

Diseño de una Herramienta de Aprendizaje de la Variable Torque, mediante Experiencias de
Medición

Daniel Camilo Correa Viasús

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

Ricardo Alfonso Jaimes Rolón

Ingeniero Mecánico

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, quienes con su paciencia facilitaron todo para mí.

Agradecimientos

Al ingeniero Ricardo Alfonso Jaimes Rolón por su apoyo en la consolidación de este trabajo, además también agradecer al señor Don Cristóbal por su apoyo en la construcción de los dispositivos.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	18
1.Objetivos	21
1.1 Objetivo General	21
1.2 Objetivos Específicos.....	21
2.Marco Teórico.....	23
2.1 Torque	23
2.2 Técnicas de Medición	23
2.2.1 A Partir de la Energía Eléctrica	24
2.2.2 Medición de Torque Reactivo con el Uso del Principio de Palanca.....	25
2.2.3 Medición de Torque en Línea	26
1.2.4 Galgas Extensométricas en Medición de Torque.....	27
2.2.3 Clasificación de Herramientas con Relación a la Faceta Estática del Torque.	29
3.Propuesta Bancos de Laboratorio	32
3.1 Banco de Apriete Estático.....	32
3.1.1 Estudio del Apriete entre Juntas	34
3.1.2 Estudio de Torque por Resistencia al Atornillar.....	35
3.2 Banco de Transmisiones Flexibles.....	38
3.2.1 Medición de Torque	39
3.2.2 Medición de RPM	40
3.3 Banco con Taladro de Mesa.....	41
3.3.1 Inicios: Taladro de Mano	41

3.3.2 Conclusión: Taladro de Mesa	41
4.Evolución Diseño Concepto	44
4.1 Banco De Apriete Estático.....	44
4.2 Banco de Transmisiones Flexibles.....	49
4.3 Banco de Taladro	54
5.Selecciones, Dimensionamiento y Comprobación	58
5.1 Banco Apriete Estático	59
5.1.1 Entorno.....	60
5.1.2 Analisis Preliminar.....	60
5.1.3 Torquimetro Casero	63
5.1.4 Resorte de Compresión (Pieza A0203).....	68
5.1.5 Soporte del Resorte (Pieza A0205).....	71
5.1.6 Placa Roscada (Pieza A0201)	72
5.1.7 Tornillo de Fijación (Pieza A0207)	74
5.1.8 Guía Posterior (Pieza A0206)	74
5.1.9 Elemento de Empuje (Pieza A0101).....	76
5.2 Banco de Transmisiones Flexibles.....	78
5.2.1 Requerimiento Máximo	79
5.2.2 Brazo (Pieza B0205)	80
5.2.3 Soporte Lateral (Pieza B0209).....	81
5.2.4 Circuito Electrónico.....	82
5.3 Banco de Taladro	83
5.3.1 Parámetros.....	84

5.3.2 Requerimientos	85
5.3.3 Resorte de Torsión (Pieza C03)	87
5.3.4 Eje en Montaje Inferior	89
5.3.5 Eje en Montaje Superior	90
5.3.6 Circuito Electrónico	91
6. Validación	95
6.1 Banco de Apriete Estático	95
6.1.1 Dimensiones Correctas	97
6.1.2 Resistencia y Medición a Máximo Trabajo	97
6.1.3 Medición de Torque	101
6.2 Banco de Transmisiones Flexibles	104
6.2.1 Posicionamiento Correcto	105
6.2.2 Medición de Torque	107
6.2.3 Medición de RPM	109
6.3 Banco con taladro de Mesa	111
6.3.1 Montaje en Taladro	112
6.3.2 Medición de Torque	112
7. Conclusiones	117
Referencias Bibliográficas	119

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Parámetros y resultado de cálculo para ángulo de avance.....	63
Tabla 2. Resumen de parámetros en análisis de flexión en torquímetro	67
Tabla 3. Resumen de parámetros en análisis de cortante para torquímetro.....	67
Tabla 4. Ejemplo de cálculo para determinar dimensiones de torquímetro casero	68
Tabla 5. Resultados de cálculo para dimensionar resorte	70
Tabla 6. Resumen resultados de esfuerzo axial en soporte del resorte.....	72
Tabla 7. Resumen de resultados esfuerzo por carga combinada en placa roscada.....	73
Tabla 8. Resumen resultados de esfuerzos por torsión en placa roscada.....	73
Tabla 9. Resumen de cálculo para diámetro en Pieza A0207.....	74
Tabla 10. Resumen resultados cálculo de esfuerzos en soporte trasero	75
Tabla 11. Resumen cálculo para espesor mínimo en sección A-B.....	77
Tabla 12. Resumen de resultados para espesor en sección BC.....	77
Tabla 13. Resumen calculo espesor critico por flexión en zona B-C	77
Tabla 14. Dimensiones de rodamientos de contacto angular y eje.....	88
Tabla 15. Resultados de resorte de torsión para distintos diámetros de alambre	89
Tabla 16. Datos de velocidad de giro medidos	110
Tabla 17. Resumen selección diferenciales medidos en taladro.....	115
Tabla 18. Cálculo de torque a partir de información diferencial	115

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Esquema con los componentes que conforman el torque.....	23
Figura 2. Esquema de colocación para medición de torque reactivo.....	25
Figura 3. Ejemplo de montaje de sensor en una línea de potencia	26
Figura 4. Galgas de serie U y A ofrecidas por HBM.....	28
Figura 5. Disposiciones geométricas de transductores de torque más comunes.....	29
Figura 6. Herramientas Tipo I.....	30
Figura 7. Herramientas Tipo II	31
Figura 8. Perno F3125 Grado A325 de 1/2"	33
Figura 9. Torquímetro de aguja	34
Figura 10. Unión con Tornillos.....	35
Figura 11. Grafica de torque durante el proceso de apriete	36
Figura 12. Resorte como resistencia al movimiento de atornillado.....	37
Figura 13. Componentes banco de transmisiones flexibles	38
Figura 14. Fotos banco de pruebas sección motor	39
Figura 15. Esquema general de elementos involucrados en medición de Torque	40
Figura 16. Esquema ubicación sensor medición RPM	40
Figura 17. Fotos banco de taladro y especificaciones.....	42
Figura 18. Ubicación de dispositivo en taladro	42
Figura 19. Esquema general ilustrando elementos para medición en banco taladro	43
Figura 20. Diseño final del banco de apriete estático	44
Figura 21. Fase 1 y 2 del proceso de diseño para banco de apriete estático	45

Figura 22. Fase 3 y 4 del proceso de diseño para el banco de apriete estático	46
Figura 23. Fase 5 y 6 del proceso de diseño para banco de apriete estático	47
Figura 24. Vista sección banco apriete estático	48
Figura 25. Diseño final de adecuaciones en banco de transmisiones flexibles	49
Figura 26. Fase 1 banco de transmisiones flexibles.....	50
Figura 27. Fase 2 banco transmisiones flexibles	51
Figura 28. Fase 3 banco de transmisiones flexibles.....	52
Figura 29. Fase 4 banco de transmisiones flexibles.....	53
Figura 30. Diseño final para banco con taladro de mesa	54
Figura 31. Fases 1 y 2 para banco con taladro de banco.....	55
Figura 32. Fase 3 de banco con taladro de mesa.....	56
Figura 33. Esquema de transmisión en dispositivo de taladro.....	57
Figura 34. Redirección de fuerzas axiales en dispositivo de taladro	58
Figura 35. Esquema que resume la codificación en banco de apriete estático	59
Figura 36. Prensa de banco con dimensiones básicas.....	60
Figura 37. Ubicación de fuerzas presentes en banco de apriete	61
Figura 38. Diagramas de fuerza en torquímetro y filetes de rosca	61
Figura 39. Información específica para perno en norma ASME B.1.1.....	63
Figura 40. Lista dimensiones destornilladores estándar BAHCO	65
Figura 41. Tabla ergonómica de fuerza en el brazo, la mano y el dedo humano	65
Figura 42. Diagramas de carga en torquímetro casero	66
Figura 43. Cuadro resumen de diseño para resorte de compresión	69
Figura 44. Cuadro con diagramas y distribución de cargas para el soporte del resorte.....	71

Figura 45. Cuadro con dimensiones, ubicación de cargas y esquemas de la placa roscada	72
Figura 46. DCL para tornillo de fijación	74
Figura 47. Cuadro con dimensiones, DCLs y esquemas del soporte trasero	75
Figura 48. Cuadro con dimensiones, DCL y diagramas de carga de elemento de empuje.....	76
Figura 49. Codificación de piezas en banco de transmisiones flexibles.....	78
Figura 50. Búsqueda de especificaciones para definir el torque máximo en el motor	79
Figura 51. Diagrama de cuerpo libre de brazo de carga	80
Figura 52. Análisis de elementos finitos sobre brazo de carga.....	80
Figura 53. Cuadro resumen para analizar resistencia en soporte lateral.....	81
Figura 54. Circuito electrónico para banco de transmisiones flexibles	82
Figura 55. Esquema con codificación de piezas de dispositivo en taladro.....	83
Figura 56. Lista de parámetros involucrados en el proceso de taladrado	84
Figura 57. Rango de velocidades que permite el taladro de banco.....	85
Figura 58. Fuerzas que aparecen durante el taladrado.....	85
Figura 59. Resumen datos de torque y fuerza axial en distintos trabajos de investigación	86
Figura 60. Cuadro resumen de diseño para el resorte de torsión	87
Figura 61. Cuadro resumen del análisis FEM sobre la transmisión inferior	90
Figura 62. Cuadro resumen de análisis FEM para transmisión superior	91
Figura 63. Circuito electrónico en dispositivo montado en el taladro	92
Figura 64. Diagrama de flujo en circuito para banco con taladro.....	93
Figura 65. Cuadro resumen para el cálculo de torque a partir de la medición	94
Figura 66. Banco de apriete estático físico	95
Figura 67. Comparativa modelo y construcción de la Pieza A0205.....	96

Figura 68. Comparativa de geometrías entre modelo y construcción.....	96
Figura 69. Montaje de banco de apriete estático en prensa de banco	97
Figura 70. Torquímetro de click ajustable usado para mediciones y pruebas	98
Figura 71. Medición a máxima carga en montaje para estudio del apriete.....	99
Figura 72. Vista cercana de montaje de unión entre placas a 146 N*m	100
Figura 73. Desmontar el perno en montaje de apriete	100
Figura 74. Prueba de montaje para estudio de atornillado.....	101
Figura 75. Torquímetro Casero.....	102
Figura 76. Montaje para calibrar torquímetro casero.....	103
Figura 77. Caratula y medición con torquímetro en banco de apriete estático.....	103
Figura 78. Piezas para montaje físico en banco de transmisiones flexibles	104
Figura 79. Comparativa para Pieza B0203	104
Figura 80. Vista frontal del encaje del brazo en la tapa del motor	105
Figura 81. Vistas del soporte lateral instalado en el banco de transmisiones flexibles	106
Figura 82. Zona medición de RPM en el banco de transmisiones flexibles	106
Figura 83. Montaje para medir torque en banco de transmisiones flexibles	107
Figura 84. Foto de cómo se genera la induce la medición en la celda de carga	108
Figura 85. Cuadro comparativo de resultados para celda de carga.....	108
Figura 86. Montaje para prueba de medición de RPM	110
Figura 87. Dispositivo de medición de torque en taladro de mesa	111
Figura 88. Listado de piezas y montajes visibles en dispositivo de medición de torque.....	111
Figura 89. Comparativa de montaje entre modelo físico y CAD	112
Figura 90. Montaje de pruebas para dispositivo en taladro	113

Figura 91. Comparativa de resortes de torsión 114

Figura 92. Selección de datos en banco con taladro de mesa 115

Lista de Apéndices

Apéndice A. Detalle de Cálculo para Resistencia

Apéndice B. Planos de Diseño

Apéndice C. Código Electrónica

Apéndice D. Guía de Laboratorio

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS

Resumen

Título: Diseño de una herramienta de aprendizaje de la variable torque mediante experiencias de medición*

Autor: Daniel Camilo Correa Viasús**

Palabras Clave: Torque, Medición, Laboratorio, Diseño.

Descripción: Este trabajo de grado tiene como finalidad diseñar una herramienta de aprendizaje para estudiar la variable torque, esta herramienta comprende entonces 3 bancos en el laboratorio de diseño. El diseño de los 3 bancos involucra entonces el uso de software de simulación de modelado (Solidworks), además, como producto se generan planos, guías de laboratorio y una verificación del funcionamiento real

- Banco de transmisiones flexibles: Este banco está conformado por un sistema de transmisión de poleas, el motor de este sistema está en voladizo y tiene un montaje para medir el torque y calcular la potencia usada; este montaje con el tiempo se ha deteriorado y es necesario cambiarlo, el diseño inicia evaluando el sistema previo y evaluando posibilidades nuevas de montaje usando celdas de carga.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Ricardo Alfonso Jaimes Rolón. Ingeniero Mecánico.

- Banco de taladro: Inicialmente un taladro de mano, se desarrolla y crece para abarcar un banco con un taladro de mesa presente en el laboratorio de ingeniería mecánica, el diseño sobre este usa un resorte de torsión como elemento central y alrededor de este se diseña el dispositivo a instalar.

- Banco de Apriete Estático: Banco de laboratorio propuesto que involucra 2 aplicaciones: la primera es el uso de un resorte de compresión para generar una resistencia al momento del proceso de atornillado de un perno F3125 Grado A325 que impacte ligeramente el par necesario al realizar este proceso, y la segunda involucra la medición de torque al momento de realizar un apriete entre juntas.

El resultado son 3 bancos de laboratorio que se incluyen en una práctica para el estudio del torque.

Abstract

Title: Design of learning tool of the torque variable, through measurement experiences *

Author(s): Daniel Camilo Correa Viasús**

Key Words: Torque, Measurement, Laboratory, Design.

Description: The purpose of this degree work is to design a learning tool to study the torque variable, this tool then comprises 3 benches in the design laboratory. The design of the 3 benches then involves the use of modeling simulation software (Solidworks), in addition, plans, laboratory guides and a verification of the real operation are generated as a product.

- Bench of flexible transmissions: This bench is made up of a pulley transmission system, the motor of this system is cantilevered and has a mount to measure torque and calculate the power used; This assembly has deteriorated over time and it is necessary to change it. The design begins by evaluating the previous system and evaluating new assembly possibilities using load cells.

- Drill Bench: Initially a hand drill, it develops and grows to encompass a bench with a table drill present in the mechanical engineering laboratory, the design

* Degree Work

**Physical-Mechanical Faculty. Mechanical Engineering School. Director: Ricardo Alfonso Jaimes Rolón. Mechanical Engineer.

on it uses a torsion spring as a central element and around this is designed the device to install.

- Static Tightening Bench: Proposed laboratory bench that involves 2 applications: the first is the use of a compression spring to generate a resistance at the moment of the screwing process of an F3125 Grade A325 bolt that slightly impacts the necessary torque when performing this process, and the second involves the measurement of torque when tightening between joints.

The result is 3 laboratory benches that are included in a practice for the study of torque.

Introducción

El movimiento rotativo hoy en día es parte esencial de gran cantidad de máquinas e instalaciones mecánicas, su gama de aplicaciones se extiende por gran cantidad de industrias y procesos productivos, desde la realización de tareas de mecanizado (Tornos y Taladros), hasta la alimentación de sistemas (Bombas y Motores); por otra parte, en el diseño de sistemas o máquinas que funcionan bajo este principio es fundamental la evaluación de la potencia mecánica para realizar ajustes o verificaciones de tiempo y energía utilizados en la ejecución de procesos, involucrando así mismo los conceptos de velocidad angular y torque.

El torque en análisis de energías y diseño ocupa un lugar clave, en elementos rotatorios su medición e impacto en componentes a distintas cargas se ha convertido en una necesidad, la verificación de resistencia para elementos sometidos a cargas de torque es crítica para evitar fallas mecánicas, tal es el caso en un estudio realizado sobre la “Investigación de falla de un eje piñón a una extrusora de doble tornillo”, donde derivan conclusiones partiendo de un análisis de falla, aludiendo el origen de esta al efecto de fatiga causado por el torque (Casanova & John, 2009).

En el ámbito académico, a pesar de los ejemplos de estudio como el previamente presentado, la medición del torque muchas veces no recibe la importancia en el diseño que debería tomar y destaca por la ausencia de un modelo de construcción en dispositivos de medición para aplicaciones dinámicas específicas, por el contrario si se cuenta con un estándar de calibración y clasificación de los mismos en la faceta estática en una variedad de normas, como la británica BS 7882:2017 y la ISO 6789:2017, la razón a esto yace en que los dispositivos comerciales para entornos dinámicos, en su mayoría se deben montar sobre la estructura del componente, máquina o dispositivo a inspeccionar, llevando muchas veces a realizar montajes externos que no

precisamente resaltan por su simplicidad para la respectiva adecuación, el personalizar responde entonces a la necesidad de lograr una medición precisa y así tener control sobre la variable torque. Los efectos entonces son claros, la tediosa adaptación de un dispositivo comercial de medición de torque, o la dificultad en creación de diseños en cuanto a tiempo y esfuerzo se requiere resultan en que se tiene poco margen de acción en la adquisición de materiales funcionales de enseñanza para establecer al torque como una variable metrológica de importancia en el ámbito académico. El torque entonces se coloca como una magnitud cuanto menos evasiva en su medición y con poco terreno en la enseñanza práctica.

