

**DISPOSITIVO PARA MEJORAR LA PRECISIÓN EN EL PROCESO DE
SOLDADURA CIRCULAR DE RODILLOS DE CARGA Y RETORNO MARCA
DISMET, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**

JENNY ALEXANDRA ESTEPA MORALES

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS

ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL

BUCARAMANGA

2013

**DISPOSITIVO PARA MEJORAR LA PRECISIÓN EN EL PROCESO DE
SOLDADURA CIRCULAR DE RODILLOS DE CARGA Y RETORNO MARCA
DISMET, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**

JENNY ALEXANDRA ESTEPA MORALES

Trabajo de grado para optar por el título de Diseñadora Industrial

Director

D.I. LUIS ALBERTO LAGUADO VILLAMIZAR

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS

ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL

BUCARAMANGA

2013

CONTENIDO

1	DESCRIPCION DEL PROYECTO	17
1.1	TITULO	17
1.2	OBJETIVO GENERAL	17
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.4	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	18
1.5	METODOLOGÍA	20
1.5.1	Descripción de la metodología	22
1.6	DIAGRAMA DE LA METODOLOGÍA.....	23
2	DEFINICION DEL PROBLEMA.....	25
2.1	CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA	25
2.2	DIAGNOSTICO DEL PROCESO	29
2.2.1	Observación	29
2.2.2	Diagnóstico	37
2.3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	42
2.4	ALCANCES DEL PROYECTO	50
2.5	ESTADO DEL ARTE.....	52
2.5.1	Posicionadores.....	52
2.5.2	Manipuladores de soldadura	57
2.5.3	Pistolas y apoyabrazos	61
2.6	METODO RAPID ENTIRE BODY ASSESSMENT (REBA)	63

2.6.1	Descripción del método Rapid Entire Body Assessment	63
2.6.2	Aplicación del método REBA	69
2.7	Recolección de Información.....	75
2.7.1	Marco Teórico	75
2.7.2	Entrevista	103
2.7.3	Definición De Requerimientos.....	107
2.7.4	Definición de parámetros	110
3	DISEÑO CONCEPTUAL	112
3.1	FUNCIONES Y ESTRUCTURAS NEURÁLGICAS DEL PROYECTO 112	
3.2	Generación de Alternativas.....	114
3.2.1	Cambio de longitudes en los rodillos.....	114
3.2.2	Cambio de diámetro	116
3.3	Selección de conceptos de diseño	119
3.3.1	Elección del concepto para el ajuste del diámetro de los rodillos para estaciones de carga e impacto	119
3.3.2	Elección del concepto aplicado para el cambio de longitudes de los rodillos para estaciones de carga e impacto.....	120
4	DISEÑO EN DETALLE.....	121
4.1	INTEGRACIÓN DE CONCEPTOS	121
4.2	DESARROLLO DE MODELO CAD EN AUTODESK® INVENTOR® 2011	123

4.2.1	Sujeción de rodillos de diferentes diámetros.....	123
4.2.2	Ajuste a la longitud del rodillo.....	125
4.2.3	Estructura Superior	133
4.2.4	CONCEPTO FORMAL.....	134
4.3	ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES POR METODO DE ELEMENTOS FINITOS CON AUTODESK® INVENTOR® 2011	136
4.4	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS CON AUTODESK® INVERTOR® 2011.....	139
4.4.1	Ángulo 1: ASTM A-36 de 2" x 3/16".....	141
4.4.2	Ángulo 2: ASTM A-36 de 2" x 3/16".....	142
4.4.3	Ángulo 3: ASTM A-36 de 2" x 3/16".....	143
4.4.4	Ángulo 4: ASTM A-36 de 2" x 3/16".....	144
4.4.5	Tornillo de Sujeción.....	145
4.4.6	Tornillo Soporte del plato de sujeción	146
4.5	Conclusiones	147
4.5.1	Prototipo Final	147
5	COMPROBACIÓN	150
5.1	APLICACIÓN METODO REBA CON EL PROTOTIPO FINAL	151
5.1.1	Valoración Individual Grupo A.....	153
5.1.2	Valoración Individual Grupo B.....	153
5.1.3	Puntuación grupal para el grupo A.....	154

5.1.4	Puntuación Grupal para el grupo B	155
5.1.5	Unión de puntajes obtenidos para el grupo A y B	156
5.1.6	Adición de puntaje por carga y fuerza	157
5.1.7	Nivel de Acción Requerida	157
5.2	CONCLUSIONES	158
	BIBLIOGRAFIA	159
	ANEXOS	162

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 diagrama del proceso propuesto con la metodología de diseño	24
Figura 2.1 acomodación postural para soldadura de rodillos de 40" de largo...	69
Figura 2.2 acomodación postural para soldadura de rodillos de 40" de largo...	70
Figura 2.3 valoración tronco, cuello y piernas.....	70
Figura 2.4 valoración brazo, antebrazo, muñeca	71
Figura 2.5 equivalencia biomecanica hombre-grua	85
Figura 2.6 relación entre dimensiones espaciales del puesto y humanas.	92
2.7 areas de actividad en el plano de trabajo	93
Figura 2.8 soldeo hacia atrás y hacia adelante. Angulo de retraso y de adelanto	98
Figura 2.9 angulo de desplazamiento	99
Figura 2.10 distancias entre la antorcha y sus elementos con la pieza a soldar	100
Figura 3.1 funciones principales y secundarias	113
Figura 3.2 alternativa 1: mecanismo de withworth	114
Figura 3.3 alternativa 2: tornillo con rodamientos	115
Figura 3.4 alternativa 1: plato con ranuras.....	116
Figura 3.5 alternativa 2: luneta.....	117
Figura 3.6 alternativa 3: plato de sujeción	118
Figura 4.1 integración de los conceptos de diseño	122
Figura 4.2 parámetros ergonómicos	122
Figura 4.3 integración de los conceptos de diseño	123
Figura 4.4 posicionamiento del rodillo sobre el plato de sujeción	124

Figura 4.5 soporte superior del rodillo.....	124
Figura 4.6 tornillo de rosca cuadrada y guías para el desplazamiento del plato de sujeción	125
Figura 4.7 posicionamientos del rodillo con respecto al soporte de antorcha .	127
Figura 4.8 diagrama de cuerpo libre del tornillo	130
Figura 4.9 sistema de conexión que une el plato de sujeción y el motor	132
Figura 4.10 estructura soporte del dispositivo.....	133
Figura 4.11 estructura superior del dispositivo.....	134
Figura 4.12 obra kasimir malevich, supremus 58.....	135
Figura 4.13 idea base para el perfil estético del dispositivo	136
Figura 4.14 prototipo final	148
5.1 prototipo final del dispositivo	150
5.2 operario numero 1 soldando con el dispositivo	151
5.3 operario numero 2 soldando con el dispositivo	152
5.4 operario numero 3 soldando con el dispositivo	152
5.5 operario numero 3 soldando con el dispositivo	153

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 descripción de las macro y micro estructuras que componen la metodología.....	23
Tabla 2.1 tiempos empleados en cada paso ejecutado durante la soldadura de rodillos de retorno para bandas 44”	32
Tabla 2.2 tiempos empleados en cada paso ejecutado durante la soldadura de rodillos de carga para bandas 42”	34
Tabla 2.3 tiempos empleados en cada paso ejecutado durante la soldadura de rodillos de retorno para bandas 36”	37
Tabla 2.4 promedio de tiempos en segundos de acuerdo con cada etapa de soldadura de rodillos para estaciones de carga y retorno.	38
Tabla 2.5 diámetros, longitudes y pesos de rodillos dismet®	43
Tabla 2.6 puntuación según el método reba de cada segmento del cuerpo del grupo a de acuerdo con su posición.....	64
Tabla 2.7 puntuación según el método reba de cada segmento del cuerpo del grupo b de acuerdo con su posición.....	64
Tabla 2.8 adición de puntuación para el grupo a, según el método reba de cada segmento del cuerpo	65
Tabla 2.9 adición de puntuación para el grupo b según el método reba de cada segmento del cuerpo	65
Tabla 2.10 tabla de puntuación colectiva grupo a.....	66
Tabla 2.11 puntuación colectiva grupo b	66
Tabla 2.12 estimación de la puntuación c basada en las puntuaciones a y b...	67
Tabla 2.13 adición de puntos según la actividad física.	67

Tabla 2.14 tabla de niveles de riesgo y de actuacion requerida	68
Tabla 2.15 factores que incrementan el riesgo de trastornos musculo esqueléticos	87
Tabla 2.17 características del cordón de soldadura según la posición de la antorcha	100
Tabla 4.1 longitudes de la rodillera fabricada en dismet	129

RESUMEN

TITULO

DISPOSITIVO PARA MEJORAR LA PRECISIÓN EN EL PROCESO DE SOLDADURA CIRCULAR DE RODILLOS DE CARGA Y RETORNO MARCA DISMET, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

AUTOR

Jenny Alexandra Estepa Morales¹

PALABRAS CLAVE

Soldadura Circunferencial, rodillera, Bandas transportadoras, estaciones de carga y retorno, postura, ergonomía, esfuerzos biomecánicos.

DESCRIPCION

El éxito en la implementación de una banda transportadora radica en la efectividad en la transmisión de la fuerza que genera el motor a lo largo de ella. Entre los componentes diseñados para este fin, están las estaciones de carga, retorno e impacto que sirven como punto de apoyo para la cinta cargada. Dichos elementos constan de unos rodillos que son soportados por una estructura, ejes y rodamientos. Dismet® es una empresa del sector metalmeccánico, dedicada al diseño y montaje de plantas para la trituración, lavado, clasificación y almacenamiento de material, donde generalmente, las bandas transportadoras son las que se encargan del movimiento del material a lo largo de esta cadena de procesos. Esto hace que la fabricación de rodillera para estaciones de carga y retorno, se convierta en un punto crítico para la cadena productiva de Dismet®.

Con este proyecto se buscó dar una alternativa con la que se mejoraran las condiciones ergonómicas y productivas de cómo llevar a cabo la unión de la lámina (soporte de rodamientos y demás elementos que conforman un rodillo para estaciones de carga retorno) y el tubo de acero estructural, al diseñar un dispositivo que reduce tiempos evitando que sea el mismo soldador el que se encargue del giro del cilindro mientras es soldado, y lo mantenga estable a pesar del cambio en su longitudes y diámetro; mientras que adopta una postura ergonómicamente correcta y lo aleja de sobreesfuerzos biomecánicos.

¹ Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de diseño Industrial. Director: D.I. Luis Alberto Laguardo

ABSTRACT

TITLE

DEVICE FOR IMPROVING THE ACCURACY IN THE CIRCULAR WELDING PROCESS OF RETURN AND CHARGE ROLLS DISMET BRAND, DESIGN AND CONSTRUCTION

AUTHOR

Jenny Alexandra Estepa Morales²

KEY WORDS

Circumferential welding, roller, conveyor, charging stations and return, posture, ergonomics, biomechanics efforts.

DESCRIPTION

The successful implementation of a conveyor belt lies in the effectiveness of the transmission of force generated by the engine along it. Among the components designed for this purpose, they are charging stations, return and impact that serve as a support for the tape loaded. These elements consist of rollers which are supported by a structure, shafts and bearings. Dismet[®] is a metalworking sector, dedicated to the design and construction of plants for crushing, washing, sorting and storage of material, which generally are conveyors that handle the movement of material along this chain processes. This makes the manufacture of rollers for charging stations and return, becomes a critical point for the supply chain of Dismet[®].

This project sought to provide an alternative to improve the ergonomics and productivity in how to perform the union of the sheet (support bearings and other elements that make a roller for charging stations return) and the steel tube structural designing a device that reduces time avoiding that is the same welder which handle the rotation of the cylinder while being welded, and it remains stable despite the change in its length and diameter tools adopting posture and ergonomically correct sobrefuerzos away from biomechanical.

² Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de diseño Industrial. Director: D.I. Luis Alberto Laguado

INTRODUCCION

Dentro de las cadenas productivas de diferentes industrias es muy común usar bandas transportadoras que conecten los diferentes procesos a los que son sometidas sus materias primas. Su popularidad se debe a las múltiples ventajas que estas tienen; entre esas están su bajo costo de mantenimiento al igual que su poca exigencia energética; con ellas se puede transportar todo tipo de material a cualquier capacidad, además tiene un bajo impacto ambiental, y trabajan de manera continua y sin necesidad de cargar y descargar el material, entre otras.

Sin embargo el éxito de su implementación radica en la efectividad en la transmisión de la fuerza que genera el motor a lo largo de la banda. Entre los componentes diseñados para este fin, están las estaciones de rodillos, que constan de una estructura que los soporta con un sistema de rodamientos para contrarrestar la fricción que se genera con el peso de la carga, y que es la principal fuerza que debe ser vencida por el motor para el transporte de la carga. Además, con estas estaciones se logra distribuir de manera adecuada el peso del material sobre la banda para evitar derramamientos y desgaste en la cinta transportadora.

Dismet® es una empresa dedicada al diseño y fabricación de maquinaria para el procesamiento de materias primas del sector minero y constructor, con una amplia experiencia en diseño y montaje de plantas en las que se tritura, clasifica y lava el material, en las que generalmente son utilizadas bandas

transportadoras para conectar dichos procesos. Convirtiéndose entonces en un punto clave dentro del sistema productivo de Dismet la fabricación de la rodillera para estas bandas.

Con este proyecto se busca proponer un dispositivo que agilice el proceso de unión, por soldadura tipo MIG, de cilindros y manzanas (tapa del rodillo que permite encajar los rodamientos de las estaciones) sin comprometer la calidad de producto y la salud e integridad de quienes se encargan de esta labor.

1 DESCRIPCION DEL PROYECTO

1.1 TITULO

DISPOSITIVO PARA MEJORAR LA PRECISIÓN EN EL PROCESO DE SOLDADURA CIRCULAR DE RODILLOS DE CARGA Y RETORNO MARCA DISMET, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

1.2 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un dispositivo para asistir el proceso de soldadura de cordones circulares en rodillos de carga y retorno marca Dismet, reduciendo los esfuerzos biomecánicos en la postura del operario.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y modelar los componentes y sistemas de unión del dispositivo para asistir el proceso de soldadura de cordones circulares, teniendo en cuenta los requerimientos del proyecto y utilizando el software Autodesk Inventor Professional 2011.
- Simular el comportamiento mecánico del dispositivo diseñado por medio de análisis de elementos finitos utilizando el software Autodesk Inventor Professional 2011.

- Construir el prototipo del dispositivo para asistir el proceso de soldadura de cordones circulares, utilizando acero estructural y aplicando los procesos de mecanizado, soldadura y acabados existentes en Dismet.
- Validar el funcionamiento del prototipo por medio del método Rapid Entire Body Assessment (REBA) con el propósito de verificar la reducción de esfuerzos biomecánicos generados durante el proceso de soldadura de cordones circulares.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Dentro de las estadísticas que presentaron el Ministerio de Protección Social y la dirección de riesgos profesionales sobre los trastornos musculo esqueléticos que sufrieron los trabajadores colombianos durante el 2009, se mostró que cerca del 40% de ellos presentan alguna molestia en el cuerpo; entre las partes corporales mas criticas están el cuello con un porcentaje de 47.6%, los hombros con un 40.2%, los codos con un 18.9% y las muñecas con 50.6 %³. Con este estudio también se pudo ver que en el sector manufacturero, la tercera actividad económica del país⁴, el 23.5% de sus trabajadores son los que más tienden a sufrir este tipo de molestias, mientras que en otras actividades como las inmobiliarias y el comercio que conforman otro 40% de nuestra economía, sufren de ellas 13.5% y 8.9% respectivamente.

³ Ministerio de la Protección Social, Dirección de Riesgos Profesionales, *VALIDACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCION DE INFORMACION DE CAMPO. Guía Técnica del programa de vigilancia epidemiológica de DME- ES, En Empresas Colombianas* (Bogotá, 2009)

⁴ *Ibíd.* p. 21. 24/03/2012

A pesar de las difíciles circunstancias que lo rodean, este sector sigue creciendo y tiene una gran proyección. Es el caso de las siderúrgicas y metalmecánicas que para el 2010 representaban el 11.6% de toda su producción⁵, y que de acuerdo con la cámara de Fedemetal de la ANDI estas estadísticas, a pesar de la fuerte competencia china, subirán para el 2012 y los próximos años⁶. Es por esta razón que vale la pena invertir esfuerzos que ayuden en el desarrollo de este sector y que a su vez se comprometa con el bienestar de quienes ayudan en su progreso.

La soldadura y ensamblaje de rodillera es una actividad que a diferencia de otras labores propias del sector metalmecánico, no requiere la manipulación de piezas de gran tamaño o dimensiones, y aunque se toman las medidas necesarias para la protección y prevención de riesgos eléctricos, exposiciones a radiaciones, el ruido, las quemaduras y la manipulación de maquinaria, no hay una conciencia de la importancia de mantener una postura correcta. Este proyecto busca dar solución práctica y viable a un problema al que no se le ha prestado mucha atención por ignorancia o negligencia, pero que puede contribuir de manera significativa en la disminución de las probabilidades de sufrir de algún tipo de alteración en las estructuras corporales generadas por las condiciones laborales de los operarios.

⁵ Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI), *Industria metalmecánica de América Latina en creciente amenaza por competencia China* [Documento en Línea] URL http://www.andi.com.co/pages/prensa/comunicados_prensa_detalle.aspx?Id=282

⁶ *Ibíd.* 15/03/2012

1.5 METODOLOGÍA

Las diferentes metodologías de diseño, arquitectura e incluso de ingeniería, han tenido tres grandes etapas: análisis, síntesis y evaluación; esto con el fin de darle un carácter racional a este proceso y evitar que el diseñador se pierda entre sus gustos y sus propias ideas⁷. En la primera de ellas se buscan los datos que parezcan relevantes para el desarrollo del proyecto, esta es conocida como análisis. Posteriormente durante la síntesis, el objeto gracias a procesos creativos empieza a ser configurado de acuerdo con la información convertida en requerimientos de diseño. Y ya en la evaluación, se determina por completo su forma después de validar cada una de las soluciones planteadas para las variables que conformaban en un principio el problema.

Hoy en día existen metodologías mucho más completas, compuestas por otras etapas en las que se tienen en cuenta aspectos técnicos, culturales y psicológicos que pueden llegar a interferir en el desarrollo de un producto y su éxito en el mercado. Una de estas metodologías es la expuesta en el libro *Diseño Industrial, Guía Metodológica*⁸. Aquí sus autores ven el diseño industrial como una herramienta que logra reconocer la diversidad en las necesidades que tiene un usuario que está en constante cambio, enfocándose entonces, no solo en la funcionalidad del producto sino en la delimitación del perfil del objeto y la estrategia utilizada para lograr llegar a sus compradores potenciales.

Las etapas que componen esta metodología son

⁷ RODRIGUEZ BECARIO; DONATELLI. Modelos del proceso de diseño. P. 8 - 10

⁸ FUNDACIÓN PRODINTEC. Diseño Industrial: Guía Metodológica. Asturias: Predica. p. 9

1. Fase de Definición: Aquí se precisa que se va a hacer de acuerdo con las necesidades que se buscan satisfacer, el tipo de usuarios a los que va dirigido el proyecto, y las oportunidades que puede tener el producto.
2. Fase conceptual: se enlazan la información anteriormente recolectada con la creatividad del grupo de diseño para generar las alternativas. Esta etapa termina con la selección de una propuesta.
3. Fase de diseño en detalle: se establecen las especificaciones técnicas, funcionales, estéticas y de comunicación del producto, esto con el fin de determinar su perfil formal.
4. Fase de ingeniería del producto: se da respuesta a las especificaciones técnicas anteriormente planteadas por medio de un proceso iterativo. En esta etapa es donde el producto se hace fabricable.
5. Fase de Evaluación: se evalúa la alternativa final del producto
6. Fase de producción: se traza la ruta de producción
7. Fase de comercialización: se definen las estrategias que se van a seguir para dar a conocer el producto⁹.

No obstante, aunque aparentemente diseñar ya tiene un camino lineal trazado, hay quienes aseguran que describirlo así es un grave error; pues proyectar es un acto iterativo donde su éxito radica en la conexión e interacción de sus etapas además de la elección acertada, conforme al tipo de producto, de las pequeñas actividades que llevan al desarrollo de cada una de estas grandes etapas. Es por esto que Gerardo Rodríguez propone descomponer la metodología de diseño en macro y micro estructuras. En las que las macro

⁹Ibíd., p. 30-41.

estructuras son las etapas principales de las que anteriormente hablamos, mientras que las micro son las actividades que permiten lograr los objetivos de dichas grandes etapas¹⁰.

1.5.1 Descripción de la metodología

Teniendo en cuenta lo anterior, la estructuración de este proyecto será la unión de dos metodologías. Para las macro estructuras serán las etapas expuestas en el libro Diseño industria – Guía metodológica (Fundación Prodintec), mientras que las micro estructuras irán de acuerdo con las actividades que se proponen en el Manual de diseño (Rodríguez, Gerardo)

La siguiente tabla muestra las macro estructuras del proyecto acompañadas por un objetivo que describe lo que se pretende lograr con la ejecución de dicha etapa y las micro estructuras que finalmente son las que van a permitir llegar a lograr ese objetivo.

¹⁰ RODRIGUEZ, Gerardo. Manual de diseño Industrial. 3° Edición. México: Ediciones G. Gili, p. 31.

TABLA 1.1 Descripción de las macro y micro estructuras que componen la metodología

MACRO ESTRUCTURA	OBJETIVO	MICRO ESTRUCTURAS
DEFINICION	<i>Identificar los requerimientos de diseño de acuerdo con una previa valoración de la situación actual.</i>	Diagnóstico del fenómeno Delimitación de los alcances del proyecto Aplicación del método Rapid Entire Body Assesment (REBA) Análisis del estado del arte Recolección y análisis de Información Jerarquización de las necesidades encontradas. Especificación de los requerimientos de diseño
DISEÑO CONCEPTUAL	<i>Generar un concepto de diseño basado en el marco teórico y los requerimientos de diseño anteriormente planteados</i>	Determinación de las funciones y estructuras neurálgicas del producto Generación de alternativas basadas en el marco teórico y los requerimientos de diseño. Selección de los conceptos que van a conformar el dispositivo.
DISEÑO EN DETALLE	<i>Determinar el perfil formal del producto de acuerdo con las especificaciones técnicas, funcionales, estéticas y de comunicación del producto.</i>	Comprobación de los conceptos seleccionados por medio de pruebas ergonómicas y técnicas. Integración de los conceptos Dimensionamiento del producto Desarrollo de un prototipo virtual Generación de planos generales
INGENIERIA DEL PRODUCTO	<i>Construir el dispositivo diseñado aprovechando la tecnología con la que cuenta Dismet.</i>	Análisis de esfuerzos y deformaciones por el método de elementos finitos. Elección de materiales y procesos productivos Estandarización de sus componentes Generación de planos en detalle para su construcción. Construcción de prototipo escala 1:1 en materiales reales y bajo el proceso productivo propuesto.
EVALUACION	<i>Contrastar los resultados obtenidos en la aplicación del método Rapid Entire Body Assesment (REBA) antes y después de la implementación del dispositivo diseñado.</i>	Aplicación del método Rapid Entire Body Assesment (REBA) Análisis y comparación de los resultados obtenidos en las dos pruebas aplicadas Ajustes definitivos para la producción en serie.
PRODUCCION	<i>Diseñar el proceso de producción de acuerdo con la tecnología con la que cuenta Dismet S.A.S.</i>	Generación del diagrama del proceso productivo.
COMERCIALIZACION	<i>Definir los medios de promoción del producto</i>	Estimación de costos de fabricación Diseño de la imagen del producto de acuerdo con la identidad de la empresa Diseño de elementos promocionales como el catalogo, etiquetas y anuncios publicitarios.

Fuente: Autor

1.6 DIAGRAMA DE LA METODOLOGÍA

En la siguiente grafica se muestra como a partir del objetivo principal se desprenden las etapas o macro estructuras que permitirán llegar a una propuesta viable para el problema planteado. Cada una de estas etapas, a su

vez tiene un objetivo propio con el que serán planteadas las micro estructuras del proyecto.

Para el desarrollo de este proyecto no serán aplicadas las etapas de producción y comercialización del producto, ya que la empresa no pretende comercializarlo.

FIGURA 1.1 Diagrama del proceso propuesto con la metodología de diseño



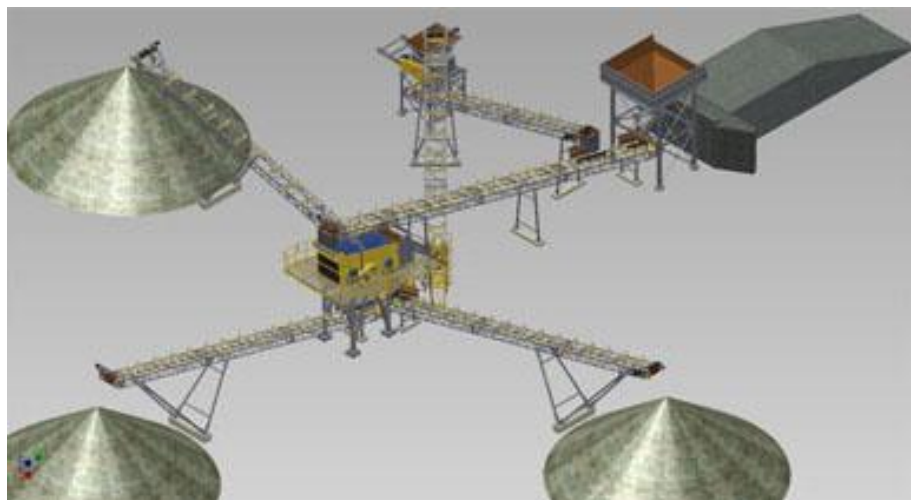
Fuente: Autor

2 DEFINICION DEL PROBLEMA

2.1 CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

DISMET[®] S.A.S. es una empresa metalmecánica dedicada al diseño y fabricación de maquinaria para el sector minero, constructor, hidrocarburos e industrial; que con una amplia experiencia en el diseño e implementación de plantas de trituración de materiales, es capaz de enlazar los procesos de lavado, trituración y clasificación por medio de diferentes sistemas de transporte. Cangilones, tornillos sinfín y bandas transportadoras son algunos de los elementos que integran estos sistemas; siendo los transportadores de banda los más utilizados ya que pueden trasladar todo tipo de materiales a grandes distancias en un flujo continuo con carga-descarga automática y un bajo costo de operación.

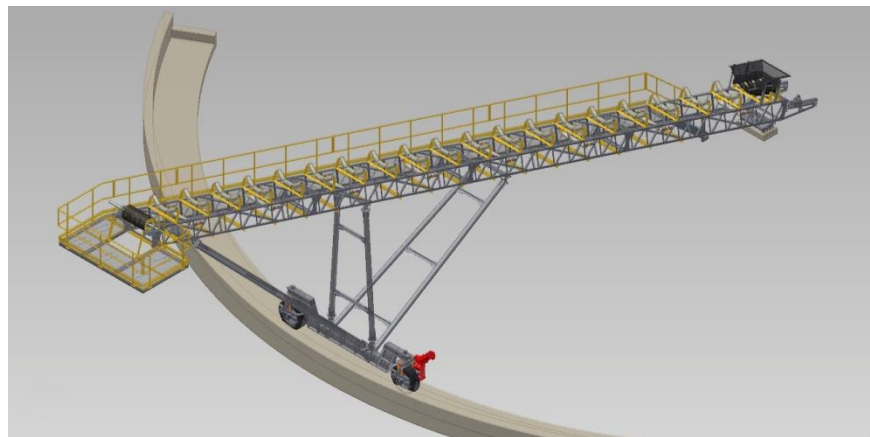
FIGURA 2.1 Planta de Trituración de Coque



Fuente: Dismet[®]

En la anterior imagen se muestra una planta para la trituración compuesta por una tolva de alimentación, una zaranda y un molino impactor, para coque. Estas máquinas son conectadas por tres bandas transportadoras que se encargan de alimentar de manera continua la zaranda y el molino hasta que el material queda del tamaño requerido y posteriormente tres bandas apiladoras se encargan de almacenar el material. En la siguiente imagen se muestra una banda apiladora radial que a diferencia de las bandas alimentadoras estáticas, permite crear una montaña de material que sigue un arco generado por oscilación de la misma banda gracias a sus pórticos móviles impulsados por un motor, para así aumentar la capacidad de almacenaje sin necesitar mucho espacio.

FIGURA 2.2 Banda Transportadora Apiladora Radial 762mm x 600mm x 24000m



Fuente: Dismet®

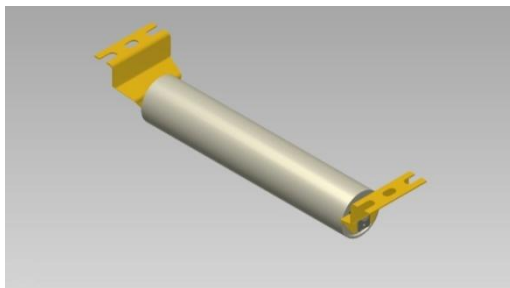
El modo de funcionamiento de estas bandas consiste en una estructura metálica que soporta la cinta en la que se deposita y traslada el material a lo largo de las estaciones de carga y retorno; mientras que las poleas o los

elementos rotativos que transmiten el movimiento a la cinta son impulsados por el motor, los reductores, acoples, la polea conductora y el resto de las piezas que conforman el sistema de accionamiento¹¹.

Su correcto funcionamiento además de depender de su sistema mecánico, también está estrechamente relacionado con el desempeño de sus estaciones de carga y retorno; pues una falla en alguna de estas, puede generar serios problemas de productividad.

Generalmente, una estación ya sea de carga o de retorno está constituida principalmente por rodillos y rodamientos que son montados en uno o varios ejes buscando una baja resistencia a la fricción, sirviendo de apoyo y protección para la cinta con el cargamento.

FIGURA 2.4 Estación de Retorno



Fuente: Dismet®

FIGURA 2.3 Estación de Carga



Fuente: Dismet®

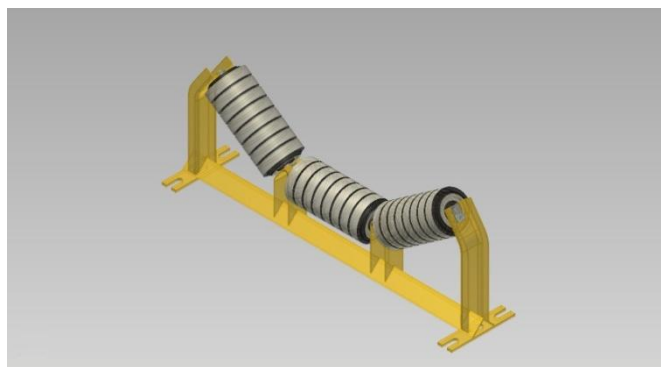
En las Figura 3.3 y 3.4 se muestran respetivamente una estación de retorno y una de carga. La diferencia entre estos dos tipos de estaciones radica en que mientras que las segundas soportan la cinta cargada a lo largo de su recorrido

¹¹ Engineering Conference of the Conveyor Equipment Manufacturers Association, *Belt conveyors for bulk materials* (Florida: The Conveyor Equipment Manufacturers Association, 2007) p. 24.

y evitan un derramamiento; las primeras, van en la parte inferior de la estructura, soportándola cuando esta está vacía. Las estaciones de carga pueden estar formadas por uno, dos o tres ejes; las de un solo eje se conocen como estaciones planas mientras que las que están compuestas por varios rodillos se les llama estaciones acanaladas y pueden llevar mayor tonelaje que las planas gracias a la inclinación de sus rodillos. Las estaciones de retorno son siempre planas¹².

Existe otro tipo de estaciones denominadas estaciones de impacto (ver figura 3.5), estas son consideradas como estaciones de carga pues tienen su misma configuración y también soportan el material cuando está siendo transportado, solo que sus rodillos van recubiertos con caucho y son ubicadas en los puntos donde la densidad del material, la altura de caída o el tamaño pueden dañar seriamente la cinta¹³.

FIGURA 2.5 Estación de Impacto.



Fuente: Dismet®

¹² *Ibíd.*, pp. 66-67.

¹³ *Ibíd.*, p. 68.

2.2 DIAGNOSTICO DEL PROCESO

Después de notar la presencia de problemas a nivel ergonómico y productivo que se presentan durante la soldadura de rodillos para estaciones de carga e impacto en Dismet S.A.S. es necesario desarrollar un proceso de diagnóstico que permita conocer cuáles son causas que pueden originar esta situación. Lo primero será llevar a cabo la observación en la que se pueda detallar la interacción entre el operario y equipos y herramientas que forman parte de su ambiente laboral, para posteriormente hacer un análisis de la situación

2.2.1 Observación

Durante la etapa de observación del proceso fueron filmados 2 soldadores mientras ensamblaban 3 tipos de rodillos, cada uno en su puesto de trabajo con los cilindros de gas, el transformador, la antorcha o pistola de soldadura y el resto de elementos que conforman la maquinaria para soldadura tipo Mig; una mesa de acero, una prensa unida a la mesa, la rodillera con la que iban a trabajar, y las laminas circulares que serian soldadas a los cilindros para el montaje de los rodamientos y demás elementos propios de las estaciones de carga y retorno a estas laminas se le conocen como manzanas.

Uno de ellos se dedicaba a soldar los rodillos de carga que son los más cortos ya que generalmente no sobrepasan los 400mm de largo, mientras que el otro se dedicaba a soldar los rodillos de retorno, que a diferencia de los de carga su longitud mínima es de 550 mm, y pueden llegar hasta los 1160 mm o más si el cliente así lo requiere.

2.2.1.1 Soldadura de Rodillos de Retorno para Bandas de 44"

Durante la grabación del primer video, el operario suelda rodillos para estaciones de retorno con un diámetro de 6" por 42" de largo.

