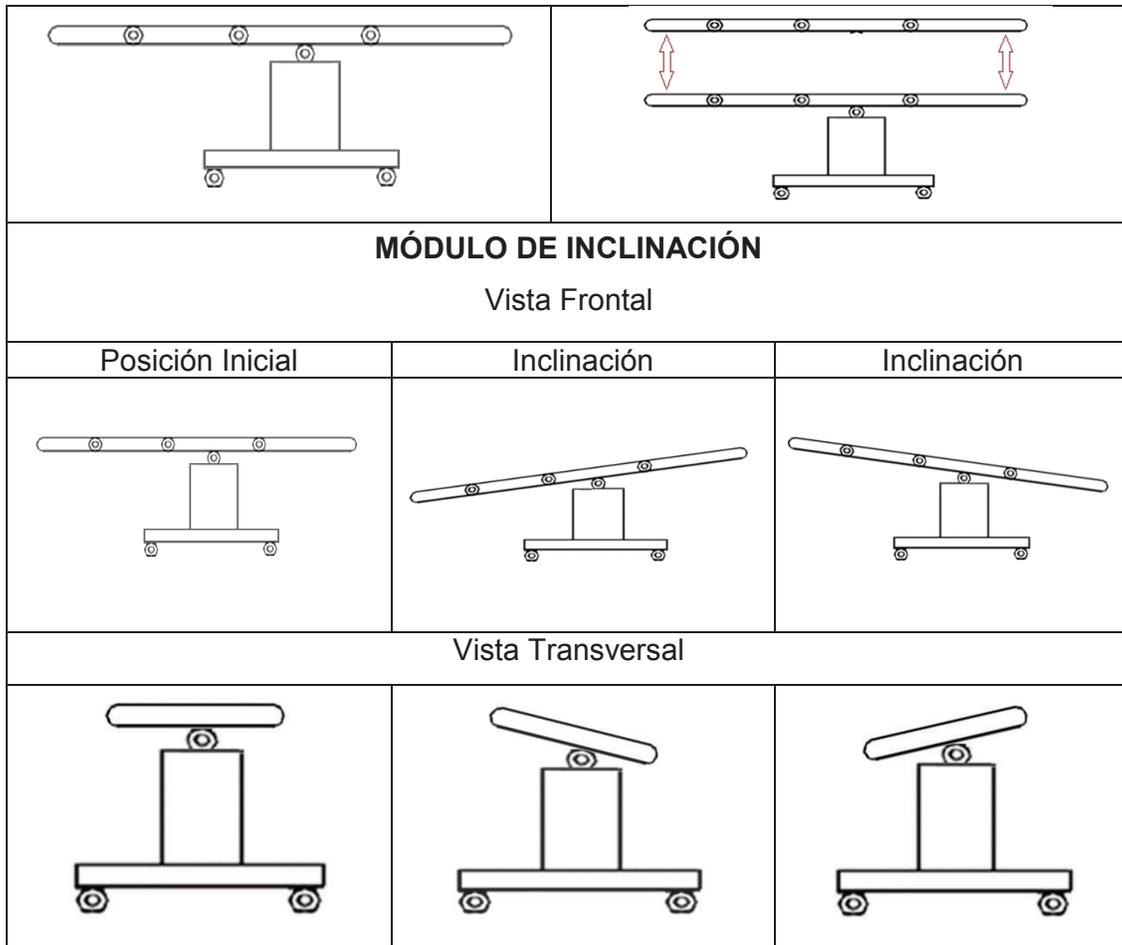


Tabla 1.1 Descripción gráfica de los módulos.

**Módulo 4 o Módulo de Regulación.-** Permite generar movimientos adicionales para efectuar la cirugía, los cuales dependen directamente del tipo de operación. Estas combinaciones se complementan con los movimientos del módulo 3, en unión de estos dos módulos se logra conseguir las 11 posiciones establecidas o requeridas en la medicina. Este módulo posee tres sistemas los cuales son: la cabeza, torso y piernas, el principio de funcionamiento es similar solo varía el rango de movimiento, el módulo de las piernas es el más crítico por su rango de accionamiento que va desde  $0^\circ$  a  $-90^\circ$ .

## **2. CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DEL DISEÑO ORIGINAL.**

En el presente capítulo se evalúa la mesa quirúrgica manual que se encuentra construida actualmente, esto permite obtener la información precisa de los elementos que componen el actual prototipo, para posteriormente tomar una decisión acerca de los mecanismos y estructuras que no cumplan con las especificaciones requeridas por el cliente y proceder al rediseño en donde sea conveniente.

### **2.1 METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN.**

Para evaluar los módulos del diseño original se realizan las pruebas con el fin de obtener las posiciones quirúrgicas descritas en el capítulo I. A continuación se describe la metodología que se va a utilizar para la evaluación del prototipo.

#### **2.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA.**

En este ítem se describen las diferentes actividades que se realizan durante la evaluación de cada módulo, para complementar esta información se adjunta un esquema que permite visualizar de mejor manera dichas actividades.

Además se enumeran los módulos que están involucrados durante la prueba para saber qué elementos intervienen durante los movimientos y de esta manera identificar cuáles no cumplen con las especificaciones técnicas.

### 2.1.2 RECURSOS DE LA PRUEBA.

En la tabla 2.1 se enumeran los recursos necesarios para la medición, para cada caso se debe especificar los valores de tolerancia para obtener la incertidumbre de la medición, en esta tabla se describe además los “*recursos de la prueba*” los cuales describen las necesidades de cada prueba (carga, superficie de prueba), con el fin de saber los requerimientos antes de comenzar la evaluación.

Además se adjunta los nombres de los responsables de la prueba así como también de la persona que realiza la supervisión durante las mediciones, con el fin de que cada evaluación se ejecute con la mayor imparcialidad.

En la tabla 2.1, se registra de manera ordenada los valores obtenidos y con toda la información necesaria:

Evaluación del Prototipo			
Responsable:		Supervisor:	
Instrumentos de medición		Recursos de prueba	
Descripción	Tolerancia	Recurso	Medida

**Tabla 2.1.** Tabla de evaluación de modularidad.

### 2.1.3 PROCESAMIENTO DE DATOS.

Este ítem se llena la tabla 2.3 con los valores y las referencias de cada medición en el correspondiente módulo. La tabla 2.2 es un formato donde se ubicarán las medidas con el fin de ayudar a una mejor tabulación de las pruebas:

- a) **Toma de mediciones.**- En la tabla 2.2 se describe en que módulo se realiza la prueba, y mediante formulación en una hoja de caculo de Excel se obtienen los

promedios ponderados de cada medida. En la columna de “referencia” se indica el punto inicial de la medida.

<b>Evaluación del Prototipo</b>						
Responsable:		Supervisor:			Módulo:	
Movimiento:						
Referencia	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Total

**Tabla 2.2.** Tabla 1 de procesamiento de datos.

**b) Evaluación Final.-** En la tabla 2.3 se realiza la comparación entre los valores obtenidos durante la prueba y los valores requeridos durante las intervenciones quirúrgicas establecidas ya en el capítulo 1. Durante el procesamiento de datos se transcriben en la columna denominada “medida realizada” el valor obtenido de la tabla 2.2 luego de su respectiva ponderación, mientras que en la columna “medida esperada” se coloca la medida que se requiere según las posiciones indicadas en el capítulo 1; con la valoración entre estas dos medidas se obtienen el porcentaje de aceptación de cada mecanismo que conforma el módulo.

<b>EVALUACION DEL PROTOTIPO</b>				
<b>Módulo Uno o módulo de estabilidad</b>				
<b>Descripción de Evaluación</b>	<b>Parámetros de medida</b>	<b>Medida realizada</b>	<b>Medida esperada</b>	<b>Porcentaje de cumplimiento</b>
<b>Promedio General</b>				

**Tabla 2.3.** Tabla 2 de procesamiento de datos.

#### **2.1.4 CONCLUSIONES**

Para finalizar con la evaluación se describe las conclusiones que sean necesarias para interpretar los valores numéricos obtenidos durante la evaluación.

## **2.2 EVALUACIÓN MODULAR**

A continuación se procede con la evaluación de cada módulo que compone la mesa quirúrgica manual:

### **2.2.1 MÓDULO 1**

También denominado como “módulo de estabilidad”, es decir en este se genera el movimiento de traslación de la mesa dentro de la sala de operaciones; se toma como referencia una sala de 100m<sup>2</sup>.

#### **2.2.1.1 Descripción de la prueba del módulo 1**

El módulo 1 permite mover de forma lineal y transversal a toda la mesa quirúrgica manual, esta característica se debe evaluar con un peso similar al de una persona sobre el prototipo, así mismo dicho módulo es el encargado de fijar de forma segura toda la estructura contra el piso, lo cual garantiza que los demás movimientos se realicen de forma segura.

En la figura 2.1 se muestra de manera gráfica la dirección de las fuerzas aplicadas, así como los movimientos a los que se somete la mesa quirúrgica manual para la evaluación. También se muestra un punto de referencia desde donde se toma la medida.

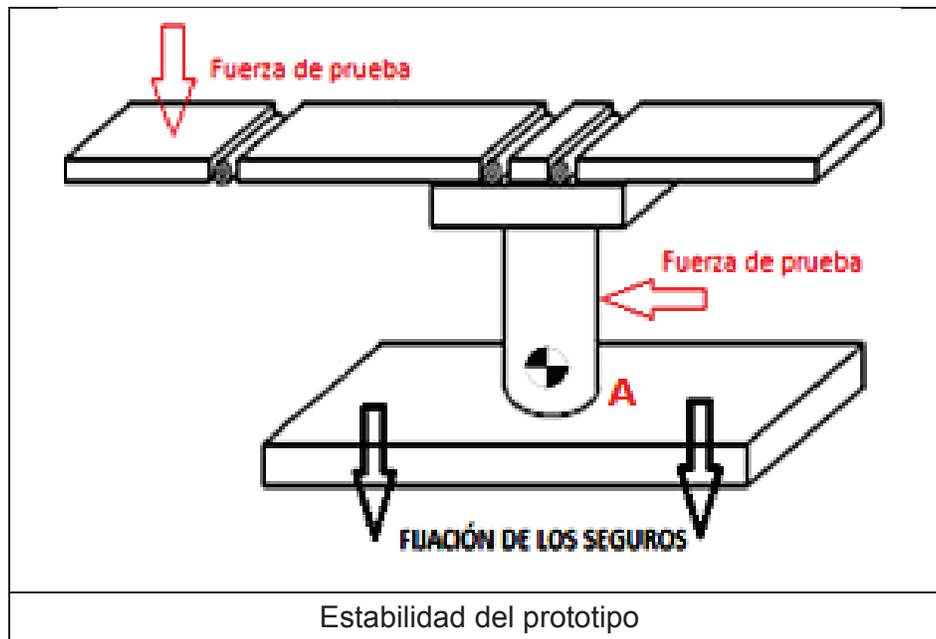


Figura. 2.1. Esquema de evaluación del Módulo 1.

Definiciones utilizadas durante la prueba:

- **Activación de los seguros de estabilidad:** Deben ser accionados por una sola persona, por lo que su maniobrabilidad debe ser la adecuada.
- **Estabilidad de los seguros:** Los seguros deben soportar una fuerza aplicada sin que estos se desactiven.
- **Fuerza de prueba 1:** Se ejerce una fuerza de 80 N en el módulo de la cabeza, esto permite simular la fuerza aplicada de manera accidental por el personal médico.
- **Fuerza de prueba 2:** Se ejerce una fuerza transversal de 80 N sobre toda la mesa, esto permite simular la fuerza aplicada de manera accidental por el personal médico.

### 2.2.1.2 Recursos de la prueba del módulo 1.

A continuación e la tabla 2.4 se detalla los recursos para la prueba del módulo 1.

<b>Evaluación del Prototipo</b>
---------------------------------

Responsable: Ing. Rivera; Sarango		Supervisor: Ing. Pérez	
<b>Instrumentos de medición</b>		<b>Recursos de prueba</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Tolerancia</b>	<b>Recurso</b>	<b>Medida</b>
Balanza	$\pm 5 \text{ Kg}$	Área de prueba	100 m <sup>2</sup>
Torquímetro	$\pm 2 \text{ N} - \text{m}$	Masa	82 kg

**Tabla 2.4.** Tabla de recursos del módulo 1.

### 2.2.1.3 Procesamiento de datos del módulo 1

La referencia de todas las medidas es desde un extremo del área de operación hasta el punto A. En la tabla 2.5 se colocan los valores obtenidos durante la prueba:

<b>Evaluación del Prototipo</b>						
Responsable: Rivera; Sarango		Supervisor: Ing. Pérez			Módulo:1	
<b>Movimiento:</b> Activación de los seguros						
Referencia	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Total
Pernos	18 N-m	17 N-m	18 N-m	18 N-m	17 N-m	17,6 N-m
<b>Movimiento:</b> Estabilidad de los seguros						
Fuerza de prueba 1	80 N	85 N	87 N	81 N	82 N	83 N
Fuerza de prueba 2	80 N	85 N	84 N	81 N	88 N	83,6 N

**Tabla 2.5.** Tabla de procesamiento de datos del módulo 1.

Con los resultados obtenidos en la tabla 2.5 se completa la información de la tabla 2.6.

<b>EVALUACION DEL PROTOTIPO</b>				
<b>Módulo Uno</b>				
<b>Descripción de Evaluación</b>	<b>Parámetros de medida</b>	<b>Medida realizada</b>	<b>Medida esperada</b>	<b>Porcentaje de cumplimiento</b>
Activación de los seguros	Fuerza de activación	17,6 N-m	10 N-m	76%
Estabilidad de los seguros	Fuerza de prueba 1	83 N	80 N	100%
Estabilidad de los seguros	Fuerza de prueba 2	83,6 N	80 N	100%
<b>Promedio General</b>				<b>94,7%</b>

**Tabla 2.6.** Tabla del procesamiento de datos del módulo 1.

#### **2.2.1.4 Conclusiones del módulo 1.**

El módulo de estabilidad trabaja con un rendimiento medio del 94,7%, sin embargo en la activación de los seguros existe un inconveniente debido a que no se adaptado de una buena manera el elemento de accionamiento, por lo que este podría intervenir para aumentar su rendimiento.

#### **2.2.2 MÓDULO 2.**

Denominado también “módulo de desplazamiento”, debido a que este genera un movimiento perpendicular de la parte superior del prototipo con referencia al piso, para mejorar la comodidad del cirujano.

##### **2.2.2.1 Descripción de la prueba del módulo 2.**

Durante la prueba del módulo de desplazamiento se mide el avance entre la superficie de referencia (piso) y la parte superior de la mesa quirúrgica. Mientras se realiza la evaluación de este módulo se coloca un peso distribuido similar al de

una persona recostada sobre el prototipo ya que este parámetro genera la condición más crítica.

Los puntos de referencia C, D, E, F, miden el paralelismo entre el piso y la parte superior de la mesa, esta medida se toma en cuatro puntos de la plancha que sostiene al módulo de los glúteos con el fin de saber si el movimiento se produjo uniformemente.

A continuación se muestra un esquema del accionamiento de las fuerzas y los movimientos que se describen para la evaluación del módulo 2.

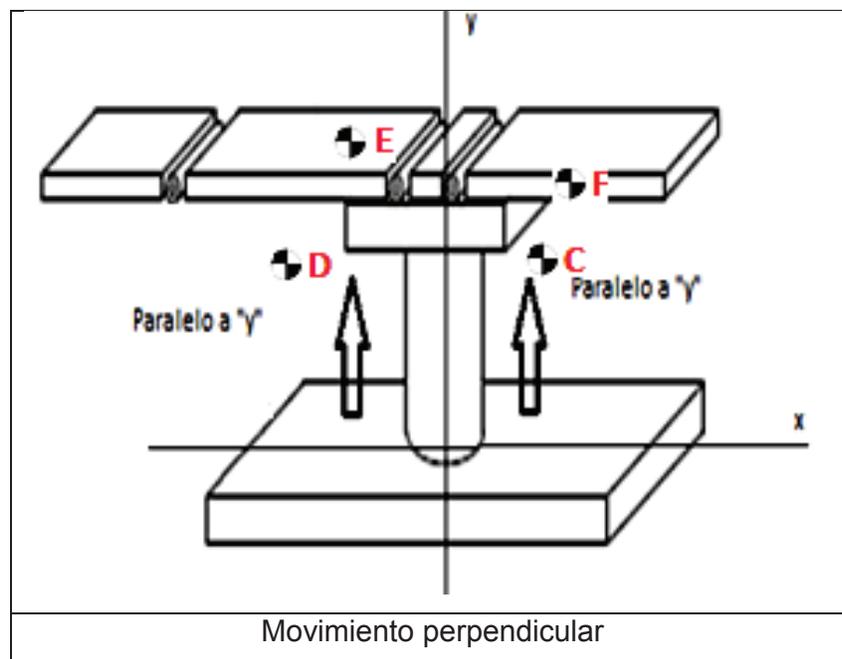


Figura. 2.2. Evaluación del Módulo 2.

Definiciones utilizadas durante la prueba:

- **Movimiento perpendicular:** Este movimiento indica el desplazamiento que realiza la mesa quirúrgica de manera perpendicular con respecto al piso.

### 2.2.2.2 Recursos de la prueba del módulo 2

Durante la evaluación se procede a llenar la tabla 2.7 con los recursos utilizados para la evaluación del módulo 2 así se establece los siguientes requerimientos:

Evaluación del Prototipo			
Responsable: Ing. Rivera; Sarango		Supervisor: Ing. Pérez	
Instrumento de medición		Recursos de prueba	
Descripción	Tolerancia	Recurso	Medida
Flexómetro	$\pm 0,5 \text{ m. m.}$	Masa	80 kg

Tabla 2.7. Tabla de prueba del módulo 2.

### 2.2.2.3 Procesamiento de datos del módulo 2

En la tabla 2.8 se muestra las medidas que se ha realizado para poder establecer los movimientos de la mesa:

Evaluación del Prototipo						
Responsable: Ing. Rivera; Sarango		Supervisor: Ing. Pérez			Módulo:1	
Movimiento: Movimiento perpendicular en la parte superior						
Referencia	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Total
Punto C	120,4cm.	125,1cm.	115 cm.	123,4cm.	122,5cm.	121,4cm.
Punto D	119,5cm.	122,6cm.	111,7cm.	118,3cm.	118,2cm.	117,6cm.
Punto E	119,2cm.	120,5cm.	112,7cm.	115,3cm.	119,1cm.	117,2cm.
Punto F	121,3cm.	126,5cm.	115,4cm.	120,2cm.	120,1cm.	120,4cm.
Movimiento: Movimiento perpendicular en la parte inferior						
Punto C	82,5 cm.	85,2 cm.	84,1 cm.	86 cm.	89,1 cm.	85,38cm.
Punto D	84,2 cm.	83,5 cm.	85,6 cm.	88,2 cm.	87,8 cm.	85,8 cm.

Punto E	85,1 cm.	83,1 cm.	87,7 cm.	88,2 cm.	88,8 cm.	86,58cm.
Punto F	82,3 cm.	86,9 cm.	86,6 cm.	85,3 cm.	89,7 cm.	86,12cm.

**Tabla 2.8.** Tabla 1 de procesamiento de datos del módulo 2.

Con los resultados obtenidos en la tabla 2.8 se completa la información de la tabla 2.9, y se muestra el resultado de la evaluación del módulo de desplazamiento.

<b>EVALUACION DEL PROTOTIPO</b>				
<b>Módulo dos</b>				
<b>Descripción de Evaluación</b>	<b>Parámetros de medida</b>	<b>Medida realizada</b>	<b>Medida esperada</b>	<b>Porcentaje de cumplimiento</b>
Movimiento perpendicular	Parte superior	119,15 cm	130 cm.	90,1%
Movimiento perpendicular	Parte inferior	85,97 cm.	70 cm.	81,42%
<b>Promedio General</b>				<b>86,21%</b>

**Tabla 2.9.** Tabla 2 del procesamiento de datos del módulo 2.

#### **2.2.2.4 Conclusiones del módulo 2.**

En este módulo se obtiene un rendimiento del 86,21%, por lo que el rediseño del prototipo se debe enfocar en las guías, pues el movimiento perpendicular es directamente dependiente de este sistema y al no funcionar bien este sistema repercute en el rendimiento del módulo.

#### **2.2.3 MÓDULO 3.**

Denominado “módulo de inclinación” por los movimientos angulares que generan para lograr posiciones específicas de la parte superior de la mesa durante la cirugía.

### 2.2.3.1 Descripción de la prueba del módulo 3.

Para esta evaluación los componentes del módulo 4 deben girar en sentido positivo y negativo sobre los ejes x, z, de manera individual o simultaneo. Como resultado de los movimientos antes mencionados existe la posibilidad de que se produzca una rotación no deseada denominada “vuelco” por lo que está también debe ser valorada.

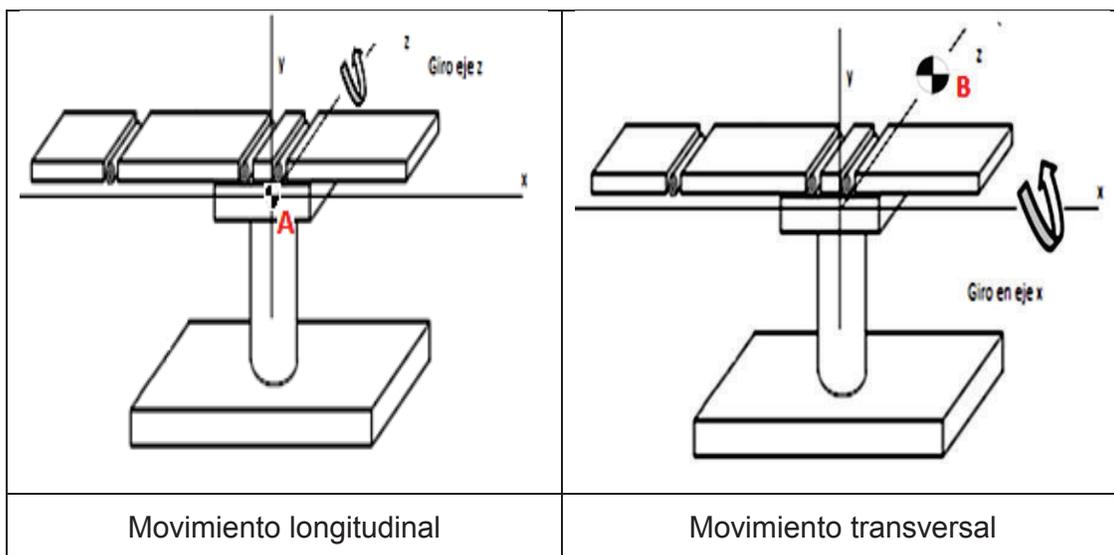


Figura. 2.3. Evaluación del Módulo 3.

