

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PROTOTIPO  
MULTIFUNCIÓN PARA EL MONTAJE Y MANTENIMIENTO  
PREDICTIVO EN TORRES AUTOSOPORTADAS DE  
TELECOMUNICACIONES DE 24 METROS DE ALTURA PARA LA  
EMPRESA MAGA.CIA.LTDA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**SANTIAGO ESTEBAN LARREA SANTAMARÍA**

**DIRECTOR: ING. PATRICIO RIOFRÍO**

**CODIRECTOR: ING. MILTON ACOSTA**

**SANGOLQUÍ, 2012-04**

## RESUMEN

El presente proyecto de grado titulado “Diseño y construcción de una máquina prototipo multifunción para el montaje y mantenimiento predictivo en torres autosoportadas de telecomunicaciones de 24 metros de altura para la empresa MAGA CIA.LTDA.”, es una investigación de campo de alternativas para mejorar los tiempos que se emplean en el procedimiento de ensamble de estructuras metálicas del tipo empernadas.

El proyecto consiste en el diseño y construcción de una máquina prototipo que ayude a disminuir el tiempo, las herramientas y la mano de obra dentro del proceso de ensamble de torres de telecomunicaciones empernadas. Por medio de investigaciones bibliográficas y de campo se conocieron los diferentes métodos que se empleaban para llevar a cabo el procedimiento de ensamble de estructuras empernadas, es así que en la investigación se determinó que la alternativa más viable para llevar a cabo este procedimiento era a través del uso de una llave de impacto inalámbrica acoplada con un mecanismo multifunción.

El mecanismo multifunción es un dispositivo mecánico que tiene la capacidad de reemplazar y colocar en los agujeros de la estructura una tuerca y un perno de manera simultánea, además de darle el ajuste necesario estipulado según el diseño de la estructura. Para llevar a cabo este procedimiento se emplean dispensadores los cuales se encargan de dirigir los pernos y tuercas a través de sus respectivas guías hacia los agujeros en la torre.

Para el diseño fue necesario investigar maquinaria que al menos cumpla con alguna de las funciones que posee la máquina prototipo construida, ya que al ser una máquina de la cual no hay antecedentes era necesario tener en cuenta todas las posibles alternativas funcionales para satisfacer la necesidad planteada, a fin de cumplir con el objetivo planteado fue necesario que la máquina prototipo cumpliera con los parámetros planteados tales como peso máximo 20 kg, alta maniobrabilidad en la altura y desempeño en condiciones de uso prolongado.

Los parámetros de diseño fueron tomados a partir de algunas máquinas que se emplean dentro del proceso de ensamble en otros países, ya que al no contar con una sola máquina que realice el proceso de manera continua fue necesario incluir todas las utilidades en un solo diseño.

Una vez obtenida toda la información se procedió al diseño de los elementos siguiendo los conceptos y las recomendaciones técnicas; este paso fue sucedido por la construcción, montaje y funcionamiento del prototipo.

Luego de la puesta en marcha se procedió a las pruebas que corroborarían los parámetros de operación empleados en el diseño. En el desarrollo de las pruebas se comprobó que efectivamente la máquina prototipo disminuye el tiempo en el proceso de montaje de las torres empernadas mejorando así la forma tradicional de montar las estructuras empernadas.

El presente proyecto fue desarrollado como un aporte para las industrias que se dedican a la fabricación y montaje de estructuras metálicas empernadas, es un proyecto que ayudará en el trabajo en las alturas disminuyendo el esfuerzo físico de los operarios, contrarrestando así el alto índice de accidentes.

## ABSTRACT

This graduation project entitled "Design and construction of a prototype multifunction machine assembly and maintenance predictive freestanding telecommunications towers 24 meters high for the company MAGA CIA.LTDA." Is a field investigation of alternatives to improve times used in the assembly procedure of the type bolted metal structures.

The project involves the design and construction of a prototype machine to help decrease the time, tools and labor in the assembly process of telecommunications towers bolted. Through literature research and field met the different methods used to carry out the process of assembly of bolted structures, so that the investigation found that the most viable alternative to perform this procedure was through the use of an impact wrench mechanism wirelessly coupled with a multifunctional.

The multifunction mechanism is a mechanical device that has the ability to replace the holes and place in the structure of a nut and bolt simultaneously, besides giving the necessary adjustment provided by the design of the structure. To perform this procedure is used dispensers which are responsible for directing the bolts and nuts through their respective guides to the holes in the tower.

To design machinery that was necessary to investigate at least comply with any of the functions has the prototype machine constructed as to be a machine which no history was necessary to consider all possible functional alternatives to meet the need felt in order to fulfill the objective was necessary for the prototype machine met the study parameters such as maximum weight 20 kg, high maneuverability at high altitude and performance under conditions of prolonged use.

The design parameters were taken from some machines that are used in the assembly process in other countries, since we do not have a single machine to perform a continuous process was necessary to include all utilities in a single design.

Once all the information we proceeded to design the elements following the concepts and technical recommendations, this step was followed by the construction, installation and operation of the prototype.

After start-up proceeded to the tests that corroborate the operational parameters employed in the design. In the development of tests it was found that effectively decreases the time prototype machine in the assembly process of the towers bolted thereby improving the traditional way of mounting structures bolted.

This project was developed as a contribution to industries engaged in the manufacture and assembly of bolted steel structures, is a project that will help in the work at heights reducing the physical effort of the workers, offsetting the high accident rate.

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto de grado titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PROTOTIPO MULTIFUNCIÓN PARA EL MONTAJE Y MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN TORRES AUTOSOPORTADAS DE TELECOMUNICACIONES DE 24 METROS DE ALTURA PARA LA EMPRESA MAGA.CIA.LTDA” fue realizado en su totalidad por EL Sr. SANTIAGO ESTEBAN LARREA SANTAMARÍA como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniero Mecánico.

---

**Ing. Patricio Riofrío**  
**DIRECTOR**

---

**Ing. Milton Acosta**  
**CODIRECTOR**

**Sangolquí, 2012-04-12**

## **LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PROTOTIPO MULTIFUNCIÓN PARA EL MONTAJE Y MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN TORRES AUTOSOPORTADAS DE TELECOMUNICACIONES DE 24 METROS DE ALTURA PARA LA EMPRESA MAGA.CIA.LTDA”**

**ELABORADO POR:**

---

**Santiago Esteban Larrea Santamaría**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

**Ing. Xavier Sánchez**

**DIRECTOR DE CARRERA**

**Sangolquí, 2012-04**

## DEDICATORIA

A mis padres Santiago y Mónica a mi hermano Isaac Gabriel, por ser el pilar fundamental de mi vida, por su dedicación, amor incondicional y comprensión, por enseñarme a no rendirme nunca y luchar cada día de mi existencia por alcanzar todos y cada uno de los sueños y metas que me haya planteado.

A María Gabriela, por todos estos años llenos de amor sincero y apoyo incondicional, por estar siempre a mi lado en los buenos y malos momentos, por ser mi amiga, mi compañera y confidente. Por luchar cada día junto a mí, para conseguir este gran objetivo.



## **AGRADECIMIENTO**

A DIOS, por brindarme cada instante de mi vida para poder disfrutarlo con cada uno de mis seres amados, por ser mi guía en cada una de las etapas de mi vida y por ayudarme a conseguir esta meta.

A mis padres y mi hermano, por brindarme todo su amor y comprensión cada día, por su apoyo en cada uno de los objetivos y anhelos que he me propuesto conseguir a lo largo de toda mi vida.

A María Gabriela, por estar siempre junto a mí, por brindarme su apoyo y amor incondicional, por sus palabras de ánimo y comprensión que me han ayudado a afrontar momentos difíciles.

A mi director y codirector de tesis Ing. Patricio Riofrío e Ing. Milton Acosta, por su dedicación, por sus acertados consejos y observaciones a lo largo del desarrollo y culminación de este proyecto.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	II
ABSTRACT .....	IV
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO .....	VII
DEDICATORIA.....	VIII
AGRADECIMIENTO .....	IX
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XIX
NOMENCLATURA.....	XXI
CAPÍTULO 1 .....	1
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO .....	1
1.1. ANTECEDENTES .....	1
1.1.1. HISTORIA.....	1
1.1.2. NECESIDAD .....	2
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. GENERAL .....	3
1.3.2. ESPECÍFICOS .....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO .....	4
1.5. ALCANCE .....	6
CAPÍTULO 2 .....	7
MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. CONCEPTO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS .....	7
2.2. TORRES DE TELECOMUNICACIONES .....	7
2.3. TIPOS DE TORRES DE TELECOMUNICACIONES.....	8
2.3.1. TORRES AUTOSOPORTADAS.....	8
2.3.2. TORRES ATIRANTADAS.....	10
2.3.3. TORRES MÓVILES .....	11
2.4. FABRICACIÓN DE TORRES DE TELECOMUNICACIONES .....	12
2.4.1. TRAZADO, CORTE, PUNZONADO Y SOLDADO .....	12
2.4.2. ACERO USADO EN TORRES .....	13
2.4.3. MIEMBROS ESTRUCTURALES LAMINADOS EN CALIENTE .....	15

2.4.4. PROCESO DE GALVANIZADO EN CALIENTE .....	16
2.4.4.1. Galvanizado general.....	16
2.4.4.2. Ventajas del uso de acero galvanizado en torres.....	17
2.5. MONTAJE DE TORRES DE TELECOMUNICACIONES .....	18
2.5.1. IZAJE DE LAS TORRES .....	18
2.5.2. INSTALACIÓN DE EQUIPOS .....	19
2.5.3. MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS Y LA TORRE .....	20
2.5.4. EQUIPO Y HERRAMIENTAS PARA EL MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE TORRES .....	22
2.5.4.1. Equipo de montaje.....	23
2.5.4.1.1.Cuerdas .....	23
2.5.4.1.2.Poleas .....	23
2.5.4.1.3.Mosquetones .....	23
2.5.4.1.4.Mecanismo de anclaje.....	24
2.5.4.1.5.Descendedores.....	24
2.5.4.1.6.Equipos mecánicos para el ascenso o descenso de cargas .....	25
2.5.4.2. Herramientas de montaje .....	25
2.5.4.2.1.Llave de mano .....	25
2.5.4.2.2.Taladros magnéticos .....	27
2.5.4.2.3.Torquímetros .....	27
2.6. DATOS DE TIEMPOS DE MONTAJE Y MANTENIMIENTO.....	28
2.7. MANIOBRABILIDAD Y DESEMPEÑO DE HERRAMIENTAS EN LA ALTURA .....	29
2.8. JUNTAS EMPERNADAS Y PERNOS USADOS EN TORRES DE TELECOMUNICACIONES .....	30
2.8.1.JUNTAS TIPO FRICCIÓN Y TIPO APLASTAMIENTO .....	30
2.8.2.FALLAS EN JUNTAS EMPERNADAS .....	32
2.8.3.TIPOS DE PERNOS .....	33
2.8.3.1. Pernos ordinarios o comunes.....	33
2.8.3.2. Pernos de alta resistencia .....	33
2.8.3.2.1.Ventajas de los pernos de alta resistencia .....	34
2.8.4..PERNOS APRETADOS SIN HOLGURA Y PERNOS COMPLETAMENTE TENSADOS.....	35

2.8.5. MÉTODOS PARA TENSAR COMPLETAMENTE LOS PERNOS DE ALTA RESISTENCIA .....	38
2.8.5.1. Método de giro de tuerca.....	38
2.8.5.2. Método de la llave calibrada.....	38
2.8.5.3. Indicador directo de tensión .....	39
2.8.5.4. Pernos de diseño alternativo .....	39
2.8.6. TAMAÑOS DE LOS AGUJEROS PARA PERNOS.....	40
2.8.6.1. Los agujeros holgados.....	41
2.8.6.2. Los agujeros de ranura corta .....	42
2.8.6.3. Los agujeros de ranura larga .....	42
2.9. LLAVE DE IMPACTO .....	43
2.9.1. LLAVE DE IMPACTO INALÁMBRICA .....	44
2.10. MOTORES DC.....	45
2.11. TORNILLO DE POTENCIA .....	46
CAPÍTULO 3 .....	48
DISEÑO.....	48
3.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS JUNTAS EMPERNADAS EMPLEADAS EN TORRES DE TELECOMUNICACIONES DE 24 M DE ALTURA.....	48
3.1.1. TIPOS DE JUNTAS Y GEOMETRÍA.....	48
3.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS .....	50
3.1.3. TORQUE RECOMENDADO EN LAS JUNTAS .....	50
3.2. FUNCIONES, REQUISITOS DE DISEÑO Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN. ....	51
3.2.1. FUNCIONES .....	51
3.2.2. REQUISITOS DE DISEÑO .....	51
3.2.3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN.....	52
3.3. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	52
3.3.1. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO .....	52
3.3.2. ALTERNATIVAS DE LLAVES DE IMPACTO .....	53
3.3.2.1. Alternativa de llave de impacto 1 (Neumática) .....	53
3.3.2.2. Alternativa de llave de impacto 2 (Eléctrica).....	54
3.3.2.3. Alternativa de llave de impacto 3 (Inalámbrica).....	54
3.3.2.4. Selección de la mejor alternativa de llave de impacto .....	55

3.3.3. ALTERNATIVAS DE DISEÑO DEL MECANISMO PARA HERRAMIENTA MULTIFUCCIÓN .....	58
3.3.3.1. Alternativa de mecanismo 1 .....	58
3.3.3.2. Alternativa de mecanismo 2 .....	59
3.3.3.3. Alternativa de mecanismo 3 .....	59
3.3.3.4. Selección de la mejor alternativa de mecanismo .....	60
3.3.4. ALTERNATIVAS DE MATERIALES PARA EL MECANISMO DE LA HERRAMIENTA MULTIFUCCIÓN .....	63
3.3.4.1. Alternativa de material 1 (Acero).....	63
3.3.4.2. Alternativa de material 2 (Aluminio) .....	63
3.3.4.3. Alternativa de material 3 (Poliamida) .....	64
3.3.4.4. Selección de la mejor alternativa de material .....	64
3.4. DISEÑO DE LA MÁQUINA PROTOTIPO .....	67
3.4.1. BOSQUEJO Y LISTA DE ELEMENTOS.....	67
3.4.2. DISEÑO Y SELECCIÓN DE CADA ELEMENTO .....	69
3.4.2.1. Llave de impacto.....	69
3.4.2.2. Bastidor carcasa móvil.....	69
3.4.2.3. Carcasa móvil .....	70
3.4.2.4. Brida de soporte.....	70
3.4.2.5. Motor eléctrico DC .....	71
3.4.2.6. Rodamiento de agujas.....	71
3.4.2.7. Soporte camisa giratoria.....	72
3.4.2.8. Camisa giratoria.....	74
3.4.2.9. Tornillo elevador de tuercas .....	85
3.4.2.10. Copa.....	85
3.4.2.11. Chumacera .....	91
3.4.2.12. Tornillo desplaza pernos .....	91
3.4.2.13. Dispensador pernos .....	92
3.4.2.14. Empujador de pernos .....	92
3.4.2.15. Baterías motor DC 2.....	93
3.4.2.16. Soporte y motor DC 2.....	93
3.4.2.17. Brazo de apoyo.....	93
3.4.2.18. Baterías motor DC 1 .....	96
3.4.2.19. Control eléctrico motor DC 1 .....	96

CAPÍTULO 4 .....	97
CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE .....	97
4.1. RECURSOS .....	97
4.1.1. MATERIALES.....	97
4.1.1.1. Lista de materiales a maquinarse .....	97
4.1.1.2. Lista de materiales normalizados .....	98
4.1.2. EQUIPOS .....	98
4.1.3. MANO DE OBRA .....	98
4.2. CONSTRUCCIÓN .....	98
4.2.1. PLANOS DE DETALLE (Ver ANEXO A).....	98
4.2.2. DIAGRAMAS DE PROCESOS DE ELEMENTOS FABRICADOS .....	99
4.3. ENSAMBLE .....	111
4.3.1. DIAGRAMA DE ENSAMBLE DE LOS ELEMENTOS DE LA MÁQUINA PROTOTIPO .....	111
CAPÍTULO 5 .....	112
PRUEBAS .....	112
5.1. PRUEBAS DE LA MÁQUINA PROTOTIPO EN EL CAMPO .....	112
5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	116
CAPÍTULO 6 .....	118
ANALISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO .....	118
6.1. INVERSIÓN .....	118
6.1.1. INVERSIÓN DE DISEÑO .....	118
6.1.2. INVERSIÓN DE CONSTRUCCIÓN .....	119
6.1.3. INVERSIÓN DE INSTALACIÓN Y PUESTA A PUNTO .....	120
6.2. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	121
6.2.1. COSTOS DIRECTOS .....	121
6.2.2. COSTOS INDIRECTOS .....	122
6.2.3. BENEFICIOS.....	122
6.3. ANÁLISIS FINANCIERO .....	123
CAPÍTULO 7 .....	126
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	126
7.1. CONCLUSIONES.....	126
7.2. RECOMENDACIONES .....	127
REFERENCIAS.....	129

BIBLIOGRÁFICAS .....	129
INTERNET .....	129
ANEXOS .....	124
ANEXO A: PLANOS DE DETALLE Y CONJUNTO.....	133
ANEXO B: SELECCIÓN DEL RODAMIENTO.....	134
ANEXO C: PLANO DE ENSAMBLE .....	135

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Estructura autosoportada (torre triangular de telecomunicaciones) .	2
Figura 1.2 Proceso de ensamble manual de una torre .....	3
Figura 1.3 Proceso de montaje de una torre de 24 m de altura .....	4
Figura 1.4 Llave de impacto inalámbrica .....	5
Figura 1.5 Sistema de intercambio de herramientas.....	5
Figura 2.1 Torre autosoportada de telecomunicaciones de 102 metros de altura .....	9
Figura 2.2 Guardacuerpos sobre la escalera de una torre de 102 metros de altura .....	9
Figura 2.3 Monopolo de 36 metros de altura .....	10
Figura 2.4 Torre atirantada .....	11
Figura 2.5 Estación de rápido despliegue ERD .....	12
Figura 2.6 Torre móvil o estación de rápido despliegue ERD .....	12
Figura 2.7 Proceso de fabricación .....	13
Figura 2.8 Representación esquemática del proceso de laminado .....	15
Figura 2.9 Esquema del proceso de galvanizado general .....	16
Figura 2.10 Personal de montaje colocando la pluma .....	18
Figura 2.11 Organización del material previo al montaje .....	19
Figura 2.12 Antena Microonda y cableado para torre de 24 metros de altura .	19
Figura 2.13 Torres de 60 metros de altura con antenas Microondas (Monjas-Quito) .....	20
Figura 2.14 Proceso de mantenimiento de pernos .....	21
Figura 2.15 Proceso de mantenimiento de antenas .....	22
Figura 2.16 Taladro Magnético .....	27
Figura 2.17 Torquímetro tipo click .....	28

Figura 2.18 a) Junta traslapada b) Junta a tope .....	31
Figura 2.19 Fallas en juntas empernadas .....	32
Figura 2.20 Pernos ASTM A307 .....	33
Figura 2.21 Pernos ASTM A325 .....	34
Figura 2.22 Apriete con llave manual en bases de torres de 24 metros de altura .....	36
Figura 2.23 Llave de impacto. Puede ser eléctrica o neumática .....	39
Figura 2.24 “Perno indicador de carga” o “Perno de control de la tensión”. Note las estrías en el extremo del vástago del perno .....	40
Figura 2.25 Placa con agujeros holgados .....	42
Figura 2.26 Agujeros de ranura larga .....	43
Figura 2.27 Llave de impacto neumática .....	44
Figura 2.28 Llave de impacto inalámbrica .....	44
Figura 2.29 Motores de Corriente Continua .....	46
Figura 2.30 Tornillo de potencia .....	46
Figura 3.1 Junta de dos pernos de 16 mm. de diámetro.....	48
Figura 3.2 Junta de tres pernos de 16 mm. de diámetro .....	48
Figura 3.3 Junta de un perno de 16 mm. de diámetro .....	49
Figura 3.4 Junta de seis pernos de 16 mm. de diámetro .....	49
Figura 3.5 Junta de ocho pernos de 18 mm. de diámetro .....	49
Figura 3.6 Llave de impacto neumática marca PORTER CABLE .....	53
Figura 3.7 Sistema de intercambio de herramientas .....	54
Figura 3.8 Llave de impacto eléctrica marca DeWALT .....	54
Figura 3.9 Llave de impacto inalámbrica marca DeWalt .....	55
Figura 3.10 Alternativa 1 de mecanismo .....	58
Figura 3.11 Alternativa 2 de mecanismo .....	59
Figura 3.12 Alternativa 3 de mecanismo .....	60
Figura 3.13 Alternativas de material .....	64
Figura 3.14 Bosquejo del diseño de la máquina prototipo final con elementos .....	67
Figura 3.15 Llave de impacto .....	69
Figura 3.16 Bastidor carcasa móvil .....	69
Figura 3.17 Carcasa móvil .....	70
Figura 3.18 Brida de soporte .....	70



Figura 3.19 Motor eléctrico DC .....	71
Figura 3.20 Rodamiento de agujas .....	72
Figura 3.21 Carcasa móvil.....	73
Figura 3.22 Camisa giratoria dividida en secciones .....	74
Figura 3.23 Sección 1 camisa giratoria.....	74
Figura 3.24 Sección 2 dividida en tres segmentos .....	78
Figura 3.25 Sección 2 camisa giratoria .....	78
Figura 3.26 Tornillo elevador de tuercas .....	85
Figura 3.27 Copa .....	85
Figura 3.28 Propiedades del material de aporte .....	89
Figura 3.29 Zonas de soldadura en la copa .....	89
Figura 3.30 Chumacera y rodamiento .....	91
Figura 3.31 Tornillo desplaza pernos .....	91
Figura 3.32 Dispensador de pernos .....	92
Figura 3.33 Empujador de pernos .....	92
Figura 3.34 Baterías motor DC 2 .....	93
Figura 3.35 Soporte del motor DC 2 .....	93
Figura 3.36 Brazo de apoyo .....	94
Figura 3.37 Baterías motor DC 1 .....	96
Figura 3.38 Control eléctrico motor DC 1 .....	96
Figura 4.1 Diagrama de procesos de Brida de soporte .....	99
Figura 4.2 Diagrama de procesos de las chumaceras .....	100
Figura 4.3 Diagrama de procesos del bastidor de la carcasa móvil .....	101
Figura 4.4 Diagrama de procesos de la carcasa móvil .....	102
Figura 4.5 Diagrama de procesos del soporte de camisa giratoria .....	103
Figura 4.6 Diagrama de procesos de la camisa giratoria .....	104
Figura 4.7 Diagrama de procesos del dispensador de pernos .....	105
Figura 4.8 Diagrama de procesos del tornillo elevador de tuercas y pernos ..	106
Figura 4.9 Diagrama de procesos de la copa .....	107
Figura 4.10 Diagrama de procesos del brazo de apoyo .....	108
Figura 4.11 Soporte del motor 2 .....	109
Figura 4.12 Diagrama de procesos del empujador de pernos .....	110
Figura 4.13 Diagrama general de la máquina prototipo terminada .....	111
Figura 5.1 Ensamble manual en torre .....	113

Figura 5.2 Desensamble manual en torre .....	113
Figura 5.3 Ensamble manual en placas .....	113
Figura 5.4 Desensamble manual en placas .....	114
Figura 5.5 Ensamble y desensamble de placas con la máquina prototipo ....	114
Figura 5.6 Pruebas de máquina prototipo en la torre .....	114

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Datos de los perfiles de acero estructural .....	14
Tabla 2.2 Requisitos mínimos de la cuerda.....	23
Tabla 2.3 Requisitos mínimos de la polea .....	23
Tabla 2.4 Requisitos mínimos del mosquetón.....	24
Tabla 2.5 Requisitos mínimos del mecanismo .....	24
Tabla 2.6 Requisitos mínimos del descendedor .....	24
Tabla 2.7: Requisitos mínimos del winche.....	25
Tabla 2.8: Llave de boca cerrada.....	25
Tabla 2.9: Llave de dos bocas .....	26
Tabla 2.10: Llave de doble caja .....	26
Tabla 2.11: Llave de trinquete .....	26
Tabla 2.12: Tabla comparativa de tiempos según la altura de las torres de telecomunicaciones .....	28
Tabla 2.13 Tensión (en klb) requerida en los pernos para conexiones tipo fricción y para conexiones sujetas a tensión directa .....	38
Tabla 2.14 Dimensiones nominales de agujeros .....	41
Tabla 3.1 Datos de la cantidad de pernos, tamaño de pernos y cantidad de juntas .....	49
Tabla 3.2 Perfiles metálicos empleados en una torre de 24 m de altura .....	50
Tabla 3.3 Valores de torque recomendados en una torres de telecomunicaciones .....	51
Tabla 3.4 Tabla de características de llaves de impacto .....	56
Tabla 3.5 Tabla de factibilidad de alternativas de llaves de impacto .....	2
Tabla 3.6 Tabla de características del mecanismo .....	65
Tabla 3.7 Tabla de factibilidad de alternativas de diseño del mecanismo .....	62
Tabla 3.8 Tabla de características de materiales .....	65

Tabla 3.9 Tabla de factibilidad de alternativas de materiales .....	66
Tabla 3.10 Lista de elementos de la máquina prototipo final y tipo de diseño ..	68
Tabla 4.1 Lista de materiales a maquinarse .....	97
Tabla 4.2 Lista de materiales normalizados .....	98
Tabla 5.1 Datos de ensamble manual .....	115
Tabla 5.2 Datos de ensamble con la máquina prototipo .....	115
Tabla 5.3 Diferencia en porcentaje de tiempos .....	116
Tabla 6.1 Remuneración a profesionales .....	118
Tabla 6.2 Remuneración estudiante .....	118
Tabla 6.3 Otros costos .....	118
Tabla 6.4 Materiales e insumos .....	119
Tabla 6.5 Materia prima .....	119
Tabla 6.5 Materia Prima (CONTINUACIÓN) .....	120
Tabla 6.6 Costos de mano de obra .....	120
Tabla 6.7 Costos de instalación y prueba .....	120
Tabla 6.8 Costos directos (Funcionamiento de la máquina prototipo) .....	121
Tabla 6.9 Costos indirectos (Funcionamiento de la máquina prototipo) .....	122
Tabla 6.10 Costos directos (Método anterior) .....	122
Tabla 6.11 Costos indirectos (Método anterior) .....	122
Tabla 6.12 Comparación de resultados costos directos .....	123
Tabla 6.13 Comparación de resultados costos indirectos .....	123
Tabla 6.14 Flujo económico .....	124

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>EC.3.1</i> .....	72
<i>EC.3.2</i> .....	74
<i>EC.3.3</i> .....	75
<i>EC.3.4</i> .....	78
<i>EC.3.5</i> .....	79
<i>EC.3.6</i> .....	85
<i>EC.3.5</i> .....	86

<i>EC.3.6</i> .....	94
<i>EC 6.1</i> .....	124

## NOMENCLATURA

<b>Símbolo</b>	<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>
P	Potencia del motor	W
Y <sub>máx</sub>	Deflexión máxima	mm
q	Carga distribuida	N/mm
L	Longitud de la viga	Mm
E	Módulo de elasticidad	MPa
I	Inercia	mm <sup>4</sup>
D	Diámetro mayor	mm
d	Diámetro menor	mm
V	Fuerza cortante	N
J <sub>c</sub>	Momento polar de inercia	m <sup>4</sup>
d <sub>o</sub> , d <sub>i</sub>	Diámetro exterior	m
θ	Deflexión angular	rad
T	Torque aplicado a la camisa	N-m
L <sub>i</sub>	Longitud de la camisa	m
G <sub>m</sub>	Módulo de elasticidad por cortante	MPa
τ <sub>máx</sub>	Esfuerzo cortante máximo	N/m <sup>2</sup>
S <sub>e</sub>	Esfuerzo de fatiga	ksi
S <sub>y</sub>	Esfuerzo de fluencia	ksi
FS	Factor de seguridad	--

# CAPÍTULO 1

## DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

### 1.1. ANTECEDENTES

#### 1.1.1. HISTORIA

La industria de la construcción con perfiles emperrados, tiene sus inicios dentro de la era moderna en la década de los cincuenta alrededor del mundo, teniendo hoy en día edificaciones referenciales tales como: el Centro Mundial de Comercio en New York, la cubierta construida para las Olimpiadas de Munich y el coliseo de la ópera de Sydney, obras que cautivan al espectador, además de considerarse de alto grado en ingeniería.

Las estructuras metálicas constituyen un sistema constructivo muy difundido en varios países, cuyo empleo suele crecer en función de la industrialización alcanzada en la región o país donde se utiliza.

Las aplicaciones iniciales de las estructuras de acero, se vieron restringidas por la abundancia de madera en la región y por la relativa facilidad de importar piezas fabricadas en el extranjero lo cual permitía la solución eficaz de los problemas de la época. El uso estructural del hierro, y posteriormente del acero, inició en forma de herrajes para estructuras de madera y para puentes colgantes.

En el Ecuador el manejo de éste tipo de estructuras es una de las últimas tendencias que se han dado en el campo de la construcción en los últimos 40 años según IPAC S.A., con resultados favorables que la sitúan muy por encima de los métodos tradicionales, al ser de fácil manejo, montaje, y mantenimiento, además de la versatilidad para satisfacer las exigencias de diseñadores y clientes. Se lo elige por sus ventajas en plazos de obra, relación de costo entre mano obra – materiales, financiación, etc.

El uso de perfiles estructurales es diverso, como por ejemplo en postes de luz y puentes peatonales, el tiempo que se emplea en armar las juntas emperradas de estas construcciones es un tema que se debe tomar en cuenta para diseñar

y construir nuevas máquinas que se sirvan para montar y desmontar dichas juntas con rapidez.

### **1.1.2. NECESIDAD**

La carencia de tecnología en el Ecuador, en lo referente a procesos de unión con pernos, crea la necesidad de implementar nuevas máquinas y buscar alternativas que ayuden a disminuir el tiempo que se emplea en armar manualmente las juntas empernadas. Para lo cual se propone diseñar y construir una máquina prototipo que acorte el tiempo de montaje y desmontaje de uniones empernadas en torres de telecomunicaciones de 24 metros de altura (figura 1.1).



**Figura 1.1 Estructura autoportada (torre triangular de telecomunicaciones) <sup>1</sup>**

MAGA CIA.LTDA como empresa auspiciante y con 13 años dentro del mercado de la metalmecánica específicamente en el campo de las torres de telecomunicaciones, ha encontrado deficiencias en el proceso de montaje y mantenimiento de las juntas empernadas de sus torres, por lo que expresa la necesidad de contar con una máquina prototipo que trate de mejorar este proceso y ayude al obrero a cumplir con los plazos de tiempo establecidos.

---

<sup>1</sup>Foto tomada de la empresa MA.GA. CIA.LTDA.

## 1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La principal desventaja al momento de realizar el montaje y mantenimiento de las juntas empernadas, es el manejo de herramientas manuales que no facilitan del todo el cumplimiento de los plazos de tiempo establecidos, esto se debe a que emplean como fuerza motriz al ser humano (figura 1.2) y muchas veces las herramientas que se usan se encuentran en mal estado.

En general, el propósito de la máquina prototipo a diseñarse y construirse será ayudar en la disminución del tiempo de empernado de las juntas en las torres autoportadas que fábrica la empresa auspiciante, además de cumplir con especificaciones de apriete en los pernos.