Lo primero que él hace para poder llevar a cabo la actividad es inclinar el cilindro de manera improvisada, apoyándolo sobre una prensa que está unida a la mesa y a una estructura que encuentra en la planta. Luego comienza colocando dos puntos de soldadura para poder asegurar la lamina que será soldada al tubo y a la que más adelante le serán ensamblados los rodamientos (Manzana) y demás componentes del rodillo, en esta acción dura 18 segundos; posteriormente traza el cordón de soldadura. Durante la acción, él apoya su antebrazo izquierdo sobre la misma prensa que soporta el tubo, y con su otra mano sostiene la antorcha para soldadura tipo Mig. Su manera de posicionar la pistola es al costado del cilindro, llegando desde adentro de este e inclinada con respecto a su cara plana. El movimiento de la pistola depende de su mano derecha, mientras que la izquierda le ayuda a cargar con el peso de la antorcha y restringe en cierta medida su desplazamiento. El operario mantiene esta posición durante 25 segundos.

En la figura 5.6 se muestra el momento descrito anteriormente. Aquí se ve como el operario coloca la antorcha sobre la palma de su mano izquierda y con su derecha traza el cordón haciendo pequeños círculos mientras oprime el pulsador con el que se genera el circuito para la soldadura.

FIGURA 2.6 Postura del trabajador mientras suelda rodillos para estaciones de retorno.



Fuente: Autor

Luego, se detiene y gira el cilindro (gastando 12 segundos) para poder continuar con el segundo tramo de soldadura, en esta ocasión el tiempo utilizado es de 24 segundos. 6 segundos más necesita para, por segunda vez, girar el tubo; y finalmente gasta 17 segundos en el tercer tramo.

Dado que son las dos caras del rodillo las que se deben soldar, el operario lo voltea y empieza otra vez. Mientras lo voltea y acomoda, pasan 17 segundos. Nuevamente, puntea el rodillo y la manzana, esta vez gasta 6 segundos menos. En el primer cordón usa 25 segundos, en el segundo 29 y en el tercero 21; mientras que girando el cilindro en la primera y segunda vez se demora 9 y 5 segundos respectivamente.

En la tabla 3.2 se muestra cuanto gasto el soldador en cada uno de los pasos que debió ejecutar mientras soldaba el rodillo

TABLA 2.1 Tiempos empleados en cada paso ejecutado durante la soldadura de rodillos de Retorno para bandas 44”

Punteado	18 s
Primer tramo de soldadura	25 s
Giro del Rodillo	12 s
Segundo tramo de Soldadura	24 s
Giro del Rodillo	6 s
Tercer tramo de soldadura	17 s
Acomodación de la otra cara	17 s
Punteado	12 s
Primer tramo de soldadura	25 s
Giro del Rodillo	9 s
Segundo tramo de Soldadura	29 s
Giro del Rodillo	5 s
Tercer tramo de soldadura	21 s
Tiempo total	229 s

Fuente: Autor

En total gasta 229 segundos de los cuales 30 son colocando los dos primeros puntos de soldadura, 142 soldando, 32 girando el cilindro y 25 volteándolo.

2.2.1.2 Soldadura de Rodillos para Estaciones de Carga de 42” de Ancho

En este video aparece el segundo soldador en su puesto de trabajo. Esta vez, el suelda rodillos con 6” de diámetro por 15.8” de largo. Y en esta oportunidad, el cubículo está equipado con una estructura en acero que le permite mantener inclinado y estable es cilindro mientras suelda.

En las imágenes que componen la figura 3.7 se puede ver como son colocados los cilindros sobre una lámina doblada que va unida a la mesa de trabajo del soldador; en la imagen de la derecha se muestra un cilindro ubicado, mientras que en la izquierda se alcanzan a notar el ángulo, la lámina doblada y una platina soldada al ángulo que va ubicada de acuerdo con la longitud de los rodillos. Cuando es necesario cambiar esta medida, esta se despega y se vuelve a soldar.

FIGURA 2.7 Estructura que soporta los rodillos para estaciones de carga cuando son soldados



Fuente: Autor

Lo primero que se dispone a hacer el operario es sentarse en la banca, luego pone el cilindro sobre la estructura y acomoda la manzana, coge la pistola de soldadura y está listo para pasar el primer tramo de soldadura; no necesita puntear, pues le puso los puntos y los acomodó sobre la mesa antes de pasar los cordones de soldadura.

Su manera de agarrar la antorcha es bastante parecida a la del otro soldador; con la mano derecha mientras que oprime el botón, dirige sus movimientos, y con su mano izquierda ayuda a mantener la posición de la boquilla y limita la profundidad de sus movimientos. También necesita apoyar su antebrazo izquierdo y lo coloca sobre la mesa. Sin embargo, el posicionamiento de la pistola es diferente; esta vez, el punto de contacto entre la herramienta y la

superficie se da en la parte superior del cilindro. Hasta este momento han transcurrido 11 segundos. En la Figura 3.8 se muestra la posición de la boquilla con respecto al rodillo.

FIGURA 2.8 Postura del soldador mientras suelda rodillos de carga



Fuente: Autor

Luego, gasta 25 segundos trazando el primer tramo de soldadura; se detiene, gira el tubo, demorándose 5 segundos más. Posteriormente continúa con el cordón, en esta ocasión solo requiere de 23 segundos para terminar la soldadura de este lado. Voltea el cilindro para disponerse a soldar la otra cara, durante esta acción pasan 11 segundos; 25 segundos son el tiempo que utiliza para soldar la primera parte, gasta 4 segundos girando el cilindro y termina con el segundo tramo después de 22 segundos.

TABLA 2.2 Tiempos empleados en cada paso ejecutado durante la soldadura de rodillos de carga para bandas 42"

Primer tramo de soldadura	25 s
Giro del Rodillo	5 s
Segundo tramo de Soldadura	23 s
Acomodación de la otra cara	11 s

Primer tramo de soldadura	25 s
Giro del Rodillo	4 s
Segundo tramo de Soldadura	22 s
Tiempo total	115 s

Fuente: Autor

El tiempo que gasta el soldador en esta actividad son 115 segundos; 95 de ellos soldando, 9 girando o acomodando el cilindro y 11 segundos volteándolo; los otros 8 son los que se demora en quitar el rodillo de la estructura y acomodarlo en la mesa que tiene al lado.

2.2.1.3 Soldadura de Rodillos para Estaciones de Retorno para bandas de 36” de ancho

En este video es grabado nuevamente el soldador, William Quintero, del primer video. Esta vez se encarga de la rodillera para estaciones de retorno con 6” de diámetro por 34” de largo.

Para esta ocasión, el operario decide soldar un ángulo a la mesa de trabajo y poder acomodarlo sobre este el cilindro. Gasta 5 segundos colocando dos puntos de soldadura y se acomoda para empezar. La figura 3.9 muestra la postura que toma el soldador cuando se dispone a pasar el primer tramo de soldadura, con su mano derecha oprime el botón y se encarga de dirigir el desplazamiento de la boquilla del equipo de soldadura Mig, mientras que con la izquierda sin apoyar su antebrazo, perfecciona dicho movimiento.

FIGURA 2.9 Postura del soldador mientras suelda rodillería para estaciones de retorno de 36”



Fuente: Autor

Pasa el primer tramo del cordón de soldadura, gastando 32 segundos; gira y acomoda nuevamente el cilindro para poder continuar, esto le toma 9 segundos más; sigue con el segundo tramo gastando 31 segundos; gira el cilindro y para así trazar el que sería el tercer tramo, girándolo se toma 9 segundos, y en el tercer tramo 13 segundos; en seguida gira en 12 segundos el tubo para continuar con la otra cara; puntea otra vez durante 8 segundos más, empieza con el primer tramo, soldando durante 25 segundos, gira una vez más el cilindro, en esta ocasión solo gasta 7 segundos; y luego de llevar 7 segundos soldando el que sería el segundo tramo de la nueva cara, el cilindro se resbala, lo que lo obliga a reaccionar inmediatamente y evita que caiga al suelo. Lo acomoda nuevamente durante 11 segundos y continúa; se detiene después de 17 segundos. Gira el tubo otra vez y pasan 7 segundos mientras logra acomodarlo; termina de soldar el último tramo en 17 segundos.

TABLA 2.3 Tiempos empleados en cada paso ejecutado durante la soldadura de rodillos de retorno para bandas 36”

Punteado	5 s
Primer tramo de soldadura	32 s
Giro del Rodillo	9 s
Segundo tramo de Soldadura	31 s
Giro del Rodillo	9 s
Tercer tramo de soldadura	13 s
Acomodación de la otra cara	12 s
Punteado	7 s
Primer tramo de soldadura	25 s
Giro del Rodillo	7 s
Segundo tramo de Soldadura	7 s
Acomodación por la caída	11 s
Tercer tramo de soldadura	17 s
Giro del Rodillo	7 s
Cuarto tramo de soldadura	17 s
Tiempo total	209 s

Fuente: Autor

Durante todo el proceso se gastan 209 segundos; 142 soldando, 13 punteando, volteándolo 12 segundos, 42 acomodando y girando el cilindro.

2.2.2 Diagnóstico

2.2.2.1 Tiempos

Durante la etapa de observación se siguió el proceso de soldadura de rodillos para estaciones de carga y de retorno con un mismo diámetro. Esto con el fin de comparar los tiempos que en teoría deberían ser muy parecidos pues la longitud de la soldadura es la misma en los tres casos, y así analizar las condiciones en las que se lleva a cabo el proceso y sus posibles repercusiones. Sin embargo existe una variable que puede interferir significativamente en la valoración de los tiempos, esta es la habilidad del

soldador, por lo que no serán comparados los tiempos de soldadura cuando no se trate del mismo trabajador.

En la Tabla 3.2 se muestra los promedios de tiempo que fueron empleados por los operarios durante la soldadura de los tres tipos cilindros en cuatro momentos diferentes del proceso; mientras punteaban, soldaban, giraban y acomodaban el cilindro y cuando lo volteaban para poder soldar la otra cara. Cada promedio se obtuvo al sumar todos los tiempos que los soldadores emplearon en cada momento, durante las cinco veces que fueron filmados llevando a cabo la actividad, para luego dividir esta cifra en cinco.

TABLA 2.4 Promedio de tiempos en segundos de acuerdo con cada etapa de soldadura de rodillos para estaciones de carga y retorno.

ACTIVIDAD	SOLDADOR		
	William G.		Jorge Arango
	Rodillo de ϕ 6" x 1100 mm (Video 1)	Rodillo de ϕ 6" x 870 mm (Video 3)	Rodillo de ϕ 6" x 400 mm (Video 2)
	Rodillos Largos	Rodillos Medianos	Rodillos Cortos
Puntear	27	35	-
Soldar	143	142	94
Girar/ Acomodar	33	40	11
Voltear	23	15	11
TOTAL	226	208	119

Fuente: Autor

Uno de los aspectos que más sobresalen después de analizar la tabla 3.2 es la gran diferencia en tiempos utilizados para girar y acomodar los cilindros. Mientras que en los rodillos cortos solo se necesitaron 11 segundos, en los rodillos largos se gastaron casi hasta 4 veces más de tiempo; esta condición se da por la ausencia de herramientas que tengan como función sostener los cilindros largos, y los improvisados utensilios no mantienen estable el rodillo durante su ensamblaje, haciendo que el trabajador pierda tiempo tratando de acomodarlos. También se puede notar que el tiempo que gasta el mismo soldador volteando el cilindro de 1020mm es menor que el que se gasta volteando el de 870mm esto podría deberse a que le da más estabilidad la estructura que encontró en la planta, que el ángulo que soldó.

Otra de las actividades en las que también se nota un cambio drástico en el tiempo utilizado es cuando se voltean los cilindros para ser soldados por la otra cara, evidentemente el peso (13.8 Kg) y la longitud dificultan su manipulación, pero se puede notar que le ayuda mucho al soldador de rodillera para estaciones de carga el hecho de poder poner los cilindros sobre la mesa y tenerlos dentro de su área de trabajo, mientras que para el operario que trabaja con los tubos largos la mesa lo obliga a montarlos sobre esta para tenerlos más cerca, o tener que ir cada vez que va a empezar con un nuevo rodillo hasta donde estos se encuentran (dos metros de distancia). En los dos casos el trabajador tiene que hacer esfuerzos que no son necesarios. Subir y bajar cargas o desplazarse no sería necesario si en vez de una mesa que solo le sirve para sostener la prensa donde puede apoyar los rodillos tuviera ese espacio libre y trabajara junto a estos.

2.2.2.2 Postura

El soldar rodillos para estaciones de carga o retorno es una actividad en la que los operarios no tienen que trabajar con cargas muy altas; el peso del cilindro más alto es 18.8 kg. Carga que de acuerdo con el género, la edad y la condición física de estos dos trabajadores, no parece ser muy alta¹⁴. Sin embargo, se presentan otro tipo de circunstancias que los llevan a tomar posturas inadecuadas y hacer esfuerzos innecesarios. Una de estas, tiene que ver con el plano de trabajo. Durante la observación se pudo notar que el soldador de rodillera larga acomoda su espacio de trabajo sin tener en cuenta cual es la altura adecuada para el en este aspecto, por lo que luego debe inclinarse para poder llevar la pistola de soldadura hasta el rodillo y apoyarse sobre la prensa para controlar mejor sus movimientos.

Esta posición hace que vector del peso del tronco pierda su alineación con la línea de gravedad y se genere un momento que obliga al cuerpo a aumentar su actividad muscular para mantener el equilibrio; además de incrementarse la presión intradiscal hasta 2.2 veces más que si estuviera de pie con la espalda recta¹⁵.

Esto sucede mientras se sueldan los cilindros más largos, pero cuando son soldados los rodillos con una longitud de 870mm, cambia la situación sin cambiar los efectos. El operario ya no necesita flexionarse porque, el ángulo que con anterioridad soldó a la mesa de trabajo, le permite llegar al rodillo. Sin

¹⁴ Francisco Farrer, Gilberto Minaya, José Niño, Manuel Ruiz, *Manual de Ergonomía* (Madrid: Fundación Mapfre, 1994) p. 272 -275

¹⁵ Margareta Nordin, Victor H. Frankel, *Biomecánica Básica del Sistema Musculo esquelético, tercera Edición* (Madrid: McGraw Hill, 2001) p.278 - 281

embargo, el no cuenta con una superficie en donde apoyar sus brazos, y así generar momentos de reacción que le ayuden a reducir el trabajo realizado por sus músculos mientras que responden al peso del mismo cuerpo y de fuerzas externas; esta situación también tiende a incrementar la fatiga muscular.

Por otra parte, las condiciones en las que trabaja el soldador que se encarga de los rodillos para estaciones de carga parecen mejorar, aunque este puesto de trabajo fue un intento por aumentar la productividad en el proceso y se le prestó muy poca atención a las recomendaciones ergonómicas básicas.

Aun así, tiene uno que otro punto a su favor; uno de estos es la banca alta donde se puede sentar el trabajador; ya que con su utilización el soldador reduce el gasto energético, pues se consume menos energía cuando se está sentado que cuando se está de pie¹⁶. Otra de sus ventajas es que le permite al soldador convertir la superficie de la mesa en su plano de trabajo; evitando tener que flexionarse para poder llegar a la cara del cilindro y ganar más puntos de apoyo. Sin embargo, sería recomendable que el asiento contara con un respaldo, esto con el fin de mantener la curvatura natural de la espalda mientras que está sentado y crear un nuevo punto de apoyo que soporte parte del peso del cuerpo¹⁷. Además, se hizo evidente que otro de los inconvenientes que tiene esta nueva postura, es la posición en la que se encuentran las piernas y el cuello del trabajador; pues el ángulo que se forma entre la cadera, la rodilla y el tobillo, evidentemente, es mucho menor a los 95° mínimos

¹⁶ Farrer, Minaya, Niño, Ruiz, op cit., p. 194

¹⁷ Ibid., p. 347

recomendados¹⁸; mientras que su cuello se inclina para poder visualizar la soldadura por lo que no logra conservar la alineación que le permite mantenerse en equilibrio con el mínimo esfuerzo muscular.

Así mismo, los tiempos que duran los operarios manteniendo estas posturas, son alrededor de 150 segundos en los cilindros largos y 110 segundos en los cilindros cortos, y su repetición terminan por convertir estas malas posturas y sobreesfuerzos en trastornos musculoesqueléticos.

2.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente Dismet está en la capacidad de fabricar bandas transportadoras con un ancho entre 18" a 60" conformadas por estaciones de carga e impacto acanaladas de dos y tres rodillos y estaciones de retorno planas con rodillos de 2" a 6" de diámetro y con longitudes entre 170 mm y 1160 mm.

¹⁸ Pedro R. Mòndelo, Enrique Gregori, Joan Blasco y Pedro Barrau, *Ergonomía 3 Diseño de puestos de trabajo* (Barcelona: Edicions de Universitat Politècnica de Catalunya, 1999)p. 81

TABLA 2.5 Diámetros, longitudes y pesos de rodillos Dismet®

RODILLOS MARCA DISMET					
RODILLOS DE CARGA E IMPACTO			RODILLOS DE RETORNO		
Ø	Long. (mm)	Peso (Kg)	Ø	Long. (mm)	Peso (Kg)
60 mm	170	1	60 mm	550	3,13
	190	1,14		620	3,52
	220	1,31		700	3,96
	290	1,69		870	4,9
	330	1,91		1020	5,73
	400	2,3		1160	6,5
73 mm	170	1,33	73 mm	550	3,92
	190	1,47		620	4,4
	220	1,67		700	4,94
	290	2,15		870	6,1
	330	2,42		1020	7,121
	400	2,9		1160	8,07
89 mm	170	1,73	89 mm	550	4,92
	190	1,9		620	5,51
	220	2,15		700	6,18
	290	2,74		870	7,6
	330	3,08		1020	8,86
	400	3,66		1160	10,04
100 mm	170	2,03	100 mm	550	5,63
	190	2,22		620	6,29
	220	2,5		700	7,05
	290	3,02		870	8,66
	330	3,54		1020	10,08
	400	4,2		1160	11,4
4" - 114 mm	170	2,68	114 mm	550	7,95
	190	2,95		620	8,89
	220	3,35		700	9,96
	290	4,29		870	12,25
	330	4,83		1020	14,26
	400	5,77		1160	16,15
127 mm	170	2,81	127 mm	550	7,42
	190	3,06		620	8,27
	220	3,42		700	9,24
	290	4,27		870	11,34
	330	4,76		1020	13,13
	400	5,6		1160	14,83
152 mm	170	3,62	152 mm	550	9,17
	190	3,91		620	10,19
	220	4,35		700	11,36
	290	5,16		870	13,84
	330	5,96		1020	16,03
	400	6,98		1160	18,08

Fuente: Autor

Si se calcula, de acuerdo con la información presentada en la tabla 2-2, el número de estaciones necesarias para una planta pequeña (en la que solo se triture y almacene el material) con tres bandas transportadoras y una apiladora de 18" de ancho, 10 metros de largas con un flujo de material y una densidad de 30 lb/ft³ serian necesarias 24 estaciones de carga y 12 de retorno, es decir 84 rodillos sin contar con los rodillos utilizados en las estaciones de impacto.

Con estas cifras lo que se pretende es dimensionar el gran número de rodillos que son necesarios para el montaje de plantas que usualmente son mucho más complejas que la descrita anteriormente, y evidenciar la importancia que tiene el proceso de fabricación de la rodillera dentro de la cadena de producción en Dismet.

Pero a pesar de esto, a este proceso no se le ha prestado la atención que merece, y durante el diagnóstico se hicieron notables varios problemas que nacen de la ausencia de un puesto de trabajo en el que se pueda llevar a cabo la soldadura de rodillos de cualquier longitud. Esta situación obliga al operario a valerse de las herramientas que encuentra a la mano para darle una solución parcial a este problema sin tener en cuenta las mínimas recomendaciones ergonómicas que se deben tener mientras se está desarrollando una actividad como esta. En las figuras 3.10 y 3.11 se pueden ver algunas de estas soluciones.

FIGURA 2.10 Soldador apoyando el cilindro sobre otro.



Fuente: Autor

FIGURA 2.11 Soldador apoyando el cilindro sobre un ángulo



Fuente: Autor

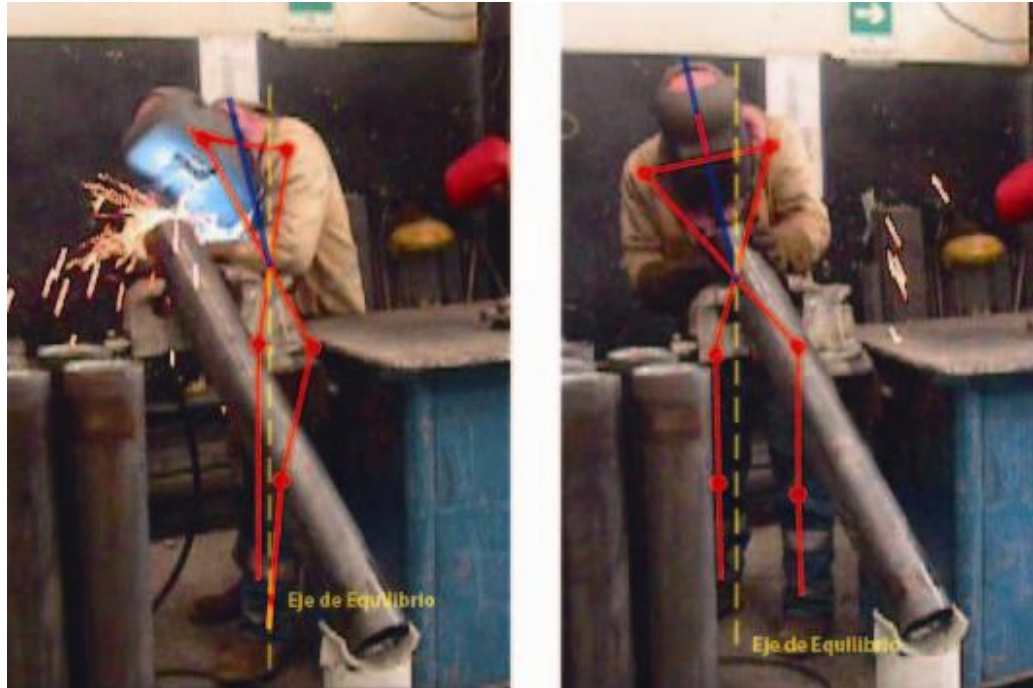
En el caso de los rodillos más largos se utiliza una parte de una estructura que fue desechada, mientras que para poder acomodar los cortos, suelda un ángulo de acero. En los dos casos toma como el otro punto de apoyo la prensa que está unida a la mesa. Esta situación además de crear tiempos muertos, mientras que el operario logra conseguir los objetos necesarios para darle solución a su contratiempo, lo obliga a adoptar posturas que pueden ser catalogadas como muy riesgosas¹⁹.

En la figura 3.12 se muestra de manera elemental, y sin datos exactos, como las herramientas de trabajo y el tipo de actividad son las que obligan al trabajador a tomar una postura que genera cargas sobre los discos

¹⁹ Confederación de la Pequeña y Mediana empresa Aragonesa (CEPYME-Aragón), *Manual de procedimientos para la evaluación de riesgos y condiciones de trabajo desde el punto de vista ergonómico en los trabajos de soldadura* (Zaragoza, Fundación para la prevención de riesgos laborales: 2010) p. 54-60

FIGURA 2.12 Inclinación Lateral y Frontal de la Espalda durante la Soldadura de Rodillos

intervertebrales, aumento en la actividad muscular y por ende un gasto energético superior.



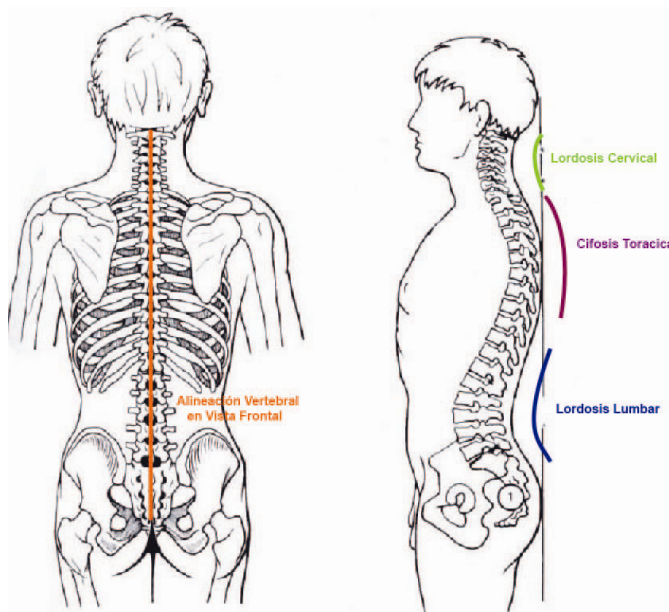
Fuente: Autor

Estos efectos son generados por la disposición espacial de los segmentos corporales; y aunque no existe una postura en la que se eliminen completamente las cargas generadas por el peso del cuerpo y la actividad muscular que mantiene en equilibrio el cuerpo, existen posturas que las minimizan al máximo²⁰. En la bipedestación por ejemplo, los esfuerzos son mínimos cuando la línea de gravedad pasa por el cuarto cuerpo vertebral de la zona lumbar y la curvatura que le ayuda a resistir las fuerzas de compresión a

²⁰ Nordin, Frankel, , op cit., p. 279

la columna vertebral, están dentro de los grados considerados como normales²¹.

FIGURA 2.13 Vistas Frontal y lateral de Curvatura Natural de la Espalda



Fuente: Kapandji, A. I. (2006) Fisiología Articular, Trono y Raquis (Tomo 1)

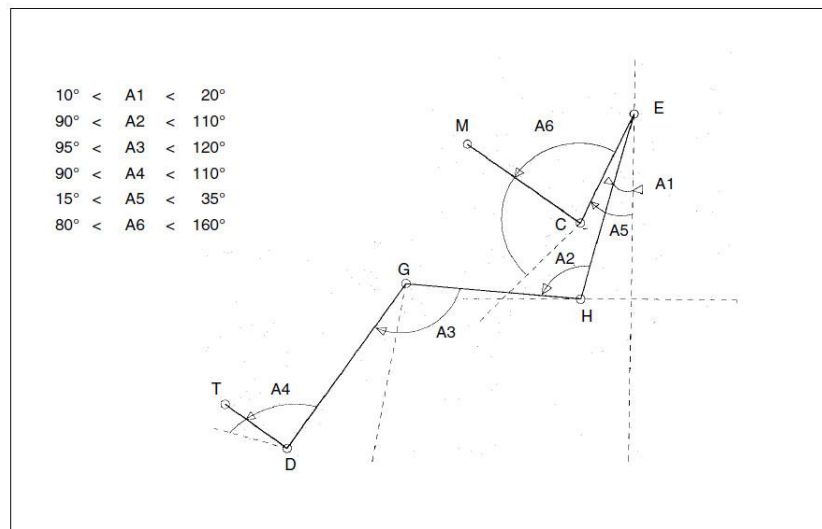
En la figura 3.13 se muestran cuales son curvaturas naturales de la espalda en el plano sagital, siendo estas tangentes a una línea recta vertical y la alienación vertebral en la vista posterior.

Por otra parte, durante la soldadura de rodillos para estaciones de carga (rodillera corta), el soldador trabaja sentado, cambiando significativamente la dinámica de los esfuerzos. Ahora los nuevos apoyos ayudan a soportar el peso del tronco y del mismo cuerpo, generándose así nuevas posiciones corporales

²¹ UNIVERSIDAD DE MURCIA. Anatomía y Biomecánica de la Columna Vertebral [Documento en Línea] URL <http://ocw.um.es/gat/contenidos/palopez/contenidos/616e61746f6dc3ad615f706564726f5f616e67656c.pdf>, 24/04/2012

que minimizan las cargas; y esta vez varias articulaciones salen de su posición natural, por lo que se deben tener en cuenta los ángulos recomendados para evitar tensiones por encima de lo normal²². En la figura 3.14 son mostrados los ángulos que son reconocidos como confortables.

FIGURA 2.14 Angulos de Confort en posicion sedente.



Fuente: MONDELO, P., GREGORI, J., BARRAU P. (1999) Ergonomía III diseño de puestos de trabajo. Barcelona: Edicions de Universitat Politècnica de Catalunya, 1999. p. 79

Si se comparan los rangos recomendados con la imagen 3.15 que muestra la postura que toma el soldador mientras suelda rodillera corta, se puede ver que no cumple con muchos de estos límites; entre esos están el ángulo formado entre la vertical y el segmento hombro-cadera (A1) pues en vez de reclinar su espalda hacia atrás la inclina hacia adelante, o los grados formados entre el hombro, la cadera y la rodilla, que a simple vista se nota que es inferior a los 90 grados recomendados; además de que no cuenta con apoyos que le ayuden a sostener las cargas generadas por su peso, y nuevamente el

²² Móndeolo, Gregori, Blasco, Barrau, *Ergonomía 3 Diseño de puestos de trabajo* (Barcelona: Edicions de Universitat Politècnica de Catalunya, 1999)p. 81

soldador esta en un alto riesgo de sufrir algún tipo de trastorno musculoesquelético.

FIGURA 2.15 Posicion de los segmentos corporales durante la soldadura



Fuente: Autor

Otro de los problemas que presenta este puesto de trabajo es el método que utilizan para soldar los rodillos de estaciones de carga e impacto; pues este consiste en un ángulo de acero inclinado soldado a la mesa del puesto del soldador que para sostener los rodillos se le suelda una platina; y cuando necesita cambiarse esta distancia y colocar un nuevo rodillo con otra longitud, lo que se hace es remover la platina y nuevamente soldarla al ángulo. Con este sistema nuevamente se generan tiempos muertos innecesarios.

2.4 ALCANCES DEL PROYECTO

Después de analizar y ponderar la importancia que tienen los rodillos dentro de la cadena productiva en Dismet, se hace necesario mejorar las condiciones en su fabricación, la productividad, la seguridad y salud de los operarios.

Este proyecto tiene como objetivo diseñar y fabricar un dispositivo que proponga una nueva manera de llevar a cabo procesos de soldadura circular en las que se tenga en cuenta tanto factores ergonómicos como productivos pues se ha demostrado la estrecha relación que existe entre estos dos aspectos.

A nivel productivo se busca reducir el tiempo que gasta el operario cuando suelda los rodillos más largos, esto implica la creación de dispositivo que pueda ser acondicionado a los puestos de soldadura con los que ya cuenta la empresa, y que con él se pueda ensamblar cualquier tipo de rodillo marca Dismet®. También es de vital importancia implementar un mecanismo que se encargue del movimiento circular constante de los cilindros para evitar que el soldador tenga que parar dos y tres veces mientras intenta soldar una manzana al cilindro; esto mejoraría el acabado superficial del proceso y permitiría que operarios con menor destreza puedan llevar a cabo esta labor. Y en términos ergonómicos, lo que se busca es diseñar un dispositivo que favorezca una postura en equilibrio y evitar esfuerzos innecesarios que más adelante causen algún tipo de trastorno musculo esquelético.

Los recursos con los que se cuentan para la realización de este proyecto además de la orientación por parte del director y los medios que facilita la universidad, entre los que están las base de datos, libros, acceso a otros proyectos de grado relacionados, etc. son la experiencia y conocimientos de varios operarios y profesionales de Dismet, el acceso a documentación técnica y normatividad relacionada con la fabricación y soldadura de rodillos para bandas transportadoras y la tecnología con la que cuenta la empresa.

De igual forma, durante el diseño, modelado y simulación del comportamiento de cada componente y del dispositivo en general se utilizara como herramienta el programa con el que Dismet cuenta actualmente y brinda para la realización del proyecto, Autodesk Inventor Professional 2011; con él se puede validar cada una de las soluciones planteadas para los requerimientos de diseño y de paso optimizar su comportamiento mecánico.

En su construcción, la tecnología con la que será desarrollado el dispositivo será Dismet, por lo que la elaboración de piezas y el ensamblaje de las mismas giraran alrededor de procesos de soldadura tipo MIG, corte y mecanizado con maquinaria eléctrica como tornos, fresadoras, sierras sinfín y si así se requiere, corte laser, en términos económicos la empresa respaldará la fabricación de manera total siempre y cuando se utilice la tecnología y materiales propios de Dismet.

Para la validación del dispositivo se hará una comparación de los resultados obtenidos durante los análisis posturales hechos antes y después de la

implementación del dispositivo. El método que permitirá cuantificar estos análisis es el método REBA.

2.5 ESTADO DEL ARTE

Existen diferentes herramientas que han sido diseñadas para la asistencia en el trazado de soldadura circular, entre esas están los manipuladores de soldadura y los posicionadores; todos estos con características que buscan abarcar las diferentes necesidades del sector metalmecánico.

2.5.1 Posicionadores

Los posicionadores son máquinas diseñadas para facilitar el posicionamiento de las piezas mientras estas son soldadas, ya que permiten su movimiento en las tres direcciones, además de hacerlas rotar con respecto al plato que la sostiene. Esta característica acompañada con las diferentes referencias en accesorios que existen en el mercado, como el tipo de plato, son los que los hacen adecuarse para la soldadura circunferencial.

FIGURA 2.16 Posicionador grande de plato cuadrado



Fuente: Metronic, www.interempresas.net, 24/04/2012

En la imagen 4.1 se puede apreciar como los posicionadores de soldadura permiten modificar la posición del plato para ayudar al operario a encontrar una mejor posición para soldar. Estas herramientas pueden inclinarse y pasar de una colocación horizontal a una vertical, además girar manteniendo una velocidad constante.

Generalmente estas maquinas funcionan gracias a un sistema hidráulico que le permite mover grandes pesos, pero cuando se tratan de posicionadores pequeños para soldadura circunferencial, su modo de operación consiste en un motor con reductores y controladores de velocidad que se encargan de hacer girar el plato en las condiciones requeridas.