Definiciones utilizadas durante la prueba:

- **Movimiento longitudinal:** La evaluación consta de dos aspectos, que se deben evaluar al momento del análisis mecánico. El primero es el movimiento angular del módulo 4, el cual tiene un rango ya definido por las posiciones operatorias, mientras que el segundo es la estabilidad que posee la mesa con respecto a una fuerza ejercida que provocaría un vuelco.

- **Movimiento transversal:** Este movimiento consta de dos partes que deben ser evaluados. El primero es el movimiento angular que posee de manera transversal todo el módulo 4, el mismo que tiene definido su rango para las posiciones operatorias. La segunda parte está referida a la estabilidad que debe poseer la mesa para que no exista un vuelco.

Los parámetros de medición son los siguientes:

- **Movimiento y Estabilidad longitudinal:** Los dos parámetros que se necesitan para la evaluación son: para el movimiento angular se debe tener un rango de movimiento de  $\pm 20^\circ$  respecto a su eje.  
Esta evaluación se la realiza con una persona ubicada en la parte superior de la mesa, mientras que el movimiento mecánico debe ser generado por una sola persona.
- **Movimiento y Estabilidad transversal:** Debido a la similitud del movimiento se toman los parámetros anteriores.

### 2.2.3.2 Recursos de la prueba del módulo 3

Para conocer los requerimientos necesarios antes de la prueba se completa la tabla 2.10.

Evaluación del Prototipo			
Responsable: Ing. Rivera; Sarango		Supervisor: Ing. Pérez	
Instrumentos de medición		Recursos de prueba	
Descripción	Tolerancia	Recurso	Medida
Goniómetro	$\pm 0,2^\circ$	Masa	82 kg. aprox.
Nivel	No aplica		

Tabla 2.10. Tabla de recursos del módulo 3.

### 2.2.3.3 Procesamiento de datos del módulo 3.

En la tabla 2.11, se coloca los valores obtenidos durante la prueba que son:

<b>Evaluación del Prototipo</b>						
Responsable: Ing. Rivera; Sarango			Supervisor: Ing. Pérez		Módulo:3	
<b>Movimiento:</b> Movimiento longitudinal en la parte superior						
Referencia	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Total
Punto A	18,2°	17°	19,3°	18°	17,5°	18°
Punto A	-20,1°	-21,2°	-20,2°	-19,4°	-18,3°	-19,84°
<b>Movimiento:</b> Movimiento longitudinal en la parte inferior						
Punto A	13,4°	12,3°	12,1°	13,5°	14,5°	13,16°
Punto A	-20,1°	-21,2°	-20,2°	-19,4°	-18,3°	-19,80°
<b>Movimiento:</b> Movimiento transversal en la parte inferior						
Punto B	15,3°	16,2°	14,7°	15,6°	15,5°	15°
Punto B	-17,3°	-17,2°	-18,8°	-18,4°	-18,1°	-18,3°
<b>Movimiento:</b> Movimiento transversal en la parte superior						
Punto B	18,6°	18,5°	19,3°	19,6°	18,1°	18,82°
Punto B	-19,5°	-19,4°	-18,9°	-19,1°	-19,8°	-19,32°

**Tabla 2.11.** Tabla 1 de procesamiento de datos del módulo 3.

Obteniendo los resultados de la evaluación del módulo de inclinación, como indica la tabla 2.12, se obtiene:

<b>EVALUACION DEL PROTOTIPO</b>				
<b>Módulo tres</b>				
Descripción de Evaluación	Parámetros de medida	Medida realizada	Medida esperada	Porcentaje de cumplimiento
Movimiento longitudinal	Parte superior	18° +19,84°	20° -20°	90,1%
Movimiento	Parte inferior	13,16°	20°	81,42%

longitudinal		-19,80	-20°	
Movimiento transversal	Parte superior	15° -13,86	20° -20°	88,17%
Movimiento transversal	Parte inferior	18,82° -19,32	20° -20°	83,33%
Movimiento transversal	Vuelco	SI	NO	0%
<b>Promedio General</b>				59,49%

**Tabla 2.12.** Procesamiento de datos del módulo 3.

#### **2.2.3.4 Conclusiones del módulo 3.**

El rendimiento de este módulo es de 59,49%, el problema principal radica en que existe una interferencia con las guías del módulo 2, lo que provoca que no se alcance las medidas necesarias para las posiciones operatorias; además al momento de realizar la prueba se produce el vuelco al realizar en los movimientos. Por ello se requiere el rediseño de todos los componentes de este módulo.

#### **2.2.4 MÓDULO 4.**

Este módulo contiene a tres movimientos similares en su principio de funcionamiento que da origen a las posiciones quirúrgicas. Al ser estos movimientos semejantes se adoptan los mismos criterios de evaluación en los tres mecanismos.

Durante la valoración de estos componentes mecánicos existe una mayor probabilidad de interferencia con el resto de módulos debido a los desplazamientos que se genera.

##### **2.2.4.1 Descripción de la prueba del módulo 4.**

Para realizar la evaluación se coloca a una persona sobre el módulo 4, así se logra asemejar la fuerza ejercida durante una cirugía. El accionamiento de los mecanismos debe ser realizado por una persona para lo cual se ha establecido que el torque debe ser menor a 28 N- m.

El plano horizontal A, marca desde donde se toma la medida de las variaciones angulares de las articulaciones que permiten el movimiento de la cabeza, espalda y las piernas del paciente.

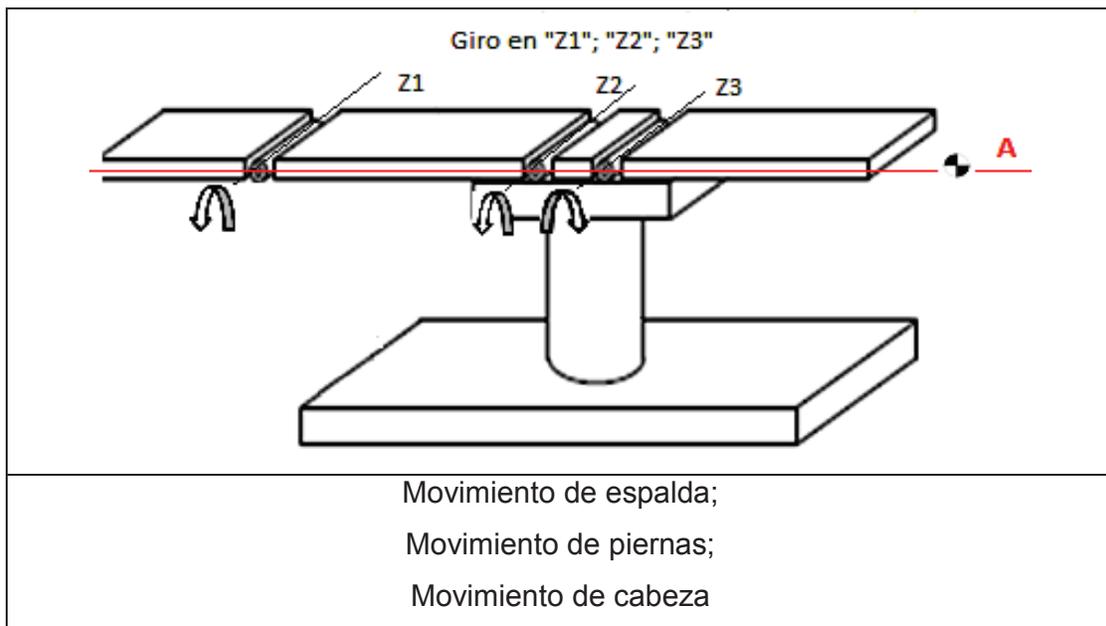


Figura. 2.4. Evaluación del Módulo 4.

A continuación se realiza la descripción de la evaluación:

- **Movimiento de espalda:** A más de tener la capacidad de giro en la articulación de la mesa quirúrgica, este sistema debe ser lo suficientemente estable para soportar el peso de la espalda del paciente.
- **Movimiento de piernas:** La característica principal de este mecanismo es que el rango de giro debe ser amplio.
- **Movimiento de cabeza:** Permite obtener un mejor confort durante y después de la cirugía.

A continuación se describe los parámetros de evaluación:

- **Graduación de la espalda:** La variación angular va desde los 130° hasta los 225°.
- **Graduación de las piernas:** Este movimiento va desde -90° hasta los 10°.
- **Graduación de cabeza:** Este debe poseer una graduación desde los 175° hasta 200°, con una gran precisión.

#### 2.2.4.2 Recursos de la prueba del módulo 4

En la tabla 2.13 se llena los elementos necesarios para la prueba, con el fin de tenerlos durante todo el proceso de la misma.

Evaluación del Prototipo			
Responsable: Ing. Rivera; Sarango		Supervisor: Ing. Pérez	
Instrumentos de medición		Recursos de prueba	
Descripción	Tolerancia	Recurso	Medida
Goniómetro	$\pm 0,2^\circ$	Masa	82 kg. aprox.
Torquímetro	$\pm 2 N - m$		

Tabla 2.13. Tabla de recursos del módulo 4.

#### 2.2.4.3 Procesamiento de datos del módulo 4.

En la tabla 2.12 se muestra los valores numéricos de cada una de las medidas que se han realizado para poder establecer los movimientos de este módulo:

Evaluación del Prototipo						
Responsable: Ing. Rivera; Sarango			Supervisor: Ing. Pérez		Módulo:4	
<b>Movimiento:</b> Movimiento de espalda						
Referencia	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Total
Eje A	130,3°	128,6°	128,5°	129°	128,5°	128,98°
Eje A	225,3°	226,9°	225,4°	226,2°	225°	225,76°

<b>Movimiento: Movimiento piernas</b>						
Eje A	8,2°	8,5°	8,5°	8,2°	8,5°	8,38°
Eje A	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°
<b>Movimiento: Movimiento cabeza</b>						
Eje A	175,3°	176°	175,7°	175,4°	175,5°	175,58°
Eje A	270°	270°	270°	270°	270°	270°

**Tabla 2.14.** Tabla 1 de procesamiento de datos del módulo 4.

Obteniendo los resultados de la tabla 2.14 se procede a completar la tabla 2.15 y se obtiene:

<b>EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO</b>				
<b>Módulo cuatro</b>				
<b>Descripción de Evaluación</b>	<b>Parámetros de medida</b>	<b>Medida realizada</b>	<b>Medida esperada</b>	<b>Porcentaje de cumplimiento</b>
Movimiento de espalda	Progresión de espalda	128,98° 225,76°	130° 225°	48,67,1%
Movimiento de piernas	Graduación de las piernas	8,38° -90°	10° -90°	81,52%
Movimiento de cabeza	Graduación de cabeza	175,58° 270°	175° 200°	73,92%
<b>Promedio General</b>				69,71%

**Tabla 2.15** Tabla 2 de procesamiento de datos del módulo 4.

#### 2.2.4.4 Conclusión del Cuarto Módulo

Al realizar el análisis del módulo 4 se obtiene un rendimiento de 69,71%. La dificultad principal es que los sistemas de la cabeza y piernas tienen un avance por pasos y no es constante, por lo que los mecanismos serán rediseñados en su totalidad.

El movimiento de la espalda si genera la variación angular solicitada para las posiciones operatorias, pero no tiene la estabilidad necesaria para que el paciente se encuentre de manera segura.

### **3. CAPITULO 3: SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**

En el presente capítulo se realiza la “Selección de Alternativas”, las cuales deben estar encaminadas hacia la mejora del funcionamiento del prototipo actual. Para esto se desarrolla el *Criterio de Residuos Ponderados*, que matemáticamente permite encontrar la mejor solución para cada módulo.

Para complementar el estudio se coloca un informe escrito y fotográfico que permite conocer los mecanismos que actualmente están instalados y las posibles soluciones.

Al ser el diseño mecánico un proceso iterativo, como parte final se evalúa los mecanismos construidos utilizando la metodología descrita en el capítulo 2, para saber si hubo una mejora en su rendimiento.

#### **3.1 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS**

Para comenzar con el análisis de las alternativas se debe describir los elementos del prototipo actual que van a ser rediseñados considerando el principio de funcionamiento descrito en el capítulo anterior.

DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS		
a.) → Módulo Uno		
Función del elemento	Elemento Actual	Alternativas
b.)	c.)	d.)

Tabla 3.1. Descripción de alternativas.

En la tabla 3.1 se describen los siguientes parámetros:

- a) Módulo a evaluar.
- b) Se describe la función que realiza el elemento.
- c) Elemento que está instalado en el prototipo actual.
- d) Alternativas que van a mejorar en la mesa quirúrgica.

Con este análisis se obtiene toda la información técnica que se requiere de cada elemento, además se adjunta imágenes de prediseño con el fin de obtener el mejor concepto de las posibles soluciones.

## 3.2 PLANTEAMIENTO DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

Para poseer un criterio de evaluación es conveniente realizar un análisis por separado a cada solución dentro de su funcionamiento, es decir saber las ventajas y desventajas de cada mecanismo. Al plantear estas características se toma en cuenta los criterios del personal médico con el fin de interpretar sus necesidades.

### 3.2.1 ALTERNATIVAS DEL MÓDULO 1.

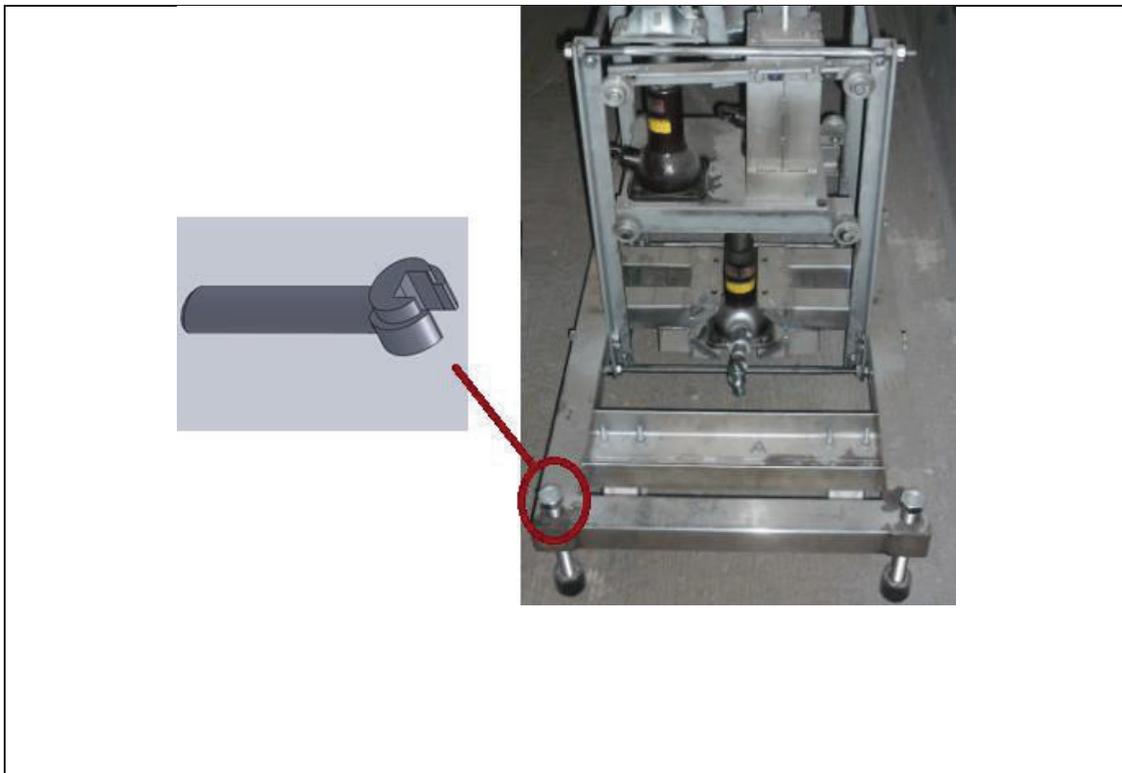
En el primer módulo se consigue una mayor facilidad durante el accionamiento de los seguros que inmovilizan la mesa quirúrgica manual con respecto a la sala de operaciones, para lo cual se busca soluciones que permitan tener una mayor superficie de contacto entre el piso y el mecanismo de accionamiento. En la tabla 3.2a se muestran las alternativas que mejoran este sistema.

<b>DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS</b>		
<b>Módulo Uno</b>		
<b>Función del elemento</b>	<b>Elemento Actual</b>	<b>Alternativas</b>
<b>Activación de los seguros de fijación.</b> - Este elemento debe ser capaz de accionar los seguros de manera rápida.	Llave inglesa (de pico)	<b>1.1.1)</b> Llave de palanca
		<b>1.1.2)</b> Volante circular
		<b>1.1.3)</b> Llave tipo racha

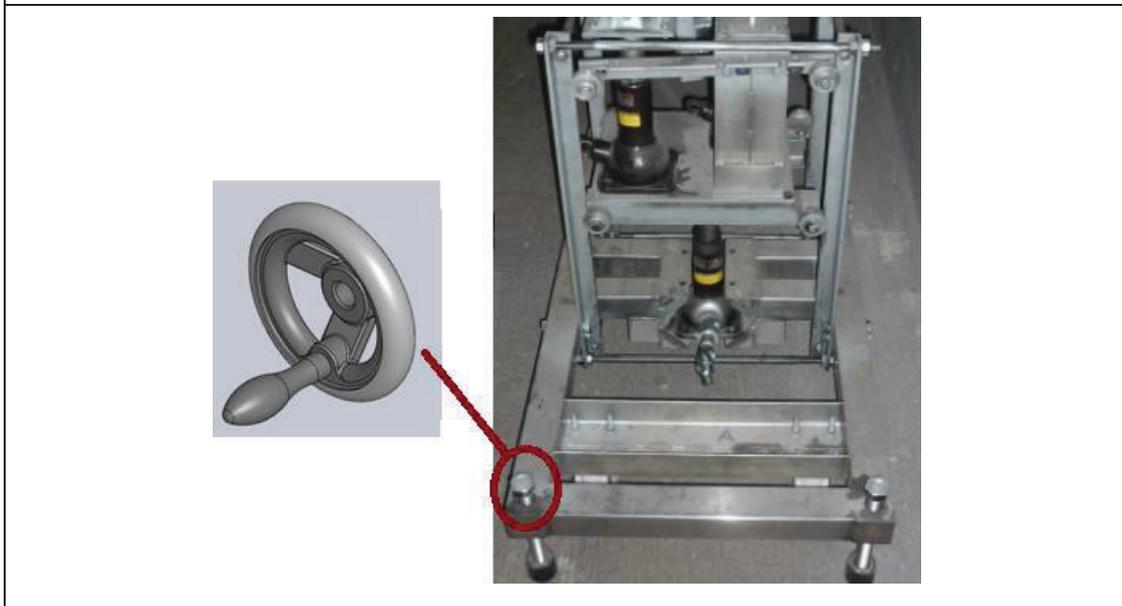
**Tabla 3.2a.** Descripción de alternativas de módulo 1.

En la tabla 3.2b se describen cada una de las alternativas en conjunto con la descripción de su funcionamiento.

<b>ALTERNATIVAS DEL MÓDULO UNO</b>
<b>Llave de palanca.</b> - Permite girar el perno con mayor facilidad, la llave se acopla en dos caras de la tuerca y posee una mayor estabilidad en el ajuste.



**Volante circular.-** Es un elemento mecánico de forma circular, que tiene un agujero en el centro el mismo que se acopla al eje para transmitir la fuerza aplicada. El agujero se mecaniza con la geometría del perno para que se acople de manera directa y transmita la fuerza mediante toda la superficie periférica del perno.



**Llave tipo racha.**- Es un elemento mecánico que permite el ajuste de los pernos mediante la acción de una fuerza en la palanca, este mecanismo tiene la propiedad que durante todo el tiempo que se realice el apriete no se necesita retirar el dispositivo.



**Tabla 3.2b.** Solución gráfica de las alternativas.

En la tabla 3.3 se analiza las características de la alternativa del módulo uno:

<b>MÓDULO UNO</b>		
<b>Alternativas</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>1.1.1)</b> Llave de palanca	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo costo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor fuerza de accionamiento.</li> <li>• Poca superficie de contacto.</li> </ul>
<b>1.1.2)</b> Volante circular	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mínima fuerza de accionamiento.</li> <li>• Bajo costo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecanizado de acople.</li> </ul>
<b>1.1.3)</b> Llave tipo racha	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor velocidad.</li> <li>• Fácil utilización.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mínima esterilización.</li> <li>• Alto costo.</li> </ul>

**Tabla 3.3.** Ventajas y desventajas del módulo 1.

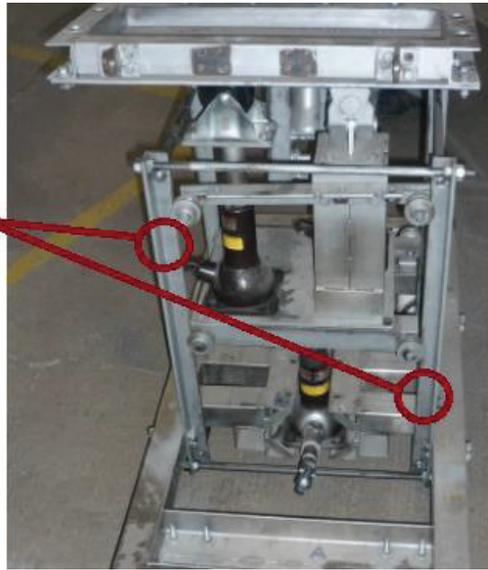
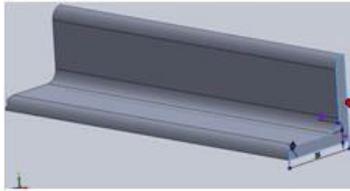
### **3.2.2 ALTERNATIVAS DEL MÓDULO 2.**

El movimiento crítico de esta alternativa es el movimiento perpendicular de toda la parte superior de la mesa quirúrgica manual con respecto al piso de la sala de operaciones, este módulo tiene varios factores que son: guías, transferencia de fuerza, interferencia con módulos superiores y espacio para contener los mecanismos superiores. En la siguiente tabla se describe las posibles alternativas:

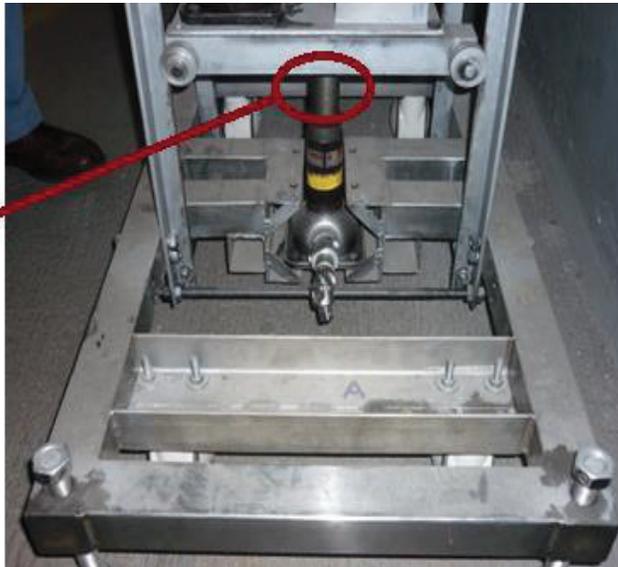
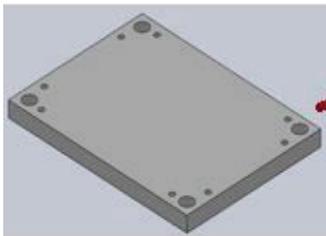
<b>DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS</b>		
<b>Módulo Dos</b>		
<b>Función del elemento</b>	<b>Elemento Actual</b>	<b>Alternativas</b>
<b>Movimiento perpendicular.-</b> Es la guía principal para el movimiento perpendicular, garantiza el espacio para la sujeción de los demás elementos.	Guías de Angulo 1x1/8" con fijación de dos pernos lineales y con tensores de graduación de varilla de 1/2".	<b>2.1.1)</b> Aumentar la sección transversal.
		<b>2.1.2)</b> Mayor número de pernos.
		<b>2.1.3)</b> Guías cilíndricas.