Figura 1.2 Proceso de ensamble manual de una torre <sup>2</sup>

## 1.3. OBJETIVOS

### 1.3.1. GENERAL

Disminuir el tiempo empleado en el proceso de montaje y mantenimiento de juntas empernadas en torres autoportadas de telecomunicaciones de 24 metros de altura.

---

<sup>2</sup>[http://1.bp.blogspot.com/\\_wm87iaUX4uw/SbeReoOVzRI/AAAAAAAAADM/ri08GcjG8nA/s1600-h/Aprietebasetorre40m.JPG](http://1.bp.blogspot.com/_wm87iaUX4uw/SbeReoOVzRI/AAAAAAAAADM/ri08GcjG8nA/s1600-h/Aprietebasetorre40m.JPG).



### 1.3.2. ESPECÍFICOS

- Investigar los cambios que se han dado en relación a las estructuras metálicas dentro de las telecomunicaciones.
- Determinar el diseño más adecuado de la máquina prototipo que cumpla con las condiciones de productividad deseadas.
- Construir la máquina prototipo de acuerdo con el diseño seleccionado, tomando en cuenta el tipo de materiales que brinden mayores prestaciones.
- Realizar el montaje de la máquina prototipo de acuerdo con los planos de construcción.
- Efectuar pruebas de campo con la máquina prototipo ensamblada, para validar su funcionamiento.
- Realizar el análisis de costos del desarrollo e implementación de la máquina prototipo.

### 1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO

Normalmente el montaje de una torre de telecomunicaciones de 24 metros de altura, emplea alrededor de 10 montajistas, un promedio de 402 pernos y aproximadamente 10 días. De allí la necesidad de implementar un sistema que proporcione agilidad en el proceso, disminuya el tiempo de ensamble y de seguridad a los montajistas.



**Figura 1.3 Proceso de montaje de una torre de 24 m de altura <sup>3</sup>**

---

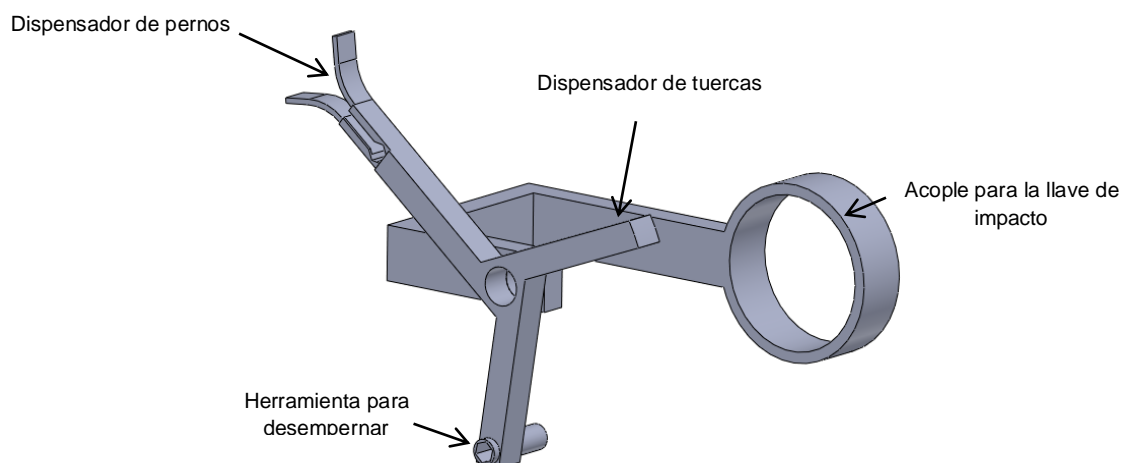
<sup>3</sup> Fotos tomadas de la empresa MA.GA. CIA.LTDA.

El diseño y posterior construcción de la máquina prototipo proporcionará ventajas con respecto al método tradicional de montaje (figura 1.3), logrando así un número menor de obreros sobre la torre, además del ahorro de tiempo que esto conlleva.

Las funciones que realizará la máquina prototipo serán: colocar y remover los pernos durante el proceso de ensamblaje y mantenimiento de las torres autoportadas de telecomunicaciones de 24 metros de altura, por medio de un mecanismo especial el cual se encargará de dispensar las tuercas y los pernos agilizando el proceso de ensamble de la torre (figura 1.4 y figura 1.5).



**Figura 1.4 Llave de impacto inalámbrica <sup>4</sup>**



**Figura 1.5 Sistema de intercambio de herramientas**

<sup>4</sup><http://www.dewalt.com/tools/cordless-impact-driverswrenches-high-torque-wrenches-dc800kl.aspx>

## **1.5. ALCANCE**

El trabajo que normalmente se lleva a cabo con 10 obreros cada uno con dos o más herramientas, se acortará con la construcción de la máquina prototipo que ayudará a reducir el tiempo empleado en el proceso de montaje y mantenimiento. El diseño y posterior construcción de la máquina prototipo favorece principalmente a las empresas que se dedican a la producción de torres de telecomunicaciones de 24 metros de altura, las mismas que poseen juntas con pernos de 5/8 in x 2 in.

La construcción de la máquina prototipo propuesta se llevará a cabo a través de la empresa beneficiaria y bajo la supervisión del diseñador, garantizando que se cumplan con cada una de las especificaciones y características planteadas. Además se contará con la colaboración de los ingenieros que laboran en la empresa, ya que sus aportes basados en la experiencia serán de vital importancia.

Un etapa que será determinante en el desarrollo del proyecto será la puesta en marcha de la máquina prototipo y las pruebas que se desarrollen con la misma, cuyos resultados ayudarán a comprobar si se llega a disminuir el tiempo de montaje y mantenimiento de las torres autosoportadas de telecomunicaciones de 24 metros de altura.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. CONCEPTO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS <sup>5</sup>**

Una estructura puede definirse como un sistema de miembros y conexiones individuales, dispuestas para que todo el conjunto permanezca estable y sin cambios apreciables en forma, mientras se logran los criterios de desempeño prescritos. Las estructuras en general y las de acero en particular tienen una función importante en nuestra vida diaria. Vivimos en edificaciones, trabajamos en torres de oficinas y edificios industriales, nos distraemos en campos y estadios deportivos, admiramos museos y estamos rodeados de estos, estudiamos en bibliotecas y hacemos compras en tiendas y centros comerciales, de los cuales una buena proporción están contruidos con acero.

Cuando se viaja en auto sobre puentes por encima de ríos y valles, o se lo hace en avión desde aeropuertos concurridos, se puede observar una variedad de estructuras contruidas con acero estructural. Las chimeneas altas, las torres de transmisión eléctrica, las torres de montaje, los mástiles de televisión y mucho más son ejemplos adicionales de estructuras de acero.

#### **2.2. TORRES DE TELECOMUNICACIONES <sup>6</sup>**

Las estructuras utilizadas en Telecomunicaciones sirven para soportar antenas de transmisión y equipos para telecomunicaciones. La mayoría de estas estructuras son ligeras, por lo que en su diseño influyen mucho los esfuerzos que genera el viento debido a su poco peso, por otro lado la carga de sismo es un elemento que no afecta mucho a estas estructuras.

---

<sup>5</sup> Vinnakota, Sriramulu. Estructuras de Acero: comportamiento y LRFD. Primeraed. México. Editorial McGraw-Hill. 2006. p. 3.

<sup>6</sup> <http://www.construaprende.com/Telecomunicaciones/index.html>

## **2.3. TIPOS DE TORRES DE TELECOMUNICACIONES**

Los diferentes tipos de torres dependen de variables como espacio disponible, altura necesaria, tipo de equipos a instalar, necesidad de servicio, permisos de las autoridades competentes, etc.

Factores como el diseño, sistemas de ascenso, comodidad para la instalación y mantenimiento de las antenas son fundamentales a la hora de desarrollar labores en las torres.

Las torres de telecomunicaciones se dividen en autoportadas y atirantadas, cada tipo presenta características diferentes de diseño y estructura; por tal motivo la manera de trabajar en ellas es muy diferente.

### **2.3.1. TORRES AUTOSOPORTADAS**

Son las estructuras metálicas más conocidas; su diseño se basa en que la torre se mantenga en pie gracias a que los esfuerzos se les transmiten a las patas que están ancladas a bases fundidas a varios metros bajo el nivel del suelo.

Las torres autoportadas son de tipo piramidal (figura 2.1) con tres y cuatro patas; sin embargo las hay de cuatro patas completamente verticales. Este tipo de torres cuenta normalmente con escaleras de ascenso, plataformas de descanso y ángulos que sirven como puntos de anclaje lo suficientemente fuertes para detener la caída del trabajador cuando se encuentra conectado con sus equipos de protección. Muchas torres tienen instalados sistemas de guardacuerpos, cuya función se basa en crear una jaula de protección alrededor de la escalera (figura 2.2).

Los monopolos (figura 2.3), estructuras monolíticas en forma de postes, construidos de acero y armados por partes, una sobre otra, cuentan con una escalerilla, con pequeñas plataformas de descanso, con un espacio reducido para los equipos y el cableado.



**Figura 2.1 Torre autoportada de telecomunicaciones de 102 metros de altura <sup>7</sup>**



**Figura 2.2 Guardacuerpos sobre la escalera de una torre de 102 metros de altura <sup>8</sup>**

---

<sup>7,8</sup> Fotos tomadas de la empresa MA.GA. CIA.LTDA.



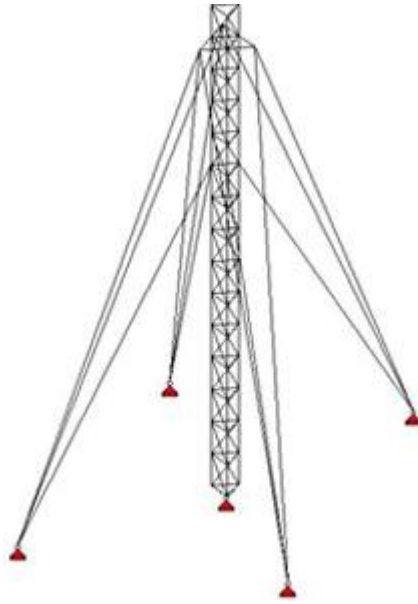
**Figura 2.3 Monopolo de 36 metros de altura <sup>9</sup>**

### **2.3.2. TORRES ATIRANTADAS**

Este tipo de torres depende básicamente de cables de acero, que a modo de templadores dan estabilidad y verticalidad a la torre; estos templadores o riendas son la garantía de seguridad: si llegaran a fallar, se ocasionará inevitablemente el desplome de la torre. Contar con templadores adecuadamente ubicados y tensionados permite que se construyan torres bastante altas. Algunas de estas torres son en realidad antenas AM de dimensiones colosales, que por efecto de su mismo uso no cuentan con un sistema anticaídas; adicionalmente, los trabajadores realizan mantenimientos con el sistema prendido, lo que genera una cantidad importante de radiación electromagnética. En la mayoría de torres riendadas (figura 2.4) los trabajadores realizan su trabajo sin mucha seguridad; además, como muchas de estas no cuentan con escaleras, el ascenso se realiza utilizando la misma estructura. Es vital que este tipo de torres estén debidamente instaladas que aseguren el tránsito vertical de los trabajadores; y además, que reciban inspección y mantenimiento periódico, en los puntos de anclaje y en los sistemas de riendas.

---

<sup>9</sup> Fotos tomadas de la empresa MA.GA. CIA.LTDA.



**Figura 2.4 Torre atirantada** <sup>10</sup>

### **2.3.3. TORRES MÓVILES** <sup>11</sup>

Son estructuras cuyo diseño se basa en el modelo de torre telescópica, tienen como base una plataforma en forma de tráiler (figura 2.5 y 2.6) que integra la torre, el cuarto de equipos y el sistema de generación eléctrica sobre la misma superficie. Estas torres son exclusivas de la telefonía celular, se transportan fácilmente y se instalan en un sitio donde se requiera dar cobertura.

La torre móvil está compuesta por varias secciones, unas dentro de otras. Una vez se ha elevado por medio de un sistema mecánico de poleas accionado por un motor eléctrico, se asegura internamente entre cada sección con unos ángulos llamados retenedores, cuya función es evitar que las secciones se descuelguen ocasionando el colapso de la torre.

Una vez arriba, la torre es asegurada con un sistema de riendas para darle estabilidad; estas deben estar repartidas cada 120°, ancladas a puntos resistentes y conservando una adecuada distancia de seguridad.

Las torres móviles deben contar con un sistema anticaídas vertical certificado con un sistema absorbedor de choque para proteger el anclaje superior y que garantice adecuada seguridad al trabajador.

<sup>10</sup> [http://www.construaprende.com/Telecomunicaciones/tipos\\_torres.html](http://www.construaprende.com/Telecomunicaciones/tipos_torres.html)

<sup>11</sup> <http://www.manceras.com.co/guiatelealtura.pdf>





Figura 2.5 Estación de rápido despliegue ERD <sup>12</sup>



Figura 2.6 Torre móvil o estación de rápido despliegue ERD <sup>13</sup>

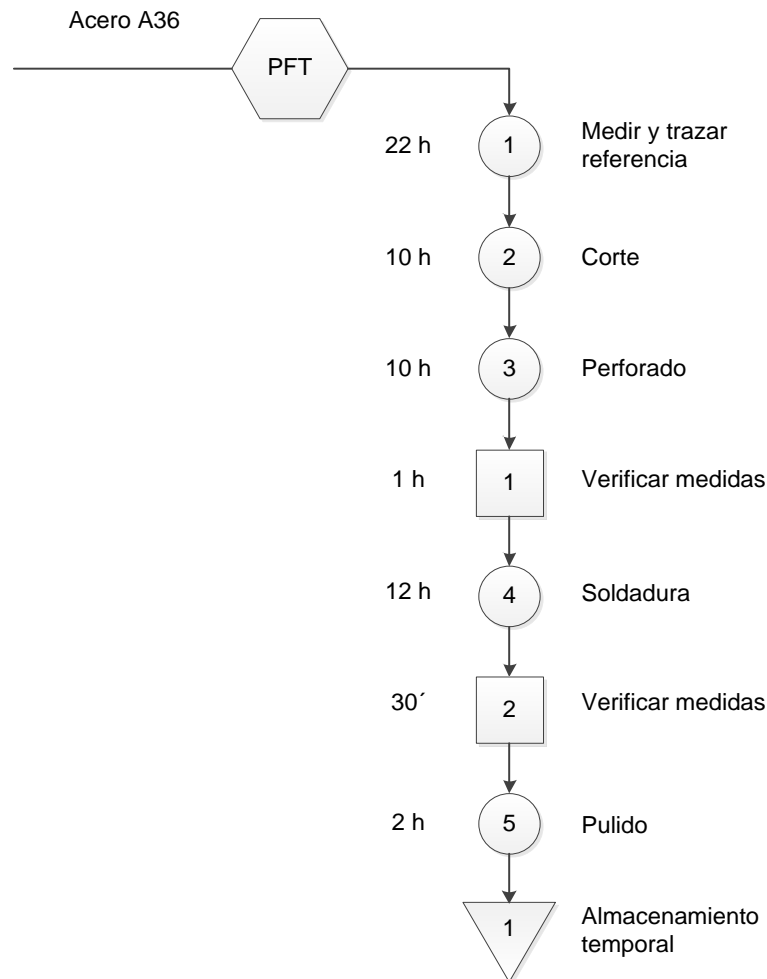
## 2.4. FABRICACIÓN DE TORRES DE TELECOMUNICACIONES

### 2.4.1. TRAZADO, CORTE, PUNZONADO Y SOLDADO

(Figura 2.7)

<sup>12</sup>[http://www.ectel.cl/es/productos/soluciones\\_cobertura\\_movil.html](http://www.ectel.cl/es/productos/soluciones_cobertura_movil.html)

<sup>13</sup> <http://hispanoblog.lbagroup.com/remolque-tactico-de-comunicaciones-de-lba-technology/>



**Figura 2.7 Proceso de fabricación<sup>14</sup>**

### 2.4.2. ACERO USADO EN TORRES

El acero es uno de los más importantes materiales estructurales, entre sus propiedades están, la alta resistencia y la ductilidad. Otras ventajas son la disponibilidad y durabilidad, particularmente con una moderada cantidad de protección contra la intemperie.

El acero se produce por la refinación del mineral de hierro y metales de desecho, junto con agentes fundentes apropiados, en hornos a alta temperatura, para producir grandes masas de hierro llamadas arrabio de primera fusión. El arrabio se refina aún más para remover el exceso de carbono y otras impurezas y/o se alea con otros metales como cobre, níquel, cromo,

<sup>14</sup>Fuente: Propia

manganeso, molibdeno, fósforo, sílice, azufre, titanio, niobio, y vanadio, para producir las características deseadas de resistencia, ductilidad, soldabilidad y resistencia a la corrosión.

Entre los aceros más utilizados en la fabricación de perfiles estructurales para torres de telecomunicaciones se mencionan los siguientes:

**Tabla 2.1 Datos de los perfiles de acero estructural**

Tipo	Denominación de la ASTM	Fy		Fu		Espesor de placas y barras			
		klb/pulg <sup>2</sup>	MPa	klb/pulg <sup>2</sup>	MPa	pulg	mm	Grupo	
Carbono	A-36	36	250	58-80	400-550	8	203	1 hasta 5 inclusive	
	A-242	40	275	60	415	4 a 8	102 a 203		
Alta resistencia, Baja aleación	A-440	42	290	63	435	1.5 a 4	38 a 102	4 y 5	
	A-441	46	315	67	460	0.75 a 1.5	19 a 38	3	
		50	345	70	485	0.75	19	1 y 2	
Alta resistencia, aleación baja Niobio-Vanadio	A-572	grado 42	42	290	60	415	hasta 6	hasta 152.4	1 hasta 5 inclusive
		grado 45	45	310	60	415	hasta 2	hasta 50.8	1 hasta 5 inclusive
		grado 50	50	345	65	450	hasta 2	hasta 50.8	1 hasta 4 inclusive
		grado 55	55	380	70	485	hasta 1.5	hasta 38.1	1, 2, 3 y 4 hasta 426 lb/pie (639 kg/m)
		grado 60	60	415	75	520	hasta 1.25	hasta 31.8	1 y 2
		grado 65	65	450	80	550	hasta 1.25	hasta 31.8	1
Alta resistencia, baja aleación	A-588	grado 42	42	290	63	435	5 a 8	127 a 203	-
		grado 46	46	315	67	460	4 a 5	102 a 127	-
		grado 50	50	345	70	485	hasta 4	Hasta 102	1 hasta 5 inclusive

Fuente: Bowles, Joseph. E. Diseño de Acero Estructural. Primera edición. México. Editorial Limusa. 1993. p. 21.

### 2.4.3. MIEMBROS ESTRUCTURALES LAMINADOS EN CALIENTE

Los miembros estructurales laminados usados en la elaboración de torres, se forman comprimiendo el acero caliente blando repetidamente a través de una serie de rodillos (figura 2.8), que le dan la forma de un elemento lineal con una sección transversal constante. Se modelan formas como perfiles estructurales en forma de I, T, H, L, C, y Z. Los perfiles de acero se designan por la forma de la sección transversal que poseen, entre los más comunes están, el perfil en forma de T, y perfiles W, S o M, para minimizar las cargas de viento o por razones estéticas, puede escogerse una sección tubular. Los miembros compuestos se forman conectando dos o más perfiles estructurales con separadores, tales como celosía con placas continuas, de manera que trabajen en conjunto como unidad. Los miembros angulares y canal, se usan en la construcción de armaduras planas conectadas a placas de nudos con remaches, pernos o soldaduras.

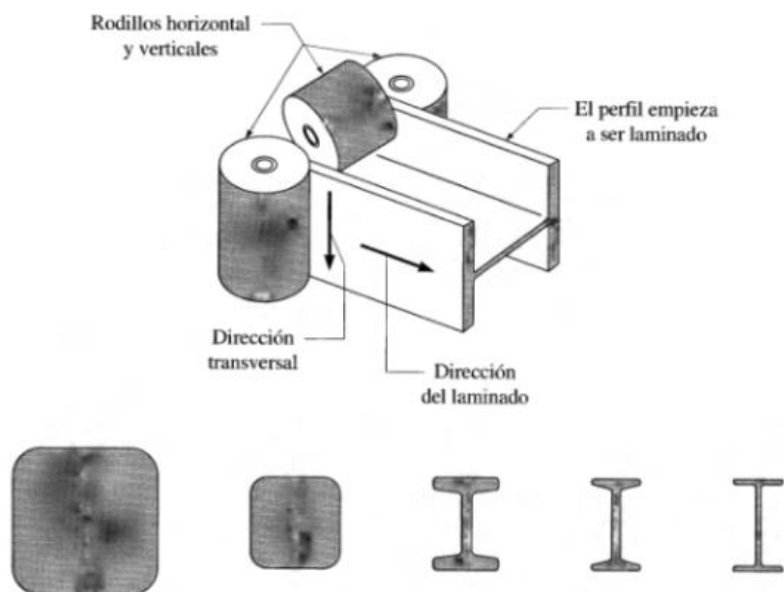


Figura 2.8 Representación esquemática del proceso de laminado <sup>15</sup>

<sup>15</sup> Vinnakota, Sriramulu. Estructuras de Acero: comportamiento y LRFD. Primera ed. México. Editorial McGraw-Hill. 2006. p. 20.

## 2.4.4. PROCESO DE GALVANIZADO EN CALIENTE

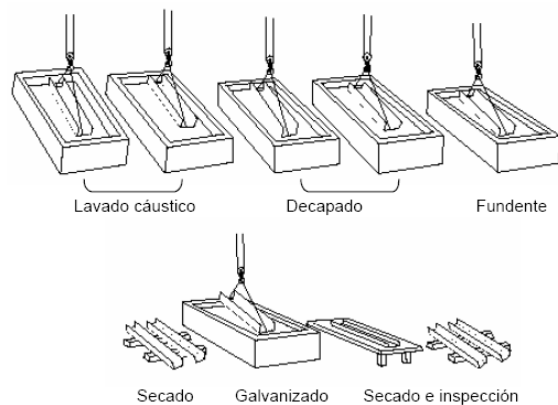
Este proceso ha demostrado ser rentable y efectivo para la protección del acero al carbono en miles de aplicaciones usadas en la industria, una de ellas es en los perfiles metálicos usados en torres de telecomunicaciones.

El cinc funde a 419 °C, y para galvanizar los elementos de la torre, previamente estos se limpian por medio de químicos para remover cualquier resto de grasa o aceite, luego se sumergen en un baño de zinc metálico fundido que se encuentra a 445-450 °C. A esta temperatura el acero y el cinc muestran gran afinidad y, por difusión, forman aleaciones Fe-Zn. El producto final es un acero protegido por un revestimiento de zinc.

### 2.4.4.1. Galvanizado general

En el galvanizado general, las piezas ya fabricadas, o semi terminadas, son pre tratadas y luego galvanizadas. La figura 2.9 muestra un esquema del proceso.

La preparación superficial para galvanizar consta de tres etapas típicas: limpieza cáustica, lavado, decapado químico, lavado y baño de fundente.



**Figura 2.9 Esquema del proceso de galvanizado general** <sup>16</sup>

- En la limpieza cáustica se utiliza una solución de sosa cáustica caliente para remover contaminantes orgánicos como grasas y aceites, de la superficie del acero.

<sup>16</sup> <http://www.avgal.net/pdfs/Ponencia%20LV%20WEB.pdf>

- En el decapado el óxido y la herrumbre se eliminan de la superficie utilizando una solución diluida de ácido sulfúrico caliente o de ácido clorhídrico a temperatura ambiente.
- El paso final es la aplicación del fundente, que consiste en una solución de sales de cloruros amoniacales de cinc. El fundente elimina el óxido y previene la oxidación posterior de la superficie para asegurar que el zinc fundido pueda mojar completamente al acero.
- En el recubrimiento o galvanizado la pieza es completamente sumergida en un baño de al menos 98% de cinc fundido, que se mantiene a 454 °C durante el tiempo suficiente para que la pieza alcance la temperatura del baño. Luego la pieza es sacada lentamente del baño para escurrir completamente el exceso de cinc.
- De inmediato las piezas son enfriadas con agua o el aire y luego sometidas a inspección. En esta etapa se verifica el espesor del recubrimiento y la apariencia de la superficie.

El proceso de galvanizado está completamente regulado por estándares como: ASTM, COVENIN, ISO, los cuales establecen las condiciones mínimas de calidad del producto final.

#### **2.4.4.2. Ventajas del uso de acero galvanizado en torres**

El acero galvanizado por inmersión en caliente es uno de los materiales que ofrece la mayor variedad de usos y aplicaciones en el sector de la construcción de torres de telecomunicaciones por ser una protección económica y versátil contra la corrosión.

Es frecuente encontrar productos fabricados con acero galvanizado, con diversas configuraciones que van desde arandelas y pernos hasta perfiles que conforman torres de telecomunicaciones.

El objetivo principal de la protección por medio del galvanizado es garantizar la durabilidad de las piezas, evitando sobre todo la acción de agentes corrosivos que deterioren al elemento y reduzcan su vida útil.

## 2.5. MONTAJE DE TORRES DE TELECOMUNICACIONES

### 2.5.1. IZAJE DE LAS TORRES <sup>17</sup>

Es la tarea con mayor peligro de todas las que se realizan en el sector. En ella se reúnen la ingeniería civil, la ingeniería mecánica estructural y el trabajo arriesgado de los montajistas de torres. Una vez las bases de la torre están listas, comienza el trabajo de armado de un enorme rompecabezas de piezas gigantes y muy pesadas, que meticulosamente van uniéndose según el diseño y los planos; para lograr este objetivo, los trabajadores cuentan con herramientas especiales, como plumas, poleas, malacates, que facilitan el trabajo (figura 2.10), además del Equipo de Protección Personal básico. Durante el armado de torres, el material es llevado al sitio de montaje (figura 2.11) y las cuadrillas de trabajadores se encargan de ir empernando pieza por pieza. Para elevar estos elementos de gran peso, utilizan equipos especiales y bastante ingenio; sin embargo, en muchas ocasiones, por no contar con adecuados sistemas de protección contra caídas ni capacitación técnica en este aspecto, son lo más propensos a sufrir accidentes.

Al finalizar el proceso de montaje se recibe la torre por parte de personal de la compañía contratante, que verifican según el diseño y los planos el resultado final, se establece aleatoriamente el torque de las uniones atornilladas y la pintura aplicada.



**Figura 2.10 Personal de montaje colocando la pluma <sup>18</sup>**

---

<sup>17</sup> <http://www.manceras.com.co/guiatelealtura.pdf>



**Figura 2.11 Organización del material previo al montaje <sup>19</sup>**

### **2.5.2. INSTALACIÓN DE EQUIPOS**

Una vez que la torre está completamente montada y pintada, se continúa con la instalación de todos los equipos que la constituirán como un verdadero instrumento de las telecomunicaciones. Para lograr este fin, a la torre se le instalan un pararrayos, energía eléctrica y una baliza (con el fin de cumplir con las exigencias de la Dirección de Aviación Civil), una puesta a tierra, los soportes y las antenas con sus respectivos cables (figura 2.12) y guías de onda. Estos equipos son instalados en su mayoría por personal técnico bajo su responsabilidad y conocimiento, está lograr una adecuada instalación, evitando que las conexiones de las antenas queden ubicadas por debajo de las plataformas; de otra forma el personal de mantenimiento debería descolgarse por debajo de estas, arriesgando su propia integridad.



**Figura 2.12 Antena Microonda y cableado para torre de 24 metros de altura <sup>20</sup>**

---

<sup>18,19</sup> Fotos tomadas de la empresa MA.GA. CIA.LTDA.



En esta fase es común el ascenso de cargas pesadas, por lo que se utilizan cuerdas, poleas, sistemas de anclaje, mosquetones; el peligro de caída de objetos sobre el personal que se encuentra en tierra o sobre las estructuras cercanas es alto. Adicionalmente, los esfuerzos realizados por el levantamiento de grande pesos exigen de los trabajadores colgados en la torre, posiciones incómodas no estudiadas a fondo por la ergonomía en el manejo de cargas, por lo que son frecuentes las lesiones de tipo muscular. La instalación de antenas se realiza normalmente muchas veces dependiendo de las necesidades de ampliación de la red; por tal motivo es necesario tener en cuenta la resistencia de la torre basados en su cálculo original; es posible que las áreas responsables adicionen enlaces sin tener en cuenta este aspecto y por efecto de las cargas de viento, la estabilidad de la torre podría estar al límite (figura 2.13).



**Figura 2.13 Torres de 60 metros de altura con antenas Microondas  
(Monjas-Quito) <sup>21</sup>**

### **2.5.3. MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS Y LA TORRE**

Esta fase se convertirá en la más común, con alta frecuencia de trabajos en altura por parte del personal encargado de la compañía o de empresas contratistas. Dentro del mantenimiento de torres específicamente los trabajos que se realizan son:

---

<sup>20</sup> Fotos tomadas de la empresa MA.GA. CIA.LTDA.

<sup>21</sup> Fotos tomadas de la empresa MA.GA. CIA.LTDA.

- Remoción de toda la pintura en mal estado
- Reajuste y cambio de pernos (figura 2.14)
- Aplicación de base y pintura de la más alta calidad,
- Mantenimiento del sistema anticaídas
- Mantenimiento de balizas y pararrayo
- Mantenimiento Equipos de Microonda.
- Mantenimiento de bases out door y tgsm.

Diferentes grupos de trabajadores, desde ingenieros especialistas hasta técnicos, se encargan del mantenimiento de una red de telecomunicaciones.



**Figura 2.14 Proceso de mantenimiento de pernos** <sup>22</sup>

Algunos trabajos en las torres van desde el inventario de equipos en donde empresas especialistas en el trabajo en alturas asignan a ingenieros o técnicos para llegar hasta las antenas y revisar seriales y anotar datos específicos (figura 2.15) hasta el cambio de antenas si es necesario. Cuando la torre tiene algún tiempo de construida se realizan mantenimientos más a profundidad tomando acciones correctivas como las mencionadas anteriormente.

---

<sup>22</sup> <http://integraldeestructuras.com/mantenimiento.htm>



**Figura 2.15 Proceso de mantenimiento de antenas <sup>23</sup>**

La exigencia de ampliación de una red exige además que grupos de ingenieros suban a las torres a realizar pruebas de comunicación, muchas veces en forma ocasional, de tal manera que su habilidad para desempeñarse en las alturas puede no ser la mejor, de tal forma que un adecuado programa de seguridad que contemple todos los aspectos que se involucran en la seguridad de los trabajos en altura garantiza un trabajo seguro tanto de los más expertos como del personal sin tantas habilidades.

#### **2.5.4. EQUIPO Y HERRAMIENTAS PARA EL MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE TORRES**

Como se mencionó anteriormente el equipo para poder realizar un correcto montaje y por ende un mantenimiento de primera calidad es el siguiente cuerdas, plumas, poleas, malacates, etc. además del Equipo de Protección Personal básico. En relación a las herramientas que se emplean en el proceso de montaje de las torres de telecomunicaciones se puede destacar el uso de: amoladoras, compresores, taladros magnéticos, llaves de manuales, llaves de trinquete.

---

<sup>23</sup> [http://www.mer-telecom.com/telecom\\_network\\_services](http://www.mer-telecom.com/telecom_network_services)

## 2.5.4.1. Equipo de montaje

### 2.5.4.1.1. Cuerdas

Estos equipos son los más utilizados durante los trabajos de montaje y desmontaje de equipos en las torres, las siguientes son las características técnicas que mejor se acomodan al tipo de labor (Tabla 2.2).