2.5.1.1 Posicionador de soldadura TS-10

FIGURA 2.17 Posicionador Semiautomático o Automático



Fuente: Nargesa, www.nargesa.com, 24/04/2012

Fabricante	Jancy Engineering inc.
Distribuidor	Fablamp Ltda. (Cali)
Dimensiones	295 x 298 x 366 mm
Peso	70 Lb
Velocidad Maxima	15 rad/s
Recorrido del Plato	0° - 360°
Capacidad Maxima Horizontal	50 kg
Capacidad Maxima Vertical	75 kg
Regulacion de Inclinacion	15° - 90°

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Permite hacer soldadura circular continua, punteada o en tramos 	<ul style="list-style-type: none"> • La geometría y el tamaño de las piezas a soldar se ven limitadas por el panel de control que esta al costado del plato.
<ul style="list-style-type: none"> • Tiene una memoria que graba hasta 10 maneras de configuración de soldadura continua y 10 discontinua 	<ul style="list-style-type: none"> • El panel de control está por debajo de los 790 mm, obligando al usuario a inclinarse o agacharse.
<ul style="list-style-type: none"> • Trabaja con un robot de soldadura externo, permitiendo automatizar el proceso 	<ul style="list-style-type: none"> • El pedal al estar cubierto y tiene una posición fija que limita la movilidad del operario.
	<ul style="list-style-type: none"> • El desnivel y la posición del pedal obligan al operario a mantener una pierna flexionada durante la actividad.
	<ul style="list-style-type: none"> • La altura del plato es fija, lo que restringe la altura de las piezas.

2.5.1.2 Roto – Star Weldering Positioner

FIGURA 2.18 Posicionador Semiautomático



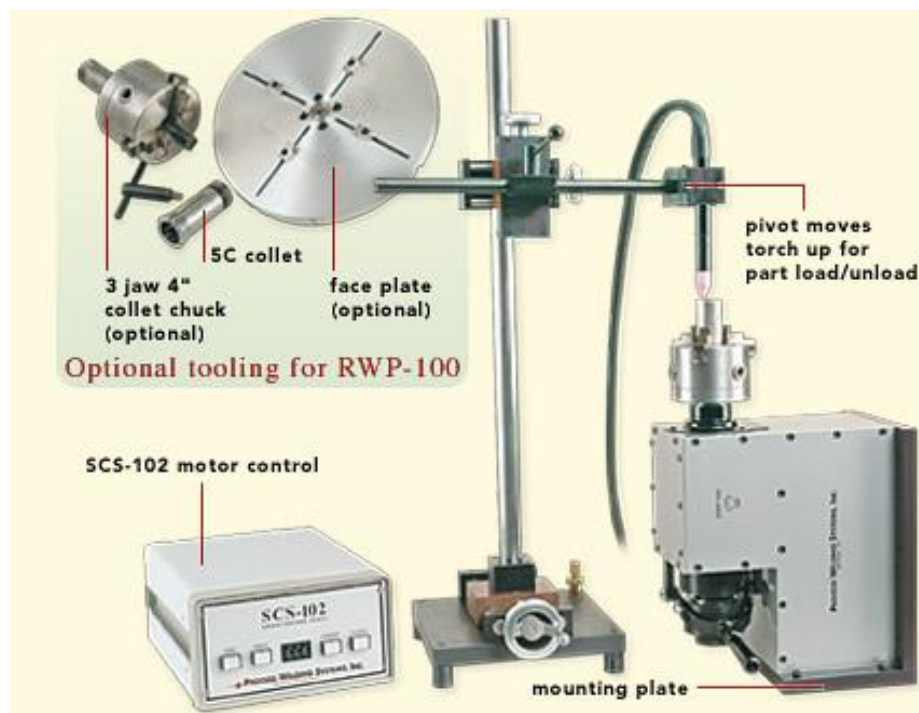
Fuente: Jancy, www.jancy.com, 24/04/2012

Fabricante	Jancy Engineering inc.
Distribuidor	Fablamp Ltda. (Cali)
Dimensiones	295 x 298 x 366 mm
Peso	70 Lb
Velocidad Maxima	15 rad/s
Recorrido del Plato	0° - 360°
Capacidad Maxima Horizontal	50 kg
Capacidad Maxima Vertical	75 kg
Regulacion de Inclination	15° - 90°

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Al dejar pasar la pieza o el tubo por la parte inferior del plato permite graduar la altura a la que queda la pieza para ser soldado. 	<ul style="list-style-type: none"> • El precario diseño del apoyabrazos ajustable
<ul style="list-style-type: none"> • De acuerdo a la geometría de la pieza a soldar se puede cambiar el tipo de plato. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poca exactitud en la inclinación del plato.
<ul style="list-style-type: none"> • Entre los accesorios que se le pueden agregar esta un apoya brazos ajustable. 	

2.5.1.3 RPW - 100 Positioner

FIGURA 2.19 Posicionador de Soldadura Automático, Process Welding Systems



Fuente: Process Welding Systems, <http://www.processwelding.com>, 24/04/2012

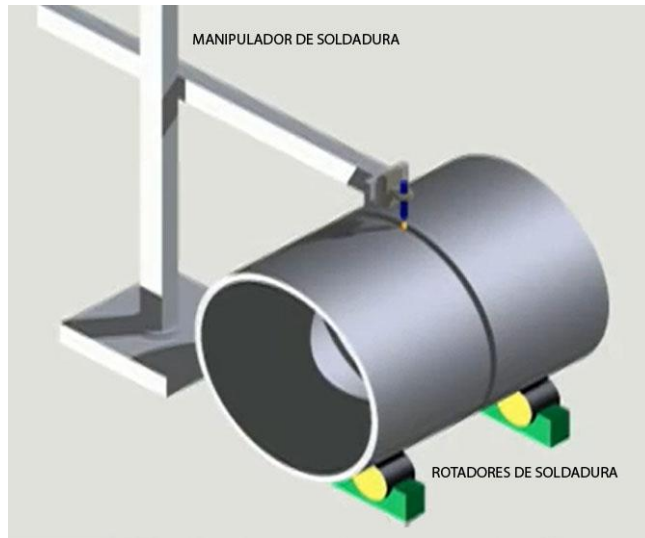
Fabricante	Process Welding Systems
Distribuidor	-
Dimensiones	12.75"x11.63"x6" (sin antorcha)
Peso	44 Lb
Velocidad Maxima	25 rpm
Recorrido del Plato	0° - 360°
Capacidad Maxima Vertical	60 kg
Regulacion de Inclination	solo puede montarse en forma horizontal o vertical

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Al ser una herramienta netamente automática, el operario no se expone a traumas musculo esqueléticos por mantener una postura inadecuada durante el proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aunque la maquina podría adaptarse para que llevar a cabo un proceso semiautomático, su configuración no lo permite.
	<ul style="list-style-type: none"> • la altura a la que queda la pieza se ve condicionada por su geometría. Por lo que en ocasiones puede forzar al operario a trabajar con los brazos por fuera de los ángulos recomendados
	<ul style="list-style-type: none"> • No permite graduar el ángulo de inclinación del plato, restringiendo la movilidad del operario.

2.5.2 Manipuladores de soldadura

El manipulador es una maquina conformada principalmente por un brazo de soldadura unido a una columna; el brazo puede extenderse a lo alto y a lo ancho permitiéndole así el desplazamiento en el plano XY, esta característica le permite ser usado para soldadura longitudinal. En la soldadura circunferencial, usualmente se cuenta con un rotador de soldadura que se encarga de hacer girar el cilindro cuando este, está en una posición fija.

FIGURA 2.20 Soldadura con un manipulador impulsado por un rotador



Fuente: Manipuladores ProArc <http://www.youtube.com/watch?v=R5Z4DMCcsY8> 24/04/2014

2.5.2.1 Manipulador para soldadura YZH

FIGURA 2.21 Manipulador marca Wuxi Yizhou Welding Equipment Company



Fuente: Wuxi Yizhou Welding Equipment Company, <http://www.weldingequipment-cn.es>,

24/04/2012

Fabricante	Wuxi Yizhou Welding Equipment Company
Distribuidor	ETW Ltda. (Argentina)
Dimensiones	8.52 m x 5.6 m x 4m
Vel. Maxima de Elevación	0.9 m/min
Angulo de Rotación	360°
Vel. Del carrito de Alimentación	3 m/min.
Longitud Máxima Horizontal	5 m
Longitud Máxima Vertical	8 m

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • La intervención que tiene el operario durante el proceso es mínimo, por lo que no sufre ningún perjuicio relacionado con su manipulación. 	<ul style="list-style-type: none"> • No permite modificar el ángulo de inclinación de la antorcha.
	<ul style="list-style-type: none"> • Este tipo de herramientas son diseñados para la fabricación de objetos muy grandes como tanques, por lo que no se encuentra en un tamaño adecuado para soldar rodillos.
	<ul style="list-style-type: none"> • el accionamiento de la antorcha de soldadura no puede ser manual, lo que implica automatización del proceso.
	<ul style="list-style-type: none"> • El tamaño y la máxima elongación del carrito restringe las dimensiones del cilindro.

2.5.2.2 Koike Manipulator

FIGURA 2.22 Manipulador de soldadura marca Koike



Fuente: Koike, www.koike.com, 24/04/2012

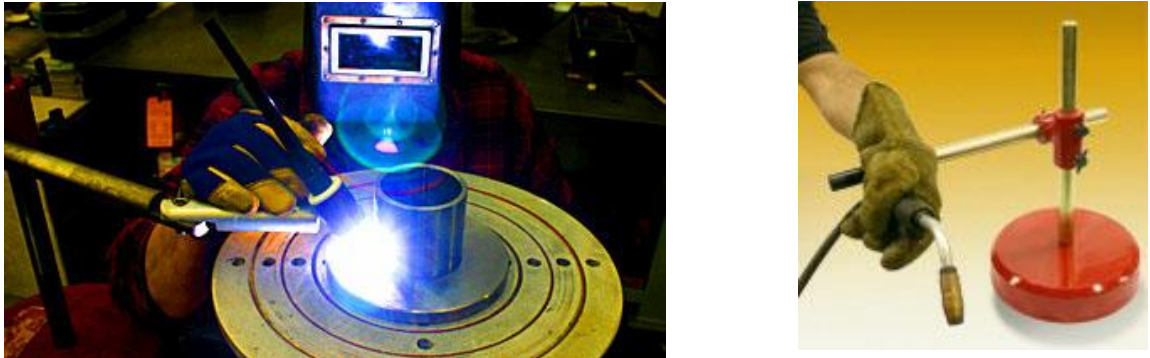
Fabricante	Koike Aronson Inc.
Distribuidor	Acerta S.A. (Bogotá)
Dimensiones	4 m x 3 m x 2.7 m
Vel. Maxima de Elevación	0.8 m/min
Angulo de Rotación	360°
Vel. Del carrito de Alimentación	1,2 m/min.
Longitud Máxima Horizontal	3 m
Longitud Máxima Vertical	3,62 m

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">• La intervención que tiene el operario durante el proceso es mínimo, por lo que no sufre ningún perjuicio relacionado con su manipulación.	<ul style="list-style-type: none">• La trayectoria de la antorcha siempre trazara un línea recta, limitando la penetración de la soldadura

2.5.3 Pistolas y apoyabrazos

2.5.3.1 Apoya brazos Jancy

FIGURA 2.23 Apoyabrazos para posicionadores de soldadura marca Jancy



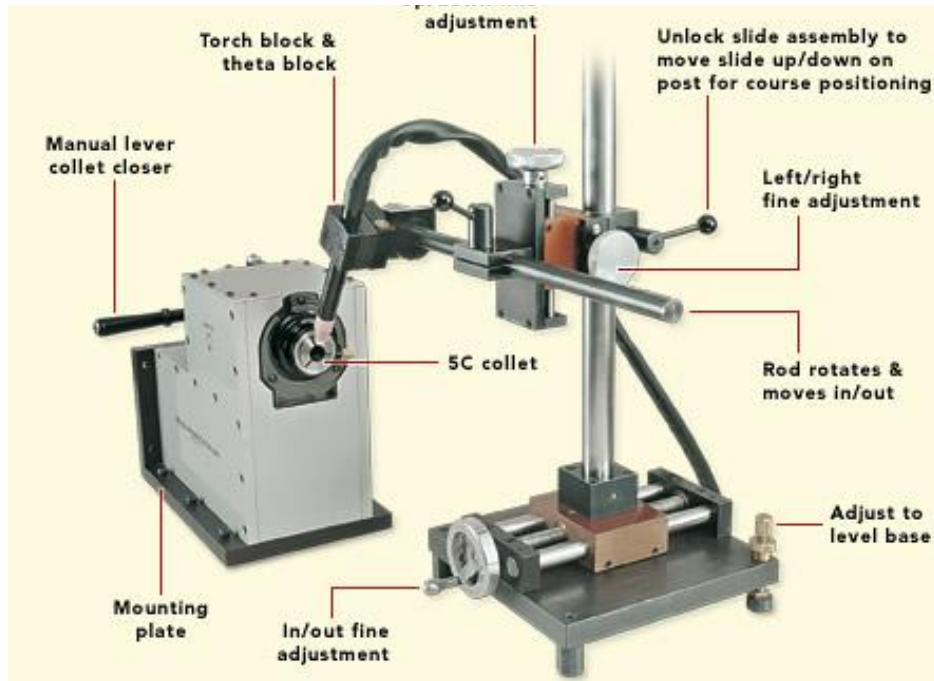
Fuente: Jancy Inc. www.starleymfg.com, 24/04/2012

Fabricante	Jancy Engineering inc.
Distribuidor	Fablamp Ltda. (Cali)
Dimensiones	Altura Maxima: 14"
	Alcance Maximo Horizontal: 16"
Peso	15 Kg

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">• se puede ajustar la altura y la distancia del apoyabrazos.	<ul style="list-style-type: none">• el área de apoyo para la mano del soldador es muy pequeña y puede generar molestias.
<ul style="list-style-type: none">• Puede ser usado por zurdos y derechos.	<ul style="list-style-type: none">• Su diseño no contempla ayudar al operario a mantener la antorcha en la inclinación y la distancia apropiadas.

2.5.3.2 TS-100 Torch Stand

FIGURA 2.24 Antorcha de Soldadura Mig Automática Marca Process Welding System



Fuente: Process Welding, www.processwelding.com, 24/04/2012

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Permite graduarse en las 3 direcciones 	<ul style="list-style-type: none"> • La antorcha queda en una posición rígida por lo que no permite hacer los movimientos oscilatorios propios de la soldadura.
<ul style="list-style-type: none"> • La antorcha puede girar hasta 360° en el plano XY y XZ 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de una antorcha especial para soldadura tipo Mig/Mag, por lo que no se adapta a los equipos de soldadura convencionales.

Fabricante	Process Welding
Distribuidor	-
Dimensiones	10" x 10" x 33.375"
Peso	44 Lb
Alcance Maximo Horizontal	14"
Alcance Maximo Vertical	25"

2.6 METODO RAPID ENTIRE BODY ASSESSMENT (REBA)

Después de conocer en detalle las circunstancias que rodean el desarrollo de esta actividad, se puede concluir que es una labor estática en la que el operario en pocas ocasiones necesita manipular cargas, y nunca sobrepasan los rangos recomendados. Es por esto que el método elegido para la evaluación de riesgos ergonómicos es el Rapid Entire Body Assessment más conocido como REBA, ya que con él se pueden analizar de manera independiente y en un amplio rango diferentes segmentos del cuerpo como la muñeca, antebrazo, cuello y tronco, que de acuerdo con el análisis de postura realizado anteriormente, son los más afectados cuando se lleva a cabo la soldadura circunferencial. También se tiene en cuenta factores como la duración de la actividad, y las condiciones en las que se cambia de postura; además de analizar de forma detallada las estructuras que conforman los miembros superiores.

2.6.1 Descripción del método Rapid Entire Body Assessment

Después de registrar las posturas más críticas que adopta el operario mientras realiza la actividad y estimar los ángulos que se forman entre las diferentes partes del cuerpo y los planos corporales, el siguiente paso a seguir es darle una puntuación inicial donde se valore solamente la posición de cada parte del cuerpo. Para esto se dividirán los diferentes segmentos corporales en dos grupos; el primer grupo o grupo A lo conforman el tronco, cuello y piernas, mientras que el grupo B son los miembros superiores; brazo, antebrazo y muñeca. Las siguientes tablas muestran la calificación que el método le da a cada posición.

TABLA 2.6 Puntuación según el método REBA de cada segmento del cuerpo del grupo A de acuerdo con su posición

TABLA DE PUNTUACIÓN GRUPO A					
TRONCO		CUELLO		PIERNAS	
PUNTUACIÓN					
Tronco Erguido	1	Flexión del cuello entre 0° - 20°	1	Soporte Bilateral	1
Flexión del tronco entre 0° - 20°	2			Soporte Unilateral	2
Flexión del tronco entre 20° - 60°	3	Flexión del cuello superior a 20°	2	Soporte Ligero	
Flexión del tronco superior a 60°	4			Postura Inestable	

Fuente: Autor (Imágenes obtenidas de <http://www.ergonautas.upv.es>) 18/06/2012

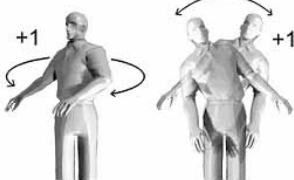

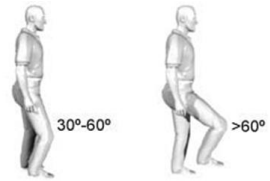
TABLA 2.7 Puntuación según el método REBA de cada segmento del cuerpo del grupo B de acuerdo con su posición

TABLA DE PUNTUACIÓN GRUPO B					
BRAZO		ANTEBRAZO		MUÑECA	
PUNTUACIÓN					
Flexión o extensión del brazo entre 0 - 20°	1	Flexión antebrazo entre 60° -100°	1	Flexión de la muñeca entre 0° - 15°	1
Flexión del brazo entre 21° - 45°	2			Extensión de la muñeca entre 0° - 15°	
Extensión del brazo superior a 20°	2	Flexión antebrazo inferior 60°	2	Flexión de la muñeca superior 15°	2
Flexión del brazo entre 46° - 90°				Flexión antebrazo superior 100°	
Flexión del brazo superior a 90°		4			

Fuente: Autor (Imágenes obtenidas de <http://www.ergonautas.upv.es>) 18/06/2012

Sin embargo, existen ciertas particularidades en las posiciones corporales que pueden llegar a hacer mucho más lesiva la postura adquirida, por lo que el método propone que a la calificación ya dada, le sea adicionada uno o varios puntos de acuerdo a su gravedad. En la tablas 5-3 y 5-4 se muestran dichas particularidades y la puntuación que debe ser adicionada.

TABLA 2.8 Adición de puntuación para el grupo A, según el método REBA de cada segmento del cuerpo

TABLA ADICION DE PUNTOS GRUPO A					
TRONCO		CUELLO		PIERNAS	
					
PUNTUACION					
Torsión del tronco	+1	Torsión del cuello	+1	Flexión en una o dos rodillas entre 30° - 60°	+1
Inclinación lateral del cuerpo		Inclinación lateral Cuello		Flexión en una o dos rodillas superior a 60°	+2

Fuente: Autor (Imágenes obtenidas de <http://www.ergonautas.upv.es/>) 18/06/2012

TABLA 2.9 Adición de puntuación para el grupo B según el método REBA de cada segmento del cuerpo

TABLA ADICION DE PUNTOS TABLA B			
BRAZO		MUÑECA	
			
PUNTUACION			
Brazo abducido o rotado	+1	Torsión de la muñeca	+1
Hombros elevados	+1		
Punto de apoyo		Desviación lateral	+1
Postura a favor de la gravedad	-1		

Fuente: Autor (Imágenes obtenidas de <http://www.ergonautas.upv.es/>) 18/06/2012

Finalmente, basándose en la puntuación final individual se generara una nueva calificación, pero esta vez será para cuantificar la postura de cada grupo. El siguiente cuadro muestra los puntos obtenidos según esta nueva calificación.

TABLA 2.10 Tabla de Puntuacion Colectiva Grupo A

TABLA DE PUNTUACION COLECTIVA GRUPO A												
TRONCO	CUELLO											
	PIERNAS				PIERNAS				PIERNAS			
	1				2				3			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Fuente: Autor

TABLA 2.11 Puntuacion colectiva Grupo B

TABLA DE PUNTUACION COLECTIVA GRUPO B						
BRAZO	ANTEBRAZO					
	1			2		
	MUÑECA			MUÑECA		
	1	2	3	1	2	3
1	1	2	2	1	2	3
2	1	2	3	2	3	4
3	3	4	5	4	5	5
4	4	5	5	5	6	7
5	6	7	8	7	8	8
6	7	8	8	8	9	9

Fuente: Autor

Después de esta calificación grupal entran a considerarse la carga y las fuerzas aplicadas mientras la ejecución de la tarea. Como anteriormente se menciona, durante la actividad el operario no maneja cargas y las fuerzas que hace son generadas solo por la postura; por lo que no se tendrá en cuenta esta puntuación.

TABLA 2.12 Estimacion de la puntuacion C basada en las puntuaciones A y B

PUNTUACION A	PUNTUACION B											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Fuente: Autor

Con la puntuación A y la puntuación B se obtendrá una puntuación intermedia denominada Puntuación C, en seguida se muestra esta nueva tabla. Y finalmente, con los resultados obtenidos en la tabla C mas la puntuación que genera la actividad muscular se establece el nivel de riesgo al que está expuesto el trabajador y el nivel de acción requerido. A continuación se muestran las tablas que evalúan la actividad muscular y la de los niveles de acción²³.

TABLA 2.13 Adicion de Puntos Según la Actividad Física.

TABLA DE PUNTUCION POR ACTIVIDAD FISICA	
una o mas partes permanecen estáticas por mas de un minuto	+1
movimientos repetitivos mas de 4 veces por minuto	
se producen cambios de postura importantes	
adopción de posturas inestables	

²³ UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA. REBA (*Rapid Entire Body Assessment*) [Documento en Línea] URL <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/reba/reba-ayuda.php>

Fuente: Autor

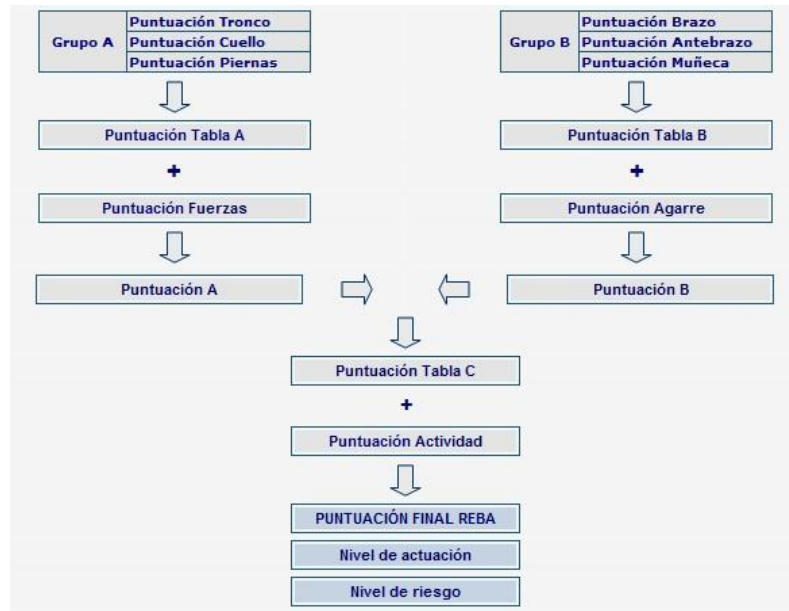
TABLA 2.14 Tabla de Niveles de Riesgo y de Actuacion requerida

TABLA NIVELES DE ACCION REQUERIDA			
PUNTUACION FINAL	NIVEL DE ACCION	NIVEL DE RIESGO	ACTUACION
1	0	Inapreciable	No es necesaria una intervenci3n
2 - 3	1	Bajo	Puede ser necesaria una intervenci3n
4 - 7	2	Medio	Es necesaria una intervenci3n
8 - 10	3	Alto	Es necesaria una intervenci3n cuanto antes
11 - 15	4	Muy Alto	Es necesaria una intervenci3n inmediata

Fuente: Autor

En la siguiente imagen se sintetiza la aplicaci3n del m3todo.

FIGURA 2.25 Diagrama de Aplicaci3n del Metodo Reba



Fuente: Universidad Polit3cnica de Valencia, www.ergonautas.upv.es, 06/06/2012

2.6.2 Aplicación del método REBA

Dado que las condiciones más difíciles se dan en la soldadura de los rodillos que no pueden ubicarse en el ángulo inclinado ubicado a un lado de la mesa de trabajo, las posturas analizadas en la aplicación del método REBA serán las que el operario toma cuando suelda rodillos para estaciones de retorno de 40" y 42" de largo, ambos con un diámetro de 4".

Ya en la soldadura de los rodillos de 42", el operario decide ubicarlos sobre el piso y a este nivel inclinarse para poder llegar a ellos. Mientras que para los rodillos de 40" de largo, se acomoda los cilindros en un ángulo que conforma la estructura que separa los cubículos de soldadura. En las figuras 2.1 y 2.2 puede notarse las posturas que toma el soldador de acuerdo con la ubicación de los rodillos dentro del cubículo de soldadura.

FIGURA 2.1 Acomodación postural para soldadura de rodillos de 40" de largo



Fuente: Autor

FIGURA 2.2 Acomodación postural para soldadura de rodillos de 40" de largo

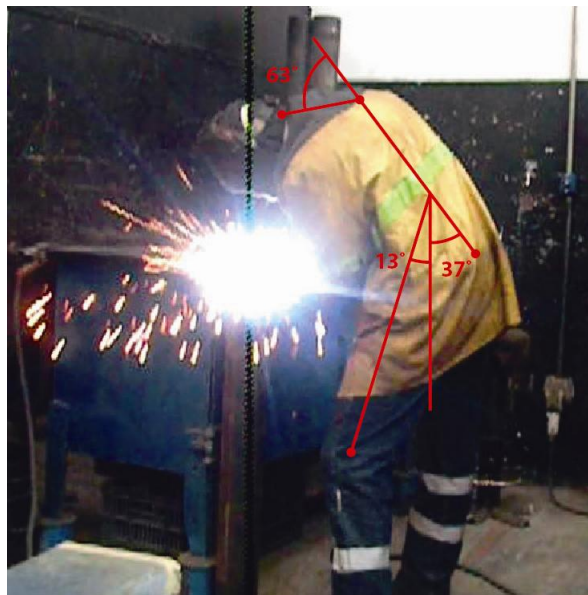


Fuente: Autor

2.6.2.1 Valoración Individual Grupo A

Este grupo está compuesto por tronco, cuello y piernas. En la figura 2.3 se muestran los ángulos que se forman con cada segmento corporal durante su flexión.

FIGURA 2.3 Valoración tronco, cuello y piernas



Fuente: Autor

GRUPO A			
SEGMENTO CORPORAL	PUNTAJE	PUNTAJE ADICIONAL	TOTAL
Tronco	+3	+1 Inclínación lateral	+4
Cuello	+2	+1 Inclínación lateral	+3
Piernas	+2	0	+2

2.6.2.2 Valoración Individual Grupo B

En la figura 2.4 se muestra los ángulos que se forman con la flexión del brazo y antebrazo y desviación lateral en la muñeca

FIGURA 2.4 Valoración brazo, antebrazo, muñeca



Fuente: Autor

GRUPO B			
SEGMENTO CORPORAL	PUNTAJE	PUNTAJE ADICIONAL	TOTAL
Brazo	+2	+1 Abducción del brazo	+3
Antebrazo	+2	0	+2
Muñeca	+1	+1 Desviación de la muñeca	+2

2.6.2.3 Puntuación grupal para el grupo A

TABLA DE PUNTUACION COLECTIVA GRUPO A												
TRONCO	CUELLO											
	1				2				3			
	PIERNAS				PIERNAS				PIERNAS			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

El valor obtenido de acuerdo con la puntuación individual es de 7 puntos para el grupo A

2.6.2.4 Puntuación Grupal para el grupo B

TABLA DE PUNTUACION COLECTIVA GRUPO B						
BRAZO	ANTEBRAZO					
	1			2		
	MUÑECA			MUÑECA		
	1	2	3	1	2	3
1	1	2	2	1	2	3
2	1	2	3	2	3	4
3	3	4	5	4	5	5
4	4	5	5	5	6	7
5	6	7	8	7	8	8
6	7	8	8	8	9	9

El puntaje obtenido para el grupo B es de 5 puntos.

Los puntajes obtenidos por fuerza y agarre en los dos casos es cero, ya que el peso de la antorcha no sobrepasa los 5 kg, y el agarre es considerado como bueno.

2.6.2.5 Unión de puntajes obtenidos para el grupo A y B

PUNTUACION C												
PUNTUACION	PUNTUACION B											
A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

La puntuación dada por el método para los puntajes 7 y 5 de los grupos A y B respectivamente es de 9 puntos.

2.6.2.6 Adición de puntaje por carga y fuerza.

TABLA DE PUNTUCION POR ACTIVIDAD FISICA	
una o mas partes permanecen estáticas por mas de un minuto	+1
movimientos repetitivos mas de 4 veces por minuto	+1
se producen cambios de postura importantes o se adoptan posturas inestables	+1

Debido a las características de la actividad, al puntaje C le serán adicionados 3 puntos más, por lo que la puntuación final es de +12: lo que implica que el nivel riesgo de acuerdo con el método REBA es muy alto y requiere una intervención inmediata.

TABLA NIVELES DE ACCION REQUERIDA			
PUNTUACION FINAL	NIVEL DE ACCION	NIVEL DE RIESGO	ACTUACION
1	0	Inapreciable	No es necesaria una intervención
2 - 3	1	Bajo	Puede ser necesaria una intervención
4 - 7	2	Medio	Es necesaria una intervención
8 - 10	3	Alto	Es necesaria una intervención cuanto antes
11 - 15	4	Muy Alto	Es necesaria una intervención inmediata

2.6.2.7 Conclusiones

- De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede concluir que los puntos más críticos en la postura del operario son el tronco, cuello y brazos, ya que obtuvieron la puntuación individual más alta; y aunque los tres segmentos tienen altas probabilidades de sufrir trastorno musculoesquelético, es el tronco el más propenso.
- También se pudo notar que todos los segmentos corporales menos las piernas y antebrazo, a su calificación individual fueron adicionados puntos, pues en todos ellos se presenta desviación de los ejes corporales o torsión.
- Aunque existen segmentos corporales con niveles de riesgo más altos, es un hecho que ningún segmento corporal consiguió el menor puntaje posible, por lo que la gravedad de la postura depende de todos ellos.
- Además de la posición de los segmentos corporales, la postura inestable y mantenerla durante largos periodos de tiempo y la repetitividad agravan la situación, por lo que es importante además de proponer un dispositivo que ayude en la higiene postural del trabajador, se especifique la importancia que tiene los tiempos de descanso para la

recuperación del operario; pues el éxito del dispositivo depende en gran medida de este factor.

2.7 Recolección de Información

2.7.1 Marco Teórico

La recolección de información se dividió de acuerdo con los propósitos del proyecto, que son ayudar al operario a mantener una postura biomecánicamente correcta, y mejorar la eficiencia del proceso de soldadura. Por esta razón la investigación consta de una parte técnica en la que se expone las características de la soldadura con arco eléctrico y específicamente la soldadura G.M.A.W.; y de una parte ergonómica enfocada a la postura.

2.7.1.1 Enfoque ergonómico

2.7.1.1.1 La Columna Vertebral

La columna vertebral es una estructura osteocartilaginosa en forma alargada, conformada por 33 o 34 vertebras de las cuales 24 son móviles. Tiene como funciones principales: la protección de la medula espinal y otros componentes del sistema nervioso; el soporte y dirección hacia la pelvis de cargas axiales de la cabeza y el tronco y la movilidad de la espalda en las tres direcciones²⁴. Está conformada principalmente por vertebras, discos intervertebrales, ligamentos y músculos.

²⁴ NORDIN, Margareta; FRANKEL, Víctor. Biomecánica Básica del Sistema Musculo Esqueletico, 3 ed. Madrid: McGraw Hill, 2001 p. 267

Los discos intervertebrales son fundamentales en la capacidad que ella tiene para soportar cargas. Funcionan como amortiguadores hidráulicos gracias a las características de sus dos componentes, el núcleo pulposo y el anillo fibroso. El núcleo es una estructura gelatinosa que trasmite con igual intensidad a lo largo de todo el disco la presión que es ejercida sobre él, convirtiendo las cargas en fuerzas transversales que serán contrarrestadas por el anillo fibroso, o en cargas axiales que serán direccionadas a la siguiente vertebra sino son absorbidas y almacenadas por las fibras de colágeno presentes en el anillo fibroso; estas fuerzas retenidas luego se liberaran para permitirle al disco recuperar su forma inicial. Cuando son fuerzas de torsión las que se ejercen, las fibras de colágeno presentes en el anillo fibroso no responden muy bien, pues son muy pocas las que pueden estar alineadas con el sentido de la fuerza, terminando así sobrecargadas y lesionadas²⁵. El anillo fibroso es el que se encarga de rodear el núcleo pulposo evitando que este sea deformado por las cargas que soporta; su estructura está conformada por láminas que aumentan de grosor desde su contorno hasta el centro; Esta configuración además de la presencia de colágeno son lo le permite soportar compresiones altas sin adaptarse muy bien a las fuerzas cortantes²⁶.

Otro de sus componentes son las vertebrae, estas son huesos en los que su morfología varia de manera drástica, y son sus alteraciones las que se encargan de determinar aspectos como el máximo peso soportado por cada

²⁵ UNIVERSIDAD DE MURCIA. Anatomía y Biomecánica de la Columna Vertebral [Documento en Línea] URL <<http://ocw.um.es/gat/contenidos/palopez/contenidos/616e61746f6dc3ad615f706564726f5f616e67656c.pdf>> p.69-71, 19/06/2012

²⁶ Ibid. p. 72-74.

una de ellas o los rangos de movimiento de cada región de la columna. Entre estas partes esta la superficie que entra en contacto con los discos vertebrales o cuerpo vertebral; su tamaño aumenta de manera gradual, por lo que las vertebrae lumbares son las más grandes y las que más cargas pueden resistir²⁷. Las facetes de las vertebrae son también otra de las protuberancias que intervienen en la movilidad respecto al plano transversal y frontal del cuerpo humano²⁸; para la zona cervical su alienación le permite la flexión, extensión, inclinación lateral y rotación; en la región torácica se mantiene la inclinación lateral, rotación pero se pierde un poco la flexión y extensión. Ya para la zona lumbar se mantiene la flexión, extensión e inclinación lateral pero se pierde en gran medida la rotación; y en la parte lumbosacra la columna vuelve a recuperar su capacidad de rotación. Las facetes también intervienen en el soporte de cargas²⁹.

