



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Convertidor de llave  
estándar a llave ajustable  
para elementos  
hexagonales deformados**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Mecánico**

**P R E S E N T A**

César Alberto Rodríguez Zepeda

**DIRECTOR DE TESIS**

M. I. Carlos Eduardo Hernández Valle



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

*A mis padres, luchadores incansables*

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres; por su cariño incondicional, mostrándome lo que vale el abrazo de una persona especial. Que han estado conmigo en los momentos más difíciles, haciéndome sentir bien, ustedes me dieron la vida más de una vez. Gracias por su apoyo total y la confianza que tuvieron en mí.

A mis hermanas; por procurarme siempre y motivarme a seguir adelante, su valentía es admirable y han sido un ejemplo para mí de cómo enfrentar las adversidades.

A mi familia, que estando en apuros me extendieron su mano.

A quienes ya no están conmigo pero su cariño lo tengo bien grabado, gracias.

A mis amigos, quienes preguntaron si podía ayudarme en algo, y así fue.

A mi escuela, la UNAM, que siempre me ha cobijado y me brindó una de las mejores experiencias de mi vida, así como a mi director de tesis; M.I Carlos E. Hernández V. por su tiempo y consejos.

Agradezco a los miembros del jurado:

Dr. Leopoldo Adrián González González

Dr. Adrián Espinosa Bautista

M.I. Antonio Zepeda Sánchez

Dr. Miguel Ángel Bazan Ramírez

Por su disposición y tiempo dedicado.

Y un agradecimiento especial a todas aquellas personas que me han ayudado en este largo camino, aunque ahora no las nombre a todas, siempre las tendré presentes.

# **CONVERTIDOR DE LLAVE ESTÁNDAR A LLAVE AJUSTABLE PARA ELEMENTOS HEXAGONALES DEFORMADOS**

## **ÍNDICE**

LISTA DE FIGURAS

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I.- ANTECEDENTES	1
1.1 MARCO TEÓRICO	3
1.2 METODOLOGÍA	5
CAPÍTULO II.- DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	10
2.1 IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD	10
2.2 OBJETIVOS	10
2.3 ALCANCE	10
CAPÍTULO III.- BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN	11
3.1 ESTADO DEL ARTE	11
3.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	16
3.3 CONSIDERACIÓN DE USUARIO, CLIENTE Y JUICIO EXPERTO	17
CAPÍTULO IV.- REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES	24
4.1 REQUERIMIENTOS	24
4.2 MATRIZ DE REQUERIMIENTOS – MÉTRICAS	24
4.3 ESPECIFICACIONES	27
CAPÍTULO V.- DISEÑO CONCEPTUAL	29
5.1 DEFINICIÓN DE FUNCIONES Y SISTEMAS	29
5.2 DIAGRAMA FUNCIONAL	30

5.3 BENCHMARK	-----	31
5.4 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN Y SU EVALUACIÓN		-33
5.5 DISEÑO PRELIMINAR	-----	46
CAPÍTULO VI. - DISEÑO DE DETALLE	-----	47
6.1 ANÁLISIS DEL CONCEPTO GENERADO	-----	47
6.1.1 DIAGRAMA DE FUERZAS PRESENTES EN EL SISTEMA FORMADO POR LOS PERNOS		
6.1.2 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE UN PERNO		
6.1.3 ECUACIONES PARA EL ANÁLISIS DE LAS FUERZAS GENERADAS		
6.2 TEORÍA PARA EL CÁLCULO DE LA FUERZA NORMAL	-----	50
6.2.1 COMPARACIÓN CON COJINETES		
6.2.2 EXTRACTO DE LA NORMA INTERNACIONAL ISO 76:2006 RODAMIENTOS – CLASIFICACIONES DE CARGA ESTÁTICA		
6.2.3 ESFUERZOS DE CONTACTO		
6.3 SELECCIÓN DE MATERIALES	-----	55
6.4 CÁLCULOS	-----	56
6.4.1 FUERZA NORMAL MÁXIMA ENTRE EL PERNO Y UNA LLAVE DE VASO		
6.4.2 CÁLCULO DEL ÁNGULO MÁXIMO POSIBLE, COEFICIENTE DE FRICCIÓN NECESARIO Y FUERZAS GENERADAS PARA UN PROTOTIPO		
6.4.3 LLAVES DE VASO COMPATIBLES		
6.5 ELABORACIÓN DE PLANOS DE FABRICACIÓN	-----	64
CAPÍTULO VII.- CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS Y PRUEBAS	-----	67
7.1 MANUFACTURA DE PROTOTIPOS	-----	67
7.2 PRUEBAS	-----	68

7.3 RESULTADOS	74
7.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	75
CONCLUSIÓN	77
RECOMENDACIONES DE USO	78
MEJORAS	78
REFERENCIAS	
BIBLIOGRAFÍA	
RECURSOS	
ANEXOS	
ANEXO 1: DVD CON	
• AUDIO DE ENTREVISTA A USUARIO, CLIENTE Y JUICIO EXPERTO	
• VIDEOS DE PRUEBAS REALIZADAS	
MENSAJE FINAL	

## LISTA DE FIGURAS

### Figura 1

Groover, M, (2007). Fundamentos de manufactura moderna: Clasificación de los procesos de manufactura [Diagrama], p. 11. México: Mc Graw Hill.

### Figura 2

Tecnología. (s.f.). Tipos de cabezas de tornillos. [Ilustración] Recuperado de: <http://www.areatecnologia.com/herramientas/tuercas-y-tornillos.html>

### Figura 3

Tecnología. (s.f.). Tipos de tuercas. [Ilustración]. Recuperado de: <http://www.areatecnologia.com/herramientas/tuercas-y-tornillos.html>

### Figura 4

Norton, R. (2011). Diseño de Maquinas: Perfil de cuerda estándar nacional unificado e ISO, p. 724. [Ilustración].

### Figura 5

Entaban. (s.f.). Llave fija plana Bahco de dos bocas. [Ilustración] Recuperado de: <https://entaban.es/fijas/346-llave-fija-plana-bahco-de-dos-bocas.html>

### Figura 6

Gómez, T., Águeda, E., García J.L., Martín, J. (s.f.). MECANIZADO BÁSICO PARA ELECTROMECAÁNICA, p. 9 Llaves de estrella. [Ilustración] Recuperado de: [https://books.google.com.mx/books?id=\\_ESsEd-4OYUC&printsec=frontcover&dq=MECANIZADO+B%C3%81SICO+PARA+ELECTROMECAÁNICA&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiDgZ-f3KncAhVBXawKHb0DBDoQ6AEIKDAA#v=onepage&q=MECANIZADO%20B%C3%81SICO%20PARA%20ELECTROMECAÁNICA&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=_ESsEd-4OYUC&printsec=frontcover&dq=MECANIZADO+B%C3%81SICO+PARA+ELECTROMECAÁNICA&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiDgZ-f3KncAhVBXawKHb0DBDoQ6AEIKDAA#v=onepage&q=MECANIZADO%20B%C3%81SICO%20PARA%20ELECTROMECAÁNICA&f=false)

### Figura 7

Gómez, T., Águeda, E., García J.L., Martín, J. (s.f.). MECANIZADO BÁSICO PARA ELECTROMECAÁNICA: Llaves de vaso de 6, 8 y 12 caras, p. 11. [Ilustración] Recuperado de: [https://books.google.com.mx/books?id=\\_ESsEd-4OYUC&printsec=frontcover&dq=MECANIZADO+B%C3%81SICO+PARA+ELECTROMECAÁNICA&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiDgZ-f3KncAhVBXawKHb0DBDoQ6AEIKDAA#v=onepage&q=MECANIZADO%20B%C3%81SICO%20PARA%20ELECTROMECAÁNICA&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=_ESsEd-4OYUC&printsec=frontcover&dq=MECANIZADO+B%C3%81SICO+PARA+ELECTROMECAÁNICA&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiDgZ-f3KncAhVBXawKHb0DBDoQ6AEIKDAA#v=onepage&q=MECANIZADO%20B%C3%81SICO%20PARA%20ELECTROMECAÁNICA&f=false)

### Figura 8

Trial-Bikes. (s.f.). Llave inglesa. [Ilustración] Recuperado de: <https://www.trial-bikes.com/llave-inglesa-6-msc-p-537378.html>

### Figura 9

Wikipedia. (Última actualización: 3 de noviembre de 2018). Una llave Stillson o grifa. [Ilustración] Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Llave\\_Stillson](https://es.wikipedia.org/wiki/Llave_Stillson)

### Figura 10

Mercado libre. (s.f.). Llaves Tuerca Ajustables Universales Snap And Grip Gasfiter. [Ilustración] Recuperado de: [https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-452849852-llaves-tuerca-ajustables-universales-snap-and-grip-gasfiter-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-452849852-llaves-tuerca-ajustables-universales-snap-and-grip-gasfiter-_JM)

### Figura 11

You, Janie; CN. (2016) Universal socket ratchet wrench. [Ilustración] Recuperado de: <https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=WO2018053929&recNum=2&maxRec=608&>

office=&prevFilter=&sortOption=Fecha+de+publicaci%C3%B3n%2C+orden+descendente&queryString=FP%3A%28socket+wrenches%29&tab=PCTBiblio

Figura 12

Ebay. (11 de febrero de 2018). Vaso extractor hexagonal de 3/8" tamaño 8mm (5/16") TENGTOOLS 178000204. [Ilustración]. Recuperado de: <https://www.ebay.es/itm/Vaso-extractor-hexagonal-de-3-8-tamano-8mm-5-16-TENGTOOLS-178000204-/382342613853>

Figura 13

Go-2 Socket. (s.f.). Go-2 Socket. [Ilustración]. Recuperado de: <https://www.go2socket.com/>

Figura 14

Autozone. (s.f.). Powerbuilt Extractor de Pernos. [Ilustración]. Recuperado de: [https://www.autozone.com.mx/herramientas-de-especialidad/extractor-de-pernos/powerbuilt-extractor-de-pernos-de-1-4-y-5-16-pulg/304229\\_0\\_0](https://www.autozone.com.mx/herramientas-de-especialidad/extractor-de-pernos/powerbuilt-extractor-de-pernos-de-1-4-y-5-16-pulg/304229_0_0)

Figura 15

Autoría propia. (2019). Diagrama funcional de la herramienta. [Diagrama].

Figura 16

Ringspann Iberica S.A. (s.f.). Diseño y funcionamiento de las ruedas libres. [Ilustración] Recuperado de: <https://www.ringspann.es/es/productos/ruedas-libres/tecnologia>

Figura 17

José Luis Hernández. (Última actualización 02 de enero de 2019). Rueda libre. [Ilustración]. Recuperado de: <https://faqcar.com/preguntas-y-respuestas/caja-cambios/1150-que-tipos-de-caja-de-cambios-automaticas-hay-para-el-coche>

Figura 18

Autoría propia. (2019). Presión por engranaje planetario. [Dibujo].

Figura 19

Autoría propia. (2019). Presión por mecanismo de barras y rodamientos. [Dibujo].

Figura 20

Autoría propia. (2019). Presión por interferencia. [Dibujo].

Figura 21

Autoría propia. (2019). Esfuerzo cortante por fluido no newtoniano. [Dibujo].

Figura 22

D30. (s.f.). Material D30. Recuperado de: <https://images.app.goo.gl/Wu6pjQVz5jLrhW1Y9>

Figura 23

Autoría propia. (2019). Colocación manual. [Dibujo].

Figura 24

Autoría propia. (2019). Superficie imantada. [Dibujo].

Figura 25

Autoría propia. (2019). Cono de inserción. [Dibujo].

Figura 26

Autoría propia. (2019). Configuración bidireccional. [Dibujo].

Figura 27



Autoría propia. (2019). Cambio de posición en la herramienta. [Dibujo].

Figura 28

Autoría propia. (2019). Funciones separadas. [Dibujo].

Figura 29

Autoría propia. (2019). Llave plana. [Dibujo].

Figura 30

Autoría propia. (2019). Llave de vaso. [Dibujo].

Figura 31

Autoría propia. (2019). Pinzas. [Dibujo].

Figura 32

Autoría propia. (2019). Accionamiento por giro. [Dibujo].

Figura 33

Autoría propia. (2019). Botón de accionamiento. [Dibujo].

Figura 34

Autoría propia. (2019). Accionamiento por impacto. [Dibujo].

Figura 35

Autoría propia. (2019). Extensión integrada. [Dibujo].

Figura 36

Autoría propia. (2019). Extensión complementaria. [Dibujo].

Figura 37

Autoría propia. (2019). Pistola de impacto. [Dibujo].

Figura 38

Autoría propia. (2019). Posible configuración final. [Dibujo].

Figura 39

Autoría propia. (2019). Vista inferior de posible configuración final. [Dibujo].

Figura 40

Autoría propia. (2019). Diagrama de fuerzas presentes en el sistema formado por los pernos. [Dibujo].

Figura 41

Autoría propia. (2019). Diagrama de cuerpo libre de un perno. [Dibujo].

Figura 42

Norton, Robert L. (2011). Diseño de máquinas: Distribución de la presión y zonas de contacto en los contactos esférico, cilíndrico y casos generales hertzianos, p. 367. [Ilustración]. México: Pearson

Figura 43

Autoría propia, (2019). Diagrama de fuerzas entre la llave de vaso y el perno. [Dibujo].

Figura 44

Autoría propia, (2019). Llave de vaso de mayor tamaño. [Dibujo].

Figura 45

Autoría propia, (2019). Llave de vaso de menor tamaño. [Dibujo].

Figura 46

Autoría propia, (2019). Anillo elástico de látex. [Foto].

Figura 47

Autoría propia, (2019). Pernos de Acero Cromo – Vanadio. [Foto].

Figura 48

Autoría propia, (2019). Convertidor de llave estándar a llave ajustable para elementos hexagonales deformados. [Foto].

Figura 49

Autoría propia, (2019). Llaves de vaso. [Foto].

Figura 50

Autoría propia, (2019). Tornillo de  $\frac{1}{2}$ " para prueba. [Foto].

Figura 51

Autoría propia, (2019). Tornillo de  $\frac{3}{4}$ " para prueba. [Foto].

Figura 52

Autoría propia, (2019). Tuercas de  $\frac{1}{2}$ " para prueba. [Foto].

Figura 53

Autoría propia, (2019). Tuerca de  $\frac{9}{16}$ " para prueba. [Foto].

Figura 54

Autoría propia, (2019). Tuercas de  $\frac{3}{4}$ " para prueba. [Foto].

Figura 55

Autoría propia, (2019). Torquímetro para pruebas. [Foto].

Figura 56

Autoría propia, (2019). Prensa de banco. [Foto].

Figura 57

Autoría propia, (2019). Arandela plana. [Foto].

Figura 58

Autoría propia, (2019). Sujeción del sistema. [Foto].

Figura 59

Autoría propia, (2019). Colocación de tuerca sin deformación en su geometría para pruebas 1 a 3. [Foto].

Figura 60

Autoría propia, (2019). Colocación del convertidor. [Foto].

Figura 61

Autoría propia, (2019). Aplicación de par torsional. [Foto].

Figura 62

Autoría propia, (2019). Colocación de geometría con deformación en su geometría para pruebas 4 a 6. [Foto].

Figura 63  
Autoría propia, (2019). Prueba límite. [Foto].

Figura 64  
Autoría propia, (2019). Prueba práctica. [Foto].

Figura 65  
Autoría propia, (2019). Prueba con tuerca de  $\frac{3}{4}$ ". [Foto].

Figura 66  
Autoría propia, (2019). Funcionamiento del convertidor. [Foto].

## INTRODUCCIÓN

Los tornillos y tuercas son de los elementos de sujeción más utilizados y se encuentran presentes en infinidad de objetos. Cuando se requiere dar mantenimiento, a equipo o maquinaria, es necesario desmontar y volver a montar algunos de sus componentes, tarea que puede llegar a complicarse demasiado cuando la geometría de la tuerca o tornillo se ha deformado (comúnmente se presenta un redondeo en las aristas de la cabeza), provocando que la herramienta empleada para dicha tarea se vuelva incapaz de transmitir par torsional y se zafe.

En algunas ocasiones no se cuenta con el tamaño de herramienta requerido o se pierde tiempo buscando la dimensión que mejor se ajusta al tamaño de nuestro elemento.

A lo largo de esta tesis se perseguirá desarrollar una herramienta capaz de aplicar par torsional a elementos de sujeción (tuercas o tornillos) con o sin deformación en su geometría (hexagonal), y que además sea capaz de acoplarse con llaves convencionales, adaptándolas a diferentes tamaños de dichos elementos.

Se busca un concepto sencillo pero funcional y al ser un complemento de la herramienta disponible, permitirá ahorrar costos de manufactura, tiempo de desarrollo y producción, agregando valor y competitividad frente a otros productos similares.

Para ello se emplea una metodología de desarrollo del producto dividida en 7 capítulos.

Capítulo I. Se da un panorama general sobre las bases con que se parte en el diseño de producto, metodologías y uniones; sujeciones roscadas.

Capítulo II. Definición del problema: Se precisa cuál es la necesidad primordial, delimitando perfectamente el problema. Se fijan objetivos factibles y se determina hasta dónde se planea llegar.

Capítulo III. Búsqueda de información: Se investigan los productos existentes que satisfacen dicha problemática y se consulta a sus usuarios para saber que otras necesidades tienen y que no están del todo cubiertas por los productos en el mercado.

Capítulo III. Requerimientos y especificaciones: Las necesidades se traducen a un lenguaje técnico dentro del ámbito de la ingeniería, posteriormente se asignan métricas y valores deseables, generando especificaciones con parámetros medibles.

Capítulo IV. Diseño conceptual: La problemática se divide en sistemas para facilitar su manejo, se analizan las funciones y sus interacciones para llevar a cabo la tarea. Se idean alternativas de solución para cada sistema y se evalúa cual es la mejor, a partir de ello se genera un diseño preliminar.

Capítulo V. Diseño de detalle: El diseño preliminar es analizado a profundidad; fuerzas aplicadas, esfuerzos generados, selección de materiales y finalmente se elaboran los planos para un prototipo funcional.

Capítulo VII. Construcción de prototipos y pruebas: Se realiza la manufactura del prototipo al cual se le realizan pruebas de funcionamiento, comprobando si cumple con los objetivos planteados y analizando el comportamiento durante la pruebas para detectar posibles fallas y mejoras al producto.

## CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

Concordando con Ulrich, K. (2009, p. 3) el desarrollo de un producto requiere de múltiples disciplinas y trabajo en equipo, y aunque pueden participar gran variedad de profesionistas y técnicos, hay 3 áreas fundamentales en el desarrollo de un producto:

- **Mercadotecnia:** Su principal función es identificar áreas de oportunidad para el desarrollo de productos que satisfagan las necesidades de un mercado. Para ello se emplea métodos de recolección de información como lo son entrevistas a clientes, proveedores, benchmarking (información de competidores)..., otra función importante es el análisis de la respuesta del cliente ante los conceptos generados para saber en qué medida cumplen con sus expectativas. Todo esto con el objetivo de “asegurar” el éxito de nuestro producto y evitar pérdidas millonarias.
- **Diseño:** El diseño de un nuevo producto implica la generación de conceptos a partir de las especificaciones que éste deberá cumplir, lo que garantiza la satisfacción de las necesidades del cliente.
- **Manufactura:** Como lo menciona P. Groover (2007, pp. 2-4) “la palabra manufactura viene de manus=mano y factus= hacer, que en conjunto significan hecho a mano”. Este término engloba el conjunto de procesos (físicos y químicos), materiales y sistemas de producción (formas de organizar a las personas y a los equipos), por medio de los cuales se fabrican piezas o productos, en palabras sencillas se puede decir que el propósito de la manufactura es tomar material y llevarlo hasta un estado final deseado. Dentro de la manufactura también se contemplan actividades como el ensamble de piezas y la compra, distribución e instalación; también llamadas cadena de suministro. En la figura 1 se muestra una clasificación de los procesos de manufactura.

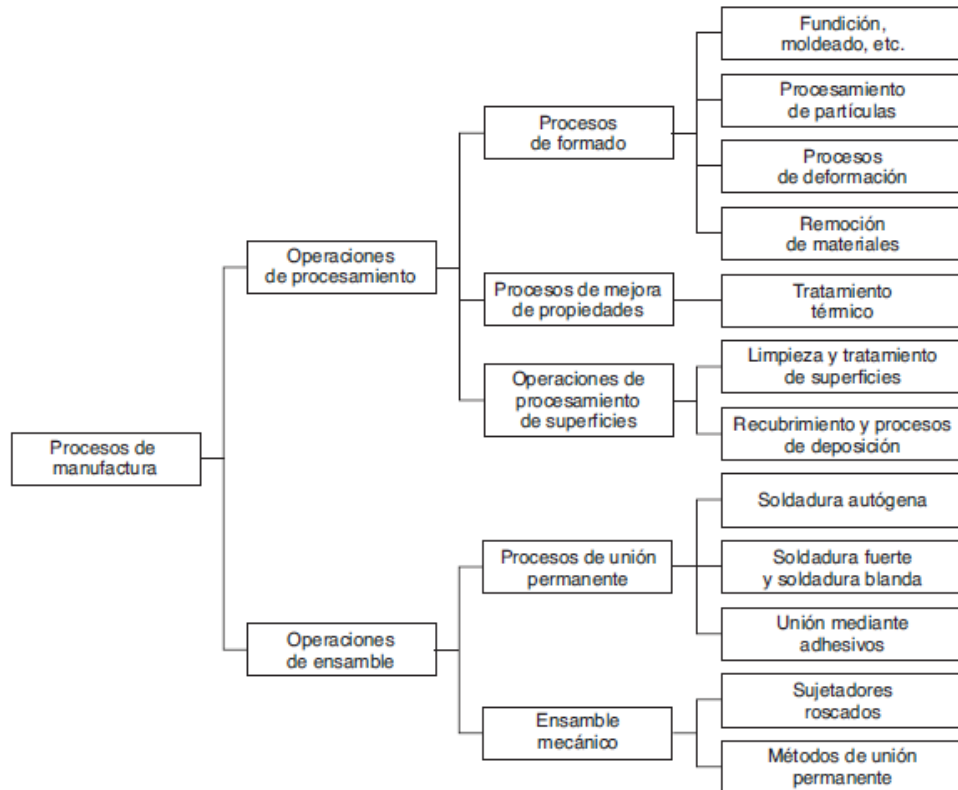


Figura 1 Clasificación de los procesos de manufactura.