La presente investigación buscara desarrollar una herramienta de aprendizaje que engloba 3 bancos de laboratorio para su estudio en distintas aplicaciones mecánicas. En otras palabras, este trabajo busca darle solución a la medición de torque en 3 distintas problemáticas presentadas por distintos equipos presentes en el laboratorio de diseño en la escuela de ingeniería mecánica.

La segunda sección presenta el marco teórico de partida para empezar a abordar el proyecto, aquí se presentan los conceptos básicos de torque y se recopilan los distintos métodos de medición de torque, por otra parte, también se presentan las herramientas para medición de torque estático.

La tercera sección revela los bancos de laboratorio propuestos, principios de funcionamiento finales con esquemas explicativos, cambios de paradigma o enfoque, razones, además también se tratan los detalles generales de las maquinas según corresponda y su estado actual

La cuarta sección expone el aspecto final del diseño para cada banco, para luego ahondar en la evolución a través de distintas fases hasta alcanzar esta apariencia final, además de que revelan los causales más importantes para generar algunos de los cambios de fase en fase.

La quinta sección se centra en los dimensionamientos, selecciones de diseño y verificaciones de resistencia más importantes, desde cálculos puramente teóricos en las piezas más simples, hasta simulaciones con ayuda de Solidworks para las piezas más complejas; ya en la sexta sección se constatan algunos aspectos como dimensionamiento y posicionamiento, se prueban los métodos de medición las pruebas realizadas a las construcciones físicas para validar que efectivamente los principios de funcionamientos propuestos funcionan y se detallan diferencias respecto al diseño con sus razones.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

- ❖ Diseñar una herramienta de aprendizaje con la cual se estudie a través de distintas experiencias la medición de la variable torque, tanto estático como dinámico, en distintos bancos del laboratorio de diseño.

1.2 Objetivos Específicos

- ❖ Diseñar la herramienta de aprendizaje para la medición de la variable torque, con las siguientes características en:
 - ✓ Torque Estático
 - Dispositivo de medición hasta los 146 N-m, que corresponde al par de apriete de un tornillo hexagonal de ½” galvanizado bajo la norma ASTM A-325, con el principio de funcionamiento de un torquímetro de aguja.
 - ✓ Torque Dinámico
 - Dispositivo de medición con rango de 0 a 2.28 N-m que corresponde al torque de un taladro de mano de 500W con una velocidad de giro de 0 a 2800 rpm, realizándose la recolección y disposición de los datos a través de medios electrónicos con el uso de Arduino, además el dispositivo funciona bajo el principio de celdas de carga.

- Dispositivo de medición con rango de 0 a 10.6 N-m que corresponde al torque de un motor eléctrico de 2 HP con una velocidad entre 0 y 1800 rpm, realizándose la recolección y disposición de los datos a través de medios electrónicos con el uso de Arduino, además el dispositivo funciona bajo el principio de celdas de carga

- ❖ Generar experiencias prácticas en los distintos bancos de laboratorio seleccionados, orientadas al aprendizaje y comprensión de la naturaleza de la variable torque en su faceta estática y dinámica; apoyando estas experiencias con documentación didáctica como guía de laboratorio, haciendo hincapié en evidencias del uso del torque como instrumento de diseño.

- ❖ Mostrar a través de modelos a computador la apariencia del entorno experimental en relación a cada uno de los bancos de laboratorio y las adecuaciones respectivas de la herramienta de aprendizaje para el preciso desarrollo de las experiencias propuestas, apoyado en una documentación a forma de instructivo con los procedimientos de montaje de la herramienta de aprendizaje en los respectivos bancos de laboratorio.

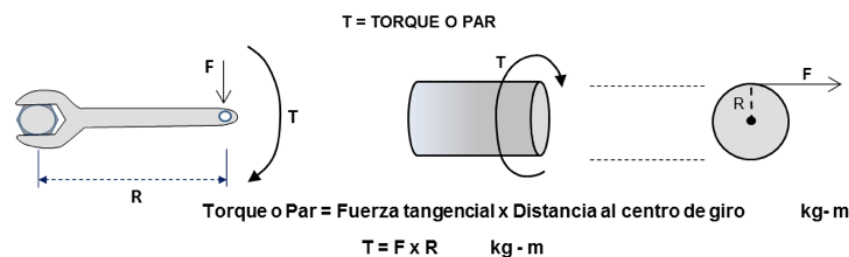
2. Marco Teórico

2.1 Torque

El torque se refiere a la magnitud con la que se mide la propiedad de la fuerza aplicada en un cuerpo rígido con la que dicho cuerpo rota o tiende a girar en torno a un punto o eje. En la Figura 1 entonces se puede observar a la izquierda el uso de una herramienta interna para directamente generar un torque sobre una pieza, y a la derecha el torque generado en un eje, el mismo está compuesto entonces por una distancia desde el punto de aplicación de la fuerza hasta la ubicación del centro de giro, la fuerza misma y el útil en cuestión.

Figura 1

Esquema con los componentes que conforman el torque



Nota. Tomado de *¿Cuál es el funcionamiento de un motorreductor?*, por paradacreativa, 2011, tercesa (<https://tercesa.com/noticias/funcionamiento-motorreductor>).

2.2 Técnicas de Medición

Para la medición de torque existen multitud de aproximaciones que se pueden tomar, en aplicaciones específicas se prefieren unas por encima de otras, pero en general todas acompañadas por un excelente diseño e implementación en un dispositivo son completamente funcionales y precisas, se tiene entonces:

2.2.1 A Partir de la Energía Eléctrica

Esta medición se centra en el cálculo a partir de la velocidad de rotación y la energía eléctrica con la que se alimenta a la maquina objeto de estudio, en general es un método con una aproximación bastante directa pero que puede inducir a errores de tamaño considerable debido a la incapacidad de tomar en cuenta disipaciones de energía que en su mayoría toman la forma de calor. Por otro lado, la ventaja es fácilmente observable, el que sea incensario intervenir con instrumentos mecánicos el tren de potencia.

Los problemas al utilizar este método se pueden reducir con la realización de estudios con el objeto de averiguar la cantidad de energía que se pierde, para esto se pueden realizar análisis a través de sensores de temperatura y derivar relaciones para determinar el aumento de temperatura con la transferencia de calor en la máquina, pero comúnmente en el ámbito industrial se buscan métodos efectivos que automáticamente muestren respuesta a cambios en la maquina sin necesidad de conducir estudios cada vez.

Un aspecto más a tener en cuenta es que este método solo podrá proporcionar una información aproximada en el área dinámica principal, es decir, en el tren de potencia, pero si se necesita información en otro punto de la maquina con motivos de inspección o alguna otra razón, no se puede obtener información a través de este método (Schicker & Wegener, 2002).

Para la medición de las rpm se puede acudir a distintas alternativas, una puede ser el uso de un fotosensor, ya que los mismos emiten una luz de un lado a otro del sensor, si la misma es interrumpida la señal de salida cambia, utilizando esto se puede realizar un conteo de cada cuanto se interrumpe el infrarrojo (BALLUFF) y calcular la velocidad de rotación del eje, esto se puede realizar con arreglos de una aleta sobre el eje que gira su paso por el medio del fotosensor.

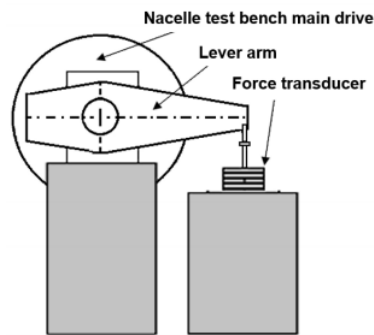
2.2.2 Medición de Torque Reactivo con el Uso del Principio de Palanca

Para realizar la medición de torque reactivo en algunas aplicaciones se puede usar como alternativa sensores de fuerza o celdas de carga.

Para lograrlo se utiliza el principio de palanca, para el cual antes de su implementación se debe analizar la maquina debido a la posibilidad de que en realidad no exista la necesidad de realizar montajes externos con el fin de lograr montar un brazo al cual instalar el sensor de torque ya que debido al diseño de la maquina ya se cuenta con una zona de este tipo. Así luego de la instalación, el sensor toma el respectivo dato de fuerza, y se puede deducir la información del torque al usar la distancia (el “brazo” o “palanca”) a la cual se instaló el sensor. En la Figura 2 se muestra el esquema básico de la utilización de un transductor de fuerza en este tipo de arreglo, específicamente realizado para la aplicación en un banco de pruebas de góndola.

Figura 2

Esquema de colocación para medición de torque reactivo



Nota. Tomado de *TORQUE TRACEABILITY FOR NACELLE'S TEST BENCHES: A DESIGN PROPOSAL* (p. 02), por R. Lorente, N. Medina, M. Sáenz, Miguel Angel, 2017, IMEKO 23rd TC3, 13th TC5 and 4th TC22 International Conference.

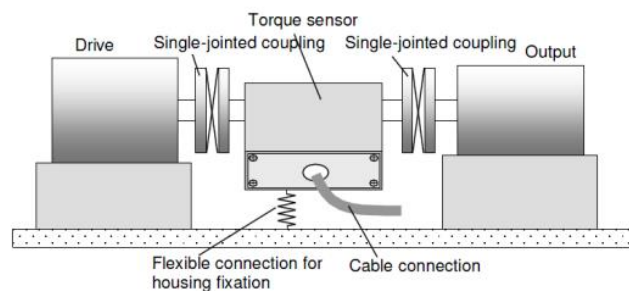
Aunque en principio este método solo es usado en admisiones de torque en aplicaciones no rotativas, si se realizan ciertos ajustes al diseño se puede llevar a mediciones en entornos en movimiento, donde se logra la transmisión de fuerza a través de un montaje específico. Ejemplo de uno de estos montajes aparece con el uso de una abrazadera de fricción anclada al eje (con su respectiva acople para evitar dañar o interferir el movimiento del mismo), que a su vez en un extremo se encuentra en contacto con una celda de carga; al iniciar la rotación, el intento a moverse de la abrazadera provocara una deformación en el extremo de la celda de carga y a través del principio de palanca, conociendo la distancia a la que se colocó, se puede realizar un cálculo aproximado del torque (Joel. [Integza], 2019).

2.2.3 Medición de Torque en Línea

Este método aborda la intervención mecánica en la línea de potencia, a través del montaje de un sensor de torque entre la zona conducida y el motor como se observa claramente en la Figura 3.

Figura 3

Ejemplo de montaje de sensor en una línea de potencia



Nota. Tomado de Puesta en marcha de un banco de ensayos para vehículos híbridos propulsados mediante pilas de combustible (p. 68), por J. Muñoz, 2011.

El origen de la señal captada por el sensor se puede originar de un número considerable de principios:

- Neumática e Hidráulica
- Interpretar una deformación elástica en:
- Capacitancia
- Inductancia, esta se utiliza principalmente en transductores de tipo electromagnético, donde se relaciona una señal de diferencia de inductancia en función del esfuerzo torsional.
- Resistencia
- Rigidez

1.2.4 Galgas Extensométricas en Medición de Torque

Como se comentó anteriormente, el origen de la señal en sensores de torque es variado, y las galgas extensométricas se establece como uno de los transductores más implementados en este tipo de aplicaciones. Los usos de sensores bajo el uso de galgas se centran en el uso de sus propiedades de rigidez, realizando una medición tomando como base las señales eléctricas enviadas por la deformación que sufre la galga instalada. Cabe destacar que en el área comercial el uso de galgas extensométricas y la interpretación de su deformación a través de resistencia es la propuesta más utilizada para la medición de torque. En la Figura 4 se expone un ejemplo de galga que ofrece HBM en su banco de productos para la implementación en transductores.

Figura 4

Galgas de serie U y A ofrecidas por HBM



Nota. Tomado de Galgas extensométricas para transductores series A y U: para construir transductores con la máxima precisión y calidad, por HBM, HBM (<https://www.hbm.com/es/8277/galgas-extensometricas-para-transductores-series-a-y-u>).

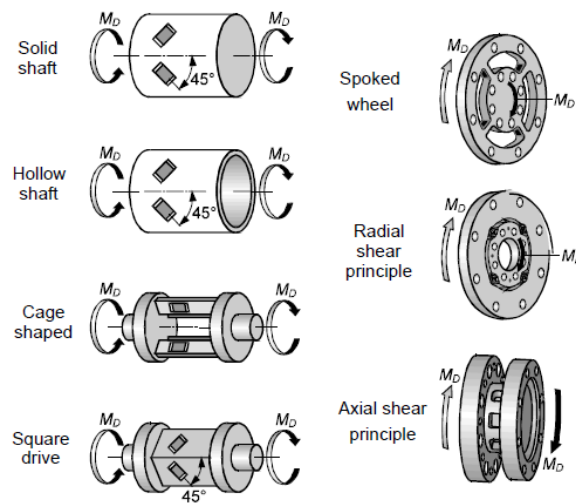
Las galgas a abordar son las diseñadas y comercializadas en este tipo de aplicaciones por la empresa HBM, las principales características que tienen son (2002):

- Tienen un excelente desempeño en relación a linealidad, reproducibilidad e histéresis. Lo anterior tomando en cuenta que se utilice el puente de medición de tensión implementando las galgas con el puente de Wheatstone y sus formas para reducir en lo posible interferencias de otras variables.
- Se pueden medir momentos dinámicos y estáticos
- Estables bajo cargas alternas
- Pueden ser usadas bajo un intervalo amplio de temperaturas
- El torque puede ser medido sin importar el sentido de rotación del eje

Las galgas a su vez pueden ser implementadas con otros montajes y configuraciones para el desarrollo de transductores más efectivos, desde 1990 los transductores producidos por HBM son hechos bajo el principio corte, es decir, el uso de “mitades de viga” que pueden ser utilizadas como elementos de corte con fines metrológicos (Schicker, como se cito en Schicker y Wegener, 2002). A continuación, en la Figura 5 se presentan los arreglos más comunes dependiendo del tipo de eje aplicado.

Figura 5

Disposiciones geométricas de transductores de torque mas comunes



Nota. Tomado de *Measuring Torque Correctly* (p. 19), R. Schicker, G. Wegener, 2002, HBM.

2.2.3 Clasificación de Herramientas con Relación a la Faceta Estática del Torque.

Para herramientas de mano de ensamble de tornillos y tuercas se cuenta con la norma NTC - ISO 6789:2016 (Última edición en 2019), donde se especifican los requisitos y métodos de ensayo para la determinación de la conformidad del diseño, de la calidad y el procedimiento de la calibración, adicionalmente se anexa una clasificación para las herramientas. Se tienen entonces 2

grupos, el primero enmarca las herramientas indicadoras de torque (Figura 6) y el segundo engloba las herramientas de ajuste de torque (Figura 7).

Figura 6

Herramientas Tipo I

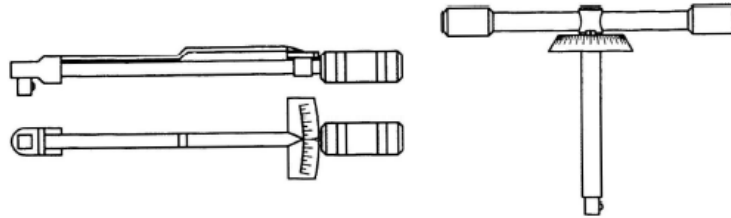


Figure A.1 — Class A: wrench, torsion or flexion bar

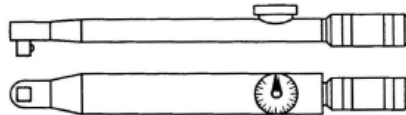


Figure A.2 — Class B: wrench, rigid housing, with scale or dial or display

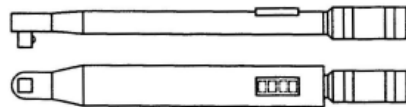


Figure A.3 — Class C: wrench, rigid housing and electronic measurement

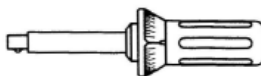


Figure A.4 — Class D: screwdriver, with scale or dial or display

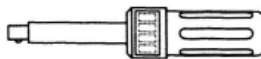


Figure A.5 — Class E: screwdriver, with electronic measurement

Nota. Tomado de *NTC-ISO 6789*, por NTC, 2003.

Figura 7

Herramientas Tipo II

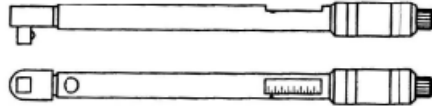


Figure B.1 — Class A: wrench, adjustable, graduated or with display

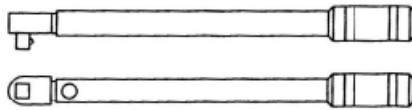


Figure B.2 — Class B: wrench, fixed adjustment

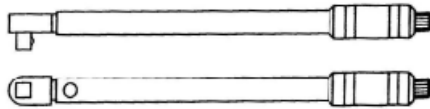


Figure B.3 — Class C: wrench, adjustable, non-graduated

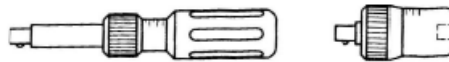


Figure B.4 — Class D: screwdriver, adjustable, graduated or with display

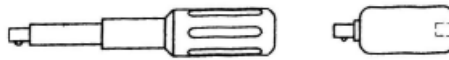


Figure B.5 — Class E: screwdriver, fixed adjustment

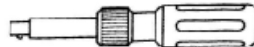


Figure B.6 — Class F: screwdriver, adjustable, non-graduated

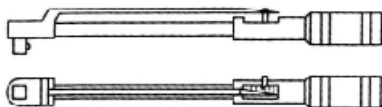


Figure B.7 — Class G: wrench flexion bar, adjustable, graduated

Nota. Tomado de *NTC-ISO 6789*, por NTC, 2003.