Cuando la columna es observada en el plano sagital, se puede notar unas curvas que son formadas gracias a la geometría de las vertebrae y de sus discos. La primera está constituida por las 7 vertebrae cervicales y se forma una curva convexa anterior; en la curvatura formada en la zona torácica aparecen 12 vertebrae y forman la primera convexidad posterior; nuevamente aparece una curvatura convexa anterior y esta vez está conformada por las 5 vertebrae lumbares; y finalmente el cóccix, formado por 4 o 5 vertebrae unidas que generan la última curvatura convexa posterior³⁰. Mientras que en el plano

²⁷ NORDIN; FRANKEL, Op. cit.p.268

²⁸ Ibid. p 270

²⁹ NORDIN; FRANKEL, Op. cit.p.272-277

³⁰ UNIVERSIDAD PONTIFICIA CATOLICA DE CHILE. Columna vertebral y Cráneo
[Documento en línea] URL

frontal en el plano frontal su alineación vertebral no tiene ninguna curva. Estas curvas le ayudan a la espalda a mantener la estabilidad y aumenta su resistencia a la compresión axial hasta 10 veces más que si fuera completamente recta³¹.

Sin embargo su equilibrio no solo depende de las curvaturas que se generan, también sus estructuras ligamentosas, musculares y nerviosas le ayudan a mantenerlas, siendo mínima su actividad muscular; por eso cuando la postura que se toma no las mantiene, se hace necesario que trabajen mucho mas, aumentándose el gasto energético y llegando hasta el atrofio de cualquiera de ellas o la alteración de sus curvas, saliéndose de los rangos considerados como normales.

Entre las estructuras que pueden verse afectadas están los ligamentos, que son los que mantienen unidos cada una de las partes que componen la columna y estabilizan la articulación intervertebral³². Entre estos están: el ligamento longitudinal común anterior, que se encarga de limitar la hiperextensión de la columna, retener el desplazamiento anterior y la separación entre las vertebrae, y durante el levantamiento de cargas sostiene la zona vertebral anterior; el ligamento longitudinal común posterior, encargándose de mantener unidos las caras posteriores de los cuerpos vertebrales. Cuando la postura implica presión axial y rotación o inclinación

< <http://escuela.med.puc.cl/paginas/departamentos/anatomia/cursoenlinea/down/columna.pdf> > , p. 1, 24/04/2012

³¹ KAPANDJI, A.I. Fisiología Articular, Tomo 3 Tronco y Raquis. Madrid: Medica Panamericana S.A., 2007 p. 22

³² UNIVERSIDAD DE MURCIA. Análisis de la columna vertebral [Documento en línea] URL < <http://ocw.um.es/gat/contenidos/contenidos/616e61746f6dc3ad615f706564726f5f616e67656c.pdf> > p. 14

lateral este ligamento es el que más sufre; el ligamento amarillo es el que se encarga de la estabilidad durante la flexión: el ligamento arco posterior que limita la flexión ventral, resiste las fuerzas de cizalla y restringe los movimientos de inclinación y rotación; y las capsulas de las carillas de la articulación interapofisiaria que participan en la trasmisión de cargas, ayudan a soportar cargas cuando la columna esta flexionada o rotada y controlan el movimiento de las vertebrae con respecto a los otros cuerpos vertebrales³³.

También, dentro de la musculatura que puede verse afectada están los músculos intrínsecos y extrínsecos; los primeros son cortos y saltan de una vértebra a otra formando dos masas musculares paralelas, una medial y la otra interna; estos músculos no tienen una buena respuesta cuando están sometidos a sobrecargas cíclicas siendo muy baja su resistencia a la fatiga. Los extrínsecos ejercen fuerzas de manera directa o indirecta sobre el raquis y son los que combaten las fuerzas de compresión, tensión, torsión, rotación y cizalla³⁴.

En posición erecta algunas de las vertebrae cumplen una función más notoria que otras; la zona lumbar es tal vez, la más importante para el equilibrio y para la resistencia de cargas; En las lumbares 4 y 5 es donde más cargas se soportan, ya que el centro de gravedad del cuerpo se localiza en estos segmentos y hay una mayor energía cinética; pero es en la zona sacra donde finalmente descansa la columna, de modo que un cambio en la inclinación de esta produce cambios en la posición a lo largo de toda la columna para poder

³³ UNIVERSIDAD DE MURCIA. Anatomía y Biomecánica de la Columna Op. cit.p.56-60

³⁴ Ibíd.p.60-62

posicionar de forma adecuada el centro de gravedad, alterándose la actividad de los músculos y la estática raquídea³⁵.

Cuando se toma una posición sedente, la pelvis debe desplazarse por lo que la curvatura de la espalda se altera perdiéndose el equilibrio natural. Sin embargo si el cuerpo cuenta con apoyos externos, los esfuerzos biomecánicos pueden llegar a ser inclusive inferiores a cuando se está de pie manteniendo la curvatura natural de la espalda. El reposabrazos, por ejemplo, descarga la cintura escapular (construcción móvil suspendida de la columna por medio de ligamentos y músculos) y el respaldo ejerce fuerza en la zona alta de la pelvis y la zona lumbar previniendo la basculación de la columna hacia la cifosis, siempre y cuando el apoyo no sea más alto que el borde inferior de las escapulas porque la zona torácica es rígida y si este estuviera ahí, lo que se haría, sería empujar hacia adelante el cuerpo, anulándose la acción del soporte e impidiendo estirar los hombros; sin embargo, la ausencia de un respaldo siempre lleva a que la columna forme una C³⁶.

También es importante tener en cuenta que una postura en la que se minimice al máximo los esfuerzos biomecánicos no solo depende de la posición de la columna vertebral, también es necesario tener presente los ángulos que se forman entre los segmentos corporales unidos por articulaciones. Existen rangos denominados confortables porque eliminan los esfuerzos en los

³⁵ Ibid. p.53

³⁶ NORDIN; FRANKEL, Op. cit.p.441-447

tendones y facilita la circulación sanguínea favoreciendo la recuperación³⁷. (Ver figura 2.14)

2.7.1.1.2 La Mano y Muñeca

La facultad de prensión de la mano se debe a la amplia apertura y la capacidad de cerrarse sobre si misma entorno a un objeto; para lograr estos movimientos y muchos otros mas, ella cuenta con estructuras óseas, ligamentosas, musculares y nerviosas que se conectan entre sí³⁸. Estas conexiones son las que entre otras cosas, le permiten la aparición del ahuecamiento palmar que guarda el objeto cuando es sujetado. Mientras que en su estructura ósea, conformada por 27 huesos, entre los que están los huesos del carpo, los metacarpos y las falanges, se producen unos arcos trasversales y longitudinales³⁹ que le permiten posicionar el objeto prensado de tantas maneras, que puede llevar cabo acciones donde se requieran fuerza, precisión o las dos en diferentes medidas.

Los arcos en sentido transversal se generan con las cabezas metacarpianas, creándose un eje longitudinal que pasa por los huesos semilunar, grande y tercer metacarpiano. En sentido longitudinal, se forman cuatro arcos que se conocen como carpometacarpofalangicos; estos están constituidos por el metacarpo y las falanges de cada dedo. Los más importantes, ya que son lo que se oponen al pulgar con mayor frecuencia, son el arco del corazón y del índice. La oposición de estos dedos con el pulgar se conocen como pinza

³⁷ LLANEZA ALVAREZ, f, Javier. Ergonomía y psicología aplicada, manual para la formación del especialista 15 ed. Valladolid: Lex Nova, 2010 p. 177

³⁸ KAPANDJI, A.I. Fisiología Articular, Tomo 1 Extremidad Superior. Madrid: Medica Panamericana S.A., 2007 p. 200

³⁹ *Ibíd.*, p.204-207

bidigital (pulgar e índice) y pinza tridigital (pulgar, índice y corazón) y son los agarres apropiados cuando los movimientos de la mano deben ser muy precisos⁴⁰.

El carpo también presenta un surco en su posición neutra, este alcanza a profundizarse un poco más para permitir la adaptación a la forma del objeto que está siendo prensado gracias a los músculos tenares, hipotenares y el ligamento anular⁴¹. Cuando se oponen todos los dedos al pulgar al mismo tiempo, se forma un canal oblicuo que pasa por el talón de la eminencia hipotenar y el segundo metacarpiano; a este canal es a donde caen los objetos cuando son sujetados, direccionándolos a más o menos 70 grados con respecto al eje del antebrazo; en esta posición todos los dedos tocan al objeto, dándose así la máxima superficie de contacto, por lo que se puede generar más fuerza aunque se pierde precisión⁴².

A la hora hacer fuerza, son las estructuras musculares y ligamentosas las que se encargan de su producción y transmisión, respectivamente. Cuando el musculo se contrae, la fuerza debe ser transmitida a los huesos del antebrazo a través de la muñeca; si la muñeca esta en posición neutra, el 80% de las fuerzas llega al radio y el otro 20 al cubito, pero cuando no lo está, puede que estas fuerzas se concentren en articulaciones que no tienen la capacidad de soportarlas, incrementándose así la posibilidad de sufrir de algún tipo de

⁴⁰ *Ibíd.*, p.308-311

⁴¹ *Ibíd.*, p. 316

⁴² FARRER Francisco, MINAYA Gilberto, NIÑO José, RUIZ Manuel, *Manual de Ergonomía* Madrid: Fundación Mapfre, 1994. p. 373

lesión⁴³. A medida que la fuerza se produce más cerca de la muñeca, su magnitud puede aumentar, confirmándose así una vez más, que es en la palma de la mano donde el agarre fuerza alcanza su máximo nivel.

2.7.1.1.3 Carga Física

Los músculos constantemente están sometidos a contracciones y relajaciones, esto se debe a que así es como los segmentos corporales pueden responder a las necesidades de movimiento y fuerza del cuerpo⁴⁴.

Durante la contracción, los músculos flexores se contraen, comprimiendo las arterias y dificultando el paso de la sangre, y con ella el oxígeno y glucosa. Cuando la fuerza ejercida es mayor, la dificultad de alimentar al musculo también se incrementa, generándose así una deficiencia que solo podrá ser satisfecha cuando el musculo se relaja. Esta situación se da cuando el segmento corporal se extiende; aquí los músculos extensores se contraen, mientras que los flexores se relajan. A este constante cambio de tensiones y relajaciones se conoce como esfuerzo dinámico⁴⁵.

Cuando se mantiene una postura, varios músculos deberán mantenerse contraídos para poder generar las fuerzas que ayuden a mantener el cuerpo en equilibrio, a esto se le conoce como esfuerzo estático o isométrico. Sin embargo, cuando la postura no es estable se generan más cargas que deben ser contrarrestadas, aumentando el trabajo muscular y reduciendo la capacidad de recuperación por el sistema circulatorio, por lo que se acumulan desechos y

⁴³ VILADOT, Antonio. Lecciones básicas de biomecánica para el aparato locomotor. Madrid: Springer Iberica, 2001. p. 166

⁴⁴ LLANEZA, A. Op. Cit. p. 287-288

⁴⁵ FARRER, MINAYA, NIÑO, RUIZ. Óp. Cit. p. 258-262

ácido láctico que más adelante serán los que se encargan de generar dolor⁴⁶. Si a esta postura se le agregan cargas externas mantenidas, el esfuerzo aumentara de acuerdo con los músculos que intervienen y su disposición espacial, ya que entre más alejada este la carga del eje vertical que pasa por el centro de gravedad del cuerpo mayor será el momento que origine y mayores tendrían que ser las fuerzas que produce la musculatura afectada. En el momento en el que el cuerpo no puede responder a las solicitudes de fuerza u la capacidad física disminuye se le conoce como fatiga física⁴⁷

2.7.1.1.4 Biomecánica

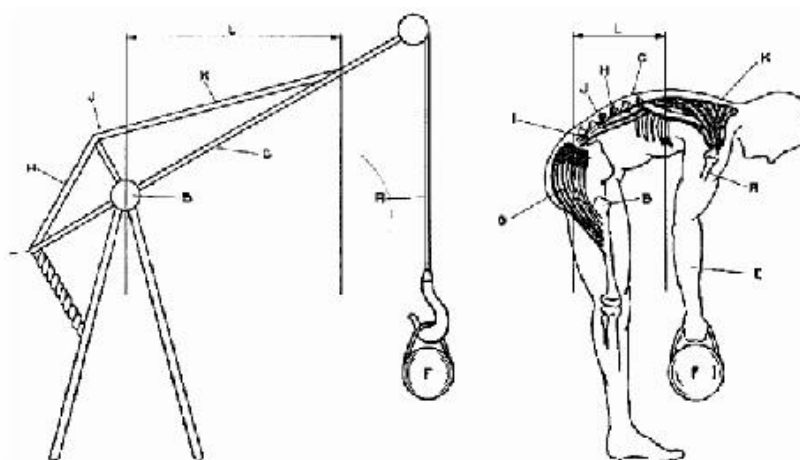
El comportamiento del cuerpo humano se fundamenta en la teoría de las palancas, donde los huesos funcionan como el elemento rígido, los puntos de apoyo son las articulaciones, las fuerzas equivalen a las cargas y la resistencia la contracción muscular. Estas contracciones se dan gracias a que los músculos convierten la energía química en fuerzas de tracción por medio de unas fibras contráctiles que se encogen de acuerdo con los estímulos nerviosos. Dichas fuerzas pasan a los huesos donde son soportados, gracias a los tendones y ligamentos⁴⁸. En la figura 2.5, por ejemplo, se muestra como el cuerpo se comporta como una grúa que logra una ventaja mecánica cuando se inclina el cuerpo para alzar algún objeto. Para ese momento su punto de apoyo son las articulaciones de la cadera, la columna el elemento rígido y la resistencia es generada por los músculos y tendones de la parte posterior de las piernas.

⁴⁶ Ibíd. p. 258

⁴⁷ Ibíd. p. 260

⁴⁸ LLANEZA, A. Op. Cit. p. 289

FIGURA 2.5 Equivalencia biomecanica hombre-grua



Fuente: LLANEZA, Javier. Ergonomía y psicología aplicada. Valladolid: Lex Nova, 2011. p.289

Sin embargo, con la aplicación de fuerzas distantes a el punto de apoyo de la palanca o para este caso, la articulación, se producen momentos de cuya magnitud depende del valor absoluto de la fuerza y la mínima distancia que existe entre esta y el eje de rotación. Por eso cuando se habla de que el cuerpo está en equilibrio, implícitamente se asegura que tanto las cargas como los momentos son contrarrestados totalmente⁴⁹.

Con las cargas que actúan sobre el cuerpo, también se pueden generar momentos, estos se dan cuando la fuerza no pasa por punto de giro, para este caso la articulación; su magnitud dependerá de la magnitud de la fuerza y de la mínima distancia que hay entre el eje y la fuerza⁵⁰.

⁴⁹ LLANEZA, A. Op. Cit. p. 290

⁵⁰ FARRER, MINAYA, NIÑO, RUIZ. Óp. Cit. p. 230

2.7.1.1.5 Trastornos Musculo-Esqueléticos

Ya se ha dicho que cuando los músculos se contraen, el paso de sangre y oxígeno se ve limitado por lo que las reacciones metabólicas no se pueden llevar a cabo correctamente, pues es el oxígeno indispensable en el proceso de obtención de la molécula primaria de energía (trifosfato de Adenosina o ATP). Ante estas circunstancias el cuerpo se ve obligado a buscar entre sus reservas de glucosa, glucógeno y almidón; sin embargo, con la utilización de dichas reservas se produce ácido láctico, agua y otros desechos, que al no haber bombeo de sangre se acumulan, y con su retención aparecen dolores agudos típicos de la fatiga muscular⁵¹.

Cuando esta sobrecarga se mantiene durante mucho tiempo y no se da el descanso necesario, se puede llegar al deterioro de la musculatura y otros componentes del sistema musculo esquelético, generándose así una fatiga crónica o patológica, también conocido como un trastorno musculo esquelético.

Los trastornos de este tipo se pueden dividir en dos grupos. Están los traumatismos acumulativos que afectan a las extremidades superiores e inferiores y las lesiones dorso-lumbares. Los traumatismos acumulativos se deben a la concentración de esfuerzos en solo una parte de los segmentos corporales y la adopción de posturas inadecuadas. Los más afectados suelen ser los músculos, tendones, nervios y vainas sinoviales. Mientras que las lesiones dorso-lumbares se originan por el manejo de cargas o por esfuerzos

⁵¹ LLANEZA, A. Op. Cit. p. 288

isométricos, afectando la columna vertebral⁵². Los factores que causan este tipo de lesiones se muestra en la tabla 2.16

TABLA 2.15 Factores que incrementan el riesgo de trastornos musculo esqueléticos

Aspectos físicos del trabajo	Entorno laboral y organización del trabajo
<ul style="list-style-type: none"> — Cargas. — Malas posturas. — Movimientos repetitivos. — Esfuerzo físico. — Presión mecánica directa sobre los tejidos corporales. — Entornos de trabajo fríos. — Vibraciones corporales. 	<ul style="list-style-type: none"> — Ritmo de trabajo. — Trabajo repetitivo. — Horarios de trabajo. — Sistemas de retribución. — Trabajo monótono. — Fatiga. — Cómo perciben los trabajadores la organización del trabajo. — Factores psicosociales del trabajo.

FUENTE: LLANEZA, Javier. Ergonomía y psicología aplicada. Valladolid: Lex Nova, 2011. p.303

Siendo la repetitividad de movimientos, las posturas inadecuadas, el mantenimiento prolongado de cualquier postura, las excesivas fuerzas y la falta de tiempo de descanso y recuperación los que más inciden.

2.7.1.1.6 Movimientos Repetitivos

Un trabajo es repetitivo cuando su realización implica llevar a cabo ciclos de trabajos tan similares que cada ciclo se parece al siguiente en secuencia temporal, patrón de fuerzas y características espaciales de movimiento. Cuando los daños se dan en las extremidades superiores se conocen como micro traumatismos repetitivos (MTR). Las enfermedades más comunes generadas por estos movimientos y que pueden afectar con mayor frecuencia, de acuerdo con las condiciones posturales en que trabajan cuando se suelda la

⁵² Ibíd. p. 303

rodillera, son el síndrome de tensión cervical, tendinitis del hombro, síndrome del conducto torácico, principalmente.⁵³

2.7.1.1.7 Diseño de Puestos de Trabajo para Actividades de Precisión

Cuando la actividad a realizar requiere de movimientos precisos la postura recomendada es sedente, ya que los esfuerzos son menores en esta posición que en la bipedestación⁵⁴. Sin embargo, cuando se está sentado, el funcionamiento normal del sistema circulatorio puede llegar a alterarse, ya que se comprimen las venas, obstruyendo una adecuada circulación de la sangre y oxígeno en los músculos y llevando a la persona a la sensación de cansancio⁵⁵; además, mientras se está sentado la disposición de la columna vertebral cambia, su curvatura natural lordósica pasa a cifósica, por lo que se aumentan las tensiones⁵⁶. Otro factor importante a tener en cuenta en la posición sedente son las articulaciones, cuando se está sentado, varias de ellas pueden verse seriamente esforzadas al no tener en cuenta los ángulos de confort; por lo que mantener el cuerpo dentro de estos rangos evita la sensación de incomodidad y la generación de esfuerzos sobre las articulaciones⁵⁷.

Por otra parte, la bipedestación es la postura natural del cuerpo humano, pero mantenerla por largos periodos también puede generar la sensación de fatiga sobre todo en las piernas ya que no hay una adecuada circulación. En cualquiera de las dos posturas deben evitarse los movimientos de flexión,

⁵³ *Ibíd.* p. 304-306

⁵⁴ LLANEZA A., Javier. *Ergonomía y Psicosociología Aplicada para la formación del Especialista*. 15 ed. Valladolid: Lex Nova, 2010. p.183

⁵⁵ *Ibíd.* P. 179

⁵⁶ FARRER, MINAYA, NIÑO, RUIZ. *Óp. Cit.* p. 194

⁵⁷ LLANEZA, A. *Op. Cit.* p.184

extensión y torsión. Ubicar las herramientas de trabajo cerca al operario teniendo en cuenta la frecuencia de uso y su necesidad, además de darle el suficiente espacio para que pueda desplazarse, le ayudará a reducir la necesidad de hacer este tipo de movimientos⁵⁸.

Es recomendable a la hora de diseñar un puesto de trabajo, permitirle al operario combinar las de posturas con la intención de evitar esforzar de manera continua solo una parte del cuerpo⁵⁹.

También hay que tener en cuenta que en actividades de precisión, el cuerpo debe estar más cerca del plano de trabajo. Se recomienda que la altura del plano sea 5 cm más arriba de la altura de los codos. Asimismo es importante utilizar un apoyabrazos que reduzca las tensiones en el cuello, hombros, y brazos; sin embargo, si se pretende utilizar un reposamuñecas, hay que tener en cuenta que este puede llegar a ejercer demasiada presión sobre su cara interior y generar enfermedades como el túnel carpiano, pero si llegara a regularse la presión podría ayudar a reducir dichas tensiones⁶⁰.

2.7.1.1.8 Criterios Antropométricos y Biomecánicos para el Diseño de Puestos de Trabajo

Ya se ha dicho que a la hora de diseñar un puesto de trabajo es importante tener presente algunos requisitos básicos para que este sea aceptable desde el punto de vista biomecánico, estos son:

⁵⁸ Ibíd. p.182

⁵⁹ Ibíd. p.182

⁶⁰ UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Manual para la adquisición y manejo seguro de medios de trabajo, Mobiliario y accesorios de oficina. Bogotá. p. 20

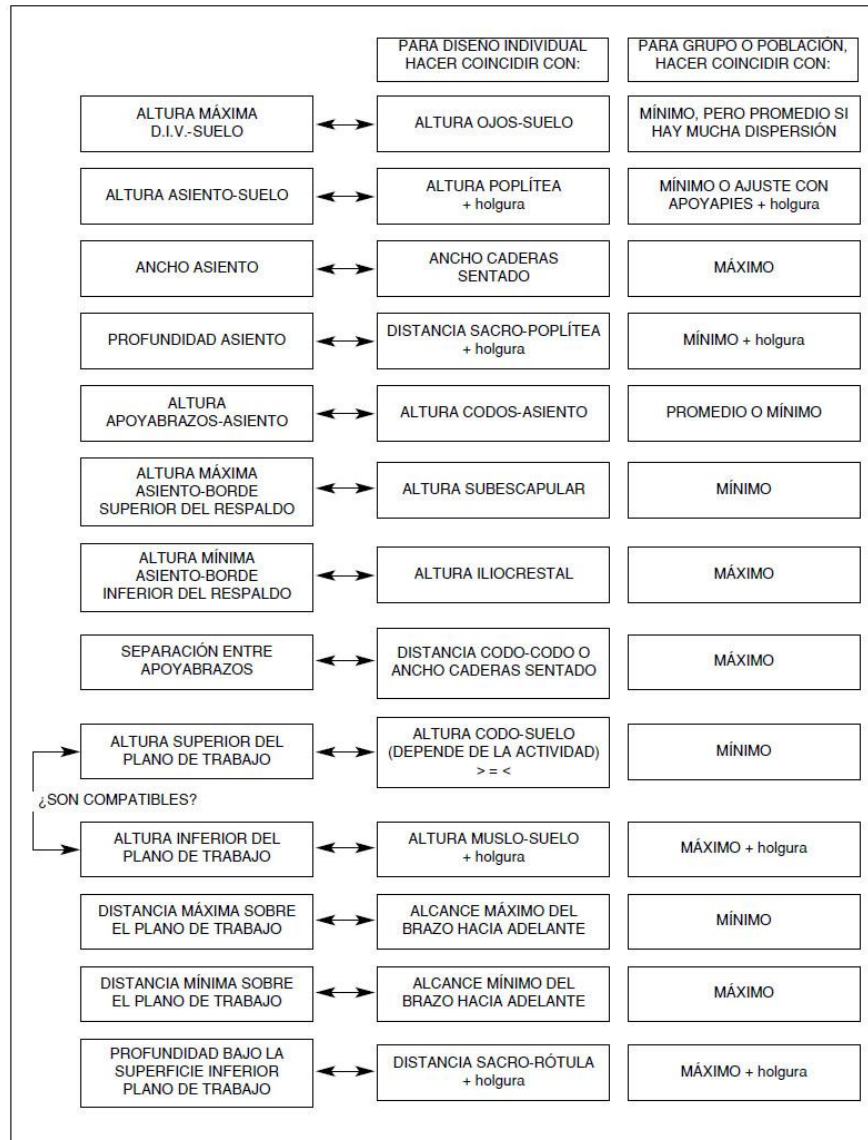
- Mantener los codos bajos
- Minimizar los momentos estáticos de la columna
- Optimizar la configuración esquelética
- Evitar movimientos de la cabeza
- Evitar la compresión isquémica
- Evitar concentraciones de tensiones
- Mantener la muñeca recta.

Sin embargo, contar con el éxito de su implementación depende de una acertada elección en los criterios ergonómicos y antropométricos de quienes van a ser sus usuarios y de la postura que tomaran durante el desarrollo de la actividad; y para la ergonomía existen tres principios que ayudan a establecer bajo qué parámetros es recomendable aplicar la información antropométrica. El primero se conoce como el principio del diseño para el promedio, se fundamenta en hecho de que no existe el hombre medio, por lo que estas dimensiones antropométricas solo se utilizan cuando la dimensión tiene poca importancia o su uso no es frecuente. El principio del diseño para individuos extremos declara que las medidas antropométricas mas grandes serán aplicadas para definir las dimensiones de espacios interiores como aberturas o accesos, mientras que las medidas de los primeros percentiles se tomaran para los mínimos de medidas exteriores como los alcances máximos; Y el ultimo principio, el del diseño para un intervalo ajustable, será aplicado cuando técnica y económicamente sea viable que el diseño pueda ser ajustado por el usuario de acuerdo con sus características anatómicas; aquí el rango recomendado

estará entre los límites inferior y superior⁶¹. La aplicación de cualquiera de estos principios depende de la postura que adoptara el trabajador mientras lleva a cabo la actividad. A continuación, en la figura 2.6 se muestra una tabla en la que se esquematiza las variables que tiene el puesto de trabajo, el dato antropométrico ajustable y el principio que rige su elección.

⁶¹ MONDELO, P., GREGORI, J., BARRAU P. (1999) Ergonomía III diseño de puestos de trabajo. Barcelona: Edicions de Universitat Politècnica de Catalunya, 1999. p. 52-53

FIGURA 2.6 Relación entre dimensiones espaciales del puesto y humanas.

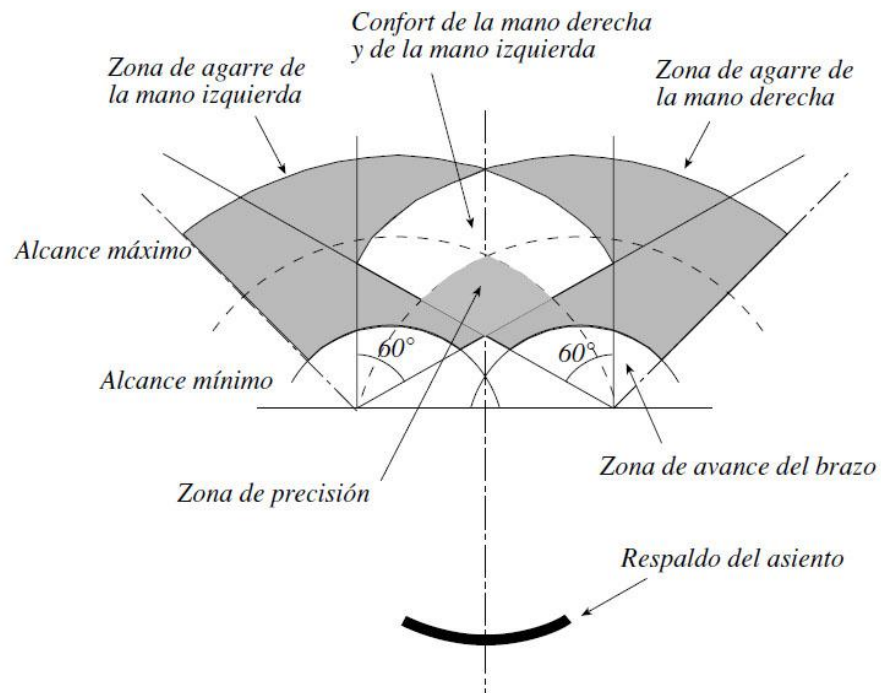


Fuente: MONDELO, P., GREGORI, J., BARRAU P. (1999) Ergonomía III diseño de puestos de trabajo. Barcelona: Edicions de Universitat Politècnica de Catalunya, 1999. p. 73

Para el área de trabajo se tendrá en cuenta que el menor gasto energético es efectuado por el desplazamiento de las manos cuando los brazos son paralelos al tronco y se forma con el antebrazo un ángulo de 90 grados, sin embargo, gracias a los grados de libertad de movimiento de codos y brazo, Squires

propone un área mucho más grande en la que el gasto energético no es muy alto⁶².

2.7 Areas de actividad en el plano de trabajo



Fuente: MONDELO, P., GREGORI, J., BARRAU P. (1999) Ergonomía I Fundamentos.
Barcelona: Edicions de Universitat Politècnica de Catalunya, 1994. p. 73

Mientras que para el campo visual, los rangos recomendados están comprendidos, con respecto a la horizontal, 15 grados más arriba y 30 grados más abajo; y con respecto al vertical, el rango está entre 25 grados a la derecha y 25 a la izquierda⁶³.

⁶² FARRER, MINAYA, NIÑO, RUIZ. Óp. Cit. p. 201

⁶³ MONDELO, GREGOR, BARRAU. Op. Cit. p. 81-83

2.7.1.2 Enfoque Técnico

2.7.1.2.1 Soldadura por Arco Eléctrico

La soldadura es un proceso con el que se logra unir dos piezas generalmente metálicas por medio de la fusión de los elementos base o de un material de aporte. Entre las principales ventajas que tiene la soldadura es que con ella se consigue la continuidad de la nueva pieza en un mismo plano transmitiendo las tensiones entre ellas, por lo que se convierte en una unión mucho más rígida que una por tornillo o por remaches⁶⁴.

A lo largo de la historia se han venido desarrollando diferentes técnicas de soldadura, entre estas la soldadura por arco eléctrico. Este es un método en el que se forma una descarga continua de corriente entre dos conductores separados gracias al aire o un gas ionizado comprendido entre los dos. Algunas de las razones que lo hacen uno de los métodos más comunes es que proporciona altas intensidades de calor y puede controlarse fácilmente a través de medios eléctricos⁶⁵.

Su procedimiento básicamente consiste en generar tanto calor en la punta del electrodo negativo, hasta que se establezca un cortocircuito al contacto de esta y la pieza que va a ser soldada, cebando así el arco eléctrico. Luego se formará una corriente de electrones que salen del electrodo, y que al encontrarse con el aire o un gas, lo ionizará; a este fenómeno se le conoce

⁶⁴ HERNANDEZ RIESCO, German. Manual del Soldador. 16 ed. Madrid: Cesol, p.7

⁶⁵ RODRIGUEZ, Pedro. Manual de Soldadura, Soldadura Eléctrica MIG-MAG. Buenos Aires: Alsina, p. 6

como plasma⁶⁶. Ya con el aire convertido en conductor, la corriente podrá llegar al ánodo o la terminal positiva, generándose así el arco eléctrico. En todo este proceso se generan grandes temperaturas que serán las que lleven a la fusión el material de aporte y finalmente se unirán las partes cuando vuelva a su estado sólido.

Dado que este es un procedimiento en el que interviene la corriente eléctrica, es necesario tener en cuenta algunas variables propias de su naturaleza que están directamente relacionadas con el del arco y la calidad de la soldadura; entre estas están la polaridad, que influye directamente en las características del cordón, sobre todo en la penetración y el ancho; aunque solo se pueda hablar de polaridad cuando la corriente de alimentación sea continua, pues de acuerdo a las fuentes a las que estén conectados los materiales de aporte y la pieza a soldar tendrá una polaridad directa o inversa⁶⁷. La fuente de energía es otra de estas variables, y esta depende a su vez de la intensidad y la tensión; ya que cuando la intensidad es constante, el cambio en la distancia desde el extremo del electrodo a la superficie de la pieza (longitud de arco) no provoca grandes cambios en su estabilidad, por lo que la calidad de la soldadura no se ve comprometida; este tipo de fuente es recomendada cuando se trata de procesos en los que la longitud del arco no puede ser constante y se debe variar continuamente, como la soldadura tipo TIG. Pero cuando la fuente cuenta con una tensión constante, la longitud del arco debe ser la misma durante todo

⁶⁶ HERNADEZ, Op. Cit. p.32-34

⁶⁷ OERLIKON. Manual de Soldadura y Catálogo de Productos. P.25-26

el proceso; siendo estas condiciones las apropiadas para procesos automáticos y semiautomáticos, como la soldadura tipo G.M.A.W⁶⁸.

2.7.1.2.2 Soldadura G.M.A.W – Mig/Mag

La soldadura G.M.A.W a diferencia de otras tecnologías lo que busca es unir las piezas metálicas por medio del calor generado por un arco eléctrico que es protegido del ambiente con un gas ya sea inerte (Soldadura tipo Metal Inert Gas, Mig) o con un gas activo como el CO₂ (Soldadura tipo Metal Active Gas, Mag). Esta condición es la que le permite evitar la producción de escoria, una baja deformación en las piezas que son expuestas a este proceso y la mejora en la resistencia a la corrosión en la unión. También se destaca, porque el material de aporte es continuo, aumentando la producción al evitar tener que parar constantemente para cambiar el electrodo, y no haber desperdicio⁶⁹.