## INGENIERÍA DE DISEÑO

El diseño en ingeniería involucra una metodología para la generación de conceptos, es importante mencionar que las metodologías de diseño son una guía y no un conjunto de reglas estrictas, y que de hecho pueden combinarse en la solución de un determinado problema.

Budynas R. & Keith J. (2009, p. 5) mencionan “Las herramientas de la ingeniería (como las matemáticas, la estadística, la computación, las gráficas y el lenguaje) se combinan para producir un plan, que cuando se lleva a cabo crea un producto funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que se puede fabricar y comercializar, sin importar quién lo construya o lo use”.

Usar una metodología nos permitirá llegar a la meta propuesta y evitará grandes pérdidas de recursos; tiempo y dinero, sobre todo.

## ENSAMBLE

“Una operación de ensamblado une dos o más componentes a fin de crear una entidad nueva, llamada ensamble, sub ensamble o algún otro término que se refiera al proceso de

unión (por ejemplo, un ensamble soldado se denomina soldadura).” (P. Groover, 2007, p.10.).

## UNIONES

Al realizar un ensamblaje, las piezas deben sujetarse mediante algún método de unión que garantice que se mantendrán en su posición y serán capaces de realizar su función; permitiendo determinados grados de libertad. Existen 2 tipos de uniones:

### Uniones no permanentes

Permiten volver a separar las piezas sin comprometer la integridad de los elementos. Este tipo de unión está orientado a sistemas que requieren mantenimiento periódico. Se puede aplicar en piezas hechas de cualquier material (metálico y no metálico).

Las uniones no permanentes más comunes son:

- Uniones roscadas; Tuercas, tornillos, pernos y espárragos.
- Sujeción mediante chavetas circulares o pasadores
- Cuñas
- Ajustes por interferencia y presión.

### Uniones permanentes

Los componentes no pueden separarse sin emplear métodos destructivos; ya sea en el elemento de unión o las piezas involucradas.

Las uniones permanentes más comunes son:

- Soldaduras
- Adhesivos
- Remaches

## 1.1 MARCO TEÓRICO

### Tornillo

Un tornillo cuenta con las siguientes partes:

- ❖ Cabeza: Su función es permitir la aplicación de par torsional al tornillo y puede ser de diversas geometrías, por lo que condiciona la herramienta a emplear en el apriete.

En la figura 2 se ilustran los tipos más comunes de cabeza.

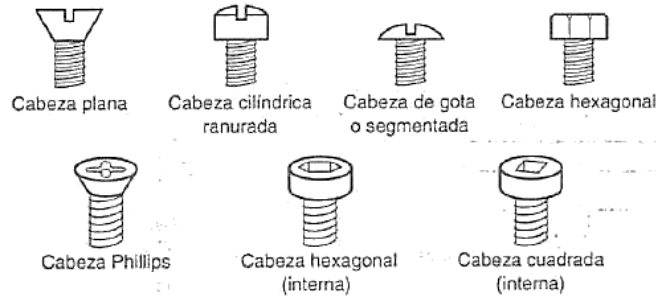


Figura 2 Tipos de cabezas de tornillos.

- ❖ Cuello: Es la parte del vástago sin roscar.
- ❖ Rosca: Son una serie de crestas y valles que van formando un perfil determinado alrededor del vástago, de manera helicoidal.

### Tuerca

Este elemento cuenta con un orificio en su parte central, la pared de dicho orificio se encuentra roscada por lo que se denomina rosca interna. Los tipos diferentes tipos de rosca se presentan en la figura 3.



Figura 3 Tipos de tuercas.

Como se mencionó al principio, esta tesis estará enfocada al trabajo en tuercas y tornillos de tipo hexagonal por lo que se detallará información relacionada con algunas características de los mismos.

### Cuerda

Cuando se aprieta una tuerca o tornillo se generan esfuerzos de tensión que son almacenados en la cuerda, estos impiden que el elemento se afloje y lo mantienen en su posición. Si deseamos retirar la tuerca o tornillo los esfuerzos deben ser liberados, para ello podemos ayudarnos de pequeños golpes, lubricantes y/o calor.



### Perfil de cuerda

Las cuerdas se han estandarizado de acuerdo a dos organizaciones; UNS (Estándar Nacional Unificado) y por la ISO (Organización Internacional de Normalización) “ambas emplean un ángulo incluido de  $60^{\circ}$  y definen el tamaño de la cuerda mediante el diámetro exterior (mayor) nominal  $d$  en una cuerda externa. El paso  $p$  de la cuerda es la distancia entre cuerdas adyacentes. Las crestas y las raíces se definen como aplanadas para reducir la concentración de esfuerzos de lo que sería una esquina afilada... El diámetro de paso  $d_p$  y el diámetro raíz  $d_r$  se definen en términos del paso  $p$  de la cuerda... Todas las cuerdas estándar están roscadas a la derecha (RH), a menos que se detalle roscado a la izquierda agregando las letras LH a la especificación”. (Norton, 2011, p. 724). Los parámetros  $d_p$  y  $d_r$  descritos y el perfil de una cuerda estándar se muestran en la figura 4.

En UNS se tienen tres tipos de familias de cuerdas:

- ❖ Paso grueso (UNC)
- ❖ Paso fino (UNF)
- ❖ Paso extrafino (UNEF)

En ISO las familias de cuerdas solo se dividen en gruesas y finas.

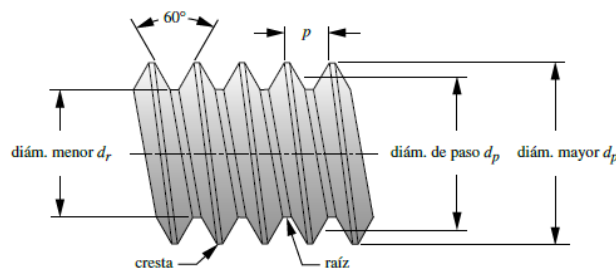


Figura 4 Perfil de cuerda estándar nacional unificado e ISO.

## 1.2 METODOLOGÍA

Existen varias metodologías para el desarrollo de un producto, permitiendo abordar el problema de distintas formas. En general estas metodologías son un conjunto de técnicas y procedimientos, sistemáticos, que permiten llegar al objetivo planteado.

Según Cross Nigel (2000, pp. 29-42), se pueden tener los siguientes modelos:

“

- ❖ Descriptivos: Este tipo de modelo propone la generación de conceptos desde las primeras etapas, posteriormente se evalúa, analiza, refina y desarrolla el concepto elegido. Las etapas de este modelo son:
  - Exploración: Análisis del problema
  - Generación: Generación de conceptos para solucionar el problema
  - Evaluación: Verificar que el concepto seleccionado soluciona el problema
  - Comunicación: Uso de medios apropiados para llevar a cabo su fabricación

Aquí es muy importante la experiencia del diseñador, pero no hay garantía de éxito, con el inconveniente de tener que volver hasta la etapa de generación si el concepto evaluado no funciona.

- ❖ Prescriptivos: Manejan un procedimiento más algorítmico y sistemático a seguir, por lo cual se considera que proporcionan una metodología de diseño más concreta. Se hace mucho énfasis en la parte analítica para entender realmente el problema y contemplar sus elementos más importantes. Las etapas de este modelo son:
  - Análisis: Elaboración de una lista de requerimientos y reducirlos a un conjunto de especificaciones
  - Síntesis: Buscar posibles soluciones para cada una de estas especificaciones y crear un diseño completo
  - Evaluación: Evaluar en qué medida los diseños cumplen con los requerimientos de operación, fabricación y seguridad

”

Además, Cross Nigel (2000, pp. 48-59) nos dice que los métodos de diseño se pueden clasificar en dos grandes grupos; métodos creativos y métodos racionales:

“

- ❖ **Métodos creativos**

Buscan el incremento del flujo de ideas y romper los bloqueos mentales que inhiben la creatividad. A continuación, se presentan 2 de estos métodos creativos.

**Lluvia de ideas**

Es el método creativo más conocido. Consiste en reunir un equipo de entre 4 y 8 personas en una sesión de alrededor de 20 o 30 minutos. El líder del grupo formula la declaración del problema que será utilizado como punto de partida y todos proponen posibles soluciones. Cabe destacar que cualquier idea es válida y una de las reglas es no criticar, sino al contrario, contribuir a complementar las propuestas.

**Sinéctica**

Este método es similar al anterior en cuanto a que se reúne un equipo de trabajo durante una sesión en la cual se propondrán soluciones, sin embargo, este difiere en que estas soluciones surgen a partir de analogías con otros temas, por ejemplo; con la naturaleza, analogías personales donde el equipo se imagina como sería ser parte del sistema o componente que se está diseñando, analogías simbólicas donde se utilizan metáforas, entre otras.

- ❖ **Métodos racionales**

Tienen como objetivo ampliar el espacio de búsqueda de posibles soluciones o facilitar el trabajo en equipo y la toma de decisiones en grupo. También permite la subdivisión de la tarea, asignando roles diferentes a los miembros del equipo. Se puede visualizar como una lista de pequeñas tareas por hacer, evitando pasar por alto cosas importantes.

“Existe una amplia gama de métodos de diseño racional, que abarca todos los aspectos del proceso de diseño, desde clarificar el problema hasta el detalle.”

Clarificar objetivos; Árbol de objetivos.

Propósito: Aclarar los objetivos y sub-objetivos y la relación entre ellos.

Establecer las funciones; Análisis de funciones.

Propósito: Establecer las funciones requeridas, y el límite del sistema, de un nuevo diseño.

Requisitos de configuración; Especificación de rendimiento.

Propósito: Realizar una especificación precisa del rendimiento requerido de una solución de diseño.

Características determinantes; Despliegue de la función de calidad.

Propósito: Establecer los objetivos que se deben alcanzar para las características de ingeniería de un producto, de modo que satisfagan al cliente.

Generación de alternativas; Carta morfológica.

Propósito: Generar la gama completa de soluciones de diseño alternativas para un producto y, por lo tanto, ampliar la búsqueda de nuevas soluciones potenciales.

Evaluando alternativas; Objetivos ponderados.

Propósito: Comparar los valores de utilidad de las propuestas de diseño alternativo, sobre la base del rendimiento y los objetivos ponderados diferencialmente.

Mejorando detalles; Ingeniería de valor.

Propósito: Aumentar o mantener el valor de un producto para su comprador al tiempo que reduce el costo para su productor.

Estas siete etapas de diseño y los métodos de diseño que las acompañan no deben considerarse como un proceso de diseño invariable.

”

La metodología empleada para el desarrollo de esta tesis se basa en la metodología propuesta por George E. Dieter, y en la obra “Diseño y desarrollo de productos” de Ulrich, K. y Eppinger S. (2009), de acuerdo a la información anterior estas parten de un modelo prescriptivo y emplean, en su mayoría, métodos racionales y algunos métodos creativos en las etapas iniciales. Algunos de los métodos propuestos se modificaron ligeramente y otros se omitieron, pero como se dijo anteriormente; no son un conjunto de reglas estrictas.

El trabajo puede dividirse en 6 etapas; definición del problema, búsqueda de información, requerimientos y especificaciones, diseño conceptual, diseño de detalle, construcción de prototipos y pruebas.

## DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En esta etapa se hace una declaración del problema; identificando áreas de oportunidad, fijando objetivos y alcances. Las problemáticas se pueden identificar de distintas formas: por medio de experiencias personales como en este caso, o estudio de tendencias en; estilo

de vida, demografía y tecnología, frustraciones y quejas por parte de los clientes, entre otras.

### BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

Se realiza una investigación de toda la tecnología desarrollada o disponible para el problema planteado. Esto incluye la búsqueda de; productos disponibles en el mercado, patentes, técnicas relacionadas y cualquier otro recurso que amplíe la información disponible, por ejemplo: videos y artículos relacionados con el problema.

Normalmente la consideración del usuario, cliente y juicio experto, por medio de entrevistas, se incorpora en la etapa de definición del problema, pero en este caso el problema se definió a partir de la experiencia personal. Sin embargo, es indispensable considerar en algún punto la opinión de terceros en el tema, con el objetivo de contemplar la totalidad de las necesidades del cliente, tanto las explícitas como las ocultas, asegurando que no se olvide una necesidad crítica, así como un claro entendimiento de las mismas. Para ello se realizan entrevistas con usuarios líderes, grupos de enfoque, etc. las cuales pueden documentarse por medio de grabaciones, videos o en forma de texto. Para el desarrollo de este proyecto serán incluidas como parte de la información adicional recabada.

### REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES

La información documentada es analizada por los miembros del equipo, haciendo una lista de cada una de las necesidades identificadas por medio de enunciados claros y objetivos, y su importancia relativa.

Posteriormente las necesidades del cliente se traducen a un lenguaje más técnico, indicando lo que el producto tiene que hacer, a lo que se le conoce como requerimientos. A estos requerimientos se les asignan; una métrica, un valor y se establece un grupo de especificaciones objetivo del producto, garantizando la satisfacción de las necesidades del cliente y agregando valor frente a la competencia.

### DISEÑO CONCEPTUAL

En esta etapa el problema se descompone en sistemas y funciones que deben cubrirse para realizar la tarea propuesta. Posteriormente se estudia la interacción entre los sistemas por medio de un diagrama funcional, analizando el flujo de materia, energía e información. El benchmark es un método que se basa en la búsqueda de productos en otros mercados, con funcionalidad similar al producto en desarrollo o a los sub problemas planteados, a partir de ello y los métodos creativos antes descritos se pueden generar alternativas de solución para cada uno de los sistemas y evaluarlas para decidir cuáles son las mejores soluciones, lo cual sienta las bases objetivas de los criterios de selección o inclusive retomar ideas que complementen o perfeccionen las soluciones generadas.

Cuando se han seleccionado un conjunto de soluciones estas se integran en un diseño preliminar del producto.

## DISEÑO DE DETALLE

El diseño de detalle involucra todos los cálculos matemáticos, planos, e indicaciones necesarias para pasar de las ideas conceptuales a un modelo físico. En esta etapa se definirán las dimensiones, esfuerzos generados, cargas permisibles, etc.

## CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS Y PRUEBAS

Como el nombre lo dice, aquí se realiza el modelo físico, se comprobará que sea funcional y que cumpla con las especificaciones acordadas. Es importante recordar que el diseño es un proceso iterativo y en esta etapa pueden surgir problemáticas que antes no habían sido contempladas, por lo que a veces será necesario refinar nuestro diseño y ajustar ciertos elementos para lograr nuestros objetivos.

## **CAPÍTULO II.- DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

### **2.1 IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD**

Se detectó que tuercas y tornillos hexagonales no se pueden remover con facilidad, usando herramientas convencionales, cuando presentan deformación en su geometría (“barridos”), además de necesitar grandes sets de herramienta para abarcar todos los tamaños posibles de estos elementos roscados. Por ello que se requiere de una herramienta que lleve a cabo dicha tarea de una manera eficaz.

### **2.2 OBJETIVO**

Diseñar y manufacturar un adaptador para herramienta convencional estándar a una ajustable que permita aplicar par torsional a elementos roscados; tuercas y tornillos hexagonales con o sin deformación en su geometría (“barridos”).

### **2.3 ALCANCE**

Se realizará el diseño del adaptador y se fabricará un prototipo que permita probar la eficacia del mismo con diferentes tamaños de tornillos y tuercas hexagonales.

## CAPÍTULO III.- BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

### 3.1 ESTADO DEL ARTE

HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN SISTEMAS DESMONTABLES CON GEOMETRÍA HEXAGONAL EXTERIOR.

#### Llaves

Los factores más importantes a considerar para saber qué tipo de llave se requiere utilizar son: el par torsional requerido y el espacio con que se cuenta. Existen 2 grandes grupos de tipos de llaves.

#### ❖ LLAVES CON MEDIDA FIJA O CALIBRADA

- Llave fija (figura 5)  
Este tipo de llave tiene una especie de “U” en cada extremo y su función es encajar en 2 caras paralelas de la tuerca o el tornillo. Generalmente la boca de estas llaves tiene una medida desde 6 hasta 22 mm entre caras paralelas.  
Por lo regular se fabrican con acero aleado al cromo-vanadio para una mayor dureza y resistencia al desgaste.



*Figura 5 Llave fija plana.*

- Llave de estrella (figura 6)  
“Se trata de unas llaves con bocas cerradas, cuyo interior presenta una configuración hexagonal simple, o con dos hexágonos cruzados a 30<sup>0</sup> (de doce lados). Con la llave de seis caras pueden aplicarse grandes pares de apriete sin riesgo de resbalamientos, ya que la llave rodea completamente a la tuerca o a la cabeza del tornillo, ajustándose perfectamente a todas sus caras. En cambio, la llave de 12 lados dispone de un mayor ángulo de giro, resultando especialmente idónea para ensamblajes con una accesibilidad complicada. En función de la configuración del cuerpo de la herramienta existen varios tipos de las mismas:”  
Gómez, Águeda, García & Navarro. (2011, p. 9).



a) Estrella plana. b) Estrella acodada. c) Estrella de media luna. e) Llave de estrella plana con carraca

Figura 6 Llaves de estrella.

- Llaves de vaso o “Dados” (figura 7)  
Este tipo de herramienta son “llaves cilíndricas cerradas (de 6, 8 o 12 lados interiores) y de altura variable, que pueden intercambiarse sobre un elemento accionador común. Para ello, llevan practicada una abertura cuadrada en la parte superior sobre la que encaja el perfil complementario del elemento accionador. Los cuadros de mando se miden en pulgadas y según la norma ISO 1174 son:” Gómez, Águeda, García & Navarro. (2011, p. 11).

Denominación	Medida en pulgadas
Radio	1/4"
Junior	3/8"
Estándar	1/2"
Camión	3/4"
Mayor	1"

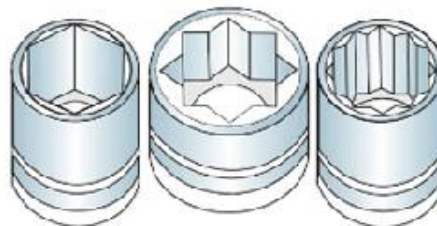


Figura 7 Llaves de vaso y sus medidas.

De acuerdo con el catálogo de Urrea Herramientas de Calidad Superior 2018 (liga 10 de la lista de recursos) se obtuvieron los siguientes datos:

#### Dados de mano

Se acoplan con accesorios manuales; carracas, mangos articulados, barras corredizas y mangos.



Características:

^ Bocas de 12, 8 y 6 puntas.

^ Cuadros de mando de  $\frac{1}{4}$ ",  $\frac{3}{8}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ " y 1".

Dados de impacto

Se acoplan con herramientas y máquinas que tienen acción de golpe; pistolas de impacto, matracas y destornilladores neumáticos o eléctricos.

A diferencia de los anteriores permiten aplicar una mayor fuerza o par torsional.

Características

^ Bocas de 12, 8 o 6 puntas.

^ Cuadros de mando de  $\frac{1}{4}$ ",  $\frac{3}{8}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ ", 1",  $1 \frac{1}{2}$ " y  $2 \frac{1}{2}$ ".

#### ❖ LLAVES CON MEDIDA AJUSTABLE

- Llave inglesa (figura 8)

La boca de esta llave tiene una mandíbula con una cara fija y otra móvil, la cara móvil está unida a una cremallera que se acopla con un tornillo sin fin y al girarlo se logra variar la distancia entre estas caras por lo que puede adaptarse a varios tamaños de tuercas y tornillos.



Figura 8 Llave inglesa.

- Llave stillson (figura 9)

El funcionamiento de esta herramienta es similar al anterior, cuenta con un anillo roscado internamente que desliza una cremallera unida a una superficie dentada, variando su distancia respecto otra superficie dentada fija. Estos dientes le dan un mejor agarre a la herramienta por que puede ejercer mayor par y es útil en superficies redondeadas, por otro lado, puede utilizarse en piezas más grandes.



Figura 9 Llave stillson o grifa.

- Llave adaptable / Snap and Grip (figura 10)  
Su funcionamiento es similar al de una mandíbula, tiene un gancho con forma de la mitad de un hexágono unido a una superficie dentada por medio de un perno, permitiendo el movimiento relativo entre ellas (en algunas, la superficie dentada se sustituye por otro semi-hexágono), esto hace posible abrir y cerrar la boca de la herramienta para envolver la tuerca o el tornillo.  
Al ejercer una fuerza de torsión las caras en contacto se comprimen aún más.



Figura 10 Llave snap and grip.

- Llave de vaso ajustable (figura 11)  
En el exterior es similar a una llave de vaso convencional ya que también es un cilindro cerrado, internamente tiene una serie de pernos verticales que pueden deslizarse cuando se introduce algún objeto, empujándolos hacia arriba y ocupando ese espacio, el resto de pernos quedan rodeando el objeto, por lo que el dado queda adaptado a su geometría.  
Esta herramienta es relativamente nueva, la patente tiene como fecha de publicación el 29 de marzo de 2018 por lo que muchas personas aún la desconocen.

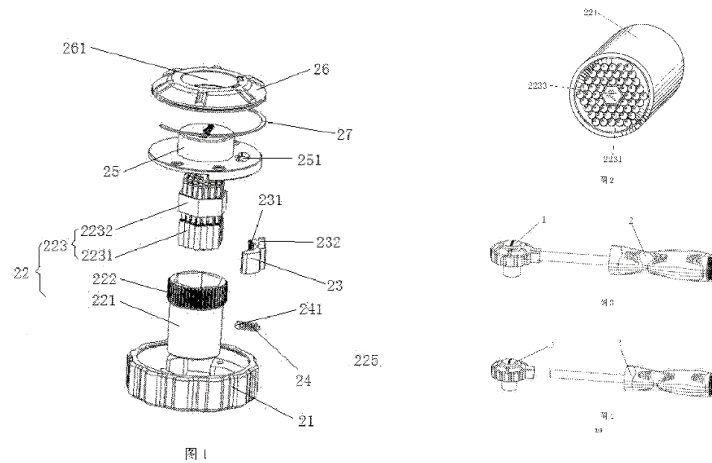


Figura 11 Llave de vaso universal y su mecanismo.

## HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN SISTEMAS DESMONTABLES CON GEOMETRÍA HEXAGONAL EXTERIOR DEFORMADA.

- Vaso extractor (figura 12)  
Llave cilíndrica cerrada, puede tener una abertura cuadrada en la parte superior sobre la que encaja el perfil complementario del elemento accionador (carraca por lo común) o puede tener una geometría hexagonal externa que le permita acoplarse con otra llave que la accione. La parte interna de la herramienta tiene forma helicoidal de diámetro variable. Con ayuda de un martillo se encaja sobre la cabeza del elemento y al girarla se encaja más y más, a la vez que el diámetro interno del vaso va disminuyendo, esto permite mejorar la aplicación de par torsional. Cabe destacar que esta herramienta solo sirve para aflojar.



Figura 12 Vaso extractor.

- Go2 socket (figura 13)  
Es muy parecida a una llave de vaso convencional, la diferencia radica en que Go2 socket tiene incorporado un tornillo que permite aplicar presión sobre la cabeza de la tuerca o tornillo, adaptándose a varios tamaños y geometrías deformadas. Otra diferencia es que la geometría interna es un “hexágono irregular”.



*Figura 13 Go2 Socket.*

- **Extractor de tornillos macho (figura 14)**  
Es una sección de barra circular, metálica, con rosca izquierda en uno de sus extremos, y en el otro extremo una geometría que le permite acoplarse con diferentes tipos de llaves.  
Permite sacar tornillos totalmente capados, es decir, cuando la cabeza del tornillo se ha desprendido. Su modo de empleo es el siguiente; con ayuda de un taladro se realiza un barreno sobre la superficie del tornillo dejando una pared delgada, posteriormente se introduce el extractor de tornillos macho (golpeando la parte superior) y comienza a girarse en sentido contrario a las manecillas del reloj para sacar el tornillo.



*Figura 14 Extractor de tornillos macho.*

### **3.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

La cuerda presente en elementos roscados guía al tornillo o a la tuerca hasta llegar a su posición final, permitiendo 2 tipos de movimiento a la tuerca o tornillo; girar y deslizar sobre su eje.

Seguir aplicando por una vez que la tuerca/tornillo ha hecho contacto con la superficie de la pieza provoca que el material se comprima, generando esfuerzos, que son almacenados principalmente en la cuerda e impiden que el elemento en cuestión se afloje.

La diferencia entre las herramientas investigadas está en cómo se genera el par torsional y la forma en que interactúa con la tuerca o tornillo para transmitir dicho par. En el caso de las herramientas manuales el par se genera con una extensión desde el punto de apoyo hasta el punto de aplicación de la fuerza por parte del usuario, actuando como una especie de palanca. Por lo general se trata de una barra metálica y puede ser parte de la misma herramienta por ejemplo en las llaves planas, o puede venir por separado como en el caso de las llaves de vaso donde se emplea una carraca. Por otro lado, se tienen herramientas

que pueden acoplarse con máquinas que generan un mayor par torsional y reducen el tiempo de operación:

- Neumáticas: Cuentan con un compresor, mangueras y un mecanismo que transforma la energía proveniente de un flujo de aire en un par torsional.
- Eléctricas: Se tiene una conexión a energía eléctrica y un motor que transforma dicha energía en par torsional.

Adicional a ello puede contarse con un mecanismo que permita controlar el par torsional aplicado.

Estas herramientas, con acoplamiento de máquinas o no, realizan la transmisión del par a través de las aristas presentes en la cabeza del tornillo o cuerpo de la tuerca, según sea el caso, y no sobre sus caras que tienen una mayor área de contacto, esto provoca que los esfuerzos se concentren en una superficie mucho menor y da pie a que los elementos de sujeción se barran. En otras palabras, las herramientas se encajan sobre las tuercas o tornillos pero no hay algo que ejerza presión sobre las caras, lo que también ayudaría a impedir que se zafen.

Finalmente debe destacarse el hecho de que una superficie dentada posibilita aplicar un mayor par torsional pues aumenta la fricción entre las superficies.

### **3.3 CONSIDERACIÓN DE USUARIO, CLIENTE Y JUICIO EXPERTO**

Con la finalidad de dar una solución más completa se realizaron una serie de encuestas tomando en cuenta la opinión de expertos, usuarios y clientes, como es el caso de vendedores en tiendas de herramientas, ingenieros y técnicos en talleres mecánicos.

Conocer las necesidades de cada uno de estos actores servirá como una guía en el desarrollo del proyecto, ya que dicha información se traducirá y formará parte de los requerimientos y especificaciones del producto a desarrollar. A continuación se muestran las encuestas realizadas.

#### *USUARIO FINAL / EXPERTO*

Taller Mecánico

Usuario A

Nombre: Javier Rodríguez

Ocupación: Mecánico

Años de experiencia: 40 años

Planta de Constructora

Usuario B

Nombre: Gerardo Ramírez

Ocupación: Ingeniero Mecánico Electricista

Años de experiencia: 15 años

1. ¿Qué problemas se le presentan cuando desmonta piezas unidas por tuercas y tornillos?

Usuario A: “En algunas ocasiones se pegan por el óxido, otra es materiales que no son compatibles, por ejemplo; el acero con el aluminio, ahí cuando hay exceso de calor se amarran y la cuerda se deshace”.

Usuario B: “Principalmente aquí en lo que es la concretera por limpieza del cemento o por el mismo óxido que se forma se pegan las tuercas”.

2. ¿Qué es lo que le toma más tiempo cuando aprietas o aflojas tuercas/tornillos?

Usuario A: “Depende, en si es todo el proceso, hay tornillos que están fáciles de maniobrar porque hay espacio, y hay tornillos que están más complicados, entonces cuando el espacio es muy reducido es cuando se complica más porque tienes que quitar piezas”.

Usuario B: “Primero lo que es la limpieza, hablando ya específicamente de lo que es el óxido... se pegan como tal, se truenan las cabezas, o sea se capan los tornillos y obviamente es después el tratar de sacar el tornillo, machuelear, etc.”.

3. ¿Se ha lesionado apretando/aflojando alguna pieza? ¿Por qué fue?

Usuario A: “A veces sí, cuando el tornillo está muy pegado si le ejerces mucha fuerza se puede romper y es cuando suceden los accidentes”.

Usuario B: “Sí, justamente al estar, ya sea, con la matraca o el maneral, que se llega a tronar, se truena lo que es la pieza o sea el tornillo la cabeza se capa y se da el golpe, o incluso hay lugares que son poco accesibles, que el rango de operación para el ángulo de la llave que se mete es muy poco entonces se golpean las manos los mecánicos”.

Uso de herramientas / Técnica

4. ¿Qué herramienta o equipo conoce para este tipo de tarea?

Usuario A: “Llaves y dados; llave española, llave de estrías, dados, matracas”.

Usuario B: “Llaves estándar, estriadas etc... o sea eso es sencillo, a los rotomartillos les podemos adaptar algún conector con el dado para poder extraer”.

5. ¿Con qué herramienta puede aplicar más fuerza sin que esta se zafe de la tuerca/tornillo?

Usuario A: “Con el dado, la matraca y el maneral”.

Usuario B: “Para poder aplicar más fuerza si el lugar lo permite podemos meter una herramienta neumática, esa es la que ahorita no está dando más fuerza, una llave de impacto, una pistola de impacto neumática, y si el lugar no lo permite, como cuando estamos en campo, están los dados con su maneral”.

6. ¿Qué herramienta y técnica le sirve más en espacios reducidos?

Usuario A: "Las llaves españolas y las de estrías".

Usuario B: "Llaves pequeñas, ahí no hay de otra".

7. ¿Conoces herramientas que sean capaz de adaptarse a diversas formas y tamaños de tuercas/tornillos?

Usuario A: "Pinzas de presión, llaves pericas, stillson y hay otras".

Usuario B: "Yo sí las conozco, pero no las estamos usando nosotros aquí... Sé que hay ciertas llaves que como si fuera cerrando un tipo compuerta y se ajusta a lo que es el tamaño del tornillo".

8. ¿Ha tenido que realizar alguna modificación a su herramienta?

Usuario A: "Sí... hay que adaptarlas o modificarlas, ya sea con el soplete se dobla la llave o se corta y se suelda en otra posición".

Usuario B: "No tanto la modificación, ha sido más bien el repararla, se llega a romper y bueno se suelda nuevamente la llave, pero no tanto el modificar dados, las entradas o algo así".

9. ¿Qué esperarías de una herramienta que afloje tuercas y tornillos y que no tienen las suyas o las actuales?

Usuario A: "Me imagino que podría tener varias funciones, abrir, cerrar y cambiar de posición para que entre en espacios reducidos".

Usuario B: "Una que si pudiera ser más universal, o sea a lo mejor en vez de ocupar o tener en un estuche con 10 a 15 dados distintos, que pudiera tener 2 o 3 que pudieran abarcar esa parte... Yo esperarías que esta si tuviera una mejor calidad, y garantía desde un Urrea o un Snap On".

10. ¿Qué métodos emplea cuando las tuercas/tornillos ya están muy barridos o simplemente se quedaron atascados, como cuando se oxidan y quedan unidos?

Usuario A: "Pues ya es cosa de utilizar la maña, la experiencia, en ocasiones hay que utilizar el soplete para calentar el material o soldar una pieza adicional y poder aflojar".

Usuario B: "Si lo permite, poder soldarle otra pieza, otro tornillo digamos arriba o un tipo varilla para ya con esa poder hacer la palanca  
La clásica de que si ya está barrida pero todavía tiene algo de figura meterle el dado de una medida más chica, o sea la anterior golpearla a manera de que al meter el dado se forme o se haga nuevamente esa forma en la cabeza, y sino, definitivamente volar la cabeza, taladrar, machuelear y ya extraer".

## Calidad

### 11. ¿Cómo sabes que una herramienta es de mejor calidad que otra?

Usuario A: "Por la marca del acero".

Usuario B: "De entrada, por las marcas, digo... ya son marcas reconocidas, marcas que se han estado utilizando. Los materiales con lo que están hechos, pero principalmente han sido las marcas".

### 12. Según su experiencia, ¿De qué material están hechas las mejores herramientas?

Usuario A: "De acero".

Usuario B: "Pues creo que nos ha funcionado mejor las que tienen la aleación, de tungsteno, molibdeno y ver en la especificación que no traiga un acero cochino".

### 13. ¿Cuál es la garantía que esperas del producto que te permita llevar a cabo la tarea de apriete y afloje de sujetadores roscados?

Usuario A: "Que sea buen material, buen acero para que no se barra la herramienta".

Usuario B: "Yo esperaría la garantía que supuestamente una Urrea da, que es de por vida, obviamente sé que cuándo se te rompe analizan de que no la hayas utilizado en una cosa que no".

### 14. ¿En qué ha fallado su herramienta?

Usuario A: "En la calidad".

Usuario B: "Fallas en que se nos han quebrado los dados, la fuerza que se tiene que aplicar y siendo con el mismo maneral, no estamos hablando de que metemos un dado a una llave de impacto, si es llave de impacto metemos dados de impacto. Las mismas llaves se truenan de la parte de en medio o se llegan a abrir, esta tan débil que se abre".

## Adquisición de herramienta

### 15. ¿Qué criterios usas cuando compras estas herramientas?

Usuario A: "Que sea la mejor, la que brinde más garantía".

Usuario B: "El primer criterio es sobre qué equipo voy a trabajar, el segundo criterio es tratando de esperar una mejor calidad en cuanto a la herramienta, evito comprar herramienta china".



16. ¿Cuál es la mejor marca y por qué?

Usuario A: "Ahorita ya hay varias, anteriormente era la Snap On".

Usuario B: "Una; por las aleaciones que trae, dos; la experiencia nos ha dado que si es buena marca, tres; la garantía que nos ofrece, a mí las que más me han servido es Urrea, Craftsman y Snap On".

17. Del 1 al 10 cuánto te importa los siguientes aspectos

Usuario A

Forma        \_\_\_ 10  
Material     \_\_\_ 10  
Peso         \_\_\_ 10  
Precio       \_\_\_ 10  
Tamaño      \_\_\_ 10  
Acabados    \_\_\_ 10  
Color        \_\_\_ 6  
Multitarea   \_\_\_ 10

Usuario B

Forma        \_\_\_ 10  
Material     \_\_\_ 10  
Peso         \_\_\_ 8  
Precio       \_\_\_ Si la calidad vale la pena no importa  
Tamaño      \_\_\_ Que sea proporcional al trabajo  
Acabados    \_\_\_ Con que no sea un factor que lastime  
Color        \_\_\_ 1  
Multitarea   \_\_\_ 10

CLIENTE / EXPERTO

Casa de herramientas truper  
Nombre: Moisés Pichardo  
Ocupación: Vendedor, caja, almacenista  
Años de experiencia: 4 Años y medio

Funcionalidad

1. ¿Qué herramientas maneja para aflojar tuercas y tornillos?

"Stillson, pinzas de presión, eso es lo más usual para aflojar tuercas y tornillos, ya la otras serían pinzas de chofer".

2. ¿Qué tipo de herramienta o técnica me recomendaría para tuercas difíciles (muy apretadas, barridas)?

“En esos casos se ocupan los stillson o los pericos, si ya están un poquito más apretadas con una llave española para que una le dé el torque y la otra la afloje”.

3. ¿Qué tipo de herramientas y técnicas me recomendaría para espacios pequeños o poco accesibles?

“En ese caso no hubiera una herramienta en específico para espacios pequeños, porque las herramientas son grandes, no hay una que se adapte al trabajo que se requiere, yo te podría dar una pequeña pero a lo mejor no puede entrar, esa también es la dificultad”.

4. ¿Tiene alguna capaz de adaptarse a diversas formas y tamaños de tuercas/tornillos?

“Hay unas que si se adaptan pero solamente vienen en juegos o vienen en piezas, pero son carísimas, son extranjeras, son un tipo de llaves pero no se bien el nombre, me parece que son llaves mixtas”.

#### Calidad

5. ¿Cómo determina que una herramienta es de mejor calidad?

“Dependiendo el uso y la aplicación que tú le des”.

6. De acuerdo a tu experiencia, ¿De qué materiales están hechas las mejores herramientas?

“El mejor material que se maneja en la CDMX, según es el acero inoxidable y el metal, es lo mejor que existe y es lo más caro”.

7. ¿Cuál cree que sea una buena garantía del producto?

“La garantía del producto es la que te proporcione el proveedor... El proveedor te dice yo te respaldo tantos años si tú me compras una máquina o una llave y tú los mandas con ellos”.

8. ¿Cuáles han sido los fallos más comunes de la herramienta que regresa por garantía?

“Detalles, calentamientos, defectos de fábrica, rompimiento en piezas por dentro, mal uso; o sea sobrecalientan las máquinas y nos las traen cuando ya vienen maltratadas por dentro, o sea el engrane o las piezas que traen las máquinas”.

9. ¿Tus proveedores te han hecho alguna advertencia sobre la manipulación de estas herramientas?

“Sí, los proveedores siempre te avisan antes cualquier uso o cualquier cosa que no se debe de hacer”.

10. ¿Has utilizado tu herramienta?

“Si, para armar anaqueles, muebles, subirnos a las escaleras”.

11. ¿Cuánto tiempo crees que les debería durar una herramienta de este tipo?

“Si es buen uso se supone que son de 3 a 5 años o un poquito más, dependiendo, si es mal uso medio año”.

#### Clientes y proveedores

12. ¿En qué se fijan los clientes al momento de comprar herramientas?

“La calidad del producto y la marca, es lo más común”.

13. En su caso, ¿Cómo decide a que proveedores comprarles herramienta?

“Una, los costos que te manejen, dos, el servicio que te proporcionen y el tiempo de entrega”.

#### Mercado

14. De las herramientas mencionadas ¿Cuál se vende más y cuál es la que se vende menos?

“Pueden ser llaves españolas, pinzas de presión, pinzas de chofer, las llaves mixtas, los stillson y los pericos”.

15. ¿Cuál cree que sea la razón de que una herramienta se venda más que otra?

“El tamaño o el uso de cómo lo apliques tú”.

16. ¿Cuál es la mejor marca?

“La mejor marca que manejo es truper, stanley, makita y Bosch”.

17. ¿Cuál es el rango de precios?

“En eso si no habría rangos”.

## CAPÍTULO IV.- REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES

### 4.1 REQUERIMIENTOS

Tabla 1 Requerimientos de la herramienta

Núm.	Requerimiento	Importancia
1	La herramienta se adapta a varios tamaños de tuercas y tornillos	1
2	La herramienta sirve para tuercas y tornillos con geometría hexagonal (externa en el caso de la cabeza de los tornillos)	1
3	La herramienta permite sacar tuercas o tornillos con geometría deformada (redondeo de las aristas)	1
4	La herramienta permite aflojar tuercas/tornillos unidas por el óxido	2
5	La herramienta puede usarse en espacios reducidos	2
6	La herramienta puede calibrarse a cierto par	2
7	El material usado en la herramienta resiste los esfuerzos generados al aflojar o apretar; no pierde su forma ni se rompe	1
8	La herramienta puede acoplarse con otras herramientas o máquinas para ejercer mayor par	2
9	La herramienta se mantiene en su posición mientras aprieta o afloja	1
10	La herramienta es multifuncional	2
11	La herramienta permite retirar tornillos capados	3
12	El acabado de la herramienta no lastima al usuario	1
13	La herramienta es ligera	2
14	La herramienta permite limpiar la superficie de la tuerca/tornillo	3
15	La herramienta ayuda a volver a generar la geometría inicial	3

A cada requerimiento se le asignó un valor de importancia de 1 a 3 donde; 1=Indispensable, 2=Deseable, 3=Fuera del alcance.

Otro punto muy importante extraído de las entrevistas es el hecho de que manufacturar un producto en china genera un prejuicio asociado con la mala calidad. Para el desarrollo del proyecto esto no afecta, ya que el alcance es la manufactura de un prototipo, pero se menciona por ser un factor determinante en el éxito de una herramienta en el mercado.

### 4.2 MATRIZ DE REQUERIMIENTOS - MÉTRICAS

“Las filas de la matriz corresponden a las necesidades del cliente, y las columnas corresponden a las métricas. Una marca en una celda de la matriz significa que la necesidad y la métrica asociada con la celda están relacionadas. Esta matriz es un elemento clave de House of Quality (Casa de calidad), técnica gráfica que se emplea en Quality Function Deployment (Despliegue de la función de calidad) o QFD” Ulrich, K. Espinger S. (2009, pág. 89).

Tabla 2 Matriz de necesidades-métricas.

MÉTRICAS	Rango de diámetro	Geometría para la interfaz con t&t*	Presión sobre las caras	Rango de par torsional	Vibración generada	Impactos sobre la superficie	Volumen equivalente	Dureza del material	Módulo de elasticidad del material	Esfuerzo de cedencia del material	Accesorios con los que puede acoplarse	Grados de desviación respecto al eje del t&t	Número de funciones disponibles	Tipo de acabados	Peso
<b>NECESIDADES</b>															
La herramienta se adapta a varios tamaños de tuercas y tornillos	*	*													
La herramienta sirve para tuercas y tornillos con geometría hexagonal (externa en el caso de la cabeza de los tornillos)		*									*				
La herramienta permita sacar tuercas o tornillos con geometría deformada (redondeo de las aristas)		*	*	*	*	*					*				
La herramienta permite aflojar tuercas/tornillos unidas por el óxido			*	*	*	*					*				
La herramienta puede usarse en espacios reducidos							*								
La herramienta puede calibrarse a cierto par			*	*											
El material usado en la herramienta resiste los esfuerzos generados al aflojar o apretar; no pierde su forma ni se rompe								*	*	*					
La herramienta puede acoplarse con otras herramientas o máquinas para ejercer mayor par											*				

... continuación de tabla 2.

	<b>MÉTRICAS</b>														
	Rango de diámetro	Geometría para la interfaz con t&t*	Presión sobre las caras	Rango de par torsional	Vibración generada	Impactos sobre la superficie	Volumen equivalente	Dureza del material	Módulo de elasticidad del material	Esfuerzo de cedencia del material	Accesorios con los que puede acoplarse	Grados de desviación respecto al eje del t&t	Número de funciones disponibles	Tipo de acabados	Peso
<b>NECESIDADES</b>															
La herramienta se mantiene en su posición mientras aprieta o afloja											*				
La herramienta es multifuncional												*			
La herramienta permite retirar tornillos capados												*			
El acabado de la herramienta no lastima al usuario													*		
La herramienta es ligera							*								*
La herramienta permite limpiar la superficie de la tuerca/tornillo					*							*			
La herramienta ayudar a volver a generar la geometría inicial												*			

\* t&t = tuerca y tonillo

### 4.3 ESPECIFICACIONES

Haciendo uso de las métricas podemos asignarles valores y definir un conjunto de especificaciones, estos parámetros serán un indicador de la satisfacción de las necesidades del cliente.

Tabla 3 Especificaciones de la herramienta.