**Tabla 2.2 Requisitos mínimos de la cuerda**

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
Tipo de cuerda	Estática, con alma y funda
Material	Nylon
Diámetro	11 mm
Resistencia certificada	Mínimo 22.2 kN o 5000 libras

Fuente: <http://www.manceras.com.co/guiatelealtura.pdf>

### 2.5.4.1.2. Poleas

El uso de poleas, como sistemas para levantamiento de cargas, es en conjunto con la cuerda, lo que permite elevar o descender cargas pesadas en las estructuras (Tabla 2.3).

**Tabla 2.3 Requisitos mínimos de la polea**

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
Tipo de polea	Regulable sencilla o doble
Material	Acero o aleaciones
Calibre de polea	11 mm
Resistencia certificada	Mínimo 22.2 kN o 5000 libras

Fuente: <http://www.manceras.com.co/guiatelealtura.pdf>

### 2.5.4.1.3. Mosquetones

Son los equipos utilizados para unir los diferentes componentes de un sistema de elevación incluida la misma carga (Tabla 2.4). Para garantizar una operación de montaje segura es necesario contar con los mosquetones suficientes, en los trabajos de torres, los mosquetones tienden a golpearse con los ángulos de la torre, a estar en contacto con metales de los herrajes por lo que se deberán preferir los mosquetones de acero.

**Tabla 2.4 Requisitos mínimos del mosquetón**

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
Tipo de mosquetón	Con cierre de seguridad
Material	Acero
Resistencia certificada	Mínimo 22.2 kN o 5000 libras

Fuente: <http://www.manceras.com.co/guiatelealtura.pdf>

#### 2.5.4.1.4. Mecanismo de anclaje

Este es el mecanismo de anclaje para asegurar todos los equipos a los ángulos de la torre (Tabla 2.5).

**Tabla 2.5 Requisitos mínimos del mecanismo**

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
Longitud del anclaje	1.80 m
Resistencia certificada	Mínimo 22.2 kN o 5000 libras

Fuente: <http://www.manceras.com.co/guiatelealtura.pdf>

#### 2.5.4.1.5. Descendedores

Equipo que se utiliza para descender en forma controlada una carga y es el punto de unión entre la cuerda y el punto de anclaje (Tabla 2.6).

**Tabla 2.6 Requisitos mínimos del descendedor**

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
Tipo de descendedor	Figura de ocho con orejas, descendedor de fricción variable, descendedor de barras, descendedor automático con sistema de freno y descendedor automático con freno y sistema anti pánico.
Material	Acero o aleaciones
Resistencia certificada	Mínimo 22.2 kN o 5000 libras

Fuente: <http://www.manceras.com.co/guiatelealtura.pdf>

#### 2.5.4.1.6. Equipos mecánicos para el ascenso o descenso de cargas

El uso de equipos como winches o malacates eléctricos o de gasolina ayudan en el trabajo de las personas que instalan equipos en las torres, para lo cual hacen uso de cuerdas (Tabla 2.7).

**Tabla 2.7: Requisitos mínimos del winche**

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
Tipo de accionamiento	Motor eléctrico
Capacidad	Mínimo 300 kg
Calibre de poleas para cuerda	11 mm

Fuente: <http://www.manceras.com.co/guiatelealtura.pdf>

#### 2.5.4.2. Herramientas de montaje

Dentro del proceso de montaje y las actividades que este conlleva se puede considerar el uso de ciertas herramientas, que mencionan a continuación:

##### 2.5.4.2.1. Llave de mano


Es una herramienta de sujeción que está dotada de bocas o aberturas adaptables a tuercas y pernos de diferentes medidas; para apretarlos y aflojarlos. Se denominan, según la forma de las mismas (en ángulo, de vaso, de bocas en S, etc.).

**Tabla 2.8: Llave de boca cerrada**

TIPO	VENTAJA
	El extremo cerrado elimina el peligro de que la llave se suelte por su abertura.


Fuente: Propia

**Tabla 2.9: Llave de dos bocas**

TIPO	VENTAJA
	Es para trabajos que requieren una sola abertura de llave y se adapta para dos dimensiones de tuercas

Fuente: Propia

**Tabla 2.10: Llave de doble caja**

TIPO	VENTAJA
	Cada caja tiene doce muescas, cada muesca puede agarrar las aristas del perno, con lo que se logra el giro de la misma

Fuente: Propia

**Tabla 2.11: Llave de trinquete**

TIPO	VENTAJA
	Emplea un brazo de palanca, con la particularidad de que el mango trabaja como un trinquete, posee una extraordinaria utilidad cuando solamente se da un pequeño giro de mango.

Fuente: Propia

#### 2.5.4.2.2. Taladros magnéticos

Los taladros (figura 2.16) son instrumentos que tienen como objetivo producir agujeros de forma cilíndrica en cualquiera de las piezas de la torre de telecomunicaciones. El taladrado, dentro de todos los procesos de mecanizado, es considerado como uno de los más importantes debido a su amplio uso y practicidad.

Los taladros pueden utilizarse sobre cualquier tipo de pieza; el proceso de realizar el agujero, consiste en desplazar el sólido sea este acero o aluminio, hacia el filo de la broca. La fuente de alimentación de los taladros suele ser de energía eléctrica o de aire comprimido; los taladros de tipo portátiles que necesitan electricidad para su funcionamiento pueden ser inalámbricos, ya que muchos de éstos utilizan una batería recargable o son alimentados por un cordón eléctrico.

Los taladros magnéticos son una variación de los taladros normales ya que cuentan con un electroimán que se sujeta a la superficie generando un punto de contacto fijo entre la pieza y la broca, facilitando así el proceso de perforación sobre las piezas de la torres de telecomunicaciones.



**Figura 2.16 Taladro Magnético** <sup>24</sup>

#### 2.5.4.2.3. Torquímetros

Se lo conoce también como llave dinamométrica (figura 2.17), es una herramienta manual que se utiliza para apretar los pernos, debido a que las condiciones de trabajo exigen llevar un par de apriete muy exacto.

---

<sup>24</sup> <http://www.milwaukeetool.com>



Cuentan con una escala graduada, en la cual es posible calibrar y leer el valor de torque aplicado según el tipo de torquímetro. Entre los tipos más usados y conocidos de torquímetros se puede encontrar los de aguja, los digitales y los de click.



**Figura 2.17 Torquímetro tipo click <sup>25</sup>**

## 2.6. DATOS DE TIEMPOS DE MONTAJE Y MANTENIMIENTO

Los datos de tiempo de montaje y mantenimiento de las torres autosportadas de telecomunicaciones varían según la altura de las mismas y la localización geográfica de la implementación.

En caso de que la torre se localice fuera del perímetro urbano o en zonas de muy difícil acceso, el procedimiento llevará mayor tiempo de transporte y descarga de los elementos, por lo que es una variable de tiempo que no se puede controlar. Por lo tanto la empresa debe tomar ciertas consideraciones que van desde abertura de brechas de camino con la ayuda de maquinaria pesada hasta el transporte por medio de helicópteros como se lo realiza en otros países.

En este caso específico de estudio los datos más relevantes se pueden observar en la Tabla 2.12.

**Tabla 2.12: Tabla comparativa de tiempos según la altura de las torres de telecomunicaciones**

TORRES DE TELECOMUNICACIONES AUTOSPORTADAS			
ALTURA	TIEMPO DE FABRICACIÓN	TIEMPO DE MONTAJE	TIEMPO DE MANTENIMIENTO
[m]	[días]	[días]	[días]
24	10	10	5
36	15	10	7

<sup>25</sup> <http://www.urrea.com/URREA/Detalle.asp?PrID=2213#>

<b>Continuación Tabla 2.12</b>			
<b>42</b>	15	10	7
<b>48</b>	15	14	7
<b>54</b>	20	14	10
<b>60</b>	20	14	10
<b>72</b>	25	18	12
<b>84</b>	25	18	12
<b>102</b>	25	20	12

Fuente: MAGA.CIA.LTDA.

El proceso de mantenimiento está estipulado a realizarse con una frecuencia de 2 años y se lo lleva a cabo, cumpliendo con las especificaciones de la norma EIA-222-G <sup>26</sup>, con mano de obra calificada para realizar este procedimiento.

## **2.7. MANIOBRABILIDAD Y DESEMPEÑO DE HERRAMIENTAS EN LA ALTURA**

El manejo de las herramientas para el montaje de torres de telecomunicaciones conlleva una gran responsabilidad, debido a su uso en lugares de gran altura, por lo que existe la necesidad de llevar un control en cuanto a su maniobrabilidad y desempeño cuando están dispuestas a ser usadas.

Para lo cual es necesario tomar en cuenta ciertos pasos, para tener un desempeño óptimo cuando se trabaje en torres de telecomunicaciones.

### **2.7.1. USO DE HERRAMIENTAS EN ALTURA <sup>27</sup>**

- No se podrá acceder a las estructuras (Torres de Telecomunicaciones), con peso en herramientas, superior a 20 kg, por trabajador.
- Toda herramienta debe ser chequeada, en cuanto a su funcionamiento y estado, por el Supervisor a cargo de la obra.
- Sólo se subirán herramientas necesarias, para evitar pesos innecesarios a cargar.
- Sin faja lumbar, no se podrá subir las herramientas a la torre.

<sup>26</sup> <http://www.scribd.com/doc/16607894/EIA222G-Design-Steel-Tower>

<sup>27</sup> [http://grupos.emagister.com/documento/instructivo\\_sobre\\_uso\\_de\\_herramientas\\_en\\_altura/](http://grupos.emagister.com/documento/instructivo_sobre_uso_de_herramientas_en_altura/)

- Toda herramienta de uso en altura, deberá estar provista de una piola de Acero flexible, forrado en polietileno de diámetro 1/8" fijada a la herramienta con clip (Dos Unidades), y en el otro extremo fijada a un mosquetón, de igual forma (dos unidades de clip), el largo de dicha piola deberá estar comprendido entre 0,80 m y 1.20 m.
- Las herramientas deben ser llevadas con uno de sus extremos fijadas a la argolla lateral del "Arnés" y dentro del bolso.
- Cuando éstas se usen, se deberá retirar de la argolla de fijación al arnés y conectarla a la estructura de manera que, la piola no interfiera en el uso de la herramienta.

## **2.8. JUNTAS EMPERNADAS Y PERNOS USADOS EN TORRES DE TELECOMUNICACIONES**

El montaje de torres por medio de pernos es un proceso que además de ser muy rápido requiere mano de obra menos especializada y más barata que cuando se trabaja con remaches o con soldadura, estos factores dan a las juntas empernadas una ventaja económica, en comparación con los otros tipos de conexión. Aunque el costo de adquisición de un perno de alta resistencia es varias veces mayor que el de un remache, el costo total de la estructura empernada es menor que el de la remachada, debido a los menores costos por mano de obra y equipo, y también al menor número de pernos requeridos para resistir las mismas cargas. Las juntas que se emplean en las torres de telecomunicaciones están comprendidas desde conexiones con un sólo perno hasta juntas que llevan al menos diez pernos, cuyas medidas varían según la altura de la torre pero por lo general están dentro del rango de M12 a M20.

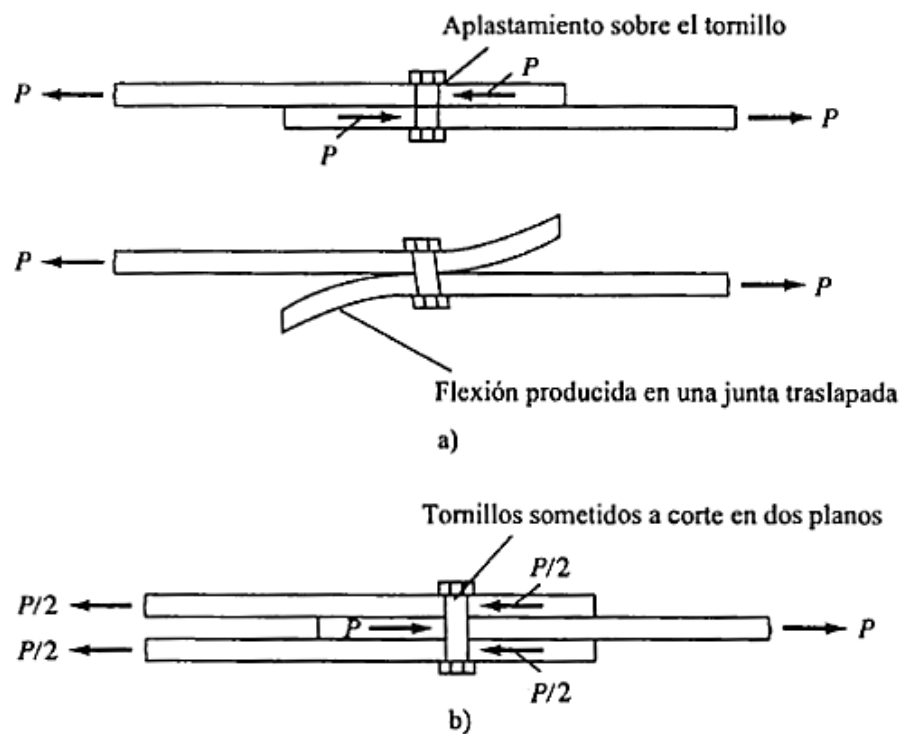
### **2.8.1. JUNTAS TIPO FRICCIÓN Y TIPO APLASTAMIENTO**

Cuando los pernos de alta resistencia se tensan por completo, las partes conectadas quedan abrazadas fuertemente entre sí; se tiene entonces una considerable resistencia al deslizamiento en la superficie de contacto. Esta resistencia es igual a la fuerza al apretar multiplicada por el coeficiente de fricción.

*Junta tipo fricción:* se denomina tipo fricción si la fuerza cortante es menor que la resistencia permisible por fricción es decir donde se desea una alta resistencia al deslizamiento bajo cargas de servicio aplicadas. En juntas tipo fricción las superficies de contacto también deben estar libres de aceite, pintura y lacas.

Si la carga excede a la resistencia por fricción, habrá un deslizamiento entre los miembros con un posible degollamiento de los pernos y al mismo tiempo las partes conectadas empujarán sobre los pernos como se muestra en la figura 2.18.

*Junta tipo aplastamiento:* la resistencia de diseño debe ser mayor o igual que la fuerza calculada. Si los pernos se aprietan a las tensiones requeridas por las conexiones de este tipo, es poco probable que éstos se apoyen sobre las placas que están conectando.

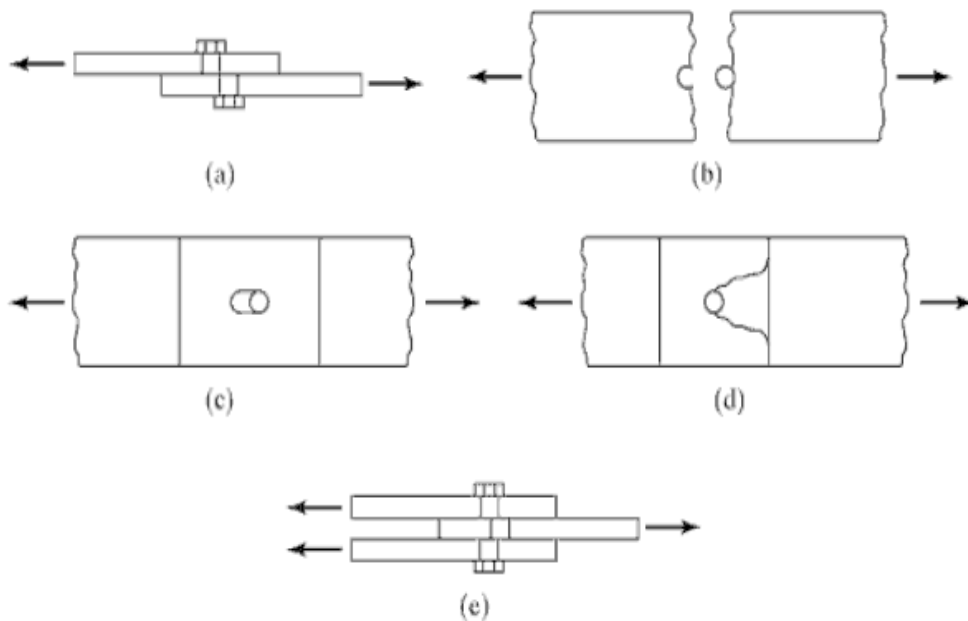


**Figura 2.18 a) Junta traslapada b) Junta a tope** <sup>28</sup>

<sup>28</sup> McCormac, Jack. C. Diseño de Estructuras de Acero. 2da. ed. México. Editorial Alfaomega. 2002. p. 364.

## 2.8.2. FALLAS EN JUNTAS EMPERNADAS

La figura 2.19 muestra varias maneras como pueden ocurrir las fallas en las juntas empernadas. Para diseñar adecuadamente las juntas empernadas es necesario entender claramente estas posibilidades. Estas se describen a continuación:



**Figura 2.19 Fallas en juntas empernadas <sup>29</sup> a) Falla de un perno por cortante simple. b) Falla de la placa por tensión. c) Falla de la placa por aplastamiento. d) Falla de la placa por cortante detrás del perno. e) Falla de una junta a tope por cortante doble.**

1. La posibilidad de falla en una junta traslapada por corte del perno en el plano entre los miembros (cortante simple) se muestra en a).
2. En b) se muestra la posibilidad de una falla a tensión de una de las placas a través del agujero de un perno.
3. En c) se muestra la posible falla del perno o de la placa por aplastamiento entre ambos.
4. En d) se muestra otro posible desgarramiento del miembro.

<sup>29</sup> McCormac, Jack. C. Diseño de Estructuras de Acero. 2da. ed. México. Editorial Alfaomega. 2002. p. 367.

5. En e) se muestra la falla por cortante doble en dos planos del perno.

### 2.8.3. TIPOS DE PERNOS <sup>30</sup>

Existen varios tipos de pernos que pueden usarse para conectar los miembros de acero de una torre; como los siguientes:

#### 2.8.3.1. Pernos ordinarios o comunes

Estos pernos los designa la ASTM como pernos A307 (figura 2.20) y se fabrican con aceros al carbono con características de esfuerzos y deformaciones muy parecidas a las del acero A36. Están disponibles en diámetros que van de 5/4 pulg hasta 1 ½ pulg.

Los pernos A307 se fabrican generalmente con cabezas y tuercas cuadradas para reducir costos, pero las cabezas hexagonales se usan a veces porque tienen una apariencia un poco más atractiva, son más fáciles de manipular con las llaves mecánicas y requieren menos espacio para girarlas. Tienen relativamente grandes tolerancias en el vástago y en las dimensiones de la cuerda, pero sus resistencias de diseño son menores que las de los remaches o de los pernos de alta resistencia. Se usan principalmente en estructuras ligeras sujetas a cargas estáticas y en miembros secundarios (ménsulas, correas, riostras, plataformas, armaduras pequeñas, etc.).



Figura 2.20 Pernos ASTM A307 <sup>31</sup>

#### 2.8.3.2. Pernos de alta resistencia

Estos pernos se fabrican a base de acero al carbono tratado térmicamente y aceros aleados; tienen resistencias a la tensión de dos o más veces la de los pernos ordinarios. Existen dos tipos básicos, los A325 (figura 2.21) (hechos con acero al carbono tratado térmicamente) y los A490 de mayor resistencia

<sup>30</sup> McCormac, Jack. C. Diseño de Estructuras de Acero. 2da. ed. México. Editorial Alfaomega. 2002. pp. 353-367.

<sup>31</sup> [http://www.portlandbolt.com/products/bolts/hex\\_bolts.html](http://www.portlandbolt.com/products/bolts/hex_bolts.html)

(también tratados térmicamente, pero hechos con acero aleado). Los pernos de alta resistencia se usan para todo tipo de estructuras, desde pequeños edificios hasta rascacielos y puentes.

Estos pernos se desarrollaron para superar la debilidad de los remaches (principalmente la tensión insuficiente en el vástago una vez enfriados). Las tensiones resultantes en los remaches no son suficientemente grandes para mantenerlos en posición durante la aplicación de cargas de impacto o vibratorias; a causa de esto, los remaches se aflojan, vibran y a la larga tienen que reemplazarse.

Los pernos de alta resistencia pueden apretarse hasta alcanzar esfuerzos muy altos de tensión, de manera que las partes conectadas quedan fuertemente afianzadas entre la tuerca del perno y su cabeza, lo que permite que las cargas se transfieran principalmente por fricción. En ocasiones se fabrican pernos de alta resistencia a partir de acero A449 con diámetros mayores de 1 ½ pulg que es el diámetro máximo de los A325 y A490. Estos pernos pueden usarse también como pernos de anclaje de alta resistencia y para barras roscadas de diversos diámetros.



**Figura 2.21 Pernos ASTM A325** <sup>32</sup>

#### 2.8.3.2.1. Ventajas de los pernos de alta resistencia

Entre las muchas ventajas de los pernos de alta resistencia, que en parte explican su gran éxito, están las siguientes:

- Las cuadrillas de hombres necesarias para empernar, son menores que las que se necesitan para remachar. Dos parejas de empernadores pueden fácilmente colocar el doble de pernos en un día, que el número

---

<sup>32</sup> [http://www.portlandbolt.com/products/bolts/structural\\_bolts.html](http://www.portlandbolt.com/products/bolts/structural_bolts.html)

de remaches colocados por una cuadrilla normal de cuatro remachadores, resultando un montaje más rápido.

- En comparación con los remaches, se requiere menor número de pernos para proporcionar la misma resistencia.
- Unas buenas juntas empernadas pueden realizarlas hombres con mucho menor entrenamiento y experiencia que los necesarios para producir conexiones soldadas o remachadas de calidad semejante. La instalación apropiada de pernos de alta resistencia puede aprenderse en cuestión de horas.
- Resulta menos ruidoso en comparación con el remachado.
- Se requiere equipo más barato para realizar conexiones empernadas.
- No hay riesgo de fuego ni peligro por el lanzamiento de remaches calientes.
- Las pruebas hechas en juntas remachadas y en juntas empernadas, bajo condiciones idénticas, muestran definitivamente que las juntas empernadas tienen una mayor resistencia a la fatiga. Su resistencia a la fatiga es igual o mayor que la obtenida con juntas soldadas equivalentes.
- Donde se requiera modificar o desmontar una torre, los cambios en las conexiones son muy sencillas por la facilidad para quitar los pernos.

#### **2.8.4. PERNOS APRETADOS SIN HOLGURA Y PERNOS COMPLETAMENTE TENSADOS**

Los pernos de alta resistencia son apretados sin holgura o bien completamente tensados. Otros pernos requieren apretarse solo hasta quedar apretados sin holgura. Esto se logra cuando todos los elementos de una conexión están en contacto firme entre sí. En general se obtiene con el esfuerzo total realizado por un operario con una llave manual (figura 2.22) o el apretado que se efectúa después de unos pocos golpes con una llave de impacto. Obviamente hay



algunas diferencias en los grados de apretado en estas condiciones. Los pernos apretados con holgura deben identificarse claramente tanto en los planos de diseño como en los de montaje.



**Figura 2.22 Apriete con llave manual en bases de torres de 24 metros de altura <sup>33</sup>**

Cuando se aplican cargas a pernos apretados sin holgura puede haber un pequeño deslizamiento ya que los agujeros son un poco mayores que los vástagos de los pernos. En consecuencia, las partes de la conexión pueden apoyarse contra los pernos. Puede verse que esta no es una situación deseable si se tienen casos de fatiga con las cargas constantemente cambiando.

Para casos de fatiga y para conexiones sometidas a tensión directa, es deseable usar conexiones que no se deslicen. A éstas se les llama conexiones de deslizamiento crítico. Para lograr esta situación, los pernos deben apretarse hasta que alcanzan una condición plenamente tensionada en la que ellos están sometidos a fuerzas de tensión extremadamente grandes.

Los pernos completamente tensados son un proceso caro, así como su inspección, por lo que sólo deben usarse cuando es absolutamente necesario, y cuando las cargas de trabajo ocasionan un gran número de cambios en los esfuerzos con la posibilidad de que generen problemas de fatiga.

Los pernos apretados sin holgura tienen varias ventajas sobre los completamente tensados. Un obrero puede apretar apropiadamente los pernos

---

<sup>33</sup> Fotos tomadas de la empresa MA.GA. CIA.LTDA.

a una condición sin holgura con una llave ordinaria o con sólo unos cuantos golpes con una llave de impacto.

La instalación es rápida y sólo se requiere una inspección visual del trabajo realizado. (Este no es el caso de los pernos completamente tensados). Además los pernos apretados sin holgura pueden instalarse con llaves eléctricas, eliminando así la necesidad de tener aire comprimido en la obra.

En consecuencia, el uso de pernos apretados sin holgura ahorra tiempo y dinero y es más seguro que el procedimiento necesario para instalar pernos completamente tensados. Por lo tanto, para la mayoría de los casos deberían usarse pernos apretados sin holgura.

En la tabla 2.13, se presentan las tensiones necesarias para los agujeros en conexiones tipo fricción y en conexiones sujetas a tensión directa. Para estar completamente tensados, los pernos A325 y los A490 deben apretarse por lo menos al 70% de sus resistencias a la tensión mínima especificada.

El control de calidad especificado para la fabricación de los pernos A325 y A490 es más estricto que para pernos A449. Por lo que, independientemente del método para apretar, los pernos A449 no pueden usarse en conexiones tipo fricción.

Una vez que estos pernos se instalan y que la tuerca se ha apretado lo suficiente para producir la tensión requerida, casi no existe la tendencia de las tuercas a aflojarse. Sin embargo, existen unos pocos casos en los que se aflojan bajo fuertes cargas vibratorias. ¿Qué hacer en tales casos? Algunos montajistas reemplazan esos pernos por otros más largos junto con dos tuercas totalmente apretadas. Otros montajistas sueldan las tuercas a los pernos. Aparentemente los resultados han sido satisfactorios.

**Tabla 2.13 Tensión (en klb) requerida en los pernos para conexiones tipo fricción y para conexiones sujetas a tensión directa <sup>34</sup>**

Tamaño el perno (pulg)	Pernos A325	Pernos A490
1/2	12	15
5/8	19	24
3/4	28	35
7/8	39	49
1	51	64
1 1/8	56	80
1 1/4	71	102
1 3/8	85	121
1 1/2	103	148

Fuente: McCormac, Jack. C. Diseño de Estructuras de Acero. 2da edición. México. Editorial Alfaomega. 2002. p. 358.

### **2.8.5. MÉTODOS PARA TENSAR COMPLETAMENTE LOS PERNOS DE ALTA RESISTENCIA**

Existen varios métodos para apretar los pernos completamente tensados. Tales procedimientos, incluido el método de giro de tuerca, el de la llave calibrada y el uso de pernos de diseño alternativo, así como los indicadores directos de tensión, los permite las especificaciones del LRFD.

#### **2.8.5.1. Método de giro de tuerca**

Los pernos se aprietan con holgura y luego se les da un giro de 1/3 o una vuelta completa, dependiendo de la longitud de éstos y de la inclinación de las superficies entres sus cabezas y tuercas. (La magnitud del giro puede controlarse finalmente marcando la posición apretada sin holgura con pintura o crayón.)

#### **2.8.5.2. Método de la llave calibrada**

En este método los pernos se aprietan con una llave de impacto (figura 2.23) ajustada para detenerse hasta cuando se alcanza la torsión necesaria para

<sup>34</sup> Igual a 0.70 veces la resistencia mínima a la tensión de los pernos, redondeada al kip (klb) más cercano como se estipula en las especificaciones ASTM para pernos A325 y A490 con cuerdas UNC.

lograr la tensión deseada de acuerdo con el diámetro y la clasificación de la ASTM del perno. Es necesario que las llaves se calibren diariamente y que se usen arandelas endurecidas. Deben protegerse los pernos del polvo y de la humedad en la obra.

#### **2.8.5.3. Indicador directo de tensión**

El indicador directo de tensión (que originalmente era un dispositivo británico) consiste en una arandela endurecida con protuberancias en una de sus caras en forma de pequeños arcos. Los arcos se aprietan conforme se aprieta el perno. La magnitud de la abertura, en cualquier momento es una medida de la tensión en el perno. En los pernos completamente tensados las aberturas deben medir 0.015 pulg o menos.

#### **2.8.5.4. Pernos de diseño alternativo**

Además de los métodos anteriores existen algunos pernos de diseño alternativo que pueden tensarse satisfactoriamente. Los pernos con extremos ranurados que se extienden más allá de la porción roscada llamados “perno indicador de carga” (figura 2.24) son un ejemplo.

Se usan boquillas especiales en las llaves para apretar las tuercas hasta que se degollan los extremos ranurados. Este método de apretar pernos es bastante satisfactorio y conducirá en menores costos de mano de obra.



**Figura 2.23 Llave de impacto. Puede ser eléctrica o neumática**<sup>35</sup>

Para ninguno de los métodos de apretar mencionados antes se especifica una tensión máxima para el perno. Esto implica que el perno puede apretarse a la

---

<sup>35</sup> <http://www.bosch.com.co/es/ferramentas-profissionais/produtos/chave-impacto/img/destaque-gds-24.png>

carga más alta que no lo rompa y que aún así trabaje con eficiencia. Si el perno se rompe, se coloca otro sin mayores consecuencias.

Debe notarse que las tuercas son más fuertes que el perno y que este se romperá antes que la tuerca se fracture. (La especificación sobre pernos que se menciona requiere que un dispositivo para medir tensiones esté disponible en la obra para garantizar que se alcancen las tensiones especificadas.)

En situaciones de fatiga, donde los miembros están sujetos a fluctuaciones constantes de cargas, es muy conveniente la conexión tipo fricción. Si la fuerza que debe soportarse es menor que la resistencia a la fricción, por lo que ninguna fuerza queda aplicada a los pernos, ¿cómo sería posible entonces tener una falla por fatiga? La conexión tipo fricción es un estado límite de servicio, ya que se basa en cargas de trabajo; en una conexión así no se permite que las cargas de trabajo excedan a la resistencia permisible por fricción.



**Figura 2.24 “Perno indicador de carga” o “Perno de control de la tensión”.**

**Note las estrías en el extremo del vástago del perno <sup>36</sup>**

Otros casos en que es muy conveniente utilizar las conexiones tipo fricción son: juntas en las que los pernos se usan con agujeros holgados, juntas en las que los pernos se usan con agujeros acanalados con las cargas aplicadas paralelamente a la dirección del acanalamiento, juntas sujetas a considerables inversiones de la fuerza y juntas en las que los pernos, junto con soldaduras, resisten el cortante sobre la superficie de contacto común de las partes conectadas.

#### **2.8.6. TAMAÑOS DE LOS AGUJEROS PARA PERNOS**

Además de los agujeros de tamaño estándar para pernos y remaches que son 1/16 pulg de mayor diámetro que los correspondientes pernos y remaches, hay

---

<sup>36</sup> [http://www.gumpertz.cl/pernos\\_torque\\_controlado.html](http://www.gumpertz.cl/pernos_torque_controlado.html)

tres tipos de agujeros agrandados: holgados, de ranura corta y de ranura larga. Los agujeros holgados en ocasiones son muy útiles para acelerar el proceso de montaje; además, permiten ajustes de la estructura durante el montaje de esta. El uso de agujeros no estándar requiere la aprobación del ingeniero estructurista y está sometido a los requisitos de la sección J3 de las especificaciones LRFD. La tabla 2.14, proporciona las dimensiones nominales de los diversos tipos de agujeros agrandados permitidos para los diferentes tamaños de conectores. Los casos en que pueden usarse los diversos tipos de agujeros agrandados se describen a continuación.