Un equipo de soldadura tipo G.M.A.W. está compuesto principalmente por:

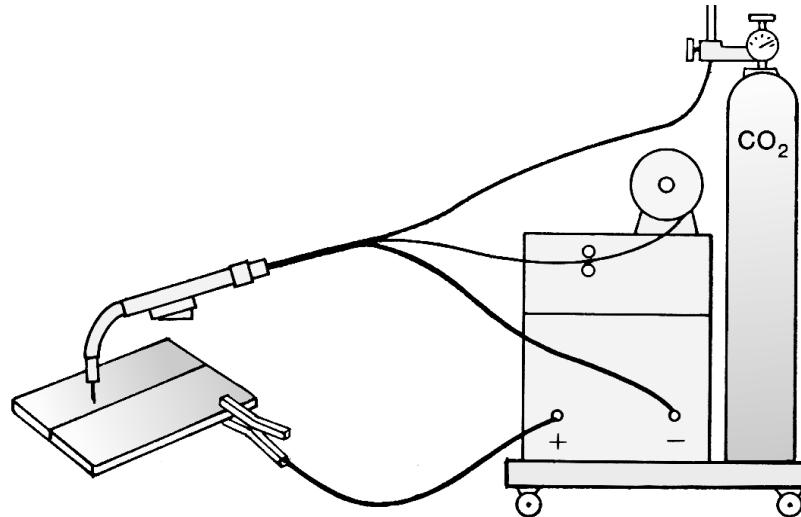
- Un transformador, rectificador, y la inductancia que se encargan del ajuste de los diferentes parámetros que intervienen en la formación del arco eléctrico.
- El mecanismo que se encarga del suministro del material de aporte a una velocidad constante.
- Los cables y la pipeta que forman el circuito de gas protector.

⁶⁸ HERNADEZ, Op. Cit. p.215

⁶⁹ LLANO URIBE, Carolina. Soldadura G.M.A.W. – MIG/MAG. Un proceso rápido, limpio y versátil. En: Metal Actual. Ed. 10; p 18-22.

- La pistola de soldadura que está unida al gas de protección, el electrodo continuo y el sistema y la corriente⁷⁰.

2.26. Esquema básico de un equipo de soldadura G.M.A.W.



Fuente: RODRIGUEZ, Pedro. Manual de Soldadura. Buenos Aires: Alsina, 2001. 56 p.

La soldadura G.M.A.W. puede clasificarse según la intervención que tiene el soldador en el proceso; en un procedimiento semiautomático, el operario gradúa con anterioridad algunos parámetros como la tensión del arco, la intensidad de soldadura, el caudal de gas, mientras que el avance de la antorcha es manual. En el automático, todos los parámetros se regulan previamente, y la aplicación de la soldadura depende de una antorcha automática; el operario interviene solo en el montaje y desmontaje de las piezas y en reajustes o correcciones que sean necesarios hacer. Generalmente en los procesos de soldadura circular automática la antorcha es ubicada en una

⁷⁰ SUNARC. Tecnología en soldadura, Soldadura MIG-MAG. Barcelona: Sunarc S.A., 2009 p. [Documento en línea]. URL < <http://www.esmijovi.com/wp-content/uploads/2009/10/soldadura-MIG.pdf> > 13/03/2012

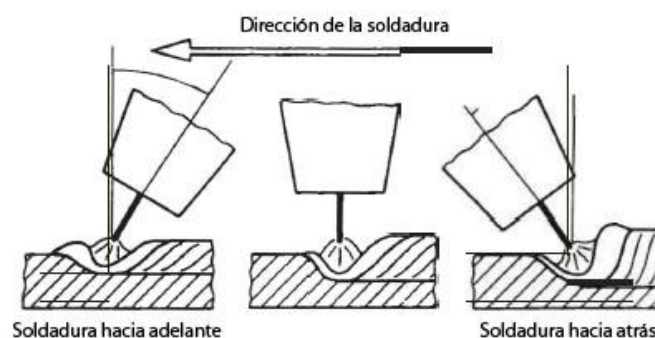
posición fija, siendo la pieza la que gira. En la soldadura robotizada el proceso es realizado por un robot que de acuerdo con las órdenes que le da un programa destinado para este fin ajusta los parámetros y las coordenadas localización⁷¹.

2.7.1.2.3 Parámetros para soldadura G.M.A.W – MIG/MAG

Conocida la complejidad de este tipo de soldadura, existen diferentes parámetros propios de este procedimiento que intervienen a la hora de generar una soldadura con características mecánicas necesitadas; pero que al no conocer la incidencia que entre ellos pueda haber, se expone al cordón de soldadura a riesgos como porosidad, la falta de fusión, adición de escoria, la poca penetración, etc⁷².

Entre estos parámetros esta la orientación de la antorcha; ella depende del ángulo que se muestra en la figura 2.8 que es conocido como ángulo de trabajo, y se forma entre un eje perpendicular a la superficie del metal base y la boquilla de la antorcha de soldadura.

FIGURA 2.8 Soldeo hacia atrás y hacia adelante. Angulo de retraso y de adelanto



Fuente: HERNANDEZ, Germán. Manual del Soldador. 16 ed. Madrid: Cesol, p.87

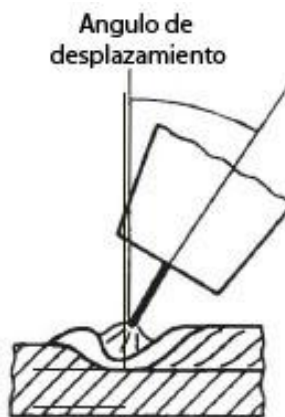
⁷¹ SUNARC, Op. Cit., p.3

⁷² HERNANDEZ, Op. Cit. p.313

Cuando este ángulo es muy pequeño se suelen formar mordeduras, pero cuando es muy grande no se da la fusión adecuada⁷³.

La orientación de la antorcha también depende del ángulo que se ve en la figura 2.9 comprendido entre el eje del electrodo y una línea perpendicular al eje del cordón de soldadura, llamado ángulo de desplazamiento. Este es generalmente 25 grados, ya que con esta inclinación se da una máxima penetración⁷⁴.

FIGURA 2.9 Ángulo de desplazamiento



Fuente: HERNANDEZ, Germán. *Manual del Soldador*. 16 ed. Madrid: Cesol, p.87

Con este ángulo también aparece un nuevo factor a considerar, el cual es la dirección en la que va el electrodo con respecto al cordón, figura 2.9. Cuando la antorcha está inclinada de tal manera que pareciera que está detrás del extremo del cordón soldado se dice que la soldadura va hacia adelante, llamando a su ángulo de desplazamiento como ángulo de retraso; pero cuando

⁷³ WEMAN, Klas; LIDEN Gunnar. *MIG Welding Guide*. Cambridge: Woodhead Publishing. p. 23

⁷⁴ HERNANDEZ, Op. Cit. p.87

el electrodo está al frente del extremo, la soldadura va hacia atrás y el ángulo de desplazamiento se le denomina ángulo de adelanto⁷⁵.

Los resultados que se obtienen de acuerdo con esta inclinación inciden principalmente en la penetración, la estabilidad del arco y el ancho del cordón de soldadura. En la tabla 2.19 se puede ver dichas propiedades de acuerdo con la dirección de la antorcha.

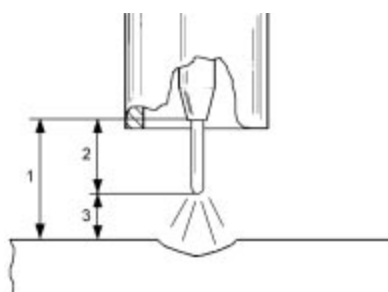
Tabla 2.16 Características del cordón de soldadura según la posición de la antorcha

Posición de la Pistola Propiedad	Soldadura hacia Adelante	Soldadura Perpendicular	Soldadura hacia Atrás
Penetración	Baja	Media	Profundidad
Estabilidad del Arco	Escasa	Media	Buena
Ancho del Cordón	Mas Ancho	Medio	Estrecho

Fuente: Autor.

Asimismo, son iguales de influyentes las distancias que separan los diferentes elementos de la antorcha de soldadura y la pieza a soldar. En la figura 2.10 se muestran estas longitudes.

FIGURA 2.10 Distancias entre la antorcha y sus elementos con la pieza a soldar



Fuente: HERNANDEZ, Germán. Manual del Soldador. 16 ed. Madrid: Cesol, p.314

⁷⁵ Ibid., p. 295

Donde el numero uno es distancia que separa la boquilla de la antorcha con la pieza; por lo general esta longitud debe ser entre 10 y 15 veces el diámetro del alambre. El dos es la extensión del alambre y el tres la longitud de arco, que cuando es más largo de lo adecuado aumenta la tensión disminuyendo la intensidad y la temperatura, haciendo que la fusión sea más lenta, pero cuando es más corta, los resultados se invierten y al final se acelera la fusión; de ahí la importancia de mantener constante esta distancia, ya que si esta no varía no cambia la tensión y se mantiene la temperatura de fusión⁷⁶.

El extremo libre del alambre al ser más largo, la penetración se hace más débil e interfiere con la salida del gas de protección provocando porosidades y contaminación, por eso la distancia recomendada es de 6 a 13 mm.

El gas que se utiliza para la conducción de electrones es otra de las incidencias en la calidad de la soldadura; ya que dependiendo de su energía de ionización, densidad y conductividad el arco puede ser más fácil de cebar, los cordones ser más anchos o la fusión ser efectiva en mayor o menor medida. Específicamente, la energía de ionización interviene en cebado del arco y temperatura, a mayor energía menor estabilidad del arco y mayor temperatura; la densidad del gas ayuda en la formación del plasma mientras que con una mayor conductividad es más homogénea la distribución de la temperatura dando cordones anchos y con una penetración uniforme.

⁷⁶ Ibid., p. 314

Estos gases, que se usan durante la soldadura G.M.A.W son clasificados de acuerdo con la reacción que tengan con las temperaturas que se pueden generar durante el proceso; a los gases que no reaccionan se les conoce como gases inertes siendo entre los más comunes el argón y el helio; mientras que gases como el CO₂ o el O₂, que sufren algún tipo de reacción se les llama activos⁷⁷. Sin embargo, cada uno de estos gases tiene un comportamiento diferente durante la soldadura, el argón por ejemplo se caracteriza porque hace más fácil la etapa de cebado y mantiene estable el arco ya que tiene una baja energía de ionización; además, la penetración que se consigue con este gas no es profunda y suele usarse para unir piezas delgadas ya que con él no se alcanzan grandes temperaturas. El helio, a diferencia del argón tiene una alta energía de ionización y conductividad, con el se obtienen cordones anchos de gran penetración, permite soldaduras a gran velocidad y es usado en soldadura automatizada; una de sus desventajas son la poca estabilidad que se puede conseguir.

Entre los activos, con el dióxido de carbono se consigue una buena penetración, altas velocidades de soldeo pero causa muchas salpicaduras y los cordones quedan ligeramente oxidados. Mientras que con el oxígeno combinado con un gas inerte estabiliza el arco y mejora el aspecto del cordón.

La velocidad de desplazamiento otro parámetro que viene dado por como anteriormente se menciono por el gas protector, la dirección del electrodo entre otros, pero hay que tener en cuenta que con una velocidad alta se puede producir una soldadura irregular, mientras que con una menor velocidad hay

⁷⁷ Ibid., p. 311

una mayor penetración aunque la posibilidad que se pueda sobrecalentar la antorcha⁷⁸.

Otra de las variables con las que cuenta soldador para lograr una soldadura de calidad son los movimientos que hace durante la ejecución del cordón de soldadura; cuando es lineal el cordón es porque las laminas a soldar son delgadas, mientras que el movimiento circular es aplicable cuando se busca evitar grandes penetraciones en bordes muy separados. El movimiento a impulsos da como resultado un cordón fino con gran penetración, mientras que el movimiento pendular es el adecuado para cordones anchos⁷⁹.

2.7.2 Entrevista

Luego de desarrollar la etapa de investigación y con ella haber encontrado varios requerimientos de diseño, es importante entrevistar a los dos operarios que llevan a cabo la soldadura para rodillos de estaciones de carga y retorno dentro de Dismet para poder conocer sus inquietudes, y algunas necesidades latentes. También, con la entrevista se busca poder jerarquizar estas necesidades de acuerdo con la opinión de quienes serán sus usuarios.

El primero en ser entrevistado es Jorge William Arango; él es el soldador que generalmente se encarga de esta actividad; mientras que el segundo entrevistado William Quintero, apoya a Jorge cuando es necesario.

⁷⁸ WEMAN, LIDEN., Op.Cit., p. 21

⁷⁹ SUNARC. Op.Cit., p. 19

Jorge asegura que esta es una labor que no hace todos los días, porque la rodillera para estaciones es un producto producido bajo demanda, pero si puede asegurar que la actividad la realiza por lo menos una vez a la semana y dura más de media jornada laboral cuando le toca. Por el contrario William cree hacerla dos o más veces al mes durante ciertas temporadas del año, y durar dos jornadas laborales como mínimo. Dado que Jorge es el que se encarga de este proceso, cuenta con el puesto de trabajo que el mismo ha modificado para tener ciertos artefactos que le ayudan en el desarrollo de la actividad, mientras que William es armador y soldador de campo, y no cuenta con un puesto de trabajo fijo en la planta; cuando debe trabajar en los rodillos, lo hace en otras cabinas de soldadura por lo que de acuerdo con lo que encuentra en ella, debe buscar los elementos que le permitan acomodar la rodillera para ser soldada.

En la entrevista con Jorge, la primera pregunta planteada buscaba conocer si alguna vez ha sufrido de algún dolor que crea estar ligado con su trabajo, a lo que contesto que cansancio normal y dolor de espalda, en seguida se le pidió que describiera el proceso a lo que contesto sin mucho detalle que acomodaba el cilindro y la manzana, punteaba y trazaba el cordón de soldadura. También se le pregunto qué recomendaciones un soldador debería tener en cuenta para obtener rodillos con una soldadura de calidad, y el respondió que era importante mantener cerca la antorcha a la pieza para que el gas llegara a la superficie, además dijo que prefería trabajar con el rodillo inclinado, y que siempre trazaba el cordón marcando un camino en espiral para que aumentara la penetración. Con el ánimo de conocer sus inconformidades cuando lleva a cabo el proceso, se le pidió que explicara cuales para el podrían ser las

ventajas y desventajas que tiene la manera como el lleva a cabo la labor, a lo que aseguro que trabajar sentado evitaba que le molestaran las piernas pero que sentado se cansaba por no poder apoyar la espalda y que tuvo que arreglar la banca en la que se sienta porque era muy bajita, también comentó que él manipula la pistola con su mano derecha y que la izquierda le ayuda con su movimiento y a pesar de que usa guantes, usualmente se quema la mano izquierda por las chispas que caían; se le pregunto específicamente por el peso de la antorcha y aseguro que no le parecía muy pesada y que no sentía cansancio. Finalmente, se le pidió que señalara lo que a él le gustaría que tuviera el dispositivo a lo que respondió que le gustaría que este pudiera utilizarse para cualquier diámetro y longitud, aseguró que si él pudiera mover el cilindro de manera constante cuando esta soldando mejoraría el acabado del proceso porque solo se trazaría un cordón; también señalo la necesidad de crear un punto de apoyo para la pistola, sin hacerla fija porque el trazo que el utiliza para la soldadura es circular. También pidió que el cilindro estuviera inclinado un poco; cuando se le pregunto a cerca de cómo manipularía controles como el encendido y apagado de el dispositivo, manifestó que convendría mas si el accionamiento fuera con los pies porque las manos las tendría ocupadas.

En la entrevista con William Quintero, la estructura de la entrevista se mantuvo. La primera pregunta buscaba saber acerca de su salud, a lo que afirmo que si ha sufrido dolores de espalda que afortunadamente no han pasado a ser muy graves. En la descripción del proceso afirmo que lo primero que hacía era conocer la longitud del rodillo, que generalmente son los más largos porque

son los que no puede soldar Jorge pues no le caben en el ángulo donde los ubica, y buscar la manera de acomodarlos para soldarlos, luego ponía dos o tres puntos de soldadura y trazaba el cordón de soldadura dividiéndolo en dos o tres tramos; cuando se refirió el tema de que recomendaciones debe tener en cuenta afirmo que la distancia que separa la antorcha y la superficie de la pieza no debe ser muy grande para que el gas no se escape con el viento. A la pregunta de cuáles cree que son las ventajas y desventajas de la manera como lleva el proceso aseguro que entre las desventajas esta el no tener un puesto fijo, además de que le tocaba ingeniárselas acomodar el cilindro para poder soldar; también dijo cansarse de la mano, espalda y cuello. En cuanto a que le gustaría que tuviera el dispositivo coincidió con Jorge que girara el rodillo mientras se suelda y considera que es mejor una posición sedente.

2.7.2.1 Conclusiones

Este tipo de actividad requiere de precisión para trazar el cordón de soldadura, sin embargo también obliga al soldador a generar fuerzas que soporten el peso de la antorcha. En el caso del soldador que no cuenta con un apoyo donde soportar el peso de la mano, antebrazo, brazo y la misma antorcha hace que se generen sobre esfuerzos innecesarios que en periodos largos generan dolor en estos segmentos corporales; por lo que es necesario diseñar un dispositivo que favorezca la eliminación de estos sobreesfuerzos y contribuya a mantener una buena postura, que de acuerdo con lo que ellos opinan debería ser sedente.

Por otra parte, ambos operarios coinciden en la necesidad de proponer un dispositivo que se encargue de hacer girar el rodillo, mientras ellos manejan el equipo de soldadura; esto mejoraría la calidad y acabado del proceso y ayudaría a reducir tiempos. Además los dos comentan la importancia que tiene mantener la distancia entre la antorcha y la pieza sin restringir la movilidad de la misma ya que para conseguir una buena penetración la soldadura debe trazarse siguiendo diferentes movimientos.

Se hace evidente la necesidad de proponer un dispositivo que se convierta en un puesto de trabajo fijo dentro de la cabina de soldadura, y así evitar ser desplazado y tener que acomodarse a condiciones en las que casi siempre no serán las mínimas necesarias para el buen desempeño del artefacto y la buena postura del operario.

Y finalmente, es fundamental que con él se pueda soldar todos los rodillos para estaciones de carga y retorno que produce hoy Dismet, ya que de cumplir con este objetivo se eliminaría por completo la adopción de malas posturas durante la soldadura de rodillos largos.

2.7.3 Definición De Requerimientos

2.7.3.1 Ergonómicos

- Eliminar las fuerzas de torsión mientras se mantiene la postura
- Ayudar a que la concentración de cargas llegue a la zona lumbar específicamente a las vertebrae L4,L5

- Proponer una postura en la que se respete las características morfológicas como su curvatura natural y los rangos de movilidad de cada una de las zonas de la columna vertebral
- Mantener al mínimo la actividad muscular durante la realización de la actividad
- Contrarrestar los las cargas estáticas y dinámicas del cuerpo con apoyos externos
- La postura principal del operario debe ser sedente
- No ocasionar algún tipo de esfuerzo en las articulaciones debido a la postura
- Reducir al máximo movimientos de flexión, extensión y torsión
- Mantener lo más bajo posible los esfuerzos isométricos
- Evitar manipular cargas externas
- Evitar la concentración de esfuerzos en segmentos corporales pequeños
- Debe poder ser utilizado por diestros y zurdos
- Evitar movimientos de la cabeza
- Evitar la compresión isquémica
- Evitar concentraciones de tensiones
- Mantener la muñeca recta.
- Delimitar la zona de trabajo de buscando minimizar el gasto energético.
- Posicionamiento del mango dentro del canal palmar
- Conservar la alineación de los ejes del antebrazo y de la mano, mientras que la antorcha de soldadura mantiene una inclinación de 70 grados con respecto al eje del antebrazo.

- Permite Ajustar la altura del plano de trabajo

2.7.3.2 De uso

- Diseñar una herramienta que sea fija dentro de la cabina de soldadura
- Hacer girar el rodillo mientras es soldado
- Graduar la velocidad de giro del rodillo para ser soldado
- Soportar rodillos con diámetros entre 60mm a 152mm y con una longitud máxima de 1200mm
- Mantener la longitud de arco constante
- Permitir posicionar la antorcha a un ángulo de trabajo de 45 grados para el adecuado transito de gas
- Permitir un avance hacia adelante y hacia atrás.
- Requiere de un solo operario para su accionamiento

2.7.3.3 De estructura

- Mantener aislado el motor de circuito que se forma con la soldadura
- Proteger el motor y demás elementos de las chispas generadas durante la soldadura
- Conduce el circuito que se forma con la soldadura tipo G.M.A.W.
- Su estructura es desarmable
- Soporta rodillos con un peso máximo de 27 kg.

2.7.3.4 Formal- Estéticos

- Su configuración formal debe ir de acuerdo con la rigidez que se caracteriza la perfilaría en acero

- Su configuración formal coincide con la identidad formal que caracteriza todos los productos Dismet®
- Su valor estético debe ir de acuerdo con el ambiente ingenieril al que va dirigido
- Su forma debe generar la sensación de rigidez, simetría y robustez

2.7.3.5 Técnico-productivos

- Los materiales aislantes debe soportar las altas temperaturas que se generan durante el arco eléctrico.
- Su estructura permite la conducción de electricidad formada con el arco eléctrico hasta llegar al rodillo
- La perfilaría utilizada para el dispositivo debe ser comercial
- Reducir al máximo los procesos metalmecánicos necesarios para la transformación de materia prima.

2.7.4 Definición de parámetros

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD
ERGONOMICOS		
Entre Segmentos Corporales		
Angulo cuello - hombro - cadera	10 - 25	grados
Angulo hombro - cadera con la vertical	10 - 20	grados
Angulo rodilla - cadera - hombro	90 - 110	grados
Angulo cadera - rodilla con la horizontal	0	grados
Angulo tobillo - rodilla - Cadera	95 - 120	grados
Angulo planta del pie - rodilla - tobillo	90 - 110	grados
Angulo la vertical - hombro - codo (sin apoyo)	15 - 35	grados
Angulo la vertical - hombro - codo (con apoyo)	15 - 45	grados
Angulo Hombro - codo - muñeca	80 - 160	grados
Angulo codo - muñeca - eje de la mano	180	grados

Angulo del campo visual (plano sagital)	15 - (-30)	grados
Angulo del campo visual (plano horizontal)	25 - (-25)	grados
Datos Antropométricos		
SEDESTACION		
altura ojos	72 - 85	cm
Altura Acromial	54 - 63	cm
altura Poplítea	40 - 49	cm
Anchura Caderas	44	cm
anchura codo a codo	38 - 56	cm
Altura hombros - asiento	56 - 67	cm
Longitud codo - dedo medio	42	cm
Altura codos - asiento	19 - 28	cm
altura máxima del muslo	18	cm
altura de rodilla	59	cm
longitud nalga - poplítea	55	cm
longitud nalga - rodilla	65	cm
BIPEDESTACION		
altura ojos (bipedestación)	150 - 171	cm
Altura Acromial (bipedestación)	133 - 153	cm
Altura Codos flexionados 90°	99 - 115	cm
anchura biacromial	39	cm
Alcance brazo frontal	68	cm
Longitud de la mano	17 - 20	cm
Longitud palma de la mano	9 - 11	cm
TECNICOS		
peso máximo del rodillo	27	Kg
longitud mínima del rodillo	15	cm
longitud máxima del rodillo	120	cm
Velocidad de giro del rodillo	0,12	rad/s
Longitud de arco recomendado	0,6 - 1,3	cm

3 DISEÑO CONCEPTUAL

3.1 FUNCIONES Y ESTRUCTURAS NEURÁLGICAS DEL PROYECTO

De acuerdo con la metodología de diseño de Gerardo Rodríguez, que fue planteada como una de las metodologías guía para el desarrollo de este proyecto; después de detectar las necesidades del usuario y convertirlas en requerimientos de diseño, empieza una nueva macro estructura a la que llama como desarrollo proyectual. Esta busca llegar a la configuración formal del producto planteando alternativas para lo que él conoce como estructura neurálgica, y que no son más que las funciones que tiene el objeto a diseñar⁸⁰.

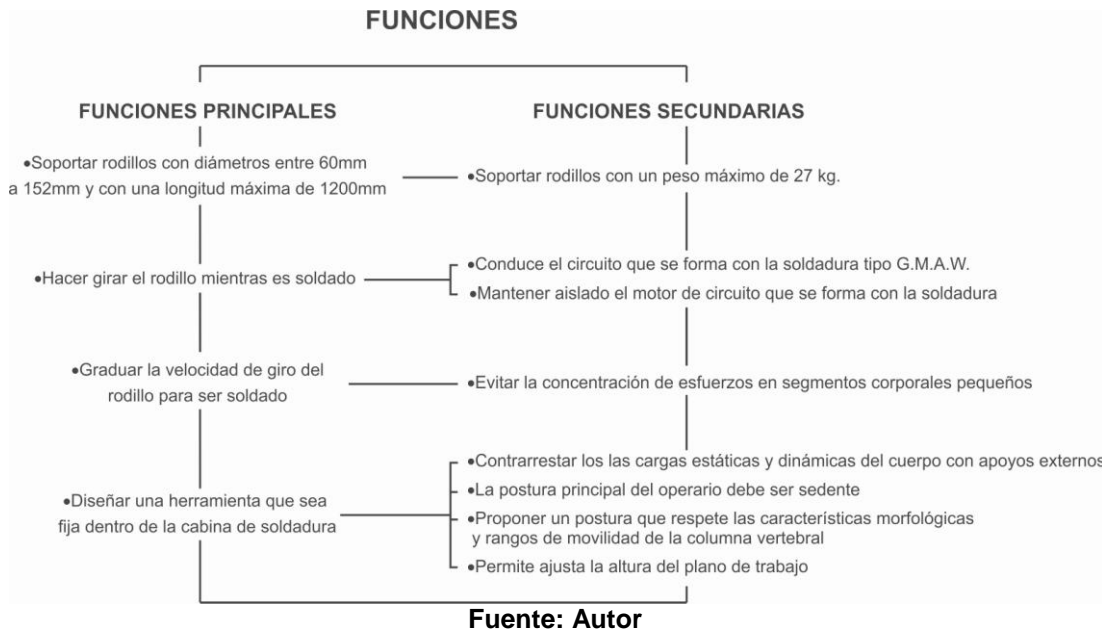
De ahí que, para poder seguir con esta línea metodológica, fue necesario establecer las funciones que conforman el dispositivo. Para ello, vale la pena conocer lo que Fernando Martín Juez, diseñador, antropólogo e investigador docente de la Universidad Autónoma de México, entiende que para el diseño es un objeto. Para él, una herramienta, o aparato es una entidad cargada con infinitas posibilidades en sus funciones, ya que estas aparecen con la interdependencia de factores de orden físico, biológico y psicosocial de quienes serán sus usuarios, además de las características propias de la materia sobre la que va a actuar la herramienta. Por eso, establece que en el objeto se pueden distinguir elementos que serán los que le permiten desempeñar su tarea primordial, para la que fue concebido y otros elementos que serán necesarios para llevar a cabo sus funciones secundarias. A este grupo de

⁸⁰ RODRIGUEZ, Gerardo. Manual de diseño Industrial. 3ª Edición. México: Ediciones G. Gili, p.27

elementos que conforman cada función los conoce como área de pautas, que podrán ser principales, secundarias y hasta terciarias; y asegura que el poder distinguirlas dentro de un objeto permite correlacionar todos los elementos de acuerdo con su función, significado y connotación mientras que define su forma y dimensiones⁸¹.

Entonces, de acuerdo con esta definición, lo primero era establecer las funciones principales y secundarias del dispositivo que aparecen a partir de los requerimientos de diseño (Estas se muestran en la figura 3.1) para luego poder llevar a cabo la etapa creativa que nos lleve a las definir cuáles van a ser los elementos que conformaran sus áreas de pautas, y al final del proceso determinar como estas se van a interrelacionar entre ellas

FIGURA 3.1 Funciones Principales y secundarias



⁸¹ JUEZ, Fernando Martín. Contribuciones para una antropología de diseño. Barcelona: Gedisa. p.80 -90

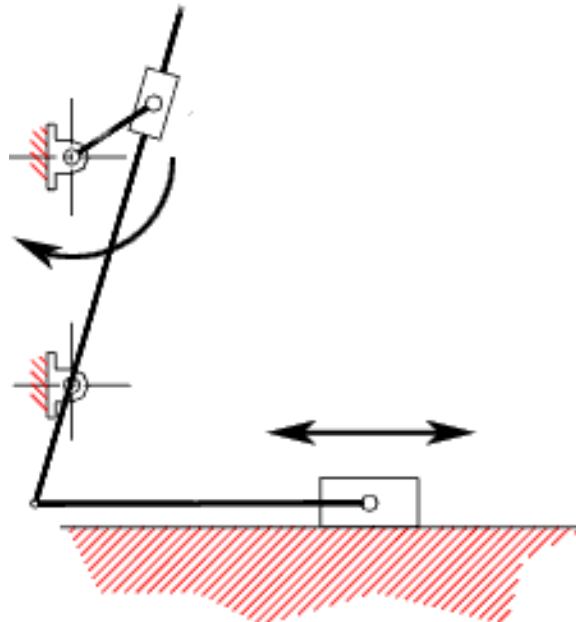
3.2 Generación de Alternativas

Con las funciones ya establecidas se procede a proponer diferentes alternativas para su solución. Hacer girar el rodillo mientras está siendo soldado y graduar la velocidad de giro, solo permite una única solución, que será implementar un motor y una tarjeta electrónica que se lo permita. Mientras que para las funciones relacionadas con el ajuste a los diferentes diámetros y longitudes de los rodillos, si fue necesario desarrollar una etapa creativa con la que se llegue a proponer varias posibles soluciones.

3.2.1 Cambio de longitudes en los rodillos

3.2.1.1 Mecanismo de Withworth

FIGURA 3.2 Alternativa 1: Mecanismo de Withworth

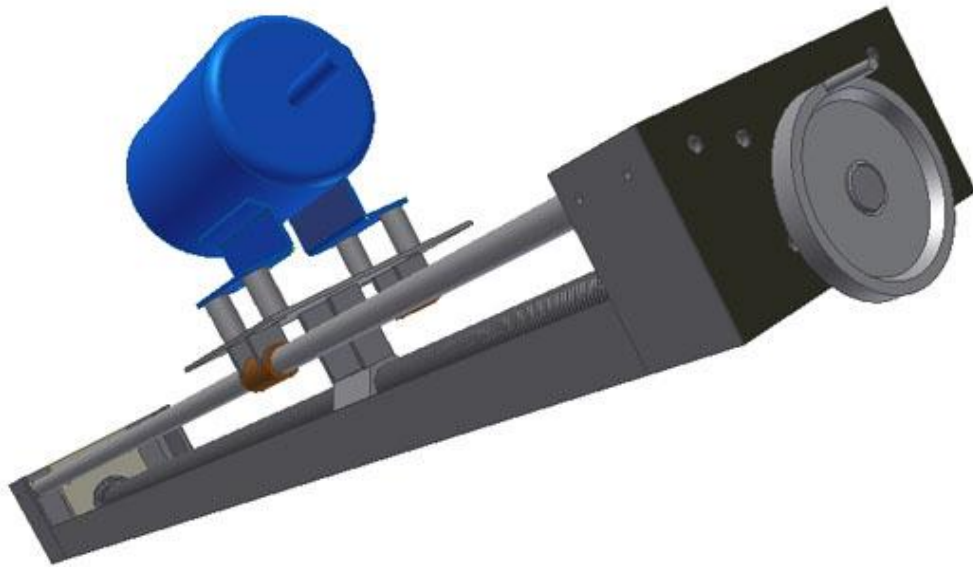


Fuente: EDMAN, Arthur; SANDOR, George. Diseño de Mecanismos. Mexico: Editorial Pearson, 1997 p. 521

Descripción
Mecanismo de avance relativamente lento y retroceso rápido en el que un movimiento circular es convertido en un movimiento lineal.
Ventajas
El desplazamiento puede llegar a ser rápido y menos tedioso que los otros mecanismos
Desventajas
No se puede ubicar la manija a la altura de los brazos del operario
Para desplazar la longitud deseada, requiere mucho espacio.
Es necesario buscar un mecanismo que mantenga la posición de la corredera mientras se suelda.