3. Propuesta Bancos de Laboratorio

En la presente sección se revelan los bancos de laboratorio propuestos y su estado actual, información como: el estado de las maquinas, objeto de uso en el laboratorio y relación actual con mediciones de torque son algunas de las características a exponer en este apartado; se revela a grandes rasgos la ubicación de las prácticas de laboratorio y las características de referencia de las maquinas involucradas, además se revela el principio de funcionamiento por el cual el banco respectivo funciona, detallándose entonces el principio final de funcionamiento en la última fase de diseño, mostrándose los elementos clave involucrados en la medición, tanto físicos como electrónicos.

3.1 Banco de Apriete Estático

Las aplicaciones de torque estático en montajes son bastante análogas unas a otras y básicamente implican que no haya presencia de una aceleración angular, así pues, su configuración más simple se puede observar en la fijación de elementos metálicos a través de tornillos u elementos similares, esto determina un camino concreto hacia el cual desarrollar este diseño.

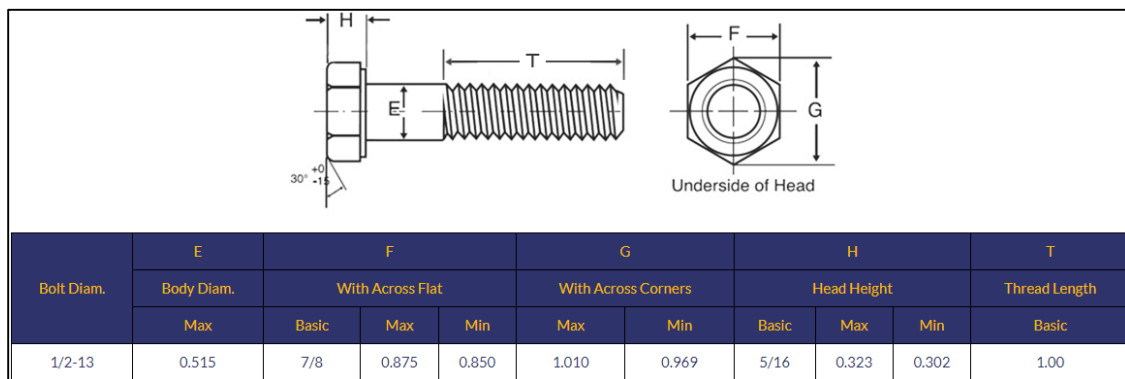
Con este tipo de montaje se hace posible definir el punto de partida con el que se cuenta en el laboratorio de diseño de la escuela de ingeniería de mecánica, en el cual no se encuentran bancos o instalaciones que se puedan aprovechar para realizar diseños externos o alguna modificación con el objetivo de estudiar el torque estático. En otras palabras, este caso implica el diseño completo del banco donde se realizarán las practicas.

La definición del diseño implica tener en claro las especificaciones para el mismo, es así que se propone un banco de laboratorio para evaluar el torque estático presente al realizar uniones atornilladas, específicamente al atornillar un perno Grado A325 de ½” de diámetro, en este punto se debe realizar una aclaración, al mirar un poco más en profundidad acerca de la información del

perno, se encontró que la norma A325 fue desechada hace unos años y fue incluida en una norma que abarca más tipos de pernos, el perno entonces se puede encontrar bajo la norma F3125 Grado A325, teniendo esto claro, la Figura 8 describe la información dimensional para este.

Figura 8

Perno F3125 Grado A325 de 1/2"



Nota. Tomado de *ASTM A325 (F3125)*, Precision Bolts (<https://www.precisionbolts.net/astm-f3125-a325/>).

Por otra parte, sus requerimientos de torque bajo esta norma siguen siendo los mismos especificados para la anterior, siendo 146 N*m, requerimiento importante a tener en cuenta, ya que el banco a diseñar debe resistir este nivel de cargas.

La práctica entonces expande un poco en el concepto de torque en elementos atornillados y se deciden establecer 2 tipos de estudio, contrario a solamente uno como se tenía planeado con anterioridad, el primero precisamente se refiere al estudio previo relacionado al apriete entre placas, y el segundo estudio relacionado al torque generado por la fricción que aparece durante el atornillado. Así mismo, la practica propone la construcción de un torquímetro casero por parte del estudiante para la realización de la misma y generar una comparación entre el objeto construido y

un torquímetro real. En relación al tipo de torquímetro a usar, se decide usar el torquímetro de aguja (Figura 9).

Figura 9

Torquímetro de aguja

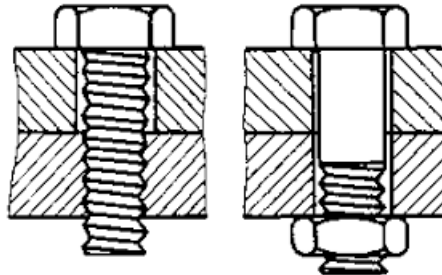


Nota. Tomado de *Torquímetro de Aguja 0-140 N.m - Encastre 1/2" Tramontina PRO*, por Tramontina (<https://www.tramontina.com.br/es/p/44500140-451-torquimetro-de-vareta-0-140-nm-encaixe-12>).

La selección de este tipo de torquímetro se debe a la simplicidad de su método de medición, donde relaciona la deflexión en su extremo con un torque específico señalado sobre la caratula.

3.1.1 Estudio del Apriete entre Juntas

La realización de este estudio no se refiere más que a la disposición de dos placas (Figura 10), ancladas al banco para realizar el apriete entre estas, la única disposición necesaria referente al banco en este caso, recae a una resistencia suficiente del mismo al momento de realizar este apriete entre las placas. La Figura 10 presenta las dos situaciones más comunes al realizar el apriete entre placas, en la izquierda se observa el apriete entre placa roscada y placa pasante, y en la derecha se observa el apriete de dos placas pasantes utilizando una tuerca en el extremo contrario para generar el apriete. El método a utilizar en el banco será el de la izquierda.

Figura 10*Unión con Tornillos*

Nota. Tomado de *Uniones con tornillos - Curso: Ajuste y montaje de piezas sueltas en grupos de estructuras sencillas. Material de trabajo para los aprendices*, por Department of Computer Science, University of Waikato, New Zealand (<http://www.nzdl.org/cgi-bin/library.cgi?e=d-00000-00---off-0gtz--00-0---0-10-0---0---0direct-10---4-----0-11--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0-0-11-1-0utfZz-8-00&a=d&cl=CL1.3&d=HASH01bba03eca883b9b19e97189.9>).

La Figura 11 presenta el cambio del torque por ángulo de avance en el proceso de roscado de tornillo para la formación de uniones entre juntas, los intervalos del 2 al 4 describen el proceso de apriete desde justo antes de que la cabeza del perno entre en contacto con la placa (Alignment) hasta que se realiza la unión y se produce deformación (Post Yield), en este caso, interesa el estado 3, fase que se refiere al proceso de apriete entre placas hasta el torque máximo de apriete especificado para el perno, así mismo se caracteriza por un comportamiento elástico durante este estado. Por otra parte, al superar este valor se inicia el cuarto estado, en el cual se produce deformación plástica, este último estado no compete para el estudio de torque planteado en esta práctica.

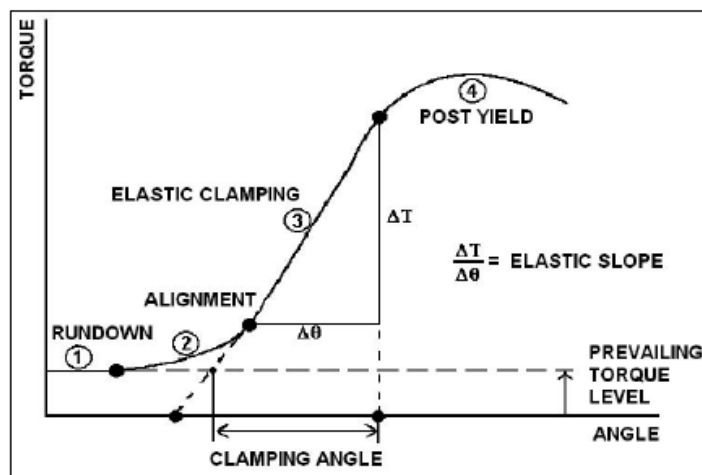
3.1.2 Estudio de Torque por Resistencia al Atornillar

Para entender este estudio hay que remitirse de nuevo a la Figura 11, donde compete para este estudio el estado 1: “Rundown”, el cual se refiere al proceso puro de atornillado, en este proceso el torque aparece como respuesta a la fuerza de rozamiento entre los filetes, y se mantiene

constante debido a que no hay cambios de una superficie a otra. El estudio en esta práctica se centra entonces en generar una resistencia al atornillado de manera gradual, y de esta manera incrementar la fuerza de fricción entre las superficies de los filetes, lo que resulta en necesitar un par mayor para realizar el giro.

Figura 11

Grafica de torque durante el proceso de apriete

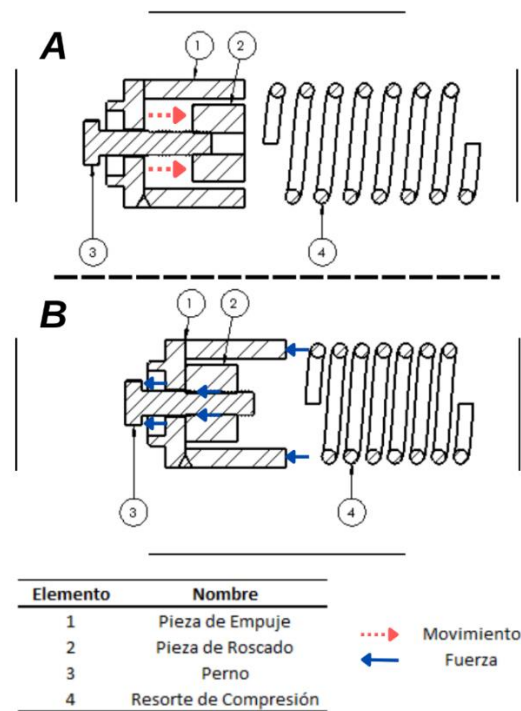


Nota. Tomado de *Engineering Fundamentals of Threaded Fastener Design and Analysis* (p. 03), por Ralph S. Shoberg, 2010.

De acuerdo a lo antes planteado, para permitir el funcionamiento del banco se selecciona al resorte de compresión como herramienta mecánica que generara la resistencia necesaria para incrementar el par de atornillado. La Figura 12 muestra a grandes rasgos este principio de funcionamiento, el Elemento 1 carga el Perno y empuja el Elemento 4, de esta manera a medida que se realiza el roscado en el Elemento 2, la fuerza de oposición del resorte de compresión a ser deformado se transmite a los filetes de rosca entre el Perno y el Elemento 2.

Figura 12

Resorte como resistencia al movimiento de atornillado



Nota. El estado A refleja el momento inicial del atornillado donde el resorte de compresión aun esta en longitud libre, por otro lado, el estado B muestra el perno completamente atornillado y el resorte en una posición deformada, esto provoca que se transmita la fuerza cargada del resorte a través del Elemento 1 hasta la cabeza del perno, este al encontrarse atornillado transmite así mismo esta fuerza al Elemento 2 a causa del contacto entre filetes. Cabe aclarar que el Elemento 2 se encuentra fijo.

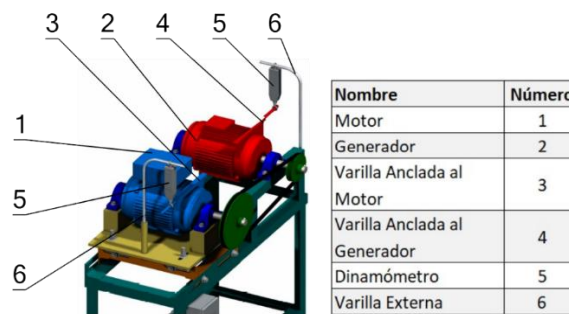
Se abordará en detalle las relaciones de fuerza y diagramas de cuerpo libre que describen esta relación entre la fuerza que opone el resorte y el torque necesario para atornillar en el Capítulo 4.

3.2 Banco de Transmisiones Flexibles

Este banco se encuentra presente en el laboratorio de diseño, consta de un motor y un generador, la transmisión entre ambos la realiza una polea de correas planas (Figura 13).

Figura 13

Componentes banco de transmisiones flexibles



Nota. Tomado de *Banco de Pruebas para transmisiones de Elementos Flexibles* (p. 76), por Orduz, J. Alvarez, H. 2004.

Como se ve en la Figura 13, el motor y generador además se encuentran en voladizo, siendo soportados por dos cojinetes en los extremos de sus ejes, la razón de esto es que este banco de pruebas fue concebido precisamente para realizar mediciones de torque, con cálculos consiguientes de potencia y de la transmisión utilizada como parte de la experiencia; como las mediciones de torque se requieren a la salida y entrada del sistema, ambos lados del motor y el generador cuentan con unas varillas externas con un dinamómetro que permite realizar una conexión a otra varilla que sale de la carcasa de las máquinas para realizar las mediciones correspondientes de carga.

Esta imagen lo que muestra no es más que modelos CAD que permiten observar completamente el estado original del banco y como cumple su función, la razón de esto es que con el paso del tiempo este se ha deteriorado y los elementos que servían de adecuación para recoger

los datos ya no se pueden usar, principalmente las varillas unidas a la carcasa del motor están dobladas y no permiten anclar el movimiento del mismo al ponerse en funcionamiento. La Figura 14 muestra a la izquierda el banco de transmisiones flexibles y a la derecha una vista cercana de la sección del motor, específicamente a la varilla unida al motor.

Figura 14

Fotos banco de pruebas



Conociendo esta información, la practica propuesta para este banco se va a enfocar en la zona del motor debido a que se cuenta con una placa de apoyo para realizar los montajes necesarios, cosa que no permite hacer la zona del generador ya que se encuentra totalmente descubierta en la parte inferior.

Se cuenta entonces con un motor de 2 HP y de 1800 rpm, el estudio sobre este va a constar de una recolección de los datos de torque y RPM para realizar el respectivo cálculo de potencia y a continuación comparar los resultados con los datos de referencia (referencia a guía laboratorio).

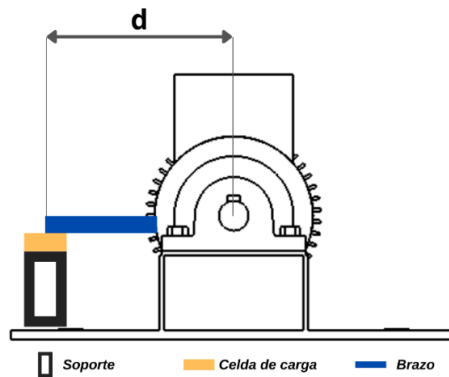
3.2.1 Medición de Torque

Este dato es recogido usando el principio de palanca, método similar al usado previamente con los dinamómetros; como se observa en la Figura 15, se cuenta con un brazo anclado a una

celda de carga, y a través de los datos de fuerza recogidos por esta se realiza el cálculo de torque usando la distancia a la que se posiciona el brazo del eje central.

Figura 15

Esquema general de elementos involucrados en medición de Torque



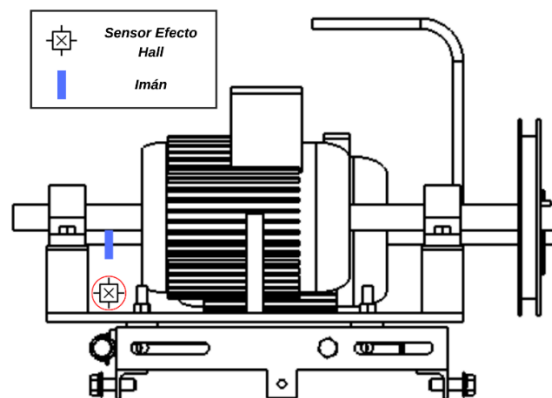
El diseño de este banco entonces se centra en las adecuaciones necesarias para realizar la recolección de datos, es decir, en los soportes y el “brazo”.

3.2.2 Medición de RPM

Este dato es recogido utilizando un sensor de efecto hall posicionado en la zona inferior del eje (Figura 16).

Figura 16

Esquema ubicación sensor medición RPM



3.3 Banco con Taladro de Mesa

Esta propuesta, contraria a las demás, tuvo en su desenvolvimiento una transformación hacia una dimensión mucho mayor, inicialmente se toma como base proponer la medición sobre un taladro de mano, y finalmente esta propuesta evoluciona hacia un planteamiento realizado en un taladro de mesa.