**Tabla 2.14 Dimensiones nominales de agujeros**

Dimensione de los agujeros				
Diámetro del perno	Estándar (diámetro)	Agrandados (diámetro)	De ranura corta (ancho x long)	De ranura larga (ancho x long)
1/2	9/16	5/8	9/16 x 11/16	9/16 x 1 1/4
5/8	11/16	13/16	11/16 x 7/8	11/16 x 1 9/16
3/4	13/16	15/16	13/16 x 1	13/16 x 1 7/8
7/8	15/16	1 1/16	15/16 x 1 1/8	15/16 x 2 3/16
1	1 1/16	1 1/4	1 1/16 x 5 1/16	1 1/16 x 2 1/2
> 1 1/8	d + 1/16	d + 5/16	(d+1/16)x(d+3/8)	(d+1/16)x(2.5xd)

Fuente: McCormac, Jack. C. Diseño de Estructuras de Acero. 2da edición. México. Editorial Alfaomega. 2002. p. 363.

### **2.8.6.1. Los agujeros holgados**

Pueden usarse en todas las placas (figura 2.25) de una conexión, siempre que la carga aplicada no exceda a la resistencia permisible al deslizamiento. No deben utilizarse en juntas tipo aplastamiento. Es necesario usar arandelas endurecidas sobre estos agujeros holgados en las placas exteriores. El empleo de agujeros agrandados permite el uso de tolerancias de construcción mayores.



**Figura 2.25 Placa con agujeros holgados** <sup>37</sup>

### **2.8.6.2. Los agujeros de ranura corta**

Pueden usarse independientemente de la dirección de la carga aplicada para conexiones de deslizamiento crítico o de tipo aplastamiento si la resistencia permisible por deslizamiento es mayor que la fuerza aplicada. Si la carga se aplica en una dirección aproximadamente normal (entre 80° y 100°) a la ranura, estos agujeros pueden usarse en algunas o en todas las capas de las conexiones por aplastamiento. Es necesario usar arandelas (endurecidas si se usan pernos de alta resistencia) sobre los agujeros de ranura corta en las capas exteriores. El uso de agujeros de ranura corta permiten algunas tolerancias de maquinado y fabricación, pero no es necesario para los procedimientos de deslizamiento crítico.

### **2.8.6.3. Los agujeros de ranura larga**

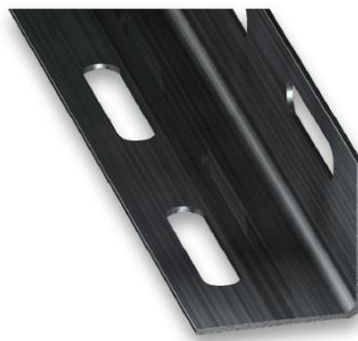
Pueden usarse en cualquiera, pero sólo en una de las partes conectadas y en cualquier superficie de contacto en conexiones tipo fricción o tipo aplastamiento. En las juntas tipo fricción estos agujeros pueden usarse en cualquier dirección (figura 2.26), pero en las juntas tipo aplastamiento las cargas deben ser normales (entre 80° y 100°) a los ejes de los agujeros. Si se usan agujeros de ranura larga en una capa exterior es necesario cubrirlos con arandelas o con una barra continua. En conexiones con pernos de alta resistencia las arandelas o la barra no tienen que ser endurecidas, pero deben ser de material estructural y no deben ser menores de 5/16 pulg en su espesor.

---

<sup>37</sup> <http://www.forch.pt/product.aspx?p=a098755f-4c02-487c-aca9-598db5e74442&g=a77bc033-92c5-4097-b2cc-1f565e0d4a9e&js=1>.

Los agujeros de ranura larga se usan generalmente cuando se hacen conexiones a estructuras existentes donde las posiciones exactas de los miembros que van a conectarse no se conocen.

Las arandelas se usan en general para impedir rayaduras o escoriaciones de los miembros cuando se aprietan los pernos. Mucha gente piensa que aquellas también sirven para repartir la fuerza del perno de ajuste más uniformemente a los miembros conectados. Sin embargo, las pruebas han mostrado que las arandelas de tamaño estándar no afectan mucho la presión, excepto cuando se usan agujeros holgados o de ranura corta.



**Figura 2.26 Agujeros de ranura larga**<sup>38</sup>

## **2.9. LLAVE DE IMPACTO**

La llave de impacto es una herramienta que puede ser accionada manualmente, o a través de electricidad y aire comprimido, el impacto de pequeños martillos dentro de la llave se transforma en un movimiento de rotación. Una llave de impacto alimentada por un compresor de aire también se conoce como llave de neumáticos (figura 2.27).

Aunque el uso de una llave de impacto requiere un cierto grado de experiencia, sin duda facilita las labores, mediante la reducción de tiempo y obreros necesarios para realizar el trabajo sobre las torres de telecomunicaciones.

---

<sup>38</sup><http://www.cqfd-international.com/espanol/cqfd-acero-laminado-en-frio-angulo-perforado-barniz-19.htm>





**Figura 2.27 Llave de impacto neumática <sup>39</sup>**

### **2.9.1. LLAVE DE IMPACTO INALÁMBRICA**

Las llaves de impacto inalámbricas (figura 2.28) son herramientas accionadas por baterías de litio en su mayoría, con capacidades similares a las llaves accionadas con aire comprimido.

Una llave de impacto inalámbrica puede suministrar hasta 1,500 pulgadas-libra de torque para la tarea ha realizarse. Las llaves de impacto se llaman así debido a su engranaje motriz (el martillo), que golpea a un engranaje con dos rebordes denominado yunque. El engranaje impulsor golpea los rebordes del yunque en una proporción de 3,000 golpes por minuto cuando el torque necesario para hacer girar el dado de la herramienta en la parte delantera de la misma. La combinación de la rotación del dado y de los golpes de choque brinda una mejorada potencia empernadora, pero requiere menos trabajo muscular del usuario por lo que los usuarios experimentan mucha menos fatiga en los brazos.



**Figura 2.28 Llave de impacto inalámbrica <sup>40</sup>**

---

<sup>39</sup> <http://www.deltaportercable.com/Products/ProductImages.aspx?ProductID=11571>

<sup>40</sup> [http://www.aonetools.co.uk/product\\_info.php](http://www.aonetools.co.uk/product_info.php)

Las llaves de impacto inalámbricas, que son aproximadamente 35 por ciento más pequeñas que una llave de impacto neumática, son ideales para trabajar en áreas altas o reducidas al utilizar la herramienta en lugares altos, es aconsejable que su peso no sea excesivo para poder controlarla, verificar que el gatillo funcione sin problemas y que la herramienta se sienta balanceada en la posición a ser usada.

Para generar movilidad en las llaves de impacto se hace uso de baterías de iones de litio, aunque son más caras que otros tipos de baterías, brindan una potencia extra con un menor peso.

Entre otra de las características de la llave de impacto se tiene las luces de trabajo que otorgan visibilidad incrementada en áreas con escasa iluminación; en algunos modelos se puede tener luces que permanecen encendidas después de haber accionado el gatillo. Los enganches del cinto dan a los usuarios la posibilidad de transportar la herramienta de manera segura al subir escaleras y cargar materiales.

## **2.10. MOTORES DC**

El motor de corriente continua es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, provocando un movimiento rotatorio. En la actualidad existen nuevas aplicaciones con motores eléctricos que no producen movimiento rotatorio, sino que con algunas modificaciones, ejercen tracción sobre un riel. Estos motores se conocen como motores lineales.

Esta máquina de corriente continua es una de las más versátiles en la industria. Su fácil control de posición, paro y velocidad la han convertido en una de las mejores opciones en aplicaciones de control y automatización de procesos.

La principal característica del motor de corriente continua es la posibilidad de regular la velocidad desde vacío a plena carga.

Su principal inconveniente, el mantenimiento muy caro y laborioso.

Una máquina de corriente continua (generador o motor) se compone principalmente de dos partes, un estator que da soporte mecánico al aparato y tiene un hueco en el centro generalmente de forma cilíndrica. En el estator

además se encuentran los polos, que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre núcleo de hierro. El rotor es generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, al que llega la corriente mediante dos escobillas.

También se construyen motores de CC con el rotor de imanes permanentes para aplicaciones especiales.



**Figura 2.29 Motores de Corriente Continua<sup>41</sup>**

## **2.11. TORNILLO DE POTENCIA**

Los tornillos de potencia sirven para convertir movimiento rotario en movimiento lineal, se usan en máquinas de producción, gatos elevadores, y muchas otras aplicaciones. Son capaces de obtener ventajas mecánicas muy elevadas y, por lo tanto, tienen la capacidad para elevar o mover grandes cargas. En estos casos se requiere una forma de rosca muy resistente.



**Figura 2.30 Tornillo de potencia<sup>42</sup>**

---

<sup>41</sup>[http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Electric\\_motors\\_en.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Electric_motors_en.jpg)

<sup>42</sup>[http://www.emc.uji.es/d/mecapedia/tornillo\\_de\\_potencia.htm](http://www.emc.uji.es/d/mecapedia/tornillo_de_potencia.htm)

Una de las aplicaciones de los tornillos de potencia es en actuadores lineales, que operan bajo el mismo principio del tornillo de potencia común, con la diferencia que tienen motorizada la rotación de la tuerca para trasladar el tornillo o también que pueden tener motorizado la rotación del tornillo para trasladar la tuerca. Este tipo se emplea en máquinas herramientas para desplazar la mesa y la pieza de trabajo debajo de la herramienta de corte, en máquinas de ensamble para colocar piezas y en aeronaves para mover las superficies de control. Si la entrada giratoria proviene de un sólo motor o de un motor de pasos, en combinación con un tornillo de precisión, es posible conseguir un posicionamiento muy preciso.

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO

#### 3.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS JUNTAS EMPERNADAS EMPLEADAS EN TORRES DE TELECOMUNICACIONES DE 24 m DE ALTURA

##### 3.1.1. TIPOS DE JUNTAS Y GEOMETRÍA

Para determinar a qué sección de la torre se tomará con mayor importancia dentro del proceso de diseño, es necesario delimitar la cantidad de juntas existentes y los pernos que las conforman. Para lo cual se pone a consideración la siguiente Tabla 3.1 donde se muestran los diámetros de los pernos que conforman en conjunto una torre de 24 metros de altura, la cantidad de pernos que se tiene por junta, el número total de juntas en la torre y el total de pernos que se necesitan para ensamblar la estructura.

Tipos de juntas que conforman una torre de 24 m. de altura.

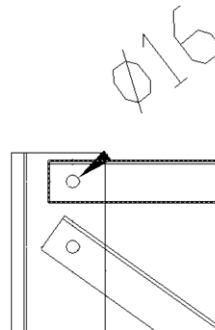


Figura 3.1 Junta de dos pernos de 16 mm. de diámetro

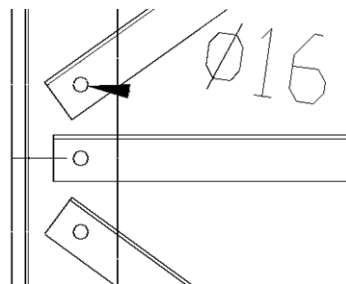
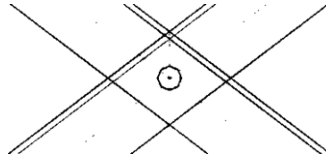
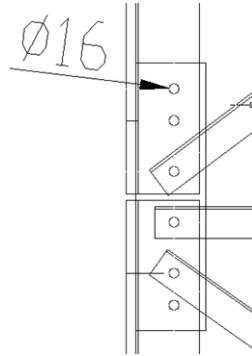


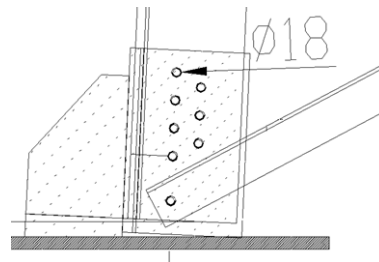
Figura 3.2 Junta de tres pernos de 16 mm. de diámetro



**Figura 3.3 Junta de un perno de 16 mm. de diámetro**



**Figura 3.4 Junta de seis pernos de 16 mm. de diámetro**



**Figura 3.5 Junta de ocho pernos de 18 mm. de diámetro**

**Tabla 3.1 Datos de la cantidad de pernos, tamaño de pernos y cantidad de juntas**

Diámetro	Cant. de pernos	Cant. de juntas	Total de pernos
16	2	6	12
16	1	42	42
16	3	60	180
16	6	18	108
18	20	3	60
<b>Total de pernos</b>			<b>402</b>

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Tabla 3.1 las juntas de tres pernos de 16 mm. de diámetro son las más numerosas en toda la torre, seguidas de las de un perno de 16 mm. de diámetro, con lo cual se concluye que sería beneficioso realizar el diseño de la máquina prototipo únicamente para este tipo de juntas pero por tratarse de una máquina no existente en el mercado nacional se realizará el diseño pertinente para solventar las necesidad de ajuste en todas las juntas de 16 mm de diámetro que presenta la torre.

### 3.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

Para la elaboración de torres de 24 metros es común encontrar como materia prima perfiles estructurales como los que se detallan a en la Tabla 3.2 a continuación:

**Tabla 3.2 Perfiles metálicos empleados en una torre de 24 m de altura**

Perfil	Material	Longitud/ Área	Cantidad
Plancha metálica de 22 mm de espesor	Acero A-36	1,2 m x 2,4 m	1/4
Plancha metálica de 12 mm de espesor	Acero A-36	1,2 m x 2,4 m	1
Plancha metálica de 10 mm de espesor	Acero A-36	1,2 m x 2,4 m	1/2
Plancha metálica de 8 mm de espesor	Acero A-36	1,2 m x 2,4 m	1/2
UV 100x60x 6mm	Acero A-36	6 m	12
L 50x4 mm	Acero A-36	6 m	27
L 50x6 mm	Acero A-36	6 m	26

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.3. TORQUE RECOMENDADO EN LAS JUNTAS

Para garantizar la fijación de las juntas empernadas el proveedor recomienda aplicar una cantidad de torque dependiendo del tipo de perno que se emplea y el grado que este posee, para lo cual se hace uso de la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3 Valores de torque recomendados en una torres de telecomunicaciones**

Diámetro Nominal	Tipo de Rosca	Grado de Resistencia		
	(Hilo x Pulgada)	Grado 2 (Libras - pie)	Grado 5 (Libras - pie)	Grado 8 (Libras - pie)
1/2"	13 - RC	45.0 - 52.0	71.0 - 82.0	100.0 - 115.0
	20 - RF	51.0 - 59.0	80.0 - 90.0	112.0 - 128.0
5/8"	11 - RC	91.0 - 105.0	150.0 - 170.0	200.0 - 230.0
	18 - RF	103.0 - 117.0	160.0 - 180.0	225.0 - 255.0
3/4"	10 - RC	160.0 - 183.0	250.0 - 290.0	350.0 - 405.0
	16 - RF	179.0 - 205.0	275.0 - 320.0	390.0 - 450.0

Fuente: <http://www.pernosur.com/pag/torque.php>.

## **3.2. FUNCIONES, REQUISITOS DE DISEÑO Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN**

### **3.2.1. FUNCIONES**

- Mediante el mecanismo de acople sobre la llave de impacto, la máquina prototipo puede aflojar los pernos de las juntas en las torres de telecomunicaciones, de manera continua.
- Dispensar pernos y tuercas a través del mecanismo de tornillo de potencia, en cada uno de los orificios de las juntas.
- Empernar las juntas de la torre, según la cantidad de agujeros.

### **3.2.2. REQUISITOS DE DISEÑO**

- Como elemento de la máquina prototipo se contempla una llave de impacto con un torque mínimo de 110 N-m.
- El voltaje de la llave de impacto deberá ser 18V mínimo.
- La máquina prototipo estará en capacidad de completar el empernado parcial de una torre de 24 metros de altura.
- La medida del perno con los que se trabajará es 5/8"x2".
- La cantidad de pernos y tuercas por carga será de tres unidades.
- El mecanismo acoplado a la llave de impacto removerá los pernos de las juntas, dispensará los pernos de las medidas especificadas y los ajustará al torque especificado por el diseño.



- Es preferible que el tamaño de la máquina prototipo sea pequeño y que su peso no supere los 20 kg.
- Se estima que la máquina prototipo funcione 6 horas diarias, 5 días a la semana, con una vida útil de 5 años.
- Buena resistencia a la corrosión de la máquina prototipo en la intemperie cuando ésta no esté en uso, además debe ser capaz de funcionar en cualquier región del Ecuador, a temperaturas que varían desde los 5°C a los 40°C.

### **3.2.3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN**

- Seguridad al operario al no llevar varias herramientas
- Facilidad de fabricación
- Facilidad de mantenimiento
- Facilidad de operación
- Bajo costo de producción de la máquina prototipo
- Bajo costo de operación y mantenimiento
- Pequeño tamaño y peso ligero
- Poca vibración
- Usar materiales y elementos fáciles de conseguir
- Uso de componentes disponibles en el mercado
- Apariencia atractiva y adecuada al uso que desempeñará

## **3.3. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**

Para delimitar los parámetros que se deben tratar dentro del diseño de la máquina prototipo es necesario realizar y revisar varias alternativas antes de proceder con la construcción.

### **3.3.1. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO**

Dentro de los aspectos más relevantes que se deben tomar en cuenta en el diseño de la máquina prototipo está; el tipo de llave de impacto que se va a emplear, el material para usar en el mecanismo de la máquina prototipo y el modelo que presente mayores beneficios en la altura.

### 3.3.2. ALTERNATIVAS DE LLAVES DE IMPACTO

Para la construcción de la máquina prototipo es necesario emplear una llave de impacto, debido a este requerimiento se proponen tres alternativas, de las cuales una será la que más cumpla con los requerimientos de diseño.

1. Construcción de la máquina prototipo mediante el uso de una llave de impacto neumática.
2. Construcción de la máquina prototipo mediante el uso de una llave de impacto eléctrica.
3. Construcción de la máquina prototipo mediante el uso de una llave de impacto inalámbrica.

#### 3.3.2.1. Alternativa de llave de impacto 1 (Neumática)

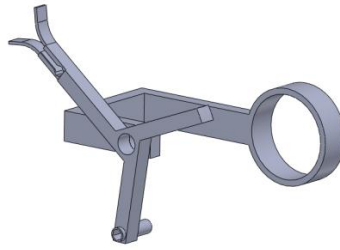
Es posible la construcción de la maquina prototipo mediante el uso de una llave de impacto neumática (figura 3.6), a la cual se adapta el mecanismo multifunción que puede ser fabricado en acero, aluminio o poliamida (figura 3.13). El desempeño de la máquina prototipo en conjunto, no se ve afectado con el uso de esta alternativa; más el peso y la forma de abastecimiento son limitantes dentro del diseño en general, como se mencionó en el CAPÍTULO 2, el peso máximo admisible de herramientas por trabajador es 20 kg. En ciertas ocasiones el ensamble de las torres se lleva a cabo en lugares de difícil acceso o fuera de la zona urbana por lo que es muy poco probable la existencia de energía eléctrica en la zona, restringiendo el uso de compresores que se emplean para suministrar energía a las llaves de impacto neumáticas. Por otro lado la gran altura de las torres influye directamente en el funcionamiento de esta alternativa, pues es necesario el uso de extensas longitudes de manguera para llegar a las posiciones más elevadas.



**Figura 3.6 Llave de impacto neumática marca PORTER CABLE <sup>43</sup>**

---

<sup>43</sup> <http://www.deltaportercable.com/Products/ProductImages.aspx?ProductID=11567>



**Figura 3.7 Sistema de intercambio de herramientas<sup>44</sup>**

### **3.3.2.2. Alternativa de llave de impacto 2 (Eléctrica)**

De igual manera que la alternativa anterior, es viable el uso de una llave de impacto eléctrica (figura 3.8), ya que en esta es factible acoplar el mecanismo de la herramienta multifunción (figura 3.7); de igual manera existen una limitante que restringen su uso, al ser un aparato eléctrico es necesario contar con una fuente continua de energía eléctrica para abastecer a la herramienta, por lo que se ve como un problema a este aspecto, debido a que por lo general el montaje de las estructuras se lo realiza en zonas lejanas de difícil acceso y sería necesario el uso de varios metros de cable hasta llegar al punto de ejecución de la obra.



**Figura 3.8 Llave de impacto eléctrica marca DeWALT <sup>45</sup>**

### **3.3.2.3. Alternativa de llave de impacto 3 (Inalámbrica)**

Emplear una llave de impacto inalámbrica en el diseño de la máquina prototipo (figura 3.9) es posible, pues al igual que las anteriores alternativas se puede montar sobre esta, el mecanismo de intercambio de herramientas, en este caso la restricción en el peso y la maniobrabilidad de la máquina prototipo en la altura son decisivas. El peso de llave de impacto inalámbrica es permisible de

---

<sup>44</sup> Fuente: Propia.

<sup>45</sup> <http://www.powertoolsinc.com/cart/index.php>

acuerdo a la posibilidad de carga de los operarios además de poseer baterías de ión-litio que facilitan el uso de esta herramienta en el campo ya que no tiene que estar directamente conectada en una fuente de corriente para su funcionamiento.



**Figura 3.9 Llave de impacto inalámbrica marca DeWalt <sup>46</sup>**

#### **3.3.2.4. Selección de la mejor alternativa de llave de impacto**

Se han presentado todas las alternativas de llaves de impacto, las cuales representan excelentes opciones para la construcción de la máquina prototipo multifunción para el montaje y mantenimiento de torres autosoportadas de telecomunicaciones. Sin embargo aunque todas presentan puntos positivos es necesario elegir la que pueda tener un mayor alcance dentro del montaje y pueda ser empleada en la altura.

Para tomar como factible una de las alternativas de diseño se tomará en cuenta los parámetros siguientes:

- Marca
- Modelo
- Modo de operación
- Peso
- Peso + herramienta multifunción
- Maniobrabilidad
- Precio

---

<sup>46</sup> <http://www.dewalt.com/tools/>

**Tabla 3.4 Tabla de características de llaves de impacto**

SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE LLAVE DE IMPACTO			
CARACTERÍSTICAS	<i>ALTERNATIVA 1 NEUMÁTICA</i>	<i>ALTERNATIVA 2 ELÉCTRICA</i>	<i>ALTERNATIVA 3 INALÁMBRICA</i>
MODO DE OPERACIÓN	Fuente neumática	Fuente eléctrica	Baterías recargables de ión litio
PESO	11.5 lb	7 lb	7.5 lb
PESO + HERRAMIENTA MULTIFUNCIÓN APROX	15 lb	10.5 lb	11 lb
MANIOBRABILIDAD	baja	media	Alta
PRECIO	415 USD	200 USD	300 USD

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.5 Tabla de factibilidad de alternativas de llaves de impacto <sup>47</sup>**

PONDERACIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE LLAVE DE IMPACTO							
CARACTERÍSTICAS	PORCENTAJE	ALTERNATIVA 1 NEUMÁTICA	CALF	ALTERNATIVA 2 ELÉCTRICA	CALF	ALTERNATIVA 3 INALÁMBRICA	CALF
MODO DE OPERACIÓN	20	1	0.2	1	0.2	4	0.8
PESO	25	3	0.75	1	0.25	5	1.25
PESO + HERRAMIENTA MULTIFUNCIÓN APROX	30	2	0.6	1	0.6	5	1.5
MANIOBRABILIDAD	10	1	0.1	3	0.3	5	0.5
PRECIO	15	5	0.75	1	0.15	4	0.75
TOTAL	<b>100%</b>	<b>18</b>	<b>2.4</b>	<b>14</b>	<b>1.5</b>	<b>31</b>	<b>4.8</b>

Fuente: Elaboración propia.

<sup>47</sup> Calificaciones: 1-5; Malo - Excelente

Al observar la tabla de factibilidad se nota que la alternativa de llave de impacto 3 con una calificación de 4.5, es la que más prestaciones brinda ante el diseño planteado, debido a que las limitantes; como el peso y maniobrabilidad están dentro de las especificaciones, se toma como válida a esta opción de diseño. El diseño de la máquina prototipo mediante el uso de una llave de impacto inalámbrica, no sólo ayuda en cuanto al peso final de toda la herramienta, sino también a la reducción de tiempo de trabajo.

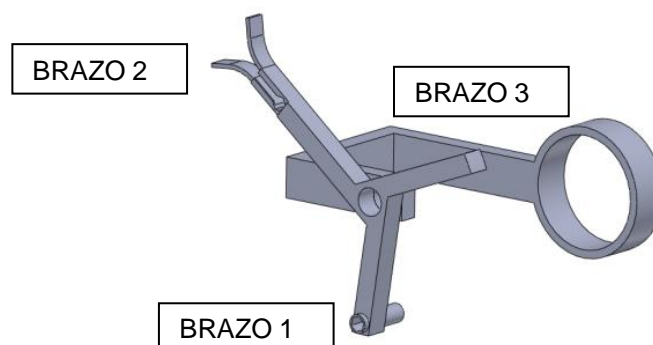
### **3.3.3. ALTERNATIVAS DE DISEÑO DEL MECANISMO PARA HERRAMIENTA MULTIFUCCIÓN**

Para delimitar el diseño más óptimo es importante determinar las alternativas que se disponen para el mecanismo de la herramienta multifunción, sus principales ventajas y desventajas para de esta manera tener un criterio para decidir cuál de todas es la más funcional y viable.

Por lo tanto se plantean tres opciones del mecanismo.

#### **3.3.3.1. Alternativa de mecanismo 1**

El mecanismo se diseña para ser colocado sobre el protector de la llave de impacto, el proceso de desempernado y empernado se lleva a cabo por medio de una copa acoplada en el brazo 1 del mecanismo la misma que esta acoplada a un tren de engranes que generan movimiento circular, mientras que los pernos son dispensados por gravedad a través del brazo, y el brazo 3 se encarga de dispensar las tuercas igualmente por gravedad.



**Figura 3.10 Alternativa 1 de mecanismo <sup>48</sup>**

---

<sup>48</sup> Fuente: Propia.

### 3.3.3.2. Alternativa de mecanismo 2

Se dispone de un mecanismo compuesto de dos brazos, uno para dispensar los pernos y el otro para dispensar las tuercas, los cuales se aseguran sobre el protector de la llave de impacto y su movimiento está regido a través de un mecanismo adicional de trinquete que tiene la capacidad de colocar todo el mecanismo en la posición que sea necesaria para su uso. Además sobre el dado de salida de la llave de impacto está dispuesto un juego de engranes helicoidales los que tienen el objetivo de transmitir la potencia y el torque de la máquina hacia el último engrane el cual tiene una copa para empernar y desempernar según sea la necesidad.

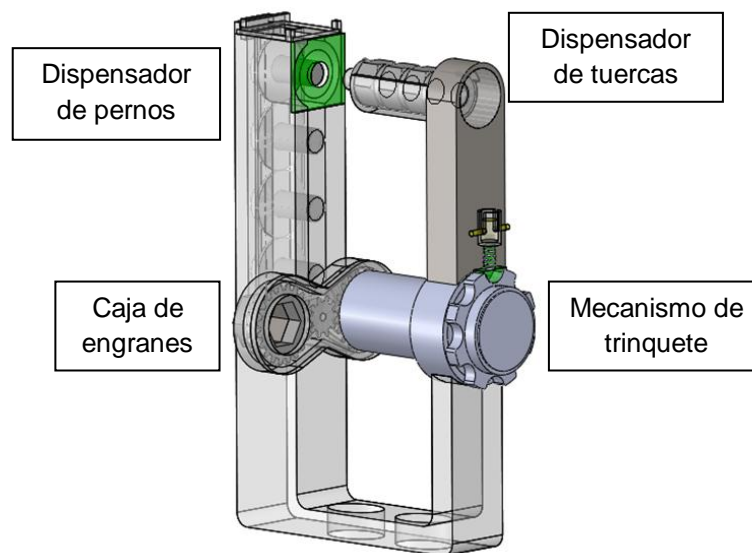


Figura 3.11 Alternativa 2 de mecanismo <sup>49</sup>

### 3.3.3.3. Alternativa de mecanismo 3

El mecanismo se compone de varios elementos que se desglosan a continuación: Como elemento principal se tiene la llave de impacto inalámbrica que será el generador motriz para el movimiento que tendrá la camisa giratoria que se aloja sobre la punta de la llave de impacto, cuya función será empernar y desempernar a través de la boquilla que posee en la parte delantera, al mismo tiempo dentro de esta camisa giratoria se alojan las tuercas que reemplazarán a las antiguas en el proceso de mantenimiento. Por otro lado el brazo de apoyo tiene en uno de sus lados el dispensador de pernos el cual se

<sup>49</sup> Fuente: Propia.



encarga de colocar los pernos nuevos en la posición de cada agujero en los perfiles de la torre. Por lo tanto este diseño se convierte en el más funcional ya que combina la herramienta para remover los pernos con el dispensador de tuercas en el mismo lugar, y esto da como resultado menos movimientos para llegar a los agujeros y colocar los pernos.

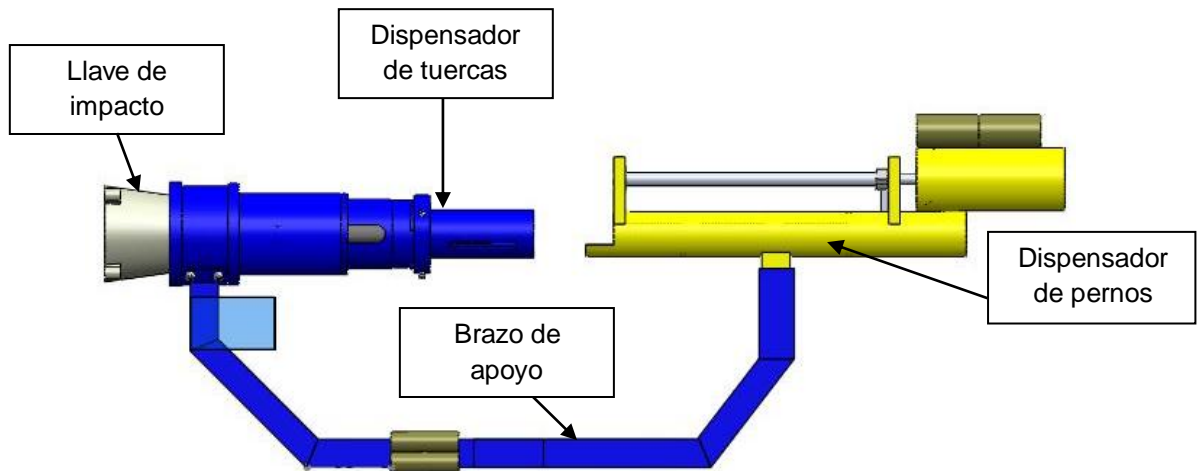


Figura 3.12 Alternativa 3 de mecanismo <sup>50</sup>

#### 3.3.3.4. Selección de la mejor alternativa de mecanismo

Para determinar cuál de las tres alternativas de diseño del mecanismo de la herramienta es la más viable, se deben calificar y tomar en cuenta varios parámetros que ayudarán a visualizar las ventajas y las posibles desventajas que posean cada una de las alternativas.