3.2.1.2 Tornillo

FIGURA 3.3 Alternativa 2: Tornillo con rodamientos



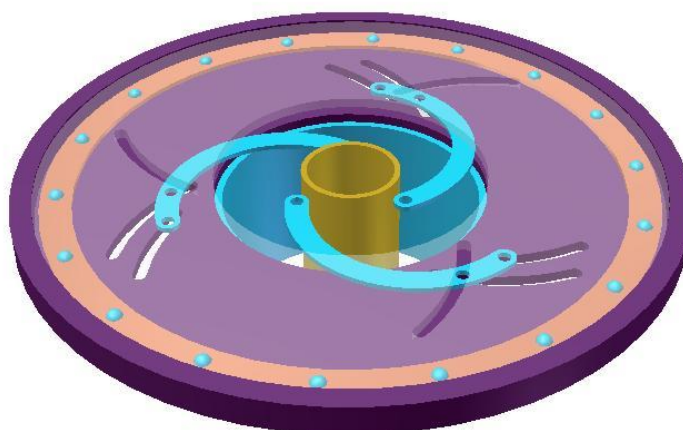
Fuente: Autor

Descripción
Tornillo que gira libre al soportarse entre dos rodamientos, siendo el desplazamiento de la tuerca el que hace cambiar de posición a la base motor
Ventajas
Permite ubicar la manija a la altura de los brazos del operario
Está compuesto de pocas piezas
El ancho del soporte del tornillo no sobrepasa los 310mm
Mantiene la posición de la base motor cuando se detiene
Desventajas
El avance del motor puede ser lenta

3.2.2 Cambio de diámetro

3.2.2.1 Sistema de ranuras adaptado

FIGURA 3.4 Alternativa 1: Plato con Ranuras

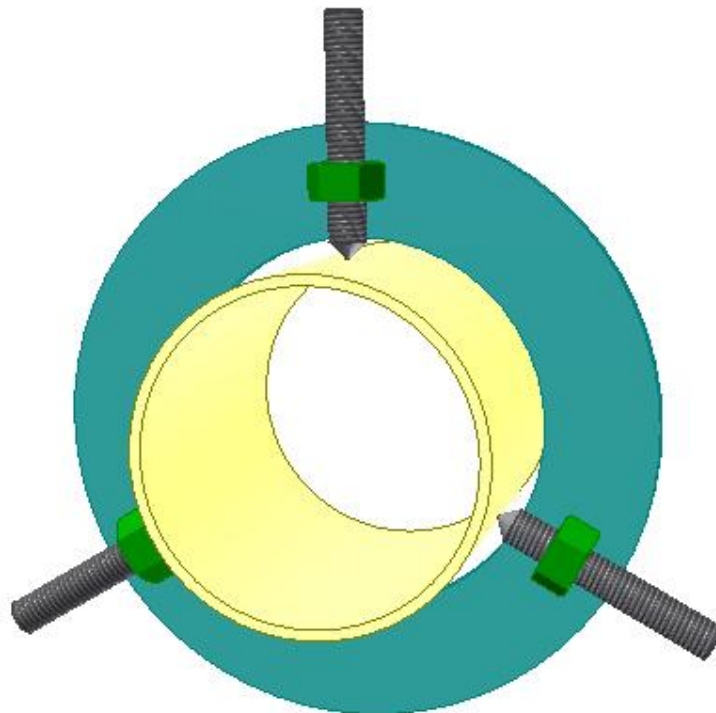


Fuente: Autor

Descripción
Mecanismo que desplaza los puntos de apoyo del cilindro de manera simultánea gracias a ranuras que dirigen su movimiento
Ventajas
los tres apoyo se mueven al mismo tiempo, manteniendo el rodillo centrado
Desventajas
No soporta con la suficiente fuerza el rodillo mientras este gira
Su fabricación tiene un costo elevado
Necesita de un nuevo mecanismo que preme la pieza mientras es soldada

3.2.2.2 Luneta

FIGURA 3.5 Alternativa 2: Luneta

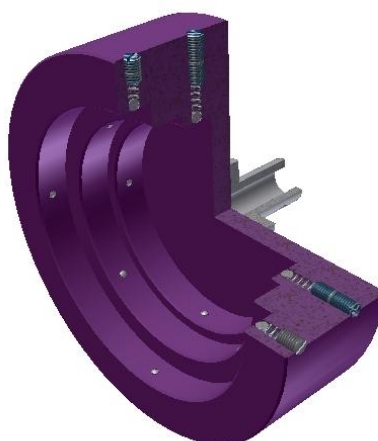


Fuente: Autor

Descripción
Por medio de 3 tonillos independientes que se desplazan de acuerdo con las tuercas que los sostienen logran sujetar el rodillo
Ventajas
permite un amplio rango de diámetros
Desventajas
No centra el rodillo
Requiere que cada uno de los apoyos sea manipulado
Tiene que ajustarse cada vez que se comienza con el proceso

3.2.2.3 Plato de Sujeción

FIGURA 3.6 Alternativa 3: Plato de Sujeción



Fuente: Autor

Descripción
Plato maquinado de acuerdo con los diferentes diámetros de los rodillos. Su sistema de sujeción se basa en el alto coeficiente de fricción entre piezas de acero.
Ventajas
Su modo de operar es sencillo
Mantiene centrado el rodillo con respecto al eje del motor
Evita que el operario tenga que ajustarlo cada vez que cambia de cara del rodillo
Desventajas
Es necesario fabricar dos platos para abarcar todos los diámetros

3.3 Selección de conceptos de diseño

Para la elección del concepto fueron plantados unos criterios de selección que van de acuerdo con el accionamiento, el funcionamiento y facilidad con que se puede acoplar al resto de requerimientos.

Para la calificación se dieron tres valores: 1, 3 y 5; siendo 1 la calificación más baja y 5 la más alta, al final serán sumados los puntos que cada uno obtenga y el concepto con el mayor puntaje, será el seleccionado

3.3.1 Elección del concepto para el ajuste del diámetro de los rodillos para estaciones de carga e impacto

CRITERIOS DE SELECCIÓN	AJUSTE DIAMETROS		
	CONCEPTOS		
	Ranuras	Luneta	Plato
Está conformado por el menor número de piezas	1	3	5
Se adapta a todos los diámetros requeridos	5	5	3
Es de fácil accionamiento	1	3	5
Mantiene alineado el rodillo con el eje del motor	5	1	5
Transmite el movimiento circular del motor	3	5	5
El tiempo requerido en su accionamiento es mínimo	1	1	5
Es fácil de adaptar	1	1	5
Bajo costo de fabricación	1	5	3
TOTAL	18	24	36

3.3.2 Elección del concepto aplicado para el cambio de longitudes de los rodillos para estaciones de carga e impacto

<u>CRITERIOS DE SELECCIÓN</u>	AJUSTE LONGITUD	
	CONCEPTOS	
	Withworth	Tornillo
Está conformado por el menor número de piezas	1	5
Se adapta a todos las longitudes requeridas	5	5
Es de fácil accionamiento	1	5
El tiempo requerido en su accionamiento es mínimo	3	1
Permite ser accionado mientras se mantiene una postura ergonómicamente correcta	1	5
Bajo costo de fabricación	3	1
Fácil de adaptar	1	5
TOTAL	15	27

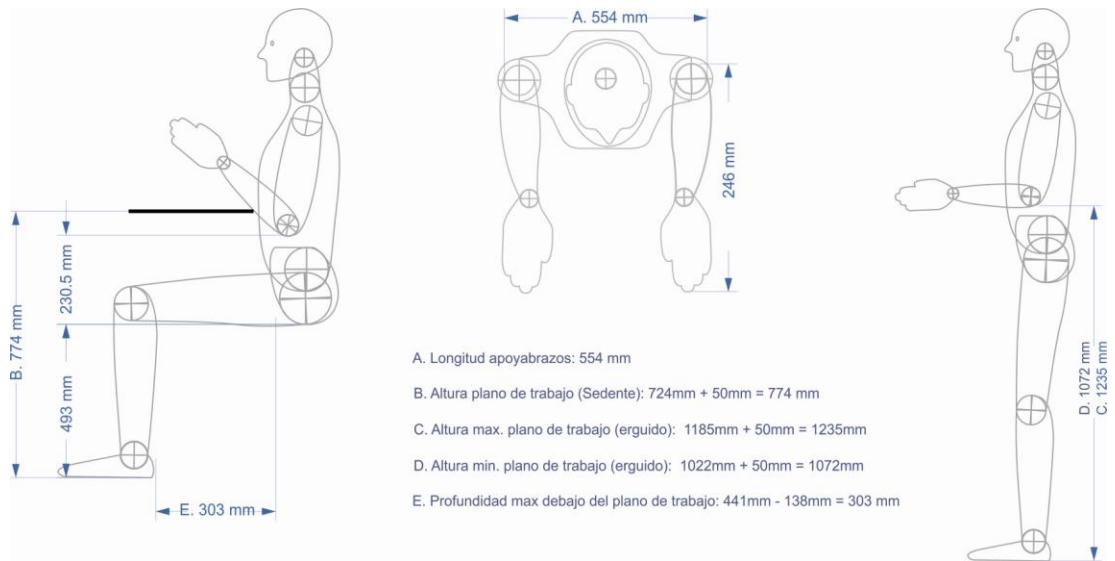
4 DISEÑO EN DETALLE

Luego de haber seleccionado los conceptos que va a conformar el dispositivo, la siguiente etapa a desarrollar es la etapa de diseño en detalle, en la que se busca determinar el perfil formal del producto de acuerdo con las especificaciones técnicas, funcionales, estéticas y de comunicación del producto.

4.1 INTEGRACIÓN DE CONCEPTOS

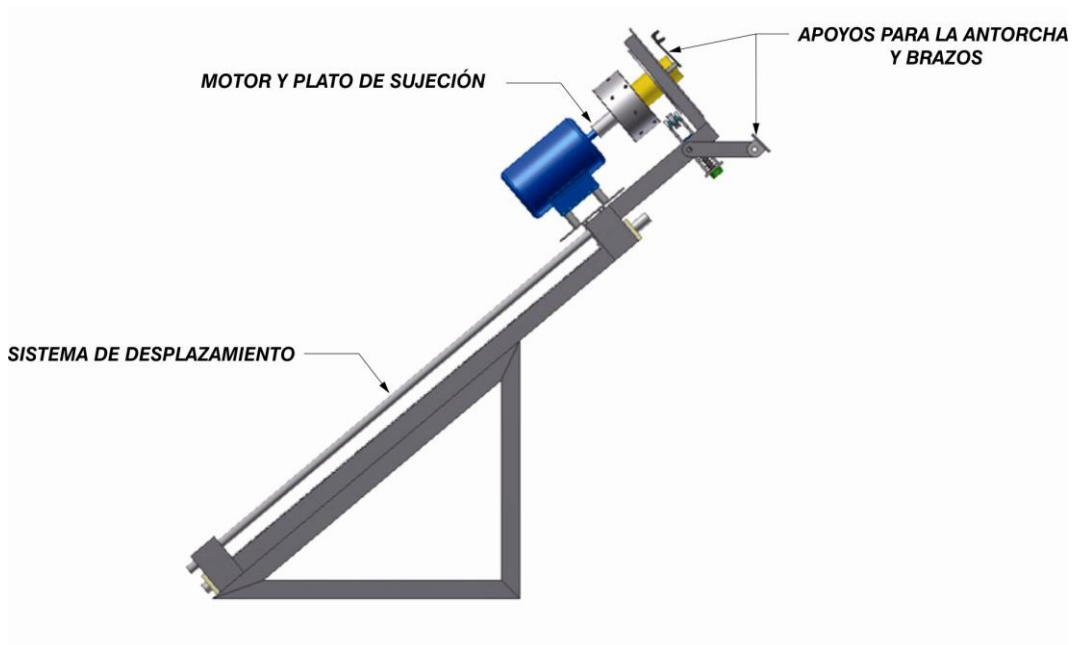
El primer paso de esta etapa es la de integrar los conceptos que fueron seleccionados como la mejor alternativa para el ajuste de la longitud y diámetro de los rodillos, es decir, el tornillo de potencia y el plato de sujeción, respectivamente; y así por primera vez dimensionar el dispositivo. En la figura 4.1 se muestra los parámetros ergonómicos que de acuerdo con las tablas antropométricas obtenidas del libro Datos Antropométricos para el diseño de María Fernanda Maradei y Francisco Espinel, interfirieron en la integración de conceptos y las medidas generales del dispositivo, mientras que en la figura 4.2 se muestra el que fue el primer bosquejo de lo que sería el dispositivo, de acuerdo con los mecanismos y las piezas que de manera elemental debía integrarlo.

FIGURA 4.2 Parámetros ergonómicos



Fuente: Autor

FIGURA 4.1 Integración de los conceptos de diseño



Fuente: Autor

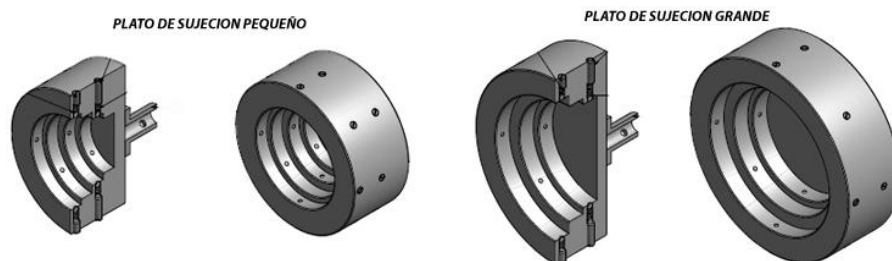
4.2 DESARROLLO DE MODELO CAD EN AUTODESK® INVENTOR® 2011

En el desarrollo del modelo CAD se terminan de integrar, de acuerdo con un concepto estético, todos los elementos que responden a las funciones y requerimientos planteados para el dispositivo, y así llegar a lo que será su configuración formal preliminar.

4.2.1 Sujeción de rodillos de diferentes diámetros

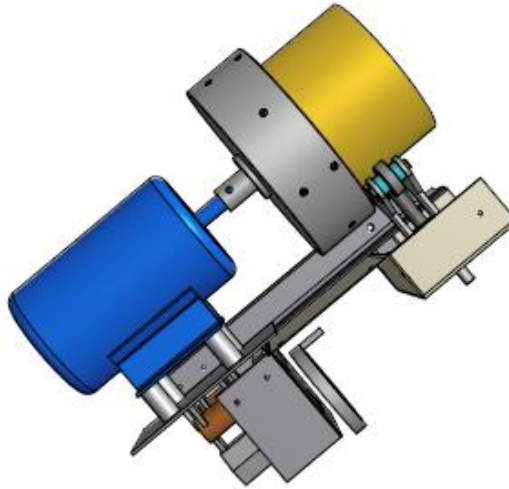
Para la presión de los rodillos mientras estos giran, el mecanismo aplicado consiste en un plato perforado de acuerdo con los diferentes diámetros de los rodillos que se fabrican en Dismet®. Estos son sujetados gracias a la fricción que se genera entre el material del tubo y esferas que lo tocan cuando este entra a presión. Al existir una gran variedad de medidas fue necesario fabricar dos platos, uno con los diámetros de 60mm, 73mm, 89mm y 100mm; mientras que con el plato más grande se puede soldar rodillos de 114mm, 127mm y 152mm. En la figura 4.3 se pueden ver los dos platos, mientras que en la figura 4.4 se muestra como estos se montan sobre el motor y la estructura.

FIGURA 4.3 Integración de los conceptos de diseño



Fuente: Autor

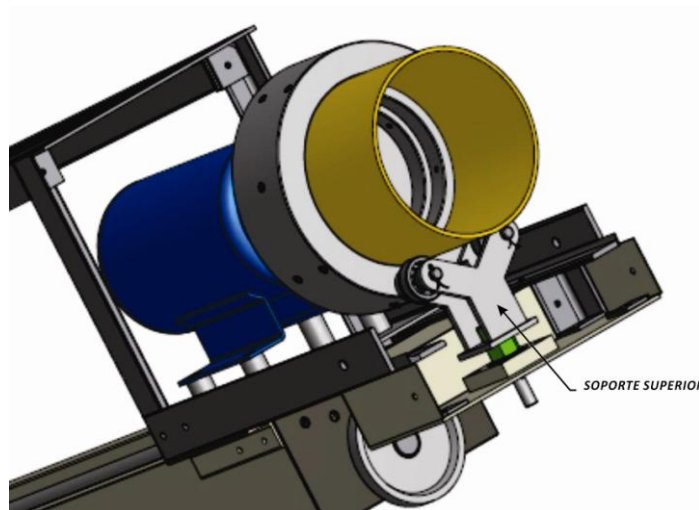
FIGURA 4.4 Posicionamiento del rodillo sobre el plato de sujeción



Fuente: Autor

Además del plato, el rodillo necesita de otro punto de apoyo que le permita girar sin oponer resistencia. En la figura 4.5 se muestra el otro soporte, ubicado en la parte superior. Este consta de 2 rodamientos que le permiten girar sin fricción, además de un tornillo que se encarga de desplazar la estructura que los soporta, ya que con el cambio de diámetros la altura de los rodamientos también debe cambiar.

FIGURA 4.5 Soporte Superior del rodillo

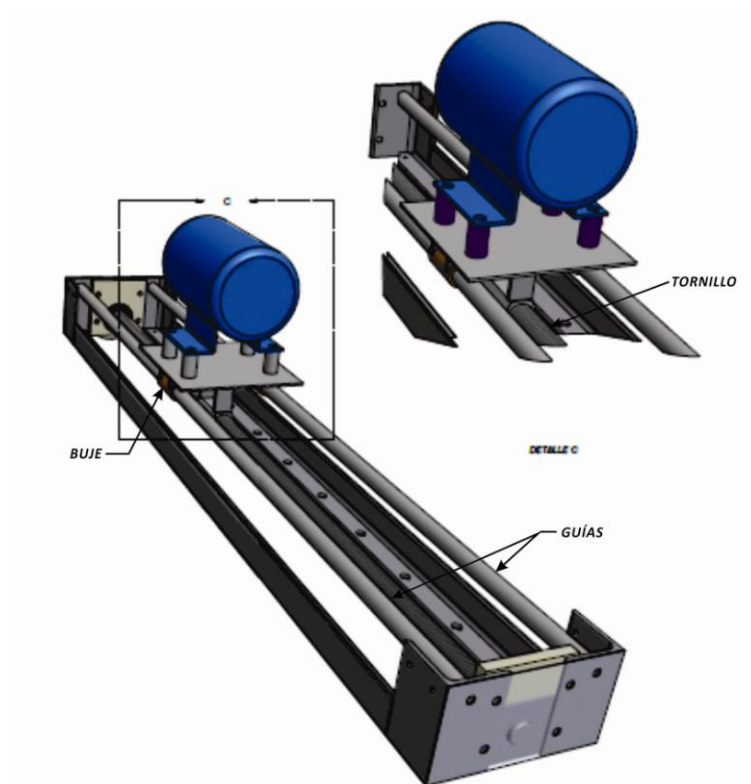


Fuente: Autor

4.2.2 Ajuste a la longitud del rodillo

El mecanismo utilizado para el cambio de longitudes del rodillo consta de un tornillo de potencia con rosca cuadrada de $\text{Ø}1 \frac{1}{4}$ " y un paso de 6mm, sostenido por rodamientos que le permiten girar libre al tornillo evitando que avance, y si sea la tuerca la que cambie de posición ubicando el plato de sujeción de acuerdo con las características del rodillo. También cuenta con dos guías con bujes en bronce, que evitan que la tuerca se voltee, mientras que soportan el peso del motor y del rodillo. En la figura 4.6 se puede apreciar la configuración del mecanismo propuesto.

FIGURA 4.6 Tornillo de rosca cuadrada y guías para el desplazamiento del plato de sujeción



Fuente: Autor

4.2.2.1 Motor

En la selección del motor apropiado para el dispositivo, fue necesario tener en cuenta la potencia mínima que este debe tener para hacer girar un peso de 30 kg, que es la carga máxima que soporta el dispositivo más un factor de seguridad, que teniendo en cuenta las bajas posibilidades que tiene el dispositivo de sobrecargarse y estar expuesto a condiciones ambientales que aceleren su deterioro, fue establecido como 1.5.

Entonces para hallar la potencia necesaria se tuvo en cuenta que está dada de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$P = \tau \times \omega$$

En donde P es la potencia, τ es el torque y ω la velocidad angular de la pieza.

Se determino que la velocidad angular promedio a la que debe girar el cilindro cuando está siendo soldado es de 0.13 rad_s . Esta cifra se establece al dividir los 4π radianes recorridos durante la soldadura de las dos caras de un rodillo, en los 142 segundos mínimos gastados por los soldadores en la operación. Mientras que el torque necesario para hacer girar el plato y el rodillo es el resultado de multiplicar la inercia de estas piezas con la aceleración que necesaria para hacerlas rotar a la velocidad angular ya propuesta en un segundo. El resultado fue de $2.28 \times 10^{-5} \text{ hp}$.

Entonces, de acuerdo con estos parámetros el motor seleccionado fue el modelo BD6222, General Electric que tiene una potencia de 1.5 HP y 14000 RPM. Es de corriente directa y su alimentación requerida es 120vac. Este es

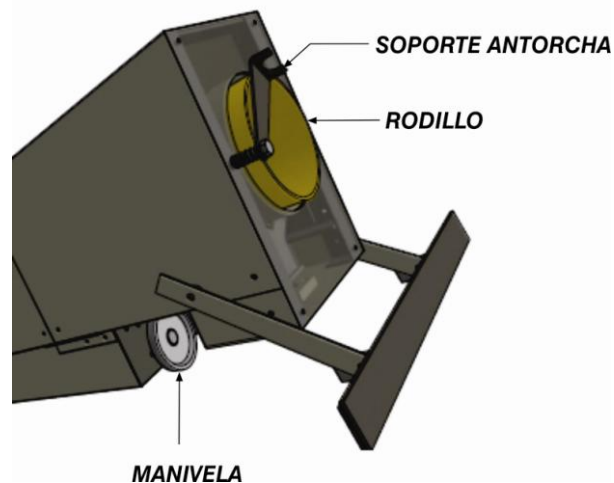
conectado a una tarjeta variadora de velocidad Marca Brushless, que permite la inversión del giro.

4.2.2.2 Tornillo

Los tornillos de potencia son elementos mecánicos que se utilizan para cambiar un movimiento rotacional por uno lineal mientras se transmiten grandes potencias. Sus aplicaciones son innumerables, ya que con un tornillo de este tipo se puede desde posicionar de manera precisa una pieza en un torno o fresadora, hasta levantar un carro⁸².

Para el dispositivo, lo que se busca es posicionar el plato de sujeción de tal manera que, al colocar sobre él rodillos de cualquier longitud, estos queden a una misma distancia con respecto al soporte de la antorcha de soldadura, mostrada en la figura 4.7.

FIGURA 4.7 Posicionamientos del rodillo con respecto al soporte de antorcha



Fuente: Autor

⁸² MOTT, Robert. Diseño de elementos de Maquinas. México: Pearson Educación. 4ª Edición p. 696

Además de que tiene la ventaja de que con este mecanismo se logra evitar que el operario tenga que moverse de su puesto para ajustarlo, gracias a la capacidad que tiene la tuerca de auto bloquearse según la carga axial que recaiga sobre ella⁸³.

Durante su diseño, fue necesario considerar cuatro variables. El tipo de rosca; la distancia axial que debe avanzar la tuerca cuando da una vuelta (avance del tornillo); el auto bloqueo de la tuerca; y el mínimo torque necesario para hacerlo girar.

En el tipo de rosca la elección fue rosca cuadrada, ya que con ella se genera mayor fricción⁸⁴, permitiendo un mayor ángulo de avance y por ende un avance del tornillo más largo. Esta condición se sustenta de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\mu \geq \tan \lambda \cos \alpha \quad \text{ó} \quad \mu \geq \frac{L}{\pi d_p} \cos \alpha$$

En la que se enuncia que el coeficiente de fricción es proporcional al avance del tornillo, a la tangente del ángulo de avance y al coseno del ángulo formado entre las caras de los dientes del tornillo, que para el caso de los dientes cuadrados es 0° , dando como resultado 1, que es el mayor valor posible.

Ya para definir el avance, fue necesario considerar en primer lugar, el auto bloqueo de la tuerca, que depende de si el coeficiente de fricción entre los

⁸³ NORTON, Robert. Diseño de Maquinas 4 Ed. México: Prentice Hall, 2011 p. 732

⁸⁴ MOTT, Robert. Op. cit. 669

materiales de la tuerca y el tornillo es mayor a la tangente del ángulo de avance⁸⁵.

$$\mu > \tan \lambda$$

El material propuesto para el tonillo como para la tuerca es acero SAE 1020, y su coeficiente de fricción es de 0.15 por lo que el máximo ángulo de avance no debe superar 8.5 grados.

También hubo que tener en cuenta la precisión que se requiere para el posicionamiento de los rodillos. Dicha precisión depende de la longitud de los rodillos fabricados en Dismet[®]. En la tabla 4.1 se muestran todas sus longitudes.

Tabla 4.1 Longitudes de la rodillera fabricada en Dismet

<i>Unidades en mm</i>
170
190
220
290
330
400
550
620
700
870
1020
1160

Fuente: Autor

De acuerdo con los datos mostrados en la tabla anterior, se pudo notar que su máximo común divisor es 10, por lo que sería recomendable que el avance con

⁸⁵ NORTON, Robert. Op. cit. 732

cada vuelta fuera de 10 mm; sin embargo la distancia que existe entre la antorcha montada en el soporte y la cara plana del dispositivo es de otros 10mm, lo que le permite al rodillo sobresalir. Entonces el rango del avance está entre 10 y 20 mm. Por lo que el avance establecido fue de 15 mm.

Con estos datos, el siguiente paso era conocer el diámetro externo del tornillo.

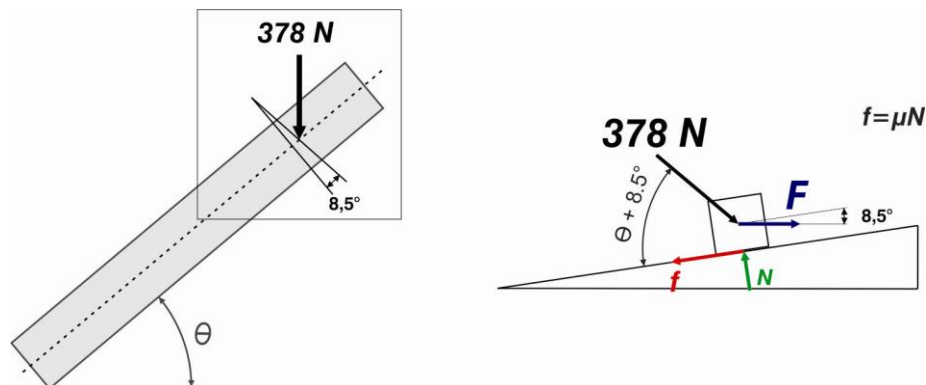
Para la que fue aplicada la siguiente ecuación

$$d_p = \frac{L}{\pi \tan \lambda}$$

En donde L es igual a 15 mm y λ a 8.4 grados. Su resultado fue $32 \text{ mm} \cong 1 \frac{1}{4}$ pulgadas.

Luego de definir todas las variables del tornillo, fue importante conocer cuál es el par torsional mínimo necesario para hacer girar el tornillo mientras está cargado con el mayor peso. Para su análisis de fuerzas, la tuerca es representada como un bloque sobre un plano inclinado⁸⁶ como lo muestra la figura 4.8.

FIGURA 4.8 Diagrama de cuerpo libre del Tornillo



Fuente: Autor

⁸⁶ Ibid. p. 730

Y de su diagrama de cuerpo libre se deduce que

$$f_x = 0 = F \cos 8.5^\circ + 378 \cos(\theta + 8.5^\circ) - f$$

$$f_y = 0 = N - 378 \sin \theta + 8.5^\circ - F \sin 8.5^\circ$$

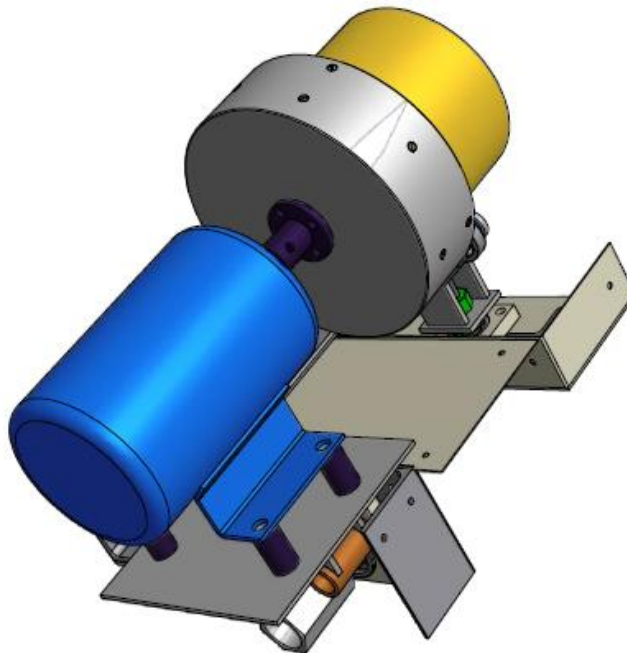
Y al despejar obtenemos que la fuerza requerida para mover la tuerca es de 215N cuando el ángulo de inclinación es 40 grados y 269N cuando el ángulo es 30 grados. Entonces el torque máximo requerido para mover la carga es el resultado de multiplicar la máxima fuerza necesaria, es decir 269N por 0.16m que es el radio del tornillo, y se obtiene que el torque es igual a 4.3 N*m.

4.2.2.3 Giro del Rodillo

Para hacer girar el rodillo es necesario implementar un motor de menos de 1/4hp capaz de mover una carga de 30kg, que es el peso máximo ya establecido; a su eje va montado el plato de sujeción del rodillo por medio de una pieza en acero, perforada para poder unirse al eje del motor y al plato.

En la figura 4.7 se muestran las perforaciones que permiten unir las piezas con tornillos y los distanciadores.

FIGURA 4.9 Sistema de conexión que une el plato de sujeción y el motor



Fuente: Autor

Para evitar que el motor falle fue necesario aislarlo del arco eléctrico que se forma con la soldadura. Por esta razón, está montado sobre unos distanciadores fabricados en Empack o resina acetálica; un polímero para la ingeniería, resistente a las altas temperaturas, con alta rigidez y resistencia mecánica que no permite el paso de corriente eléctrica⁸⁷. De este mismo material fueron fabricados los platos de sujeción

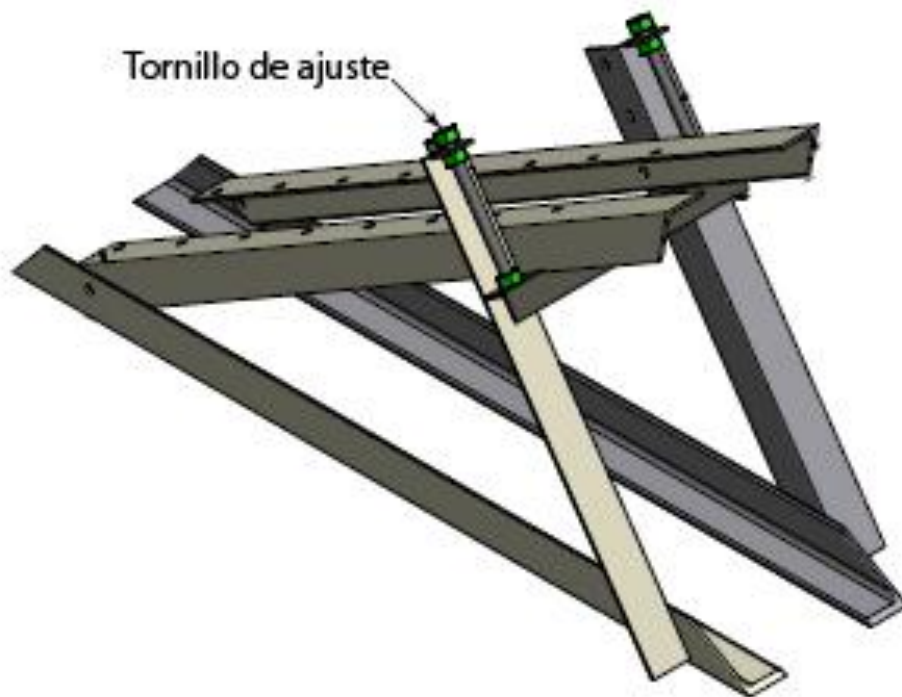
4.2.2.4 Cambio de altura del dispositivo

La estructura que soporta el dispositivo está conformada por ángulos en acero estructural, y esta ensamblada por medio de tornillería de cabeza hexagonal con un diámetro de 1/2". Para el ajuste de altura cuenta con dos tornillos en sus laterales que permiten desplazar el ángulo sobre el que esta soportada la

⁸⁷ MetalPlastic S.A.S. PLASTICOS DE INGENIERIA, EMPACK, Documento en Línea] URL <http://www.metalplasticsas.com/PlasticosIngenieriaEmpackAcetal.html> 20/02/2013

carcasa superior. Además la estructura esta perforada de tal manera que le permite a su usuario subirla hasta 100 mm más. Como se muestra en la figura 4.10.

FIGURA 4.10 Estructura Soporte del Dispositivo

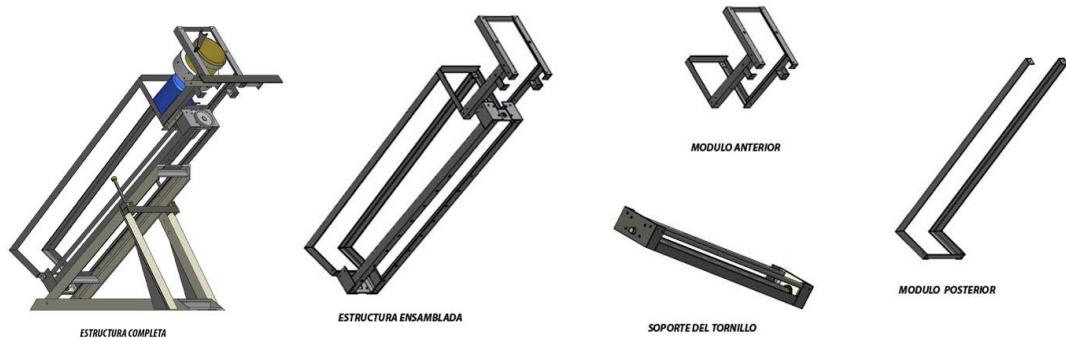


Fuente: Autor

4.2.3 Estructura Superior

La estructura que soporta e integra los mecanismos está diseñada para ser desarmable, esto con el fin de facilitar su montaje y mantenimiento. La figura 4.9 se puede ver los módulos que la conforman.

FIGURA 4.11 Estructura Superior del dispositivo



Fuente: Autor

4.2.4 CONCEPTO FORMAL

Para la elección del concepto estético del dispositivo, fue necesario tener en cuenta las limitaciones propias de la materia prima y los procesos de transformación del sector metalmecánico. Es por esto que al momento de escoger el concepto formal del dispositivo, las alternativas iban orientadas hacia las formas geométricas y líneas rectas, y la corriente suprematista se caracteriza precisamente por ser una tendencia en la que sus elementos de expresión son las formas geométricas fundamentales, que gracias a su vista en perspectiva, consiguen generar sensaciones de movimiento y velocidad, desvinculándose completamente de formas orgánicas⁸⁸. Una muestra de esta corriente y de sus características es la obra *Supremus 58* (Figura 4.10), de quien es considerado como el padre del Suprematismo, Kasimir Malevich.