**Tabla 3.4a.** Descripción de alternativas de módulo 2.

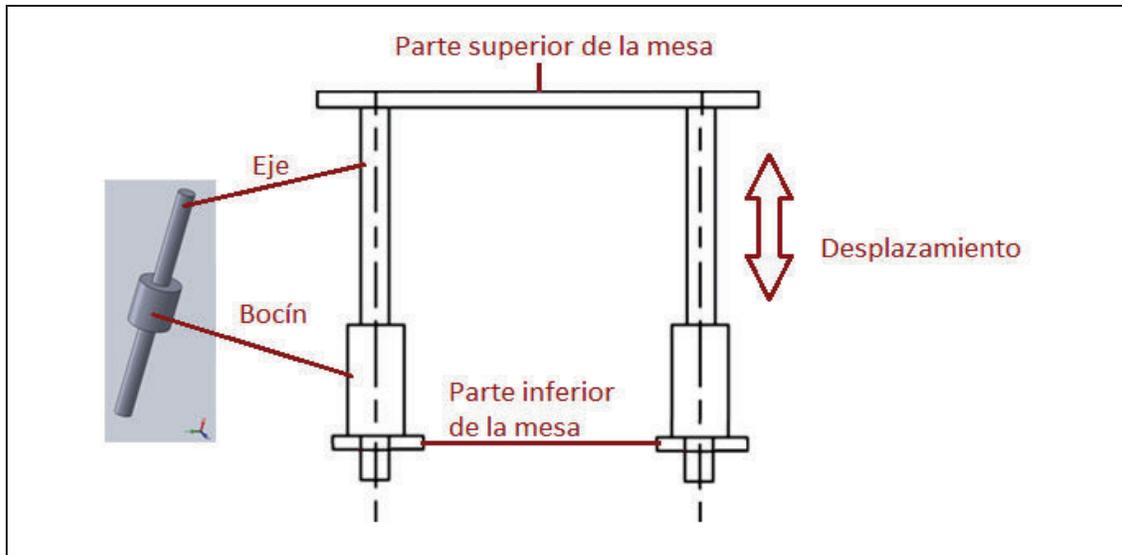
<b>ALTERNATIVAS DEL MOVIMIENTO PERPENDICULAR</b>
<b>Aumentar la sección transversal.-</b> Al aumentar la sección transversa de las guías se logra aumentar la rigidez.



**Mayor número de pernos.-** La placa que se muestra en la figura transmite el movimiento desde la “gata” hacia la mesa está no posee rigidez necesaria debido a que solo está sujeta con un tornillo por lo que se debe modificar la sujeción, que debe tener al menos cuatro pernos en los extremos.



**Guías cilíndricas.-** Es un mecanismo que reemplaza a las guías actuales en su totalidad, el desplazamiento se realiza entre el eje y su bocín el cual permite que no exista ninguna desviación de la mesa superior debido al ajuste que estos elementos poseen.



**Tabla 3.4b.** Solución gráfica de las alternativas.

En la tabla 3.5 se muestra las ventajas y desventajas de los sistemas descritos para una posible solución en el módulo 2.

<b>MÓDULO DOS.</b>		
<b>Alternativas</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>2.1.1) Aumentar la sección transversal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soportan mejor los movimientos.</li> <li>• Independencia de las guías.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor costo.</li> <li>• Más espacio requerido.</li> <li>• Mayor tolerancia dimensional.</li> </ul>
<b>2.1.2) Mayor número de pernos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor rigidez.</li> <li>• Elementos fácilmente desmontables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Más espacio de taladrado.</li> <li>• Distribución de elementos en la base.</li> </ul>
<b>2.1.3) Guías Cilíndricas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor número de elementos.</li> <li>• Menor espacio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso construcción difícil.</li> <li>• Costo de instalación.</li> </ul>

**Tabla 3.5.** Ventajas y desventajas del módulo 2.

### 3.2.3 ALTERNATIVAS DEL MÓDULO 3

En la tabla 3.6a se muestra el análisis del módulo 3, los mecanismos actuales si generan los movimientos requeridos, pero estos no poseen la seguridad para

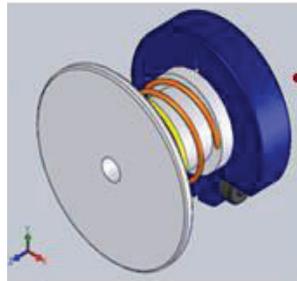
controlar los vuelcos. Este movimiento además debe ser progresivo pues depende en gran medida de la comodidad del médico cirujano.

<b>DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS</b>		
<b>Módulo Tres</b>		
<b>Función del elemento</b>	<b>Elemento Actual</b>	<b>Alternativas</b>
<b>Movimiento longitudinal.-</b> Transmitir movimiento rectilíneo a un movimiento angular.	Elevador hidráulico y rueda de transmisión de movimiento.	<b>3.1.1)</b> Embrague.
		<b>3.1.2)</b> Amortiguadores.
		<b>3.1.3)</b> Cardán.
<b>Movimiento transversal.-</b> Transmitir movimiento rectilíneo a un movimiento angular.	Elevador hidráulico y rueda de transmisión de movimiento.	<b>3.2.1)</b> Embrague.
		<b>3.2.2)</b> Amortiguadores.
		<b>3.2.3)</b> Cardán.

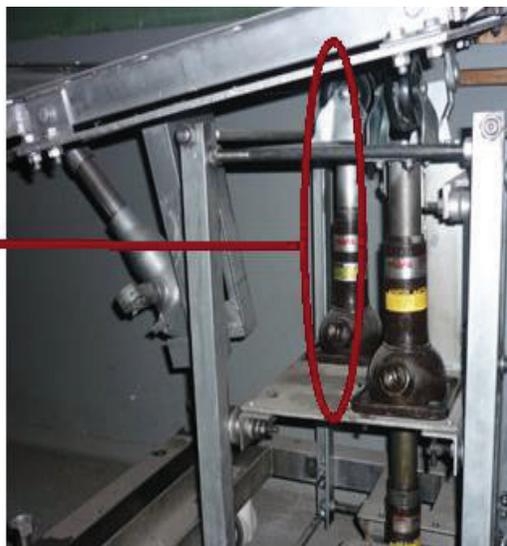
**Tabla 3.6a.** Descripción de alternativas de módulo 3.

<b>ALTERNATIVAS DEL MOVIMIENTO LONGITUDINAL</b>
<b>Embrague.-</b> Este mecanismo permite realizar movimientos angulares mientras está activo el embrague, mientras que cuando se desactiva el embrague los elementos se quedan fijos, haciendo que la parte superior de la mesa queda en la

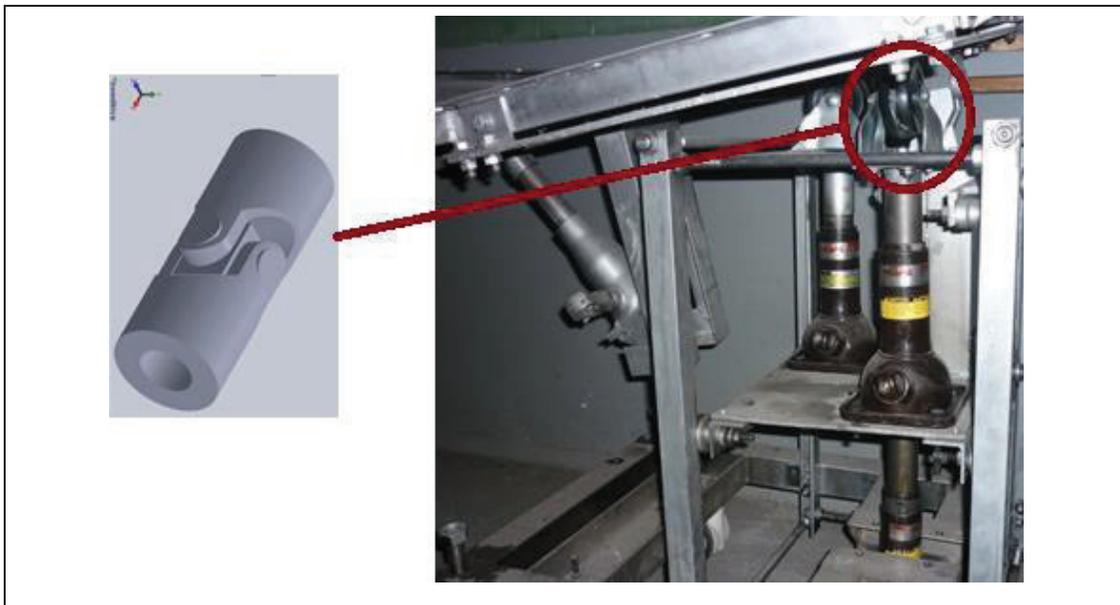
posición requerida. Este será instalado en vez de las ruedas que generan el movimiento actualmente.



**Amortiguador.-** El amortiguador es un mecanismo complementario al elemento que se encuentra ya instalado, haciendo que la rueda que se encuentra instalada transmita el movimiento mientras que el amortiguador sirve de guía del movimiento.



**Cardán.-** El cardán une la parte superior de la mesa y la “gata” estos elementos se desplazan y forman entre sí un ángulo de esta manera se logra transmitir el movimiento.



### ALTERNATIVAS DEL MOVIMIENTO TRANSVERSAL

Este movimiento es similar al movimiento longitudinal por lo tanto se plantea las mismas soluciones, permite complementar los dos mecanismos y son las siguientes:

- Embrague
- Amortiguador y
- Cardán

**Tabla 3.6b.** Solución gráfica de las alternativas.

Al igual que en el planteamiento de las alternativas del movimiento longitudinal y transversal se considera los mismos elementos en la tabla 3.7 se indica las ventajas o desventajas de cada alternativa para que se así se elija la mejor opción para el módulo 3.

<b>MÓDULO TRES</b>		
<b>Alternativas</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>

<b>3.1.1)</b> Embrague	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta maniobrabilidad.</li> <li>• Seguridad de accionamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor costo.</li> <li>• Difícil instalación.</li> <li>• Elementos complementarios.</li> </ul>
<b>3.1.2)</b> Amortiguadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de movimientos bruscos.</li> <li>• Movimientos controlados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor esfuerzo en el movimiento.</li> <li>• Menor espacio necesario.</li> </ul>
<b>3.1.3)</b> Cardán	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil montaje.</li> <li>• Movimientos de 360°.</li> <li>• Bajo costo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Juego existente mínimo.</li> <li>• Combinación con elementos actuales.</li> </ul>

**Tabla 3.7.** Ventajas y desventajas del módulo 3.

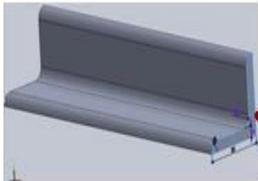
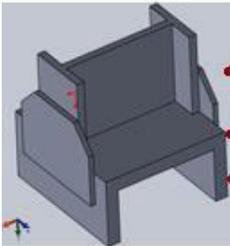
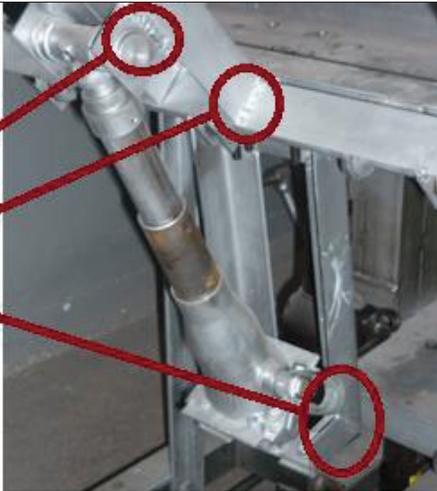
### 3.2.4 ALTERNATIVAS DEL MÓDULO 4.

En este módulo se generan movimientos para la espalda, piernas y cabeza cada uno de ellos son independientes entre sí pero dependen del módulo 3, la tabla 3.8a, indica el análisis del módulo 4.

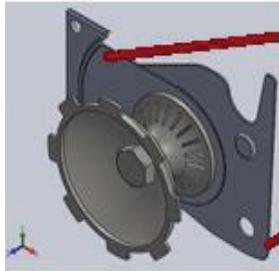
<b>DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS</b>		
<b>Módulo Cuatro</b>		
<b>Función del elemento</b>	<b>Elemento Actual</b>	<b>Alternativas</b>
<b>Movimiento de espalda.-</b> Sostener los elementos que producen un movimiento angular.	Estructura de ángulo de 1x1/8".	<b>4.1.1)</b> Cambio de sección transversal.
		<b>4.1.2)</b> Mejorar la estructura actual.
		<b>4.1.3)</b> Regulación mecánica.
<b>Movimiento de piernas.-</b> Establecer posiciones fijas angulares.	Juego de graduación cilíndrico con un factor escalar.	<b>4.2.1)</b> Trinquete radial.
		<b>4.2.2)</b> Cambio de la geometría del trinquete actual.
		<b>4.2.3)</b> Regulación mecánica.
<b>Movimiento de cabeza.-</b> Establecer posiciones	Juego de graduación	<b>4.3.1)</b> Rueda dentada tornillo sin fin.

fijas angulares.	cilíndrico con un factor escalar de 5°.	4.3.2) Cambio de la geometría del trinquete actual.
		4.3.3) Regulación mecánica.

Tabla 3.8a. Descripción de alternativas de módulo 4.

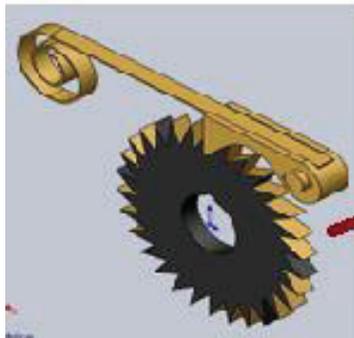
<b>ALTERNATIVAS DEL MOVIMIENTO DE ESPALDA.</b>	
<p><b>Cambio de sección transversal.-</b> Al cambiar la sección de los elementos permite mejor rigidez, evita vibraciones en el módulo de la espalda.</p>	
	
<p><b>Mejorar la estructura actual.-</b> Las uniones soldadas no tienen la posición adecuada, por lo que la sujeción entre los elementos es deficiente, debido a esto se sugiere reemplazar el modo de sujeción de los elementos.</p>	
	

**Regulación mecánica.-** Este es un mecanismo adoptivo debido a que este viene en la parte lateral de los asientos del vehículo, este realiza la reclinación del asiento de manera segura además de permitir una regulación progresiva. El movimiento circular se transforma en angular mediante rodamientos y guías concéntricas que tiene este mecanismo en su interior.



#### ALTERNATIVAS DEL MOVIMIENTO DE PIERNAS.

**Trinquete radial.-** El trinquete se acopla con la rueda dentada en lo posición requerida para el módulo de las piernas.



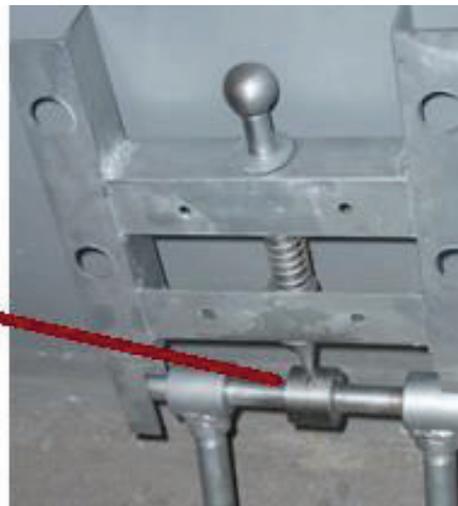
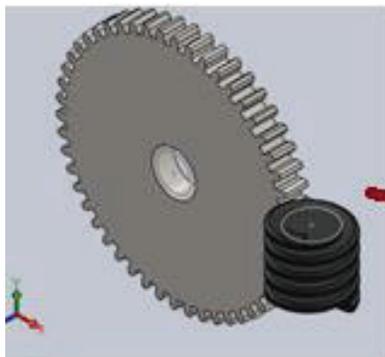
**Cambio de la geometría del trinquete actual.-** El mecanismo actual no funciona debido a que las tolerancias geométricas no son las correctas, por lo que se pretende mejorar el proceso de construcción con el fin de obtener las tolerancias que permitan mejorar el funcionamiento actual.



La tercera solución es adaptar el mecanismo de **Regulación Mecánica**, con el concepto de diseño adoptivo para generar el movimiento en el módulo de las piernas.

#### ALTERNATIVAS DEL MOVIMIENTO DE CABEZA

**Rueda dentada-tornillo sin fin.-** Este mecanismo permite realizar el movimiento angular mediante la relación de transmisión que tiene el tornillo sin fin con la rueda dentada, haciendo que la estructura de la cabeza se recline de manera progresiva.



Otras soluciones planteadas en este módulo son:

- **Cambio de la geometría actual del trinquete actual y**
- El mecanismo de **regulación mecánica**

**Tabla 3.8b.** Solución gráfica de las alternativas.

A continuación en la tabla 3.9 describe las ventajas y desventajas para los sistemas del módulo 4, con el fin de obtener los criterios para el diseño de sus elementos.

<b>MÓDULO CUATRO</b>		
<b>Alternativas</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>4.1.1)</b> Cambio de dimensiones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor estabilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espacio físico requerido.</li> <li>• Disminución de movimiento transversal.</li> </ul>
<b>4.1.2)</b> Cambio de elementos de sujeción.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de elementos mecánicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor sección de elementos.</li> <li>• Ocupa mayor espacio.</li> <li>• Disminución de movimiento longitudinal.</li> </ul>
<b>4.1.3)</b> Regulación mecánica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicabilidad de Ingeniería Concurrente.</li> <li>• Regulación gradual exacta.</li> <li>• Número de elementos reducidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soldadura en elementos.</li> <li>• Difícil mantenimiento.</li> </ul>
<b>4.2.1)</b> Trinquete radial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fijación de movimiento seguro.</li> <li>• Accionamiento fácil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de la geometría del módulo.</li> <li>• Necesita dos elementos como mínimo por el peso.</li> <li>• Accionamiento por paso Radial.</li> </ul>

<p><b>4.2.2)</b> Cambio de geometría de actual trinquete.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Similar elementos con la cabeza.</li> <li>• Fácil accionamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de geometría y de elementos de sujeción actuales.</li> <li>• Soporta peso máximo según la geometría.</li> <li>• Sujeción con alto grado de variabilidad angular.</li> </ul>
<p><b>4.2.3)</b> Regulación de asiento del automóvil.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicabilidad de Ingeniería Concurrente.</li> <li>• Regulación gradual exacta.</li> <li>• Número de elementos reducidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soldadura en elementos.</li> <li>• Dificil mantenimiento.</li> </ul>
<p><b>4.3.1)</b> Rueda dentada tornillo sin fin.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fijación de movimiento seguro.</li> <li>• Accionamiento fácil.</li> <li>• Máxima tolerancia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de la geometría del módulo.</li> <li>• Dificultad el mantenimiento.</li> </ul>
<p><b>4.3.2)</b> Embrague.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Movimientos seguros.</li> <li>• Movimientos radiales continuos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementos de construcción secundarios.</li> <li>• Cambio de geometría actual.</li> </ul>
<p><b>4.3.3)</b> Regulación de asiento del automóvil.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicabilidad de Ingeniería Concurrente.</li> <li>• Regulación gradual exacta.</li> <li>• Número de elementos reducidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soldadura en elementos.</li> <li>• Dificil mantenimiento.</li> </ul>

**Tabla 3.9.** Ventajas y desventajas del módulo 4.

### **3.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.**

Para cada módulo se ha presentado varias alternativas estas plantean una modificación de lo construido en el prototipo actual en geometría, diseño mecánico y principios de funcionamiento de los mecanismos que intervienen, por lo que la evaluación se debe considerar estas variaciones con el fin de tener la solución más confiable.

A continuación se describen los criterios de evaluación, los cuales ayudaran a evaluar de manera cuantitativa cada solución.

#### **3.3.1 CRITERIO DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS**

Los criterios de evaluación que se ha tomado en cuenta para las alternativas planteadas son:

- **Confiability**

Es la característica más importante dentro de este análisis, esta se refiere a que los movimientos realizados por el prototipo deban poseer un alto grado de seguridad tanto para el paciente como para el cirujano, pues un movimiento no controlado desencadenaría en una mala práctica médica al poner en riesgo de la vida paciente.

- **Facilidad de construcción**

Al ser un prototipo para evaluación se toma en cuenta la capacidad de la maquinaria y del personal involucrado durante la construcción además del entorno y capacidad industrial donde se realiza la construcción.

- **Adaptabilidad al diseño actual.**

Esta característica hace alusión a la capacidad de que los nuevos elementos en lo mayor posible intervengan mecanismos que ya son estandarizados o elementos que están en el mercado, pues estos son ya comprobados y no necesitarán análisis previos debido a que sus características técnicas ya son establecidas en sus catálogos.