Núm.	Requerimiento	Especificaciones
1	La herramienta se adapta a varios tamaños de tuercas y tornillos	Ø: +- 2 mm
2	La herramienta sirve para tuercas y tornillos con geometría hexagonal	Geometría hexagonal en interfaz con tuercas y tornillos
3	La herramienta permite sacar tuercas o tornillos barridos	Presión sobre las caras: 2 000 MPa Par torsional: 1 [Nm] - 100 [Nm]
4	La herramienta permite aflojar tuercas/tornillos unidas por el óxido	Par torsional: 1 [Nm] – 100 [Nm]
5	La herramienta puede usarse en espacios reducidos	Largo <40 [mm], ancho < 30 [mm], alto < 200 [mm], ángulo de giro <11 [grados]
6	La herramienta puede calibrarse a cierto par	Par torsional: 1 [Nm] - 100 [Nm]
7	El material usado en la herramienta resiste los esfuerzos generados al aflojar o apretar; no pierde su forma ni se rompe	Dureza > 50 HRc Módulo de elasticidad: 200 GPa
8	La herramienta puede acoplarse con otras herramientas o máquinas para ejercer mayor par	Neumáticas, eléctricas, llaves, y extensiones del punto de aplicación de la fuerza al eje de rotación
9	La herramienta se mantiene en su posición mientras aprieta o afloja	Máximo 2 grados de desviación del eje de la herramienta respecto al eje de la tuerca o tornillo
10	La herramienta es multifuncional	Apretar o aflojar
11	La herramienta permite retirar tornillos capados	Fuera de alcance
12	El acabado de la herramienta no lastima al usuario	Redondeos en etapa de manufactura
13	La herramienta es ligera	Peso < 400 [g]

... continuación de tabla 3.

Núm.	Requerimiento	Especificaciones
14	La herramienta permite limpiar la superficie de la tuerca/tornillo	Fura de alcance
15	La herramienta ayuda a volver a generar la geometría inicial	Fuera de alcance

Se definieron 13 especificaciones (2 quedaron fuera de alcance) que servirán de guía en el diseño de un nuevo concepto, buscando satisfacer las necesidades del usuario, dentro de lo posible. Dicha información sirve de base para la generación de alternativas de solución para los diferentes sistemas de que se compone la herramienta y poder evaluarlas, así como algunas consideraciones adicionales.



## CAPÍTULO V.- DISEÑO CONCEPTUAL

### 5.1 DEFINICIÓN DE FUNCIONES Y SISTEMAS

Con toda la información recabada hasta el momento sobre la unión desmontable tuerca-tornillo, herramientas empleadas en su manipulación y el análisis de las necesidades de clientes y usuarios, podemos definir sistemas y sus funciones; mínimas y suficientes, asociadas a nuestra herramienta, así como facilitar la elaboración de nuestro diagrama funcional.

#### SCHG: Sistema de la Colocación de la Herramienta sobre la Geometría

Funciones:

- ❖ Alinea el eje de la herramienta con el eje de la tuerca/tornillo.
- ❖ Encaja la herramienta sobre la tuerca/tornillo permitiendo la interacción entre ambos elementos.
- ❖ Rota y se desplaza; vertical y horizontalmente.
- ❖ También se encarga de desacoplar la herramienta del tornillo/tuerca una vez que el trabajo se ha realizado.

#### SSujGeo: Sistema de Sujeción de la Geometría

Funciones:

- ❖ Sujeta la cabeza del tornillo o cuerpo de la tuerca, según sea el caso, con la presión necesaria para que la herramienta no se resbale mientras se trabaja.
- ❖ Una vez que se ha realizado el trabajo suelta el elemento, para que posteriormente el SCHG desacople la herramienta.
- ❖ Permite la transmisión de par torsional de la herramienta a la tuerca o tornillo.

#### SSFun: Sistema de Selección de Función

Función:

- ❖ Este sistema es capaz de permitir la selección de la función que el usuario desea en la herramienta; girar a la izquierda o girar a la derecha.

#### SIU: Sistema de Interfaz con el Usuario

Función:

- ❖ Como su nombre lo indica este sistema permite que el usuario manipule la herramienta.

### SAC: Sistema de Accionamiento

Función:

- ❖ Controla la aplicación de par torsional.
- ❖ Desplazamiento paralelo y coincidente con el eje de rotación del elemento roscado de sujeción.

### STor: Sistema Torsionante

Funciones:

- ❖ Genera el par torsional necesario para apretar o aflojar.

## 5.2 DIAGRAMA FUNCIONAL

Como lo menciona el Dr. González L. (2017, p.16), "... es la acción de definir las funciones específicas y sus relaciones para lograr la transformación de la situación actual al estado deseado...".

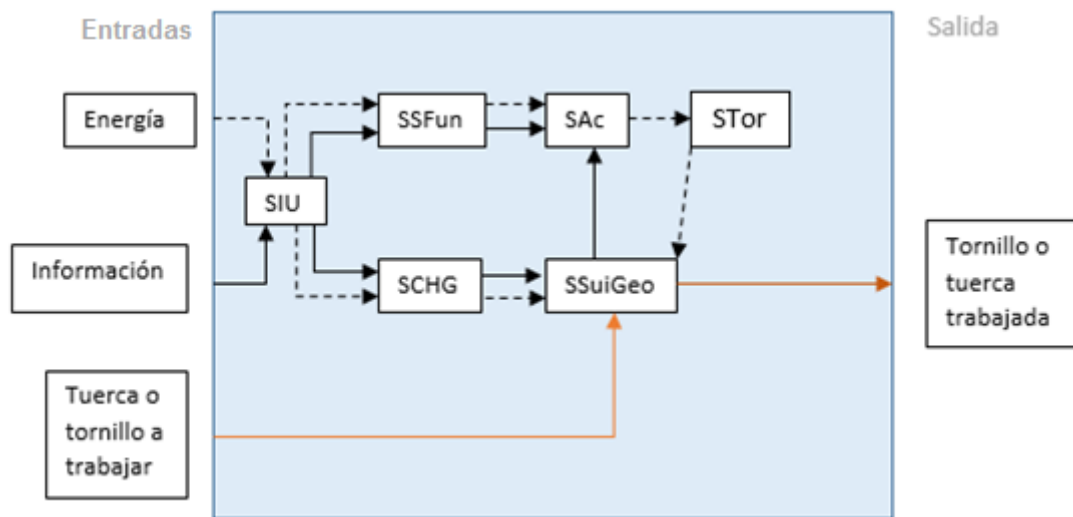


Figura 15 Diagrama funcional de la herramienta.

### Entradas (situación actual)

Energía: Mecánica o eléctrica.

Información de necesidad: Tamaño de tornillo o tuerca, estado inicial del elemento (barrido o sin deformar), posición en la que se encuentra, y si se requiere apretar o aflojar.

Tuerca o tornillo a trabajar: De geometría hexagonal que puede estar apretada (sujetando), semi apretada o lista para ser ensamblada.

### Salida (estado deseado)

Tornillo o tuerca trabajada: Apretada (sujetando), aflojada o retirada.

## 5.3 BENCHMARK

### PRODUCTOS EN OTROS MERCADOS, PERO CON FUNCIONALIDAD RELACIONADA

En este caso solo se analizó un producto debido a la gran semejanza que tiene con los sistemas y funciones requeridas, siendo de gran ayuda en la búsqueda de un concepto.

### RUEDA LIBRE

“Las ruedas libres son elementos de máquinas con unas características especiales:

- En uno de los sentidos de giro no existe una unión entre los aros interior y exterior, y la rueda libre funciona en vacío.
- En el otro sentido existe una unión entre los aros interior y exterior; la rueda libre funciona en arrastre, pudiendo transmitir un par elevado en dicho sentido.

Así, en la rueda libre representada en la fig. 16, el aro exterior puede girar libremente en el sentido de las agujas del reloj (funcionamiento en vacío) con el aro interior inmóvil. No obstante, si el aro exterior gira en dirección contraria, existe una unión entre los aros exterior e interior, arrastrando el aro interior (funcionamiento de arrastre).

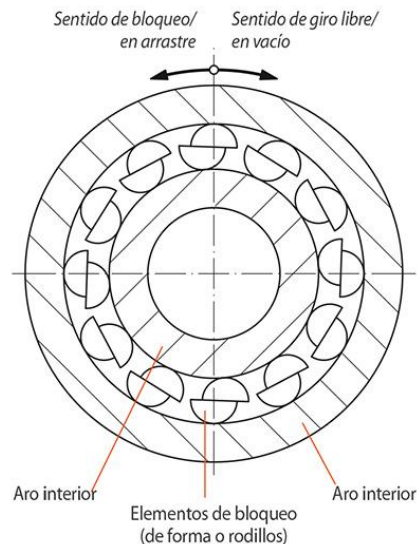


Figura 16 Diseño y funcionamiento de las ruedas libres.

Las ruedas libres se utilizan como:

- Antirretrocesos
- Embragues por adelantamiento

- Ruedas libres de avance

Las ruedas libres se componen de un aro exterior y un aro interior, entre los cuales están dispuestos los elementos de bloqueo. Los elementos de bloqueo pueden ser tanto de forma como rodillos.

Campos de aplicación:

- Cajas de cambio
- Motores eléctricos
- Motorreductores
- Cintas transportadoras inclinadas
- Elevadores
- Transportadores de cangilones
- Soplantes
- Ventiladores” [ref. 9]

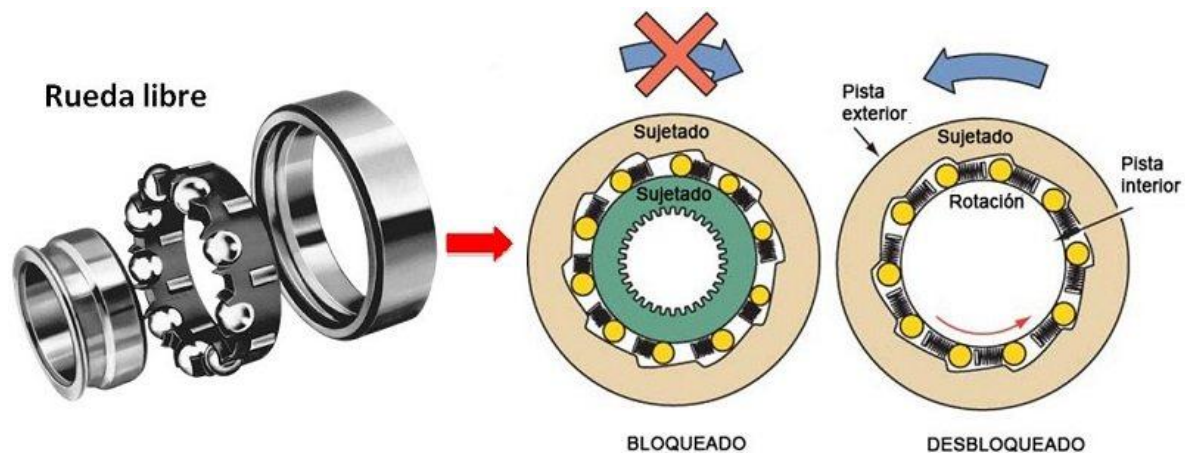


Figura 17 Rueda libre.

En este caso se analizó físicamente el funcionamiento de la rueda libre aplicada a una caja de cambios. Este elemento es capaz de transmitir un gran par torsional y se determinó que hay 4 elementos esenciales:

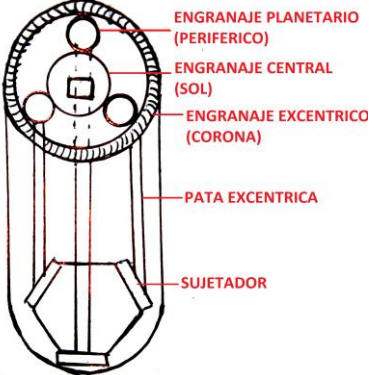
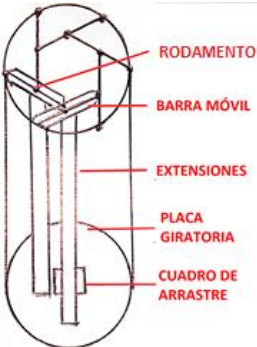
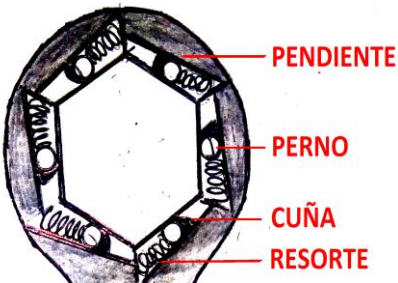
- Pista interior o aro interior
- Pista exterior o aro exterior
- Elementos de bloqueo
- Elemento para aumento de fricción (comúnmente un resorte)

El sistema de rueda libre, y su funcionamiento, guarda gran similitud con el sistema de sujeción para una tuerca o tornillo. En nuestro caso la pista interior podría ser un análogo de la cabeza del elemento de sujeción y la pista externa puede compararse con las caras de alguna llave cuando se encaja, faltando solo los elementos de bloqueo y el elemento para aumento de fricción.

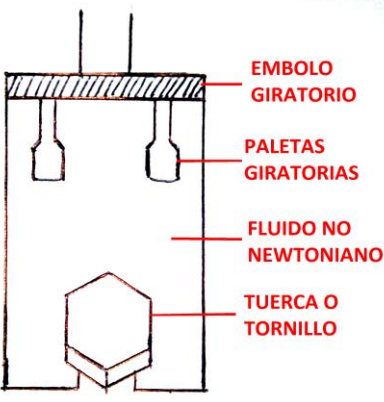
## 5.4 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN Y SU EVALUACIÓN

Dado que los objetivos de este proyecto principalmente están orientados a mejorar el sistema de sujeción de la geometría, primero se elaborarán algunas alternativas de solución para este sistema, y se evaluarán de acuerdo a ciertos criterios para seleccionar la mejor opción.

Tabla 4 Alternativas de solución para el SSujGeo.

Sistema de Sujeción de la Geometría		
<p>SSujGeo 1</p>	 <p><i>Figura 18 Presión por engranaje planetario.</i></p>	<p>Presión por engranaje planetario</p> <p>En este mecanismo las patas excéntricas de los engranes planetarios se van cerrando a medida que estos giran, siendo movidos por acción del engrane central.</p>
<p>SSujGeo 2</p>	 <p><i>Figura 19 Presión por mecanismo de barras y rodamientos.</i></p>	<p>Presión por mecanismo de barras y rodamientos</p> <p>Aquí la presión se genera mediante barras móviles que se deslizan sobre guías con ayuda de rodamientos. El movimiento se transmite del cuadrado de arrastre a una placa giratoria, y posteriormente se transmite a las barras móviles por medio de extensiones.</p>
<p>SSujGeo 3</p>	 <p><i>Figura 20 Presión por interferencia.</i></p>	<p>Presión por interferencia</p> <p>Sujeción mediante presión por pernos. Cuando la llave intenta girar el perno se atasca pues se reduce el espacio debido a la pendiente que presenta el interior de la herramienta.</p>

... continuación de tabla 4.

SSujGeo 4	 <p>EMBOLO GIRATORIO</p> <p>PALETAS GIRATORIAS</p> <p>FLUIDO NO NEWTONIANO</p> <p>TUERCA O TORNILLO</p> <p><i>Figura 21 Esfuerzo cortante por fluido no newtoniano.</i></p>	<p>Esfuerzo cortante por fluido no newtoniano</p> <p>El propósito de este sistema es aplicar una gran velocidad de deformación al fluido no newtoniano, provocando que aumente considerablemente su viscosidad y se comporte como un sólido. A su vez esto permitiría ejercer par torsional en la superficie de la tuerca o tornillo donde la velocidad es 0.</p>
-----------	--	---

Analizando el SSujGeo 4 se consideró factible generar una gran velocidad de deformación acoplándolo con otra herramienta; como una pistola de impacto. Se realizó una investigación exhaustiva sobre fluidos no newtonianos que podrían usarse y bajo la consideración de que debía soportar grandes esfuerzos cortantes se encontró un material llamado D30, utilizado actualmente en equipo de seguridad y protección, sin embargo la información con que se cuenta es limitada ya que es relativamente nuevo (empezó a comercializarse en el 2006), tampoco fue posible contactar con la empresa que lo maneja y en su página aclaran que debido al alto número de consultas no pueden responder a solicitudes de estudiantes, escuelas o universidades, así como tampoco suministrar cualquier tipo de muestra. Para más información consultar la liga 2 en la lista de recursos.



*Figura 22 Material D30*

El resto de los fluidos no newtonianos analizados se cree que no podrían ser capaces de soportar los esfuerzos generados en el SSujGeo. Situación que se refleja determinantemente en la factibilidad de esta alternativa de solución.

### Criterios de evaluación del SSujGeo

Tabla 5 Criterios de evaluación del SSujGeo.

CRITERIO	SÍMBOLO
Adaptabilidad (Tamaño y geometría)	A
Sujeción	B
Costo	C
Facilidad de uso	D
Factibilidad	E
Cantidad de elementos necesarios	F
Tamaño	G

### Comparación por pares de los criterios de evaluación del SSujGeo

Para la comparación entre criterios de diseño se tomará en cuenta la importancia relativa.

Tabla 6 Comparación por pares de los criterios de evaluación del SSujGeo.

	A	B	C	D	E	F	G	Suma	Fac.
A		1	1	1	0	1	1	5	0.24
B	0		1	1	0	1	1	4	0.19
C	0	0		0	0	1	1	2	0.10
D	0	0	1		0	1	0	2	0.10
E	1	1	1	1		1	1	6	0.29
F	0	0	0	0	0		1	1	0.05
G	0	0	0	1	0	0		1	0.05
								21	1

### Matriz de decisión del SSujGeo

En la primera columna se encuentran los criterios de diseño y en la siguiente columna su factor de peso. En las demás columnas se evalúa cada alternativa de solución para el SSujGeo, asignando una calificación del 1 al 10 en cada uno de los criterios, esta calificación es multiplicada por su factor de peso y obtenemos la puntuación de cada rubro.

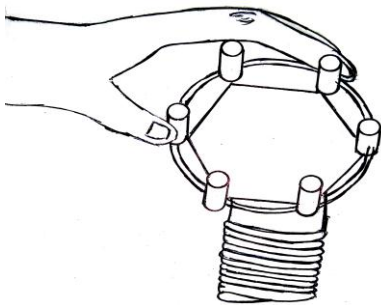
Tabla 7 Matriz de decisión del SSuGeo.

Criterio	Fac.	Diagrama 1		Diagrama 2		Diagrama 3		Diagrama 4	
		Calif.	Punt.	Calif.	Punt.	Calif.	Punt.	Calif.	Punt.
A	0.24	9	2.16	9	2.16	10	2.24	10	2.24
B	0.19	8	1.52	8	1.52	10	1.9	7	1.33
C	0.10	8	0.8	7	0.7	10	1	5	0.5
D	0.10	9	0.9	8	0.8	9	0.9	10	1
E	0.29	9	2.61	8	2.32	9	2.61	1	0.29
F	0.05	8	0.4	8	0.4	10	0.5	9	0.45
G	0.05	8	0.4	8	0.4	10	0.5	10	0.5
			8.79		8.3		9.65		6.31

Se obtuvo que el mejor sistema de sujeción de la geometría es por medio de inferencia, SSuGeo 3.

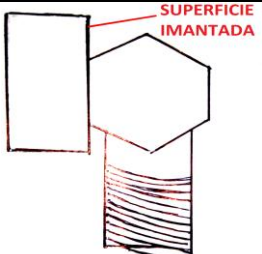
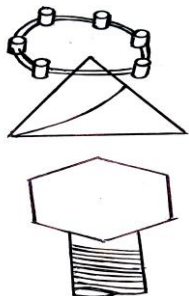
Ahora se buscarán alternativas de solución para el resto de los sistemas, que sean **compatibles** con el SSuGeo seleccionado, y se evaluará cual es la mejor configuración.

Tabla 8 Alternativas de solución para el SCHG.

Sistema de la Colocación de la Herramienta sobre la Geometría		
SCHG 1	 <p>Figura 23 Colocación manual.</p>	<p>Colocación manual</p> <p>Los pernos están unidos por un anillo flexible, el anillo se jala y los pernos se acomodan en su posición. Únicamente depende de la destreza del usuario.</p>



... continuación de tabla 8.

<p>SCHG 2</p>	 <p>Figura 24 Superficie imantada.</p>	<p>Superficie imantada</p> <p>La superficie del perno se imanta y de esta forma se coloca sobre el lugar deseado.</p>
<p>SCHG 3</p>	 <p>Figura 25 Cono de inserción.</p>	<p>Cono de inserción</p> <p>Se trata de un cono, que gracias a la variación de su diámetro facilita el guiar a los pernos hasta su posición.</p>

### Criterios de evaluación del SCHG

Tabla 9 Criterios de evaluación del SCHG.

CRITERIO	SÍMBOLO
Rapidez de inserción	A
Costo	B
Alineación con el eje de la tuerca o tornillo	C
Elementos necesarios	D

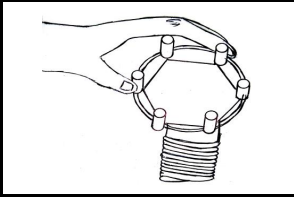
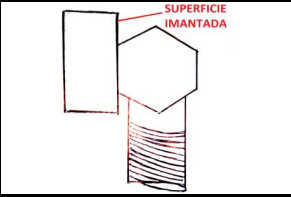
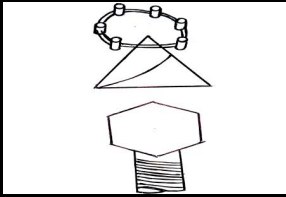
### Comparación por pares de los criterios de evaluación del SCHG

Tabla 10 Comparación por pares de los criterios de evaluación del SCHG.

	A	B	C	D	Suma	Fac.
A		1	0	1	2	0.33
B	0		0	1	1	0.17
C	1	1		1	3	0.5
D	0	0	0		0	0
					6	1

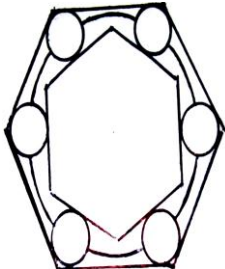
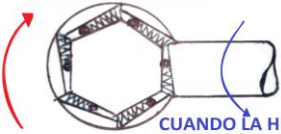
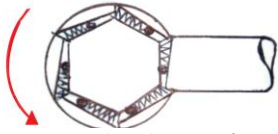
## Matriz de decisión del SCHG

Tabla 11 Matriz de decisión del SCHG.

Criterio	Fac.						
		Calif.	Punt.	Calif.	Punt.	Calif.	Punt.
A	0.33	10	3.3	10	3.3	10	3.3
B	0.17	9	1.53	10	1.7	8	1.36
C	0.5	10	5	9	4.5	9	4.5
D	0	9	0	10	0	8	0
			9.83		9.5		9.16

Mejor SCHG: Colocación manual, SCHG 1.