3.3.1 Inicios: Taladro de Mano

La propuesta inicial toma esta herramienta como eje principal sobre la cual realizar la práctica de laboratorio sobre medición de torque. Las especificaciones iniciales de referencia eran: un taladro de mano de 500 W y 2800 rpm, para el cual entonces se esperaba el diseño de una herramienta de aprendizaje de medición de torque dinámico con un rango entre 0 y 2 N-m. Las razones para descartar finalmente este tipo de estudio se centran principalmente en que se cuenta con un taladro de banco en el laboratorio, y posibles montajes sobre este serán más estables, tendrán facilidad y opciones más amplias de espacio para su montaje.

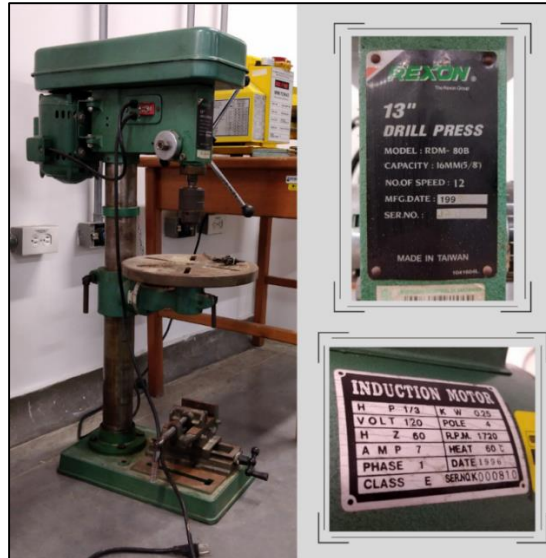
3.3.2 Conclusión: Taladro de Mesa

El siguiente paso al taladro de mano se encuentra entonces en el taladro de banco, para el cual se tiene la facilidad, como se dijo anteriormente, de contar con uno de estos en el laboratorio de diseño de la escuela de ingeniería mecánica. El cambio implica el cambio de los requerimientos de torque, principalmente debido a que se pueden taladrar materiales con más dureza, este cambio y cálculo de los requerimientos específicos se puede encontrar en el Capítulo 4, en la sección reservada para el banco con taladro de mesa.

Para el establecimiento de este banco se cuenta como se ve en la Figura 17 con un taladro con una capacidad de hasta 5/8" y un motor de inducción con 1/3 HP y 1720 rpm.

Figura 17.

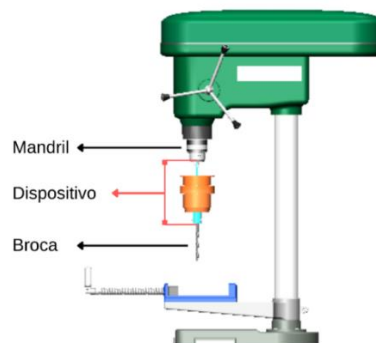
Fotos banco de taladro y especificaciones



El estudio en este caso se va a centrar en la recolección de datos mientras se realiza el proceso de taladrado, para esto se plantea el uso de un dispositivo ubicado entre el mandril y la broca como se ve en la Figura 18.

Figura 18

Ubicación de dispositivo en taladro

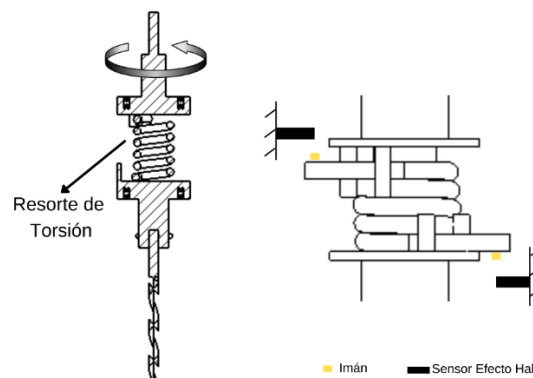


Este dispositivo entonces cumple dos funciones: recoger los datos de torque y de RPM. Las ideas iniciales giraban en torno al uso de celdas de carga de forma directa como elemento sensor de fuerza, ya para el diseño final el principio de funcionamiento para este banco toma precisamente la base en la que se fundamentan las celdas de carga para realizar captación de datos, como fuente de inspiración: la deformación.

El principio de funcionamiento final del dispositivo instalado en el taladro está centrado en un resorte de torsión, como se mencionó anteriormente, la idea de su uso viene precisamente de la “deformación” como palabra clave, esto se traslada a este caso como la medición de la deformación angular producida en el resorte que actúa como conexión entre dos ejes transmitiendo el torque (Figura 19).

Figura 19

Esquema general ilustrando elementos para medición en banco taladro



Como se ve en la Figura 19, esta medición se realiza a través de dos sensores de efecto hall anclados a la carcasa, ambos ubicados por sobre los brazos del resorte de torsión; el principio es simple, mientras está en funcionamiento el taladro genera una ligera deformación en el resorte la cual se ve reflejada en pequeños espacios de tiempo entre el paso de los brazos del resorte por los sensores, utilizando la medición de estos tiempos se puede calcular cuánto se deforma

angularmente el resorte y además generar una relación con el torque, este sistema se detalla en el Capítulo 4.

4. Evolución Diseño Concepto

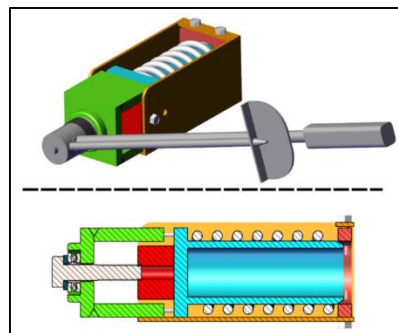
En el presente capítulo se revela el proceso de diseño de concepto para cada banco, el cómo evoluciona a través de distintas fases hasta alcanzar la apariencia final, los causales más importantes para generar algunos de los cambios de fase en fase, etc. Cada evolución o cambio significativo recibe el título de “Fase” y se generan de acuerdo a cambios considerables realizados al diseño en un orden cronológico. Al inicio de la sección para cada banco de laboratorio se presenta la imagen final del diseño, esta imagen cumple una función plenamente expositiva para tener una referencia al momento de avanzar por la línea temporal del diseño, al final de esta línea se haya esta misma imagen inicial, ahí se señalarán los elementos necesarios y se harán las aclaraciones correspondientes.

4.1 Banco De Apriete Estático

La Figura 20 expone la apariencia final del diseño para este banco de laboratorio.

Figura 20

Diseño final del banco de apriete estático



A continuación, las Figuras 21, 22 y 23 reflejan el registro del proceso de diseño.

Figura 21

Fase 1 y 2 del proceso de diseño para banco de apriete estático

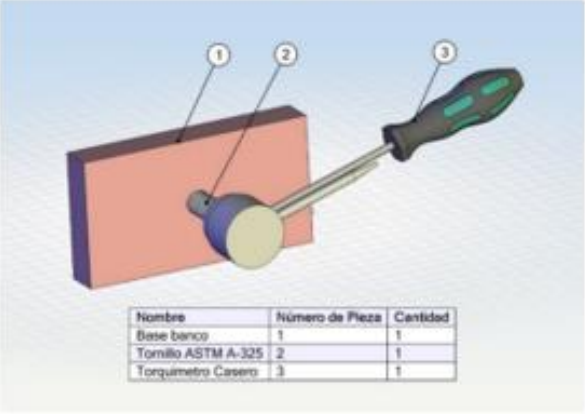
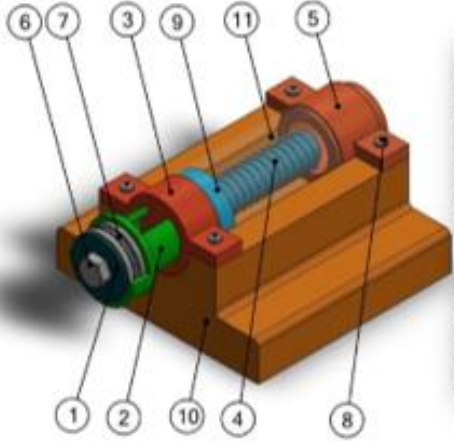
Fase	Comentario	Diseño																																				
1	<p>Este fase del diseño es bastante escueta, solo se tiene claridad en generar una union atornillada, eso se refleja con los elementos presentes: una placa, el perno y el torquimetro</p>	 <table border="1" data-bbox="1241 756 1566 829"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Número de Pieza</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Base banco</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td> Tornillo ASTM A-325</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Torquimetro Casero</td> <td>3</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Nombre	Número de Pieza	Cantidad	Base banco	1	1	Tornillo ASTM A-325	2	1	Torquimetro Casero	3	1																								
Nombre	Número de Pieza	Cantidad																																				
Base banco	1	1																																				
Tornillo ASTM A-325	2	1																																				
Torquimetro Casero	3	1																																				
2	<p>En esta fase ya se introduce el concepto de "Resistencia" a través del resorte de compresion; además inicialmente se pensaba en geometrias mas curvas para el diseño. Las geometrias para las Piezas 2 y 3, correspondiendose entre si para asi poder pasar una a traves de la otra y empujar la Pieza 9.</p>	 <table border="1" data-bbox="1545 967 1892 1325"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Número de Pieza</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arandela</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Elemento de Empuje</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Placa Roscada</td> <td>3</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Resorte de Compresión</td> <td>4</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Guia Posterior</td> <td>5</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Perno ASTM F3125 Grado A325</td> <td>6</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Rodamiento Axial</td> <td>7</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Tornillo de Sujeción</td> <td>8</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Soporte del Resorte</td> <td>9</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Base</td> <td>10</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Cubierta de Vidrio</td> <td>11</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Nombre	Número de Pieza	Cantidad	Arandela	1	1	Elemento de Empuje	2	1	Placa Roscada	3	1	Resorte de Compresión	4	1	Guia Posterior	5	1	Perno ASTM F3125 Grado A325	6	1	Rodamiento Axial	7	1	Tornillo de Sujeción	8	4	Soporte del Resorte	9	1	Base	10	1	Cubierta de Vidrio	11	1
Nombre	Número de Pieza	Cantidad																																				
Arandela	1	1																																				
Elemento de Empuje	2	1																																				
Placa Roscada	3	1																																				
Resorte de Compresión	4	1																																				
Guia Posterior	5	1																																				
Perno ASTM F3125 Grado A325	6	1																																				
Rodamiento Axial	7	1																																				
Tornillo de Sujeción	8	4																																				
Soporte del Resorte	9	1																																				
Base	10	1																																				
Cubierta de Vidrio	11	1																																				



Figura 22

Fase 3 y 4 del proceso de diseño para el banco de apriete estático

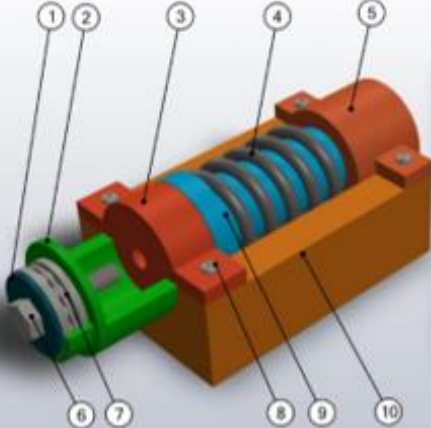
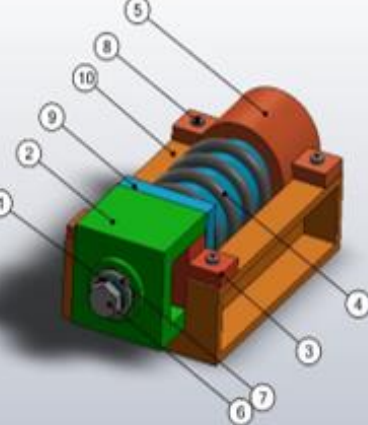
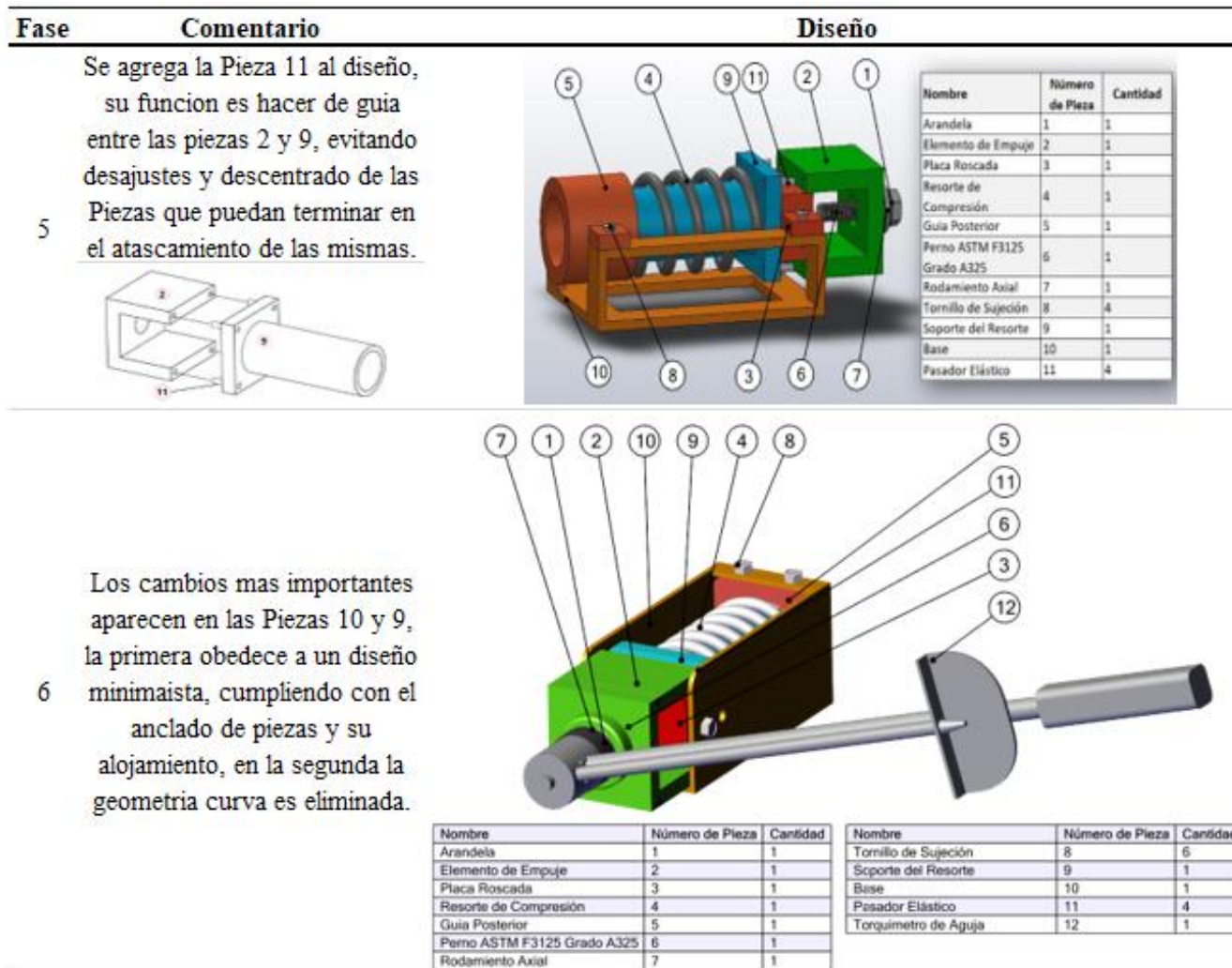
Fase	Comentario	Diseño																																	
3	<p>Se realizan algunos cambios de geometría a las Piezas 2 y 3 para permitir una mayor facilidad en su manufactura, por otra parte a la Pieza 10 se le reduce su voluminosidad. Cabe aclarar que la pieza 3 tiene un agujero roscado para el realizar precisamente el atornillado del perno y por consiguiente el estudio en la práctica.</p>	 <table border="1" data-bbox="1478 526 1780 821"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Número de Pieza</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Arandela</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>Elemento de Empuje</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Placa Roscada</td><td>3</td><td>1</td></tr> <tr><td>Resorte de Compresión</td><td>4</td><td>1</td></tr> <tr><td>Guía Posterior</td><td>5</td><td>1</td></tr> <tr><td>Perno ASTM F3125 Grado A325</td><td>6</td><td>1</td></tr> <tr><td>Rodamiento Axial</td><td>7</td><td>1</td></tr> <tr><td>Tornillo de Sujeción</td><td>8</td><td>4</td></tr> <tr><td>Soporte del Resorte</td><td>9</td><td>1</td></tr> <tr><td>Base</td><td>10</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Nombre	Número de Pieza	Cantidad	Arandela	1	1	Elemento de Empuje	2	1	Placa Roscada	3	1	Resorte de Compresión	4	1	Guía Posterior	5	1	Perno ASTM F3125 Grado A325	6	1	Rodamiento Axial	7	1	Tornillo de Sujeción	8	4	Soporte del Resorte	9	1	Base	10	1
Nombre	Número de Pieza	Cantidad																																	
Arandela	1	1																																	
Elemento de Empuje	2	1																																	
Placa Roscada	3	1																																	
Resorte de Compresión	4	1																																	
Guía Posterior	5	1																																	
Perno ASTM F3125 Grado A325	6	1																																	
Rodamiento Axial	7	1																																	
Tornillo de Sujeción	8	4																																	
Soporte del Resorte	9	1																																	
Base	10	1																																	
4	<p>Se adoptan geometrías rectas para facilitar la manufactura de las piezas, ya que se tiene pensado el uso de platinas con el respectivo espesor para hacer las piezas. En la imagen inferior se muestra como encajan las Piezas 2, 3 y 9.</p>	 <table border="1" data-bbox="1436 954 1738 1276"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Número de Pieza</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Arandela</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>Elemento de Empuje</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Placa Roscada</td><td>3</td><td>1</td></tr> <tr><td>Resorte de Compresión</td><td>4</td><td>1</td></tr> <tr><td>Guía Posterior</td><td>5</td><td>1</td></tr> <tr><td>Perno ASTM F3125 Grado A325</td><td>6</td><td>1</td></tr> <tr><td>Rodamiento Axial</td><td>7</td><td>1</td></tr> <tr><td>Tornillo de Sujeción</td><td>8</td><td>4</td></tr> <tr><td>Soporte del Resorte</td><td>9</td><td>1</td></tr> <tr><td>Base</td><td>10</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Nombre	Número de Pieza	Cantidad	Arandela	1	1	Elemento de Empuje	2	1	Placa Roscada	3	1	Resorte de Compresión	4	1	Guía Posterior	5	1	Perno ASTM F3125 Grado A325	6	1	Rodamiento Axial	7	1	Tornillo de Sujeción	8	4	Soporte del Resorte	9	1	Base	10	1
Nombre	Número de Pieza	Cantidad																																	
Arandela	1	1																																	
Elemento de Empuje	2	1																																	
Placa Roscada	3	1																																	
Resorte de Compresión	4	1																																	
Guía Posterior	5	1																																	
Perno ASTM F3125 Grado A325	6	1																																	
Rodamiento Axial	7	1																																	
Tornillo de Sujeción	8	4																																	
Soporte del Resorte	9	1																																	
Base	10	1																																	