**Los parámetros que se debe tener en cuenta son los siguientes:**

- Peso
- Tamaño
- Funcionalidad
- Facilidad de fabricación
- Facilidad de operación
- Resistencia a la corrosión
- Facilidad de recarga de pernos y tuercas
- Precio

<sup>50</sup> Fuente: Propia.

**Tabla 3.6 Tabla de características del mecanismo**

SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DEL MECANISMO			
CARACTERÍSTICAS	<i>ALTERNATIVA 1</i>	<i>ALTERNATIVA 2</i>	<i>ALTERNATIVA 3</i>
PESO	Bajo	Alto	Medio
TAMAÑO	Pequeño	Grande	Medio
FUNCIONALIDAD	Baja	Alta	Alta
FACILIDAD DE FABRICACIÓN	Alta	Media	Media
FACILIDAD DE OPERACIÓN	Baja	Media	Alta
RESISTENCIA A LA CORROSIÓN	Media	Media	Media
FACILIDAD DE RECARGA DE PERNOS Y TUERCAS	Baja	Alta	Alta
PRECIO	Bajo	Medio	Alto

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.7 Tabla de factibilidad de alternativas de diseño del mecanismo <sup>51</sup>**

SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE MATERIAL							
CARACTERÍSTICAS	PORCENTAJE	ALTERNATIVA 1	CALF	ALTERNATIVA 2	CALF	ALTERNATIVA 3	CALF
PESO	30	5	1.5	2	0.60	4	1.20
TAMAÑO	10	4	0.4	3	0.30	4	0.40
FUNCIONALIDAD	15	1	0.15	4	0.60	5	0.75
FACILIDAD DE FABRICACIÓN	5	3	0.15	2	0.10	2	0.10
FACILIDAD DE OPERACIÓN	15	1	0.15	3	0.45	5	0.75
RESISTENCIA A LA CORROSIÓN	5	3	0.15	3	0.15	3	0.15
FACILIDAD DE RECARGA DE PERNOS Y TUERCAS	15	1	0.15	4	0.60	5	0.75
PRECIO	5	5	0.25	3	0.15	2	0.10
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>23</b>	<b>2.9</b>	<b>24</b>	<b>2.95</b>	<b>30</b>	<b>4.2</b>

Fuente: Elaboración propia

<sup>51</sup> Calificaciones: 1-5; Malo- Excelente

La tabulación de la tabla 3.7 da como resultado que la alternativa 3 es la más opcionada para cubrir las expectativas de diseño en cuanto al mecanismo, ya que es la más funcional de las alternativas y además posee características de maniobrabilidad, desempeño y funcionalidad que las otras alternativas no cumplen, por lo cual se toma como válida para el diseño y posterior construcción.

### **3.3.4. ALTERNATIVAS DE MATERIALES PARA EL MECANISMO DE LA HERRAMIENTA MULTIFUCCIÓN**

De igual manera es indispensable el estudio de las alternativas para determinar qué tipo de material será usado en la construcción del mecanismo de la herramienta multifunción. Para lo cual se proponen tres alternativas para la elaboración de esta pieza:

1. Construcción del mecanismo de la herramienta en acero.
2. Construcción del mecanismo de la herramienta en aluminio.
3. Construcción del mecanismo de la herramienta en poliamida.

#### **3.3.4.1. Alternativa de material 1 (Acero)**

El uso de acero en elementos de máquinas es el precedente que se tiene para ser tomado en cuenta como una de las alternativas de materiales para la construcción del mecanismo de la herramienta multifunción, su uso beneficiaría al diseño en cuanto a la resistencia y durabilidad del mecanismo, más se ve restringido por su peso y baja resistencia a la corrosión, a diferencia del aluminio.

#### **3.3.4.2. Alternativa de material 2 (Aluminio)**

El empleo de aluminio dentro del mecanismo de la herramienta multifunción es viable, pues no aumenta significativamente el peso general de la máquina prototipo debido a su densidad, además de poseer resistencia a la corrosión y propiedades que lo hacen fácil de maquinar es una de las alternativas que se podrían aplicar en el diseño planteado.

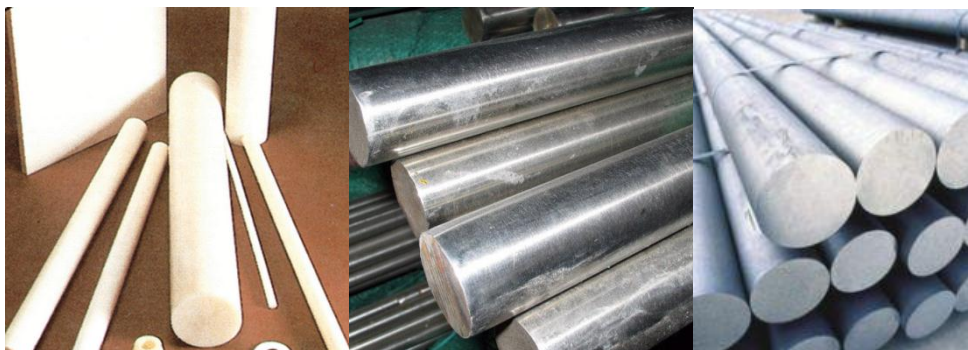
### 3.3.4.3. Alternativa de material 3 (Poliamida)

El uso de poliamida dentro del diseño es aplicable, pues posee características mecánicas como resistencia al desgaste, resistencia a la tracción y alto grado de anticorrosión, lo cual genera mayor versatilidad y maquinabilidad, además el peso que se incrementa a toda la máquina prototipo es mínimo a comparación de otros materiales.

### 3.3.4.4. Selección de la mejor alternativa de material

Se presentaron tres alternativas de materiales para la construcción del mecanismo de la herramienta multifunción, los cuales presentan varias características que los hacen opciones a ser tomadas en cuenta, sin embargo es necesario optar por una de las alternativas que proporcionen la característica deseada de diseño y sea ligera para no exceder con la recomendación de peso. Para lo cual es necesario tomar en cuenta ciertos parámetros que diferencian a cada una de las alternativas, y así poder distinguir el material más óptimo para la construcción de la máquina prototipo.

- Densidad
- Módulo de elasticidad
- Maquinabilidad
- Precio
- Resistencia a la tracción
- Dureza
- Presentación
- Resistencia a la corrosión



**Figura 3.13 Alternativas de material** <sup>52</sup>

<sup>52</sup> <http://www.aluminiosjuanignacio.com/>  
<http://www.balvinder.es/paginas/Enciclopedia.html>  
<http://www.directindustry.es/prod/stelmi-italia/barras-de-acero-cromado-32577-204463.html>

**Tabla 3.8 Tabla de características de materiales**

SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE MATERIAL			
CARACTERÍSTICAS	<b>ALTERNATIVA 1 ACERO</b>	<b>ALTERNATIVA 2 ALUMINIO</b>	<b>ALTERNATIVA 3 POLIAMIDA</b>
DENSIDAD	7850 kg/m <sup>3</sup>	2700 kg/m <sup>3</sup>	1145 kg/m <sup>3</sup>
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	250 MPa	160-200 MPa	80 MPa
MÓDULO DE ELASTICIDAD	200 GPa	70 GPa	4 GPa
DUREZA (HB)	235	110	170
RESISTENCIA A LA CORROSIÓN	Moderada	Buena	Alta
MAQUINABILIDAD	Fácil	Fácil	Fácil
PRESENTACIÓN	Barras, palancas, planchas	Barras, palancas	Barras, palancas, planchas
PRECIO	Barra de 1 ½" x4" 28 USD	Barra de 1 ½" x4" 30 USD	Barra de 1 ½" x4" 18.5 USD

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.9 Tabla de factibilidad de alternativas de materiales** <sup>53</sup>

SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE MATERIAL							
CARACTERÍSTICAS	PORCENTAJE	ALTERNATIVA 1 ACERO	CALF	ALTERNATIVA 2 ALUMINIO	CALF	ALTERNATIVA 3 POLIAMIDA	CALF
DENSIDAD	25	2	0.5	3	0.75	3	0.75
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	10	5	0.5	4	0.4	2	0.2
MÓDULO DE ELASTICIDAD	10	5	0.5	3	0.3	1	0.1
DUREZA (HB)	10	5	0.5	2	0.2	4	0.4
RESISTENCIA A LA CORROSIÓN	20	3	0.6	5	1	5	1
MAQUINABILIDAD	10	5	0.5	5	0.5	4	0.4
PRESENTACIÓN	5	5	0.25	4	0.2	3	0.15
PRECIO	10	4	0.4	2	0.2	5	0.5
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>31</b>	<b>3.6</b>	<b>28</b>	<b>3.55</b>	<b>27</b>	<b>3.5</b>

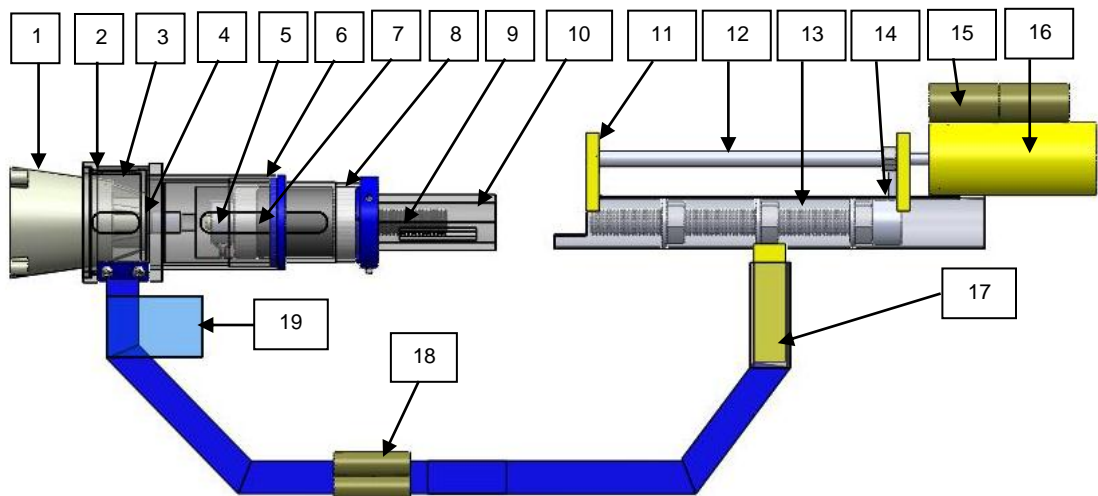
Fuente: Elaboración propia.

<sup>53</sup> Calificaciones: 1-5; Malo- Excelente

Se hace uso de la alternativa 1 puesto que el acero es mas manejable y maquinable y su versatilidad de presentaciones hace que sea fácil conseguirlo, además que sus propiedades garantizan la estabilidad de la máquina prototipo en general y mediante la aplicación de una pintura anticorrosión se puede proteger su superficie.

### 3.4. DISEÑO DE LA MÁQUINA PROTOTIPO

#### 3.4.1. BOSQUEJO Y LISTA DE ELEMENTOS



**Figura 3.14 Bosquejo del diseño de la máquina prototipo final con elementos <sup>54</sup>**

Como se observa en la figura 3.14 los elementos de la máquina prototipo se encuentran numerados para poder distinguirlos de mejor manera al momento de realizar su diseño independiente, además de poder ubicarlos de forma precisa en el plano de conjunto.

<sup>54</sup> Fuente: Propia.



**Tabla 3.10 Lista de elementos de la máquina prototipo final y tipo de diseño**

N°	ELEMENTO	TIPO DE DISEÑO
1	Llave de impacto	Catálogo
2	Bastidor carcasa móvil	Diseño Geométrico
3	Carcasa móvil	Diseño Geométrico
4	Brida de soporte	Diseño Geométrico
5	Motor DC 1	Catálogo
6	Rodamientos de agujas	Catálogo NTN
7	Soporte camisa giratoria	Viga Voladizo
8	Camisa giratoria	Diseño a torsión
9	Tornillo elevador de tuercas	Catálogo
10	Copa	Catálogo
11	Chumacera	Diseño Geométrico
12	Tornillo desplazada pernos	Catálogo
13	Dispensador pernos	Diseño Geométrico
14	Empujador de pernos	Diseño Geométrico
15	Baterías motor DC 2	Catálogo
16	Soporte y motor DC 2	Diseño geométrico
17	Braza de apoyo	Viga Empotrada
18	Baterías motor DC 1	Catálogo
19	Control eléctrico motor DC 1	Diseño eléctrico

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.2. DISEÑO Y SELECCIÓN DE CADA ELEMENTO

#### 3.4.2.1. Llave de impacto

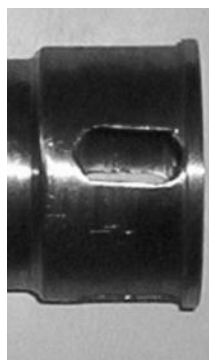
Se escoge una llave de impacto inalámbrica marca DeWalt modelo DW059K-2, la cual posee un torque máximo de 300 lb-ft que abarca todo el rango de torque que se necesita para los pernos de ½ in, 5/8 in, ¾ in.



**Figura 3.15 Llave de impacto** <sup>55</sup>

#### 3.4.2.2. Bastidor carcasa móvil

Para proporcionar un correcto montaje del mecanismo a la llave de impacto es necesario contar con un bastidor que proporcione equilibrio entre todos los elementos y además reduzca el tiempo de montaje del conjunto. Se diseña el bastidor tomando en cuenta la geometría de los elementos que soporta, ya que este no se somete a cargas significativas que pudieran generar alguna deformación, además por medio de soldadura se aseguran sus partes. Las medidas se especifican en el ANEXO A.



**Figura 3.16 Bastidor carcasa móvil** <sup>56</sup>

---

<sup>55</sup> Fuente: Propia.

<sup>56</sup> Fuente: Propia.

### 3.4.2.3. Carcasa móvil

La carcasa móvil está diseñada geoméricamente ya que no se somete a esfuerzos considerables que provoquen alguna deformación interna o externa del elemento en mención. Sirve como soporte del brazo de apoyo y de la camisa giratoria evitando así que quede en voladizo. De esta manera se garantiza el movimiento circular alrededor del rodamiento para colocar el mecanismo en la posición según la necesidad del operador. Las medidas se especifican en el ANEXO A.



**Figura 3.17 Carcasa móvil<sup>57</sup>**

### 3.4.2.4. Brida de soporte

Para asegurar el mecanismo a la máquina motriz es necesario fabricar un elemento que se coloque sobre la carcasa de la llave de impacto y de esta manera generar estabilidad a todo el conjunto. Por lo tanto se diseña geoméricamente un anillo de sujeción que por medio de tornillos se ancla todo el mecanismo y garantiza el equilibrio. Las medidas se especifican en el ANEXO A.



**Figura 3.18 Brida de soporte<sup>58</sup>**

---

<sup>57</sup> Fuente: Propia.

### 3.4.2.5. Motor eléctrico DC

Para esta aplicación específica se escoge un motor tomando en cuenta la carga y el torque que se debe generar para elevar las tuercas y los pernos.

Este tipo de motores poseen un juego de engranes que ayudan a dar mayor potencia al tornillo para llegar a posición solicitada.



Figura 3.19 Motor eléctrico DC<sup>59</sup>

#### Cálculo de la potencia del Motor 1

$$P = 0.104.T \text{ (Nm)}.n \text{ (rpm)}^{60}$$

$$P = 0.104 \times 2.5 \text{ Nm} \times 180 \text{ rpm}$$

$$P = 46.8 \text{ N-m/min} = 0.78 \text{ W}$$

#### Cálculo de la potencia del Motor 2

$$P = 0.104.T \text{ (Nm)}.n \text{ (rpm)}$$

$$P = 0.104 \times 1.25 \text{ Nm} \times 150 \text{ rpm}$$

$$P = 19.5 \text{ N-m/min} = 0.33 \text{ W}$$

### 3.4.2.6. Rodamiento de agujas

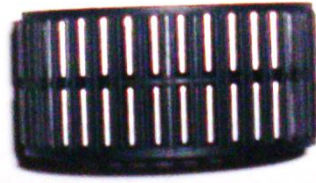
Tomando en cuenta factores como el número de revoluciones, el espacio interior y el peso, se procede al uso de rodamientos de agujas que se escogen del manual de NTN, donde ingresando con los datos antes mencionados se puede encontrar el rodamiento K48x53x37.5ZW que satisface la necesidad de disminuir la fricción entre el soporte y la camisa giratoria. (Ver ANEXO B).

---

<sup>58</sup> Fuente: Propia.

<sup>59</sup> <http://www.directindustry.es/>

<sup>60</sup> [http://www.fisicanet.com.ar/fisica/electrotecnia/ap10\\_motor\\_de\\_corriente\\_continua.php](http://www.fisicanet.com.ar/fisica/electrotecnia/ap10_motor_de_corriente_continua.php)



**Figura 3.20 Rodamiento de agujas <sup>61</sup>**

#### **3.4.2.7. Soporte camisa giratoria**

Para evitar la deflexión de la camisa giratoria que se pudiera producir por estar en voladizo, se hace uso de un soporte cilíndrico diseñado bajo la teoría de vigas en voladizo para dar la estabilidad necesaria en el momento del giro de la camisa, además en su interior tiene un alojamiento para el rodamiento de agujas, de esta manera se aísla la fricción que se produce entre las superficies metálicas. Las medidas se especifican en el ANEXO A.

***Deflexión de una viga en voladizo con carga distribuida y un extremo empotrado  $Y_{m\acute{a}x}$***

$$Y_{m\acute{a}x} = \frac{-q \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I} \quad \text{Ec.3.1}^{62}$$

***Longitud de la viga  $L$***

Se toma en cuenta la longitud total del soporte como la longitud de la viga, en donde se aplica la carga distribuida.

$$L = 80 \text{ mm}$$

***Carga aplicada  $P$***

La carga que se aplica a lo largo de todo el soporte está conformada por todo el sistema de porta tuercas el cual consta de una carga de 3 tuercas, el dispensador de tuercas y el sistema elevador, en conjunto suman aproximadamente 2.64 libras.

$$P = 1.2 \text{ kg} = 12 \text{ N}$$

---

<sup>61</sup> Fuente: Propia.

<sup>62</sup> PDF: Tabla de esfuerzos en vigas, INSTITUTO CHILENO DEL ACERO

Carga distribuida

$$q = 12 \text{ N} / 80 \text{ mm} = 0.15 \text{ N/mm}$$

### **Módulo de elasticidad del Acero A36 E**

$$E = 20 \times 10^4 \text{ MPa}$$

### **Inercia de un tubo redondo I**

Para el cálculo de la inercia se debe tomar en cuenta que el cuerpo es un tubo redondo de 58 mm de diámetro exterior y 49.5 mm de diámetro interior, por lo tanto se hace uso de la fórmula general para el cálculo de la inercia de un tubo redondo.

$$I = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64}$$

$$I = \frac{\pi \cdot (58^4 - 49.5^4)}{64}$$

$$I = 260.79 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

$$Y_{\text{máx}} = \frac{-0.15 \text{ N} \cdot (80 \text{ mm})^4}{8 \cdot (20 \times 10^4 \text{ MPa}) \cdot 260.79 \times 10^3 \text{ mm}^4}$$

$$Y_{\text{máx}} = -1.472 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

Al ser tan pequeña la deflexión calculada, no es significativa y no provoca una deformación permanente en el elemento tubular.



**Figura 3.21 Carcasa móvil<sup>63</sup>**

---

<sup>63</sup> Fuente: Propia.

### 3.4.2.8. Camisa giratoria

Para el diseño de este elemento es necesario dividir en dos secciones a la pieza (figura 3.22), de esta manera se pueden determinar los esfuerzos que se producen por el torque aplicado en cada sección y a su vez encontrar el factor de seguridad de la pieza.

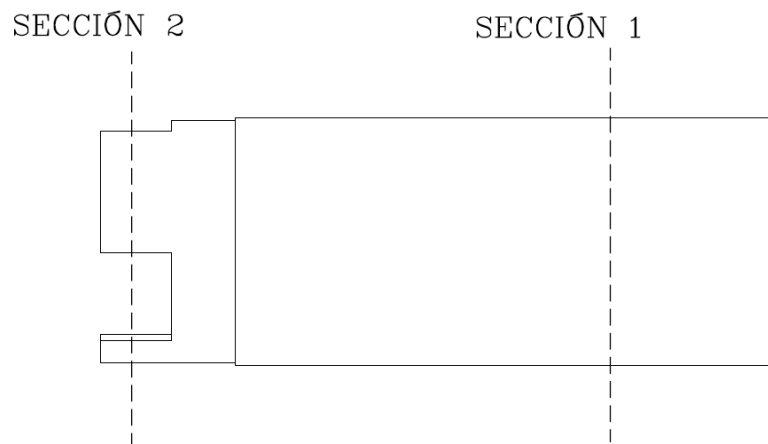


Figura 3.22 Camisa giratoria dividida en secciones

#### Sección 1



Figura 3.23 Sección 1 camisa giratoria

#### a1) Cálculo del momento polar de inercia

$$J_c = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{32}$$

Ec.3.2<sup>64</sup>

$$d_o = 0.049\text{m}$$

$$d_i = 0.044\text{ m}$$

<sup>64</sup> Norton, Robert. Diseño de máquinas. Primera ed. México. Editorial Pearson. 1999. p. 220. Ec 4.25b, Ec 4.24, Ec 4.23b

$$J_c = \frac{\pi(0.049^4 - 0.044^4)}{32}$$

$$J_c = 1.98 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

### b1) Cálculo de la deflexión angular

$$\theta = \frac{T \cdot L_i}{G_m \cdot J_c}$$

Ec.3.3<sup>65</sup>

Torque aplicado a la camisa

$$T = 217 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Longitud de la camisa

$$L_i = 0.1 \text{ m}$$

### Módulo de corte del Acero A36

$$G_m = 8.08 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$$

$$\theta = \frac{217 \cdot 0.1}{8.08 \times 10^{10} \cdot 1.98 \times 10^{-7}}$$

$$\theta = 1.36 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\theta = 0.07 \text{ grados}$$

Se puede apreciar que el ángulo es tan pequeño que tiende a cero por lo tanto la deflexión angular será despreciable.

### c1) Cálculo del esfuerzo cortante máximo

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{T \cdot (d_o/2)}{J_c}$$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{217 \cdot (0.049/2)}{1.98 \times 10^{-7}}$$

$$\tau_{\text{máx}} = 26.85 \text{ MPa} = 3.89 \text{ ksi}$$

---

<sup>65</sup> Norton, Robert. Diseño de máquinas. Primera ed. México. Editorial Pearson. 1999. p. 220. Ec 4.24



## d1) Cálculo de la resistencia por Fatiga

### Factores de corrección para la fatiga $S_e$

$$S_e' = 0.5 \times S_u$$

$$S_e' = 0.5 \times 58 \text{ ksi}$$

$$S_e' = 29 \text{ ksi}$$

$$S_e = k_c \times k_s \times k_t \times S_e'$$

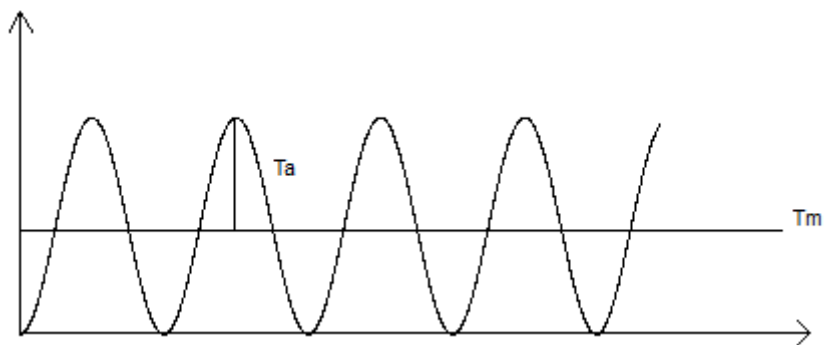
$$k_c = 0.58 \text{ (torsión)}$$

$$k_s = A \times S_u^b = 2.7 \times (58 \text{ ksi})^{-0.265} = 0.92 \quad (\text{Norton Pág. 378})$$

$$k_t = 0.869 \times d^{-0.097} = 0.869 \times (1.93 \text{ pulg})^{-0.097} = 0.82$$

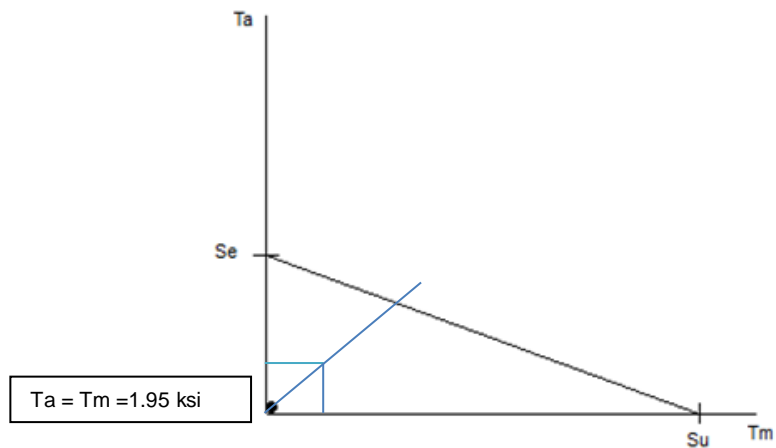
$$S_e = 0.58 \times 0.92 \times 0.82 \times 29 \text{ ksi}$$

$$S_e = 12.69 \text{ ksi}$$



$$\tau_m = \tau_a = \tau_{\text{máx}}/2 = 28.85 \text{ MPa} / 2 = 13.43 \text{ MPa} = 1.95 \text{ ksi}$$

## Criterio de GOODMAN



Dado que los puntos de  $\tau_a$  y  $\tau_m$  están dentro del rango seguro la camisa no fallará por fatiga.

### e1) Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo

$$S_{sy} = 0.5 \times S_y$$

$$S_{sy} = 0.5 \times 36 \text{ ksi}$$

$$S_{sy} = 18 \text{ ksi}$$

### f1) Factor de seguridad

$$FS = S_{sy} / \tau_{\text{máx}}$$

$$FS = 18 \text{ ksi} / 3.89 \text{ ksi}$$

$$FS = 4.63$$

El valor del factor de seguridad garantiza que el elemento no fallará.

## Sección 2

La sección 2 esta compuesta de tres segmentos de circunferencia (figura 3.24), para el diseño de esta sección es necesario encontrar el momento polar de inercia de cada uno de los segmentos y luego determinar un momento de inercia total.

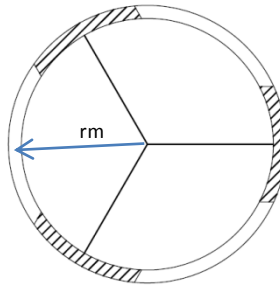


Figura 3.24 Sección 2 dividida en tres segmentos<sup>66</sup>



Figura 3.25 Sección 2 camisa giratoria<sup>67</sup>

### a2) Cálculo del momento polar de inercia de los segmentos

$$J_c = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{32}$$

Ec.3.4<sup>68</sup>

$$d_o = 0.049 \text{ m}$$

$$d_i = 0.044 \text{ m}$$

$$J_c = \frac{\pi(0.049^4 - 0.044^4)}{32}$$

---

<sup>66</sup> Fuente: Propia.

<sup>67</sup> Fuente: Propia.

<sup>68</sup> Norton, Robert. Diseño de máquinas. Primera ed. México. Editorial Pearson. 1999. p. 220. Ec 4.25b, Ec 4.24, Ec 4.23b

$$J_c = 1.98 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$J_t = J_c / 2$$

$$J_t = 9.9 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

## **b2) Cálculo de la deflexión angular**

$$\theta = \frac{T \cdot L_i}{G_m \cdot J_t}$$

**Ec.3.5**<sup>69</sup>

Torque aplicado a la camisa

$$T = 217 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Longitud de la sección 2

$$L_i = 0.015 \text{ m}$$

## **Módulo de corte del Acero A36**

$$G_m = 8.08 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$$

$$\theta = \frac{217 \cdot 0.015}{8.08 \times 10^{10} \cdot 9.9 \times 10^{-8}}$$

$$\theta = 4.07 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

$$\theta = 0.02 \text{ grados}$$

Se puede apreciar que el ángulo es pequeño por lo tanto la deflexión angular será despreciable.

## **c2) Cálculo del esfuerzo cortante máximo**

Para el cálculo del esfuerzo es necesario encontrar la longitud de arco de cada una de las secciones, para lo cual se emplea la siguiente fórmula:

$$L_m = \theta / 360^\circ (2\pi \times r_m)$$

$$L_m = 60^\circ / 360^\circ (2\pi \times 23.25 \text{ mm})$$

$$L_m = 24.35 \text{ mm}$$

---

<sup>69</sup> Norton, Robert. Diseño de máquinas. Primera ed. México. Editorial Pearson. 1999. p. 220. Ec 4.24

La longitud total media es 3 veces la longitud media es decir  $L_{mt} = 73.05 \text{ mm}$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{3 \times T}{L_{mt} \times c^2}$$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{3 \times 217 \text{ N-m}}{0.07305 \text{ m} \times (0.0025 \text{ m})^2}$$

$$\tau_{\text{máx}} = 1.42 \text{ GPa} = 205.95 \text{ ksi}$$

## d2) Cálculo de la resistencia por Fatiga

### Factores de corrección para la fatiga $S_e$

$$S_e' = 0.5 \times S_u$$

$$S_e' = 0.5 \times 58 \text{ ksi}$$

$$S_e' = 29 \text{ ksi}$$

$$S_e = k_c \times k_s \times k_t \times S_e'$$

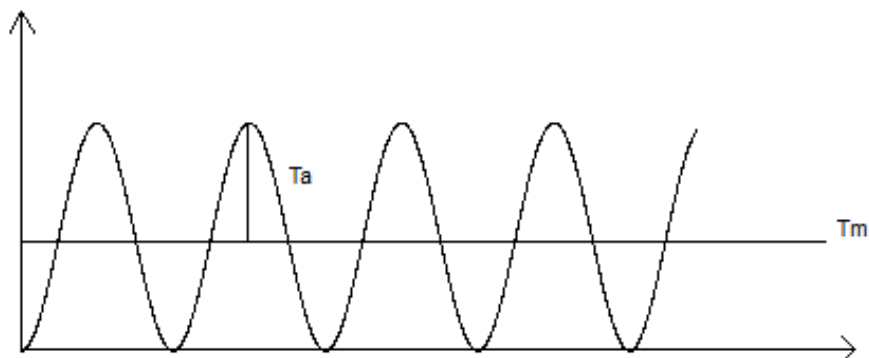
$$k_c = 0.58 \text{ (torsión)}$$

$$k_s = A \times S_u^b = 2.7 \times (58 \text{ ksi})^{-0.265} = 0.92 \quad \text{(Norton Pág. 378)}$$

$$k_t = 0.869 \times d^{-0.097} = 0.869 \times (1.93 \text{ pulg})^{-0.097} = 0.82$$

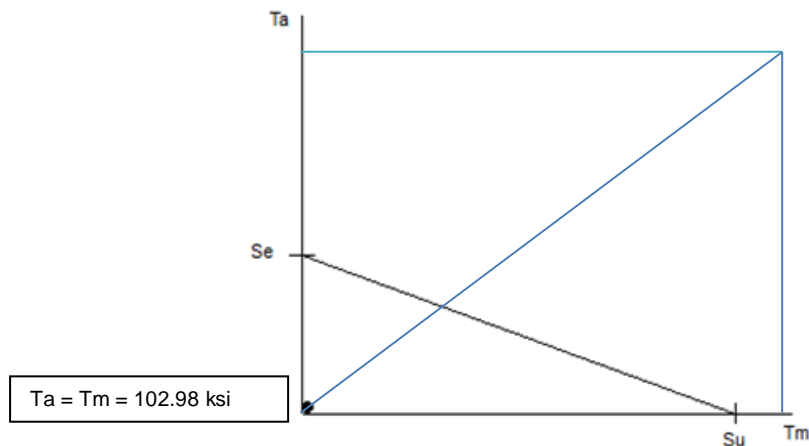
$$S_e = 0.58 \times 0.92 \times 0.82 \times 29 \text{ ksi}$$

$$S_e = 12.69 \text{ ksi}$$



$$\tau_m = \tau_a = \tau_{\text{máx}}/2 = 1.42 \text{ GPa} / 2 = 0.71 \text{ GPa} = 102.98 \text{ ksi}$$

## Criterio de GOODMAN



Dado que los puntos de  $\tau_a$  y  $\tau_m$  están fuera del rango seguro la camisa fallará por fatiga.