⁸⁸ www.historialedisenio.wordpress.com, Características del Suprematismo, diciembre de 2011

FIGURA 4.12 Obra Kasimir Malevich, Supremus 58



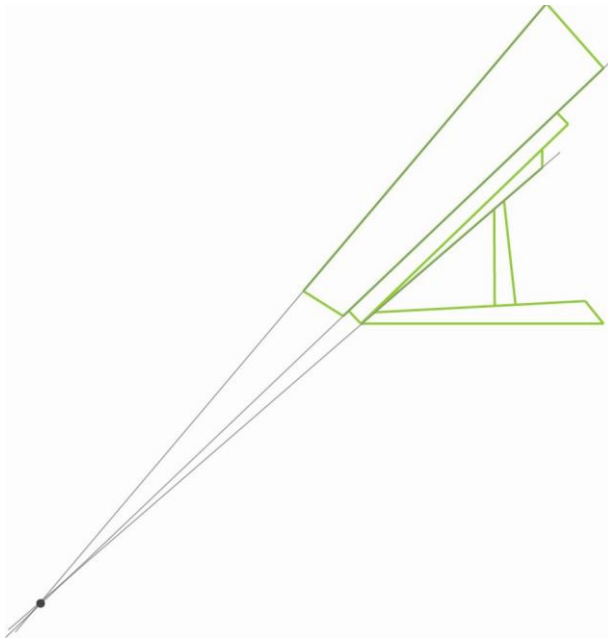
Fuente: <http://www.kazimir-malevich.org> 24/02/2013

Entonces para la definición del perfil estético del dispositivo fue desarrollado a partir de líneas rectas que llegaban a un mismo punto. A las que luego se les daría anchos simétricos o no simétricos para convertirlas en rectángulos de diferentes tamaños y así generar la sensación que salen de un punto de fuga y velocidad.

También en el momento de proponer una configuración formal del dispositivo fue necesario tener en cuenta las formas que de acuerdo con las

características de los elementos que lo componen, restringen su configuración. En la figura 4.11 se puede apreciar la que fue la idea base en la definición formal del dispositivo.

FIGURA 4.13 Idea base para el Perfil Estético del Dispositivo



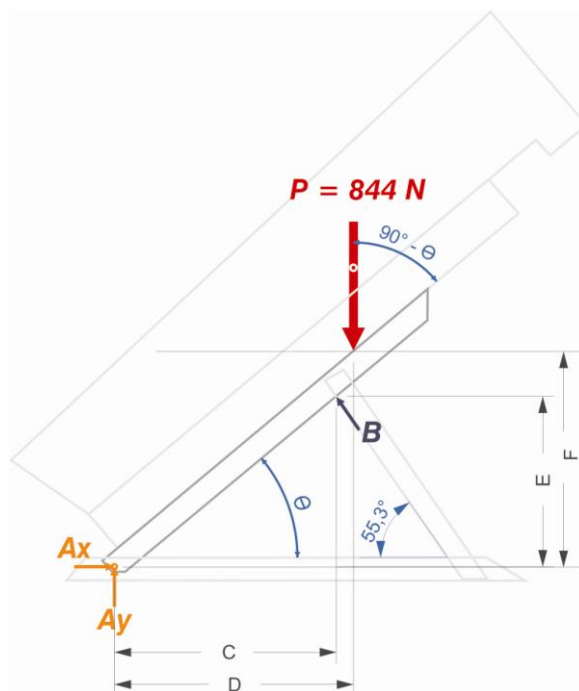
Fuente: Autor

4.3 ANALISIS DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES POR METODO DE ELEMENTOS FINITOS CON AUTODESK® INVENTOR® 2011

El dispositivo está compuesto básicamente por una carcasa en las que se incorporan los elementos que le permiten cumplir con sus funciones mientras que es sostenida por una estructura en ángulo de acero que la soporta y le permite variar su ángulo de inclinación y altura. Esta condición, hace que las fuerzas que actúan sobre el dispositivo y que se muestran en la figura 4.11,

cambien de magnitud y dirección; por esta razón que para poder hacer un análisis de esfuerzos y conocer cómo responden sus elementos en la posición más crítica del dispositivo, es necesario estudiar cada una de ellas y establecer cuando se da esta situación.

FIGURA 4.12 Diagrama de Cuerpo Libre



Fuente: Autor

De acuerdo con el DCL, las fuerzas que actúan sobre la estructura del dispositivo son el peso de la carcasa más un factor de seguridad de 1.5; la fuerza que soporta los dos pivotes de la estructura y la fuerza que ejercen los tornillos sobre el ángulo que sostiene la carcasa. Entonces de su diagrama de cuerpo libre se puede deducir que

$$M_A = 844N * D - 2B \sin 55.3 * C - 2B \cos 55.3 * E = 0$$

$$F_x = 2A_x - 2B \cos 55.3 = 0$$

$$F_y = 2A_y + 2B \sin 55.3 - 844N = 0$$

En donde los valores de D, C y E, como anteriormente se dijo, cambian con respecto a la posición del pivote como lo muestra la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Distancias entre Fuerzas

ALTURA MINIMA (mm)				
θ	C. Grav _x (D)	C. Grav _y (F)	B _x (C)	B _y (E)
40	459,2	596,7	495,3	445,0
35	509,4	554,4	580,2	398,9
30	555,8	507,9	624,7	334,2
+100mm DE ALTURA (mm)				
θ	C. Grav _x (D)	C. Grav _y (F)	B _x (C)	B _y (E)
40	535,8	660,9	531,9	413,1
35	591,3	611,7	591,2	383,0
30	642,4	557,9	624,7	334,2

Entonces los valores de dichas fuerzas vienen dados en la tabla 4.3:

Tabla 4.3 Resultado de Fuerzas que actúan sobre el Dispositivo

θ	FUERZAS RESULTANTES			
	ALTURA MINIMA (mm)			
	B	A _x	A _y	A
40	293,3	167,0	180,9	246,2
35	305,3	173,9	171,0	243,9
30	333,2	189,7	148,1	240,7
+100mm DE ALTURA (mm)				
θ	B	A _x	A _y	A
40	336,2	191,5	145,6	240,5
35	354,4	201,8	130,7	240,4
30	385,2	219,3	105,4	243,3

En donde se muestra que el pivote soporta una fuerza máxima, 246.2 N, cuando el dispositivo está en su altura mínima a 40 grados de inclinación, mientras que el tornillo que soporta el ángulo sobre el que descansa la carcasa, está en su mayor esfuerzo si la inclinación es de 30 grados y su altura 100 mm más arriba, dando una fuerza de 385.2N. También se puede notar que con el cambio de posición, las fuerzas que soporta el tornillo varían hasta en 92 N, mientras que la diferencia de fuerzas que soporta el pivote no sobrepasa los 6N; por lo que el momento que puede llegar a ser crítico es cuando el dispositivo es posicionado 100mm más arriba, a una inclinación de 30 grados.

4.4 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS CON AUTODESK® INVENTOR® 2011.

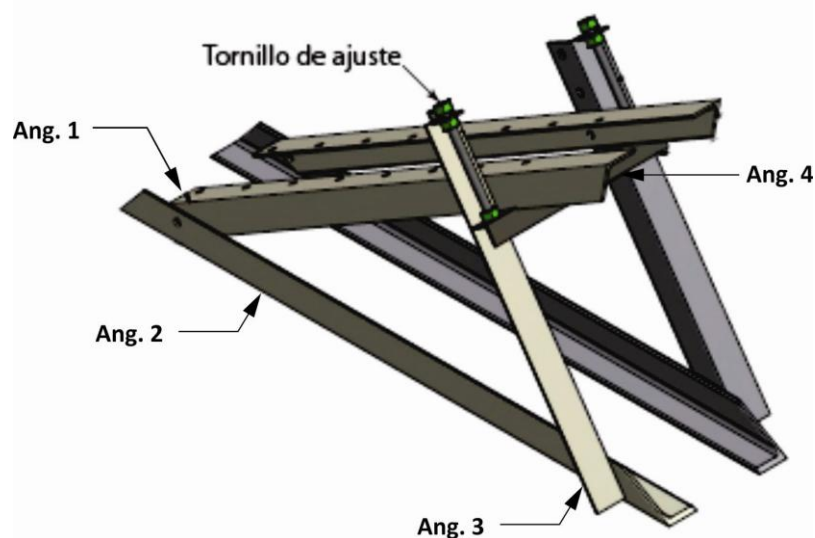
Ya conocidas las magnitudes y direcciones de las fuerzas que actúan sobre cada una de las piezas que conforman la estructura de soporte del dispositivo, y luego de establecer su momento crítico, el siguiente paso fue realizar el análisis de esfuerzos y deformaciones por elementos finitos con el software Autodesk Inventor 2011.

Las piezas elegidas para este análisis son las que conforman la estructura soporte del dispositivo y el tornillo de desplazamiento del plato de sujeción, ya que son los elementos que sostienen directamente el peso del rodillo y motor para el caso del tornillo, y el dispositivo completo en el caso del soporte; los otros elementos estructurales más que resistir fuerzas, están configurados para servir como acople de todas las piezas que conforman el dispositivo.

Para conocer el comportamiento de estas piezas, de los resultados obtenidos del análisis de esfuerzos con elementos finitos, se le prestó especial atención a 3 aspectos: la tensión de von mises por ser una magnitud física que es proporcional a la energía de distorsión que hace que falle la pieza si esta sobrepasa un umbral⁸⁹ dependiente de las características físicas de la pieza, y que mismo programa es capaz de generar; el desplazamiento, en el que se muestra la deformación que sufre el elemento de acuerdo con las fuerzas que actúan sobre él; y el factor de seguridad, en el que se visualiza en que zonas de los elementos estudiados pueden estar propensos a fallas si las fuerzas aplicadas sobrepasan las establecidas en el diagrama de cuerpo libre.

Para poder distinguir cada elemento que compone el análisis de fuerzas, en la figura 4.13 se enumeran cada una de ellas.

FIGURA 4.13 Enumeración de Piezas para el Análisis De Esfuerzos por Elementos Finitos

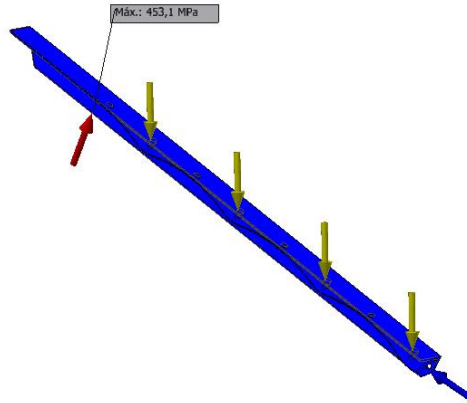
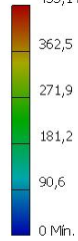


Fuente: Autor

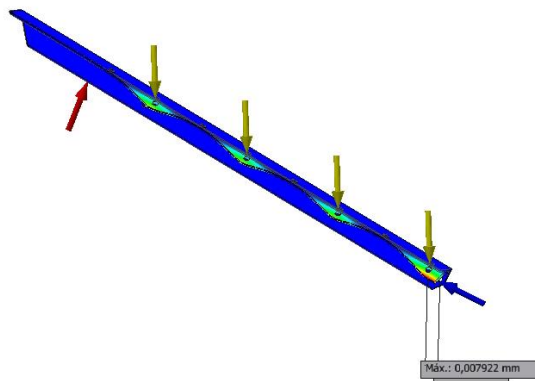
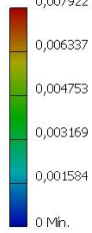
⁸⁹Ibíd. p.176

4.4.1 Ángulo 1: ASTM A-36 de 2" x 3/16"

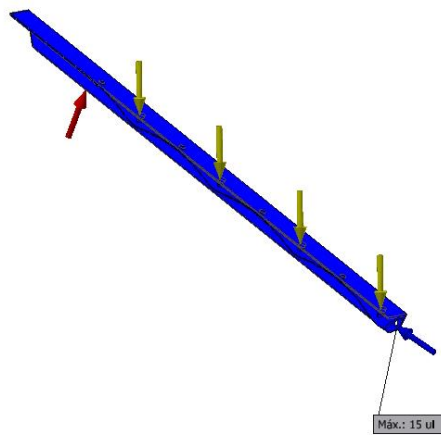
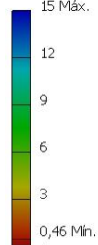
Tipo: Tensión de Von Mises
Unidad: MPa
17/02/2013, 01:02:49 a.m.
453,1 Máx.



Tipo: Desplazamiento
Unidad: mm
17/02/2013, 12:57:31 a.m.
0,007922 Máx.

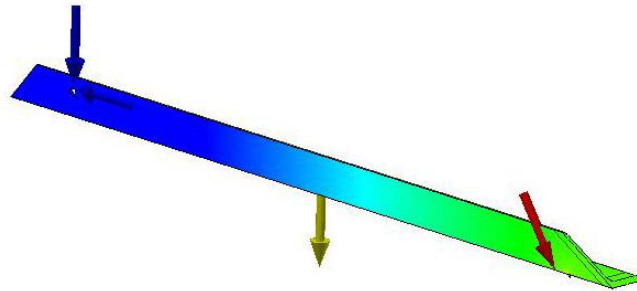
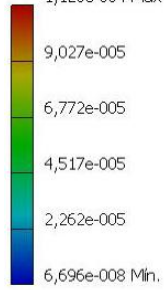


Tipo: Coeficiente de seguridad
Unidad: ul
17/02/2013, 01:01:21 a.m.
15 Máx.

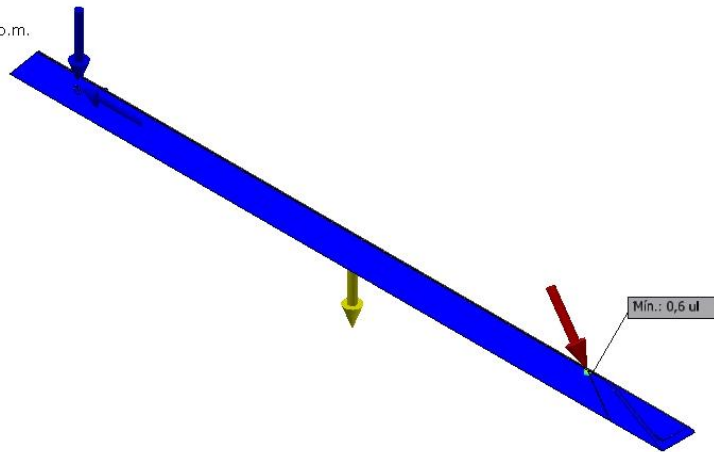
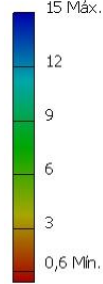


4.4.2 Ángulo 2: ASTM A-36 de 2" x 3/16"

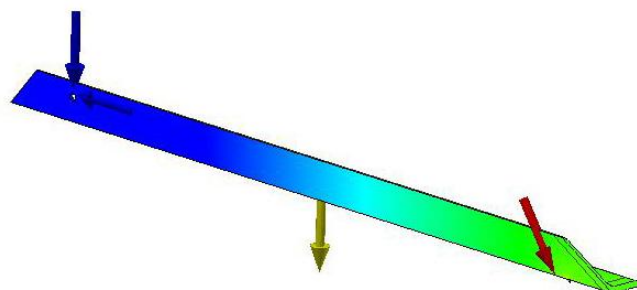
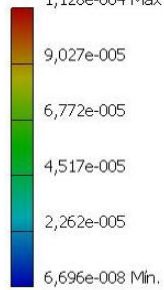
Tipo: Desplazamiento
Unidad: in
17/02/2013, 03:38:03 p.m.
1,128e-004 Máx.



Tipo: Coeficiente de seguridad
Unidad: ul
17/02/2013, 03:56:03 p.m.
15 Máx.

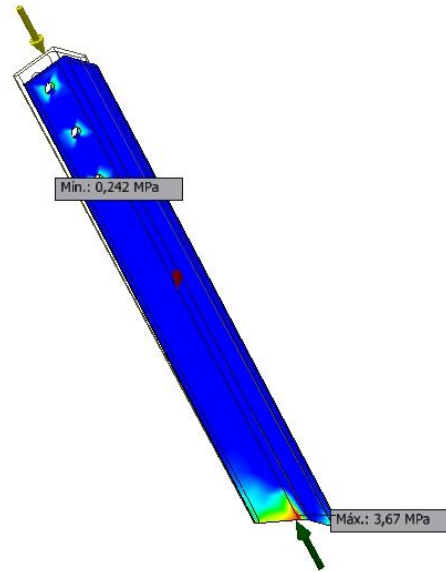
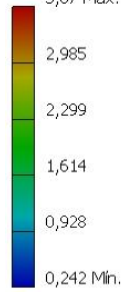


Tipo: Desplazamiento
Unidad: in
17/02/2013, 03:38:03 p.m.
1,128e-004 Máx.

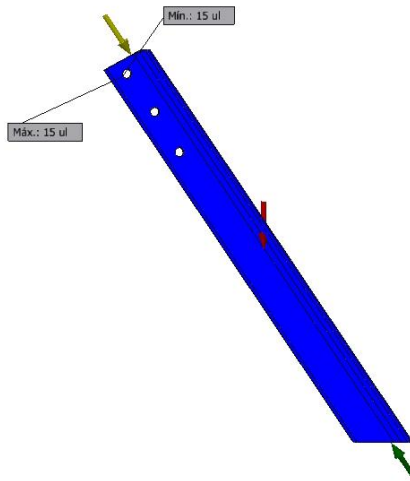
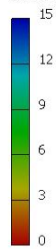


4.4.3 Ángulo 3: ASTM A-36 de 2" x 3/16"

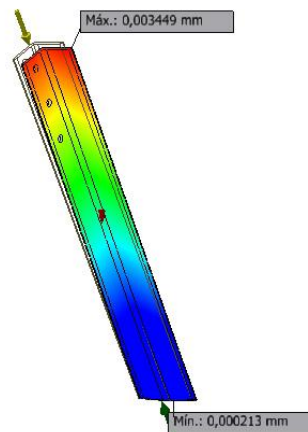
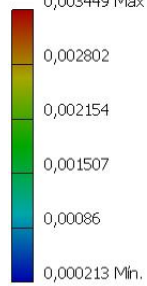
Tipo: Tensión de Von Mises
 Unidad: MPa
 17/02/2013, 04:48:25 p.m.
 3,67 Máx.



Tipo: Coeficiente de seguridad
 Unidad: ul
 17/02/2013, 04:44:29 p.m.

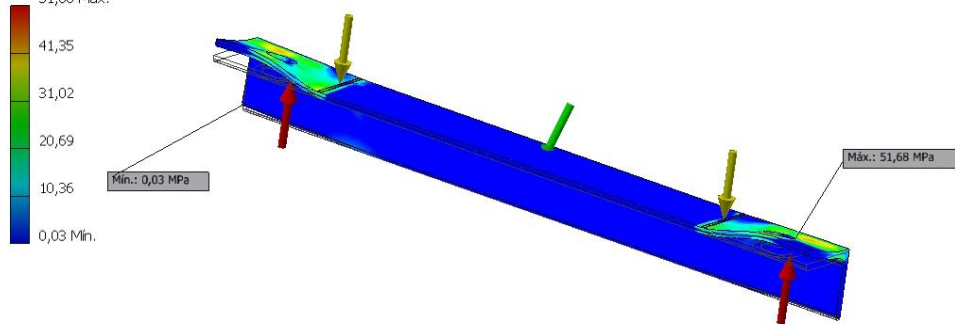


Tipo: Desplazamiento
 Unidad: mm
 17/02/2013, 04:50:03 p.m.
 0,003449 Máx.

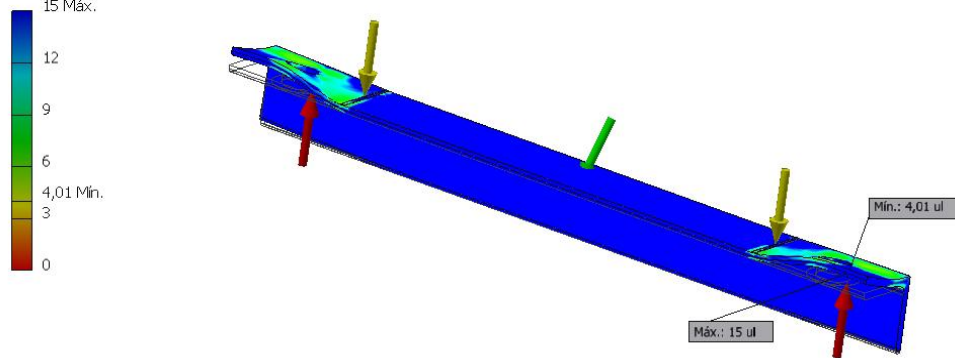


4.4.4 Ángulo 4: ASTM A-36 de 2" x 3/16"

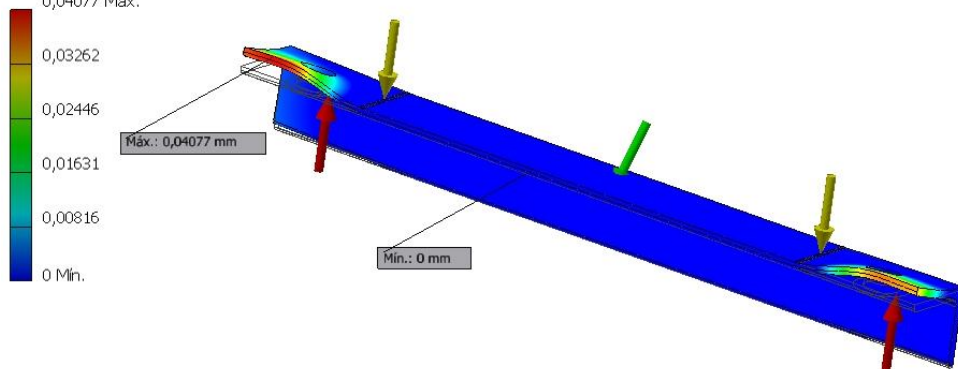
Tipo: Tensión de Von Mises
Unidad: MPa
17/02/2013, 05:19:54 p.m.
51,68 Máx.



Tipo: Coeficiente de seguridad
Unidad: ul
17/02/2013, 05:21:30 p.m.
15 Máx.

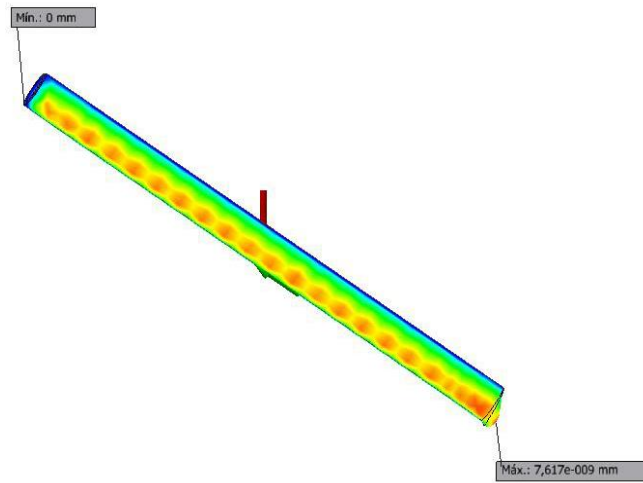
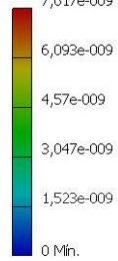


Tipo: Desplazamiento
Unidad: mm
17/02/2013, 05:20:56 p.m.
0,04077 Máx.

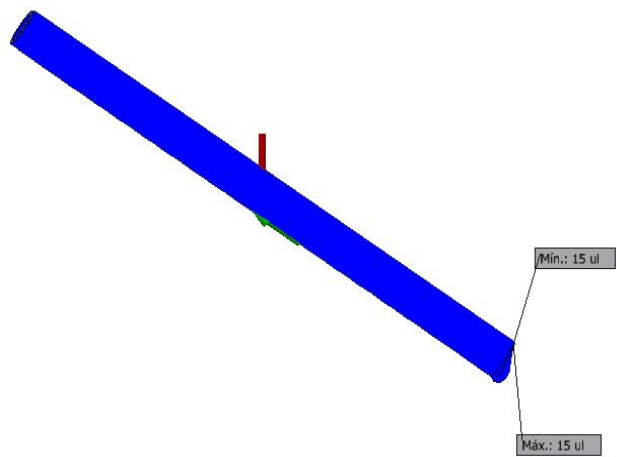
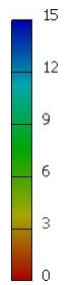


4.4.5 Tornillo de Sujeción

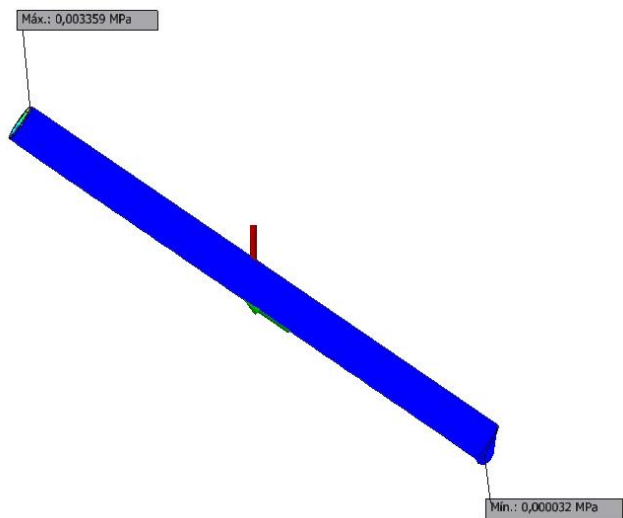
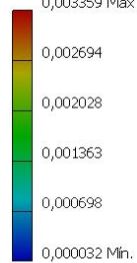
Tipo: Desplazamiento
Unidad: mm
17/02/2013, 07:55:45 p.m.
7,617e-009 Máx.



Tipo: Coeficiente de seguridad
Unidad: ul
17/02/2013, 07:56:21 p.m.

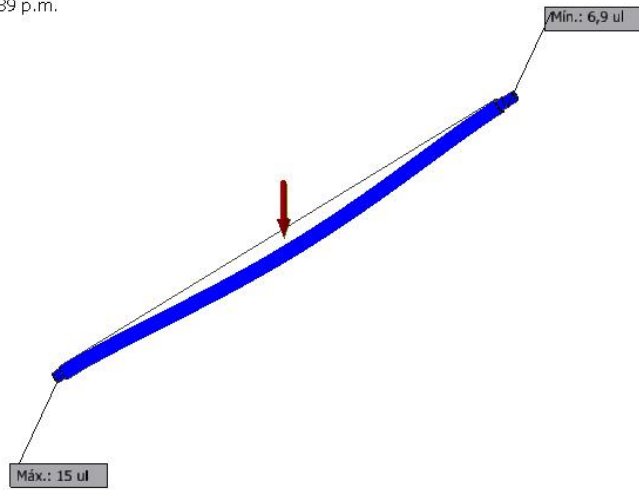
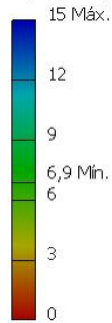


Tipo: Tensión de Von Mises
Unidad: MPa
17/02/2013, 07:55:05 p.m.
0,003359 Máx.

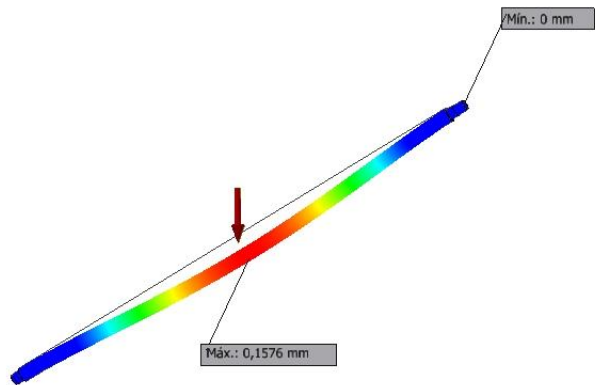
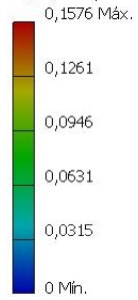


4.4.6 Tornillo Soporte del plato de sujeción

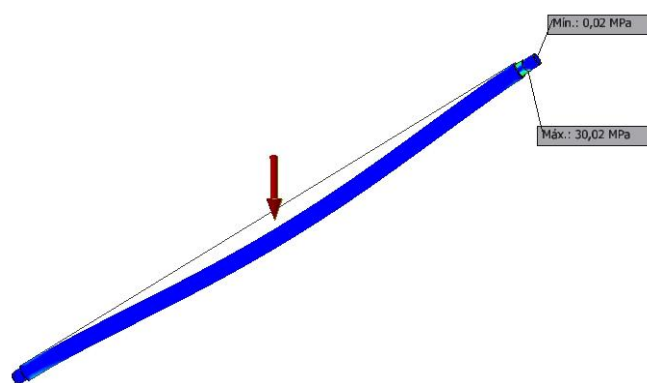
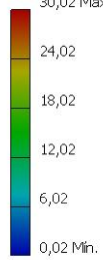
Tipo: Coeficiente de seguridad
Unidad: ul
17/02/2013, 07:20:39 p.m.



Tipo: Desplazamiento
Unidad: mm
17/02/2013, 07:19:42 p.m.



Tipo: Tensión de Von Mises
Unidad: MPa
17/02/2013, 07:41:49 p.m.



4.5 Conclusiones

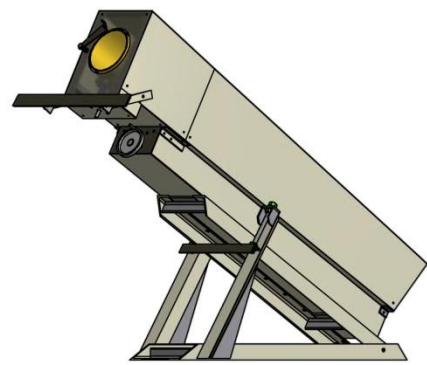
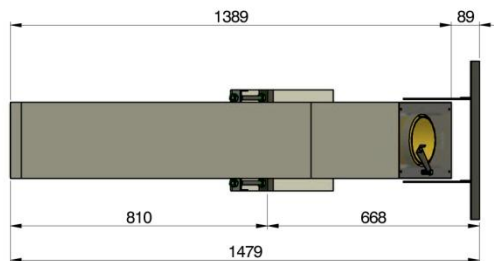
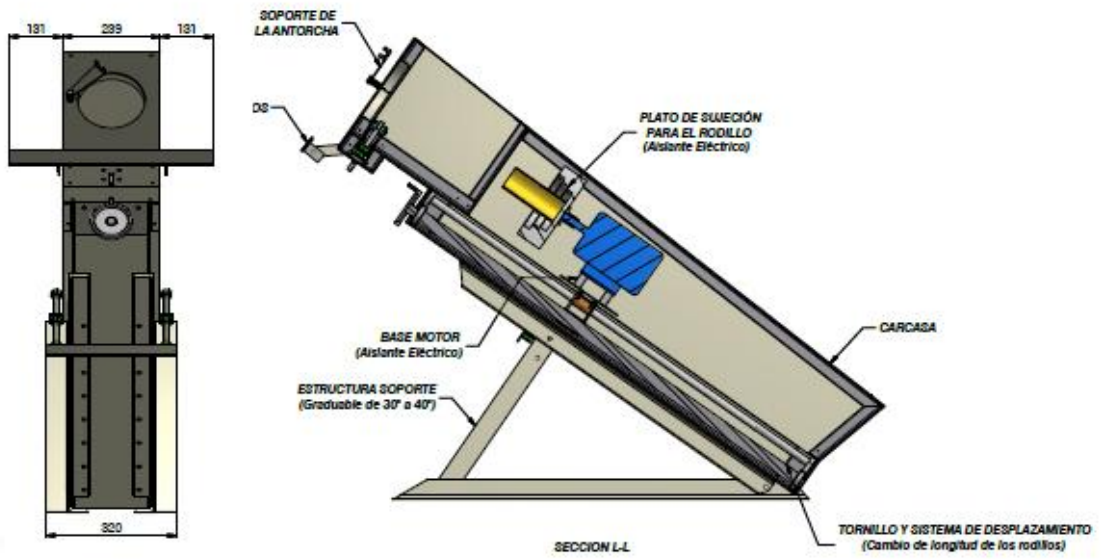
Basándose en los resultados obtenidos del análisis de esfuerzos y deformaciones por elementos finitos, se puede concluir que los materiales propuestos están sobredimensionados, pues en todas las piezas analizadas el coeficiente de seguridad está cerca al 15; mientras que la tensión de Von Mises está por debajo de 454 MPa, una presión muy baja, teniendo en cuenta que es para un material que tiene un coeficiente de elasticidad 210 000 MPa. Y el desplazamiento de las piezas estudiadas es despreciable.

Sin embargo es necesario tener en cuenta, que el material propuesto, más que satisfacer las necesidades estructurales del dispositivo, fue planteado gracias a otras características como su conductividad y resistencia a altas temperaturas, lo que lo hicieron si bien no la única opción si la más económica a la hora de construir el dispositivo.

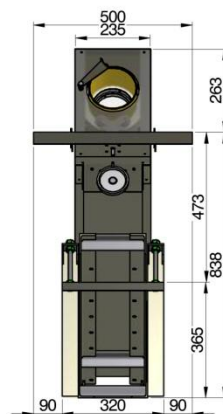
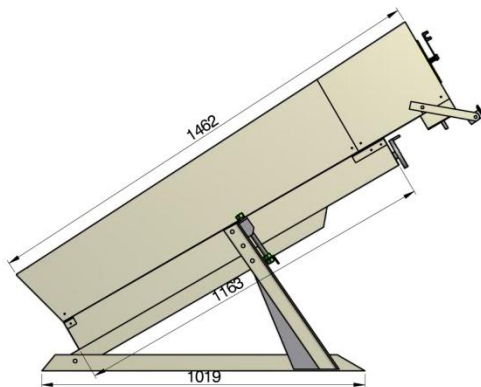
4.5.1 Prototipo Final

Después de integrar los elementos que componen las áreas de pautas establecidas como el montaje del motor con los platos de sujeción, el tornillo con las guías y la estructura que soporta y permite el cambio de altura para el dispositivo, y siguiendo los fundamentos de la corriente suprematista, la configuración final del dispositivo es expuesta en la figura 4.14.