Figura 23

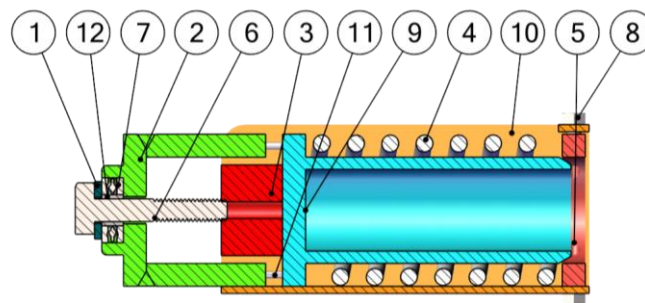
Fase 5 y 6 del proceso de diseño para banco de apriete estático



De acuerdo a lo observado, la fase final se alcanza a través de una continua simplificación de la geometría, permitiendo un movimiento guiado donde se eviten atascamientos durante el uso del banco. En la Figura 24 se observa la vista sección del banco ya vista en la Figura 20, en este caso con las respectivas partes señalizadas para profundizar un poco en la funcionalidad y respectivas relaciones de los componentes.

Figura 24

Vista sección banco apriete estático



Nombre	Número de Pieza	Cantidad	Nombre	Número de Pieza	Cantidad
Arandela	1	1	Tornillo de Sujeción	8	6
Elemento de Empuje	2	1	Soporte del Resorte	9	1
Placa Roscada	3	1	Base	10	1
Resorte de Compresión	4	1	Pasador Elástico	11	4
Guía Posterior	5	1	Buje	12	1
Perno	6	1			
Rodamiento Axial	7	1			

Por un lado, el montaje de las Piezas 1,7 y 2 hace de guía para la Pieza 6 (perno) al realizarse el apriete con el torquímetro (Pieza 12), la Pieza 7 además permite la rotación al mismo tiempo que se transfiere la fuerza generada al atornillar el perno ASTM A325. Por otra parte, la Pieza 11 permite dirigir correctamente el movimiento de las Piezas 2 y 9, evitando así desajustes entre ambos componentes.

La Pieza 10 por su parte sirve de base para la mayoría de elementos, incluyendo la Piezas 3, 4, 5 y 9. Entre estas, las Piezas 3 y 5 están ancladas a través de tornillos (Pieza 8), la primera con tornillos laterales y la segunda con pares de tornillos ubicados arriba y abajo; la Pieza 3 hace

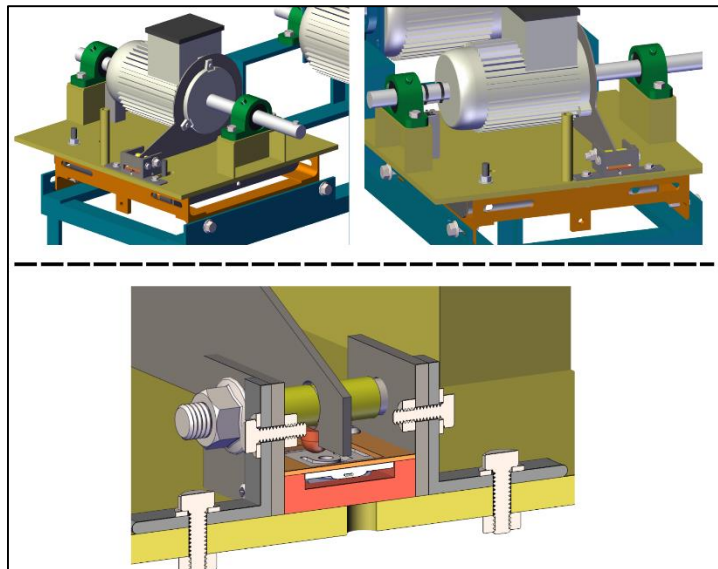
las veces de placa atornillada para el perno ASTM A325, y por último, la Pieza 5 sirve como soporte trasero para mantener en posición el resorte (Pieza 4) y permitir generar la compresión al realizarse el movimiento de la Pieza 9 en el lado contrario al realizarse el atornillado.

4.2 Banco de Transmisiones Flexibles

La Figura 25 expone la apariencia final de la medición de torque en el banco de transmisiones flexibles.

Figura 25

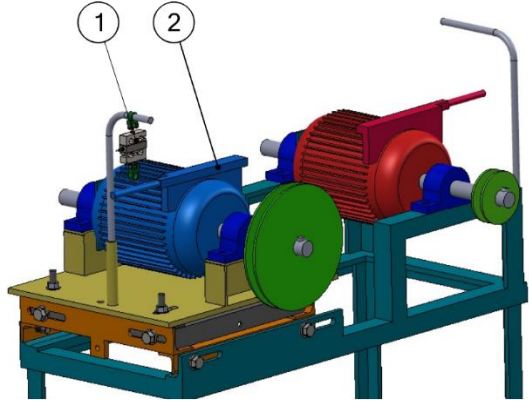
Diseño final de adecuaciones en banco de transmisiones flexibles



Como ya se explico en la propuesta para este banco, el caso de diseño pasa a ser uno de adecuacion de elementos externos sobre el banco de transmisiones flexbiles, especificamente el motor, con elementos que permitan la medicion de torque en el banco, generando de esta manera la practica “Torque en Banco de Transmisiones Flexibles”, a continuacion las Figuras 26, 27, 28 y 29 muestran el registro de cambios en cada fase del proceso de diseño.

Figura 26

Fase 1 banco de transmisiones flexibles

Fase	Comentario	Diseño
1	<p>La propuesta inicial se refería al reemplazo de los dinamómetros (comentados en el Capítulo 2) por celdas de carga de tensión (Pieza 1), este diseño usa las varillas presentes en el banco e implica el diseño de un nuevo brazo (Pieza 2) mas resistente anclado al motor.</p>	

Nombre	Número de Pieza	Cantidad
Celda de Carga por Tensión	1	1
Brazo	2	1

Figura 27

Fase 2 banco transmisiones flexibles

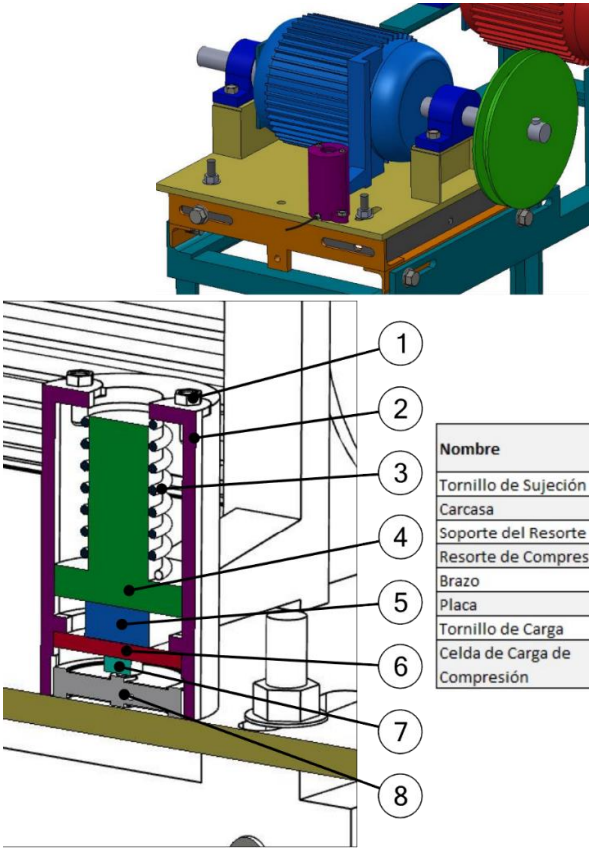
Fase	Comentario	Diseño																											
2	<p>En esta fase se descarta completamente el concepto anterior, se parte del uso de una celda de carga de compresion (Pieza 8), en este diseño el soporte externo para almacenar la celda de carga y realizar el apoyo del brazo es una carcasa (Pieza 2), esta se encuentra anclada al lateral de la placa que se encuentra debajo del motor. La medición se realiza a través del apoyo el brazo (Pieza 5), entre el brazo y la celda se encuentran 2 elementos, una placa circular (Pieza 6) y el tornillo de carga (Pieza 7), la primera se encarga de compensar irregularidades y asegurar una superficie plana, y el segundo transmite la fuerza de forma puntual a la celda de carga. Por otra parte, en la parte superior se encuentra un resorte de compresion (Pieza 3) apoyado a la parte superior de la carcasa que se encarga de amortiguar movimientos en sentido contrario del brazo producidos por la inercia en los momentos de arranque y frenado del motor.</p>	 <table border="1" data-bbox="1402 850 1780 1117"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Número de Pieza</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tornillo de Sujeción</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Carcasa</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Soporte del Resorte</td> <td>3</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Resorte de Compresión</td> <td>4</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Brazo</td> <td>5</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Placa</td> <td>6</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Tornillo de Carga</td> <td>7</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Celda de Carga de Compresión</td> <td>8</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Nombre	Número de Pieza	Cantidad	Tornillo de Sujeción	1	2	Carcasa	2	1	Soporte del Resorte	3	1	Resorte de Compresión	4	1	Brazo	5	1	Placa	6	1	Tornillo de Carga	7	1	Celda de Carga de Compresión	8	1
Nombre	Número de Pieza	Cantidad																											
Tornillo de Sujeción	1	2																											
Carcasa	2	1																											
Soporte del Resorte	3	1																											
Resorte de Compresión	4	1																											
Brazo	5	1																											
Placa	6	1																											
Tornillo de Carga	7	1																											
Celda de Carga de Compresión	8	1																											

Figura 28

Fase 3 banco de transmisiones flexibles

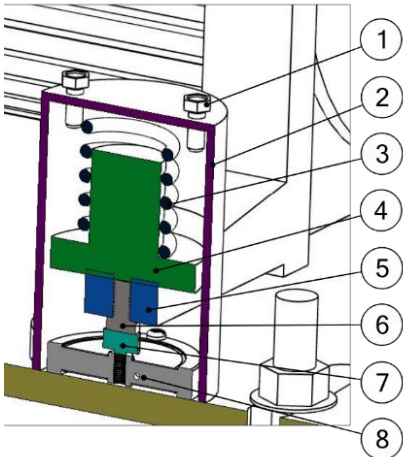
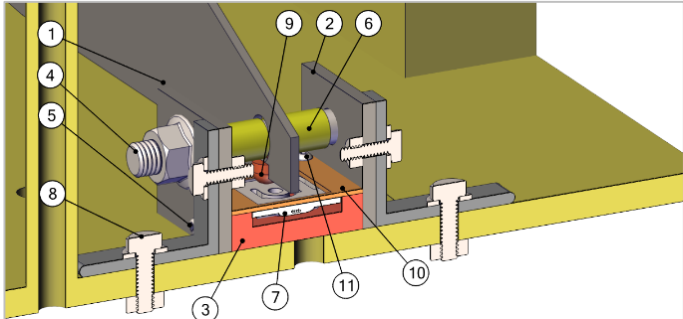
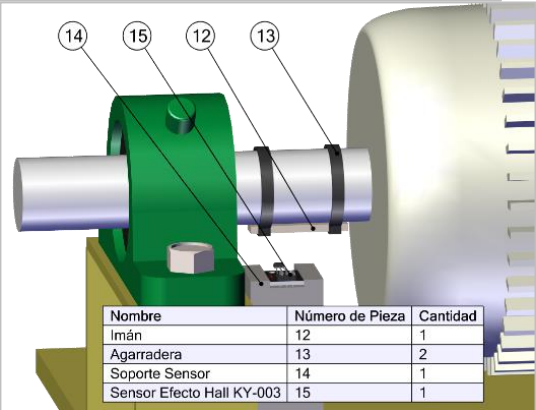
Fase	Comentario	Diseño																											
3	<p>Se retira la placa circular y se reemplaza con un tornillo atornilado en el brazo (Pieza 5), la razón de esto es la posibilidad de atascamiento entre los bordes de la placa y la carcasa (Pieza 2), este nuevo elemento se encarga de compensar la distancia hasta el tornillo de carga en caso de necesitarse. Además de esto la carcasa recibe algunos cambios geométricos.</p>	 <table border="1" data-bbox="1350 683 1770 976"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Número de Pieza</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tornillo de Sujeción</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Carcasa</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Soporte del Resorte</td> <td>3</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Resorte de Compresión</td> <td>4</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Brazo</td> <td>5</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Tornillo de Ajuste</td> <td>6</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Tornillo de Carga</td> <td>7</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Celda de Carga de Compresión</td> <td>8</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Nombre	Número de Pieza	Cantidad	Tornillo de Sujeción	1	2	Carcasa	2	1	Soporte del Resorte	3	1	Resorte de Compresión	4	1	Brazo	5	1	Tornillo de Ajuste	6	1	Tornillo de Carga	7	1	Celda de Carga de Compresión	8	1
Nombre	Número de Pieza	Cantidad																											
Tornillo de Sujeción	1	2																											
Carcasa	2	1																											
Soporte del Resorte	3	1																											
Resorte de Compresión	4	1																											
Brazo	5	1																											
Tornillo de Ajuste	6	1																											
Tornillo de Carga	7	1																											
Celda de Carga de Compresión	8	1																											

Figura 29

Fase 4 banco de transmisiones flexibles

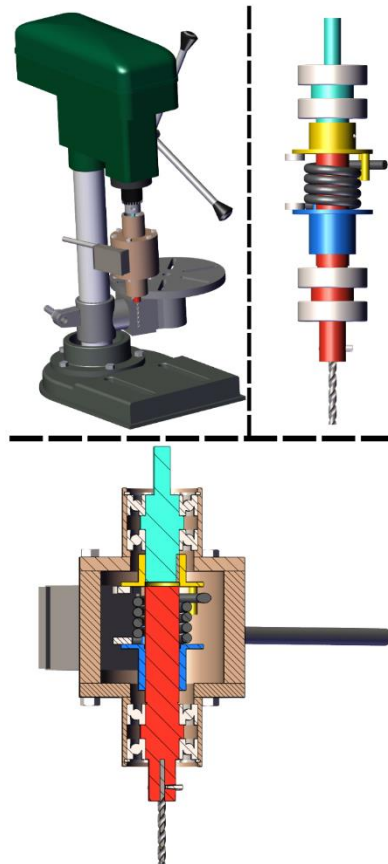
Fase	Comentario	Diseño																																																									
4	<p>Se descarta completamente el diseño previo debido a varias razones, las mas importantes son: el tipo de celda de carga usada no se encuentra con facilidad en Bucaramanga, y considerar ineficiente el resorte de compresion que amortiguaba el movimiento. En esta fase, la Pieza 1 (Brazo de Carga) es depurada y se considera el uso de una geometria que encaje en la tapa del motor, la Pieza 7 reemplaza a la celda de carga previa y se apoya en la Pieza 3, la cual junto a la Pieza 10 (Tapa) restringen su movimiento al haber una carga puntual. Por otra parte, entre el brazo y la celda de carga se tiene la Pieza 9, la cual permite localizar la carga en la zona de deformacion donde se capta la medición en la celda. Además, las Piezas 6 y 4 centran e impiden el movimiento en sentido contrario del brazo respectivamente.</p>	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Número de Pieza</th> <th>Cantidad</th> <th>Nombre</th> <th>Número de Pieza</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Brazo de Carga</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>Celda de Carga 50 Kg</td> <td>7</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Soporte Lateral</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>Tornillo Sujeción #2</td> <td>8</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Elemento de Apoyo</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>Pin Intersticial</td> <td>9</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Perno Retensor</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>Tapa</td> <td>10</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Tornillo Sujeción</td> <td>5</td> <td>3</td> <td>Tornillo Sujeción #3</td> <td>11</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Buje</td> <td>6</td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Número de Pieza</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Imán</td> <td>12</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Agarradera</td> <td>13</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Soporte Sensor</td> <td>14</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Sensor Efecto Hall KY-003</td> <td>15</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Nombre	Número de Pieza	Cantidad	Nombre	Número de Pieza	Cantidad	Brazo de Carga	1	1	Celda de Carga 50 Kg	7	1	Soporte Lateral	2	1	Tornillo Sujeción #2	8	6	Elemento de Apoyo	3	1	Pin Intersticial	9	1	Perno Retensor	4	1	Tapa	10	1	Tornillo Sujeción	5	3	Tornillo Sujeción #3	11	4	Buje	6	2				Nombre	Número de Pieza	Cantidad	Imán	12	1	Agarradera	13	2	Soporte Sensor	14	1	Sensor Efecto Hall KY-003	15	1
Nombre	Número de Pieza	Cantidad	Nombre	Número de Pieza	Cantidad																																																						
Brazo de Carga	1	1	Celda de Carga 50 Kg	7	1																																																						
Soporte Lateral	2	1	Tornillo Sujeción #2	8	6																																																						
Elemento de Apoyo	3	1	Pin Intersticial	9	1																																																						
Perno Retensor	4	1	Tapa	10	1																																																						
Tornillo Sujeción	5	3	Tornillo Sujeción #3	11	4																																																						
Buje	6	2																																																									
Nombre	Número de Pieza	Cantidad																																																									
Imán	12	1																																																									
Agarradera	13	2																																																									
Soporte Sensor	14	1																																																									
Sensor Efecto Hall KY-003	15	1																																																									

4.3 Banco de Taladro

La Figura 30 muestra la versión del diseño final para este banco.