Tabla 12 Alternativas de solución para el SSFun.

Sistema de Selección de Función		
SSFun 1	 <p>Figura 26 Configuración bidireccional.</p>	<p>Configuración bidireccional</p> <p>Esta configuración permite girar a la herramienta en ambas direcciones ya que no tiene restricción de giro.</p>
SSFun 2	<p>SENTIDO HORARIO</p>  <p>CUANDO LA HERAMIENTA SE VOLTEA EL SENTIDO DE GIRO SE INVIERTE</p> <p>SENTIDO ANTIHORARIO</p>  <p>Figura 27 Cambio de posición en la herramienta.</p>	<p>Cambio de posición en la herramienta</p> <p>Voltear la herramienta puede invertir el sentido de giro y bloqueo.</p>

... continuación de tabla 12.

SSFun 3	<p>PERNO RESORTE PARA AUMENTAR LA FRICCIÓN SENTIDO HORARIO SENTIDO ANTIHORARIO</p> <p><i>Figura 28 Funciones separadas.</i></p>	<p>Funciones separadas</p> <p>En caso de que se requiera separar las funciones se puede colocar dos mecanismos diferentes en los extremos de una misma llave.</p>
---------	---	---

### Criterios de evaluación del SSFun

Tabla 13 Criterios de evaluación del SSFun.

CRITERIO	SÍMBOLO
Rapidez de respuesta	A
Facilidad de manejo	B
Costo	C

### Comparación por pares de los criterios de evaluación del SSFun

Tabla 14 Comparación por pares de los criterios de evaluación del SSFun.

	A	B	C	Suma	Fac.
A		0	1	1	0.33
B	1		0	1	0.33
C	0	1		1	0.33
				3	1

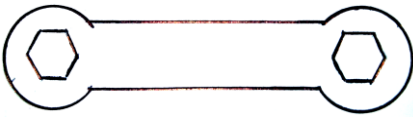

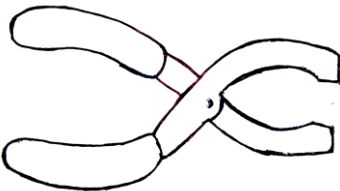
### Matriz de decisión del SSFun

Tabla 15 Matriz de decisión del SSFun.

Criterio	Fac.						
		Calif.	Punt.	Calif.	Punt.	Calif.	Punt.
A	0.33	10	3.3	9	2.97	8	2.64
B	0.33	10	3.3	10	3.3	8	2.64
C	0.33	10	3.3	9	2.97	8	2.64
			9.9		9.24		7.92

Mejor SSFun: Configuración bidireccional, SSFun 1.

Tabla 16 Alternativas de solución para el SIU.

Sistema de Interfaz con el Usuario		
SIU 1	 <p><i>Figura 29 Llave plana.</i></p>	<p>Llave plana</p> <p>El SSujGeo se acopla con una llave plana que permite su manipulación.</p>
SIU 2	 <p><i>Figura 30 Llave de vaso.</i></p>	<p>Llave de vaso</p> <p>El SSujGeo se acopla con una llave de vaso que permite su manipulación. La cual también requeriría de un maneral (no dibujado para facilitar su entendimiento).</p>
SIU 3	 <p><i>Figura 31 Pinzas.</i></p>	<p>Pinzas</p> <p>El SSujGeo se acopla con unas pinzas que permiten su manipulación.</p>

**Criterios de evaluación del SIU**

Tabla 17 Criterios de evaluación del SIU.

CRITERIO	SÍMBOLO
Tamaño	A
Ergonomía	B
Costo	C
Adaptabilidad con el SSujGeo	D
Acabado superficial	E

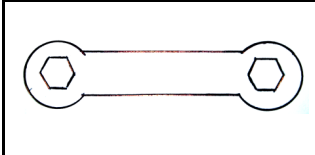
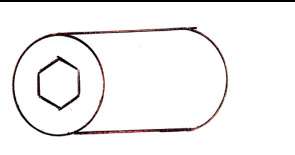
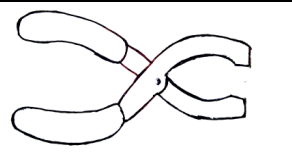
## Comparación por pares de los criterios de evaluación del SIU

Tabla 18 Comparación por pares de los criterios de evaluación del SIU.

	A	B	C	D	E	Suma	Fac.
A		0	1	0	0	1	0.1
B	1		1	0	1	3	0.3
C	0	0		0	1	1	0.1
D	1	1	1		1	4	0.4
E	1	0	0	0		1	0.1
						10	1

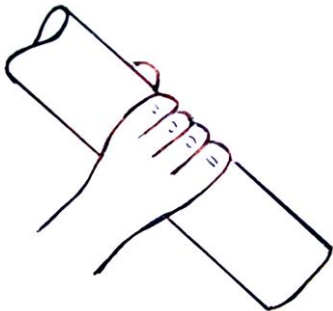
## Matriz de decisión del SIU

Tabla 19 Matriz de decisión del SIU.



Criterio	Fac.						
		Calif.	Punt.	Calif.	Punt.	Calif.	Punt.
A	0.1	9	0.9	10	1	8	0.8
B	0.3	10	3	9	2.7	8	2.4
C	0.1	10	1	9	0.9	9	0.9
D	0.4	7	2.8	10	4	5	2.0
E	0.1	10	1	10	1	10	1.0
			8.7		9.6		7.1

Mejor SIU: Llave de vaso SIU 2.

Tabla 20 Alternativas de solución para el SAC.

Sistema de Accionamiento		
SAC 1	 <p>Figura 32 Accionamiento por giro.</p>	<p>Accionamiento por giro</p> <p>El usuario acciona la herramienta por medio de aplicación de fuerza en el mango, haciendo girar la herramienta.</p>

... continuación de tabla 20.

<p>SAC 2</p>	 <p>Figura 33 Botón de accionamiento.</p>	<p>Botón de accionamiento</p> <p>Si la herramienta se acopla con una pistola de impacto el accionamiento de la misma se lleva a cabo por medio de un botón, permitiendo la aplicación de par torsional.</p>
<p>SAC 3</p>	 <p>Figura 34 Accionamiento por impacto.</p>	<p>Accionamiento por impacto</p> <p>Cuando la herramienta se acopla con un desatornillador de impacto este es accionado golpeando su parte superior, esto provoca que el resorte empuje la cabeza giratoria siguiendo la trayectoria marcada por el perno fijo.</p>

### Criterios de evaluación del SAC

Tabla 21 Criterios de evaluación del SAC.

CRITERIO	SÍMBOLO
Velocidad de respuesta	A
Facilidad de uso	B
Costo	C
Peso	D
Cantidad de elementos necesarios	E

### Comparación por pares de los criterios de evaluación del SAC

Tabla 22 Comparación por pares de los criterios de evaluación del SAC.

	A	B	C	D	E	Suma	Fac.
A		0	1	1	1	3	0.3
B	1		1	0	0	2	0.2
C	0	0		0	1	1	0.1
D	0	1	1		1	3	0.3
E	0	1	0	0		1	0.1
						10	1

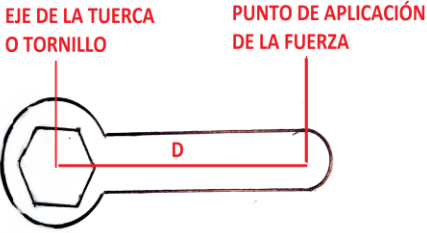
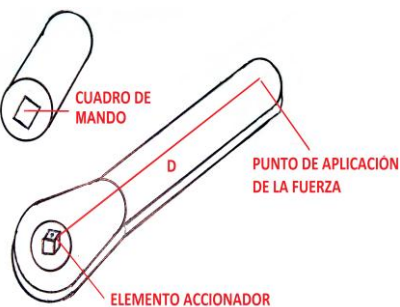
## Matriz de decisión del SAc

Tabla 23 Matriz de decisión del SAc.

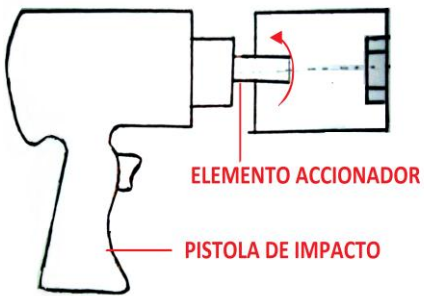
Criterio	Fac.	SAC 1		SAC 2		SAC 3	
		Calif.	Punt.	Calif.	Punt.	Calif.	Punt.
A	0.3	8	2.4	10	3	8	2.4
B	0.2	10	2	9	1.8	9	1.8
C	0.1	10	1	7	0.7	8	0.8
D	0.3	10	3	7	2.1	8	2.4
E	0.1	10	1	8	0.8	9	0.9
			9.4		8.4		8.3

Mejor SAc: Accionamiento por giro, SAc 1.

Tabla 24 Alternativas de solución para el STor.

Sistema Torsionante		
STor 1	 <p>EJE DE LA TUERCA O TORNILLO</p> <p>PUNTO DE APLICACIÓN DE LA FUERZA</p> <p>D</p> <p>Figura 35 Extensión integrada.</p>	<p>Extensión integrada</p> <p>Esta extensión es parte de la herramienta y permite aplicar el principio de palanca.</p>
STor 2	 <p>CUADRO DE MANDO</p> <p>ELEMENTO ACCIONADOR</p> <p>PUNTO DE APLICACIÓN DE LA FUERZA</p> <p>D</p> <p>Figura 36 Extensión complementaria.</p>	<p>Extensión complementaria (Manual)</p> <p>En este caso la herramienta presenta un cuadrado de mando donde se acopla una extensión y permite aplicar el principio de palanca.</p>

... continuación de tabla 24.

STor 3	 <p style="text-align: center;">ELEMENTO ACCIONADOR</p> <p style="text-align: center;">PISTOLA DE IMPACTO</p> <p style="text-align: center;"><i>Figura 37 Pistola de impacto.</i></p>	<p>Pistola de impacto</p> <p>El par torsional se genera mediante una máquina neumática o eléctrica y es transmitido a la herramienta por medio de un elemento accionador.</p>
--------	--	---

### Criterios de evaluación del STor

Tabla 25 Criterios de evaluación del STor.

CRITERIO	SÍMBOLO
Fuerza manual necesaria	A
Capacidad de par	B
Tiempo requerido	C
Compatibilidad con el SSujGeo	D
Costo	E
Tamaño	F

### Comparación por pares de los criterios de evaluación del STor

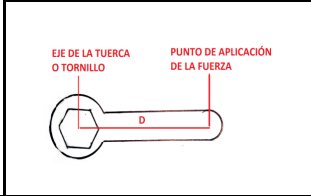
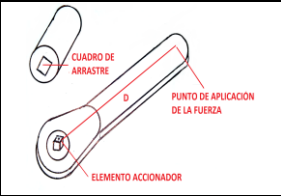
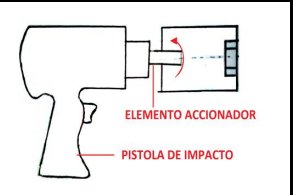
Tabla 26 Comparación por pares de los criterios de evaluación del STor.

	A	B	C	D	E	F	Suma	Fac.
A		1	1	0	1	1	4	0.26
B	0		1	0	1	1	3	0.2
C	0	0		0	1	0	1	0.07
D	1	1	1		1	1	5	0.33
E	0	0	0	0		1	1	0.07
F	0	0	1	0	0		1	0.07
							15	1



## Matriz de decisión del STor

Tabla 27 Matriz de decisión del STor.

Criterio	Fac.						
		Calif.	Punt.	Calif.	Punt.	Calif.	Punt.
A	0.26	6	1.56	8	2.08	10	2.6
B	0.2	6	1.2	9	1.8	10	2
C	0.07	8	0.56	8	0.56	10	0.7
D	0.33	8	2.64	10	3.3	6	1.98
E	0.07	10	0.7	8	0.56	6	0.42
F	0.07	10	0.7	8	0.56	6	0.42
			7.36		8.86		8.12

Mejor STor: Extensión complementaria, STor 2.

## 5.5 DISEÑO PRELIMINAR

Con los resultados obtenidos en la evaluación de las alternativas de solución por sistema se determina cuáles son las mejores opciones, y el siguiente paso es realizar un diseño preliminar para integrar las soluciones ganadoras.

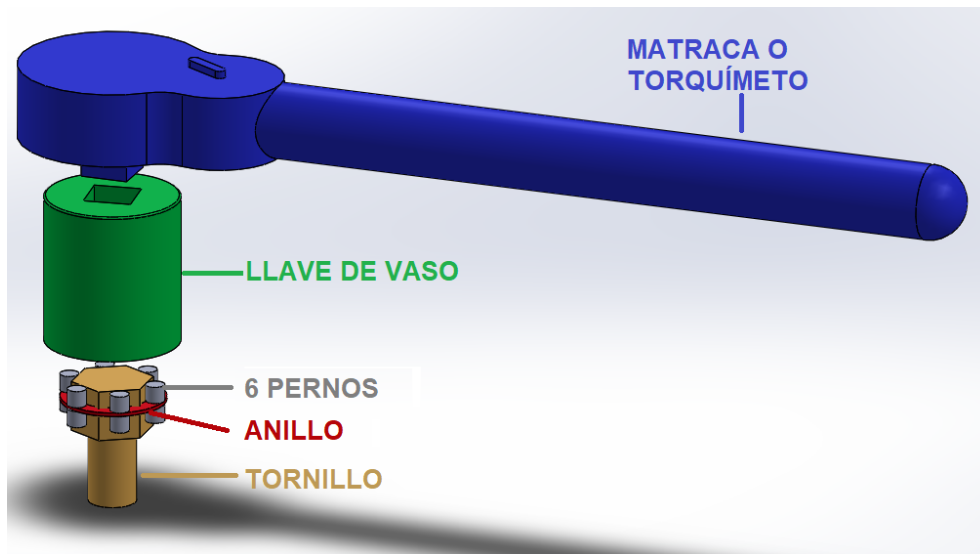


Figura 38 Posible configuración final.

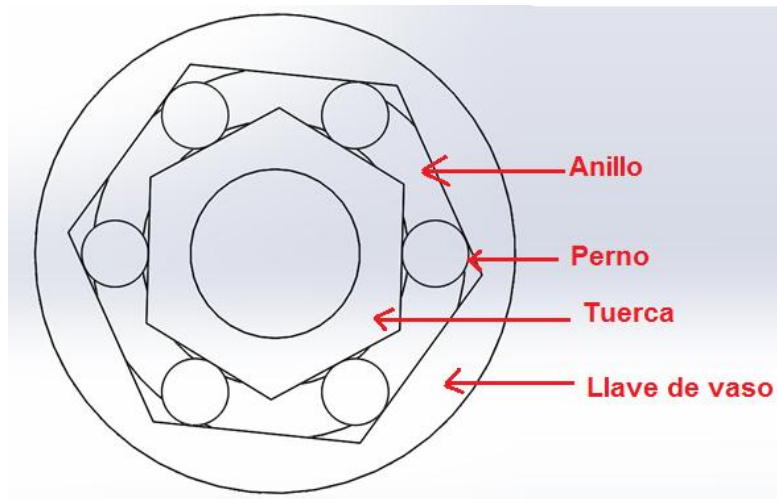


Figura 39 Vista inferior de la posible configuración final.

## CAPÍTULO VI. - DISEÑO DE DETALLE

### 6.1 ANÁLISIS DEL CONCEPTO GENERADO

#### 6.1.1 DIAGRAMA DE FUERZAS PRESENTES EN EL SISTEMA FORMADO POR LOS PERNOS.

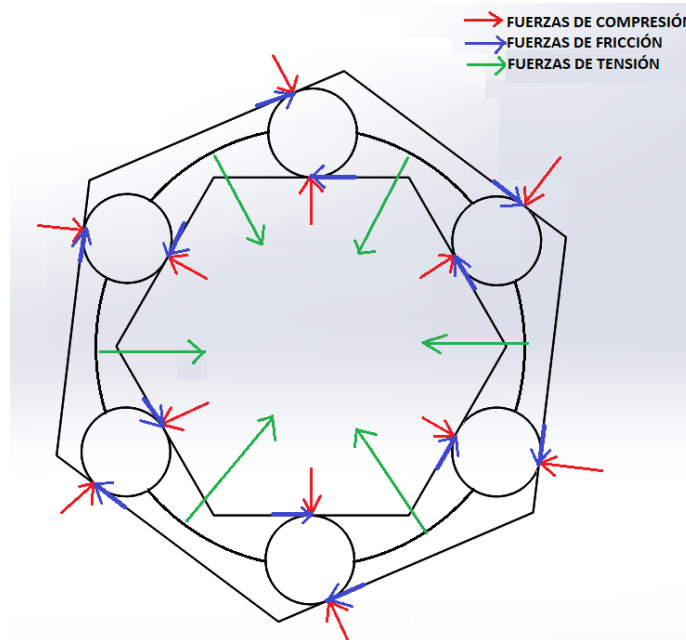


Figura 40 Diagrama de fuerzas presentes en el sistema formado por los pernos.

#### 6.1.2 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE UN PERNO

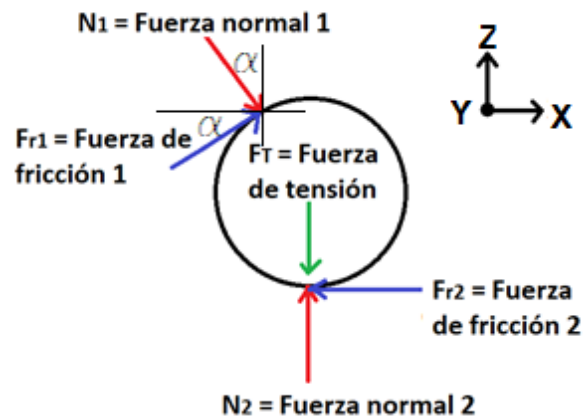


Figura 41 Diagrama de cuerpo libre de un perno.

### 6.1.3 ECUACIONES PARA EL ANÁLISIS DE LAS FUERZAS GENERADAS

Ecuaciones de equilibrio

$$\sum F_X = 0$$

$$F_{R1} \cos \alpha + N_1 \sin \alpha - F_{R2} = 0 \dots EC. (1)$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$F_{R1} \sin \alpha + N_2 - N_1 \cos \alpha - F_T = 0 \dots EC. (2)$$

Se tiene que:

$$F_{R1} = \mu_1 N_1$$

$$F_{R2} = \mu_2 N_2$$

Sustituyendo  $N_1$  por  $F_{R1}$  en la ec. 1:

$$F_{R1} \cos \alpha + \frac{F_{R1}}{\mu_1} \sin \alpha - F_{R2} = 0$$

Factorizando  $F_{R1}$ :

$$F_{R1} \left( \cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\mu_1} \right) - F_{R2} = 0$$

$$F_{R2} = F_{R1} \left( \cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\mu_1} \right)$$

Se obtiene la relación entre  $F_{R1}$  y  $F_{R2}$ :

$$F_{R2} = F_{R1} \left( \frac{\mu_1 \cos \alpha + \sin \alpha}{\mu_1} \right) \dots EC (3)$$

Sustituyendo  $N_1$  y  $N_2$  por  $F_{R1}$  y  $F_{R2}$  en la ec. 2 se tiene:

$$F_{R1} \sin \alpha + \frac{F_{R2}}{\mu_2} - \frac{F_{R1}}{\mu_1} \cos \alpha - F_T = 0$$

$F_T$  es constante y se considera despreciable en comparación con el resto de las fuerzas por lo que se suprime de la ecuación:

$$F_{R1} \sin \alpha + \frac{F_{R2}}{\mu_2} - \frac{F_{R1}}{\mu_1} \cos \alpha = 0$$

Factorizando  $\mu_2$  se obtiene:

$$F_{R1} \left( \sin \alpha - \frac{\cos \alpha}{\mu_1} \right) + \frac{F_{R2}}{\mu_2} = 0$$

$$\frac{F_{R2}}{\mu_2} = F_{R1} \left( \frac{\cos \alpha}{\mu_1} - \sin \alpha \right)$$

$$\frac{F_{R2}}{\mu_2} = F_{R1} \left( \frac{\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha}{\mu_1} \right)$$

$$\mu_2 = \frac{F_{R2}}{F_{R1}} \left( \frac{\mu_1}{\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha} \right) \dots EC. (4)$$

A partir de la ecuación 4 se puede obtener el coeficiente de fricción para determinado ángulo al que se trabaje.

Se sabe que  $\mu_{max}=1$  por lo tanto:

$$1 = \frac{F_{R2}}{F_{R1}} \left( \frac{\mu_1}{\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha} \right)$$

$$F_{R2Max} = F_{R1} \left( \frac{\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha}{\mu_1} \right) \dots EC. (5)$$

Igualando las ecuaciones 3 y 5 tenemos:

$$F_{R1} \left( \frac{\mu_1 \cos \alpha + \sin \alpha}{\mu_1} \right) = F_{R1} \left( \frac{\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha}{\mu_1} \right)$$

$$\mu_1 \cos \alpha + \sin \alpha = \cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha$$

$$\sin \alpha + \mu_1 \sin \alpha = \cos \alpha - \mu_1 \cos \alpha$$

$$\sin \alpha (1 + \mu_1) = \cos \alpha (1 - \mu_1)$$

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{(1 - \mu_1)}{(1 + \mu_1)}$$

$$\tan \alpha = \frac{(1 - \mu_1)}{(1 + \mu_1)}$$

$$\tan^{-1} \alpha = \frac{(1 - \mu_1)}{(1 + \mu_1)} \dots EC. (6)$$

Con las ecuaciones 4 se podrá determinar el coeficiente de fricción  $\mu_2$  necesario entre el perno y la tuerca o tornillo para que la herramienta no deslice, y con la ec. 6 el ángulo máximo  $\alpha$  en el que se podría operar para poder garantizar la transmisión de par torsional.