- **Adaptabilidad de montaje.**

Los mecanismos a instalarse además de tener la capacidad de realizar la función para la cual son diseñados, deben poder instalarse de manera fácil y segura con los otros elementos que interactúan para realizar el movimiento. Por lo que a más de producir los movimientos estos deberán tener las superficies de contacto o de sujeción necesarias para sujetarse con el resto de elementos ya construidos

- **Tamaño.**

El tamaño de los nuevos mecanismos debe poder adaptarse de tal forma que no provoquen un aumento de medidas o geometrías establecidas en el análisis previamente realizado, por lo que no todo mecanismo podrá ser adaptado sino cumple con estas características.

### **3.3.2 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.**

Para obtener una selección final de alternativas se han estudiado varios métodos que pueden ayudar a encontrar la solución, más se cree conveniente aceptar el método establecido por el Ing. Charles Riba Msc. En su texto "Ingeniería Concurrente". Este método entrega varios pasos que se debe realizar para alcanzar una solución que por medio de fórmulas matemáticas nos da la mejor opción para el rediseño.

El procedimiento seleccionado es el “Método ordinal corregido de criterios ponderados”, que en primera instancia requiere una jerarquización de los criterios de evaluación en un orden, se considera las opciones con mayor relevancia para este diseño.

Para comenzar con este proceso se utiliza una confrontación de criterios expuestos anteriormente con el fin de asignar un valor que guíe con respecto a una valoración de esta manera:

- **1** este valor se asigna si el criterio de evaluación de las filas posee mejores características que el criterio descrito en las columnas.
- **0,5** es el valor asignado si los criterios tanto de las filas como de las columnas son equivalentes entre sí.
- **0** se designa esta valoración si es que el criterio de las filas tiene menor importancia que el de las columnas.

La tabla 3.10 describe esta primera parte del proceso, esta se realiza mediante tabulación en una hoja de cálculo de Excel, la misma que es programada con los valores antes mencionados y se obtiene:

EVALUACIÓN DE CRITERIOS									
CRITERIOS	Confiabilidad	Fácil construcción	Adaptabilidad		Tamaño	$\Sigma+1$	Ponderado		
			al diseño actual	de montaje					
Confiabilidad	1	1	1	1	1	5	0,27027		
Fácil construcción	0,5	1	1	1	1	4,5	0,24324		
Adaptabilidad al diseño actual	0,5	0,5	0,5	0,5	1	3,5	0,18919		
Adaptabilidad de montaje	0,5	0,5	0,5	0,5	1	3,5	0,18919		
Tamaño	0	0	0,5	0,5		2	0,10811		
					Total	18,5	1		

**Tabla 3.10.** Evaluación de criterios para residuos ponderados.

Se procede a mostrar los resultados del análisis matemático para las soluciones, estos están desarrolladas en totalidad en hojas de Excel las mismas que se encuentran programadas y en los archivos adjuntos con su desarrollo en el anexo 1.

TABLA DE CONCLUSIONES.								
Módulo 1 Activación de los seguros.								
	Confiabilidad	Fácil construcción	Adaptabilidad al diseño actual	Adaptabilidad d de montaje	Tamaño	$\Sigma+1$	Ponderado	Prioridad
Solución 1.1.1	0,08316	0,05613	0,06306	0,078828829	0,024948025	1,3061330	0,32653	3
<b>Solución 1.1.2</b>	<b>0,10395</b>	<b>0,07484</b>	<b>0,07568</b>	<b>0,078828829</b>	<b>0,04989605</b>	<b>1,3831947</b>	<b>0,34580</b>	<b>1</b>
Solución 1.1.3	0,08316	0,11227	0,05045	0,031531532	0,033264033	1,3106722	0,32767	2
					Total	4	1	

Tabla 3.11. Evaluación mediante residuos ponderados Módulo 1.

TABLA DE CONCLUSIONES								
Módulo 2 Movimiento perpendicular								
	Confiabilidad	Fácil construcción	Adaptabilidad al diseño actual	Adaptabilidad de montaje	Tamaño	$\Sigma+1$	Ponderado	Prioridad
Solución 2.1.1	0,10811	0,05613	0,02911	0,037837838	0,01544401	1,2466290	0,31166	3
Solución 2.1.2	0,07207	0,09356	0,07277	0,075675676	0,04633204	1,3603999	0,34010	2
<b>Solución 2.1.3</b>	<b>0,09009</b>	<b>0,09356</b>	<b>0,08732</b>	<b>0,075675676</b>	<b>0,04633204</b>	<b>1,3929709</b>	<b>0,34824</b>	<b>1</b>
					Total	4	1	

Tabla 3.12. Evaluación mediante residuos ponderados Módulo 2.

TABLA DE CONCLUSIONES								
Módulo 2 Movimiento paralelo								
	Confiabilidad	Fácil construcción	Adaptabilidad al diseño actual	Adaptabilidad de montaje	Tamaño	$\Sigma+1$	Ponderado	Prioridad
Solución 2.2.1	0,11583	0,03742	0,02911	0,037837838	0,01663	1,2368280	0,30921	3
Solución 2.2.2	0,07722	0,09356	0,07277	0,075675676	0,04990	1,3691119	0,34228	2
<b>Solución 2.2.3</b>	<b>0,07722</b>	<b>0,11227</b>	<b>0,08732</b>	<b>0,075675676</b>	<b>0,04158</b>	<b>1,3940599</b>	<b>0,34851</b>	<b>1</b>
					Total	4	1	

Tabla 3.13. Evaluación mediante residuos ponderados Módulo 2.

TABLA DE CONCLUSIONES								
Módulo 3 Movimiento longitudinal								
	Confiabilidad	Fácil construcción	Adaptabilidad al diseño actual	Adaptabilidad de montaje	Tamaño	$\Sigma+1$	Ponderado	Prioridad
Solución 3.1.1	0,09009	0,03742	0,03784	0,034398034	0,04633204	1,2460800	0,31152	3
Solución 3.1.2	0,09009	0,09356	0,07568	0,068796069	0,01544405	1,3435609	0,33589	2
<b>Solución 3.1.3</b>	<b>0,09009</b>	<b>0,11227</b>	<b>0,07568</b>	<b>0,085995086</b>	<b>0,04633204</b>	<b>1,4103590</b>	<b>0,35259</b>	<b>1</b>
					Total	4	1	

Tabla 3.15. Evaluación mediante residuos ponderados Módulo 3.

TABLA DE CONCLUSIONES								
Módulo 3 Movimiento transversal								
	Confiabilidad	Fácil construcción	Adaptabilidad al diseño actual	Adaptabilidad de montaje	Tamaño	$\Sigma+1$	Ponderado	Prioridad
Solución 3.2.1	0,09009	0,03742	0,03784	0,034398034	0,04633	1,2460800	0,31152	3
Solución 3.2.2	0,09009	0,09356	0,07568	0,068796069	0,01544	1,3435609	0,33589	2
<b>Solución 3.2.3</b>	<b>0,09009</b>	<b>0,11227</b>	<b>0,07568</b>	<b>0,085995086</b>	<b>0,04633</b>	<b>1,4103590</b>	<b>0,35259</b>	<b>1</b>
					Total	4	1	

Tabla 3.16. Evaluación mediante residuos ponderados Módulo 3.

TABLA DE CONCLUSIONES								
Módulo 4 Movimiento de espalda								
	Confiabilidad	Fácil construcción	Adaptabilidad al diseño actual	Adaptabilidad de montaje	Tamaño	$\Sigma+1$	Ponderado	Prioridad
Solución 4.1.1	0,09009	0,10135	0,03784	0,063063063	0,03088803	1,3232303	0,33081	2
Solución 4.1.2	0,07207	0,04054	0,03784	0,063063063	0,03088801	1,2444015	0,31110	3
<b>Solución 4.1.3</b>	<b>0,10811</b>	<b>0,10135</b>	<b>0,11351</b>	<b>0,063063063</b>	<b>0,04633204</b>	<b>1,4323680</b>	<b>0,35809</b>	<b>1</b>
					Total	4	1	

Tabla 3.17. Evaluación mediante residuos ponderados Módulo 4.

TABLA DE CONCLUSIONES								
Módulo 4 Movimiento de piernas								
	Confiabilidad	Fácil construcción	Adaptabilidad al diseño actual	Adaptabilidad de montaje	Tamaño	$\Sigma+1$	Ponderado	Prioridad
Solución 4.2.1	0,11583	0,06950	0,03784	0,063063063	0,02162	1,3078507	0,32696	2
Solución 4.2.2	0,03861	0,10425	0,03784	0,063063063	0,04324	1,2870012	0,32175	3
<b>Solución 4.2.3</b>	<b>0,11583</b>	<b>0,06950</b>	<b>0,11351</b>	<b>0,063063063</b>	<b>0,04324</b>	<b>1,4051480</b>	<b>0,35129</b>	<b>1</b>
					Total	4	1	

Tabla 3.18. Evaluación mediante residuos ponderados Módulo 4.

TABLA DE CONCLUSIONES								
Módulo 4 Movimiento de cabeza								
	Confiabilidad	Fácil construcción	Adaptabilidad al diseño actual	Adaptabilidad de montaje	Tamaño	$\Sigma+1$	Ponderado	Prioridad
Solución 4.2.1	0,07722	0,06950	0,05405	0,043659044	0,03604	1,2804672	0,32012	3
Solución 4.2.2	0,11583	0,06950	0,05405	0,058212058	0,02883	1,3264231	0,33161	2
<b>Solución 4.2.3</b>	<b>0,07722</b>	<b>0,10425</b>	<b>0,08108</b>	<b>0,087318087</b>	<b>0,04324</b>	<b>1,3931095</b>	<b>0,34828</b>	<b>1</b>
					Total	4	1	

Tabla 3.19. Evaluación mediante residuos ponderados Módulo 4.

Una vez completado el análisis de las soluciones debemos recapitular las que han obtenido el mayor puntaje para tener una visión clara de las que vamos a construir para el nuevo prototipo y estas son:

- **Solución 1.1.2.-** Volante circular.
- **Solución 2.1.3.-** Guías circulares.
- **Solución 2.2.3.-** Guías circulares.
- **Solución 2.3.1.-**Cambio de dimensiones.
- **Solución 3.1.3.-**Cardán.
- **Solución 3.2.3.-**Cardán.
- **Solución 4.1.3.-**Sistema de regulación mecánico.
- **Solución 4.2.3.-**Sistema de regulación mecánico.
- **Solución 4.3.1.-**Sistema de regulación mecánico.

Con estos resultados se procede a la construcción y aplicación de las soluciones con el afán de llegar a un prototipo pueda funcionar con un alto índice de confiabilidad.

## **4. CAPÍTULO 4: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO**

En el presente capítulo se procede a diseñar los elementos mecánicos que se plantearon para cada módulo en el capítulo 3. El diseño consta de planos de construcción de los elementos para el caso que se necesite, además se adjunta los cálculos de ajuste, tolerancias geométricas, así mismo se calcula los esfuerzos, factor de seguridad y deformaciones a base de un software de simulación mecánica.

Una vez concluida la construcción se procede a la evaluación final del nuevo prototipo con el fin de establecer si las alternativas seleccionadas son las adecuadas y si estas mejoraron el rendimiento del prototipo actual. Esta valoración se debe realizar mediante el mismo protocolo, procedimientos, requerimientos y evaluación del prototipo original descritos en el capítulo 2.

Luego de dar por aceptado el nuevo prototipo se realiza el estudio económico en lo cual se procede a establecer la cantidad de recursos económicos necesarios para el diseño, implementación y desarrollo del prototipo, y de esta manera establecer si el proyecto es rentable.

### **4.1 DISEÑO DE LAS ALTERNATIVAS.**

El diseño consta de dos partes fundamentalmente:

- En primera instancia, se realizan los cálculos necesarios para la implementación de los elementos mecánicos, estos son desarrollados en los elementos que no sean estandarizados mientras que de ser un elemento normalizado se adjunta el catálogo con las especificaciones técnicas.

- Además se presenta los planos de los elementos mecánicos que se requieren construir, luego se procede a simular con el software ANSYS, para obtener los resultados de los esfuerzos, factor de seguridad y deformaciones.

A continuación se realiza el procedimiento de cada alternativa.

#### 4.1.1 SOLUCIÓN DEL MÓDULO 1: VOLANTE CIRCULAR

La solución del primer módulo es un volante circular, este elemento es fundido en aluminio, comercialmente se encuentra de diferentes diámetros desde 3 hasta 10 pulgadas. Para el prototipo se escoge un volante de 7" que por motivo de medidas es óptimo.

##### 4.1.1.1 Cálculo del volante

Para este cálculo se toma como referencia el "agujero" sea la medida base por la facilidad en la medición. Para este caso se escoge el ajuste indeterminado ya que se necesita la transmisión del movimiento.

Datos:

- Agujero = 14mm.
- Eje base
- Ajuste indeterminado.

A continuación se muestra el resumen de los cálculos realizados para obtener las tolerancias dimensionales del volante circular.

<b>RESUMEN DE MEDIDAS DE LAS TOLERANCIAS</b>			
<b>Desviaciones del eje y agujero</b>			
<b>Medida nominal</b>	<b>Medida mínima</b>	<b>Medida máxima</b>	<b>Ajuste Mecánico</b>
Del eje			
14mm.	13,9825mm.	14,0175mm.	14js8
Del agujero			

14mm.	13,986mm.	13,994mm.	14G8
-------	-----------	-----------	------

Tabla 4.1. Resumen de medidas.

#### 4.1.1.2 Plano de construcción

En el anexo 1 se muestra el plano 1 y 2 donde se encuentra las medidas de los elementos.

#### 4.1.1.3 Simulación de solución del módulo 1

Las características básicas de este elemento son las restricciones de movimiento en el agujero y la fuerza que se aplica en la manija del volante. En la tabla 4.2 se muestra la simulación del volante circular, mientras que en el anexo 2 se adjunta todo el reporte de la simulación.

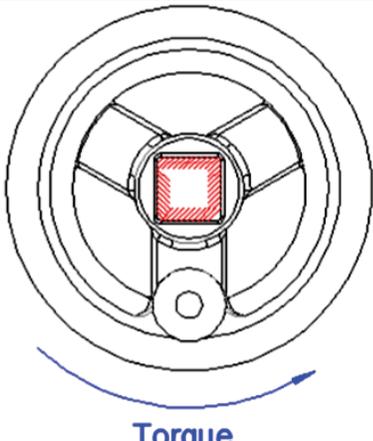
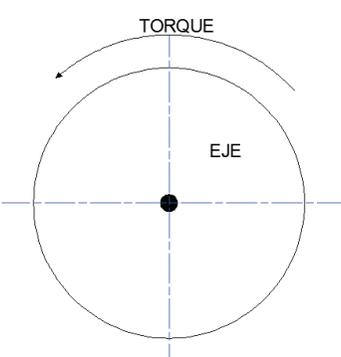
##### **Datos del problema:**

Torque: 10 [N\*m] Fuerza promedio de una persona adulta.

Esfuerzo admisible del aluminio: 100 [MPa].

Restricción: en el agujero debido a que se transmite al perno.

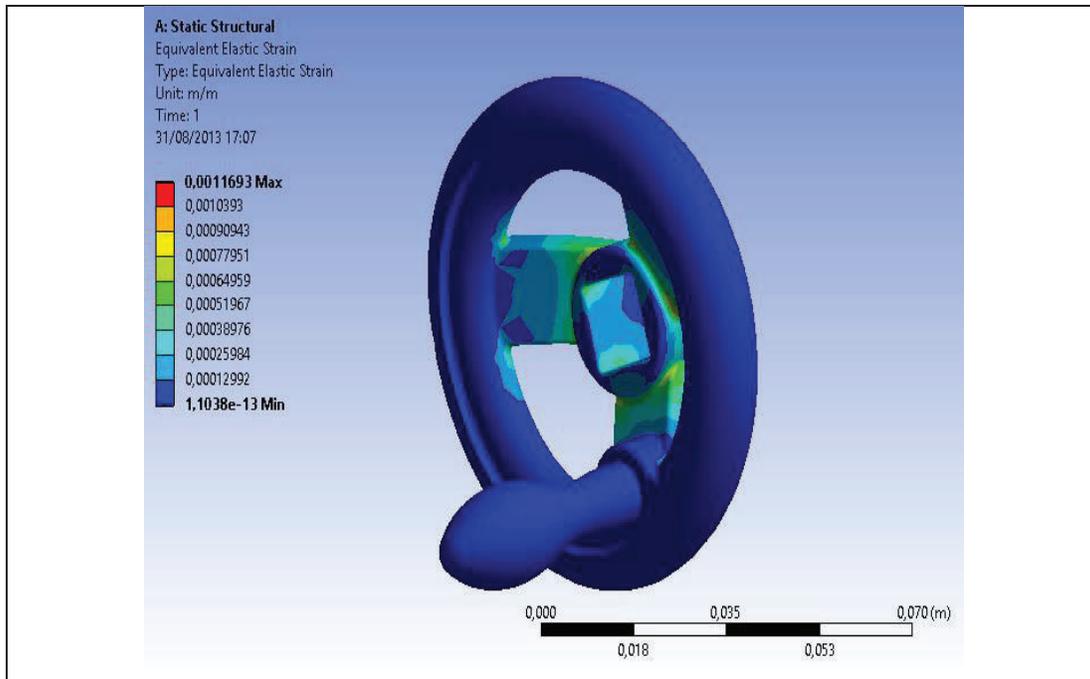
**Tipo de problema:** Es un problema de análisis estático estructural (static structural), debido a que se calcula los efectos que produce una carga en condiciones constantes en un mecanismo, sin tener en cuenta una variable con carga variable (amortiguador); el volante tiene un torque constante que lo genera una persona.

<b>DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE</b>	
	<p><b>Restricciones</b></p> 
<b>CALCULO</b>	
$\tau_{max} = \frac{16 * T}{\pi * d^3} \text{ [Ecuación 1]}^8$ $\tau_{max} = \frac{16 * 10}{\pi * 0.01778^3}$ $\tau_{max} = \mathbf{9,096MPa}$	$f_{seguridad} = \frac{\sigma_{perm}}{\sigma_{cal}} \text{ [Ecuación 2]}^9$ $f_{seguridad} = \frac{100}{9,096}$ $f_{seguridad} = \mathbf{11,036}^{10}$
<b>ESFUERZO</b>	

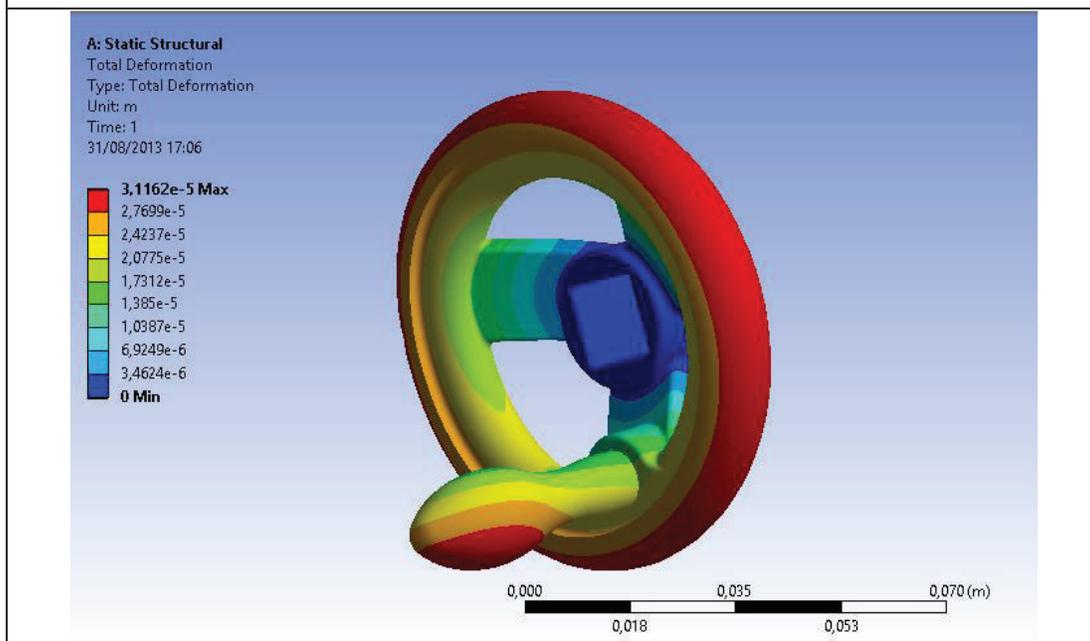
<sup>8</sup> Fórmula del torque máximo aplicado en un eje vertical

<sup>9</sup> Fórmula del factor de seguridad de un elemento mecánico

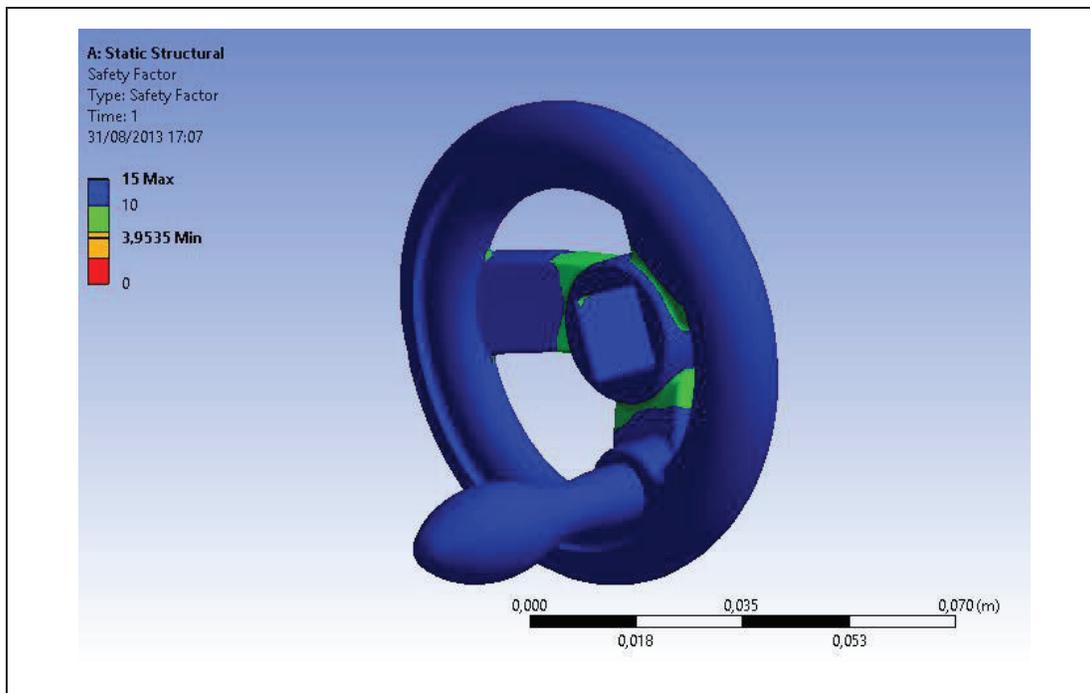
<sup>10</sup> Factor de Seguridad en un eje sólido



## DEFORMACIÓN



## FACTOR DE SEGURIDAD



**Tabla 4.2.** Simulación de la solución 1.

En la tabla 4.3 se muestran los valores obtenidos luego de la simulación:

<b>Resultados de la simulación del volante circular</b>		
<b>Característica</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>
Esfuerzo	1,1038e-13 m/m	1,169e-3 m/m
Deformación	0 mm	0,036 mm
Factor de Seguridad	3,9335	15

**Tabla 4.3.** Resultados de la simulación de la módulo 1.

Los resultados obtenidos en el cálculo analítico y en la simulación difieren debido a que con la aplicación de las fórmulas se realiza un análisis en dos dimensiones de un eje macizo, mientras que en la simulación se encuentran resultados aplicando fuerzas en las tres dimensiones y con la geometría de un volante; con los resultados obtenidos se llega a la conclusión de que el diseño está correcto y se procede a la fase de construcción.