### e2) Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo

$$S_{sy} = 0.5 \times S_y$$

$$S_{sy} = 0.5 \times 36 \text{ ksi}$$

$$S_{sy} = 18 \text{ ksi}$$

### f2) Factor de seguridad

$$FS = S_{sy} / \tau_{\text{máx}}$$

$$FS = 18 \text{ ksi} / 102.98 \text{ ksi}$$

$$FS = 0.17$$

El valor del factor de seguridad no garantiza la falla del elemento en esta sección, para lo cual se propone hacer varios cambios entre los que se contemplan en cambio de material por uno de mayor resistencia como por ejemplo un acero AISI 4142 con un  $S_u = 325 \text{ ksi}$ , además se propone aumentar el espesor de la sección a 4.5 mm.

## Diseño de la sección 2 corregido

### **Cálculo del momento polar de inercia de los segmentos**

$$J_c = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{32}$$

$$d_o = 0.049 \text{ m}$$

$$d_i = 0.0445 \text{ m}$$

$$J_c = \frac{\pi(0.049^4 - 0.0445^4)}{32}$$

$$J_c = 1.81 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$J_t = J_c / 2$$

$$J_t = 9.05 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

### **Cálculo de la deflexión angular**

$$\theta = \frac{T \cdot L_i}{G_m \cdot J_t}$$

Torque aplicado a la camisa

$$T = 217 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Longitud de la sección 2

$$L_i = 0.015 \text{ m}$$

### **Módulo de corte del Acero A36**

$$G_m = 8.08 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$$

$$\theta = \frac{217 \cdot 0.015}{8.08 \times 10^{10} \cdot 9.05 \times 10^{-8}}$$

$$\theta = 4.45 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

$$\theta = 0.03 \text{ grados}$$

Se puede apreciar que el ángulo es pequeño por lo tanto la deflexión angular será despreciable.

## Cálculo del esfuerzo cortante máximo

Para el cálculo del esfuerzo es necesario encontrar la longitud de arco de cada una de las secciones, para lo cual se emplea la siguiente fórmula:

$$L_m = \theta/360^\circ (2\pi \times r_m)$$

$$L_m = 60^\circ/360^\circ (2\pi \times 23.37 \text{ mm})$$

$$L_m = 24.47 \text{ mm}$$

La longitud total media es 3 veces la longitud media es decir  $L_{mt} = 73.42 \text{ mm}$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{3 \times T}{L_{mt} \times c^2}$$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{3 \times 217 \text{ N-m}}{0.0734 \text{ m} \times (0.0045 \text{ m})^2}$$

$$\tau_{\text{máx}} = 437.87 \text{ MPa} = 63.51 \text{ ksi}$$

## Cálculo de la resistencia por Fatiga

### Factores de corrección para la fatiga $S_e$

$$S_e' = 0.5 \times S_u$$

$$S_e' = 0.5 \times 325 \text{ ksi}$$

$$S_e' = 162.5 \text{ ksi}$$

$$S_e = k_c \times k_s \times k_t \times S_e'$$

$$k_c = 0.58 \text{ (torsión)}$$

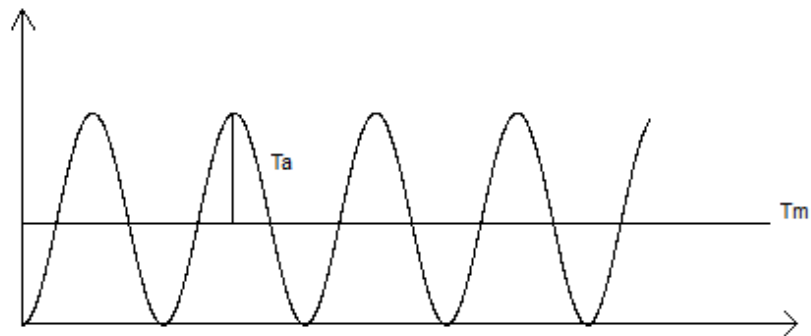
$$k_s = A \times S_u^b = 2.7 \times (325 \text{ ksi})^{-0.265} = 0.58 \quad \text{(Norton Pág. 378)}$$

$$k_t = 0.869 \times d^{-0.097} = 0.869 \times (1.93 \text{ pulg})^{-0.097} = 0.82$$

$$S_e = 0.58 \times 0.58 \times 0.82 \times 162.5 \text{ ksi}$$

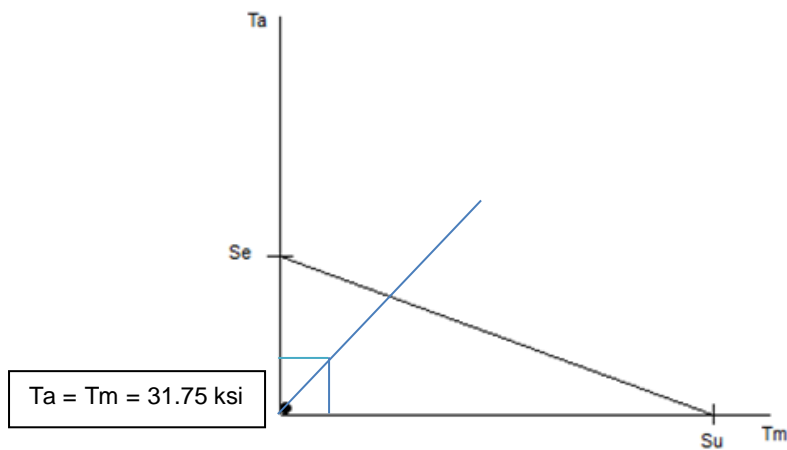
$$S_e = 44.83 \text{ ksi}$$





$$\tau_m = \tau_a = \tau_{\text{máx}}/2 = 63.51 \text{ ksi} / 2 = 31.75 \text{ ksi}$$

### Criterio de GOODMAN



Dado que los puntos de  $\tau_a$  y  $\tau_m$  están dentro del rango seguro la camisa no fallará por fatiga.

### g2) Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo

$$S_{sy} = 0.5 \times S_y$$

$$S_{sy} = 0.5 \times 289.55 \text{ ksi}$$

$$S_{sy} = 144.77 \text{ ksi}$$

### h2) Factor de seguridad

$$FS = S_{sy} / \tau_{\text{máx}}$$

$$FS = 144.77 \text{ ksi} / 63.51 \text{ ksi}$$

$$FS = 2.28$$

### 3.4.2.9. Tornillo elevador de tuercas

Para la elaboración de este elemento se hace uso de un eje roscado de 5/8 de pulgada con una longitud de 55 mm. ANEXO A.



Figura 3.26 Tornillo elevador de tuercas<sup>70</sup>

### 3.4.2.10. Copa

Al ser este un elemento normalizado no se lo diseña, pero la sección inferior al ser soldada se tiene que diseñar por torsión.

Copa de impacto de 5/8 pulg.



Figura 3.27 Copa<sup>71</sup>

#### a3) Cálculo del momento polar de inercia de los segmentos

$$J_c = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{32}$$

Ec.3.6<sup>72</sup>

$$d_o = 0.05 \text{ m}$$

$$d_i = 0.044 \text{ m}$$

$$J_c = \frac{\pi(0.05^4 - 0.044^4)}{32}$$

$$J_c = 2.46 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$J_t = J_c / 2$$

---

<sup>70</sup> Fuente: Propia.

<sup>71</sup> Fuente: Propia.

<sup>72</sup> Norton, Robert. Diseño de máquinas. Primera ed. México. Editorial Pearson. 1999. p. 220. Ec 4.25b, Ec 4.24, Ec 4.23b

$$J_t = 1.23 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

### b3) Cálculo de la deflexión angular

$$\theta = \frac{T \cdot L_i}{G_m \cdot J_t}$$

Ec.3.7<sup>73</sup>

Torque aplicado a la camisa

$$T = 217 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Longitud de la sección 2

$$L_i = 0.015 \text{ m}$$

### Módulo de corte del Acero A36

$$G_m = 8.08 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$$

$$\theta = \frac{217 \cdot 0.015}{8.08 \times 10^{10} \cdot 1.23 \times 10^{-7}}$$

$$\theta = 3.28 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

$$\theta = 0.02 \text{ grados}$$

Se puede apreciar que el ángulo pequeño por lo tanto la deflexión angular será despreciable.

### c3) Cálculo del esfuerzo cortante máximo

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{T \cdot (d_o/2)}{J_t}$$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{217 \cdot (0.05/2)}{1.23 \times 10^{-7}}$$

$$\tau_{\text{máx}} = 44.11 \text{ MPa} = 6.4 \text{ ksi}$$

---

<sup>73</sup> Norton, Robert. Diseño de máquinas. Primera ed. México. Editorial Pearson. 1999. p. 220. Ec 4.24

### d3) Cálculo de la resistencia por Fatiga

#### Factores de corrección para la fatiga $S_e$

$$S_e' = 0.5 \times S_u$$

$$S_e' = 0.5 \times 58 \text{ ksi}$$

$$S_e' = 29 \text{ ksi}$$

$$S_e = k_c \times k_s \times k_t \times S_e'$$

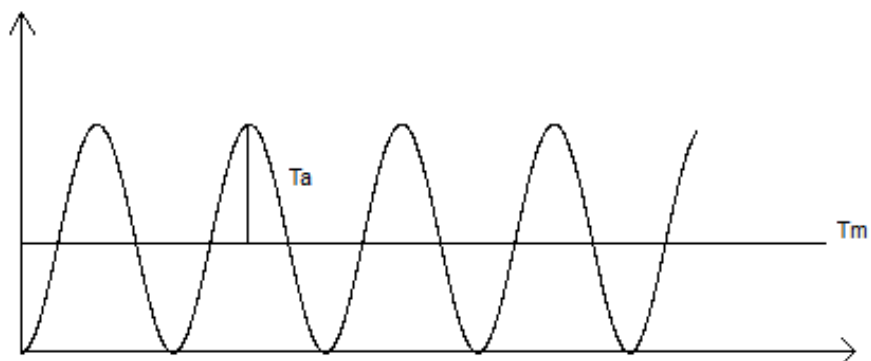
$$k_c = 0.58 \text{ (torsión)}$$

$$k_s = A \times S_u^b = 2.7 \times (58 \text{ ksi})^{-0.265} = 0.92 \quad (\text{Norton Pág. 378})$$

$$k_t = 0.869 \times d^{-0.097} = 0.869 \times (0.98 \text{ pulg})^{-0.097} = 0.87$$

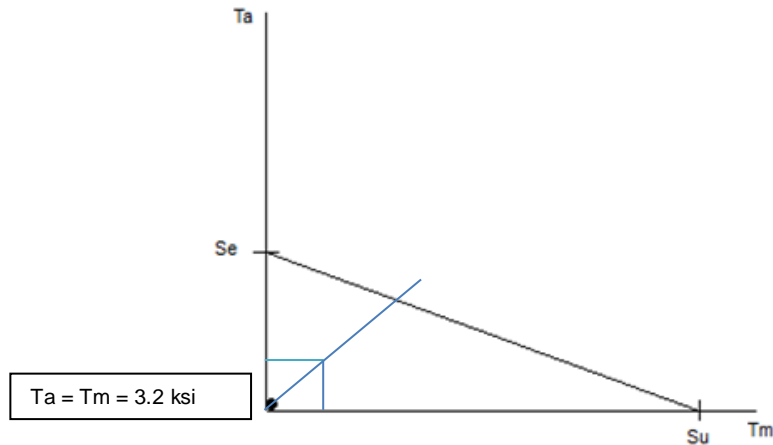
$$S_e = 0.58 \times 0.92 \times 0.87 \times 29 \text{ ksi}$$

$$S_e = 13.46 \text{ ksi}$$



$$\tau_m = \tau_a = \tau_{\text{máx}}/2 = 44.11 \text{ MPa} / 2 = 22.06 \text{ MPa} = 3.2 \text{ ksi}$$

## Criterio de GOODMAN



Dado que los puntos de  $\tau_a$  y  $\tau_m$  están dentro del rango seguro la camisa no fallará por fatiga.

### e3) Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo

$$S_{sy} = 0.5 \times S_y$$

$$S_{sy} = 0.5 \times 36 \text{ ksi}$$

$$S_{sy} = 18 \text{ ksi}$$

### f3) Factor de seguridad

$$FS = S_{sy} / \tau_{\text{máx}}$$

$$FS = 18 \text{ ksi} / 6.4 \text{ ksi}$$

$$FS = 2.81$$

El valor del factor de seguridad al ser mayor a 2 garantiza que el elemento no fallará.

## Esfuerzos en la soldadura

El proceso de soldadura se lo llevó a cabo con ALAMBRE MIG 70S-6(AWS ER 70S-6), que tiene las siguientes propiedades:

Análisis Típico del metal depositado (% en peso)									
Gas	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V
100 % Ar	0.10	1.2	0.82	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00

Propiedades Mecánicas Típicas del Metal Depositado				
Gas	Esf. Fluencia en 0.2%, MPa	Esf. Máx. de Tracción, MPa	Elongación (L=4d), %	E. Absorbida Ch-v
100 % Ar	450	530	28	80 J: -20°C

Posición de Soldadura		CCEP

Figura 3.28 Propiedades del material de aporte<sup>74</sup>

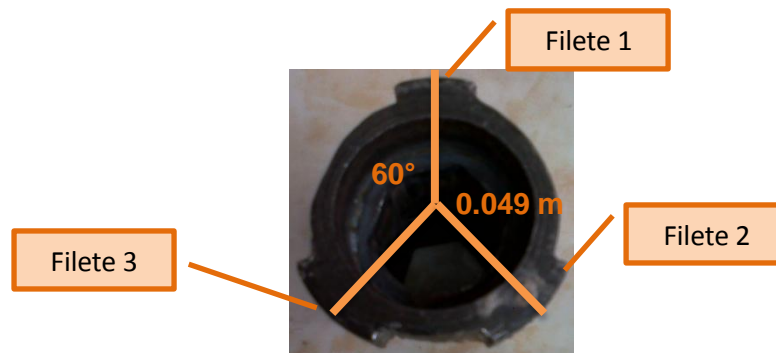
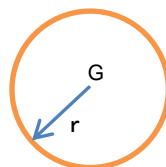


Figura 3.29 Zonas de soldadura en la copa<sup>75</sup>

De la tabla 9-2 de Shigley, Pág 545 se tiene que:



$$A_t = 1.414 \times \pi \times h \times r$$

$$A_t = 1.414 \times \pi \times 0.005\text{m} \times 0.025\text{m} = 1767 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

<sup>74</sup> Fuente:

[http://www.indura.com.ec/productos\\_detalle.asp?idq=5157&a=SOLDADURAS&ai=3422&b=ALAMBRES&bi=3434&c=](http://www.indura.com.ec/productos_detalle.asp?idq=5157&a=SOLDADURAS&ai=3422&b=ALAMBRES&bi=3434&c=)

<sup>75</sup>Fuente: Propia.

Como el área en donde se aplica la soldadura no es el contorno se debe encontrar el área donde se aplica la carga para lo cual se divide el área total para 2.

$$A1 = At/2$$

$$A1 = 1767 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / 2$$

$$A1 = 0.09 \text{ m}^2$$

Segundo momento polar de inercia

$$J_u = 2 \times \pi \times r^3$$

$$J_u = 2 \times \pi \times (0.025 \text{ m})^3$$

$$J_u = 9.81 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Momento polar de inercia

$$J = 0.707 \times h \times J_u$$

$$J = 0.707 \times 0.005 \text{ m} \times 9.81 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$J = 3.46 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

Igualmente se divide el momento polar de inercia para 2 y se encuentra el momento de la sección donde se esta aplicando la fuerza.

$$J1 = J / 2$$

$$J1 = 3.46 \times 10^{-7} \text{ m}^4 / 2$$

$$J1 = 1.73 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

**Cálculo del cortante en la soldadura**

$$\tau T = (T \times \rho) / J1$$

$$\tau T = (217 \text{ N-m} \times 0.05 \text{ m}) / 1.73 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$\tau T = 62.72 \text{ MPa} = 9.41 \text{ ksi}$$

### **Factor de seguridad en la soldadura**

$$FS = S_{sy} / \tau T$$

$$FS = (0.5 \times 67.5 \text{ ksi}) / 9.41 \text{ ksi}$$

$$FS = 3.59$$

El valor del factor de seguridad al ser mayor a 2 garantiza que la soldadura no fallará por torsión.

#### **3.4.2.11. Chumacera**

El diseño de estos elementos se liga directamente a la geometría de los rodamientos a los cuales va alojar en este caso en particular se emplean rodamientos NTN 607-2RSC3 de 25 mm de diámetro exterior y 10 mm de diámetro interior.



**Figura 3.30 Chumacera y rodamiento** <sup>76</sup>

#### **3.4.2.12. Tornillo deslaza pernos**

Para la elaboración de este elemento se hace uso de un eje roscado de 3/8 de pulgada con una longitud de 185 mm. ANEXO A.



**Figura 3.31 Tornillo deslaza pernos** <sup>77</sup>

---

<sup>76</sup>Fuente: Propia.

<sup>77</sup> Fuente: Propia.



### 3.4.2.13. Dispensador pernos

Este elemento se encargar de alojar en su interior los pernos y las arandelas planas que serán colocados en cada uno de los agujeros de los perfiles, de aquí la necesidad de tomar en cuenta para el diseño la geometría de los pernos y las arandelas como un conjunto, la carga de pernos será de 3 unidades entonces esta será la limitante en cuanto a la longitud que tendrá este elemento. Al ser un miembro que sólo actúa como depósito no se aplican sobre él cargas que afecten su estructura interna o externa por lo que se diseña geoméricamente. Las medidas se especifican en el ANEXO A.



Figura 3.32 Dispensador de pernos <sup>78</sup>

### 3.4.2.14. Empujador de pernos

Este elemento está constituido por una tuerca de 3/8 de pulg. una pieza de platina cuadrada de 5 mm. y un eje hueco de 30 mm de diámetro, básicamente se diseña de manera geométrica por encontrarse dentro del dispensador de pernos, su función principal será la de empujar los pernos hacia el orificio de salida, convirtiendo el movimiento circular del tornillo de potencia en un movimiento longitudinal. Sus medidas se encuentran en el ANEXO A.

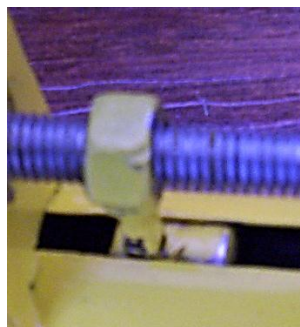


Figura 3.33 Empujador de pernos <sup>79</sup>

---

<sup>78</sup> Fuente: Propia.

#### 3.4.2.15. Baterías motor DC 2

Se escogen las batería en función del voltaje necesario que emplee el motor en este caso 4.8 V, además por ser una aplicación inalámbrica deben ser recargables.

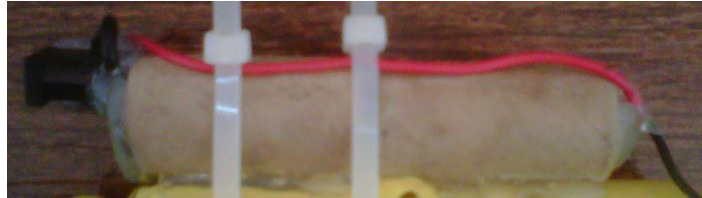


Figura 3.34 Baterías motor DC 2<sup>80</sup>

#### 3.4.2.16. Soporte y motor DC 2

Se emplea un tubo en el cual se pueda alojar el motor DC 2, las medidas del elemento se especifican en el ANEXO A, por no estar expuesto a una carga que pueda producir algún esfuerzo significativo se limita su diseño a la geometría de las partes.

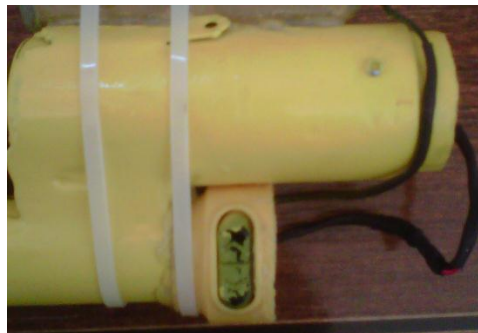


Figura 3.35 Soporte del motor DC 2<sup>81</sup>

#### 3.4.2.17. Brazo de apoyo

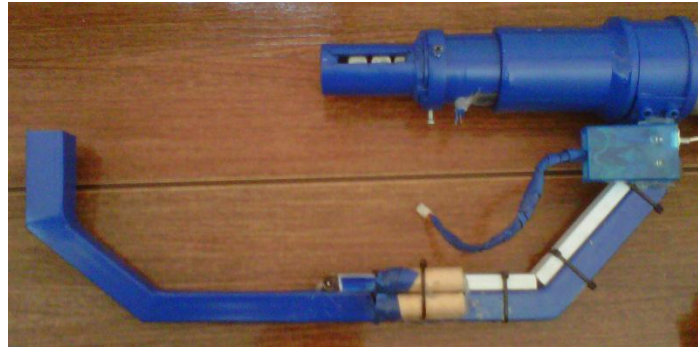
Para diseñar este elemento se hace uso de la teoría de vigas empotradas, la cual ayudará a determinar si la carga constituida por el dispensador de pernos es significativa para causar alguna deformación en el elemento tubular. Las medidas se especifican en el ANEXO A.

---

<sup>79</sup> Fuente propia

<sup>80</sup> Fuente propia

<sup>81</sup> Fuente propia



**Figura 3.36 Brazo de apoyo** <sup>82</sup>

***Deflexión de una viga en voladizo con extremo empotrado  $Y_{m\acute{a}x}$***

$$Y_{m\acute{a}x} = \frac{-P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

**Ec.3.8** <sup>83</sup>

***Carga aplicada  $P$***

La carga que se aplica al extremo del tubo está conformada por todo el sistema de porta pernos el cual consta de una carga de 3 pernos y arandelas, el dispensador de pernos y el sistema elevador, en conjunto suman aproximadamente 4.41 libras.

$$P = 2 \text{ kg} = 19.61 \text{ N}$$

***Longitud de la viga  $L$***

Se toma en cuenta el último tramo del brazo tubular como la longitud de la viga, en donde se aplica la carga.

$$L = 160 \text{ mm}$$

<sup>82</sup>Fuente: Propia.

<sup>83</sup>PDF: Tabla de esfuerzos en vigas, INSTITUTO CHILENO DEL ACERO

### ***Módulo de elasticidad del Acero A36 E***

$$E = 20 \times 10^4 \text{ MPa}$$

### ***Inercia de un tubo cuadrado I***

Para el cálculo de la inercia se debe tomar en cuenta que el cuerpo es un tubo hueco de 20 mm de lado con un espesor de 1.1 mm, por lo tanto se hace uso de la fórmula general para el cálculo de la inercia de un cuadrado con la variante que se resta la inercia del cuadrado interior.

$$I = \frac{(b \cdot h^3)}{12}$$

Como h y b son iguales se tiene:

$$I = \frac{(h^4)}{12}$$

$$I = \frac{(h_1^4 - h_2^4)}{12}$$

$$I = \frac{(20^4 - 17.8^4)}{12}$$

$$I = 4.968 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

$$Y_{\text{máx}} = \frac{-19.61 \text{ N} \cdot (160 \text{ mm})^3}{3 \cdot (20 \times 10^4 \text{ MPa}) \cdot 4.968 \times 10^3 \text{ mm}^4}$$

$$Y_{\text{máx}} = -0.027 \text{ mm}$$

Al ser tan pequeña la deflexión calculada, no es significativa y no provoca una deformación permanente en el elemento tubular.

#### 3.4.2.18. Baterías motor DC 1

Se escogen las batería en función del voltaje necesario que emplee el motor en este caso 4.8 V, además por ser una aplicación inalámbrica deben ser recargables.

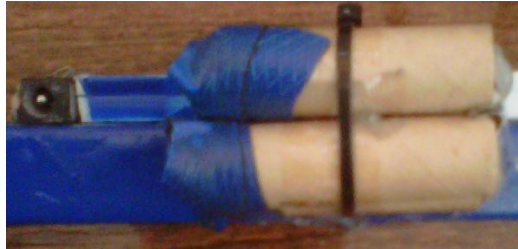


Figura 3.37 Baterías motor DC 1<sup>84</sup>

#### 3.4.2.19. Control eléctrico motor DC 1

Este control emplea un selector de posición que a la vez funciona como interruptor para cambiar el sentido de giro del tornillo elevador de tuercas, para hacer a la aplicación más interactiva se usan leds de alta luminosidad para indicar en que sentido está girando el tornillo y de esta manera ubicar la tuercas en la posiciones correctas.



Figura 3.38 Control eléctrico motor DC 1<sup>85</sup>

---

<sup>84</sup>Fuente: Propia.

<sup>85</sup>Fuente: Propia.

## CAPÍTULO 4

### CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE

#### 4.1. RECURSOS

Para la ejecución del proyecto se cuenta con los servicios del taller de Mecánica Industrial “Carchi” ubicado en la ciudad de Sangolquí en las calles Riofrío y Atacazo S/n, ya que este cuenta con todos los equipos y herramientas necesarias para la construcción de la máquina prototipo planteada.

En el aspecto económico el capital para la elaboración del proyecto fue compartido entre la empresa MAGA. CIA. LTDA y el autor del proyecto, además la empresa colaboró para realizar las pruebas de la máquina prototipo en una de sus torres de telecomunicaciones.

#### 4.1.1. MATERIALES

##### 4.1.1.1. Lista de materiales a maquinarse

Tabla 4.1 Lista de materiales a maquinarse

Denominación	Material	Longitud	Cant.
Eje de 70 mm	Acero A36	24 mm	3
Plancha de acero de 4 mm	Acero A36	450 mm x 450 mm	1
Eje de 90 mm	Acero A36	24 mm	3
Platina de 12 mm x 3 mm	Acero A36	47 mm	9
Tubo cuadrado de 20 mm x 3 mm	Acero A36	500 mm	1
Eje de 50 mm	Acero A36	150 mm	2
Eje de 40 mm	Acero A36	150 mm	3
Tubo cuadrado de 20 mm x 1.1 mm	Acero A36	750 mm	3

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.2. Lista de materiales normalizados

**Tabla 4.2 Lista de materiales normalizados**

Denominación	Especificación	Cantidad
Rodamiento de agujas	K48x53x37.5ZW	1
Rodamientos de bolas	NTN 607-2RSC3	2
Tornillos prisioneros	¼ pulg. de diámetro	15
Tornillos cabeza Allen	Varias medidas	30
Copas largas de impacto	¾, 5/8, ½ pulg. de diámetro	3

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2. EQUIPOS

Los equipos empleados para realizar los diferentes procesos de manufactura para la construcción de la máquina prototipo son los especificados a continuación:

- Soldadora TIG marca MILLER
- Soldadora eléctrica marca LINCOLN
- Taladro de pedestal
- Torno paralelo
- Fresadora vertical

#### 4.1.3. MANO DE OBRA

Para la fabricación de la máquina prototipo se contrataron los servicios de dos técnicos en mecánica industrial especializados en procesos de manufactura como corte, fresado y soldadura. También se contó la colaboración de un Ingeniero Industrial para el área de pruebas de los prototipos de la máquina, cabe resaltar que cada uno de los colaboradores posee vasta experiencia en el campo de la construcción de máquinas industriales.