FIGURA 4.14 Prototipo Final

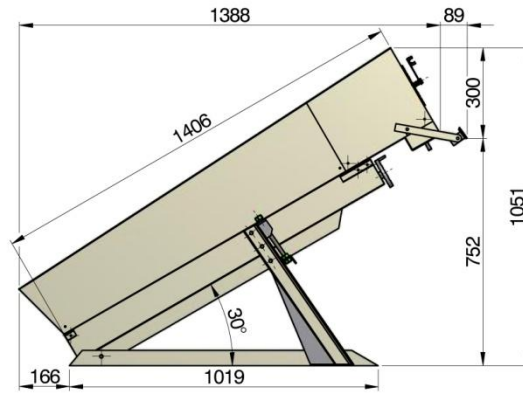


VISTA A

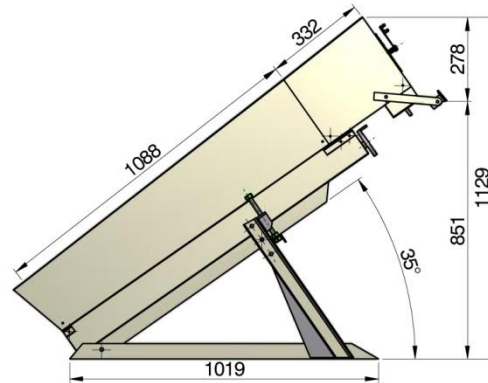


Fuente: Autor

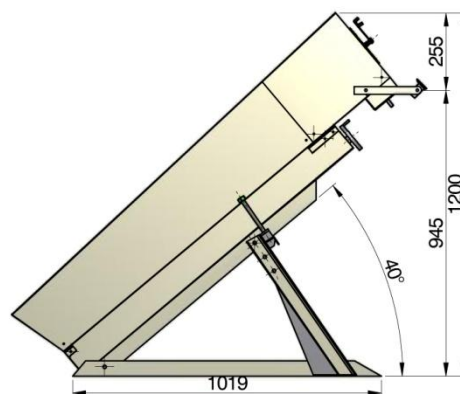
Mientras que en la figura 4.15 puede apreciarse el cambio de altura, lo que le permite al soldador ajustarlo de acuerdo con su altura y la de la silla.



ITEM:
Dispositivo para soldadura circular (30°)



ITEM:
Dispositivo para soldadura circular (35°)



ITEM:
Dispositivo para soldadura circular (40°)

Fuente: Autor

5 COMPROBACIÓN

Con la culminación de la etapa de diseño en detalle y la completa elaboración de los planos técnicos, comenzó la etapa de fabricación del dispositivo; y luego de cerca de dos semanas dedicadas a su construcción y ensamblaje, el resultado puede ser visto en la figura 5.1.

5.1 Prototipo Final del Dispositivo



Fuente: Autor

Para este punto el prototipo contaba con los sistemas de ajuste de diámetro y longitud, la tarjeta electrónica que se encargaría de la variación de la velocidad y el motor completamente ensamblados en la estructura. Por lo que el siguiente paso sería una nueva etapa de observación y análisis en la que el operario

interactuaría con la herramienta para así poder comprobar la reducción de esfuerzos biomecánicos.

5.1 APLICACIÓN METODO REBA CON EL PROTOTIPO FINAL

En esta ocasión el Método REBA fue aplicado a 4 soldadores, esto con el fin de no solo poder evaluar la postura cuando cambian las condiciones en su estatura, sino que además poder conocer cuáles son sus reacciones ante el dispositivo y su modo de uso.

El primer soldador es quien por su habilidad en soldadura es el encargado del ensamblaje de rodillera en Dismet, y su estatura es 1.78m (figura 5.2).

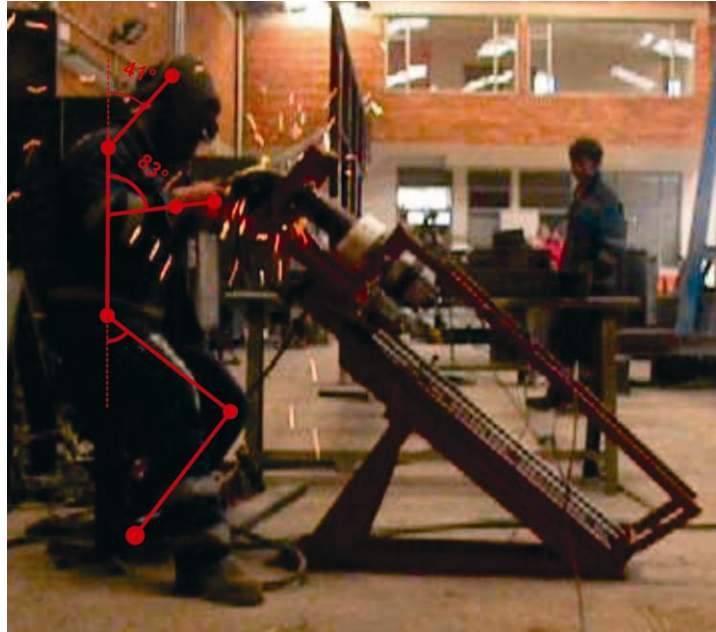
5.2 Operario Numero 1 soldando con el Dispositivo



Fuente: Autor

El segundo es soldador y auxiliar de ensamblaje, y mide 1.71m. Figura 5.3

5.3 Operario Numero 2 Soldando con el Dispositivo



Fuente: Autor

El tercer operario es soldador-ensamblador con una estatura de 1.62m. Figura 5.4.

5.4 Operario Numero 3 soldando con el Dispositivo



Fuente: Autor

Y el último de ellos también es soldador-ensamblador y mide 1.66m. Figura 5.5

5.5 Operario Numero 3 soldando con el Dispositivo



Fuente: Autor

5.1.1 Valoración Individual Grupo A

En el grupo A fueron evaluadas de manera individual, las posiciones del tronco, cuello y piernas de cada uno de los soldadores.

GRUPO A												
SEGMENTO CORPORAL	PUNTAJE				PUNTAJE ADICIONAL				TOTAL			
	SOLD N1	SOLD N2	SOLD N3	SOLD N4	SOLD N1	SOLD N2	SOLD N3	SOLD N4	SOLD N1	SOLD N2	SOLD N3	SOLD N4
Tronco	+1	+1	+3	+1	0	0	0	0	+1	+1	+3	+1
Cuello	+2	+2	+1	+2	0	0	0	0	+2	+2	+1	+2
Piernas	+1	+1	+1	+1	0	0	0	0	+1	+1	+1	+1

5.1.2 Valoración Individual Grupo B

Mientras que en grupo B, se evaluaron brazos, antebrazos y Muñecas.

GRUPO B												
SEGMENTO CORPORAL	PUNTAJE				PUNTAJE ADICIONAL				TOTAL			
	SOLD N1	SOLD N2	SOLD N3	SOLD N4	SOLD N1	SOLD N2	SOLD N3	SOLD N4	SOLD N1	SOLD N2	SOLD N3	SOLD N4
Brazo	+1	+1	+1	+1	-1	-1	0	0	0	0	+1	+1
Antebrazo	+1	+1	+2	+2	0	0	0	0	+1	+1	+2	+2
Muñeca	+1	+1	+1	+1	0	0	0	0	+1	+1	+1	+1

5.1.3 Puntuación grupal para el grupo A

TABLA DE PUNTUACION COLECTIVA GRUPO A													
SOLDADOR 1													
TRONCO	CUELLO												
	1				2				3				
	PIERNAS				PIERNAS				PIERNAS				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6	
2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7	
3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8	
4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9	
5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9	
SOLDADOR 2													
TRONCO	CUELLO												
	1				2				3				
	PIERNAS				PIERNAS				PIERNAS				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6	
2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7	
3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8	
4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9	
5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9	
SOLDADOR 3													
TRONCO	CUELLO												
	1				2				3				
	PIERNAS				PIERNAS				PIERNAS				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6	
2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7	
3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8	
4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9	
5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9	

SOLDADOR 4												
TRONCO	CUELLO											
	1				2				3			
	PIERNAS				PIERNAS				PIERNAS			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

5.1.4 Puntuación Grupal para el grupo B

TABLA DE PUNTUACION COLECTIVA GRUPO B							
SOLDADOR 1							
BRAZO	ANTEBRAZO						
	1			2			
	MUÑECA			MUÑECA			
	1	2	3	1	2	3	
1	1	2	2	1	2	3	
2	1	2	3	2	3	4	
3	3	4	5	4	5	5	
4	4	5	5	5	6	7	
5	6	7	8	7	8	8	
6	7	8	8	8	9	9	
SOLDADOR 2							
BRAZO	ANTEBRAZO						
	1			2			
	MUÑECA			MUÑECA			
	1	2	3	1	2	3	
1	1	2	2	1	2	3	
2	1	2	3	2	3	4	
3	3	4	5	4	5	5	
4	4	5	5	5	6	7	
5	6	7	8	7	8	8	
6	7	8	8	8	9	9	
SOLDADOR 3							
BRAZO	ANTEBRAZO						
	1			2			
	MUÑECA			MUÑECA			
	1	2	3	1	2	3	
1	1	2	2	1	2	3	

2	1	2	3	2	3	4
3	3	4	5	4	5	5
4	4	5	5	5	6	7
5	6	7	8	7	8	8
6	7	8	8	8	9	9
SOLDADOR 4						
BRAZO	ANTEBRAZO					
	1			2		
	MUÑECA			MUÑECA		
	1	2	3	1	2	3
1	1	2	2	1	2	3
2	1	2	3	2	3	4
3	3	4	5	4	5	5
4	4	5	5	5	6	7
5	6	7	8	7	8	8
6	7	8	8	8	9	9

5.1.5 Unión de puntajes obtenidos para el grupo A y B

Luego de los resultados obtenidos en la etapa de puntuación grupal, se pueden notar que los soldadores uno, dos y cuatro obtuvieron los mismos puntajes tanto para la puntuación grupal del grupo A como del grupo B, por lo que a la hora de unir estos dos puntajes el resultado fue el mismo. Mientras que para el soldador número tres sus puntuaciones sí cambian.

SOLDADORES 1, 2, 4												
PUNTUACION A	PUNTUACION B											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
SOLDADOR 3												

PUNTUACION A	PUNTUACION B											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

5.1.6 Adición de puntaje por carga y fuerza.

Dado que para los cuatro, el modo de uso y las condiciones son las mismas, la puntuación que merecen por las características de la actividad es igual para los cuatro casos.

TABLA DE PUNTUACIÓN POR ACTIVIDAD FISICA				
	S 1	S 2	S 3	S 4
una o más partes permanecen estáticas por más de un minuto	0	0	0	0
movimientos repetitivos más de 4 veces por minuto	0	0	0	0
se producen cambios de postura importantes o se adoptan posturas inestables	0	0	0	0

5.1.7 Nivel de Acción Requerida

Luego de conocer la puntuación C y no adicionar ningún punto por el tipo de actividad, la sumatoria final en los cuatro casos es 1, lo que indica que con el adecuado uso del dispositivo la postura del soldador mientras suelda rodillera marca Dismet es ergonómicamente aceptable.

TABLA NIVELES DE ACCION REQUERIDA			
PUNTUACION FINAL	NIVEL DE ACCION	NIVEL DE RIESGO	ACTUACION
1	0	Inapreciable	No es necesaria una intervención
2 - 3	1	Bajo	Puede ser necesaria una intervención
4 - 7	2	Medio	Es necesaria una intervención
8 - 10	3	Alto	Es necesaria una intervención cuanto antes
11 - 15	4	Muy Alto	Es necesaria una intervención inmediata

5.2 CONCLUSIONES

Luego de evaluar ergonómicamente la postura que toman 4 soldadores mientras utilizan el dispositivo para soldadura se puede concluir que con este se cumplió con el objetivo de reducir los esfuerzos biomecánicos que se producían cuando el soldador no contaba con él, pues el nivel de riesgo ergonómico paso de muy alto a inapreciable.

También se puede notar que aunque el tronco sigue siendo el que tiene la valoración individual más alta, este solo se presenta en uno de los casos; y cabe resaltar la influencia que puede llegar a tener la silla en este resultado, pues la postura del operario depende de ella ya que al no tener un respaldo y no permitir graduar su altura, el soldador se ve obligado a inclinarse para encontrar apoyo sobre el dispositivo y así mantenerse cerca al rodillo pues la altura de la silla se lo impide.

Otro de los logros importantes con la implementación de la herramienta propuesta, es que durante la valoración individual, en ninguno de los casos se tuvo que adicionar puntos por desviación de los ejes corporales o por torsión. Lo que indica que estos y las posturas inestables fueron eliminados, reduciendo así sobreesfuerzos biomecánicos.

Y finalmente, la reducción en el tiempo usado en el trazo de la soldadura, gracias a la velocidad constante del motor, el operario requiere menos esfuerzo al intentar mantener la pistola mientras esta soldando.

BIBLIOGRAFIA

- ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESARIOS DE COLOMBIA (ANDI), Industria metalmeccánica de América Latina en creciente amenaza por competencia China [Documento en Línea] URL http://www.andi.com.co/pages/prensa/comunicados_prensa_detalle.aspx?Id=282, 10/03/2012
- CONFEDERACIÓN DE LA PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA ARAGONESA (CEPYME-ARAGÓN), *Manual de procedimientos para la evaluación de riesgos y condiciones de trabajo desde el punto de vista ergonómico en los trabajos de soldadura* (Zaragoza, Fundación para la prevención de riesgos laborales: 2010)
- ENGINEERING CONFERENCE OF THE CONVEYOR EQUIPMENT MANUFACTURERS ASSOCIATION, *Belt conveyors for bulk materials* (Florida: The Conveyor Equipment Manufacturers Association, 2007)
- FARRER FRANCISCO, MINAYA GILBERTO, NIÑO JOSÉ, RUIZ MANUEL, *Manual de Ergonomía* (Madrid: Fundación Mapfre, 1994)
- FUNDACIÓN PRODINTEC. *Diseño Industrial: Guía Metodológica*. Asturias: Predica.
- JUEZ, Fernando Martín, *Contribuciones para una antropología de diseño*. Barcelona: Editorial Gedisa, 2002
- KAPANDJI, A.I. *Fisiología Articular*, Tomo 1. Madrid: Medica Panamericana S.A., 2007.

- HERNANDEZ, Germán. Manual del Soldador. 22^a Edición. Madrid: Asociación Española de Soldadura y Tecnologías de Unión (CESOL), 2011
- LESKO, Jim. Diseño Industrial. Guía de Materiales y procesos de manufactura. 1 Ed. México D.F: Limusa, 2008
- MARADEI, Fernanda; ESPINEL, Francisco. Datos Antropométricos para el diseño, 1 Ed. Bucaramanga: División de publicaciones UIS, 2009.
- MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, Dirección de Riesgos Profesionales, VALIDACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCION DE INFORMACION DE CAMPO. Guía Técnica del programa de vigilancia epidemiológica de DME- ES, En Empresas Colombianas (Bogotá, 2009)
- MONDELO, Pedro; GREGORI, Enrique; BLASCO, Joan; BARRAU, Pedro *Ergonomía 3 Diseño de puestos de trabajo* (Barcelona: Edicions de Universitat Politècnica de Catalunya, 1999)
- MOTT, Robert. Diseño de elementos de Maquinas. México: Pearson Educación. 4^a Edición
- NORDIN, Margareta; FRANKEL, Víctor. Biomecánica Básica del Sistema Musculo esquelético, 3 ed. Madrid: McGraw Hill S.A., 2001
- NORTON, Robert. Diseño de Maquinaria. Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos. 4 ed. México D.F: McGraw Hill S. A., 2009
- O'BRIEN, Annette. Welding Handbook, Volume 1. 9^a Edición. Miami: American Welding Society, 2001

- RAMIREZ CAVASSA. Ergonomía y Productividad. 2ª Edición. México: Editorial Limusa
- RODRIGUEZ BECARIO; DONATELLI. Modelos del proceso de diseño.
- RODRIGUEZ, Gerardo. Manual de diseño Industrial. 3º Edición. México: Ediciones G. Gili
- UNIVERSIDAD DE MURCIA. Anatomía y Biomecánica de la Columna Vertebral [Documento en Línea] URL <http://ocw.um.es/gat/contenidos/palopez/contenidos/616e61746f6dc3ad615f706564726f5f616e67656c.pdf>, 19/06/2012
- UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA. REBA (*Rapid Entire Body Assessment*) [Documento en Línea] URL <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/reba/reba-ayuda.php> 22/06/2012

ANEXOS

ANEXO A:

FICHA TECNICA PARA LA APLICACIÓN DEL METODO RAPID ENTIRE BODY ASSESSMENT

OBJETIVOS

Evaluar y cuantificar los riesgos ergonómicos a los que están sometidos los operarios y soldadores de Dismet[®] mientras sueldan rodillera para estaciones de carga y retorno con y sin el prototipo del dispositivo planteado.

Validar por medio de un cotejo de resultados obtenidos en la aplicación de las dos pruebas la reducción de esfuerzos biomecánicos en los soldadores cuando están llevando a cabo la soldadura circunferencial de rodillos.

HIPOTESIS DE COMPROBACION

Con el uso del dispositivo propuesto, el operario esta menos expuesto a sufrir de algún tipo de trastorno musculo esquelético cuando suelda cordones circulares.

RECURSOS NECESARIOS

Recursos Humanos

Las pruebas serán aplicadas al soldador que generalmente se encarga de esta actividad dentro de la empresa, Jorge William Quintero. Y quien las aplique será quien lleva a cabo proyecto.

Recursos Técnicos

Equipo de Soldadura

Puesto del trabajador

Dispositivo (durante la segunda prueba)

Rodillera para estaciones de retorno

Cámara Filmadora

Trípode

Infraestructura

Las pruebas serán llevadas a cabo dentro de la planta principal de Dismet en Bogotá, en la calle 9 # 41b – 16. En la cabina de soldadura del operario a quien se le va a aplicar.

METODOLOGIA

La primera prueba será aplicada en el lugar de trabajo con los mismos implementos con los que siempre cuenta el soldador para llevar a cabo su actividad, se le pedirá que suelde rodillera para estaciones de retorno con un largo no inferior a un metro.

Ya para la segunda se incorporara el dispositivo dentro del espacio de trabajo del soldador y se le pedirá que suelde rodillos con una longitud mínima de un metro.

ANALISIS DE RESULTADOS

Luego de grabar al operario llevando a cabo la actividad, la información recolectada será ordenada de acuerdo por la metodología y se terminara por aplicar cada uno de los pasos que la conforman. Luego se cotejaran los resultados obtenidos para así validar la reducción de esfuerzos biomecánicos.

ANEXO B: PLANOS DE CONSTRUCCION

ITEM: Dispositivo para soldadura circular (30°)

ITEM: Dispositivo para soldadura circular (35°)

ITEM: Dispositivo para soldadura circular (40°)

ITEM: Dispositivo para soldadura circular
CANT.: 1

SOPORTE DE LA ANTORCHA

PLATO DE SUJECIÓN PARA EL RODILLO (Aislante Eléctrico)

APOYABRAZOS

BASE MOTOR (Aislante Eléctrico)

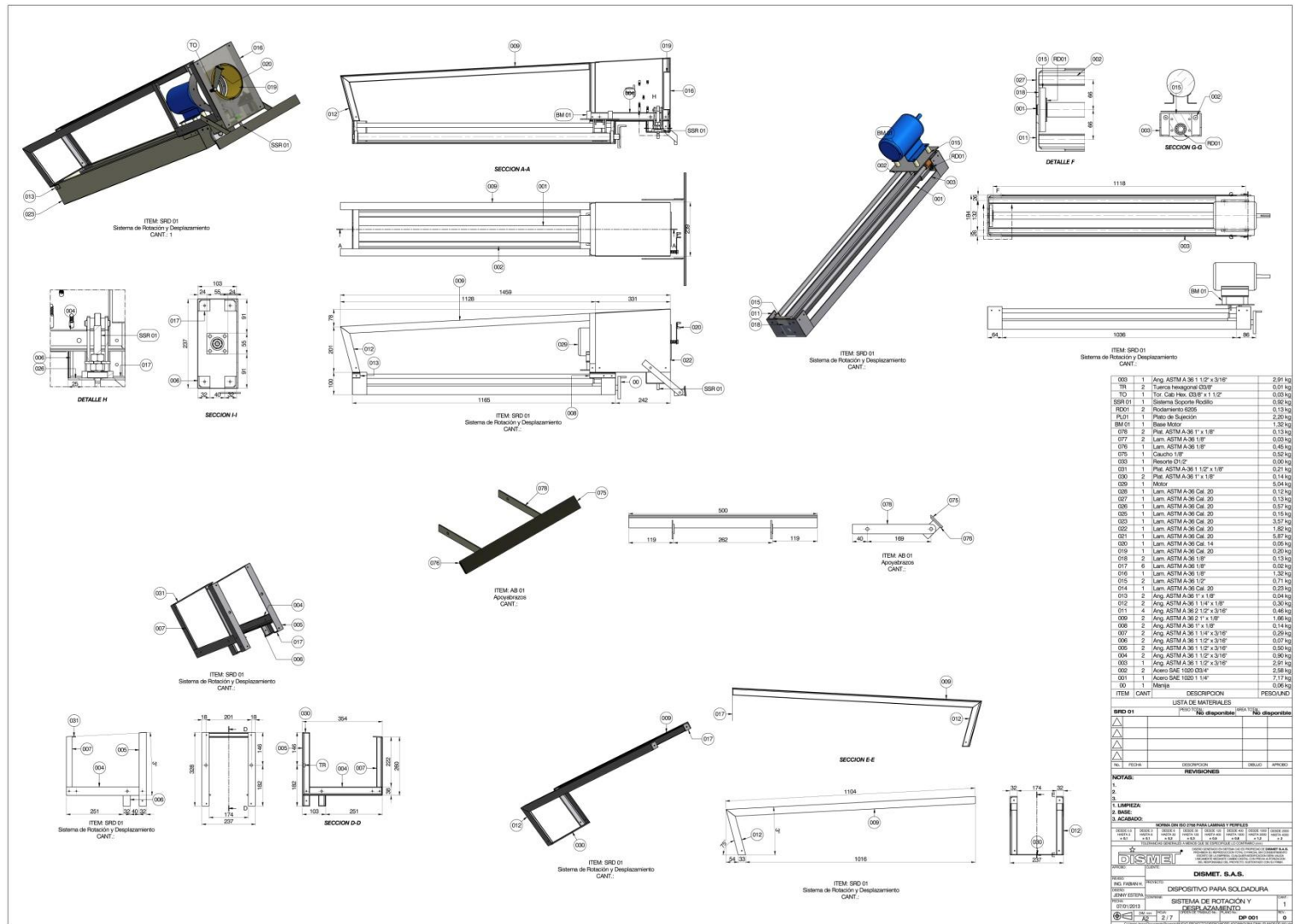
ESTRUCTURA SOPORTE (Graduable de 30° a 40°)

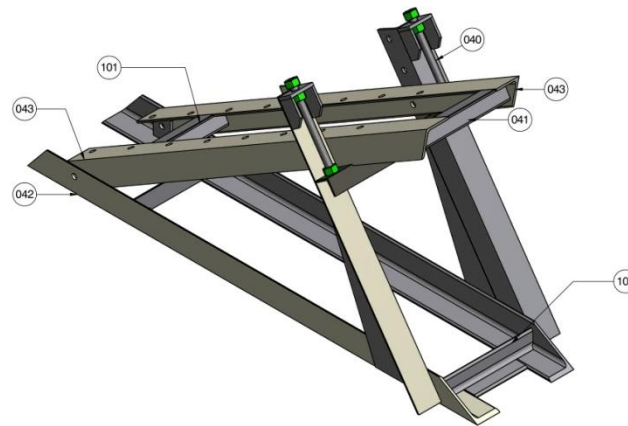
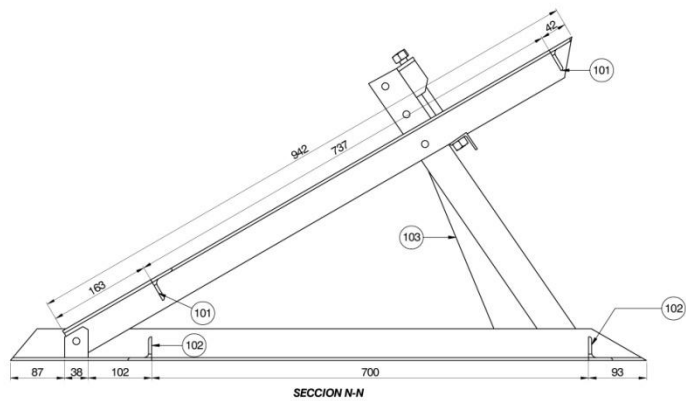
CARCASA

TORNILLO Y SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO (Cambio de longitud de los rodillos)

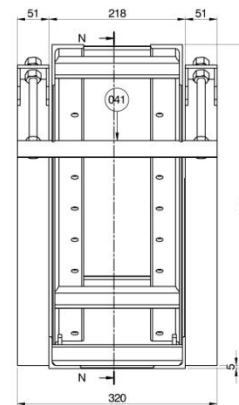
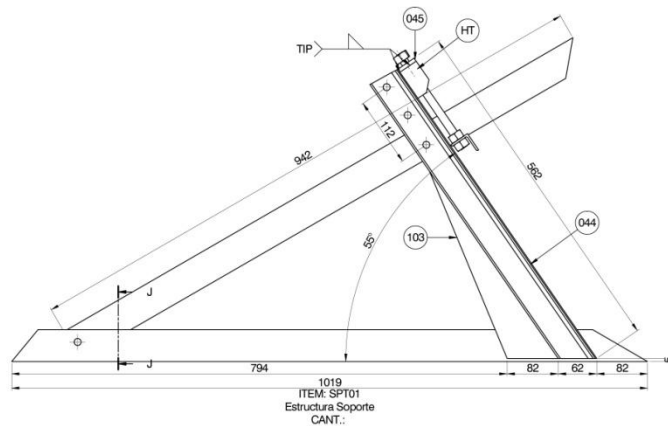
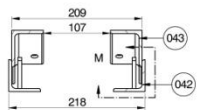
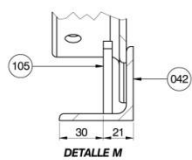
SECCION L-L

ITEM	CANT	DESCRIPCION	PESO/UND			
SRD 01	1	Sistema de Rotación y Desplazamiento	57,10 kg			
SPT01	1	Estructura Soporte	22,09 kg			
LISTA DE MATERIALES						
PESO TOTAL		TAREA TOTAL				
No disponible		No disponible				
NO.	FECHA	DESCRIPCION	DIBUJ	APROB		
REVISIONES						
NOTAS:						
1.						
2.						
3.						
1. LIMPIEZA:						
2. BASE:						
3. ACABADO:						
NORMA DIN ISO 2768 PARA LAMINAS Y PERFILES						
DESDE 03 ± 0,1	DESDE 3 ± 0,15	DESDE 6 ± 0,2	DESDE 30 ± 0,3	DESDE 100 ± 0,4	DESDE 1000 ± 0,5	DESDE 2000 ± 0,6
TOLERANCIAS DE BARRIL A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE O CONTRARIO (mm)						
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y SISTEMAS CAD 3D PROPIEDAD DE DISMET S.A.S. PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN O TOTAL O PARCIAL DEL CONTENIDO DEL PRESENTE DISEÑO SIN LA AUTORIZACIÓN POR ESCRITO DE DISMET S.A.S.						
APROBADO:		CLIENTE:				
ING. FABIAN H.		DISMET. S.A.S.				
TÍTULO:		PROYECTO:				
JENNY ESTEPA		DISPOSITIVO PARA SOLDADURA				
FECHA:		CONTENIDO:		CANT.		
07/01/2013						
DISEÑO:		ORDEN DE TRABAJO NO.:		PLANO NO.:		RET.
B		1/7		DP 001		0





ITEM: SPT01
Estructura Soporte
CANT.:1



ITEM	CANT	DESCRIPCION	PESOUND
HT	8	Tuerca hex. 1/2"	0.03 kg
105	2	Lam. ASTM A-36 1/4"	0.07 kg
104	4	Plat. ASTM A-36 1 1/4" x 1/4"	0.05 kg
103	2	Lam. ASTM A-36 1/4"	0.58 kg
102	2	Ang. ASTM A-36 1 1/2" x 1/4"	0.44 kg
101	2	Ang. ASTM A-36 1 1/2" x 1/4"	0.41 kg
045	2	Plat. ASTM A-36 1 1/4" x 1/4"	0.07 kg
044	2	Ang. ASTM A-36 2" x 3/16"	2.02 kg
043	2	Ang. ASTM A-36 2" x 3/16"	3.36 kg
042	2	Ang. ASTM A-36 2" x 3/16"	3.59 kg
041	1	Ang. ASTM A-36 1" x 1/8"	0.48 kg
040	2	Acero SAE 1020 01/2"	0.02 kg

ITEM	CANT	DESCRIPCION	PESOUND
LISTA DE MATERIALES			
SPT 01		PESO TOTAL: No disponible	AREA TOTAL: No disponible

No.	FECHA	DESCRIPCION	DIBUJO	APROBADO
REVISIONES				

NOTAS:
1.
2.
3.

1. LIMPIEZA:
2. BASE:
3. ACABADO:

NORMA DIN ISO 2768 PARA LAMINAS Y PERFILES							
DESDE 0.5	DESDE 0.5	DESDE 0.5	DESDE 10	DESDE 400	DESDE 1000	DESDE 2000	DESDE 5000
HASTA 0.3	HASTA 0.3	HASTA 0.3	HASTA 0.3	HASTA 0.3	HASTA 0.3	HASTA 0.3	HASTA 0.3
± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1

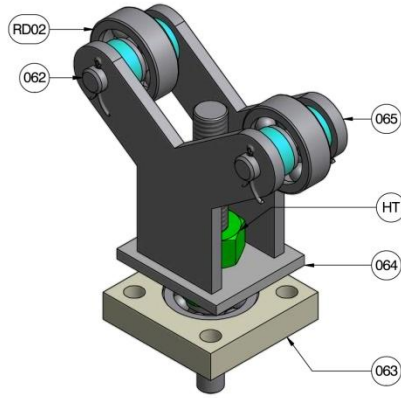
DISMET S.A.S.
PROYECTO DE INGENIERIA Y FABRICACION DE MAQUINARIA
DISEÑO DE LA EMPRESA, CUALQUIER MODIFICACION ESTA EN UN
LIBREMENTE RESERVA. COMPROBADO, CONTROLADO Y APROBADO
DE RESPONSALE DEL PROYECTO. SUSTITUIR A LOS USUARIOS.

DISMET S.A.S.
CLIENTE

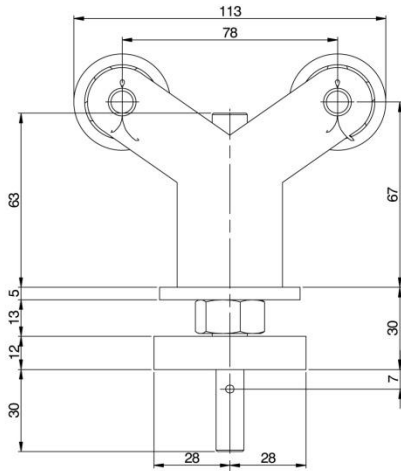
REVISOR: ING. FABIAN H. ESTEPA
DISEÑO: JENNY ESTEPA
FECHA: 07/01/2013

PROYECTO: DISPOSITIVO PARA SOLDADURA
CONTIENE: SOPORTE
CANT.: 1

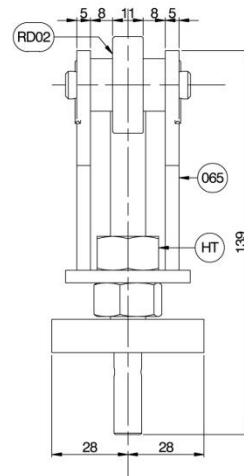
ORDEN DE TRABAJO NO.: 5/7
PLANO NO.: DP 001
Escala: 1:1



ITEM: SSR 01
Sistema Soporte Rodillo
CANT.:



ITEM: SSR 01
Sistema Soporte Rodillo
CANT.:



ITEM	CANT	DESCRIPCION	PESO/UND
HT	2	Tuerca hex. 1/2"	0,03 kg
RD02	3	Rodamiento 6300	0,05 kg
066	4	Pasador de aletas	0,00 kg
065	2	Lam. ASTM A-36 3/16"	0,15 kg
064	1	Lam. ASTM A-36 3/16"	0,01 kg
063	1	Lam. ASTM A-36 1/2"	0,18 kg
062	2	Acero SAE 1020 Ø1/2"	0,03 kg
061	4	Acero SAE 1020 Ø3/4"	0,01 kg
060	1	Acero SAE 1020 Ø1/2"	0,11 kg

LISTA DE MATERIALES

ITEM	CANT	DESCRIPCION	PESO/UND
AR01		PESO TOTAL: 0,92 kg AREA TOTAL: 67073,10 mm²	

No.	FECHA	DESCRIPCION	DIBUJO	APROBO
△				
△				
△				
△				

REVISIONES

NOTAS:

- 1.
- 2.
- 3.

1. LIMPIEZA:

2. BASE:

3. ACABADO:

NORMA DIN ISO 2768 PARA LAMINAS Y PERFILES

DESDE 0,5 HASTA 3 ± 0,1	DESDE 3 HASTA 6 ± 0,1	DESDE 6 HASTA 30 ± 0,2	DESDE 30 HASTA 120 ± 0,3	DESDE 120 HASTA 400 ± 0,5	DESDE 400 HASTA 1000 ± 0,8	DESDE 1000 HASTA 2000 ± 1,2	DESDE 2000 HASTA 4000 ± 2
-------------------------------	-----------------------------	------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------

TOLENCIAS GENERALES A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO (mm)

DISMET S.A.S. PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN CONSENTIMIENTO ESCRITO DE LA EMPRESA. CUALQUIER MODIFICACION SERA VALIDA UNICAMENTE MEDIANTE CAMBIO DIGITAL CON PREVIA AUTORIZACION DEL RESPONSABLE DEL PROYECTO, SUBSTANTIADO CON SU FIRMA.

APROBO:	CLIENTE:
ING. FABIAN H.	
PROYECTO:	
DISMET	
DESIGNO: JENNY ESTEFA	CONTIENE:
FECHA: 11/01/2013	APOYO RODILLO
	CANT.: 1
DIM. mm A	HOJA: 1 / 2
ORDEN DE TRABAJO No.:	PLANO No.:
REV.:	

C:\Users\Jenny\Documents\Proyecto\NUEVO PROYECTO\DISEÑO\MODELADO\MAQUINA FINAL\PLANOS\AR 02.dwg