Primero es necesario calcular la fuerza normal  $N_1$  que es capaz de soportar un perno, la fuerza de fricción  $F_{R1}$  y por consiguiente el par máximo que se podría ejercer bajo ciertas condiciones y características, determinadas por las ecuaciones antes mencionadas.

## **6.2 TEORÍA PARA EL CÁLCULO DE LA FUERZA NORMAL $N_1$**

### **6.2.1 COMPARACIÓN CON COJINETES**

Debido a la similitud que existe, de elementos y cargas generadas, con los cojinetes con contacto de rodadura, el concepto generado se analizará teóricamente usando los mismos principios que se ocupan para estos productos, específicamente para los rodamientos de rodillos cilíndricos. De esta forma se podrá determinar cuál es el máximo par que puede llegar a soportar nuestro diseño y algunas especificaciones para su manufactura.

“El tipo más común de cojinete soporta un eje rotatorio, y resiste cargas puramente radiales o una combinación de cargas radiales y axiales (de empuje).

Los componentes de un cojinete con contacto de rodadura típico son la pista interior, la pista exterior y los elementos rodantes... La trayectoria de la carga es: del eje, a la pista interior, a las bolas, a la pista exterior y, por último, a la caja...

Las cargas radiales actúan hacia el centro del cojinete, a lo largo de un radio. Estas cargas son comunes a las que causan los elementos de transmisión de potencia, como los engranes rectos, las poleas para bandas V y las transmisiones por cadena, en los ejes. Las cargas de empuje son aquellas que actúan paralelas a la línea central del eje...” (Mott, 2006, pp. 598-600).

“Rodamientos de rodillos cilíndricos

El patrón de contacto entre un rodillo y su pista es, teóricamente, y se convierte en una forma rectangular a medida que los miembros se deforman bajo la carga. Los valores resultantes del esfuerzo de contacto son menores que en rodamientos de bolas de igual tamaño, lo cual permite que los rodamientos más pequeños puedan soportar determinada carga.” (Mott, 2006, p. 602).

“Materiales de los rodamientos

La carga con sobre un cojinete con contacto de rodadura se ejerce sobre un área pequeña. Los esfuerzos de contacto son bastante grandes, independientemente del tipo de rodamiento. No son raros los esfuerzos de contacto de 300 000 psi, aproximadamente, en los rodamientos comerciales. Para resistir estos esfuerzos, tan altos, las bolas, rodillos y pistas son fabricados con acero o cerámica muy duros, de alta resistencia... el material que más se usa es AISI 52100, el cual tiene un contenido de carbono muy alto, de 0.95 a 1.10%, junto con 1.30 a 1.60% de cromo...” (Mott, 2006, p. 606).

## 6.2.2 EXTRACTO DE LA NORMA INTERNACIONAL ISO 76: 2006 RODAMIENTOS - CLASIFICACIONES DE CARGA ESTÁTICA. Ref. [7]

### 1 Introducción

Las deformaciones permanentes aparecen en elementos rodantes y pistas de rodadura de rodamientos bajo cargas estáticas de magnitud moderada y aumentan gradualmente a medida que aumenta la carga.

A menudo no es práctico establecer si las deformaciones que aparecen en un rodamiento en una aplicación específica son admisibles probando el rodamiento en esa aplicación. Por lo tanto, se requieren otros métodos para establecer la idoneidad del rodamiento seleccionado.

La experiencia muestra que una deformación total permanente de 0,000 1 del diámetro del elemento rodante, en el centro del contacto del elemento rodante / pista de rodadura con mayor carga, se puede tolerar en la mayoría de las aplicaciones de rodamientos sin que se deteriore la operación subsiguiente del rodamiento. La capacidad de carga estática básica, por lo tanto, tiene una magnitud tal que, aproximadamente, esta deformación ocurre cuando la carga estática equivalente es igual a la capacidad de carga.

Las pruebas en diferentes países indican que una carga de la magnitud en cuestión puede considerarse que corresponde a una tensión de contacto calculada de:

- 4 600 MPa para rodamientos de bolas autoalineables,
- 4 200 MPa para todos los demás rodamientos de bolas, y
- 4 000 MPa para todos los rodamientos de rodillos,

En el centro del contacto rodante del elemento rodante más cargado.

**Las ecuaciones y los factores para el cálculo de las clasificaciones de carga estática básica se basan en estas tensiones de contacto.**

La carga estática equivalente permitida podría ser menor, igual o mayor que la capacidad de carga estática básica, dependiendo de los requisitos de suavidad de operación y fricción, así como de la geometría real de la superficie de contacto.

### 2 Alcance

Esta Norma Internacional especifica métodos para calcular la capacidad de carga estática básica y la carga estática equivalente para los rodamientos dentro de los rangos de tamaño que se muestran en las normas ISO relevantes, fabricados con acero para cojinetes endurecido contemporáneo, comúnmente usado, de alta calidad, de acuerdo con las buenas prácticas de fabricación, y básicamente de diseño convencional en cuanto a la forma de las superficies de contacto rodantes...

### 3 Términos y definiciones

Para los fines de este documento, se aplican los términos y definiciones que figuran en ISO 5593 y son los siguientes.

3.1 Carga estática: Carga que actúa sobre un rodamiento cuando la velocidad de rotación de sus anillos o arandelas entre sí es cero.

3.2 Capacidad de carga radial estática básica: Carga radial que corresponde a una tensión de contacto, calculada en el centro del contacto del elemento rodante así como en el contacto de la pista de rodadura, con carga de:

- 4 600 MPa para rodamientos de bolas autoalineables,
- 4 200 MPa para todos los demás tipos de rodamientos de bolas radiales, y
- 4 000 MPa para todos los rodamientos de rodillos radiales.

...

Nota 1: Para estas tensiones de contacto, bajo carga estática, se produce una deformación permanente total del elemento rodante y la pista de rodadura, que es aproximadamente 0,000 1 del diámetro del elemento rodante.

3.3 Capacidad de carga axial estática básica: Carga axial centrada estática que corresponde a una tensión de contacto calculada, en el centro del contacto rodante así como en el contacto de la pista de rodadura, con carga de:

- 4 200 MPa para rodamientos axiales de bolas, y
- 4 000 MPa para todos los rodamientos de rodillos de empuje

Nota 2: Para estas tensiones de contacto, bajo carga estática, se produce una deformación permanente total del elemento rodante y la pista de rodadura, que es aproximadamente 0,000 1 del diámetro del elemento rodante.

3.4 Carga radial equivalente estática: Carga radial estática que causaría la misma tensión de contacto, en el centro del contacto del elemento rodante así como en la pista de rodadura, con mayor carga que la que se produce en las condiciones de carga reales.

3.5 Carga axial equivalente estática: Carga axial centrada estática que causaría la misma tensión de contacto, en el centro del contacto del elemento rodante así como en la pista de rodadura, con mayor carga que la que se produce en las condiciones de carga reales.



### 6.2.3 ESFUERZOS DE CONTACTO

Cabe destacar que cuando dos superficies de diferentes curvaturas se oprimen entre sí, el área de contacto suele ser muy pequeña lo que conlleva a esfuerzos muy grandes en esas zonas.

De acuerdo a Norton R. (2011, pg. 366-367)

“ Un rodillo contra una superficie cilíndrica o plana teóricamente hace contacto a lo largo de una línea de ancho igual a cero. Como el área de contacto teórico es cero, cualquier fuerza aplicada creará entonces un esfuerzo infinito. Pero se sabe que esto no puede ser verdad, ya que los materiales fallarían instantáneamente. De hecho, los materiales deben flexionarse para tener suficiente área de contacto para soportar la carga de algún esfuerzo finito. Esta flexión crea una distribución semielipsoidal de la presión sobre la huella de contacto... Las esferas tienen una huella de contacto circular y los cilindros crean una huella de contacto rectangular.

...Los esfuerzos resultantes en la huella de contacto se llaman esfuerzos de contacto o esfuerzos hertzianos... ”

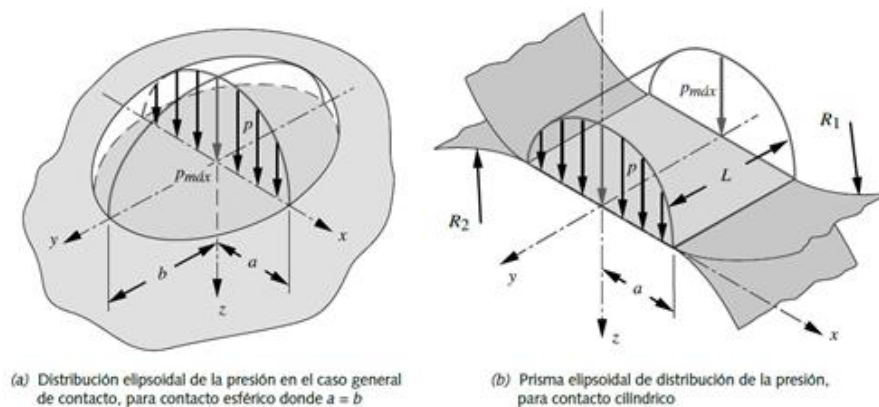


Figura 42 Distribución de la presión y zonas de contacto en los contactos esférico y casos generales hertzianos.

“ ... La deducción de las ecuaciones para estos casos se encuentra entre los conjuntos de ejemplos más complejos en la teoría de elasticidad. En 1881, Hertz dedujo por primera vez las ecuaciones para área de contacto, deformación, distribución de la presión y esfuerzo de contacto sobre la línea central de dos cuerpos con carga estática...

### CONTACTO CILÍNDRICO

El contacto cilíndrico es común en maquinaria. Los rodillos de contacto se utilizan con frecuencia para jalar material, como papel a través de la maquinaria, o para cambiar el espesor de un material en los procesos de rodamiento o calandrado. Los cojinetes de rodillos tienen otra aplicación. Ambos cilindros pueden ser convexos, uno convexo y uno cóncavo (cilindro en canal), o en el límite, un cilindro sobre un plano. En todos estos

contactos, existe la posibilidad de deslizamiento, así como de rodamiento en el punto de contacto...

#### Presión de contacto y huella de contacto en el contacto cilíndrico paralelo

Cuando dos cilindros ruedan juntos, su huella de contacto es rectangular, como se presenta en la figura 42 (b). La distribución de la presión es un prisma semielíptico de la mitad del ancho  $a$ ... La presión por contacto es máxima  $P_{máx}$  en el centro y cero en los bordes... La carga aplicada  $F$  sobre la huella de contacto es igual al volumen de la mitad del prisma:

$$F = \frac{1}{2} \pi a L P_{max} \dots EC (7)$$

Donde  $F$  es la carga total aplicada y  $L$  es la longitud de contacto a lo largo del eje del cilindro. Esto se despeja para la presión máxima:

$$P_{max} = \frac{2F}{\pi a L} \dots EC (8)$$

Ahora se define la constante de la geométrica cilíndrica que depende de los radios  $R_1$  y  $R_2$  de los dos cilindros

$$B = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \dots EC. (9)$$

Para tomar en cuenta el caso de un cilindro sobre un plano,  $R_2$  se convierte en infinito, haciendo  $1/R_2$  igual a cero... La mitad del ancho  $a$  de la huella de contacto se obtiene entonces de:

$$a = \sqrt{\frac{2}{\pi} * \frac{m_1 + m_2}{B} \frac{F}{L}} \dots EC. (10)$$

Donde  $m_1$  y  $m_2$  son constantes del material y se calculan como:

$$m = \frac{1 - v_1^2}{E_1} \dots EC (11)$$

#### Distribuciones de esfuerzo estático en el contacto cilíndrico paralelo

**El análisis de esfuerzo hertziano es para cargas estáticas**, pero también se aplica al contacto por rodamiento puro... Los esfuerzos normales son todos de compresión y máximos en la superficie. Los esfuerzos disminuyen rápidamente con la profundidad del material y también disminuyen lejos de la línea central...

En la superficie sobre la línea central, los esfuerzos normales aplicados máximos son:

$$\sigma_x = \sigma_z = -p_{max} \dots EC(12)$$

$$\sigma_y = -2\nu p_{max} \dots EC (13)$$

”

Norton R. (2011, pg. 368-376)

### 6.3 SELECCIÓN DE MATERIALES

Previo a efectuar los cálculos es necesario definir; materiales y sus propiedades, para los elementos que se están analizando y/o posteriormente serán manufacturados.

#### PERNO

Al igual que la llave de vaso, el perno se fabricara de una aleación de acero cromo-vanadio por las siguientes razones:

- 1.- Es un acero con alto contenido de carbono por lo que puede obtenerse mayor dureza por medio de tratamientos térmicos.
- 2.- Esta aleación tiene buena templabilidad. Como lo menciona Groover, M. (2007, p. 652), "La templabilidad es una propiedad que determina la profundidad por debajo de la superficie enfriada por inmersión a la cual el acero se endurece o la severidad de la inmersión requerida para lograr una cierta penetración de la dureza... La templabilidad no se refiere a la máxima dureza que se puede lograr en el acero; eso depende del contenido de carbono".
- 3.- "El cromo (Cr) mejora la resistencia, dureza, resistencia al desgaste y dureza en caliente. Es uno de los ingredientes de aleación más eficaces para incrementar la templabilidad. En proporciones significativas, el Cr mejora la resistencia a la corrosión". Groover, M. (2007, p. 105).
- 4.- "El vanadio (V) inhibe el crecimiento de granos durante el procesamiento a temperaturas elevadas, lo cual mejora la resistencia y tenacidad del acero. También forma carburos que incrementan la resistencia al desgaste." Groover, M. (2007, p. 106).
- 5.- Módulo de elasticidad = 200 GPA.

Cabe destacar que la composición química de la aleación varia ligeramente dependiendo del fabricante, en este caso se utilizara la aleación ASTM A-320, también denominada AISI 6150 o SAE 6150.

#### ACERO DE ALEACIÓN ASTM A-232 (AISI 6150 / SAE 6150)

#### Composición química

Tabla 28 Composición química de la aleación ASTM A-232. Recuperada de: [http://gost-snip.su/download/astm\\_a\\_232\\_a\\_232m\\_05\\_standard\\_specification\\_for\\_chromiumvana](http://gost-snip.su/download/astm_a_232_a_232m_05_standard_specification_for_chromiumvana)

	Analysis, %	Product Analysis Tolerance, %
Carbon	0.48–0.53	±0.02
Manganese	0.70–0.90	±0.03
Phosphorus	0.020 max	+0.005
Sulfur	0.035 max	+0.005
Silicon	0.15–0.35	±0.02
Chromium	0.80–1.10	±0.05
Vanadium	0.15 min	–0.01

Dado que el perno y la llave estarán hechos del mismo material, tendrán la misma dureza y propiedades, evitando su indentación y posterior daño.

## ANILLO

Para el anillo se empleará látex por las siguientes razones:

- 1.- Excelente resistencia mecánica al desgarrar. Esta propiedad resulta sumamente importante ya que al insertar los pernos y estirar el anillo el material debe resistir los esfuerzos sin romperse.
- 2.- Resistencia mecánica a la tracción = 22 – 32 MPa.
- 3.- Alargamiento bajo tracción: 500 – 760 % a  $T_{amb}$ .

## 6.4 CÁLCULOS

Debido a que uno de los propósitos de la herramienta es trabajar con elementos de sujeción deformados en su geometría y pueden estar hechos de muchos tipos de materiales dependiendo su uso y grado, los cálculos se limitarán a las herramientas empleadas; garantizando que serán capaces de soportar los esfuerzos generados y cumplirán con su función.

### 6.4.1 FUERZA NORMAL MÁXIMA ENTRE EL PERNO Y UNA LLAVE DE VASO

Para este análisis se considera el perno como un cilindro con un radio de 2.5 mm y una longitud de contacto de 7 mm, el cual es sometido a un esfuerzo de contacto de 4000 MPa de acuerdo a la norma ISO 76:2006 para rodamientos de rodillos. Determinando el ancho "a" de la huella de contacto y por consiguiente las fuerzas, así como el par que podría llegar a generarse en una tuerca de  $\frac{1}{2}$ " con 19 mm de distancia entre caras, una tuerca de  $\frac{9}{16}$ " con 22.23 mm de distancia entre caras y una tuerca de  $\frac{3}{4}$ " con 27.5 mm de distancia entre caras.

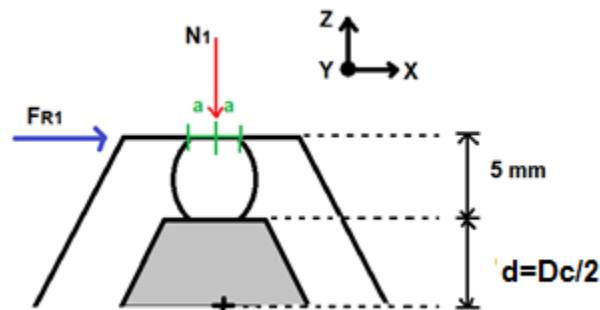


Figura 43 Diagrama de fuerzas entre la llave de vaso y el perno.

Tabla 29 Datos de los elementos para cálculo del esfuerzo de contacto máximo en un perno.

DATOS	VALOR
Razón de poisson para la llave y el perno	$\nu = 0.29$
Módulo de Young de la llave y el perno	$E = 200 \text{ GPa}$
Esfuerzo de contacto máximo	$\sigma_{z\text{max}} = -4000 \text{ MPa}$
Radio del perno	$R = 2.5 \text{ mm}$
Largo del perno	$L = 7 \text{ mm}$
Distancia entre caras de las tuercas	$D_c = 19, 22.23 \text{ y } 27.5 \text{ mm}$

### SUPOSICIONES

- Se trata de una carga estática
- Nuestro sistema se comporta como un rodamiento de rodillo
- Coeficiente de fricción entre dos piezas de acero cromo-vanadio de 0.5

De la ec. 11 se obtiene:

$$m_1 = m_2 = \frac{1 - 0.29^2}{200 * 10^9} = 4.58 * 10^{-12} \left[ \frac{1}{Pa} \right]$$

De la ec. 9 se obtiene:

$$B = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2.5 * 10^{-3}} \right) = 200 \left[ \frac{1}{m} \right]$$

De la ec. 8 se despeja  $F$ :

$$P_{max} = \frac{2F}{\pi a L}$$

$$F = \frac{P_{max} \pi a L}{2} \dots EC (14)$$

$F$  se sustituye en la ec. 10:

$$a = \sqrt{\frac{2 m_1 + m_2}{\pi} \frac{F}{B} \frac{F}{L}} = \sqrt{\frac{2 m_1 + m_2}{\pi} \frac{P_{max} \pi a L}{B} \frac{P_{max} \pi a L}{2L}} = \sqrt{\frac{(m_1 + m_2) P_{max} a}{B}}$$

$$a^2 = \frac{(m_1 + m_2) P_{max} a}{B}$$

$$a = \frac{(m_1 + m_2) P_{max}}{B} \dots EC. (15)$$

De la ec. 12 tenemos que:

$$\sigma_{zmax} = -4000 \text{ MPa}$$

$$P_{max} = -\sigma_{zmax} = 4000 \text{ MPa}$$

Sustituyendo valores en la ec. (15)

$$a = \frac{(4.58 * 10^{-12} + 4.58 * 10^{-12}) * 4000 * 10^6}{200} = 183.2 * 10^{-6} [m]$$

Sustituyendo en la ec. 14

$$F = N_{1max} = \frac{4000 * 10^6 * \pi * 183.2 * 10^{-6} * 7 * 10^{-3}}{2} = 8057.6 [N]$$

Esta fuerza  $N_{1max}$  será la misma para cada caso de aplicación, puesto que solo depende de la llave de vaso y perno, y es la máxima fuerza perpendicular a su superficie que pueden soportar independientemente de otras variables del sistema como pueden ser; distancia del centro al punto de aplicación y coeficiente de fricción.

Fuerza de fricción con la llave de vaso suponiendo  $\mu=0.5$

$$F_{R1} = 8057.6 * 0.5 = 4028.8 [N]$$

Par torsional

$$\tau = F_{R1} * d \dots EC. (16)$$

Donde d es la distancia del centro al punto de aplicación de la fuerza.

TUERCA DE 1/2"

En el caso de la tuerca de 1/2" se tiene que la distancia  $d=14.5*10^{-3}$

$$\tau = 4028.8 * 14.5 * 10^{-3}$$

$$\tau = 58.42 [N * m] \text{ por perno}$$

El par total máximo que se puede obtener de los 6 pernos es:

$$\tau_{total \text{ máximo}} = 58.42 * 6 = 350.52 [N * m] \text{ para la tuerca de } 1/2 "$$

TUERCA DE  $\frac{9}{16}$ "

Distancia  $d=11.12$

$$\tau = 4028.8 * 16.12 * 10^{-3}$$

$$\tau = 64.9 [N * m] \text{ por perno}$$

El par total máximo que se puede obtener de los 6 pernos es:

$$\tau_{total \text{ máximo}} = 64.94 * 6 = 389.66 [N * m] \text{ para la tuerca de } \frac{9}{16} "$$

TUERCA DE  $\frac{3}{4}$ "

Distancia  $d=18.75$

$$\tau = 4028.8 * 18.75 * 10^{-3}$$

$$\tau = 75.43 [N * m] \text{ por perno}$$

El par total máximo que se puede obtener de los 6 pernos es:

$$\tau_{total \text{ máximo}} = 75.43 * 6 = 452.57 [N * m] \text{ para la tuerca de } \frac{3}{4}$$

#### 6.4.2 CÁLCULO DEL ÁNGULO MÁXIMO POSIBLE, COEFICIENTE DE FRICCIÓN NECESARIO Y FUERZAS GENERADAS PARA UN PROTOTIPO

Ahora es posible realizar los cálculos necesarios para nuestro prototipo.

Tabla 30 Datos de los elementos para cálculos en prototipo.