#### **4.1.2 SOLUCIÓN AL MÓDULO 2: GUÍAS CILÍNDRICAS.**

El segundo módulo tiene tres soluciones, en las cuales dos son dependientes de las guías, estas generan los movimientos de paralelismo y perpendicularidad. Para este mecanismo se utiliza el acero comercial ASTM A-36<sup>11</sup> de diámetro 25mm.

#### 4.1.2.1 Cálculo de las guías circulares

Debido a la complejidad de mecanizar la longitud del eje se escoge que este sea la medida base, y con este concepto se realiza el dimensionamiento.

Datos:

- Eje: 25 [mm].
- Eje base
- Ajuste deslizante.

En la tabla 4.4 se muestran el resumen de las características luego de realizar los cálculos.

<b>RESUMEN DE MEDIDAS DE LAS TOLERANCIAS</b>			
<b>Desviaciones del eje y agujero</b>			
<b>Medida nominal</b>	<b>Medida mínima</b>	<b>Medida máxima</b>	<b>Ajuste Mecánico</b>
Del eje			
25mm	24,9835mm.	25,0165mm.	25js8
Del agujero			
25mm	24,960mm.	24,948mm.	25E8

Tabla 4.4. Resumen de medidas.

#### 4.1.2.2 Plano de construcción.

El anexo 2 muestra el plano 3 y 4 se acotan las medidas de los elementos.

#### 4.1.2.3 Simulación de solución del módulo 2.

<sup>11</sup> Según American Society for Testing and Materials, es una aleación de carbón de propósito general.

La masa considerada en este elemento es de 370 lb., pues a más de soportar el cuerpo humano también se alojan ahí mecanismos de los módulos superiores. En el anexo 2 se coloca el reporte total del análisis en ANSYS.

### Datos del problema:

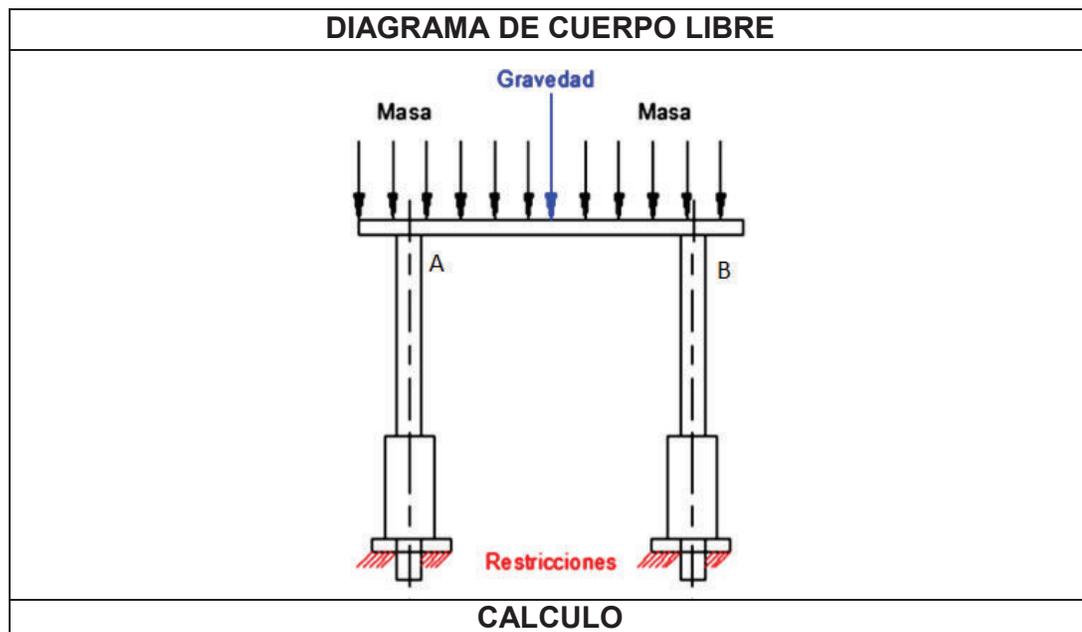
Masa: 370 [lbs].

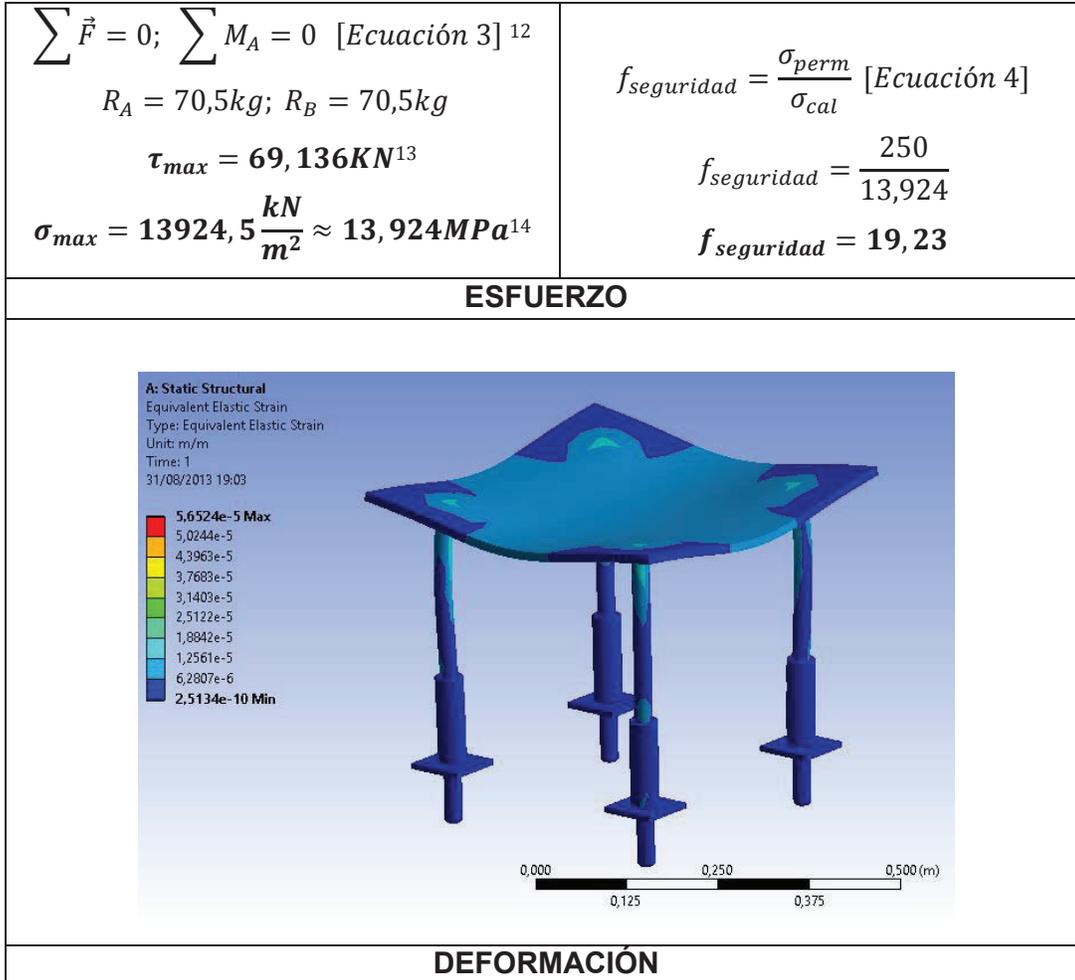
Gravedad: 9,81 [m/s<sup>2</sup>].

Esfuerzo admisible del acero A36: 250 [MPa].

Restricción: Soporte fijo en las placas inferiores soldadas en la estructura.

**Tipo de problema:** Es un problema de análisis estático estructural (static structural), debido a que se calcula los efectos que produce una carga en condiciones constantes en la estructura, sin tener en cuenta una variable con carga variable (amortiguador); las guías y la plancha superior soportan directamente el peso de una persona que en este caso es una carga superior al promedio, otra condición es la restricción existente en las placas inferiores, además la simulación se realiza cuando las guías se encuentran en la parte superior debido a que ahí existe un mayor esfuerzo de estas.

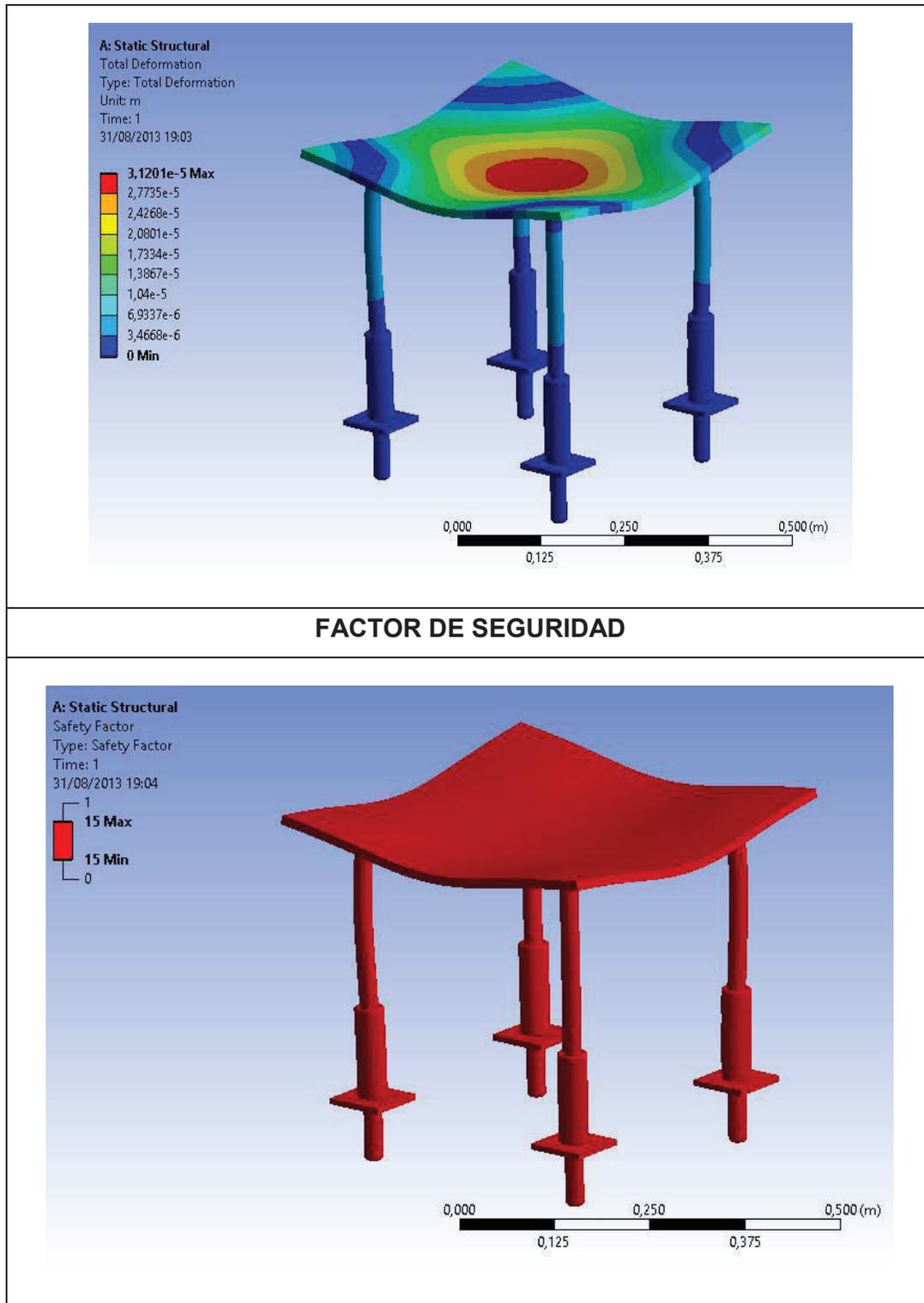




<sup>12</sup> Fórmula de sumatoria de fuerzas en un elemento considerado como viga debido a su esbeltez

<sup>13</sup> Valor del Esfuerzo Cortante Máximo proveniente del Diagrama Esfuerzo Cortante-Momento Flector

<sup>14</sup> Valor del Momento Flector Máximo proveniente del Diagrama Esfuerzo Cortante-Momento Flector



**Tabla 4.5.** Simulación de la solución 2.

En la tabla 4.6 se muestran los valores obtenidos luego de la simulación:

<b>Resultados de la simulación del volante circular</b>		
<b>Característica</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>
Esfuerzo	2,51e-10 m/m	5,652e-5 m/m
Deformación	0 mm	0,0312 mm
Factor de Seguridad	15	15

**Tabla 4.6.** Resultados de la simulación del módulo 2.

El cálculo realizado como viga presenta una variación en el factor de seguridad con respecto al de la simulación debido a que en dos dimensiones se determina menor acción de las fuerzas en la placa que en tres dimensiones como permite la simulación, por encima de este criterio en los dos casos el factor de seguridad sobrepasa lo recomendado por lo que se considera que el diseño esta correcto y se procede a la fase de construcción.

#### **4.1.3 SOLUCIÓN AL MÓDULO 2: CAMBIO DE DISPOSICIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD.**

En el segundo módulo se coloca en una nueva disposición el centro de gravedad de la placa que ejerce la fuerza para generar el movimiento principal. En este cambio se aumenta las dimensiones y se coloca en el centro de la placa el actuador.

Para este proceso se decide colocar una plancha rectangular que abarque la mayor cantidad de superficie con tal de transmitir de mejor manera el movimiento, esta placa es de material ASTM A-36.

##### **4.1.3.1 Cálculo del centro de gravedad.**

El centro de gravedad de una placa viene dado por dos dimensiones el largo y el ancho. Esta se calcula de la siguiente manera:

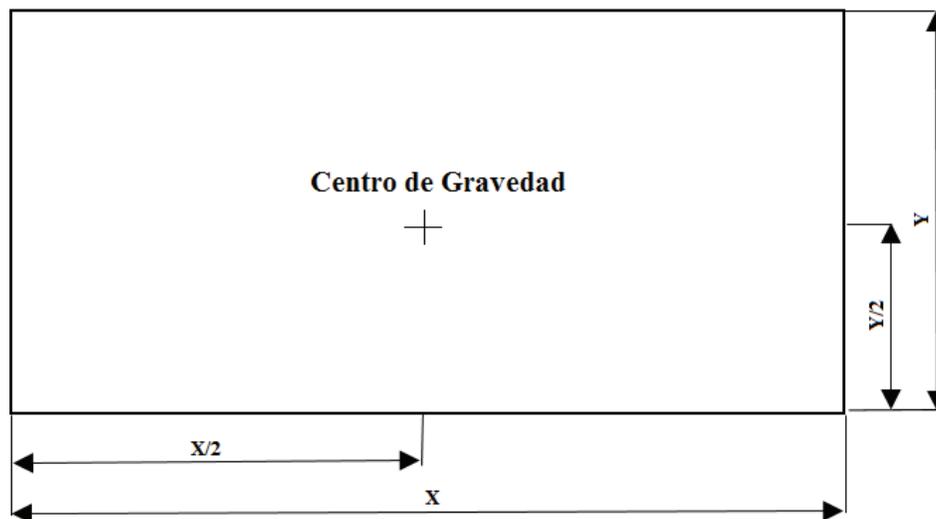
- Centro de gravedad del ancho:

$$\bar{x} = \frac{x}{2} \text{ [Ecuación 5]}^{15}$$

- Mientras que el centro de gravedad de la altura:

$$\bar{y} = \frac{y}{2} \text{ [Ecuación 6]}^{16}$$

En la figura 4.1 se muestra el centro de gravedad de una placa rectangular.



**Figura 4.1.** Centro de gravedad de una placa rectangular

Para el cambio se toma las medidas de la nueva placa que son:

- El ancho x: 250 [mm].
- La altura y: 150 [mm].

$$\bar{x} = \frac{250}{2} = 125 \text{ mm.}$$

$$\bar{y} = \frac{150}{2} = 75 \text{ mm.}$$

<sup>15</sup> Fórmula del centro de gravedad de una placa rectangular

<sup>16</sup> Fórmula del centro de gravedad de una placa rectangular

- Espesor de 15 mm., lo cual no interfiere en la disposición pues no es necesario colocar en el espesor el centro de gravedad por la teoría de “Desplazamiento de los ejes”.

#### **4.1.3.2 Plano de construcción.**

En el anexo 1 se muestra el plano 5 donde se encuentra las medidas de este mecanismo.

#### **4.1.3.3 Simulación de solución del módulo 2.**

En el anexo 2 se coloca el reporte del análisis. Al igual que en la simulación anterior, en tabla 4.7 se muestra los resultados.

#### **Datos del problema:**

Masa: 370 [lbs]. (masa promedio de una persona)

Fuerza: 2000 [N]. (fuerza aplicada en la gata)

Esfuerzo admisible del acero a36: 250 [MPa].

Gravedad: 9,81 [m/s<sup>2</sup>].

Restricción: parte superior de la placa, debido a la transmisión de la fuerza.

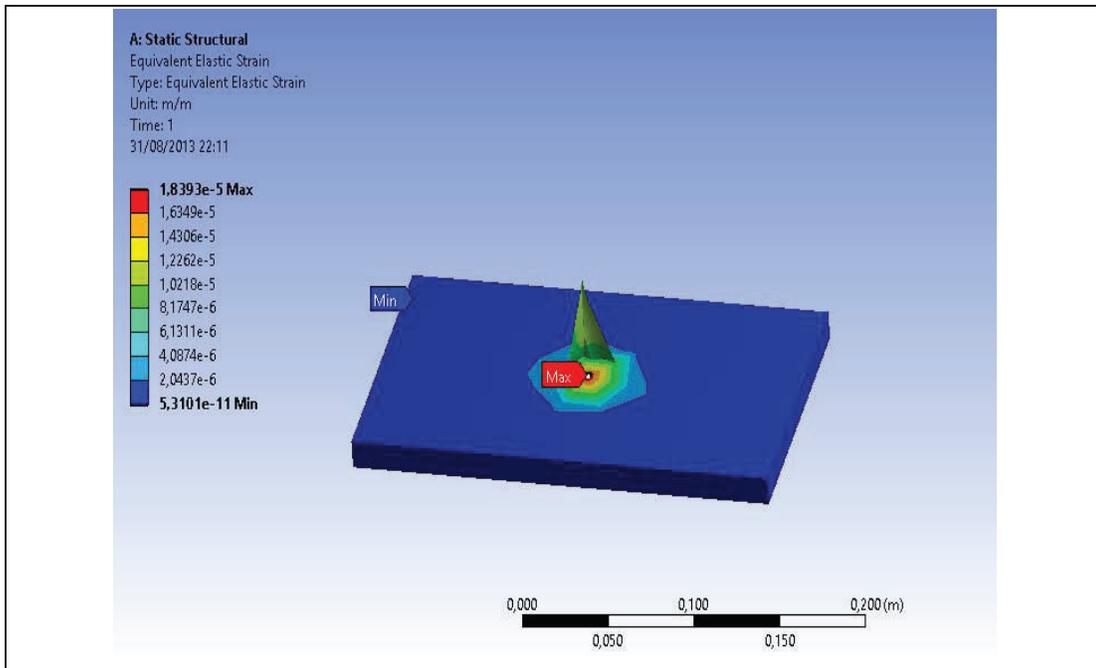
**Tipo de problema:** Es un problema de análisis estático estructural (static structural), debido a que se calcula los efectos que produce una carga en condiciones constantes en la estructura, sin tener en cuenta una variable con carga variable (amortiguador); la fuerza aplicada por la gata sobre la placa corresponde a una mayor que la de una persona subida en la parte superior de la mesa.