Figura 30

Diseño final para banco con taladro de mesa



A continuación, las Figuras 31 y 32 muestran el historial de diseño para este banco.

Figura 31

Fases 1 y 2 para banco con taladro de banco

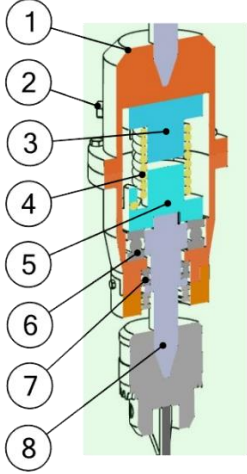
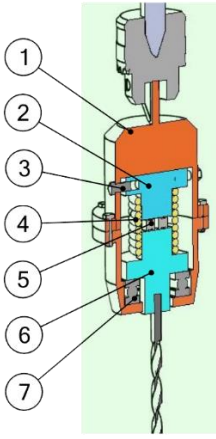
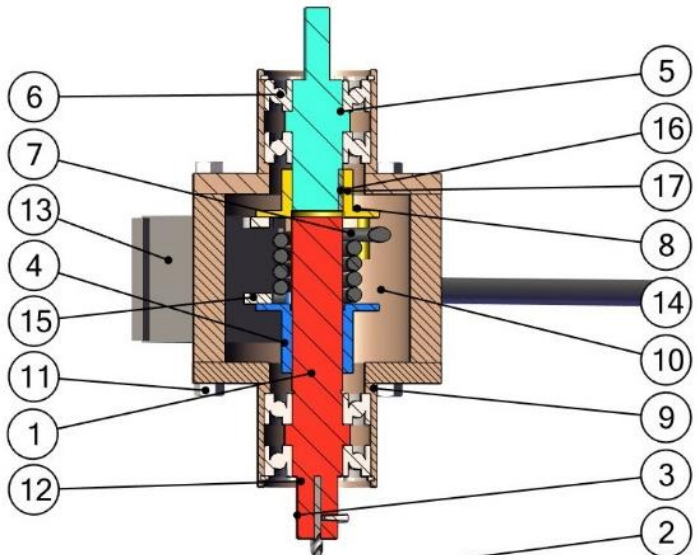
Fase	Comentario	Diseño																											
1	<p>La propuesta plantea la medición de torque estimando la deformación del resorte de torsión (Pieza 4), se cuenta entonces con dos soportes para el resorte, las Pieza 3 y 5. Se define además, ubicar el dispositivo entre el mandril y el cono morse, de esta manera la Pieza 1 (Carcasa) esta sujeta en la parte superior por el cono, y en la zona inferior se tiene un eje con un extremo de cono morse (Pieza 8) para encajar el mandril. Por otra parte, las Piezas 6 y 7 cumplen la función de separar los montajes internos de la carcasa, de esta manera se asegura la transmisión de torque plenamente a través del resorte.</p>	 <table border="1" data-bbox="1388 516 1766 873"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Número de Pieza</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carcasa</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Tornillo de Sujeción</td> <td>2</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Soporte Superior del Resorte</td> <td>3</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Resorte de Torsión</td> <td>4</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Soporte Inferior del Resorte</td> <td>5</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Rodamiento Axial #1</td> <td>6</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Rodamiento Axial #2</td> <td>7</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Eje con Extremo de Cono Morse</td> <td>8</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Nombre	Número de Pieza	Cantidad	Carcasa	1	1	Tornillo de Sujeción	2	10	Soporte Superior del Resorte	3	1	Resorte de Torsión	4	1	Soporte Inferior del Resorte	5	1	Rodamiento Axial #1	6	1	Rodamiento Axial #2	7	2	Eje con Extremo de Cono Morse	8	1
Nombre	Número de Pieza	Cantidad																											
Carcasa	1	1																											
Tornillo de Sujeción	2	10																											
Soporte Superior del Resorte	3	1																											
Resorte de Torsión	4	1																											
Soporte Inferior del Resorte	5	1																											
Rodamiento Axial #1	6	1																											
Rodamiento Axial #2	7	2																											
Eje con Extremo de Cono Morse	8	1																											
2	<p>Esta fase intenta mantener los mismos principios que los vistos en la segunda, asegurar la transmisión de torque a través del resorte, y para esto separar las superficies internas de las externas a través de rodamientos, la diferencia es que la ubicación del dispositivo es revisada y modificada, el montaje ahora se hace entre la broca y el mandril, las razones son la dificultad para desmontar el mandril del cono rápidamente, y los posibles altos costos de maquinar el cono morse.</p>	 <table border="1" data-bbox="1409 1052 1766 1328"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Número de Pieza</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carcasa</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Soporte Superior del Resorte</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Tornillo de Sujeción</td> <td>3</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Resorte de Torsión</td> <td>4</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Rodamiento Radial</td> <td>5</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Soporte Inferior del Resorte</td> <td>6</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Rodamiento Axial</td> <td>7</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Nombre	Número de Pieza	Cantidad	Carcasa	1	1	Soporte Superior del Resorte	2	1	Tornillo de Sujeción	3	10	Resorte de Torsión	4	1	Rodamiento Radial	5	1	Soporte Inferior del Resorte	6	1	Rodamiento Axial	7	1			
Nombre	Número de Pieza	Cantidad																											
Carcasa	1	1																											
Soporte Superior del Resorte	2	1																											
Tornillo de Sujeción	3	10																											
Resorte de Torsión	4	1																											
Rodamiento Radial	5	1																											
Soporte Inferior del Resorte	6	1																											
Rodamiento Axial	7	1																											

Figura 32

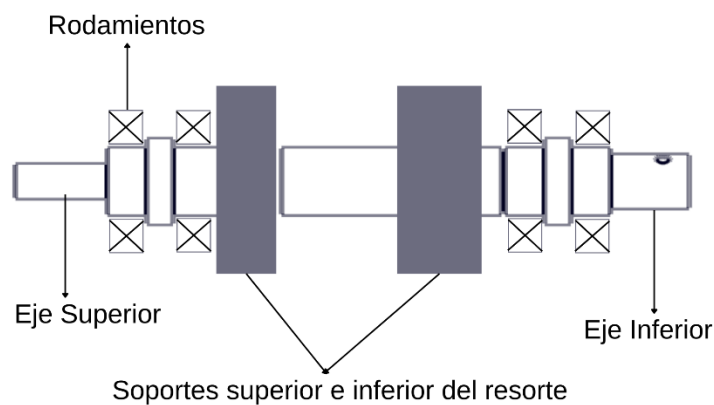
Fase 3 de banco con taladro de mesa

Fase	Comentario	Diseño																																																									
3	<p>Se agregan las Piezas 7 y 3 (soportes a los extremos del resorte), las cuales tienen unos pines que permiten transmitir la fuerza y el movimiento rotacional en el resorte de torsion (Pieza 6), además de esto, las piezas 1 y 4 actuan como los ejes principales en el montaje y estan sujetos a las Piezas 7 y 3 a traves de una cuña (Pieza 15). Por otra parte, la separacion de los elementos internos con la carcasa se mantiene, la diferencia esta en el uso de rodamientos de contacto angular (Pieza 5) para añadir precision al dispositivo. En cuanto a la sujecion de la broca, esto se realiza a traves de la Pieza 2 (tornillos prisioneros). Finalmente la Pieza 12 (Barra Retensora) esta roscada en un extremo de la carcasa, y el cuerpo esta tangente al cuerpo del taladro para bloquear la rotacion de la misma.</p>	 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Número de Pieza</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Eje Inferior</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>Broca</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Tornillo Prisionero</td><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><td>Soporte Inferior</td><td>4</td><td>1</td></tr> <tr><td>Eje Superior</td><td>5</td><td>1</td></tr> <tr><td>Rodamiento de Contacto Angular</td><td>6</td><td>4</td></tr> <tr><td>Resorte de Torsión</td><td>7</td><td>1</td></tr> <tr><td>Soporte Superior</td><td>8</td><td>1</td></tr> <tr><td>Caja para Rodamientos</td><td>9</td><td>2</td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Número de Pieza</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Carcasa Central</td><td>10</td><td>1</td></tr> <tr><td>Tornillo de Sujeción</td><td>11</td><td>12</td></tr> <tr><td>Anillo de Retención</td><td>12</td><td>2</td></tr> <tr><td>Caja Electrónica</td><td>13</td><td>1</td></tr> <tr><td>Barra Retensora</td><td>14</td><td>1</td></tr> <tr><td>Imán</td><td>15</td><td>2</td></tr> <tr><td>Cuña</td><td>16</td><td>2</td></tr> <tr><td>Tornillo Prisionero #2</td><td>17</td><td>2</td></tr> </tbody> </table>	Nombre	Número de Pieza	Cantidad	Eje Inferior	1	1	Broca	2	1	Tornillo Prisionero	3	2	Soporte Inferior	4	1	Eje Superior	5	1	Rodamiento de Contacto Angular	6	4	Resorte de Torsión	7	1	Soporte Superior	8	1	Caja para Rodamientos	9	2	Nombre	Número de Pieza	Cantidad	Carcasa Central	10	1	Tornillo de Sujeción	11	12	Anillo de Retención	12	2	Caja Electrónica	13	1	Barra Retensora	14	1	Imán	15	2	Cuña	16	2	Tornillo Prisionero #2	17	2
Nombre	Número de Pieza	Cantidad																																																									
Eje Inferior	1	1																																																									
Broca	2	1																																																									
Tornillo Prisionero	3	2																																																									
Soporte Inferior	4	1																																																									
Eje Superior	5	1																																																									
Rodamiento de Contacto Angular	6	4																																																									
Resorte de Torsión	7	1																																																									
Soporte Superior	8	1																																																									
Caja para Rodamientos	9	2																																																									
Nombre	Número de Pieza	Cantidad																																																									
Carcasa Central	10	1																																																									
Tornillo de Sujeción	11	12																																																									
Anillo de Retención	12	2																																																									
Caja Electrónica	13	1																																																									
Barra Retensora	14	1																																																									
Imán	15	2																																																									
Cuña	16	2																																																									
Tornillo Prisionero #2	17	2																																																									

El caso de este diseño es una particularidad porque su concepto es muy dependiente de los elementos que se coloquen en el eje de transmisión, en este caso, se tienen dos ejes que tienen montados dos soportes en los extremos que realizan la conexión con el resorte, y es en estos que surge la preocupación de estabilidad durante el proceso de taladrado, la Figura 33 esquematiza de forma simple este montaje.

Figura 33

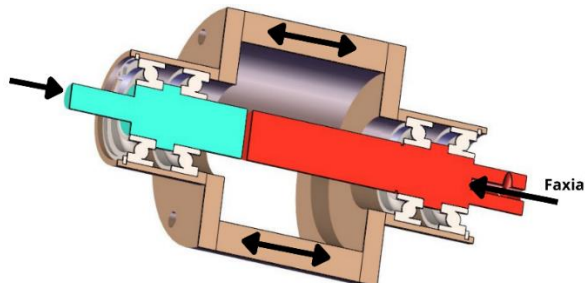
Esquema de transmisión en dispositivo de taladro



Como se puede observar, los ejes no tienen contacto entre si ya que en el espacio entre los soportes se encuentra el resorte de torsión, en el que precisamente se espera transmita el torque mientras es deformado y esto pueda ser cuantificable en la práctica. Como se decía, la preocupación principal se refiere a la estabilidad de los ejes, este problema se resuelve con el uso de rodamientos de contacto angular, los cuales son muy usados en aplicaciones de precisión, guiado y trabajos de exigencia en máquinas herramienta actuales. Su uso facilita además la separación del resorte, en la Figura 34 se esquematiza la transmisión de fuerzas axiales en el dispositivo.

Figura 34

Redirección de fuerzas axiales en dispositivo de taladro



Los rodamientos de contacto angular entonces se encargan de retransmitir estas cargas del eje a la carcasa y viceversa, de esta manera la zona media queda limitada a la transmisión de torque, además, su función viene integrada en ambas direcciones, ya sea el efecto de empuje producido en el taladrado, o las cargas generadas por el peso debido al posicionamiento vertical del dispositivo.

5. Selecciones, Dimensionamiento y Comprobación

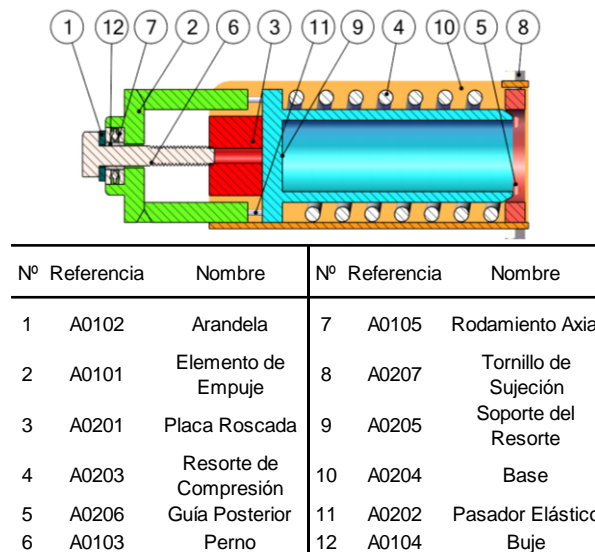
Como se observó en el Capítulo anterior, el proceso de diseño resultó en varias fases donde el concepto evolución hasta obtener el diseño final para cada banco de laboratorio, es así pues que en este Capítulo se abarcaran los distintos cálculos de dimensionamiento y comprobación para asegurar por lo menos en teoría el funcionamiento del banco sin fallas por resistencia; la sección orientada a cada uno de los bancos empezara por presentar un plano final donde se el listado de piezas formalizada y demás información individual, seguida por un pequeño resumen de cómo se presentan los cálculos en la sección y por último se presenta la información necesaria referente a diagramas, cálculos, explicaciones y reglas de diseño implementadas en las piezas de importancia.

5.1 Banco Apriete Estático

A continuación, la Figura 35 presenta una vista de sección del banco de apriete estático, donde a su vez se relaciona con la información de las piezas que lo componen.

Figura 35

Esquema que resume la codificación en banco de apriete estático



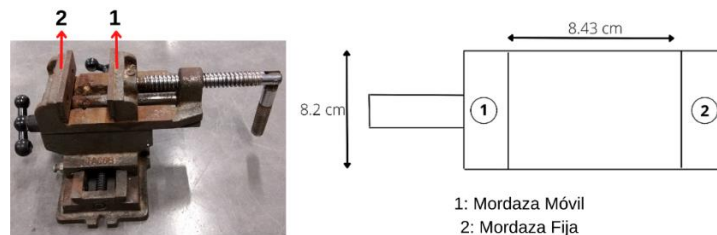
El dimensionamiento de este banco empezara por el análisis del espacio donde se espera el montaje del banco, seguido por un análisis preliminar donde se establecen las relaciones de las cargas involucradas en el funcionamiento del banco, esto a su vez da paso al dimensionamiento de la Pieza A0203, la cual debido a su posicionamiento central afecta el dimensionamiento de los demás componentes. Luego se realizan los análisis individuales respectivos para cada pieza que incluyen diagramas de cuerpo libre, selección de materiales, resumen de ecuaciones particulares (donde sea necesario) y cálculos de esfuerzos, ya sea para encontrar dimensiones mínimas o para comprobar la resistencia del componente.

5.1.1 Entorno

El establecimiento de la instalación física del banco toma prioridad para el inicio del diseño, es así que para su montaje se decide usar una prensa de banco (Figura 36) como elemento de fijación del banco para garantizar estabilidad al realizar la práctica, a la derecha se exponen las dimensiones principales con las que cuenta la prensa, la distancia entre mordazas que correspondería a la anchura máxima del diseño (dimensión central), específicamente de la pieza A0204 (Base), y el largo de las mordazas, dato que no es relevante.