$R_{perno}$	2.5 mm
$L_{perno}$	7 mm
Material	Acero AISI 6150
$N_{1max}$	8057.6 [N]
$\mu_1$	0.5
$F_{R1max}$	4028.8 [N]
$\tau_{máximo}$ por perno	58.42 [N*m]
$\tau_{total \text{ máximo}}$	350.52 [N*m] para la tuerca de $\frac{1}{2}$ " 453.24 [N*m] para la tuerca de $\frac{3}{4}$ "
Distancia entre caras de las tuercas	19, 22.23 y 27.5 [mm]

Usando un factor de seguridad de 3 para las fuerzas se tiene:

$$F_{R1} = 1342.83 [N]$$

TUERCA DE  $\frac{1}{2}$ "

$$\tau_{máximo} \text{ por perno} = 1342.83 * 14.5 * 10^{-3} = 19.47 [N * m]$$

$$\tau_{total\ máximo} = 19.47 * 6 = 116.84 \text{ [N * m]}$$

TUERCA DE  $\frac{9}{16}$ "

$$\tau_{m\acute{a}ximo} \text{ por perno} = 1342.83 * 16.12 * 10^{-3} = 21.65 \text{ [N * m]}$$

$$\tau_{total\ m\acute{a}ximo} = 21.65 * 6 = 129.9 \text{ [N * m]}$$

TUERCA DE  $\frac{3}{4}$ "

$$\tau_{m\acute{a}ximo} \text{ por perno} = 1342.83 * 18.75 * 10^{-3} = 25.18 \text{ [N * m]}$$

$$\tau_{total\ m\acute{a}ximo} = 25.18 * 6 = 151.07 \text{ [N * m]}$$

$$F_{R2} = 1342.83 \left( \frac{0.5 \cos 18^0 + \sin 18^0}{0.5} \right) = 2107.02 \text{ [N]}$$

Según la ecuación 6 el máximo ángulo operable con  $\mu_1=0.5$  es:

$$\alpha_{m\acute{a}x} = \tan^{-1} \left( \frac{1 - 0.5}{1 + 0.5} \right) = 18.43^\circ \approx 18^\circ$$

Si la herramienta se opera al máximo ángulo posible:

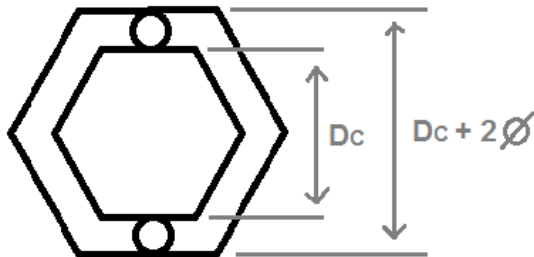
$$\mu_2 = \frac{2107.02}{1342.83} \left( \frac{0.5}{\cos 18^0 - 0.5 \sin 18^0} \right) = 0.9$$



### 6.4.3 LLAVES DE VASO COMPATIBLES

Por medio de relaciones geométricas se obtendrán los tamaños, máximo y mínimo, de las llaves de vaso que se pueden emplear para diferentes medidas de tuercas y tornillo, facilitando el empleo del convertidor al público en general.

#### MÁXIMO TAMAÑO DE LA LLAVE DE VASO



$$\text{Máximo} < D_C + 2 \phi_{\text{Perno}}$$

Figura 44 Llave de vaso de mayor tamaño.

Donde;  $D_C$  es distancia entre caras en la tuerca o tornillo.

#### MÍNIMO TAMAÑO DE LA LLAVE DE VASO

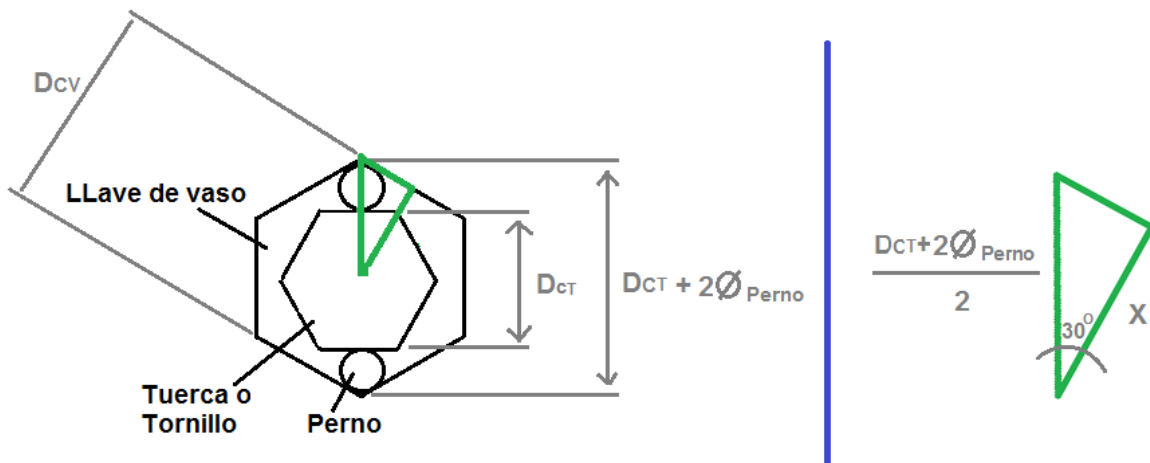


Figura 45 Llave de vaso de menor tamaño.

Donde;  $D_{CT}$  es distancia entre caras en la tuerca o tornillo.  $D_{CV}$  es la distancia entre caras de la llave de vaso.

$$\cos 30^{\circ} = \frac{X}{\frac{D_C + 2\phi_{\text{Perno}}}{2}} = \frac{2X}{D_C + 2\phi_{\text{Perno}}}$$

$$X = \frac{D_C + 2\phi_{\text{Perno}}}{2} * \cos 30^{\circ} \approx \frac{\text{Máximo}}{2} * \cos 30^{\circ} \approx \frac{\text{Máximo}}{2} * 0.87$$

$$D_{CV} = 2 * X \approx 2 * \frac{\text{Máximo}}{2} * 0.87$$

$$D_{CV} = \text{Máximo} * 0.87$$

$$\text{Mínimo} > \text{Máximo} * 0.87$$

Las tablas 31 a 34 contienen una sugerencia de tuercas, tornillos y llaves de vaso a emplear con el convertidor. Se planea anexarlas junto con la herramienta a fin de facilitar su uso.

Tabla 31 Tornillos en pulgadas y llaves compatibles

TORNILLOS EN SISTEMA ANGLOSAJÓN		
Diámetro [in]	Tamaño de llave de vaso sugerido [mm]	Tamaño de llave de vaso sugerido [in]
1/2 "	Mín.: 26 Máx.: 29	Mín.: 1" Máx.: 1 1/8"
9/16 "	Mín.: 27 Máx.: 30	Mín.: 1 1/16" Máx.: 1 3/16"
5/8 "	Mín.: 30 Máx.: 33	Mín.: 1 3/16" Máx.: 1 5/16"
3/4 "	Mín.: 34 Máx.: 38	Mín.: 1 3/8" Máx.: 1 1/2"
7/8 "	Mín.: 38 Máx.: 43	Mín.: 1 1/2" Máx.: 1 11/16"

Tabla 32 Tuercas en pulgadas y llaves compatibles

TUERCAS EN SISTEMA ANGLOSAJÓN		
Diámetro [in]	Tamaño de llave de vaso sugerido [mm]	Tamaño de llave de vaso sugerido [in]
3/8 "	Mín.: 22 Máx.: 24	Mín.: 7/8" Máx.: 15/16"
7/16 "	Mín.: 24 Máx.: 27	Mín.: 15/16" Máx.: 11/16"
1/2 "	Mín.: 26 Máx.: 29	Mín.: 1" Máx.: 1 1/8"
9/16 "	Mín.: 29 Máx.: 32	Mín.: 1 1/8" Máx.: 1 1/4"
5/8 "	Mín.: 30 Máx.: 33	Mín.: 1 3/16" Máx.: 1 5/16"
3/4 "	Mín.: 33.06 Máx.: 38	Mín.: 1 5/16" Máx.: 1 7/16"

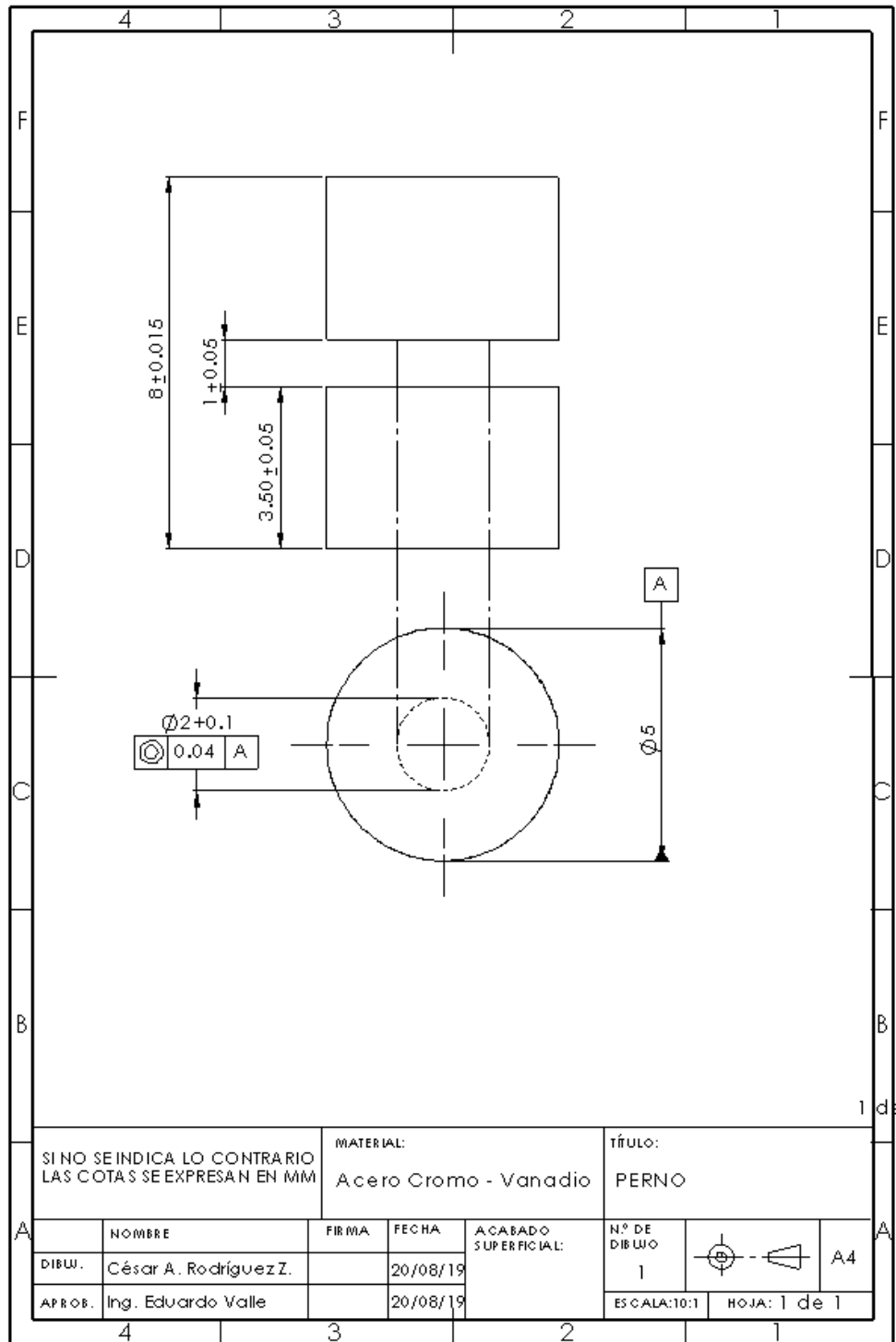
Tabla 33 Tornillos métricos y llaves compatibles

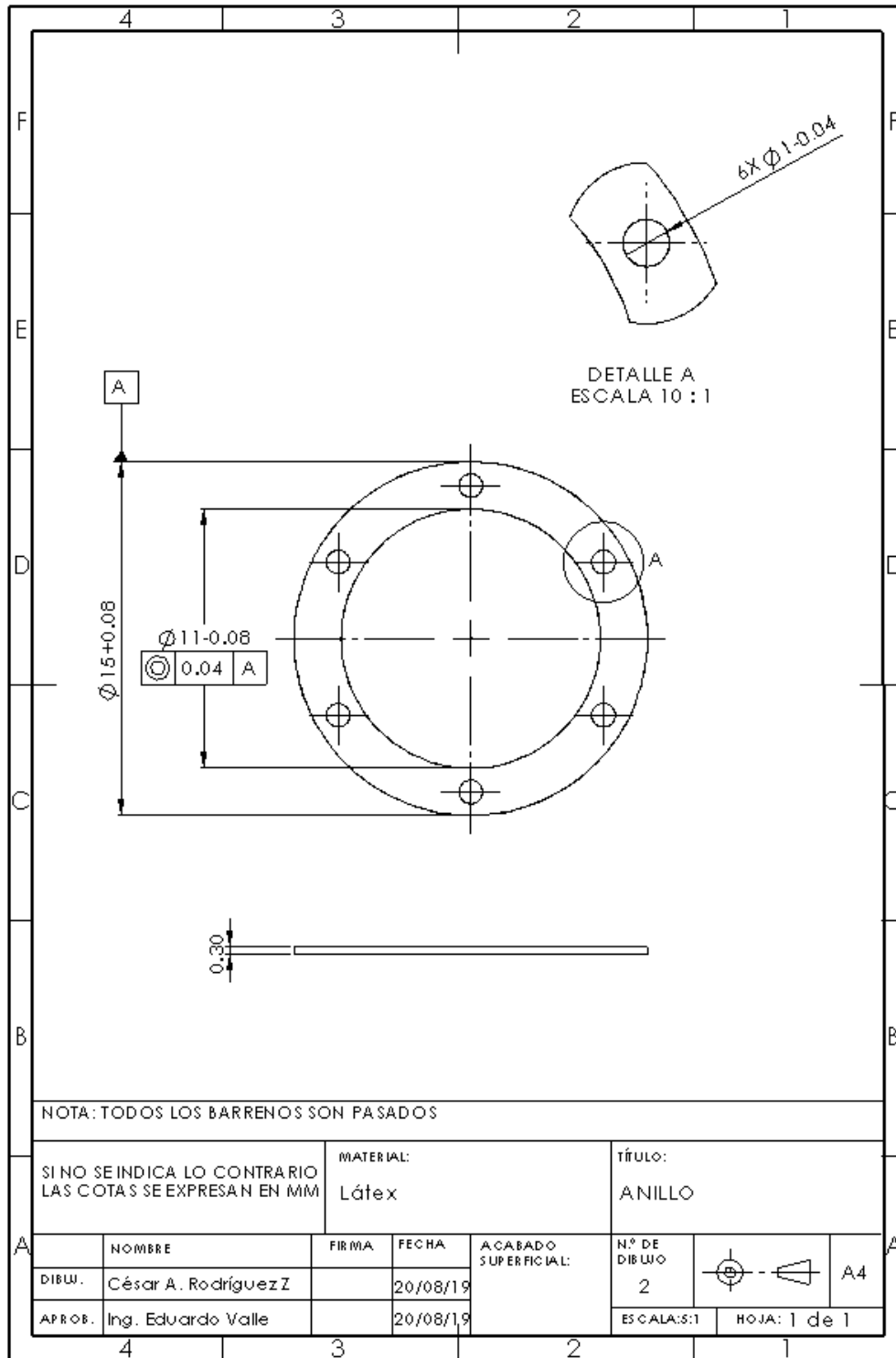
TORNILLOS EN SISTEMA MÉTRICO		
Diámetro [mm]	Tamaño de llave de vaso sugerido [mm]	Tamaño de llave de vaso sugerido [in]
M12	Mín.: 26 Máx.: 29	Mín.: 1" Máx.: 1 1/8"
M14	Mín.: 28 Máx.: 32	Mín.: 1 1/8" Máx.: 1 1/4"
M16	Mín.: 30 Máx.: 34	Mín.: 1 3/16" Máx.: 1 5/16"
M18	Mín.: 33 Máx.: 37	Mín.: 1 5/16" Máx.: 1 7/16"
M20	Mín.: 34 Máx.: 40	Mín.: 1 3/8" Máx.: 1 9/16"
M22	Mín.: 37 Máx.: 42	Mín.: 1 1/2" Máx.: 1 5/8"

Tabla 34 Tuercas métricas y llaves compatibles.

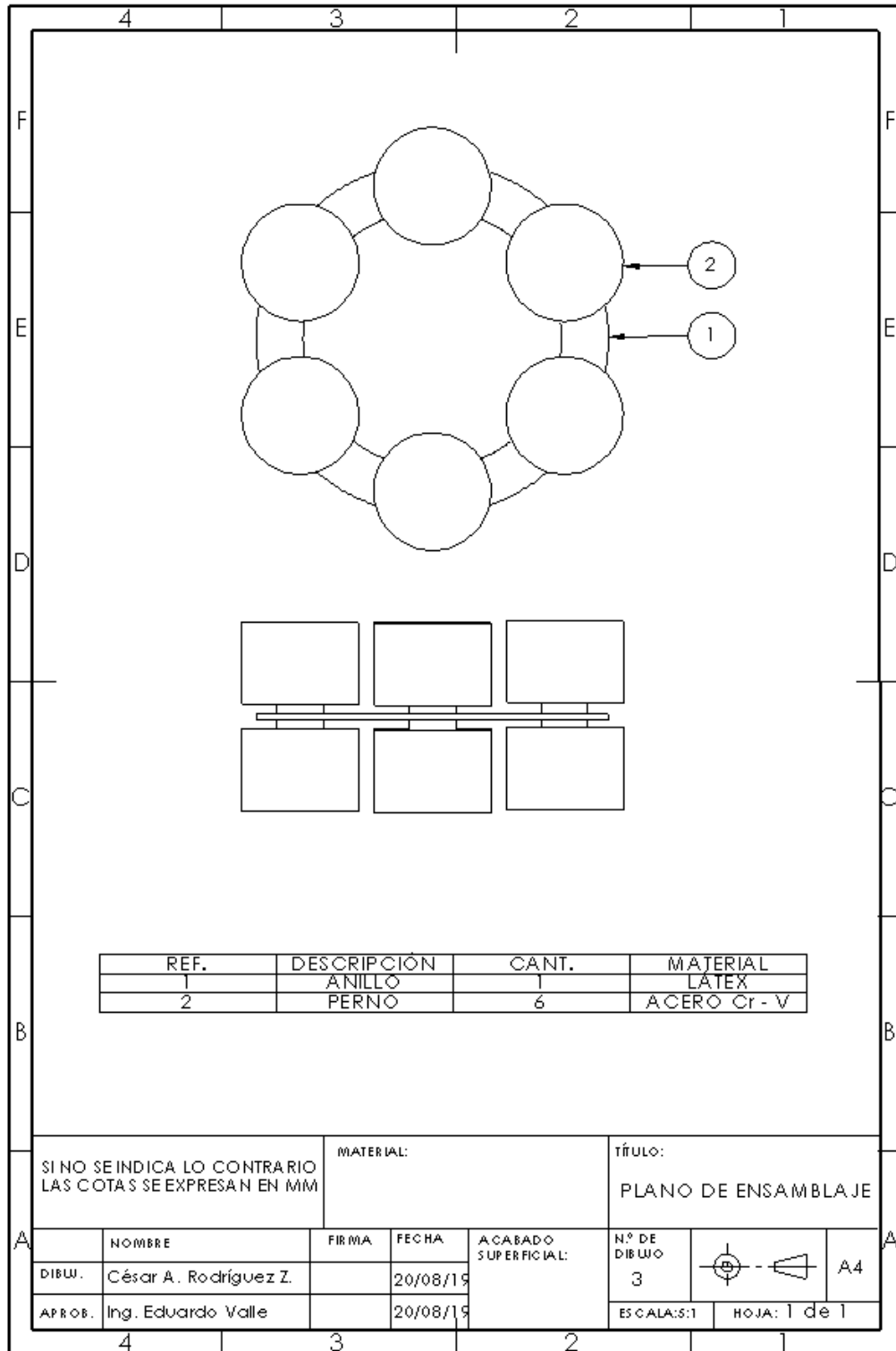
TUERCAS EN SISTEMA MÉTRICO		
Diámetro [mm]	Tamaño de llave de vaso sugerido [mm]	Tamaño de llave de vaso sugerido [in]
M10	Mín.: 23 Máx.: 26	Mín.: 15/16" Máx.: 1"
M12	Mín.: 25 Máx.: 28	Mín.: 1" Máx.: 1 1/16"
M14	Mín.: 27 Máx.: 31	Mín.: 1 1/16" Máx.: 1 3/16"
M16	Mín.: 30 Máx.: 34	Mín.: 1 3/16" Máx.: 1 5/16"
M18	Mín.: 33 Máx.: 37	Mín.: 1 5/16" Máx.: 1 7/16"
M20	Mín.: 34.8 Máx.: 40	Mín.: 1 3/8" Máx.: 1 9/16"

## 6.5 ELABORACIÓN DE PLANOS DE FABRICACIÓN





Nota: Las tolerancias de redondez se omitieron puesto que no afectan la funcionalidad del convertidor e incrementan los gastos de manufactura. En cuanto a la cilindridad; los pernos se fabricaran a partir de una varilla comercial, y se espera que el proveedor garantice que el material se encuentra dentro de ciertos límites para esta característica.



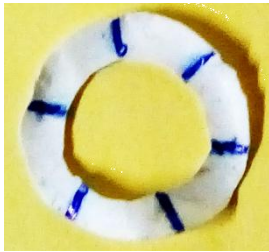
## CAPÍTULO VII.- CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS Y PRUEBAS

### 7.1 MANUFACTURA DE PROTOTIPOS

A partir de todo el desarrollo anterior se construyó un prototipo funcional para poder llevar a cabo las pruebas.

Los pernos se fabricaron a partir de la varilla de aleación acero cromo-vanadio. La manufactura se realizó manualmente por lo que el acabado no es muy fino, sin embargo, los pernos son funcionales y sirven para realizar las pruebas necesarias.

Para el anillo se empleó látex e igualmente la manufactura se realizó manualmente, marcando separaciones de 60° para cada perno.