## 4.2. CONSTRUCCIÓN

### 4.2.1. PLANOS DE DETALLE (Ver ANEXO A)



#### 4.2.2. DIAGRAMAS DE PROCESOS DE ELEMENTOS FABRICADOS

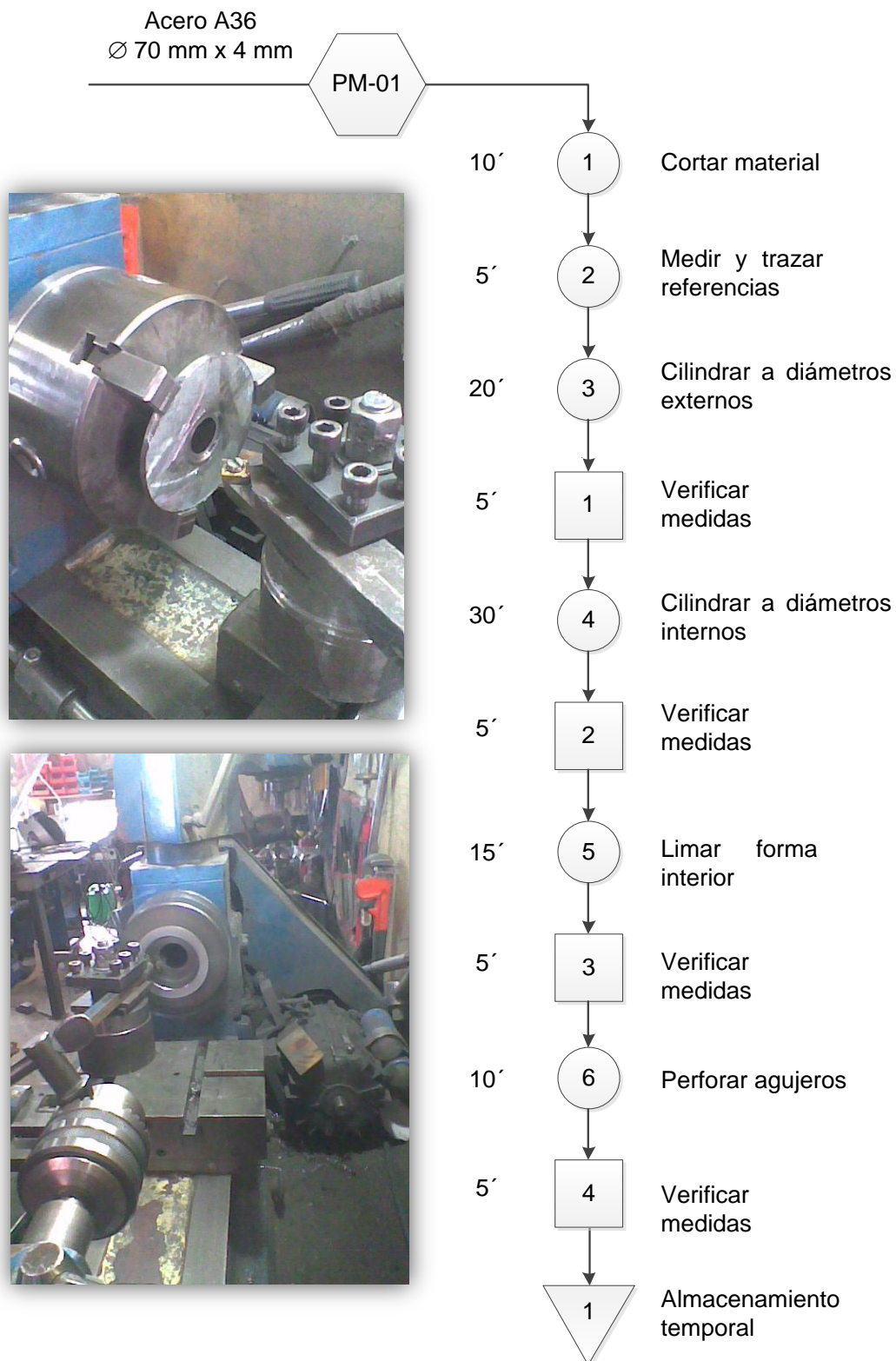


Figura 4.1 Diagrama de procesos de Brida de soporte<sup>86</sup>

<sup>86</sup> Fuente propia



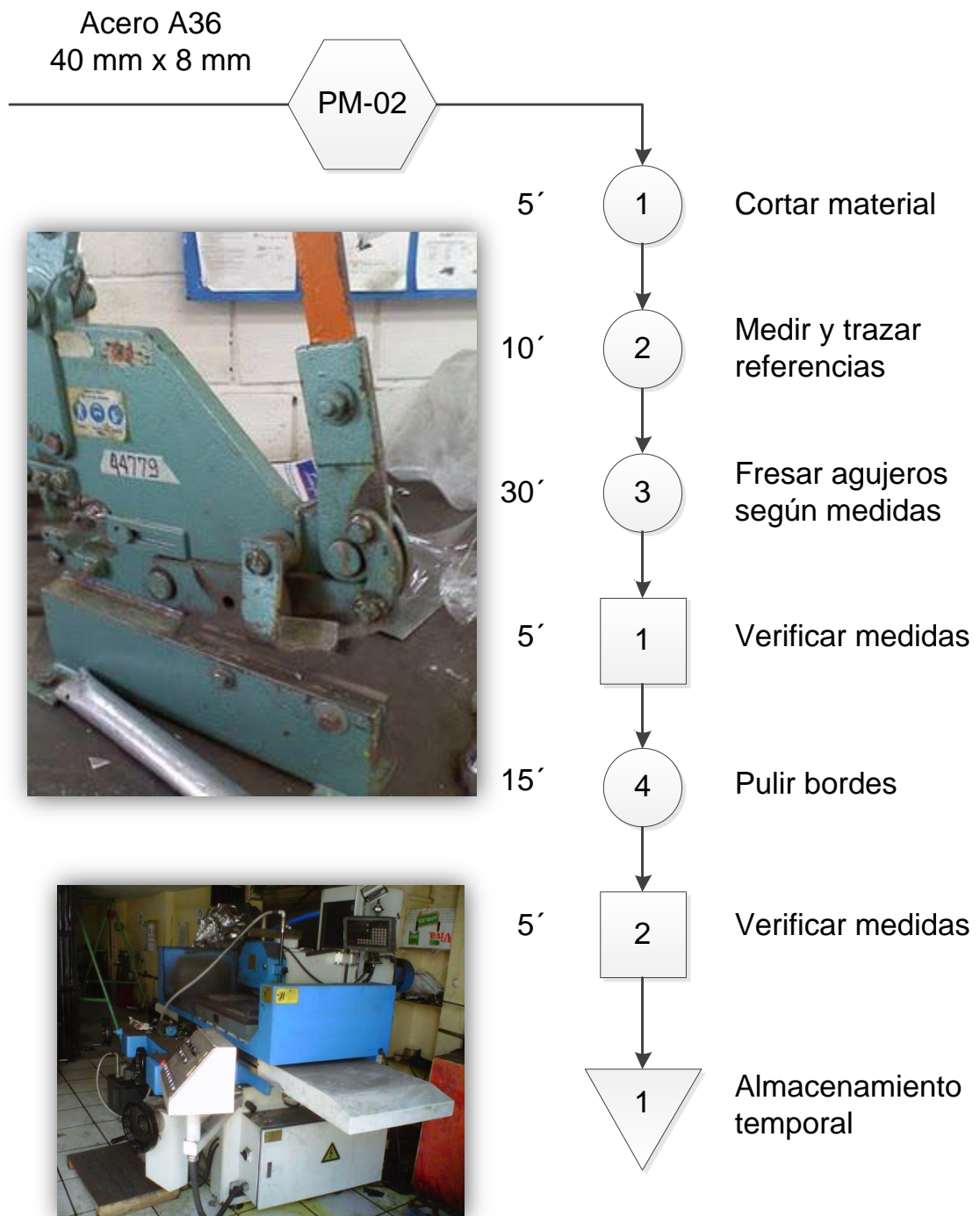


Figura 4.2 Diagrama de procesos de las chumaceras<sup>87</sup>

<sup>87</sup> Fuente propia

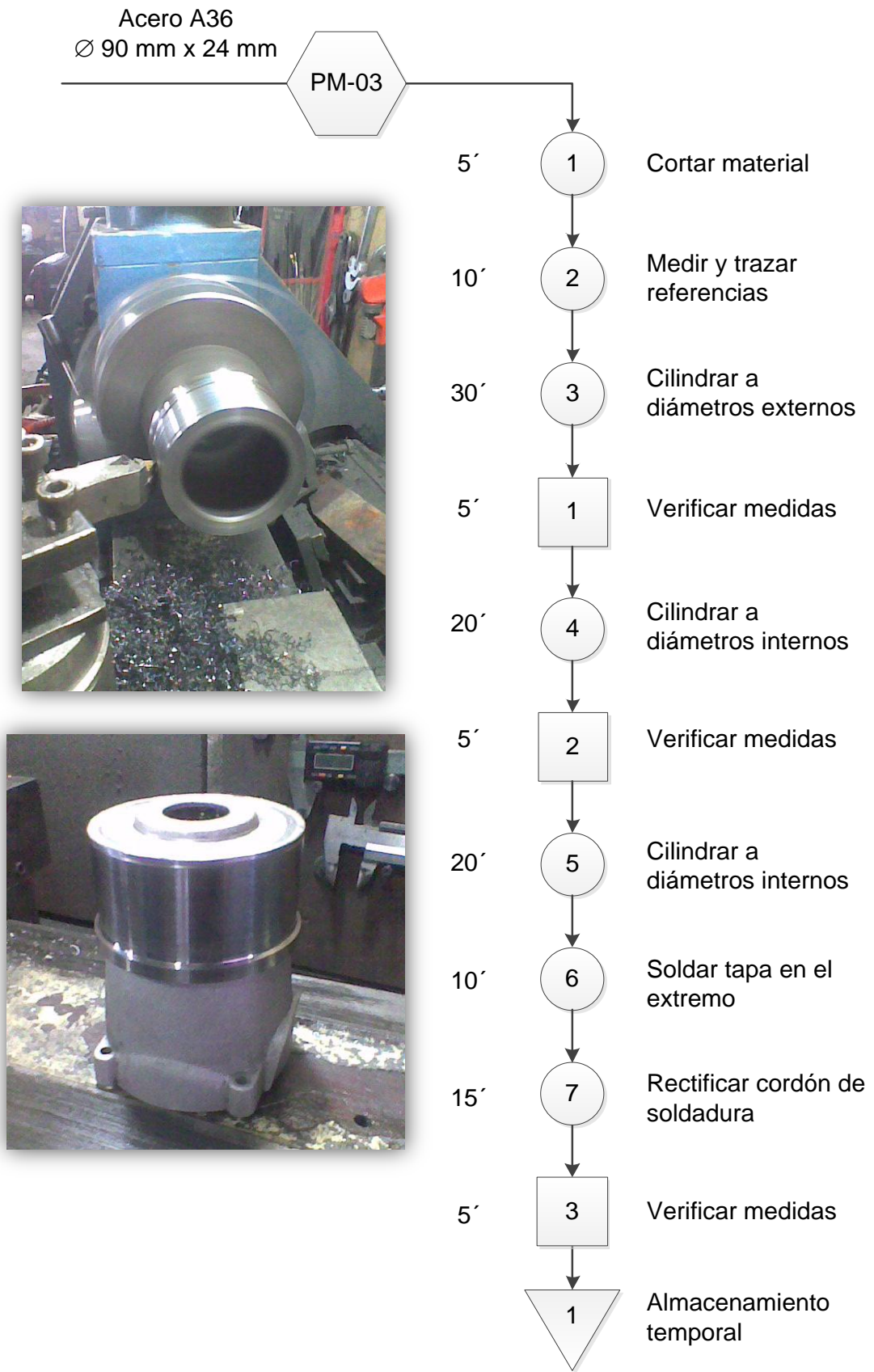


Figura 4.3 Diagrama de procesos del bastidor de la carcasa móvil <sup>88</sup>

<sup>88</sup> Fuente propia



Figura 4.4 Diagrama de procesos de la carcasa móvil <sup>89</sup>

<sup>89</sup> Fuente propia

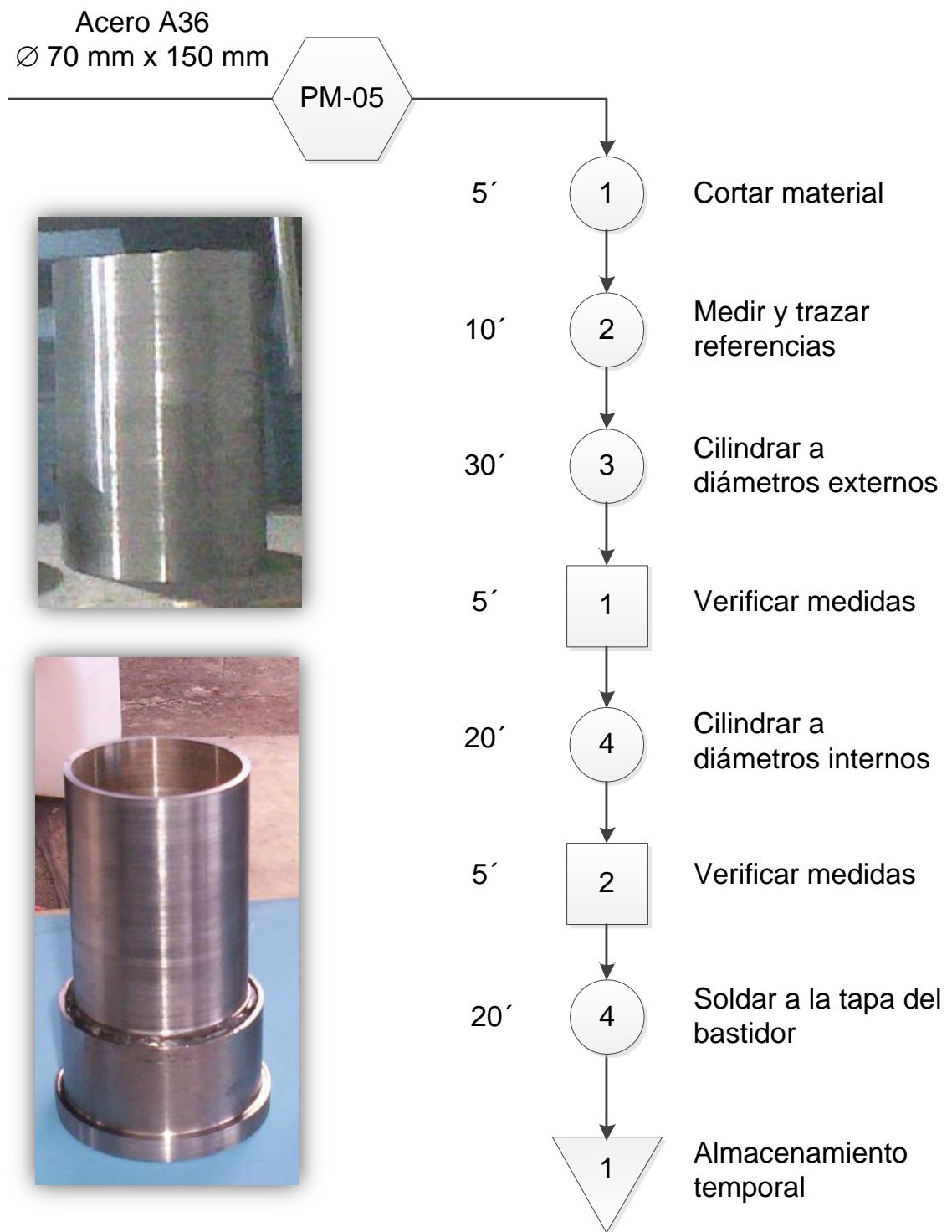


Figura 4.5 Diagrama de procesos del soporte de camisa giratoria <sup>90</sup>

<sup>90</sup> Fuente propia

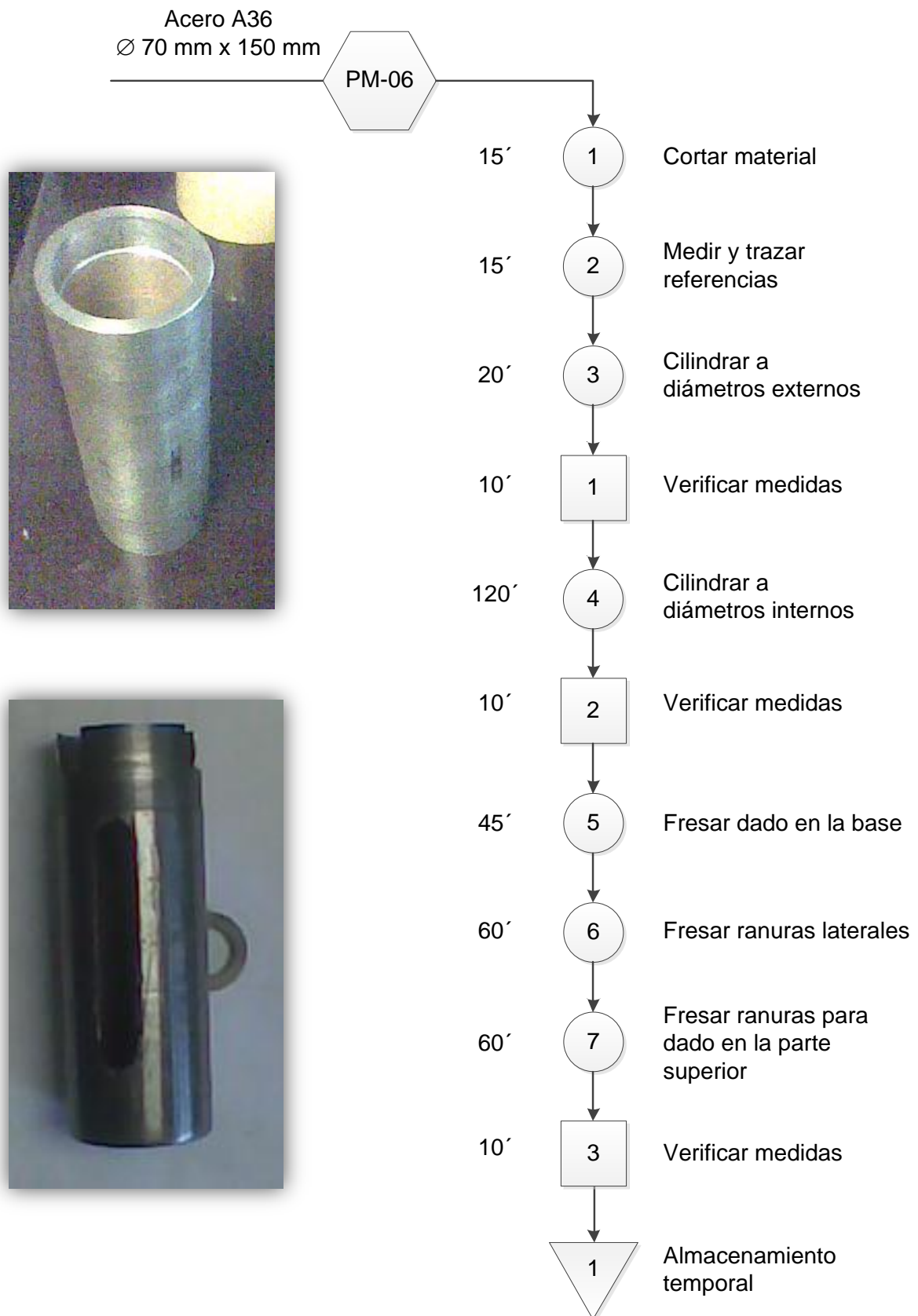


Figura 4.6 Diagrama de procesos de la camisa giratoria <sup>91</sup>

<sup>91</sup> Fuente propia



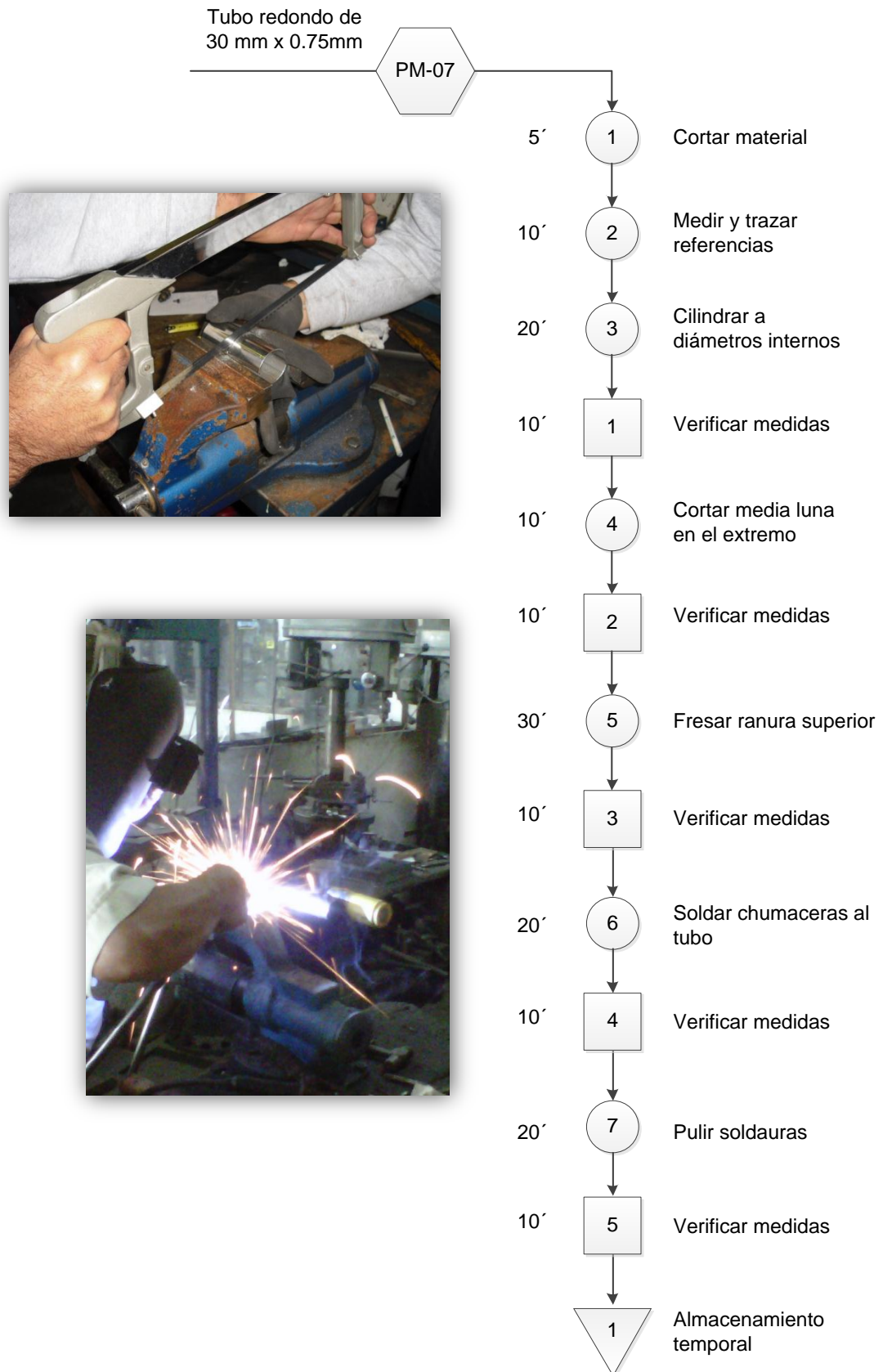
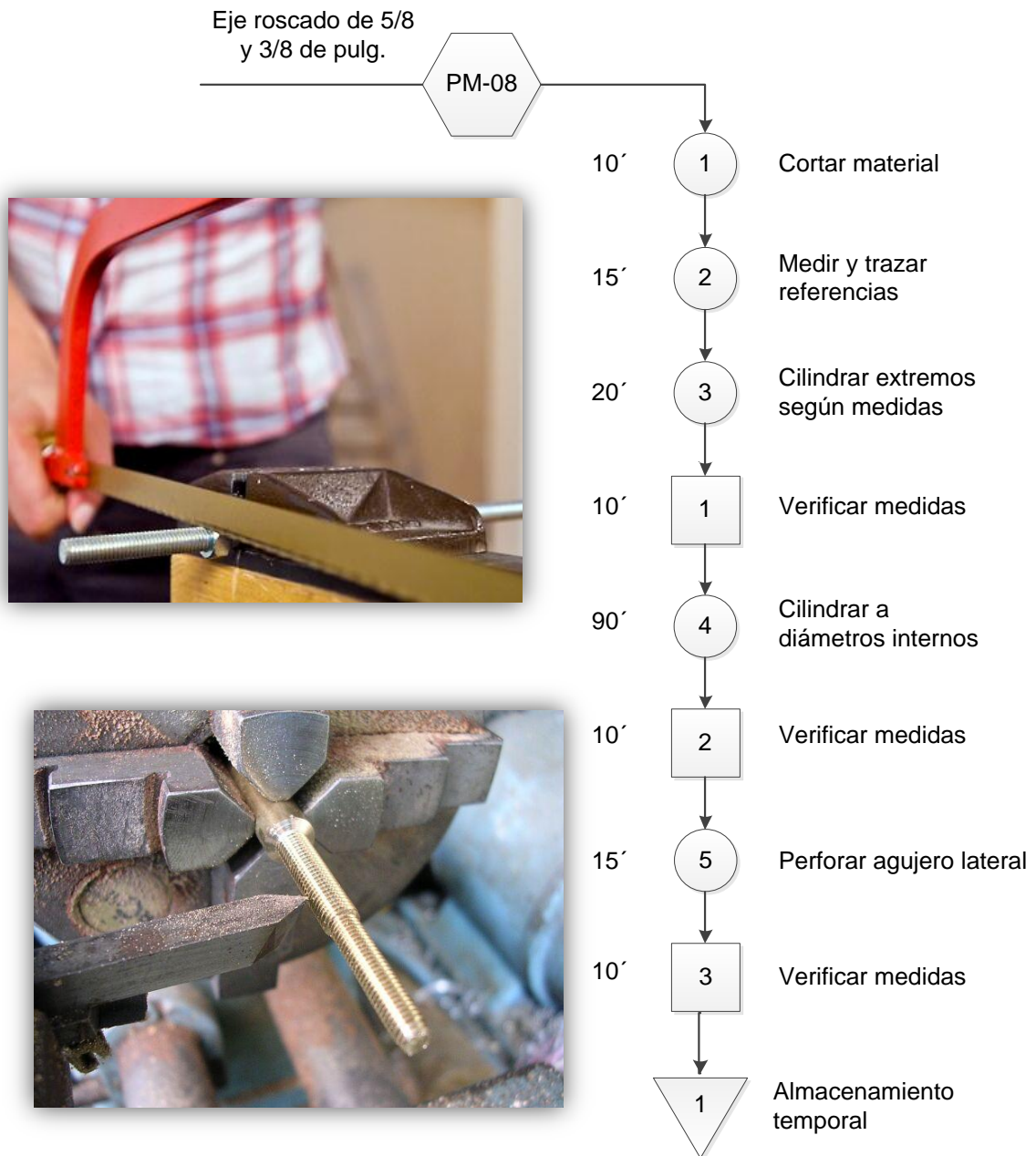