Figura 36

Prensa de banco con dimensiones básicas



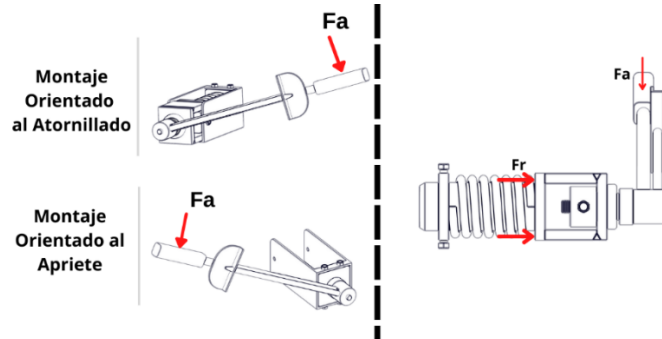
Por lo tanto: Anchura Pieza A0204 < 8.43 cm

5.1.2 Analisis Preliminar

Recordemos el principio de funcionamiento que se expuso en la propuesta para este caso, el banco de apriete estatico implica el uso de un torquimetro para realizar las mediciones, por una parte un torquimetro estandar y por otra un torquimetro construido, asi mismo, el laboratorio establece la aplicación practica realizando el proceso de atornillado o de apriete, la Figura 37 señala el punto de aplicación de la fuerza (F_a) al realizar el atornillado o el apriete, ambas situaciones requieren un montaje particular, el primero esta pensado junto al resorte de compresion, y el segundo se establece como la union simple entre dos placas. Por otra parte, a la derecha se señala la fuerza del resorte (F_r) cuando se realiza el proceso de atornillado.

Figura 37

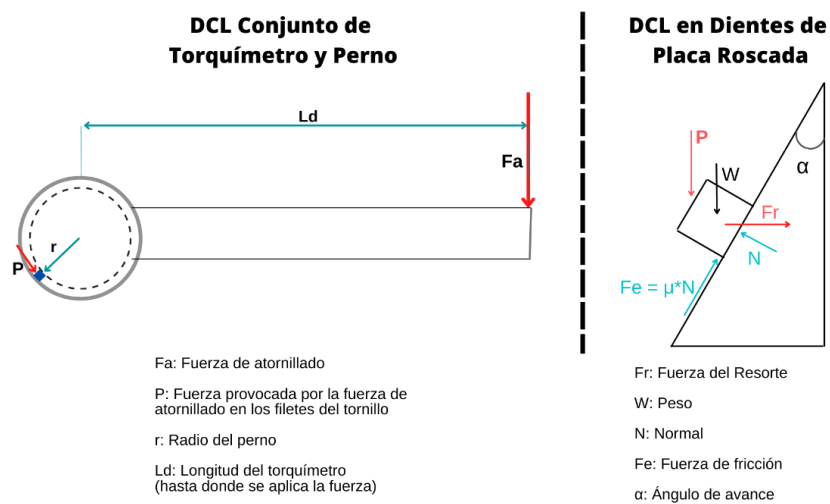
Ubicación de fuerzas presentes en banco de apriete



Ahora, el proceso de atornillado implica la presencia de un torque estático, el cual es inducido por la fuerza de atornillado (F_a); para relacionar la fuerza de atornillado y la fuerza del resorte es necesario remitirse a las cargas presentes en los filetes de rosca donde se atornilla el perno, en la Figura 38 se esquematiza el diagrama de cuerpo libre para el montaje de torquímetro y perno (izquierda) y para los filetes de la placa roscada (derecha).

Figura 38

Diagramas de fuerza en torquímetro y filetes de rosca



Para efectos de diseño, se selecciona el estado de máximo avance o atornillado del perno para evaluar, es decir, cuando se ha roscado en su totalidad; de esta manera se busca calcular las cargas máximas actuantes. Así mismo, de los previos esquemas se entienden las siguientes relaciones:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow Fr = N * \cos(\alpha) - \mu * N * \cos(90 - \alpha) \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow P = N * \cos(90 - \alpha) + \mu * N * \cos(\alpha) \quad (2)$$

$$Fa * Ld = P * r \quad (3)$$

De esta manera ya se han relacionado las cargas presentes en el banco, el siguiente paso es reconocer desde donde se va a diseñar el concepto, cual o cuales de las cargas deben utilizarse como punto de partida, y en este caso la fuerza de atornillado se establece como la carga esencial del diseño.

Es necesario determinar el ángulo guía en la rosca para resolver las ecuaciones (1) y (2).

De esta manera, se tiene:

$$\tan(\alpha) = \frac{Pitch}{Pd}$$

Donde, “pitch” se refiere al paso de rosca y “Pd” se refiere al diámetro primitivo. Para encontrar información específica es necesario remitirse a la norma ASME B.1.1 “Unified Inch Screw Threads” utilizando el tamaño y TPI (threads per inch) del perno (Figura 39).

Figura 39

Información específica para perno en norma ASME B.1.1

Nominal Size and Threads/in.	Series Designation	Class	Allowance	Major Diameter			Pitch Diameter and Functional Diameter [Note (4)]		
				Max. [Note (2)]	Min. [Note (3)]	...	Max. [Note (2)]	Min. [Note (5)]	Tolerance [Note (5)]
0.75/16 - 28 or 0.4375 - 28	LINEF	2A	0.0011	0.4364	0.4299	...	0.4132	0.4096	0.003616
		3A	0.0000	0.4375	0.4310	...	0.4143	0.4116	0.002700
0.75/16 - 32 or 0.4375 - 32	UN	2A	0.0010	0.4365	0.4305	...	0.4162	0.4128	0.003423
		3A	0.0000	0.4375	0.4315	...	0.4172	0.4146	0.002600
1/2 - 13 or 0.5000 - 13	UNC	1A	0.0015	0.4985	0.4822	...	0.4485	0.4411	0.007400
		2A	0.0015	0.4985	0.4876	0.4822	0.4485	0.4435	0.004965
		3A	0.0000	0.5000	0.4891	...	0.4500	0.4463	0.003700
1/2 - 16 or 0.5000 - 16	UN	2A	0.0014	0.4986	0.4892	...	0.4580	0.4533	0.004678
		3A	0.0000	0.5000	0.4906	...	0.4594	0.4559	0.003500
1/2 - 20 or 0.5000 - 20	UNF	1A	0.0013	0.4987	0.4865	...	0.4662	0.4598	0.006400
		2A	0.0013	0.4987	0.4906	...	0.4662	0.4619	0.004288
		3A	0.0000	0.5000	0.4919	...	0.4675	0.4643	0.003200

Nota. Tomado de ASME B.1.1 *Unified Inch Screw Threads. ASME.2003*

La Tabla 1 resume los parametros usados ademas del ángulo calculado, dimensión necesaria para el analisis y calculo de fuerzas utilizando las ecuaciones (1) y (2).

Tabla 1

Parámetros y resultado de cálculo para ángulo de avance

Pitch (mm)	Pd (mm)	TPI	α (°)
$\frac{25,4}{TPI}$	0,4435 * 25,4	13	9,84
TPI: Threads per inch			

5.1.3 Torquimetro Casero

Los torquímetros de aguja son los planteados para el desarrollo de este laboratorio, la razón de su selección esta en el principio de deflexión para realizar las medidas. Esta practica plantea el generar una comparativa entre un torquimetro estandar y un torquimetro casero, ademas de dividirse en dos partes, una parte de análisis del proceso de atornillado y otra del proceso de apriete entre placas. La practica de laboratorio recomienda limitar la comparativa al proceso de

atornillado (referencia a guía de laboratorio en apendices), esto debido a que el torque máximo que se alcanza es menor y permite el uso de materiales más económicos; de igual manera en caso de requerirse, se puede aplicar a ambos análisis y simplemente el torque máximo a la hora de diseñar se reemplaza y lleva a la selección de otros materiales más robustos para su construcción, tarea que queda en manos del estudiante. A continuación se profundiza en el dimensionamiento del torquimetro casero.

De forma explícita, la carga “ F_a ” se refiere a la fuerza ejercida por el usuario del banco sobre el torquimetro para así girar el perno y este avance por la totalidad de su rosca. En este proceso existen 2 variables, por una parte conocer el intervalo de fuerza que una persona puede ejercer en la posición de apriete dada, y por otra, la resistencia del torquimetro, dada por los materiales usados para su construcción. Para efectos de diseño en este ejemplo, se selecciona el proceso de atornillado como objeto de análisis y consecuentemente los destornilladores son elegidos como los materiales con mejor accesibilidad para los estudiantes al momento de plantear la construcción de un torquimetro casero.

El diseño entonces involucra la evaluación de distintas geometrías (longitud y diámetro) para destornilladores a distintas fuerzas de atornillado. En la Figura 40 se listan destornilladores estándar con sus respectivas geometrías.

Figura 40

Lista dimensiones destornilladores estándar BAHCO

Cod.					Cod.				
BE-8002	0.3	2.0	60	20x122	BE-8240	0.8	4.0	175	20x122
BE-8010	0.4	2.5	60	20x122	BE-8242	1.0	5.5	150	27x122
BE-8210	0.4	2.5	75	20x122	BE-8250L	1.0	5.5	200	27x122
BE-8020	0.5	3.0	60	20x122	BE-8241	1.0	5.5	125	27x122
BE-8020L	0.5	3.0	75	20x122	BE-8251	1.0	6.0	150	36x122
BE-8022	0.5	3.0	100	20x122	BE-8252	1.2	6.5	150	36x122
BE-8220	0.5	3.0	125	20x122	BE-8150	1.0	5.5	100	27x122
BE-8225	0.5	3.0	200	20x122	BE-8250	1.0	5.5	150	27x122
BE-8030	0.6	3.5	75	20x122	BE-8155	1.2	6.5	125	36x122
BE-8235	0.6	3.5	200	20x122	BE-8255	1.2	6.5	150	36x122
BE-8230	0.6	3.5	125	20x122	BE-8256	1.6	8.0	150	36x122
BE-8040	0.8	4.0	100	20x122	BE-8257	1.6	8.0	175	36x122
					BE-8258	1.6	10.0	200	36x185

Nota. Tomado de *Catálogo de Destornilladores 2015, 2015*, BAHCO.

Por otra parte, es necesario establecer el límite máximo de la fuerza de apriete a través del uso de tablas ergonómicas (Figura 41); para esta aplicación se relaciona el movimiento de apriete con el esquema número 6 a una inclinación aproximada de $2/3\pi$.

Figura 41

Tabla ergonómica de fuerza en el brazo, la mano y el dedo humano

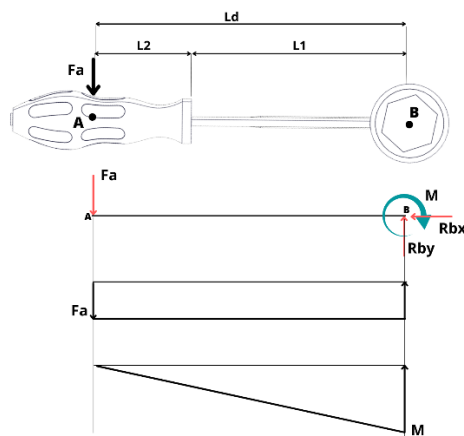
(1)	(2)		(3)		(4)		(5)		(6)		(7)	
Degree of elbow flexion (rad)	Pull		Push		Up		Down		In		Out	
	L**	R**	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
π	222	231	187	222	40	62	53	75	58	89	36	62
$5/6 \pi$	187	249	133	187	57	80	80	89	67	89	36	67
$2/3 \pi$	151	137	116	160	76	107	93	116	89	98	45	67
$1/2 \pi$	142	165	98	160	76	89	93	116	71	80	45	71
$1/3 \pi$	116	107	96	151	67	89	80	89	76	89	53	76

Nota. Tomado de *Volume I, Section 4, HUMAN PERFORMANCE CAPABILITIES*, por NASA, (https://msis.jsc.nasa.gov/sections/section04.htm#_4.9_STRENGTH).

Para los calculos se comprenden 2 longitudes que juntas conforman la longitud efectiva (L_d), desde el punto de aplicación de la fuerza hasta el centro de giro del perno, como se observa en la Figura 42, el componente se trata como una viga con un extremo empotrado, además la seccion critica se ubica en la zona final de la varilla del destornillador, especificamente en el punto B, por tanto cada conjunto de geometrias antes presentado debe resistir los esfuerzos de cortante y flexion generados por la fuerza ejercida en el mango (F_a).

Figura 42

Diagramas de carga en torquímetro casero



De esta manera, se tiene:

$$R_{bx} = 0 ; R_{by} = F_a$$

$$M = F_a * L_d \quad (4)$$

4.1.3.1. Material. Se selecciona un acero Cr-V 6140 para la varilla del destornillador, para este tipo de herramientas utilizan aceros dentro de la serie 6000.

4.1.3.2 Análisis por Flexión. Para realizar los analisis de resistencia por flexion, se utiliza el metodo de calculo para resistencia (Apéndice A, Ec. A04 y Ec. A07).

La Tabla 2 resume los parametros involucrados para este analisis:

Tabla 2

Resumen de parámetros en análisis de flexión en torquímetro

Sy (N/m ²)	N	C (m)	I (m ⁴)	M (N*m)
1,5E+09	1,3	r _{dest}	$\frac{\pi * (r_{dest})^4}{4}$	Fa*Ld
r _{dest} : Radio del vástago del destornillador				

4.1.3.3 Análisis de Cizalladura por Cortante. Para realizar los análisis por cortante se utiliza el método de cálculo para resistencia (Apéndice A, Ec. A05 y Ec. A08) y la Tabla 3 resume estos parámetros.

Tabla 3

Resumen de parámetros en análisis de cortante para torquímetro

V (N)	Q (m ³)	I (m ⁴)	b (m)	C' (m)
Fa	Aq * C'	$\frac{\pi * (r_{dest})^4}{4}$	2 * r _{dest}	$\frac{4 * r_{dest}}{3 * \pi}$
Aq: Area que desliza respecto al eje neutro				

4.1.3.4 Método de Pruebas y Selección. Utilizando los conjuntos de longitud y diámetros proporcionados en la Figura 40, se evalúa la resistencia al cortante y a la flexión del destornillador; la Tabla 4 muestra un ejemplo donde se evalúa para la máxima fuerza (Fa) que ergonómicamente puede ejercer la persona en la posición requerida. El diseño real para el estudiante implica realizar el cálculo con la fuerza de resorte máxima (Fr) como variable de entrada y no con “Fa”. Esta carga será definida al dimensionar el resorte de compresión.

Tabla 4*Ejemplo de cálculo para determinar dimensiones de torquímetro casero*

dia [m]	L1 [m]	L2 [m]	Ld [m]	F [N]	Sigma_max [N/m ²]	Sigma_perm [N/m ²]	Tao_max [N/m ²]	Tao_perm [N/m ²]	M_cric [N*m]	Fr [N]
0,002	0,06	0,061	0,121	98	1,51E+13	1,15E+12	4,16E+10	5,77E+11	11,86	3079
0,0025	0,06	0,061	0,121	98	7,73E+12	1,15E+12	2,66E+10	5,77E+11	11,86	3079
0,0025	0,075	0,061	0,136	98	8,69E+12	1,15E+12	2,66E+10	5,77E+11	13,33	3461
0,003	0,06	0,061	0,121	98	4,47E+12	1,15E+12	1,85E+10	5,77E+11	11,86	3079
0,003	0,075	0,061	0,136	98	5,03E+12	1,15E+12	1,85E+10	5,77E+11	13,33	3461
0,003	0,1	0,061	0,161	98	5,95E+12	1,15E+12	1,85E+10	5,77E+11	15,78	4097
0,003	0,125	0,061	0,186	98	6,88E+12	1,15E+12	1,85E+10	5,77E+11	18,23	4733
0,003	0,2	0,061	0,261	98	9,65E+12	1,15E+12	1,85E+10	5,77E+11	25,58	6642
0,0035	0,075	0,061	0,136	98	3,17E+12	1,15E+12	1,36E+10	5,77E+11	13,33	3461
0,0035	0,125	0,061	0,186	98	4,33E+12	1,15E+12	1,36E+10	5,77E+11	18,23	4733
0,0035	0,2	0,061	0,261	98	6,08E+12	1,15E+12	1,36E+10	5,77E+11	25,58	6642
0,004	0,1	0,061	0,161	98	2,51E+12	1,15E+12	1,04E+10	5,77E+11	15,78	4097
0,004	0,175	0,061	0,236	98	3,68E+12	1,15E+12	1,04E+10	5,77E+11	23,13	6005
0,0055	0,1	0,061	0,161	98	9,66E+11	1,15E+12	5,50E+09	5,77E+11	15,78	4097
0,0055	0,125	0,061	0,186	98	1,12E+12	1,15E+12	5,50E+09	5,77E+11	18,23	4733
0,0055	0,15	0,061	0,211	98	1,27E+12	1,15E+12	5,50E+09	5,77E+11	20,68	5369
0,0055	0,2	0,061	0,261	98	1,57E+12	1,15E+12	5,50E+09	5,77E+11	25,58	6642
0,006	0,15	0,061	0,211	98	9,75E+11	1,15E+12	4,62E+09	5,77E+11	20,68	5369
0,0065	0,125	0,061	0,186	98	6,76E+11	1,15E+12	3,94E+09	5,77E+11	18,23	4733
0,0065	0,15	0,061	0,211	98	7,67E+11	1,15E+12	3,94E+09	5,77E+11	20,68	5369
0,008	0,15	0,061	0,211	98	4,11E+11	1,15E+12	2,60E+09	5,77E+11	20,68	5369
0,01	0,2	0,0825	0,2825	98	2,82E+11	1,15E+12	1,66E+09	5,77E+11	27,69	7189

5.1.4 Resorte de Compresión (Pieza A0203).

El cuadro expuesto en la siguiente Figura describe las ecuaciones y condiciones de interés para realizar el diseño del resorte, así como algunas selecciones más específicas como el tipo de material y la geometría en los extremos. El método de diseño se basa en el presentado en el libro “Shigley's Mechanical Engineering Design”.