*Figura 46 Anillo elástico de látex.*



*Figura 47 Pernos de Acero Cromo – Vanadio.*



*Figura 48 Convertidor de llave estándar a llave ajustable para elementos hexagonales deformados.*

### PROCESOS DE MANUFACTURA

Como se mencionó anteriormente el prototipo creado es funcional, sin embargo, la manufactura puede mejorarse aplicando las siguientes operaciones de proceso y ensamblado.

Fabricación de pernos

- Proceso de recocido a la varilla de Cr-V para mejorar su maquinabilidad.

- Proceso de torneado a la varilla de Cr-V marcando la ranura indicada en el plano 1.
- Proceso tronzado y careado obteniendo las medidas indicadas en el plano 1.
- Temple para aumentar dureza del perno.

#### Fabricación de anillo

- Proceso de maquinado con haz láser sobre placa de látex cortando un anillo con las medidas indicadas en el plano 2.
- Proceso de maquinado con haz láser realizando perforaciones al anillo de látex con las medidas indicadas en el plano 2.

#### Proceso de ensamblado entre el anillo y los pernos

- Ensamble mecánico mediante ajuste por interferencia; tipo anillo de retención.

## 7.2 PRUEBAS

Las pruebas tienen como objetivo demostrar que el convertidor de llave estándar a llave ajustable para elementos hexagonales deformados en verdad es capaz de transmitir par torsional, alcanzando un valor mínimo de 90 lb\*ft (122.02 N\*m) para un tuerca de  $\frac{1}{2}$ ", 200 lb\*ft (217.16 N\*m) en una tuerca de  $\frac{9}{16}$ " y 130 lb\*ft (176.26 N\*m) en el caso de una tuerca de  $\frac{3}{4}$ ", siendo compatible con llaves de diferentes medidas.

#### MATERIALES

- Convertidor de llave estándar a llave ajustable para elementos hexagonales deformados (Fig. 48).
- Llaves de vaso; 1" 1  $\frac{1}{16}$ " 1  $\frac{1}{8}$ " 1  $\frac{3}{16}$ " y 1  $\frac{7}{16}$ "



Figura 49 Llaves de vaso.

- Tornillo de grado 5, cuerda fina NF,  $\frac{1}{2}$ " de diámetro externo de cuerda, 2" de largo de vástago.





Figura 50 Tornillo de 1/2" para prueba.

- Tornillo grado 2, cuerda gruesa NC, 3/4" de diámetro externo de cuerda, 1 1/2" de largo de vástago.



Figura 51 Tornillo de 3/4" para prueba

- 3 Tuercas grado 5, cuerda fina NF, 1/2" de diámetro interno de cuerda, pavonada, con un par sugerido de hasta 75 lb\*ft según la empresa la empresa Redica (liga 9 de la lista de recursos).  
Una de estas tuercas fue deformada en su geometría rebajando las aristas con ayuda de un esmeril.



Figura 52 Tuercas de 1/2" para prueba.

- 1 Tuerca 9/16" de diámetro interno, cuerda gruesa NC.



Figura 53 Tuerca 9/16" para prueba

- 1 Tuerca grado 2, cuerda gruesa NC, 3/4" de diámetro interno, galvanizada, con un par sugerido de 216 lb\*ft según la empresa Redica (liga 9 de la lista de recursos).



*Figura 54 Tuercas de 3/4" para prueba*

- Torquímetro con rango de par torsional de 30lb\*ft a 200 lb\*ft



*Figura 55 Torquímetro para pruebas.*

- Prensa



*Figura 56 Prensa de banco.*

- Arandela plana



*Figura 57 Arandela plana.*

## DESARROLLO

1.- En la prensa se sujetó la cabeza del tornillo y una de las tuercas que previamente fue enroscada.



Figura 58 Sujeción del sistema



Figura 59 Colocación de tuerca sin deformación para las pruebas 1 a 3.

2.- Se colocó una arandela y para las pruebas 1, 2 y 3 se enroscó otra tuerca sin deformación en su geometría, a la cual se le aplicaría el par torsional.

3.- Se colocó el convertidor de llave estándar a llave ajustable para elementos hexagonales deformados cuidando que el eje longitudinal de los pernos esté paralelo con el eje longitudinal del tornillo, y los pernos centrados en las caras de la tuerca.



Figura 60 Colocación del convertidor.

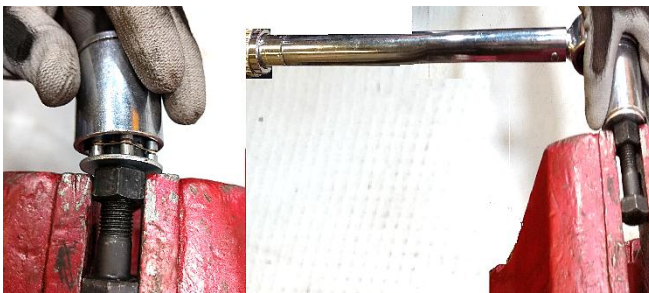


Figura 61 Aplicación de par torsional.

4.- Con ayuda del torquímetro y el convertidor se aplicó un par torsional de 30, 60 y 90 lb\*ft. Para la prueba 1 se usó una llave de vaso de 1", en la prueba 2 una llave de vaso de 1 1/16" y en la prueba 3 una llave de vaso de 1 1/8".

5.-Para las pruebas 4,5 y 6, la tuerca de prueba se cambió por la que se encontraba deformada en su geometría e igualmente se aplicó un par torsional de 30, 60 y 90 lb\*ft. Para la prueba 4 se usó una llave de vaso de 1", en la prueba 5 una llave de vaso de 1 1/16" y en la prueba 6 una llave de vaso de 1 1/8", así como el convertidor.



*Figura 62 Colocación de tuerca con deformación en su geometría para pruebas 4 a 6.*



*Figura 63 Prueba límite.*

6.- La prueba 7 se realizó en la tuerca con geometría deformada, utilizando el convertidor, una llave de vaso de 1" y apretando a 30 lb\*ft, 50 lb\*ft, 100 lb\*ft y 130 lb\*ft.

7.- En la prueba 8 se realizó una demostración en la tuerca de un amortiguador de 9/16", apretándola mediante el convertidor y una llave de vaso de 1 1/8" hasta 200 lb\*ft y aflojándola con el convertidor y una llave de vaso de 1 3/16".



*Figura 64 Prueba práctica.*



8.- En la prueba 9 se aplicaron 130 lb\*ft a una tuerca de  $\frac{3}{4}$ " usando una llave de vaso de  $1 \frac{7}{16}$ "

*Figura 65 Prueba con tuerca de 3/4"*

Cada prueba se llevó a cabo 3 veces para garantizar la confiabilidad de los resultados.



*Figura 66 Funcionamiento del convertidor.*

### 7.3 RESULTADOS

Tabla 35 Resultados de las pruebas realizadas.

N° de prueba	Tuerca	Llave de vaso usada	Máximo par aplicado (Ronda 1)	Máximo par aplicado (Ronda 2)	Máximo par aplicado (Ronda 3)	Promedio
1	½", sin deformar	1 "	90 lb*ft o 122.02 N*m	90 lb*ft o 122.02 N*m	90 lb*ft o 122.02 N*m	90 lb*ft o 122.02 N*m
2	½" sin deformar	1 1/16 "	90 lb*ft o 122.02 N*m	90 lb*ft o 122.02 N*m	90 lb*ft o 122.02 N*m	90 lb*ft o 122.02 N*m
3	½" sin deformar	1 1/8 "	90 lb*ft o 122.02 N*m	90 lb*ft o 122.02 N*m	90 lb*ft o 122.02 N*m	90 lb*ft o 122.02 N*m
4	½" deformada	1 "	90 lb*ft o 122.02 N*m	90 lb*ft o 122.02 N*m	90 lb*ft o 122.02 N*m	90 lb*ft o 122.02 N*m
5	½" deformada	1 1/16 "	90 lb*ft o 122.02 N*m	90 lb*ft o 122.02 N*m	90 lb*ft o 122.02 N*m	90 lb*ft o 122.02 N*m
6	½" deformada	1 1/8 "	90 lb*ft o 122.02 N*m	90 lb*ft o 122.02 N*m	90 lb*ft o 122.02 N*m	90 lb*ft o 122.02 N*m
7	½" deformada	1"	130 lb*ft o 176.26 N*m	130 lb*ft o 176.26 N*m	130 lb*ft o 176.26 N*m	130 lb*ft o 176.26 N*m
8	9/16" sin deformar	Apriete: 1 1/8" Afloje: 1 3/16"	200 lb*ft o 271.16 N*m	200 lb*ft o 271.16 N*m	200 lb*ft o 271.16 N*m	200 lb*ft o 271.16 N*m
9	¾" sin deformar	1 7/16"	130 lb*ft o 176.26 N*m	130 lb*ft o 176.26 N*m	130 lb*ft o 176.26 N*m	130 lb*ft o 176.26 N*m

#### Eficacia

La eficacia representa la medida en que se cumplió con los objetivos previstos en el diseño. No debe confundirse con la eficiencia; que es la relación del beneficio obtenido y el costo o recursos empleados.

$$Eficacia = \frac{\text{Máximo par aplicado}}{\text{Par teórico calculado}} * 100$$

Tabla 36 Eficacia en la pruebas realizadas

N° de prueba	Llave de vaso usada	Máximo par aplicado	Par teórico calculado	Eficacia
1	1 "	90 lb*ft (122.02 N*m)	116.84 N*m	104.4 %
2	1 1/16 "	90 lb*ft (122.02 N*m)	116.84 N*m	104.4 %
3	1 1/8 "	90 lb*ft (122.02 N*m)	116.84 N*m	104.4 %
4	1 "	90 lb*ft (122.02 N*m)	116.84 N*m	104.4 %
5	1 1/16 "	90 lb*ft (122.02 N*m)	116.84 N*m	104.4 %
6	1 1/8 "	90 lb*ft (122.02 N*m)	116.84 N*m	104.4 %
7	1"	130 lb*ft (176.26 N*m)	116.84 N*m	150.9 %
8	Apriete: 1 1/8" Afloje: 1 3/16"	200 lb*ft (271.16 N*m)	129.90 N*m	208.6 %
9	1 7/16"	130 lb*ft (176.26 N*m)	151.07 N*m	116.7 %



#### Observaciones:

El perno resistió el par aplicado sin presentar fallo, en el caso de la tuerca se presenta cierta indentación.

El eje de los pernos debía estar alineado con el eje de la tuerca para poder aplicar correctamente el par. Cuando se colocaba la llave de vaso más pequeña y que ajusta más, los pernos quedaban en las aristas internas de la llave, y tendían a conservar mejor la alineación entre los ejes de los pernos y el del tornillo, ayudando a la correcta transmisión del par.

Entre más grande era la llave de vaso usada se presenta un menor deslizamiento, pero debía procurarse que los pernos mantuvieran su posición durante la aplicación de par, puesto que la holgura era mayor.

Cuando la tuerca se encontraba muy redondeada se presentaba un mayor deslizamiento del perno sobre la superficie de dicho elemento.

En la prueba 6 se rompió parte del anillo de látex y quedó suelto un perno, sin embargo, siguió siendo funcional puesto que el perno se colocó en su posición y se sujetó por encima con la parte que había quedado sin romper.

La herramienta no se zafo bruscamente en ninguna de las pruebas.

Después de las pruebas se revisó la parte interna de la llave de vaso, así como la superficie del perno sin observar daños o deformaciones considerables.

#### **7.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

1.- Al momento de realizar los cálculos solo se consideró a los materiales de la llave de vaso y el perno, puesto que los tornillos y tuercas pueden estar hechos de gran variedad de materiales y no importa si su geometría esta deformada, el hecho de que los pernos y la llave de vaso tengan mayor dureza que la tuerca provoca que esta última se deforme primero y no se pueda aplicar el par que en teoría los pernos deberían soportar, puesto que los elementos de sujeción tienden a fallar mucho antes.

2.- La alineación del eje longitudinal de los pernos con el eje longitudinal de la tuerca hace que las fuerzas se apliquen con la dirección adecuada. Cuando el dado queda ajustado, el espacio para que el perno se mueva es limitado por lo que tiende a conservar su posición.

3.-El ángulo que se forma entre la cara de la tuerca y el punto de contacto; de la llave de vaso con el perno, modifica el par torsional máximo que puede aplicarse, y hace que sea más fácil aplicar torsión con unas llaves que con otras. Un ángulo pequeño tiende a generar menores deslizamientos del perno sobre la superficie de la tuerca y viceversa.

4.- El material del anillo es un polímero por lo que puede verse afectado ante la presencia de solventes, siendo un tema importante cuando se trata de máquinas y talleres de mantenimiento.

5.- Cuando la geometría de la tuerca es prácticamente redonda las condiciones cambian en el análisis de las fuerzas de contacto de Hertz puesto que ya no se trata de un cilindro

sobre un plano, sino de dos cilindros en contacto y los cálculos cambian, tratándose de un caso especial.

6.- Los esfuerzos de contacto que se generan son muy grandes por lo que pueden llegar a deformar los elementos de sujeción. Sin embargo, cabe destacar que el par sugerido para las tuercas fue superado en la mayoría de las pruebas, lo que también influyó en que estas se llagaran a deformar.

7.- La presión que se genera entre la llave de vaso, el perno y el elemento de sujeción impide que la herramienta se zafe de golpe.

8. Este adaptador al igual que cualquier otra herramienta que ayude a trabajar con tornillos, no disminuye ni evita que se libere súbitamente la energía si es que el tornillo se rompe.

9.- El adaptador tuvo una eficacia mayor al 100% debido a que supera el par máximo calculado con un factor de seguridad de 3.



## CONCLUSIÓN

El prototipo generado permite aplicar par torsional a elementos de sujeción hexagonales, con y sin deformación en su geometría, adaptando diversas llaves de vaso con el tamaño del elemento trabajado, por lo que se concluye que se cumplió con el objetivo de esta tesis.

A partir de los prototipos y pruebas realizadas se observó que el convertidor de llave estándar a llave ajustable para elementos hexagonales deformados cumple con las especificaciones fijadas, y por tanto satisface las necesidades del usuario.

Para solucionar la problemática no fue necesario rediseñar todos los sistemas asociados a las herramientas para elementos de sujeción (tuercas y tornillos), bastó con modificar el sistema de sujeción de la geometría, cambiando el punto de aplicación de la fuerza de las aristas hacia las caras; por medio de 6 pernos y usando herramienta convencional, lo que permitió ahorrar recursos, tanto en el diseño como en la manufactura de la nueva herramienta, logrando un concepto bastante sencillo pero funcional.

Hay variables que cambian en cada caso de aplicación; como el grado SAE del elemento de sujeción y por tanto el material del que está hecho, el ángulo que se formará dependiendo de la llave que se seleccione, la distancia desde el centro hasta el punto de aplicación de la fuerza y que dependerá del tamaño de la tuerca o tornillo, y el coeficiente de fricción puede cambiar dependiendo de las condiciones en las que se encuentren las superficies en contacto, todo esto modifica el par máximo que puede llegar a ejercerse, situación que fue considerada y por la cual se previó usar un factor de seguridad de 3, así mismo se recomienda hacer caso de las recomendaciones de uso.

La herramienta es capaz de soportar grandes esfuerzos y por tanto ejercer elevados pares torsionales, cubriendo un gran rango de aplicaciones.

Con el convertidor ya no sería necesario comprar un gran juego de herramientas para los diferentes tamaños de sujetadores hexagonales, permitiendo el uso de la herramienta disponible y generando valor al producto.

## RECOMENDACIONES DE USO

1.- El par transmitido con el convertidor puede llegar a ser mucho mayor que su valor teórico, pero se limita a lo que la tuerca o tornillo puedan soportar, se recomienda no aplicar un par mayor al sugerido por el fabricante del sujetador, para el grado y tamaño del elemento trabajado.

2.- En el caso de que la geometría de la tuerca este demasiado deformada, prácticamente redonda en su totalidad, la capacidad de transmisión de par torsional puede verse afectada, para ello puede lijarse previamente la superficie de elemento de sujeción.

3.- El eje longitudinal del perno debe mantenerse alineado en todo momento con el eje longitudinal del tornillo.

4.- Al comenzar a aplicar par es normal que los pernos deslicen un poco hasta que se genera la presión y se traban, es importante centrar el perno en las caras pues si queda muy cerca de la arista podría deformarla y dar un pequeño salto a la siguiente cara.

5.- La presencia de solventes puede provocar que el anillo se adelgace y se degrade, por lo que es necesario realizar limpieza previa de los elementos a trabajar.

## MEJORAS

Se sugieren algunas modificaciones para mejorar el funcionamiento del convertidor, como es el caso de garantizar la alineación del eje de los pernos con el eje del sistema desmontable, logrando que se mantengan paralelos en todo momento.

El hecho de que el anillo sea vulnerable ante los solventes limita el uso de la herramienta, un elastómero sintético podría solucionar el problema.

La aleación de acero cromo vanadio puede llegar a ser difícil de conseguir sino es en grandes cantidades, podría resultar mejor usar algún otro acero grado herramienta como es el caso del acero SW55P.

Es conveniente usar un valor comercial para la barra de acero a utilizar, se sugiere cambiar por un diámetro de  $\frac{3}{16}$ ".

El diámetro de 2 mm marcado en el plano 1 puede incrementarse para facilitar la manufactura de los pernos.

## REFERENCIAS

1. - Budynas R. & Keith J. (2008). DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY. MAQUINAS [Traducido al español de SHIGLEY'S MECHANICAL ENGINEERING DESIGN por Murrieta J. & Alatorre E.] México: Mac. Graw Hill.
2. - Nigel Cross. (2000). Engineering Design Methods. Strategies for Product Design. England: WILEY.
- 3.- Gómez, T., Águeda, E., García J.L., Martín, J. (s.f.). MECANIZADO BÁSICO PARA ELECTROMECAÁNICA. Recuperado de: <https://books.google.com.mx/books?id=ESsEd-4OYUC&printsec=frontcover&dq=MECANIZADO+B%C3%81SICO+PARA+ELECTROMECA%C3%81NICA&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiDgZ-f3KncAhVBXawKHb0DBDoQ6AEIKDAA#v=onepage&q=MECANIZADO%20B%C3%81SICO%20PARA%20ELECTROMECA%C3%81NICA&f=false>
- 4.-González, L. (2017). CASOS DE INGENIERIA DE DISEÑO. México: UNAM, Facultad de Ingeniería.
- 5.- Groover, M. (2007). FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA. [Traducido al español de FUNDAMENTALS OF MODERN MANUFACTURING MATERIALS, PROCESSES AND SYSTEMS por Cordero, Enríquez & Murrieta] México: Mac. Graw Hill.
- 6.- Mott Robert (2006). Diseño de elementos de máquinas. [Traducido al español de Machine elements por González, V.] México: Pearson Education.
- 7.- Norma internacional ISO 76 (2006) Rodamientos - Clasificaciones de carga estática
- 8.- Norton, R. (2011). DISEÑO DE MAQUINAS [Traducido al español de MACHINE DESIGN por Enríquez, A.] México: Pearson.
- 9.- Ringspann Iberica S.A. (s.f.). DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE LAS RUEDAS LIBRES. Recuperado de: <https://www.ringspann.es/es/productos/ruedas-libres/tecnologia>
- 10.- Ulrich, K. Eppinger S. (2009). DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS [Traducido al español de PRODUCT DESIGN AND DEVELOPMENT por Romo, J. H.] México: McGraw-Hill.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.-Ashby Michael F. (2005). Materials Selection in Mechanical Design. England: Elsevier Butterworth Heinneman.
- 2.- Castillo Rodríguez Felipe Díaz M. en I. (2007). Tablas y gráficas para diseño de elementos de máquinas. México: UNAM, FES Cuautitlán.
- 3.- Castillo Rodríguez Felipe Díaz M. en I. (2008). Diseño de herramental. México: UNAM, FES Cuautitlán.
4. - Ortiz Prado, Ortiz Valera y Ruiz Cervantes. (2013). Modelado de procesos de manufactura. México: UNAM, Facultad de ingeniería.
- 5.- Rojas Ana (s.f.), Manual de citación, normas APA. Por Biblioteca Universidad Externado de Colombia.

## RECURSOS

1. - ASTM. (2005) Standard Specification for Chromium-Vanadium Alloy Steel Valve Spring Quality Wire. Recuperado de:

[http://gostsnip.su/download/astm\\_a\\_232\\_a\\_232m\\_05\\_standard\\_specification\\_for\\_chromiumvana](http://gostsnip.su/download/astm_a_232_a_232m_05_standard_specification_for_chromiumvana)

2. - D30. (s.f.). FREQUENTLY ASKED QUESTIONS. Recuperado de: <https://www.d3o.com>

3.- EcuRed. (s.f.). Látex. Recuperado de: <https://www.ecured.cu/L%C3%A1tex>

5.- Materials. (s.f.). Látex (Caucho). Recuperado de:

<http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/l%C3%A1tex-caucho>

6.- MatWeb Material Property Data. (s.f.). ASTM A232 Alloy Steel Wire. Recuperado de:

<http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=fc470206623441ef9d5bdf6fd296a81&ckc k=1>

7. - MaqueltFrom.com. (s.f.). ASTM A232 Chromium-Vanadium Spring Steel. Recuperado de:

<https://www.makeitfrom.com/material-properties/ASTM-A232-Chromium-Vanadium-Spring-Steel>

8.- Multimateriales. (2014). Manual del Tornillo. Recuperado de:

<http://www.multimateriales.com/files/Manual-del-tornillo-2014-br.pdf>

9.- Redica. (s.f.). Tabla de torques. Recuperado de:

<http://www.redica.com.co/tabla-de-torques.html>

10.- Urrea Herramientas de Calidad Superior (2018), LPU18 LISTA DE PRECIOS 2018.

Recuperado de: <https://www.urrea.com/urrea/listasPrecios/Urrea/LPU18.pdf>

## **ANEXO 1. DVD**

## MENSAJE FINAL

EL FIN DE LA INGENIERÍA ES BUSCAR  
SOLUCIONES SIMPLES A PROBLEMAS  
COMPLEJOS.