<b>DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE</b>	
<b>CÁLCULO ANÁLITICO</b>	
$\sum \vec{F} = 0; \sum M = 0 \text{ [Ecuación 7]}^{17}$ $\tau_{max} = 74,36KN^{18}$ $\sigma_{max} = 13547,6 \frac{kN}{m^2} \approx 13,53MPa^{19}$	$f_{seguridad} = \frac{\sigma_{perm}}{\sigma_{cal}} \text{ [Ecuación 8]}$ $f_{seguridad} = \frac{250}{13,53}$ $f_{seguridad} = 18,47$
<b>ESFUERZO</b>	

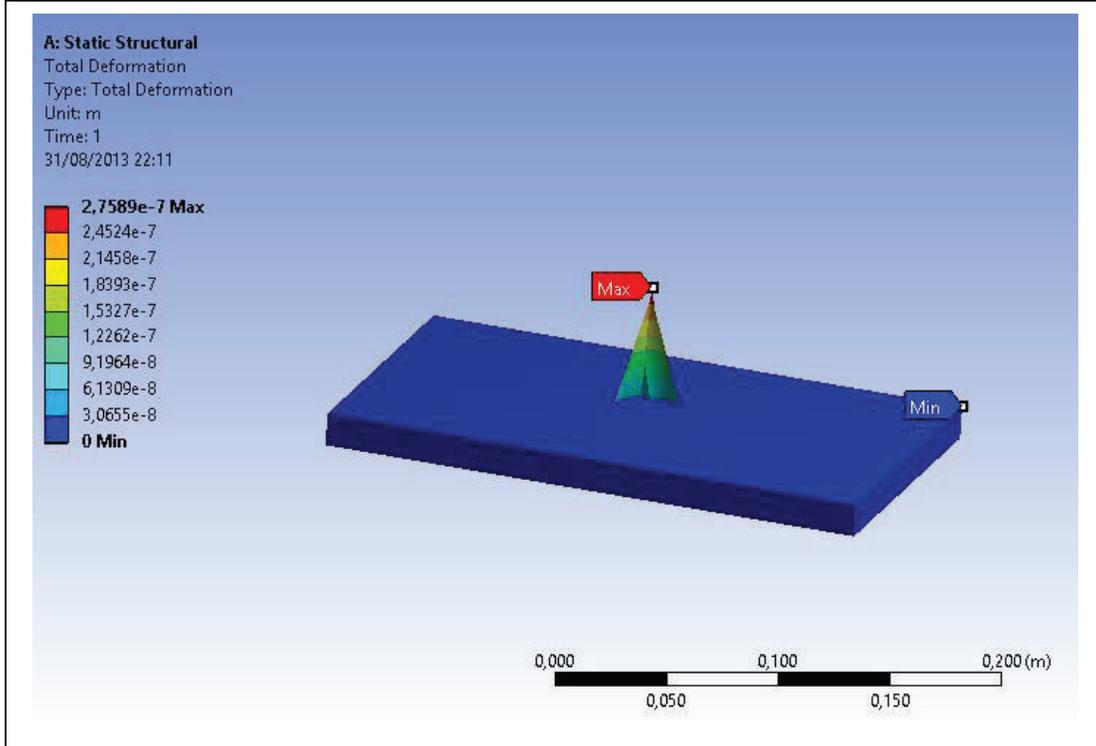
<sup>17</sup> Fórmula de sumatoria de fuerzas en un elemento considerado como viga debido a su esbeltez

<sup>18</sup> Valor del Esfuerzo Cortante Máximo proveniente del Diagrama Esfuerzo Cortante-Momento Flector

<sup>19</sup> Valor del Momento Flector Máximo proveniente del Diagrama Esfuerzo Cortante-Momento Flector



### DEFORMACIÓN



### FACTOR DE SEGURIDAD

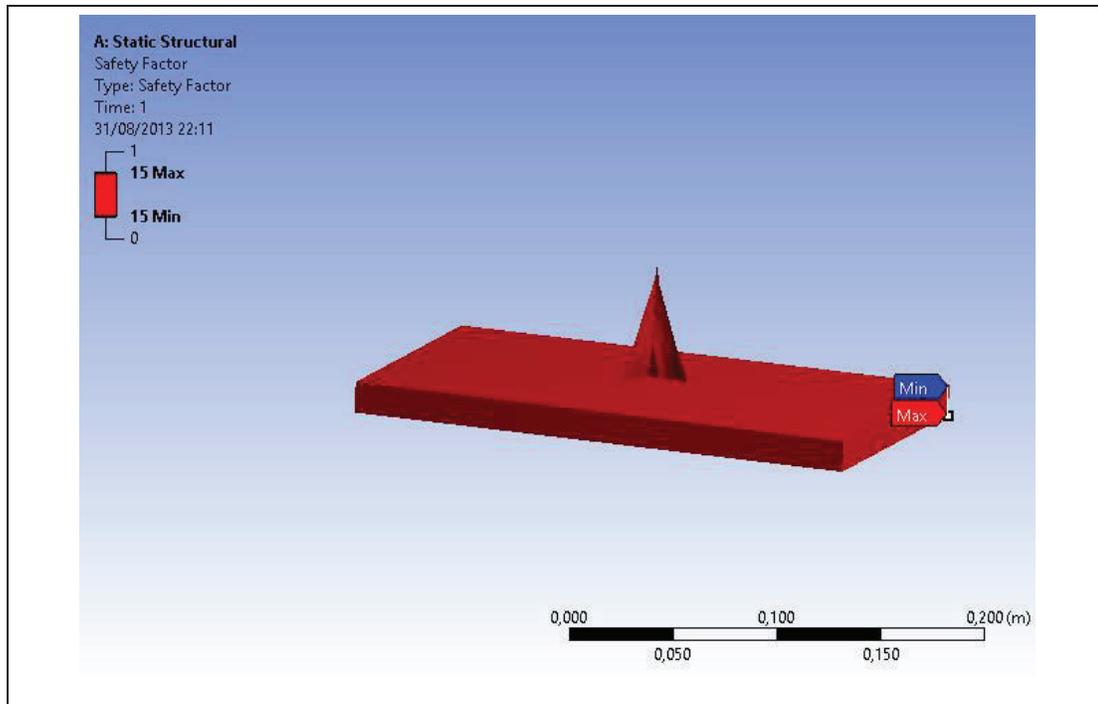


Tabla 4.7. Simulación de la solución 2.

En la tabla 4.8 se muestran los valores obtenidos luego de la simulación:

<b>Resultados de la simulación del volante circular</b>		
<b>Característica</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>
Esfuerzo	5,31e-11 m/m	1,839e-3 m/m
Deformación	0 mm	0,0002758 mm
Factor de Seguridad	15	15

Tabla 4.8. Resultados de la simulación del módulo 2.

El cálculo realizado como viga presenta una variación en el factor de seguridad con respecto al de la simulación debido a que en dos dimensiones se determina menor acción de las fuerzas en la placa que en tres dimensiones como permite la simulación, por encima de este criterio en los dos casos el factor de seguridad sobrepasa lo recomendado por lo que se considera que el diseño está correcto y se procede a la fase de construcción.

#### 4.1.4 SOLUCIÓN AL MÓDULO 3: CARDÁN

Existe en el módulo tres otro cardán con las mismas especificaciones por lo que se coloca los mismos parámetros iniciales y extremos. Este mecanismo es estándar y no es necesario dibujar planos de detalle.

#### 4.1.4.1 Cálculo del Cardán

El cálculo de este elemento es referido al ajuste mecánico que posee para así acoplar la parte superior de la mesa con los accionamientos hidráulico (gatas). Para este cálculo es recomendable que el eje sea la medida base porque es mucho más fácil medir y realizar el trabajo en el exterior.

Datos:

- Eje: 12 [mm].
- Agujero base, con el ajuste forzado.

En la tabla 4.9 se muestran el resumen de las características luego de realizar los cálculos.

<b>RESUMEN DE MEDIDAS DE LAS TOLERANCIAS</b>			
<b>Desviaciones del eje y agujero</b>			
<b>Medida nominal</b>	<b>Medida mínima</b>	<b>Medida máxima</b>	<b>Ajuste Mecánico</b>
Del eje			
25mm	24,9835mm.	25,0165mm.	25js8
Del agujero			
25mm	24,960mm.	24,948mm.	25E8

**Tabla 4.9.** Resumen de medidas.

#### 4.1.4.2 Plano de construcción

Este componente es estándar por lo que se identifica de esta manera:

- **Cardán DIN 12012**

#### 4.1.4.3 Simulación de solución del módulo 3

En tabla 4.10 se muestran los resultados de la simulación.

**Datos del problema:**

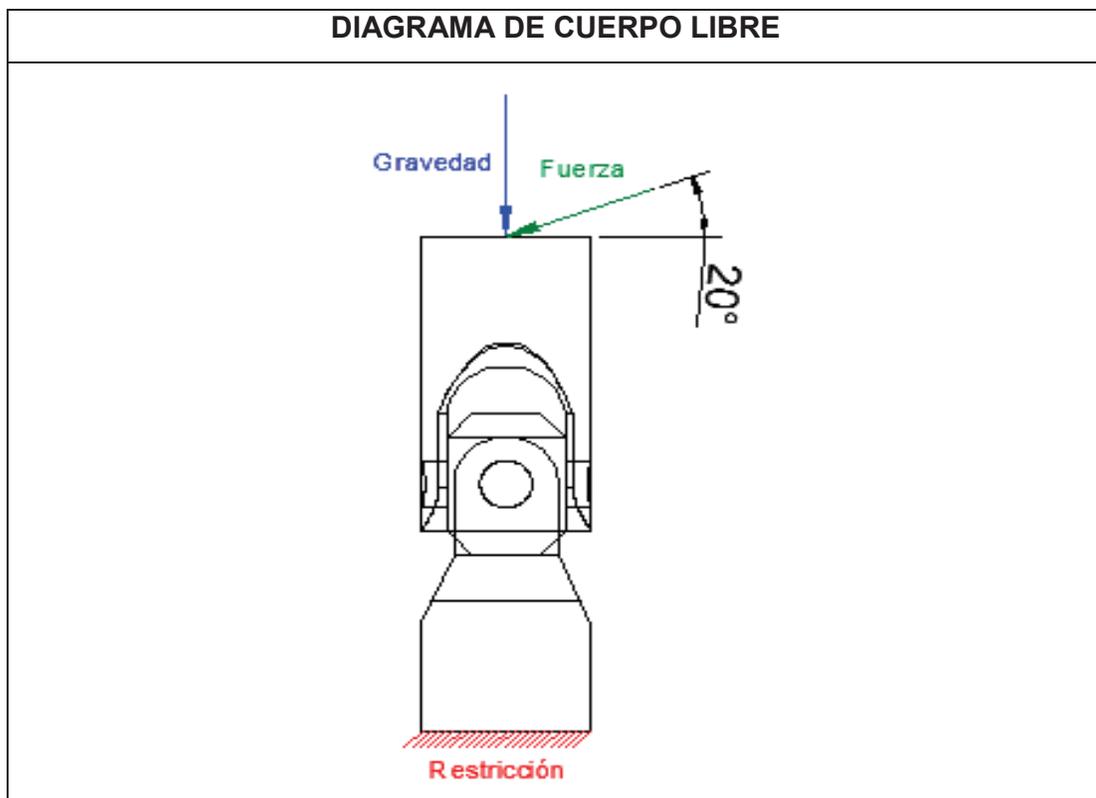
Esfuerzo admisible del acero a36 = 250 Mpa

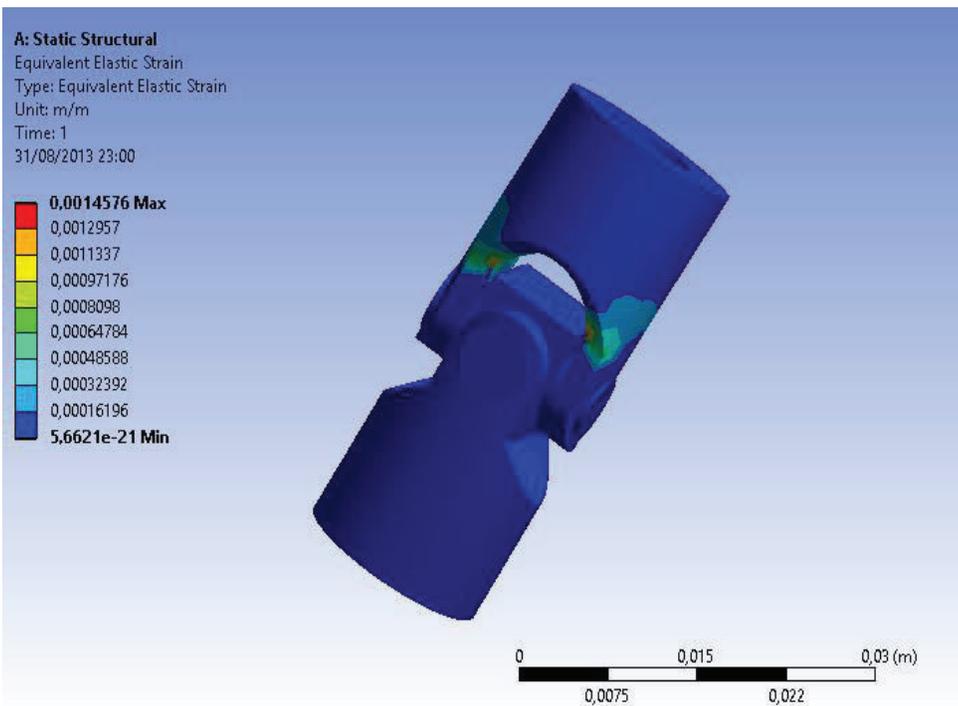
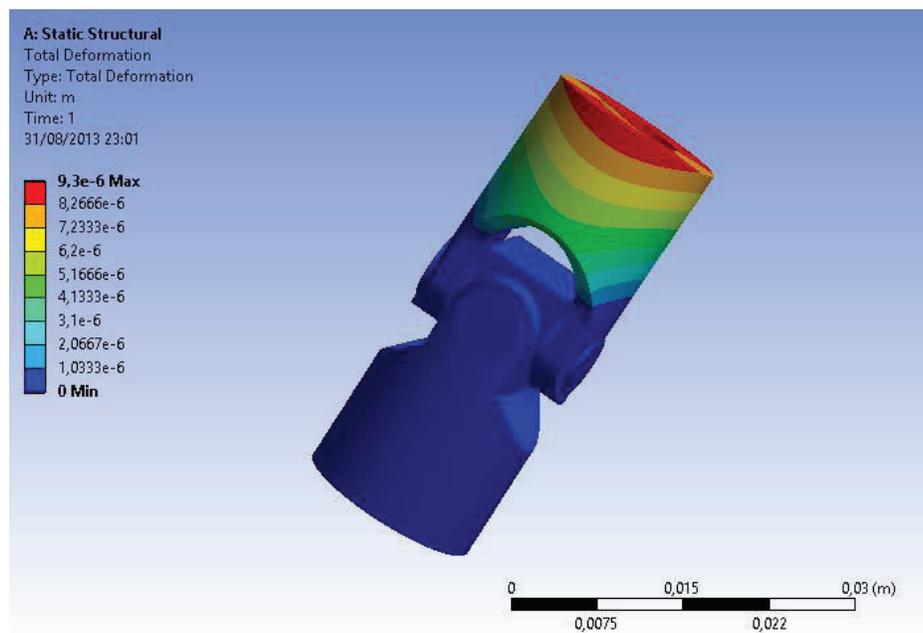
Masa = 370 lbs.

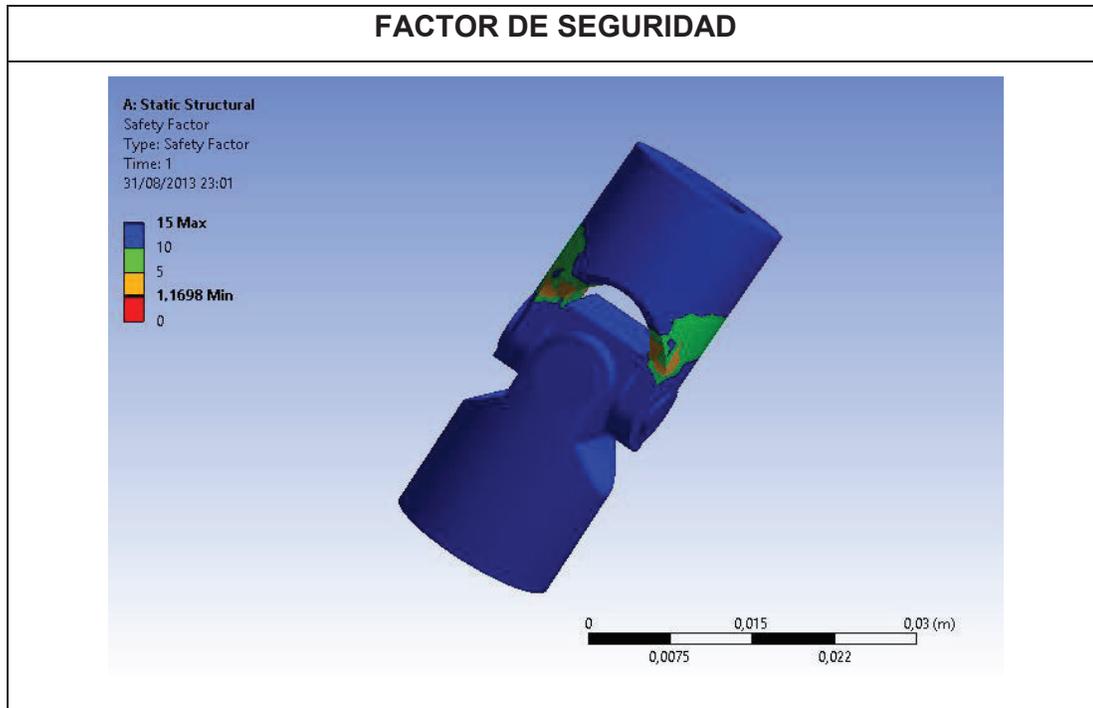
Gravedad = 9,81 m/s<sup>2</sup>

Restricción = parte inferior del cardán por el movimiento.

**Tipo de problema:** Es un problema de análisis estático estructural (static structural), debido a que se calculó los efectos que produce una carga en condiciones constantes en la estructura, sin tener en cuenta una variable con carga variable (amortiguador); la masa aplicada es de manera tangencial a la una cara del cardán.



**ESFUERZO****DEFORMACIÓN**



**Tabla 4.10.** Simulación de la solución 3.

En la tabla 4.11, se muestran los valores obtenidos luego de la simulación:

<b>Resultados de la simulación del volante circular</b>		
<b>Característica</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>
Esfuerzo	1,457e-3 m/m	5,662e-21 m/m
Deformación	0 mm	0,0093 mm
Factor de Seguridad	1,169	15

**Tabla 4.11.** Resultados de la simulación del módulo 3.

Por los resultados de la simulación realizada el diseño cumple de manera correcta y se procede a la fase de construcción.

#### **4.1.5 SOLUCIÓN AL MÓDULO 4: ACCIONAMIENTO MECÁNICO.**

Al tener tres soluciones similares por el principio de funcionamiento del módulo 4 se analiza solamente un dispositivo mecánico.

##### **4.1.5.1 Cálculo del accionamiento mecánico.**

El accionamiento mecánico es un mecanismo que se encuentra en los asientos de un automóvil, por lo que el diseño ya está comprobado para soportar las fuerzas del cuerpo de una persona incluso en colisiones vehiculares.

#### 4.1.5.2 Plano de construcción.

El accionamiento mecánico no posee un plano pues es un elemento estandarizado, pero en los planos 6, 7, 8 y 9 se representan los planos de los nuevos marcos

#### 4.1.5.3 Simulación de solución del módulo 4.

En el anexo 2 se coloca el reporte del análisis, en este se considera una MASA de 370 lb., en tabla 4.12 se muestra los resultados.

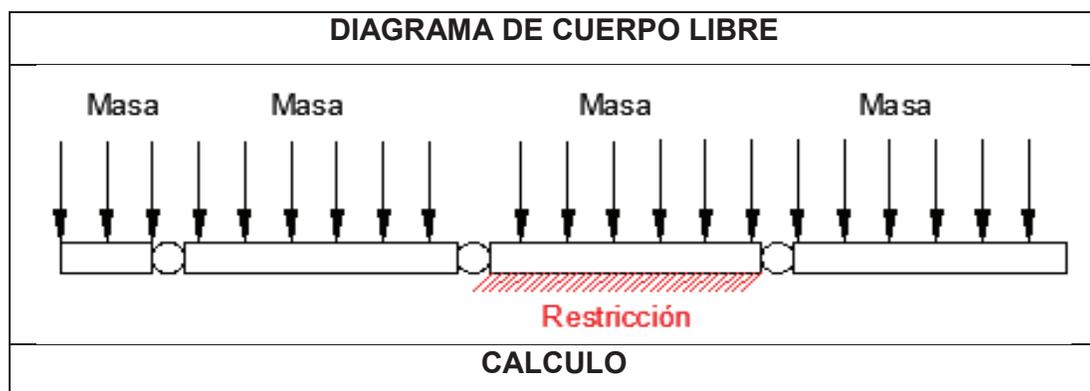
#### Datos del problema:

Esfuerzo admisible del acero a36: 250 [MPa].

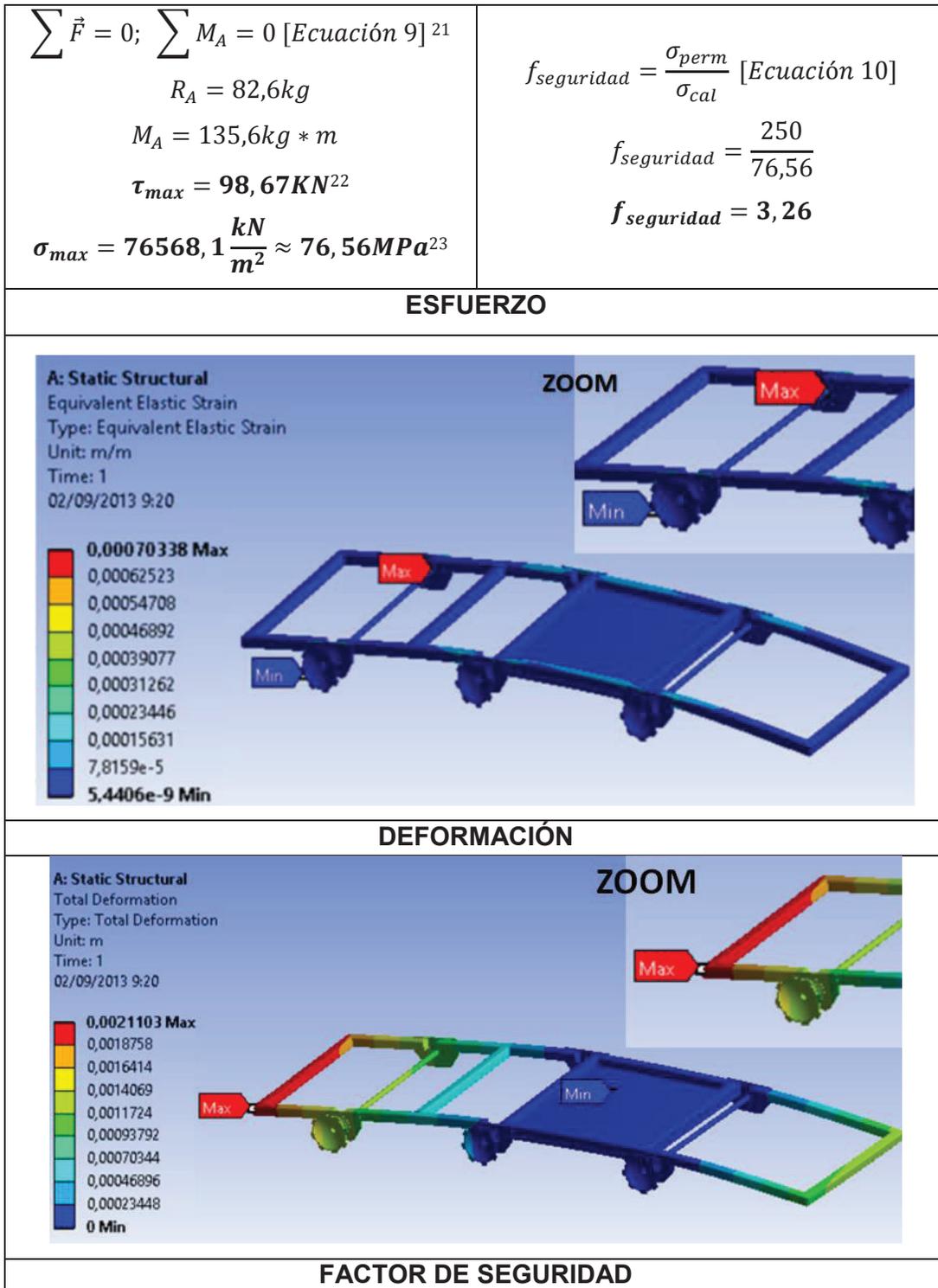
Masa: 370 [lbs].