Figura 4.7 Diagrama de procesos del dispensador de pernos <sup>92</sup>

<sup>92</sup> Fuente propia



**Figura 4.8 Diagrama de procesos del tornillo elevador de tuercas y pernos<sup>93</sup>**

<sup>93</sup> Fuente propia

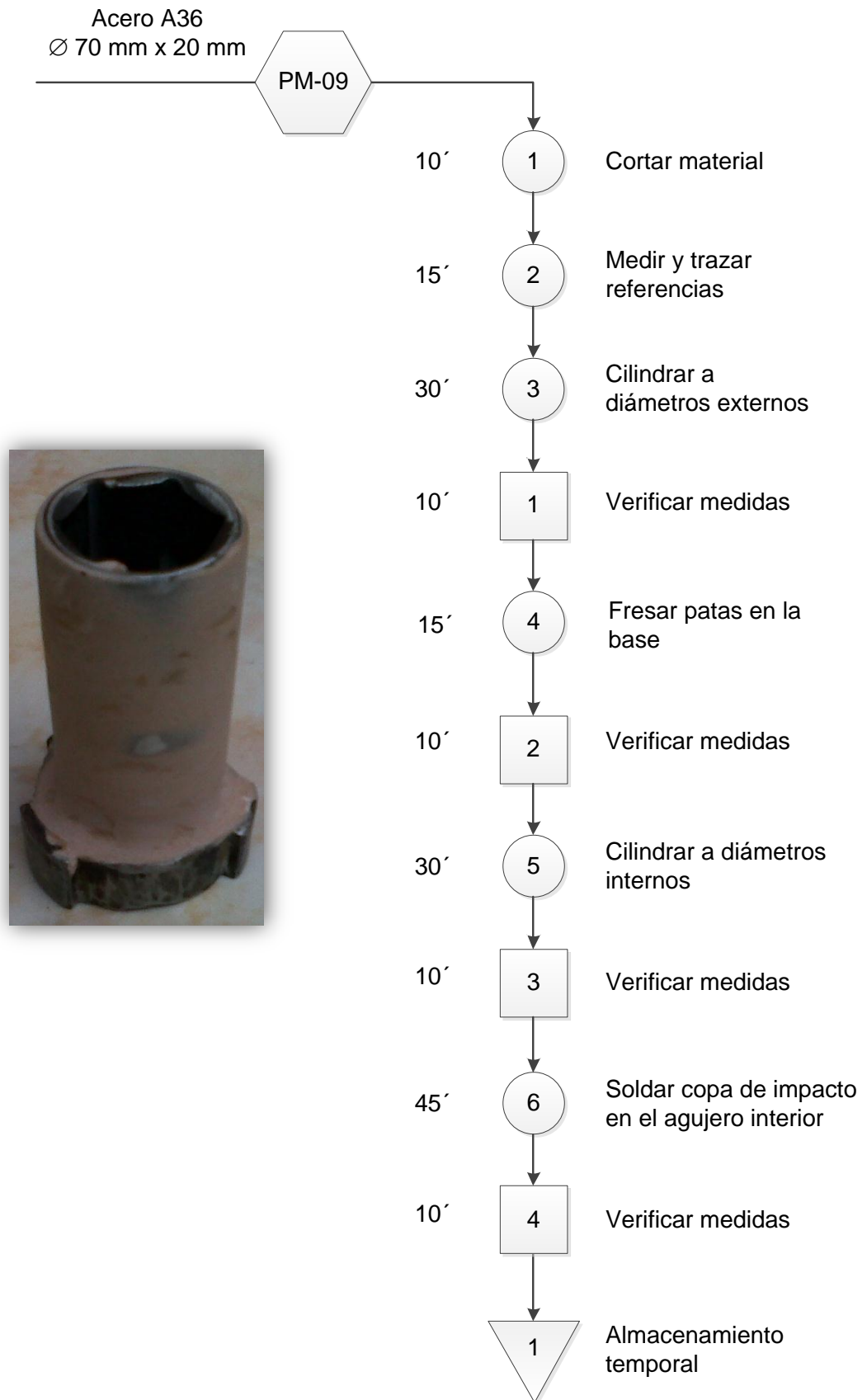


Figura 4.9 Diagrama de procesos de la copa <sup>94</sup>

<sup>94</sup> Fuente propia



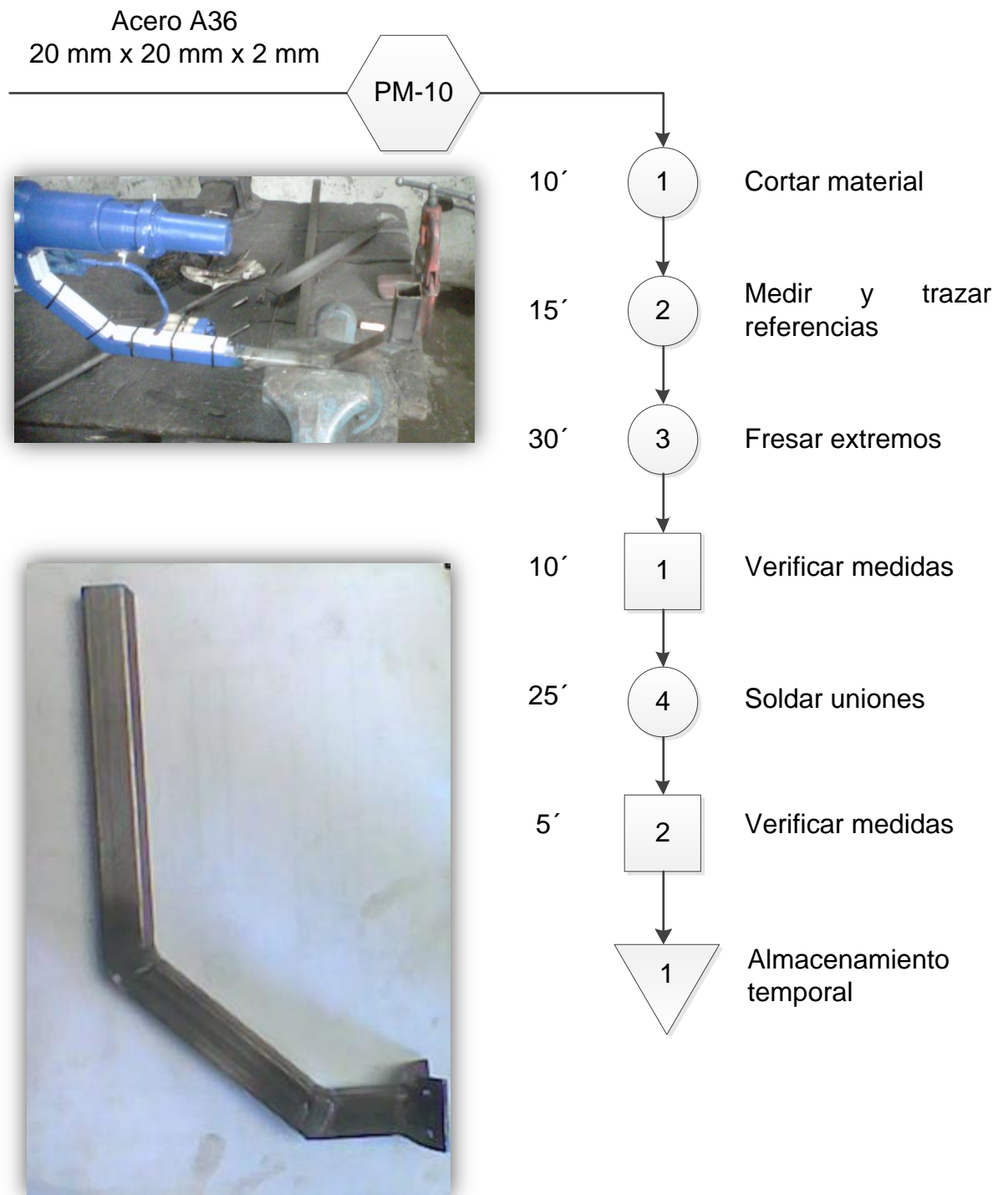


Figura 4.10 Diagrama de procesos del brazo de apoyo <sup>95</sup>

<sup>95</sup> Fuente propia

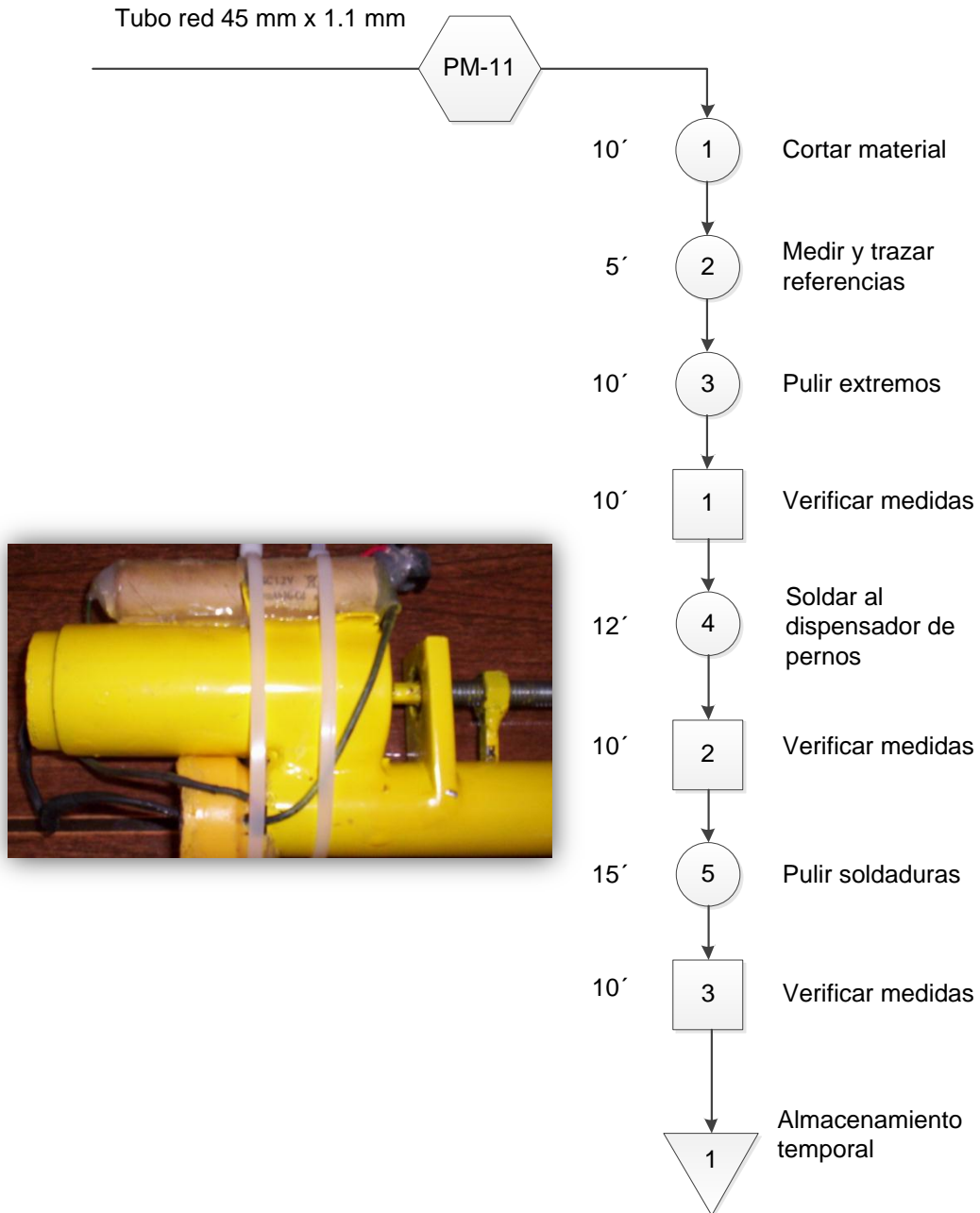


Figura 4.11 Soporte del motor 2 <sup>96</sup>

<sup>96</sup> Fuente propia

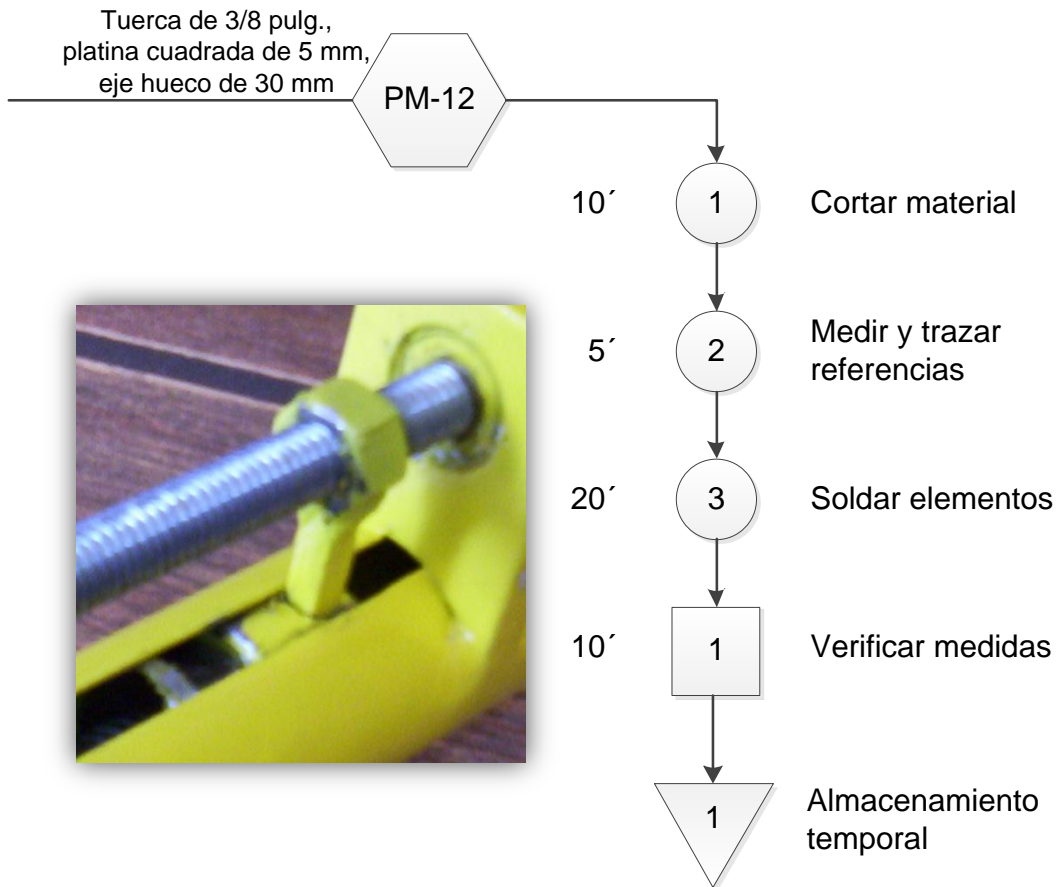


Figura 4.12 Diagrama de procesos del empujador de pernos <sup>97</sup>

<sup>97</sup> Fuente propia

### 4.3. ENSAMBLE

#### 4.3.1. DIAGRAMA DE ENSAMBLE DE LOS ELEMENTOS DE LA MÁQUINA PROTOTIPO

(Ver ANEXO C)

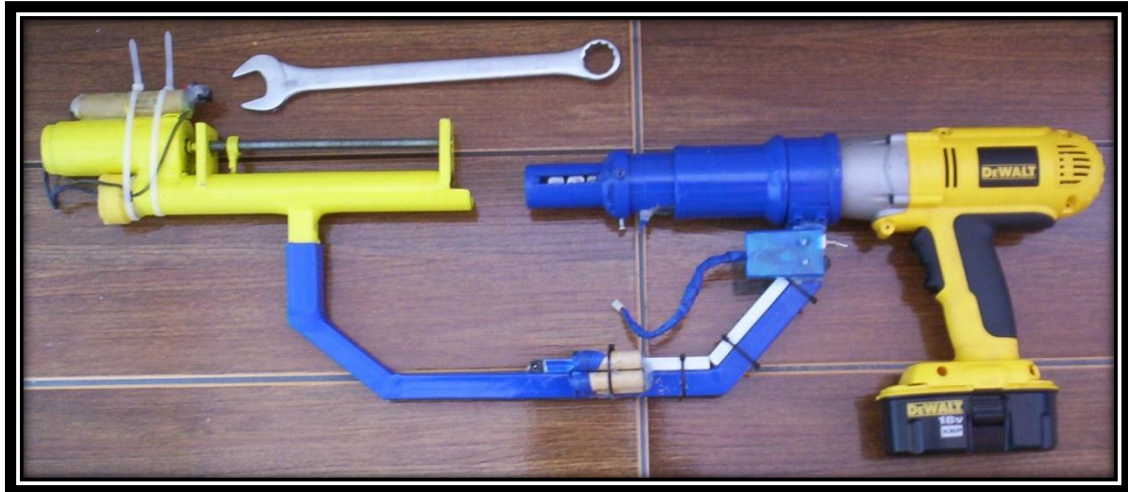


Figura 4.13 Diagrama general de la máquina prototipo terminada<sup>98</sup>

---

<sup>98</sup> Fuente propia

# CAPÍTULO 5

## PRUEBAS

### 5.1. PRUEBAS DE LA MÁQUINA PROTOTIPO EN EL CAMPO

Para realizar las pruebas de la máquina prototipo fue necesario emplear a dos operarios que se desempeñan como montajistas de torres autosoportadas, previamente se instruyó a los operarios sobre el uso de la máquina prototipo y se realizaron algunas pruebas sobre placas perforadas usadas en las torres, esta prueba se llevó a cabo en las instalaciones de la empresa auspiciante y básicamente sirvió para determinar la maniobrabilidad del aparato y familiarizar a los empleados sobre los usos y limitaciones que posee la máquina prototipo construida.

Además también se realizó una prueba de campo en sobre una torre de 42 m de altura ubicada en la Av. Eloy Alfaro donde se puso a prueba la máquina prototipo en su totalidad.

Para lograr determinar si la máquina prototipo ayudaba a disminuir el tiempo de ensamble en juntas empernadas, se procedió a realizar pruebas por el método de ensamble manual y con el nuevo aparato, dichas pruebas consistían en:

- Armar y desarmar una junta de un sólo perno manualmente y luego aumentar un perno hasta llegar a la cantidad de tres pernos que es la carga que se especifica en el diseño.
- Armar y desarmar una junta de un sólo perno con la máquina prototipo y luego aumentar un perno hasta llegar a la cantidad de tres pernos que es la carga que se especifica en el diseño.
- Tomar el tiempo que se demora en cada procedimiento con 1, 2 y 3 pernos.
- Tabular los datos obtenidos en tablas para determinar si ayuda a disminuir el tiempo.
- Comparar los datos obtenidos.



**Figura 5.1 Ensamble manual en torre <sup>99</sup>**



**Figura 5.2 Desensamble manual en torre <sup>100</sup>**



**Figura 5.3 Ensamble manual en placas <sup>101</sup>**

---

<sup>99</sup> Fuente propia  
<sup>100</sup> Fuente propia  
<sup>101</sup> Fuente propia





**Figura 5.4 Desensamble manual en placas <sup>102</sup>**



**Figura 5.5 Ensamble y desensamble de placas con la máquina prototipo<sup>103</sup>**



**Figura 5.6 Pruebas de máquina prototipo en la torre <sup>104</sup>**

---

<sup>102</sup> Fuente propia

<sup>103</sup> Fuente propia

<sup>104</sup> Fuente propia

**Tabla 5.1 Datos de ensamble manual**

ENSAMBLE MANUAL					
Cant. Pernos	t1 (mm:ss,ss)	t2 (mm:ss,ss)	t3 (mm:ss,ss)	t4 (mm:ss,ss)	PROMEDIO (mm:ss,ss)
1	01:09,76	01:10,83	01:23,34	01:10,10	01:13.5
2	02:14,96	02:10,75	02:25,38	02:14,96	02:16.5
3	03:36,46	04:01,13	03:28,11	03:53,17	03:44.7
DESENSAMBLE MANUAL					
1	00:42,60	01:03,46	02:29,35	00:56,69	01:18.0
2	01:58,80	01:21,01	01:37,14	02:01,12	01:44.5
3	02:59,90	03:14,72	03:05,21	02:48,69	03:02.1

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5.2 Datos de ensamble con la máquina prototipo**

ENSAMBLE CON MÁQUINA PROTOTIPO					
Cant. Pernos	t1 (mm:ss,ss)	t2 (mm:ss,ss)	t3 (mm:ss,ss)	t4 (mm:ss,ss)	PROMEDIO (mm:ss,ss)
1	00:44,17	00:42,10	00:47,45	00:39,22	00:43.2
2	00:52,04	00:54,01	00:50,90	00:53,77	00:52.7
3	01:36,86	01:40,67	01:38,51	01:35,48	01:37.9
DESENSAMBLE CON MÁQUINA PROTOTIPO					
1	00:01,35	00:01,67	00:02,13	00:01,78	00:01.7
2	00:14,05	00:13,66	00:15,44	00:14,10	00:14.3
3	00:21,60	00:20,01	00:21,79	00:19,47	00:20.7

Fuente: Elaboración propia.



## 5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se aprecia una diferencia notoria entre los resultados obtenidos mediante el método tradicional de ensamble y el método propuesto con la máquina prototipo.

Esta diferencia se puede expresar en la reducción de horas de trabajo empleadas en cada torre.

Básicamente la diferencia en porcentaje del tiempo empleado por cada tipo de junta se expresa en la siguiente tabla:

**Tabla 5.3 Diferencia en porcentaje de tiempos**

Cant. Pernos	Ensamble Manual (mm:ss,ss)	Ensamble con Máquina prototipo (mm:ss,ss)	Diferencia Porcentual (%)
1	01:13.5	00:43.2	32.36 %
2	02:16.5	00:52.7	38.61 %
3	03:44.7	01:37.9	43.57 %
	<b>Desensamble Manual</b>	<b>Desensamble con Máquina prototipo</b>	
1	01:18.0	00:01.7	97.82 %
2	01:44.5	00:14.3	86.32 %
3	03:02.1	00:20.7	88.63 %

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de la tabla 5.3 reflejan la ayuda que proporciona la máquina prototipo en el ensamble de este tipo de torres.

El número de herramientas en la torre se disminuyó, debido a que con la máquina prototipo sólo es necesario emplear una llave de boca.

La percepción de la maniobrabilidad del prototipo por parte de los obreros está ligada a la falta de práctica con el nuevo aparato, por lo que se hizo necesario que primero se familiaricen ensamblando placas de unión hasta que puedan manejar el aparato en la altura.

Con el uso del prototipo se hace necesario el mismo número de obreros pero se ayuda a disminuir el tiempo que se empleaba para ensamblar la torre.

## CAPÍTULO 6

### ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

#### 6.1. INVERSIÓN

##### 6.1.1. INVERSIÓN DE DISEÑO

**Tabla 6.1 Remuneración a profesionales**

Nombre	Cargo	Tiempo (Horas)	Valor Hora (USD)	Costo Total (USD)
Ing. Patricio Riofrío	Director	40	15	600
Ing. Milton Acosta	Co-Director	40	15	600
<b>SUBTOTAL 1</b>				<b>1200</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.2 Remuneración estudiante**

Nombre	Cargo	Tiempo (Horas)	Valor Hora (USD)	Costo Total (USD)
Sr. Santiago Larrea	Responsable del proyecto	640	1.5	960
<b>SUBTOTAL 2</b>				<b>960</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.3 Otros costos**

Descripción	Costo Total (USD)
Pago de derechos de grado	550
<b>SUBTOTAL 3</b>	<b>550</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.4 Materiales e insumos**

Descripción	Costo Total (USD)
Materiales de oficina	20
Transporte	30
Servicios básicos (luz, agua, teléfono, internet)	120
Impresiones y copias	120
Imprevistos	50
<b>SUBTOTAL 4</b>	<b>340</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.2. INVERSIÓN DE CONSTRUCCIÓN

**Tabla 6.5 Materia prima**

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario (USD)	Costo Total (USD)
Llave de impacto DeWALT DWK059K-2	1	N/A	315.00	365.00
Copas largas para llave de impacto STANLEY (Varias medidas)	1	juego	90.10	90.10
Eje de NYLON 6 de 90 mm de diámetro	500	mm	30.80	15.40
Eje de NYLON 6 de 45 mm de diámetro	450	mm	30.80	13.86
Eje de NYLON 6 de 16 mm de diámetro	840	mm	30.80	25.87
Eje de NYLON 6 de 10 mm de diámetro	180	mm	30.80	5.54
Barra cuadrada de NYLON 6 de 60 mm x 60 mm	2250	mm	30.80	69.30
Eje de ACERO AISI 1018 de 70 mm de diámetro	300	mm	30.80	9.24

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.5 Materia Prima (CONTINUACIÓN)

Eje de ACERO AISI 1018 de 70 mm de diámetro	300	mm	30.80	9.24
Lámina de caucho de 500 mm x 2 mm	¼	rollo	45.00	11.25
Rodamiento NTN 6810ZZ con tapas	1	N/A	27.80	27.80
Tornillos prisioneros ¼ pulg. de diámetro	15	N/A	0.12	1.80
Tubería (Varias medidas)	18	N/A	0.20	3.60
<b>SUBTOTAL 5</b>				<b>638.77</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.6 Costos de mano de obra

Nombre	Tiempo (Horas)	Valor Hora (USD)	Costo Total (USD)
Tornero	30	2.56	76.80
Fresador	30	2.56	76.80
Soldador	15	2.56	38.40
<b>SUBTOTAL 6</b>			<b>192.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.3. INVERSIÓN DE INSTALACIÓN Y PUESTA A PUNTO

Tabla 6.7 Costos de instalación y prueba

Nombre	Tiempo (Horas)	Valor Hora (USD)	Costo Total (USD)
Mecánico	40	2.56	102.40
Ayudante	20	2.47	49.40
Transporte	3	1.10	3.30
Alquiler de torre	16	1.00	16.00
<b>SUBTOTAL 7</b>			<b>171.10</b>

Fuente: Elaboración propia.

<b>INVERSIÓN TOTAL</b>	
<b>SUBT 1</b>	1200
<b>SUBT 2</b>	960
<b>SUBT 3</b>	550
<b>SUBT 4</b>	340
<b>SUBT 5</b>	638.77
<b>SUBT 6</b>	192
<b>SUBT 7</b>	171.10
<b>TOTAL</b>	<b><u>4051.87 USD</u></b>

## 6.2. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis que se efectúa se basa en un proceso total de ensamble de las torres de 24 metros de altura, tomando en cuenta que se ensamblan mediante el método manual 15 torres en un año y con 3 máquinas prototipo 25 torres.

### 6.2.1. COSTOS DIRECTOS

**Tabla 6.8 Costos directos (Funcionamiento de la máquina prototipo)**

Nombre	Tiempo (Horas)	Valor Hora (USD)	Costo Total (USD)
Mantenimiento	6	2.50	15.00
Transporte máquina	16	1.50	24.00
Operadores	288	2.50	720.00
Consumibles	N/A	N/A	250.00
<b>SUBTOTAL 8</b>			<b>1009.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

## 6.2.2. COSTOS INDIRECTOS

**Tabla 6.9 Costos indirectos (Funcionamiento de la máquina prototipo)**

Nombre	Tiempo (Horas)/ Cant.	Valor Hora /V.U (USD)	Costo Total (USD)
Luz eléctrica	72	0.09	6.48
Alimentación	108	1,75	189.00
Transporte de personal	12	12	144.00
Hospedaje	864	0.50	432.00
Papelería	N/A	N/A	2.00
<b>SUBTOTAL 9</b>			<b>773.48</b>

Fuente: Elaboración propia.

## 6.2.3. BENEFICIOS

### MÉTODO ANTERIOR DE ENSAMBLE

**Tabla 6.10 Costos directos (Método anterior)**

Nombre	Tiempo (Horas)	Valor Hora (USD)	Costo Total (USD)
Transporte herramientas	16	1.50	24.00
Operadores	480	2.50	1200.00
Consumibles	N/A	N/A	100.00
<b>SUBTOTAL 10</b>			<b>1324.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.11 Costos indirectos (Método anterior)**

Nombre	Tiempo (Horas)/ Cant.	Valor Hora /V.U (USD)	Costo Total (USD)
Alimentación	180	1.75	315.00
Transporte de personal	12	12	144.00
Hospedaje	1440	0.50	720.00

Papelería	N/A	N/A	2.00
<b>CONTINUACIÓN TABLA 6.11</b>			
<b>SUBTOTAL 11</b>			<b>1181.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.12 Comparación de resultados costos directos**

SUBTOTAL	VALOR (USD)	DIFERENCIA 1 (USD)	BENEFICIO COSTO DIRECTO
8	1009.00	315.00	23.79 %
10	1324.00		

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.13 Comparación de resultados costos indirectos**

SUBTOTAL	VALOR (USD)	DIFERENCIA 2 (USD)	BENEFICIO COSTO INDIRECTO
9	773.48	407.52	34.50 %
11	1181.00		

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla 6.12 el beneficio de la nueva máquina prototipo comparado con el método tradicional en cuanto a costos directos es de un 23.79%, lo que detona un ahorro de 315.00 USD por cada torre ensamblada. En tanto en la tabla 6.13 se observa un beneficio del 34.50% después de comparar los valores de costos indirectos, dando como diferencia el valor de 407.52 USD que muestra un ahorro significativo.

### 6.3. ANÁLISIS FINANCIERO

**INVERSION INICIAL** ( $SBT1+ SBT2+ SBT3+ SBT4+ SBT5+ SBT6+ SBT7$ )

**4051.87 USD x 3 = 12155.61 USD**

**BENEFICIO** ( $DIF1+ DIF2$ ) x 12

**8670.24 USD**



**Tabla 6.14 Flujo económico**

FLUJO ECONÓMICO					
Periodo	Inversión USD	Beneficio bruto USD	Gasto financiero USD	Beneficio neto USD	Flujo neto USD
0	- 12155.61	-	-	-	-12155.6
1	-	8670.24	1823.3	6846.9	6846.9
2	-	8670.24	1823.3	6846.9	6846.9
3	-	8670.24	1823.3	6846.9	6846.9
4	-	8670.24	1823.3	6846.9	6846.9
5	-	8670.24	1823.3	6846.9	6846.9+2431.12= 9278.02
Valor residual = Inversión inicial x 20%					2431.12
<b>TOTAL</b>					<b>24510.01</b>

Fuente: Elaboración propia.

### CÁLCULO DEL VALOR ACTUAL NETO

El VAN se determina utilizando la ecuación 6.1

$$VAN = -I_i + \sum_{i=1}^5 \frac{B_i}{(1+j)^i} \quad \text{Ec 6.1}$$

Dónde:

Bi: Beneficio inicial

Ii: Inversión inicial

i: Número de años

j: Tasa de descuento = 15 %

VAN = \$ 12,004.96 (Calculado en Excel)

## **CÁLCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO**

TIR = 50% (Calculado en Excel)

La tasa interna de retorno es 50%, como es mayor que la tasa de descuento asumida del 15 % se concluye que el proyecto es rentable.

## **CÁLCULO DEL BENEFICIO COSTO B/C**

Esta relación nos ayuda a comparar los costos con los beneficios asociados a la realización del proyecto.

Si  $B/C > 1$  indica que el proyecto es rentable.

Valor actual de los beneficios:

VAB = \$ 24,160.57 (Calculado en Excel)

$B/C = \$ 24,160.57 / \$ 12,155.61$

$B/C = 1.98$

El B/C es mayor a 1, reafirmando que el proyecto es rentable.

# CAPÍTULO 7

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. CONCLUSIONES

1. El material empleado en la construcción del modelo inicial del mecanismo dispensador de pernos fue Nylon, obteniendo resultados poco satisfactorios al maquinarlo pues este material se comporta de manera inestable ante los cambios de temperatura. Siendo necesario cambiar el material del mecanismo al Acero A36 debido a que sus propiedades mecánicas lo hacen más versátil.
2. El peso del prototipo construido está dentro del rango permisible para el uso de herramientas en la altura que se limita a 20 kg en total, debido a que el prototipo se construyó con materiales de espesores delgados y de longitudes reducidas el peso asciende a 6 kg facilitando su manejo.
3. El tiempo empleado en realizar el procedimiento de ensamble manual de las torres se redujo en un 40%, ya que antes este proceso se lo llevaba a cabo en 10 días y luego de la construcción de la máquina prototipo este proceso se podría llevar a cabo en 6 días, de esta forma se reduce el gasto de mano de obra.
4. El uso del prototipo en las torres de 24 metros de altura está limitado por el espacio que existe en las juntas empernadas compuestas por los ángulos perforados, al existir espacios reducidos y de difícil acceso se hace complicado el uso de la máquina prototipo en estos lugares. A pesar de esto presenta menores inconvenientes al momento de ensamblar las placas perforadas con los ángulos perforados.
5. El prototipo funciona de buena manera en casos en los que los pernos se encuentran atascados por el paso del tiempo y la intemperie lo cual obliga al uso de toda la potencia de la máquina prototipo que es 300 ft-lb.

6. El diseño de la máquina prototipo está planteado para pernos de 5/8 x 2 pulg. ya que son los más empleados en las juntas de las torres, además de que su peso es adecuado para el funcionamiento general de la máquina prototipo.
7. El costo total del prototipo es de 4051.87 USD, tomando en cuenta todos los gastos administrativos, logísticos y de personal.

## **7.2. RECOMENDACIONES**

1. Se deben usar materiales de bajo espesor y longitudes cortas para aliviar la estructura del bastidor del prototipo, en este caso en particular se usó tubería de 1.1 mm de espesor y se fresaron orificios en los elemento de mayor espesor para disminuir su peso en el conjunto.
2. Desarrollar un diseño más ergonómico tomando en cuenta las características fundamentales del prototipo construido, y además hacer un diseño para aumentar la capacidad de carga del volumen de pernos dispensados por la herramienta.
3. Se recomienda cambiar el material de la camisa giratoria a un acero AISI 4142 y aumentar el espesor de la pared a 4.5 mm, para que de esta manera no exista falla por cortante.
4. En ciertos casos se debe hacer uso de removedor de juntas empernadas para no sobre esforzar a la máquina prototipo y de esta manera alargar su vida útil.
5. Para el manejo de la máquina prototipo se emplean dos operarios, debido a que en el proceso de ajuste es necesario fijar la cabeza del perno con una llave de boca para evitar que este se mueva en banda.
6. Es recomendable usar motores DC de mayor capacidad de carga, para aumentar la velocidad de los mecanismos de tornillo de potencia.

7. Se recomienda mejorar el diseño del circuito eléctrico del motor DC1, para evitar manipular el cable de conexión cada vez que se haga uso del prototipo.
8. Se deberá llevar a cabo un mantenimiento preventivo de la herramienta cada torre para verificar el normal funcionamiento de las piezas internas y externas además de sus mecanismos anexos.

## REFERENCIAS

### BIBLIOGRÁFICAS

- Vinnakota, Sriramulu. Estructuras de Acero: comportamiento y LRFD. Primera ed. México. Editorial McGraw-Hill. 2006.
- McCormac, Jack. C. Diseño de Estructuras de Acero. 2da. ed. México. Editorial Alfaomega. 2002.
- Norton, Robert. Diseño de máquinas. Primera ed. México. Editorial Pearson. 1999.
- Robert Mott. Diseño de Elementos de Máquinas. Cuarta ed. México. Editorial Pearson. 2006.

### INTERNET

- [http://1.bp.blogspot.com/\\_wm87iaUX4uw/SbeReoOVzRI/AAAAAAAAADM/ri08GcjG8nA/s1600-h/Aprietebasetorre40m.JPG](http://1.bp.blogspot.com/_wm87iaUX4uw/SbeReoOVzRI/AAAAAAAAADM/ri08GcjG8nA/s1600-h/Aprietebasetorre40m.JPG).
- <http://www.dewalt.com/tools/cordless-impact-driverswrenches-high-torque-wrenches-dc800kl.aspx>
- <http://www.construaprende.com/Telecomunicaciones/index.html>
- <http://www.manceras.com.co/guiatelealtura.pdf>
- [http://www.ectel.cl/es/productos/soluciones\\_cobertura\\_movil.html](http://www.ectel.cl/es/productos/soluciones_cobertura_movil.html)
- <http://hispanoblog.lbagroup.com/remolque-tactico-de-comunicaciones-de-lba-technology/>
- <http://www.avgal.net/pdfs/Ponencia%20LV%20WEB.pdf>
- <http://integraldeestructuras.com/mantenimiento.htm>

- [http://www.mer-telecom.com/telecom\\_network\\_services](http://www.mer-telecom.com/telecom_network_services)
- <http://www.urrea.com/URREA/Detalle.asp?PrID=1858#>
- <http://www.milwaukeeetool.com>
- <http://www.scribd.com/doc/16607894/EIA222G-Design-Steel-Tower>
- [http://grupos.emagister.com/documento/instructivo\\_sobre\\_uso\\_de\\_herramientas\\_en\\_altura/](http://grupos.emagister.com/documento/instructivo_sobre_uso_de_herramientas_en_altura/)
- [http://www.portlandbolt.com/products/bolts/hex\\_bolts.html](http://www.portlandbolt.com/products/bolts/hex_bolts.html)
- <http://www.bosch.com.co/es/ferramentas-profissionais/produtos/chave-impacto/img/destaque-gds-24.png>
- [http://www.gumpertz.cl/pernos\\_torque\\_controlado.html](http://www.gumpertz.cl/pernos_torque_controlado.html)
- <http://www.forch.pt/product.aspx?p=a098755f-4c02-487c-aca9-598db5e74442&g=a77bc033-92c5-4097-b2cc-1f565e0d4a9e&js=1>
- <http://www.cqfd-international.com/espanol/cqfd-acero-laminado-en-frio-angulo-perforado-barniz-19.htm>
- <http://www.deltaportercable.com/Products/ProductImages.aspx?ProductID=11571>
- [http://www.aonetools.co.uk/product\\_info.php](http://www.aonetools.co.uk/product_info.php)
- <http://www.deltaportercable.com/Products/ProductImages.aspx?ProductID=11567>
- <http://www.powertoolsinc.com/cart/index.php>
- <http://www.aluminiosjuanignacio.com/>
- <http://www.balvinder.es/paginas/Enciclopedia.html>

- <http://www.directindustry.es/prod/stelmi-italia/barras-de-acero-cromado-32577-204463.html>



## **ANEXOS**

## **ANEXO A: PLANOS DE DETALLE Y CONJUNTO**

## **ANEXO B: SELECCIÓN DEL RODAMIENTO**

## **ANEXO C: PLANO DE ENSAMBLE**