Restricción: parte inferior de la placa que soporta al módulo 4.

**Tipo de problema:** Es un problema de análisis estático estructural (static structural), se calcula los efectos que produce una carga en condiciones constantes en la estructura; la masa aplicada distribuida en los marcos del módulo 4.<sup>20</sup>



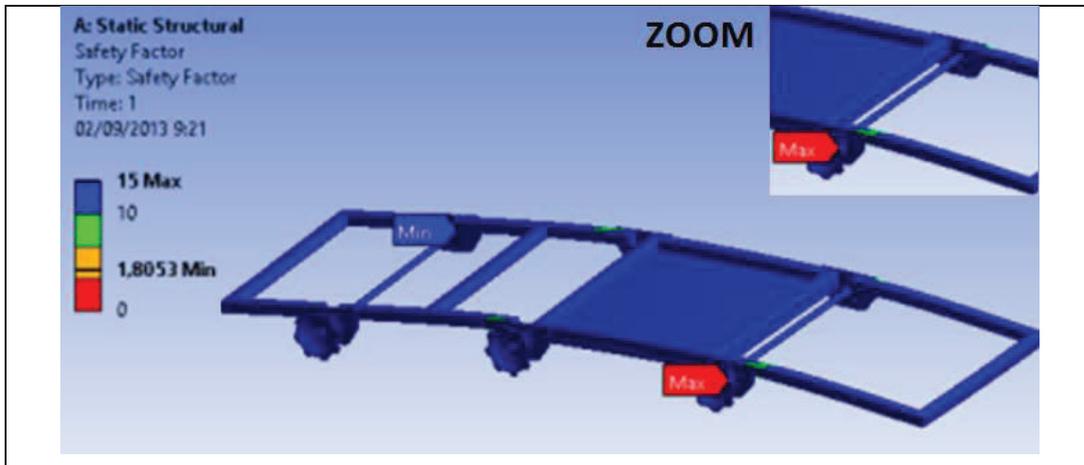
<sup>20</sup> Véase aclaración en el literal 4.1.5.1



<sup>21</sup> Fórmula de sumatoria de fuerzas en un elemento considerado como viga debido a su esbeltez

<sup>22</sup> Valor del Esfuerzo Cortante Máximo proveniente del Diagrama Esfuerzo Cortante-Momento Flector

<sup>23</sup> Valor del Momento Flector Máximo proveniente del Diagrama Esfuerzo Cortante-Momento Flector



**Tabla 4.12.** Simulación de la solución módulo 4.

En la tabla 4.13 se muestran los valores obtenidos luego de la simulación:

<b>Resultados de la simulación del volante circular</b>		
<b>Característica</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>
Esfuerzo	1,457e-3 m/m	5,662e-21 m/m
Deformación	0 mm	0,0093 mm
Factor de Seguridad	1,8053	15

**Tabla 4.13.** Resultados de la simulación del módulo 4.

El cálculo analítico de los marcos del módulo 4 (véase 4.1.5.1) está dentro de los rangos de la simulación realizada, esto se debe a que el cálculo se lo realiza en dos dimensiones mientras que la simulación considera las tres dimensiones por lo que varía un poco, el diseño está correcto y se procede a la fase de construcción.

## **4.2 CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO PROTOTIPO.**

Luego de un exhaustivo análisis dentro del cual se pusieron a disposición varias alternativas se ha logrado establecer las mejores soluciones que cumplan en la parte constructiva de este proyecto.

En cada elemento se coloca una fotografía del estado actual de la mesa quirúrgica manual, y después se adjunta una imagen del rediseño, con una breve descripción de lo construido. En cada elemento se va evaluando la funcionalidad de los mecanismos y la interacción con el resto de los elementos que conforman el prototipo.

#### 4.2.1 ACTIVACIÓN DE LOS SEGUROS DE FIJACIÓN.

Este elemento debe ser capaz de accionar los seguros de manera rápida, segura y con la menor fuerza posible, pues el personal que manipula el prototipo puede ser femenino. En la figura 4.2a se muestra el sistema actual, mientras que en la figura 4.2b se muestra el mecanismo construido.



Figura 4.2a. Sistema anterior.

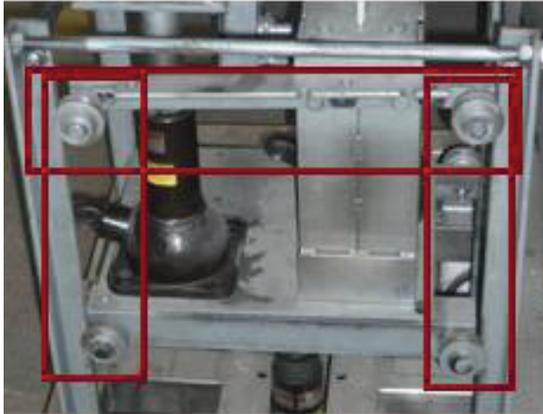


Figura 4.2b. Sistema actual.

Como se observa el mecanismo actual es de una llave 30mm., por lo que el movimiento es complicado porque no es una adaptación fija. El mecanismo construido es un cuadrado (macho) de 19mm., en el perno de accionamiento, mientras que en un volante de aluminio se realiza esa misma figura (hembra) haciendo que la superficie de contacto sea más segura.

#### 4.2.2 MOVIMIENTO PERPENDICULAR.

Las guías cilíndricas construidas permiten obtener el movimiento perpendicular requerido, asimismo reduce el número de elementos que puedan interferir con los módulos superiores. En la figura 4.3a se muestra el sistema actual, mientras que en la figura 4.3b se muestra el mecanismo construido.



**Figura 4.3a.** Elementos anteriores.



**Figura 4.3b.** Elementos actuales.

En la primera figura se observa las guías con tolerancias dimensionales y geometrías deficientes de alcanzar aun regulando con los elementos de regulación, esto provoca un descentramiento de la mesa al momento de realizar el movimiento; mientras que las guías cilíndricas son instaladas mediante soldadura por lo que las tolerancias se fijan durante el proceso constructivo.

#### **4.2.3 MOVIMIENTO PARALELO.**

En el prototipo original el movimiento se lo realiza mediante el desplazamiento de una rueda acanalada sobre un ángulo; mientras que en el prototipo actual se realiza este desplazamiento en las guías cilíndricas lo que permite garantizar el paralelismo, en la figura 4.4a se muestra el sistema actual, mientras que en la figura 4.4b se muestra el mecanismo construido.



**Figura 4.4a.** Elementos anteriores.



**Figura 4.4b.** Elementos actuales.

#### 4.2.4 ACCIONAMIENTO LINEAL.

La fuerza ejercida para este movimiento no se encuentra en el centro de gravedad de la placa por lo que la transmisión del esfuerzo no es la correcta, en la figura 4.18a se muestra el sistema actual que está funcionando, entre tanto en la figura 4.18b se muestra el mecanismo construido.



**Figura 4.5a.** Elementos anteriores.



**Figura 4.5b.** Elementos actuales.

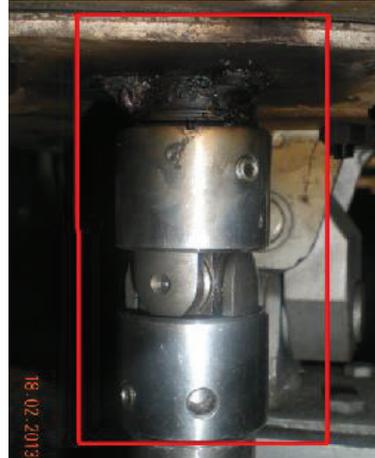
Al parecer en el diseño anterior el cálculo del centro de gravedad se obvió en la placa, y se sujetó mediante un pasador por lo que al transmitir la fuerza necesaria para levantar el peso de una persona este mecanismo esta era insuficiente. Por lo que en el diseño actual a más de aumentar la sección de la placa se diseña una mejor sujeción entre la placa y el accionamiento hidráulico.

#### 4.2.5 MOVIMIENTO LONGITUDINAL.

Este movimiento posee dos características fundamentales que son: convertir el movimiento circular a angular y la asegurar que no se produzca el vuelco de la parte superior del prototipo. En la figura 4.6a se muestra el sistema actual, mientras que en la figura 4.6b se observa el mecanismo adaptado.



**Figura 4.6a.** Elementos anteriores.

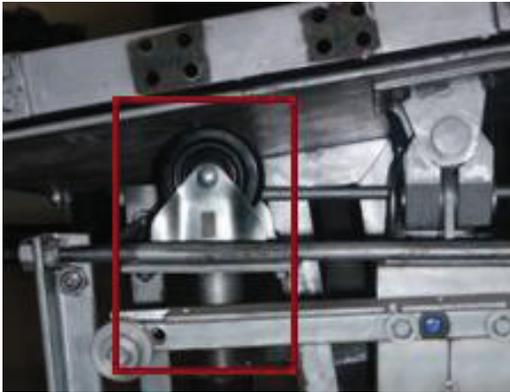


**Figura 4.6b.** Elementos actuales.

El movimiento longitudinal está unido al transversal a través de una articulación en donde se producen el giro. Este elemento es crítico ya que en el prototipo anterior si se genera el desplazamiento angular necesario para as posiciones quirúrgicas, pero la deficiencia es que este mecanismo no brinda la seguridad pues produce un vuelco de la parte superior al llegar a cierto ángulo. Mientras que en el nuevo diseño se adapta un cardán que genera el movimiento angular y asegura que no se produzca el vuelco.

#### 4.2.6 MOVIMIENTO TRANSVERSAL.

Este análisis es similar al del movimiento longitudinal. En la figura 4.7a se muestra el sistema actual mientras que en la figura 4.7b se indica el mecanismo construido.



**Figura 4.7a.** Elementos anteriores.



**Figura 4.7b.** Elementos actuales.

El análisis es similar al del movimiento longitudinal, debido a que la adaptación del cardán genera de manera segura el movimiento transversal.

#### 4.2.7 MOVIMIENTO DE ESPALDA.

Este mecanismo debe producir un movimiento angular que se genera en la altura de la espalda, en el diseño original de este dispositivo no es estable debido a su estructura. En la figura 4.8a se muestra el sistema actual, mientras que en la figura 4.8b se indica el nuevo mecanismo instalado en el prototipo.



**Figura 4.8a.** Elementos anteriores.

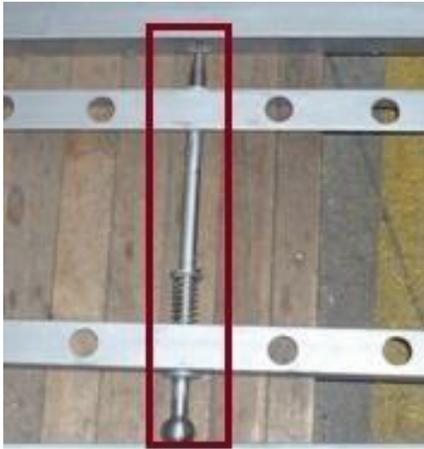


**Figura 4.8b.** Elementos actuales.

El cambio por el sistema de regulación mecánico responde a un cambio de elementos por completo, lo que hace mucho más sencillo el accionamiento y disminuye notablemente el peso de la mesa quirúrgica y el peso de esta.

#### 4.2.8 MOVIMIENTO DE PIERNAS.

Es necesario que este sistema, genere un movimiento angular independiente y rigidizado que sostenga el peso de las piernas al generar los movimientos; en la figura 4.9a se presenta el sistema del prototipo actual, así mismo en la figura 4.9b se exhibe el mecanismo construido e instalado en el nuevo prototipo.



**Figura 4.9a.** Elementos anteriores.

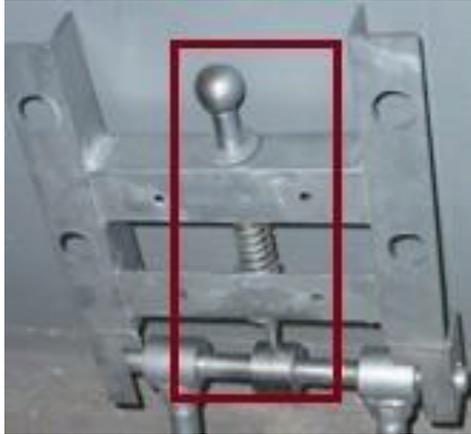


**Figura 4.9b.** Elementos actuales.

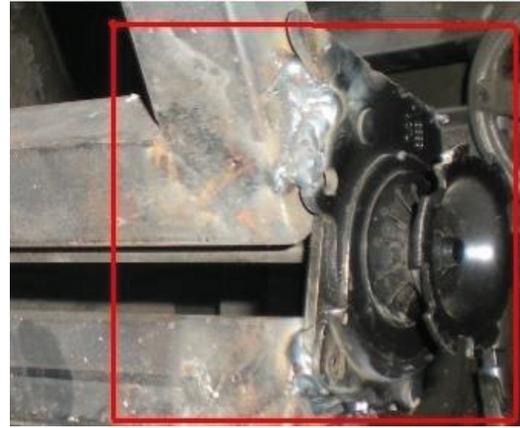
En este módulo sufrió un cambio completo de la geometría, así como el principio de funcionamiento que genera el desplazamiento angular, si bien el prototipo anterior era capaz de producir el movimiento deseado, no era capaz de soportar la fuerza que ejercían las piernas lo que provocaba que no tenga la seguridad necesaria. El nuevo mecanismo es capaz de soportar de una mejor manera el peso de las piernas sobre la estructura y regula eficientemente el ángulo necesario.

#### 4.2.9 MOVIMIENTO DE CABEZA

Este movimiento es encargado de dar comodidad a los músculos del cuello para una recuperación mucho más tolerable; la figura 4.10a muestra el sistema actual, entretanto la figura 4.10b se muestra el mecanismo adaptado.



**Figura 4.10a.** Elementos anteriores.



**Figura 4.10b.** Elementos actuales.

El movimiento de la cabeza es semejante al módulo de las piernas, con la diferencia que el primero debe soportar más peso y su rango de actuación es mayor, así que la única consideración especial es la ubicación del eje para producir la graduación de la cabeza; por lo que la adaptación del sistema instalado en la espalda y piernas, es conveniente y resulta efectivo.

### **4.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL NUEVO PROTOTIPO.**

Luego de terminar con la construcción de los mecanismos seleccionados se evalúan los cambios construidos con los parámetros establecidos en el capítulo 2, dentro de cada evaluación se anotarán las conclusiones necesarias de cada módulo por separado para poder establecer si se debe realizar un nuevo diseño si estos no cumplen los rendimientos esperados.

En la evaluación a cada módulo se utilizan la misma “**Descripción de la prueba**” y los “**Recursos asignados**”, con lo que solo es necesario llenar las tablas del “**Procesamiento de datos**” para el nuevo prototipo, para lo cual se adjunta una nueva columna en donde se indique la medida del prototipo actual y del anterior con el fin de realizar la comparación de como aumento el rendimiento de los diferentes módulos.

### 4.3.1 EVALUACIÓN FINAL DE MODULO UNO

La evaluación del primer módulo se muestra en la tabla 4.13, del procesamiento de datos 1.

Evaluación del Prototipo						
Responsable: Ing. Rivera; Sarango			Supervisor: Ing. Pérez			Módulo:1
Referencia	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Total
<b>Movimiento:</b> Fijación de seguros						
Pernos	6 N-m	6,5 N-m	6,5 N-m	6 N-m	6 N-m	6,2 N-m
<b>Movimiento:</b> Estabilidad de seguros						
Fuerza de prueba 1	48 N	46 N	48 N	48 N	45 N	47,2 N
Fuerza de prueba 2	50 N	48 N	48 N	47 N	48 N	48,2 N

**Tabla 4.13.** Tabla 1 de procesamiento de datos de la reevaluación módulo 1.

Con los resultados obtenidos la tabla 4.14 se completa la información de en la tabla 4.15, aquí se muestra el resultado de la evaluación del módulo 1, del prototipo construido.

EVALUACION DEL PROTOTIPO					
Módulo Uno					
Descripción de Evaluación	Parámetros de medida	Medida anterior	Medida actual	Medida esperada	Porcentaje de cumplimiento
Activación de los seguros	Fuerza de activación	17,6 N-m	10,5 N-m	10 N-m	95,23%
Estabilidad de los seguros	Fuerza de prueba 1	51,6 N	47,2 N	50 N	100%
Estabilidad de los seguros	Fuerza de prueba 2	56,8 N	48,2 N	50 N	100%
<b>Promedio General</b>					<b>98,41%</b>

**Tabla 4.14.** Tabla 2 del procesamiento de datos de la reevaluación módulo 1.

Los mecanismos del módulo 1 ya funcionan de manera correcta y eficiente, solamente se debe modificar el diámetro del tornillo para que este pueda disminuir la fuerza de accionamiento.

#### 4.3.2 EVALUACIÓN FINAL DE MÓDULO DOS

En este módulo se evalúan los dos movimientos tanto el paralelo como el longitudinal, que eran deficitarios en las dimensiones requeridas. Los resultados de esta nueva evaluación se muestran en la tabla 4.16 y 4.17.

<b>Evaluación del Prototipo</b>						
Responsable: Ing. Rivera; Sarango			Supervisor: Ing. Pérez		Módulo: 2	
<b>Movimiento:</b> Movimiento perpendicular en la parte superior						
<b>Referencia</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Total</b>
Punto A	135,2cm	132,2cm	132,9cm	140,5cm	141,5cm	136,46cm
Punto B	134,5cm	133,3cm	132 cm	139,3cm	142,1cm	136,24cm
Punto C	134cm	130,9cm	131,9cm	140,3cm	139,8cm	135,38cm
Punto D	135,2cm	131,5cm	132,4cm	140,2cm	140,8cm	140,88cm
<b>Movimiento:</b> Movimiento perpendicular en la parte inferior						
Punto A	68,1 cm	69cm	69,1 cm	68,5 cm	68,4 cm	68,62 cm
Punto B	68 cm	68,5cm	68 cm	68,2 cm	68,2 cm	68,18 cm
Punto C	67,1 cm	67cm	67,5 cm	67,2 cm	67,8 cm	67,32 cm
Punto D	68 cm	68,9cm	69,6 cm	69 cm	69,1 cm	68,92 cm

**Tabla 4.16.** Tabla 1 de procesamiento de datos de la reevaluación módulo 2.

Con los resultados obtenidos la tabla 4.16 se completa la información de en la tabla 4.17, aquí se muestra el resultado de la evaluación del módulo 1, del prototipo construido.

EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO					
Módulo dos					
Descripción de Evaluación	Parámetros de medida	Medida anterior	Medida actual	Medida esperada	Porcentaje de cumplimiento
Movimiento perpendicular	Parte superior	137,1cm	137,24 cm	130 cm	100%
Movimiento perpendicular	Parte inferior	85,97cm	68,26 cm	70 cm	100%
<b>Promedio General</b>					<b>100%</b>

**Tabla 4.17.** Tabla 2 del procesamiento de datos de la reevaluación módulo 2.

La intervención de este módulo solucionó el paralelismo y la perpendicularidad del sistema, los dispositivos están dentro de un parámetro aceptable, si se desea obtener un mejor desempeño este debería centrarse en las propiedades de los materiales para mejorar los coeficientes de fricción.

#### 4.3.3 EVALUACIÓN FINAL DE MÓDULO TRES.

Este es el módulo más crítico de nuestro prototipo pues esto no genera un porcentaje aceptable para los movimientos que se desea generar. Los resultados de esta nueva evaluación se muestran en la tabla 4.18 y 4.19.

Evaluación del Prototipo						
Responsable: Ing. Rivera; Sarango		Supervisor: Ing. Pérez			Módulo:3	
<b>Movimiento:</b> Movimiento longitudinal en la parte superior						
Referencia	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Total
Punto A	25°	26°	25,5°	25°	25,5°	25,4°
Punto A	-26,1°	-25°	-25,2°	-25,4°	-25°	-25,34°
<b>Movimiento:</b> Movimiento longitudinal en la parte inferior						
Punto A	24°	23,5°	24,4°	24,5°	24°	24,08°
Punto A	-25°	-24°	-25,2°	-24,5°	-25°	-24,74°

<b>Movimiento:</b> Movimiento transversal en la parte inferior						
Punto B	35°	34,8°	34,2°	35°	33,5°	34,6°
Punto B	-32°	-32°	-32,3°	-32°	-32°	-32,06°
<b>Movimiento:</b> Movimiento transversal en la parte superior						
Punto B	34,6°	34°	34°	34,2°	34,1°	34,18°
Punto B	-33,2°	-30,8°	-32°	-32°	-33°	-32,2°

**Tabla 4.18.** Tabla 1 de procesamiento de datos de la reevaluación módulo 3.

<b>EVALUACION DEL PROTOTIPO</b>					
<b>Módulo tres</b>					
<b>Descripción de Evaluación</b>	<b>Parámetros de medida</b>	<b>Medida anterior</b>	<b>Medida actual</b>	<b>Medida esperada</b>	<b>Porcentaje de cumplimiento</b>
Movimiento longitudinal	Parte superior	18°	25,4°	20°	100%
		-19,84°	-25,34°	-20°	
Movimiento longitudinal	Parte inferior	13,16°	24,08°	20°	100%
		-19,80	-24,74°	-20°	
Movimiento transversal	Parte superior	15°	34,6°	20°	100%
		-13,86	-32,06°	-20°	
Movimiento transversal	Parte inferior	18,82°	34,18°	20°	100%
		-19,32	-32,33°	-20°	
<b>Promedio General</b>					<b>100%</b>

**Tabla 4.19.** Tabla 2 del procesamiento de datos de la reevaluación módulo 3.

Este elemento fue el de mayor intervención en todas las fases del nuevo prototipo y cumple las expectativas que se pusieron para su rediseño. Se debe tomar en cuenta que los mecanismos son usados por lo que en la construcción de nuevos elementos no existirá esta dificultad.

#### **4.3.4 EVALUACIÓN FINAL DEL MÓDULO CUATRO.**

El módulo de los movimientos complementarios fue mejorado notablemente para poder ubicarlo entre uno de los más completos debido a las prestaciones que se obtiene. Los resultados de esta nueva evaluación se exponen en la tabla 4.20.

<b>Evaluación del Prototipo</b>						
Responsable: Ing. Rivera; Sarango			Supervisor: Ing. Pérez		Módulo:3	
<b>Movimiento:</b> Movimiento de espalda.						
Referencia	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Total
Eje A	130°	131,6°	130,5°	130,5°	130°	130,98°
Eje A	226°	226,8°	228°	226,5°	225°	226,76°
<b>Movimiento:</b> Movimiento piernas.						
Eje A	18,34°	18°	18,55°	18,90°	18,5°	18,56°
Eje A	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°
<b>Movimiento:</b> Movimiento cabeza.						
Eje A	180°	180°	180°	180°	180°	180°
Eje A	200°	200°	200°	200°	200°	200°

**Tabla 4.20.** Tabla 1 de procesamiento de datos de la reevaluación módulo 4.

Con los resultados obtenidos la tabla 4.20., se completa la información de en la tabla 4.21., aquí se muestra el resultado de la evaluación del módulo 4.

<b>EVALUACION DEL PROTOTIPO</b>					
<b>Módulo cuatro</b>					
Descripción de Evaluación	Parámetros de medida	Medida anterior	Medida actual	Medida esperada	Porcentaje de cumplimiento
Movimiento de espalda	Progresión de espalda	128,98° 225,76°	130,98° 226,76°	130° 225°	100%
Movimiento de piernas	Graduación de las piernas	8,38° -90°	18,56° -90°	10° -90°	100%
Movimiento de cabeza	Graduación de cabeza	175,58° 270°	180° 200°	175° 200°	100%
Movimiento de espalda	Progresión de espalda	128,98° 225,76°	130,98° 226,76°	130° 225°	100%
<b>Promedio General</b>					<b>100%</b>

**Tabla 4.21** Tabla 2 del procesamiento de datos del módulo 4.

En cuanto a este módulo, algunos elementos experimentaron cambios totales de diseño, tanto en geometría como en principios de funcionamiento, reflejado en las valoraciones numéricas. Es por esto que prácticamente este módulo no deberá experimentar ningún cambio de diseño en líneas de producción a más de mejorar en su graduación o su terminado para mejorar la comodidad de accionamiento.

#### **4.4 PRESUPUESTO DE UNA MESA QUIRÚRGICA MANUAL.**

Es siempre importante obtener los índices económicos con el fin saber en cuántos recursos se incurrió durante el prediseño, investigación, diseños definitivos y construcción del prototipo, lo cual representa gastos dentro de una posible línea de producción. Estos deben ser considerados como una inversión pero deben ser analizados a partir de un estudio de prefactibilidad o una necesidad específica.

Luego de concluir con la construcción del prototipo, se toma en cuenta los gastos incurridos tan solo en este rediseño pues los anteriores no se pueden cuantificar de una manera correcta.

En este punto se hace dos análisis que deben ser tomados en cuenta en un estudio de factibilidad económica del proyecto estos indicadores son el TIR (tasa interna de retorno) y el VAN (valor actual neto), nos sirven para obtener una rentabilidad de la construcción. Este rubro descrito ingresa como el costo de elaboración del proyecto, pues el mismo es el valor incurrido antes de una producción masiva.

##### **4.4.1 PRESUPUESTO DEL PROTOTIPO.**

En la tabla 4.22 se desglosa los diferentes valores que se incurrieron dentro de nuestra investigación y la etapa de diseño.

<b>ESCUELA POLITECNICA NACIONAL</b>			
<b>Facultad de Ingeniería Mecánica</b>			
<b>Maestría de Diseño Producción y Automatización Industrial</b>			
<b>Costo de elaboración del proyecto</b>			
<b>DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD</b>	<b>C/horas</b>	<b>US\$.</b>	<b>SUBTOTAL</b>
Recopilación de Información	40	US\$. 3,50	US\$. 140,00
Investigación de Campo	45	US\$. 3,50	US\$. 157,50
Realización del diagnóstico	20	US\$. 4,00	US\$. 80,00
Propuesta de soluciones	20	US\$. 6,50	US\$. 130,00
Investigación de metodología	10	US\$. 4,50	US\$. 45,00
Elaboración de alternativas	20	US\$. 6,00	US\$. 120,00
Elaboración de soluciones	25	US\$. 6,00	US\$. 150,00
Diseño	50	US\$. 7,00	US\$. 350,00
Construcción	100	US\$. 3,50	US\$. 350,00
Ensamblaje	40	US\$. 4,50	US\$. 180,00
Evaluación	25	US\$. 5,50	US\$. 137,50
Investigación de materiales	20	US\$. 6,50	US\$. 130,00
Revisión del proyecto (Docente a cargo)	25	US\$. 9,50	US\$. 237,50
Documentación Final	60	US\$. 5,50	US\$. 330,00
		<b>TOTAL</b>	<b>US\$.2.537,50</b>

**Tabla 4.22** Costo de elaboración del proyecto.

En esta tabla se hace una diferenciación de los costos de valor por hora pues en algunos valores se puede bajar el precio debido que se podría hacer con personal de menor costo como estudiantes o tecnólogos.

Si bien este valor es algo que se proyecta atreves de una suposición ya que varias actividades se las pudiera realizar con otro personal auxiliar al proyecto, en este caso en particular caso la totalidad de la elaboración del proyecto recae sobre los autores y el catedrático guía de la tesis. Cabe indicar que en el único

ítem que interviene algún personal ajeno a los doctores es la construcción, debido a que se necesita de maquinaria para la elaboración de la misma.

A este valor del prototipo actual se deben agregar dos valores necesarios que son el costo de materiales o elementos nuevos (suelda, pernos, cardán, volantes, etc.) y el valor de la maquinaria (torno, fresadora soldadora, etc.) que se requiere el cual asciende a **US\$. 450,00**. Esta suma nos entrega el valor neto del prototipo que es de **US\$. 2987,50**

#### **4.4.2 COSTO DE UNA MESA QUIRÚRGICA MANUAL**

El costo en el que se incurre para construir una mesa de este tipo es dependiente del número de las mismas, si bien se puede construir un prototipo para la distribución este debe tener algunas connotaciones técnicas distintas en sus acabados. Si bien el proyecto funciona en su totalidad como máquina se debe realizar ciertos cambios los cuales se describe a continuación:

- Los materiales de los que se debe construir deben tener una asepsia quirúrgica para garantizar el nivel mínimo de contaminación en este tipo de equipos.
- Otro elemento importante es que se debe escoger un material con la capacidad de resistir la corrosión que provoca los líquidos utilizados con el fin de lograr una alta esterilización.

Estos dos criterios hacen que ciertos elementos hagan variar el presupuesto, se basa en función de los costos de los materiales. Esto depende de la definición del mercado pues cada uno de ellos emite sus reglamentos por asepsia y la exigencia que tenga para la utilización de equipos quirúrgicos. En la siguiente tabla se presenta el costo de materiales que son necesarias además que se encuentran a disposición en el país y utilizados para algunas aplicaciones parecidas.

<b>ESCUELA POLITECNICA NACIONAL</b>			
<b>Facultad de Ingeniería Mecánica</b>			
<b>Maestría de Diseño Producción y Automatización Industrial</b>			
<b>Costo de la mesa quirúrgica manual</b>			
<b>PRODUCTO</b>	<b>Cantidad</b>	<b>US\$.</b>	<b>SUBTOTAL</b>
Perfilería inoxidable 304	30	US\$. 48,55	US\$. 1.456,50
Elevadores hidráulicos manuales	2	US\$. 285,45	US\$. 570,90
Cardanes	2	US\$. 20,00	US\$. 40,00
Elementos mecánicos de regulación	3	US\$. 76,78	US\$. 230,34
Plancha inoxidable 304 de 1mm	2	US\$. 68,79	US\$. 137,58
Ruedas	4	US\$. 7,50	US\$. 30,00
Volantes de aluminio	3	US\$. 18,75	US\$. 56,25
Plancha inoxidable 304 de 8mm	1	US\$. 26,78	US\$. 26,78
Suelda	15	US\$. 3,75	US\$. 56,25
Material de relleno	1	US\$. 130,00	US\$. 130,00
Lubricación y acabados finales	1	US\$. 60,00	US\$. 60,00
		<b>SUBTOTAL</b>	<b>US\$. 2.794,60</b>
		<b>COSTO DE INDIRECTOS</b>	<b>US\$. 938,38</b>
		<b>GANANCIA</b>	<b>US\$. 279,46</b>
		<b>TOTAL</b>	<b>US\$. 4.012,44</b>

**Tabla 4.23** Costo referencial de la mesa quirúrgica manual.

Este costo es sumamente referencial y los porcentajes de indirectos así como del costo de la ganancia en las empresas fueron tomados de una información referencial de varias empresas constructoras de equipos médicos a nivel regional, lo que permite acercarse a la realidad de los valores. Este valor sirven para realizar el análisis del TIR y VAN que se describe a continuación.

#### **4.4.3 RENTABILIDAD**

El estudio de la Rentabilidad de un proyecto es el proceso de medición de su valor, que se basa en la comparación de los beneficios que genera y los costos o inversiones que se requiere. Para determinar la factibilidad de los proyectos de investigación tecnológica, se hace necesaria la evaluación económica-financiera para contar con una valoración monetaria significativa, para tomar decisiones antes de su ejecución, debido a que arroja resultados en las que se puede percibir beneficios a corto plazo o perjuicios indirectos.

#### **4.4.3.1 Consideraciones Generales del “Método que considera el valor del dinero en el tiempo”<sup>24</sup>**

Las inversiones que se realizan con un propósito de obtener un rendimiento, es necesario cuantificar el monto de la inversión, así como los flujos de dinero que surgirán durante el proyecto.

La cuantificación de los ingresos y los egresos se hace con base en las sumas de dinero que se reciben (ingresos) y se entregan (gastos); aplicando una serie de índices o indicadores de eficiencia financiera los cuáles permiten conocer con cuanta eficiencia se utilizan los recursos en el desarrollo de las actividades dentro del proyecto.

##### *4.4.3.1.1 Valor Actual Neto (VAN).*

El valor actual neto es la diferencia del valor presente neto de los flujos netos de efectivo y el valor actual de la inversión, cuyo resultado se expresa en dinero. Se define como la suma de los valores actuales o presentes de los flujos netos de efectivo, menos la suma de los valores presentes de las inversiones netas.

En esencia los flujos netos de efectivo se descuentan de la tasa mínima de rendimiento requerida y se suman. Al resultado se le resta la inversión inicial neta; la fórmula que se utiliza para calcular el valor presente neto es:

---

<sup>24</sup>DURÁN, José Antonio, *El Financiero*, Editorial Arroyo, México 2009, p. 186

$$VAN = \sum_0^n \frac{FNE}{(1+i)^n}$$

Dónde:

- VAN = Valor Actual Neto.
- FNE = Flujo Neto de Efectivo.
- i = Tasa de interés a la que se descuentan los flujos de efectivo.
- n = Corresponde al año en que se genera el flujo de efectivo de que se trate.

#### 4.4.3.1.2 Tasa Interna de Rendimiento (TIR).

Esta es la tasa de descuento a la que el valor presente neto de una inversión arroja un resultado cero o la tasa de descuento que hace que los flujos netos de efectivo igualen al monto de la inversión. Esta tasa tiene que ser mayor que la tasa mínima de rendimiento exigida al proyecto de inversión.

En términos generales se la interpreta como la tasa máxima de rendimiento que produce una alternativa de inversión dados los flujos de efectivo.

El valor de TIR viene ilustrado por:

$$TIR = ia - \left[ (ia - ib) \times \frac{VAN}{VAN_+ + VAN_-} \right]$$

Dónde:

- TIR= Tasa Interna de Rendimiento.
- ia = Tasa de interés alta.
- ib = Tasa de interés baja.
- VAN+ = Valor Actual Neto Positivo.
- VAN- = Valor Actual Neto Negativo.

#### 4.4.3.1.3 Beneficio Costo.

Este indicador mide la cantidad de los valores netos de efectivo que se obtienen después de recuperar la tasa de interés exigida en el proyecto de inversión.

Este parámetro representa la suma de los valores actuales netos dividida entre la inversión al año cero (inversión inicial total).

$$B/C = \frac{\sum_1^N VAN_n}{Inversión\ Inicial}$$

Dónde:

- B/C Relación Beneficio Costo.
- VAN Valor Actual Neto.
- N Duración en años del proyecto.

Al analizar la relación, permite tomar decisiones de aceptación de proyecto, ya que indica la cantidad de dólares que se está percibiendo o perdiendo por cada dólar de inversión, y por ende muestra la rentabilidad en términos relativos y la interpretación del resultado se expresa en centavos ganados por cada dólar invertido en la implementación del proyecto.

#### 4.4.3.1.4 Criterio de aceptación

Los valores arrojados por los indicadores de la metodología, dan la aceptación para la financiación del proyecto cuando resultan:

### **Proyectos Aprobados**

VAN > 0

TIR > Tasa de actualización inferior, pero dentro de los valores de interpolación

B/C > 1

- El primero, indica que los beneficios proyectados son superiores a sus costos.

- El segundo indicador, significa que la tasa interna de rendimiento es superior a la tasa bancaria no tasa corriente.
- El tercero, revela que los beneficios generados por los proyectos, son mayores a los costos incurridos de implementación.

### **Proyectos Postergados**

Los proyectos de inversión llegan a ser postergados cuando los indicadores arrojan los siguientes resultados:

$$VAN = 0$$

$$TIR = \text{Tasa de descuento}$$

$$B/C = 1$$

En ese caso, los beneficios y costos de los proyectos están en equilibrio, por tanto, se recomienda corregir algunas variables como pueden ser mercados, tecnología, gastos de implementación, financiamiento e inversión.

### **Proyectos Rechazados**

Los proyectos de inversión llegan a ser rechazados cuando los indicadores arrojan los siguientes resultados:

$$VAN < 0$$

$$TIR < \text{Tasa de descuento}$$

$$B/C < 1$$

Significa que los beneficios de los proyectos son inferiores a sus costos y la tasa interna de rendimiento es inferior a la tasa bancaria, siendo rechazado definitivamente el proyecto.

#### *4.4.3.1.5 Tasa de actualización*

La tasa de actualización (tabla 4.24), se encuentra en función a la inflación proyectada al país y razón social del proyecto, puesto que ésta tasa es una estimación de riesgo sobre proyectos.

<b>Clasificación de Proyectos</b>	<b>Tasa de actualización</b>	
Proyectos sociales sin fines de lucro	7%	10%
Proyectos bajo financiamiento estatal	12%	14%
Proyectos bajo financiamiento privado	11%	13%
Proyectos mixtos	13%	15%

**Tabla 4.24.** Tasa de actualización para proyectos.

La relación de impuestos a la renta vigente en el Ecuador es del 36,25%, y la de utilidades es el 10% en un periodo contable, que influye directamente en el desarrollo de un proyecto sin considerar su clasificación.

#### **4.4.3.2 Rentabilidad del Proyecto.**

En este caso al ser un producto nuevo se debe proyectar un margen de “Utilidad Neta” a lo largo de cinco años, que es el periodo de tiempo que el SRI, considera la recuperación de la inversión. Estos valores deberán ser alcanzados por el número de mesas construidas a lo largo del año tomando en cuenta las diferentes amortizaciones de la construcción y equipos.

Con una ayuda de una hoja de cálculo de Excel se procede a colocar las distintas fórmulas necesarias para obtener los diferentes parámetros que serán considerados para el análisis de la rentabilidad (tabla 4.25).

<b>ANALISIS DE LA FACTIBILIDAD VAN/TIR</b>			
Costo De Implementación Del Proyecto		US\$. 6.449,94	
Años De Proyección De La Vida Útil Del Proyecto		Cinco Años	
Utilidad Neta Del Primer Año	US\$. 15.939,71		US\$.14.231,8
Utilidad Neta Del Segundo Año	US\$. 10.161,57		US\$. 8.100,74
Utilidad Neta Del Tercer Año	US\$. 5.936,12		US\$. 4.225,22
Utilidad Neta Del Cuarto Año	US\$. 3.784,28		US\$. 2.404,98
Utilidad Neta Del Quinto Año	US\$. 2.412,48		US\$. 1.368,90
Tasa De Actualización Inferior		11,00%	
Tasa De Actualización Superior		13,00%	
Tasa De Actualización Media		12,00%	
	<b>VAN</b>	<b>\$ 24.296,17</b>	
	VAN(+)	US\$.16.782,1	
	VAN(-)	US\$. -12.617,7	
	<b>TIR</b>	<b>11,35%</b>	
	<b>B/C</b>	<b>4,03</b>	

**Tabla 4.25** Cálculo de la Rentabilidad del Proyecto.

### **Conclusiones:**

Los valores obtenidos para la verificación de la rentabilidad del proyecto son los siguientes:

$$\text{VAN} = 24.296,17 > 0$$

$$\text{TIR} = 11,35\% > 11\%$$

$$\text{B/C} = 4.03 > 1$$

- El VAN, resulta mayor que cero, lo cual indica que gracias a la inversión de implementación y de elaboración se obtendría un flujo de efectivo durante los cinco años considerable; en consecuencia indica la aceptación del proyecto.
- El TIR resulta entre los rangos de tasa de actualización de los proyectos que son de 11% a 13%, la cual indica que estará dentro de los proyectos bajo financiamiento privado; en consecuencia indica la aceptación del proyecto.
- El B/C resulta mayor que uno, lo cual indica que la relación que existe entre los valores netos de efectivo después de recuperar la tasa de interés exigida es mayor que el equilibrio; en consecuencia indica que el proyecto es rentable.

Al cumplir los tres indicadores del cálculo de rentabilidad se determina que el proyecto denominado “La construcción de una mesa Quirúrgica Manual”, **ES RENTABLE**; considerando el número de mesas necesarias para obtener la utilidad neta. Este análisis se lo deberá hacer en un estudio de mercado para observar si la cantidad y las condiciones del mercado permiten dichos niveles de ventas en el mercado que se considere el ingreso del producto.

## 5. CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- Al finalizar el presente proyecto se puede describir que se ha logrado conocer las características mecánicas que debe cumplir la mesa quirúrgica manual, de tal manera que se pudieron obtener los movimientos requeridos por los profesionales de la salud.
- En lo que se refiere al prototipo original este se sometió a una evaluación exhaustiva que permitió obtener la información necesaria que fue aprovechada para tomar las decisiones del rediseño parciales y totales de los elementos mecánicos que no cumplían con los requerimientos básicos para esta máquina.
- En algunos mecanismos se decidió un rediseño y en otros la optimización de los mismos por un cambio parcial, en el primer caso se respaldó con una metodología de Ingeniería Concurrente y de residuos ponderados, la cual ayudó a elegir la mejor opción.
- Una vez colocados los diferentes elementos rediseñados dentro del nuevo prototipo, se procedió a una nueva evaluación con los criterios ya establecidos, esto nos permitió tener criterio de aceptación. Además se complementó la mesa quirúrgica con varios elementos que ayudaban a mejorar su accionamiento así como su estética.

- El criterio económico es fundamental para los proyectos que se desarrollan con el fin de introducir un producto al mercado, este análisis logra reflejar el costo de la inversión necesaria tomando en cuenta varias investigaciones anteriores donde se tiene cierta información económica.
- Para poder vincular el proyecto con la sociedad se lleva a cabo el uso de otra metodología que es denominada “*Desarrollo sobre la base de la calidad*”, la cual mediante su aplicación es capaz de hacer que el prototipo tome forma de proyecto a lo largo de sus cuatro fases con el fin de tomar una necesidad del mercado y llevarla hasta la planificación.
- La investigación y el uso de metodologías toman un valor agregado en el desarrollo de cualquier proyecto, ya que no todos los conocimientos dentro de la ingeniería están dados y es por ello que siempre se requiere un respaldo teórico y práctico; de allí que el aprendizaje nunca termina y siempre se desarrollan ideas nuevas que se retroalimentan de errores, de experiencias, del personal de trabajo, estudios profesionales y capacitaciones.

## 5.2 RECOMENDACIONES:

### Recomendaciones técnicas

Durante el desarrollo del proyecto se han encontrado algunas inconvenientes en el diseño de la mesa quirúrgica y a través de un análisis con el profesor Director de Tesis se determina las siguientes recomendaciones:

- El juego no deseado que se presenta en los módulos de la cabeza, espalda y piernas, es evidente al momento que no existe carga sobre ellos. Los dispositivos instalados en el prototipo pertenecieron al asiento de un vehículo que fueron adaptados a los módulos, estos mecanismos no se lograron conseguir por sus costos elevados. Previa a la instalación de los elementos se decidió desarmar uno de los dispositivos adquiridos con el fin de poder reparar y así disminuir este juego en los módulos, esto no se pudo ejecutar debido a la dificultad que tienen los mismos. Estos mecanismos cuando son nuevos no poseen juego alguno, por lo que para el diseño final estos son una solución viable.
- El elemento de activación de los seguros de fijación de la mesa quirúrgica realiza la función de inmovilizarla, a causa del peso de la mesa se debe plantear un nuevo diseño que considere una fuerza de accionamiento menor a la considerada en los diseños anteriores, con el fin de mejorar la manipulación de estos seguros.
- Las articulaciones y mecanismos implementados en este proyecto han logrado producir todos los movimientos requeridos, aunque no se logró

disminuir el juego en la gata; se buscaron alternativas en el mercado local que no presenten este inconveniente, se realizaron las pruebas pertinentes cuyo resultado no fue favorable. A esto se propone que antes de la construcción se diseñe una gata adecuada que cumpla los requerimientos apropiados para este prototipo.

**Recomendaciones Generales:**

Mejorar las prestaciones y especificaciones de la máquina, mediante investigaciones exhaustivas para dar soluciones adecuadas para realizar la producción en serie de este proyecto. Una de las alternativas a considerarse es a través de un seguimiento de investigaciones continuas desde los pregrados y posgrados, de esta manera se podrá obtener la calidad y eficacia en la sustentabilidad de los proyectos propuestos.

## **ANEXOS**