Figura 43

Cuadro resumen de diseño para resorte de compresión

	<p>Ecuaciones</p> <p>→ $F = K * x$</p> <p>→ $K = \frac{G * din^4}{8 * D^3 * Na}$</p> <p>→ $Pitch = \frac{H - d}{Na}$</p> <p>→ $LeadAngle = \tan^{-1} \left(\frac{Pitch}{\pi * D} \right)$</p> <p>→ $\tau_{max} = Ks * \frac{8 * F * D}{\pi * din^3}$</p> <p>→ $Ks = 1 + \frac{0,615}{c}$</p> <p>→ $c = \frac{D}{din} \rightarrow Sy = 0,5 * Su$</p>	<p>Condiciones</p> <p>$Pitch < \frac{D}{2,5}$</p> <p>$LeadAngle < 7,5^\circ$</p> <p>$D \leq 7cm$</p> <p>$\tau_{max} < \tau_{perm}$</p> <p>$c \geq 6$</p> <p>$N = 1,2$</p>
	<p>Tipo de Extremos:</p> <p> </p> <p> </p>	<p>Material:</p> <p>AISI 1070</p> <p>$G = 79,3 \times 10^9$</p> <p>$Su = 1231,92 \times 10^6$</p>
	<p><i>D</i> : Diámetro medio del resorte</p> <p><i>din</i> : Diámetro del alambre</p> <p><i>LeadAngle</i>: Ángulo de la espira</p> <p><i>H</i> : Longitud sin carga del resorte</p> <p><i>Pitch</i>: Paso del resorte</p> <p><i>Na</i> : Número de espiras</p> <p><i>F</i> : Fuerza de compresión</p>	<p><i>K</i> : Constante del resorte</p> <p><i>x</i> : Distancia que se comprime el resorte</p> <p><i>G</i> : Módulo de cizalladura</p> <p>τ_{max} : Esfuerzo cortante máximo en el resorte</p> <p><i>Ks</i> : Coeficiente de concentración de tensiones</p> <p><i>c</i> : Índice del resorte</p> <p><i>N</i> : Factor de seguridad</p>

4.1.4.1 Resultados dimensionamiento. La evaluación de geometrías para el resorte está definida por 4 variables no conocidas: número de espiras (Na), diámetro medio (D), diámetro del alambre (din) y fuerza del resorte en $x = 0,0254$ (Fr). Las pruebas se realizan otorgando valores a “din”, “Na” y “c”, esta última debido a que relaciona “din” y “D”. Se espera utilizar un alambre con diámetro entre 6 – 9 mm de diámetro. Los resultados se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5*Resultados de cálculo para dimensionar resorte*

din	Na	c	D	LeadAngle	Pitch	Tao	Tao_perm	Fr	D/2,5
[m]			[m]	[degree]	[m]	[N/m2]	[N/m2]	[N]	[m]
0,006	4	6	0,036	11,86	0,02375	8,181E+11	2,567E+11	1748	0,0144
0,008	4	7	0,056	7,528	0,02325	4,448E+11	2,567E+11	1468	0,0224
0,006	5	8	0,048	7,181	0,019	3,596E+11	2,567E+11	590,1	0,0192
0,008	5	9	0,072	4,701	0,0186	2,114E+11	2,567E+11	552,6	0,0288
0,006	6	6	0,036	7,969	0,01583	5,454E+11	2,567E+11	1166	0,0144
0,008	6	7	0,056	5,035	0,0155	2,965E+11	2,567E+11	978,7	0,0224
0,006	7	8	0,048	5,143	0,01357	2,569E+11	2,567E+11	421,5	0,0192
0,008	7	9	0,072	3,361	0,01329	1,51E+11	2,567E+11	394,7	0,0288
0,007	4	6	0,042	10,1	0,0235	7,013E+11	2,567E+11	2040	0,0168
0,007	4	6,5	0,0455	9,336	0,0235	5,932E+11	2,567E+11	1604	0,0182
0,007	4	7	0,049	8,68	0,0235	5,084E+11	2,567E+11	1285	0,0196
0,007	4	7,5	0,0525	8,109	0,0235	4,405E+11	2,567E+11	1044	0,021
0,007	4	8	0,056	7,608	0,0235	3,853E+11	2,567E+11	860,6	0,0224
0,007	5	6	0,042	8,109	0,0188	5,61E+11	2,567E+11	1632	0,0168
0,007	5	6,5	0,0455	7,493	0,0188	4,746E+11	2,567E+11	1284	0,0182
0,007	5	7	0,049	6,963	0,0188	4,067E+11	2,567E+11	1028	0,0196
0,007	5	7,5	0,0525	6,503	0,0188	3,524E+11	2,567E+11	835,5	0,021
0,007	5	8	0,056	6,1	0,0188	3,082E+11	2,567E+11	688,5	0,0224
0,007	6	6	0,042	6,771	0,01567	4,675E+11	2,567E+11	1360	0,0168
0,007	6	6,5	0,0455	6,255	0,01567	3,955E+11	2,567E+11	1070	0,0182
0,007	6	7	0,049	5,811	0,01567	3,389E+11	2,567E+11	856,4	0,0196
0,007	6	7,5	0,0525	5,426	0,01567	2,936E+11	2,567E+11	696,3	0,021
0,007	6	8	0,056	5,089	0,01567	2,569E+11	2,567E+11	573,7	0,0224
0,007	7	6	0,042	5,811	0,01343	4,007E+11	2,567E+11	1166	0,0168
0,007	7	6,5	0,0455	5,367	0,01343	3,39E+11	2,567E+11	916,8	0,0182
0,007	7	7	0,049	4,985	0,01343	2,905E+11	2,567E+11	734	0,0196
0,007	7	7,5	0,0525	4,655	0,01343	2,517E+11	2,567E+11	596,8	0,021
0,007	7	8	0,056	4,365	0,01343	2,202E+11	2,567E+11	491,8	0,0224
0,007	8	8	0,056	3,821	0,01175	1,926E+11	2,567E+11	430,3	0,0224
0,007	9	8	0,056	3,398	0,01044	1,712E+11	2,567E+11	382,5	0,0224

Interpretando la tabla, las primeras filas subrayadas en color amarillo señalan un problema con el uso de esos tamaños (6 y 8 mm), la mayoría de problemas pasan por inadecuada resistencia, así como por superar los límites para “D”, “LeadAngle” y “Pitch”. Se decide entonces enfocar el análisis hacia el alambre de 7 mm y se selecciona finalmente el diseño subrayado en color verde.

Calculando el Torque o “M_{cric}” a partir de las ecuaciones (1), (2) y (3) se tiene:

$$T \approx 2 [N * m]$$

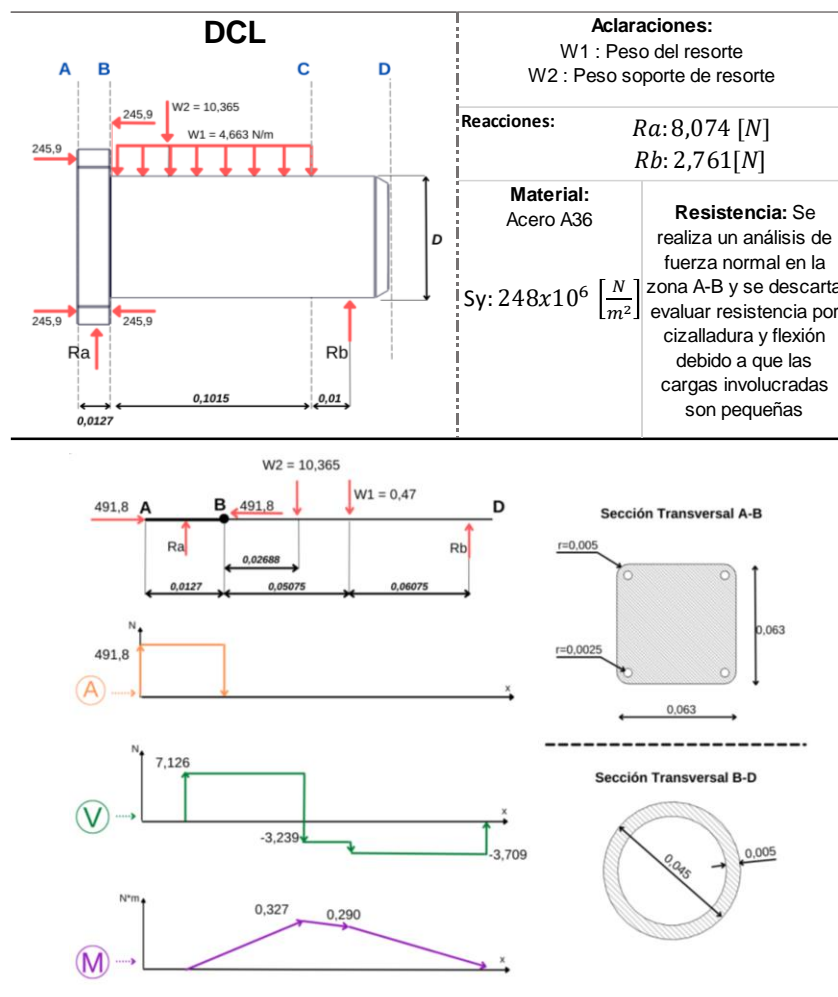
Este valor para cálculos futuros se aproxima a 5 N*m simplemente para evaluar un par más grande en caso de tener una manufactura muy basta que incremente la fricción.

5.1.5 Soporte del Resorte (Pieza A0205)

A continuación, en la Figura 44 se presenta el diagrama de cuerpo libre para el componente, además de los respectivos diagramas de carga para analizar esfuerzos normales, de cizalladura y por flexión, además también se define información referente al material del elemento.

Figura 44

Cuadro con diagramas y distribución de cargas para el soporte del resorte



3.1.3.2 Análisis Esfuerzo Axial. Para realizar los análisis por cortante se utiliza el metodo de calculo para resistencia (Apéndice A, Ec A05 y Ec. A08), resultados en Tabla 6.

Tabla 6

Resumen resultados de esfuerzo axial en soporte del resorte

Sy (N/m2)	N	F (N)	A (m2)	σ_{perm} (N/m2)	σ_{ax} (N/m2)
2,48E+08	2	491,8	3,87E-03	<u>1,24E+08</u>	<u>1,27E+05</u>
N: Factor de Seguridad					

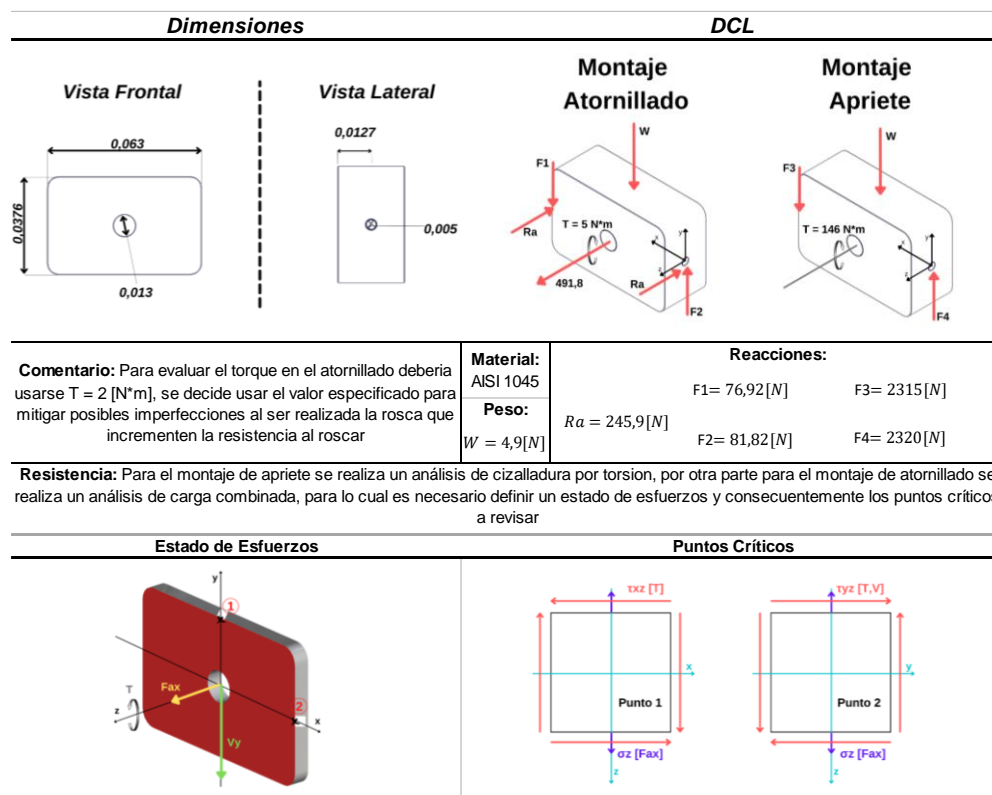
El esfuerzo axial ejercido sobre la pieza es menor al esfuerzo permisible del material, validando de esta manera el diseño sobre esta pieza.

5.1.6 Placa Roscada (Pieza A0201)

La siguiente Figura describe la información requerida para realizar los análisis de esfuerzos respectivos en la placa roscada, se exponen dimensiones, “DCLs” y los esquemas necesarios.

Figura 45

Cuadro con dimensiones, ubicación de cargas y esquemas de la placa roscada



4.1.6.1 Calculo de Esfuerzos Montaje de Atornillado. Para realizar los analisis de esfuerzo axial, cortante y torque, se utiliza el metodo de calculo para resistencia (Apéndice A, Ec. A01, Ec. A03, Ec. A05, Ec A06 y Ec. A08).

Tabla 7

Resumen de resultados esfuerzo por carga combinada en placa roscada

σ_{perm}		σ_{ax}			τ_T			τ_{vy}				
Sy	N	σ_{perm}	Fax	A	T	c	J	V	Q	I	b	σ_{eq}
[N/m ²]		[N/m ²]	[N]	[m ²]	[N*m]	[m]	[m ⁴]	[N]	[m ³]	[m ⁴]	[m]	[N/m ²]
3,1E+08	1,5	2,067E+08	491,8	0,002236	5	0,0315	1,06E-06	4,9	1,09E-05	2,777E-07	0,05	<u>3,437E+05</u>

Los resultados que se presentan en la Tabla 7 muestra que el esfuerzo calculado por la teoría de fallo de Von Mises es:

$$\sigma_{eq} < \sigma_{perm}$$

Esto implica que el diseño sobre la Pieza A0201 para el montaje del banco de apriete donde se estudia el atornillado no falla por resistencia.

4.1.6.2 Evaluación Torsión en Montaje de Apriete. Este análisis se realiza utilizando el método de cálculo para resistencia (Apéndice A, Ec A06).

Tabla 8

Resumen resultados de esfuerzos por torsión en placa roscada

N	τ_{perm}	T	c	J	τ_T
	[N/m ²]	[N*m]	[m]	[m ⁴]	[N/m ²]
1,5	1,033E+08	146	0,0315	1,06E-06	<u>4,34E+06</u>

N: Factor de Seguridad
 τ_T : Esfuerzo máximo de cizalladura por torsión

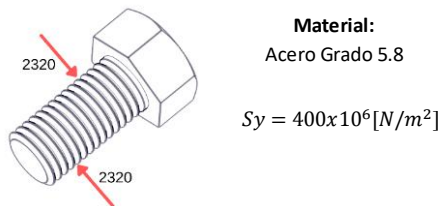
Los resultados mostrados en la Tabla 8 aseguran que la Pieza A0201 no falla por torsión durante el estudio de apriete en el banco de apriete estático.

5.1.7 Tornillo de Fijación (Pieza A0207)

Se selecciona un tornillo hexagonal para servir como elemento de fijación para las piezas A0201 (Placa Roscada) y A0206 (Guía Posterior). En la Figura 46 se presenta un esquema simple de fuerzas sobre el tornillo e información referente al material. El valor de carga especificado es el máximo al que se somete el tornillo en el banco, específicamente en el montaje de apriete al sujetar la Pieza A0201 (Placa Roscada).

Figura 46

DCL para tornillo de fijación



Para realizar los análisis cortante se utiliza el método de cálculo para resistencia (Apéndice A - Ec. A04, A08). A continuación se presenta un resumen de los resultados:

Tabla 9

Resumen de cálculo para diámetro en Pieza A0207

Sy [N/m ²]	N	V [N]	A [m ²]	d [m]
4,00E+08	1,5	2320	$\frac{\pi * d^4}{4}$	<u>0,0047</u>

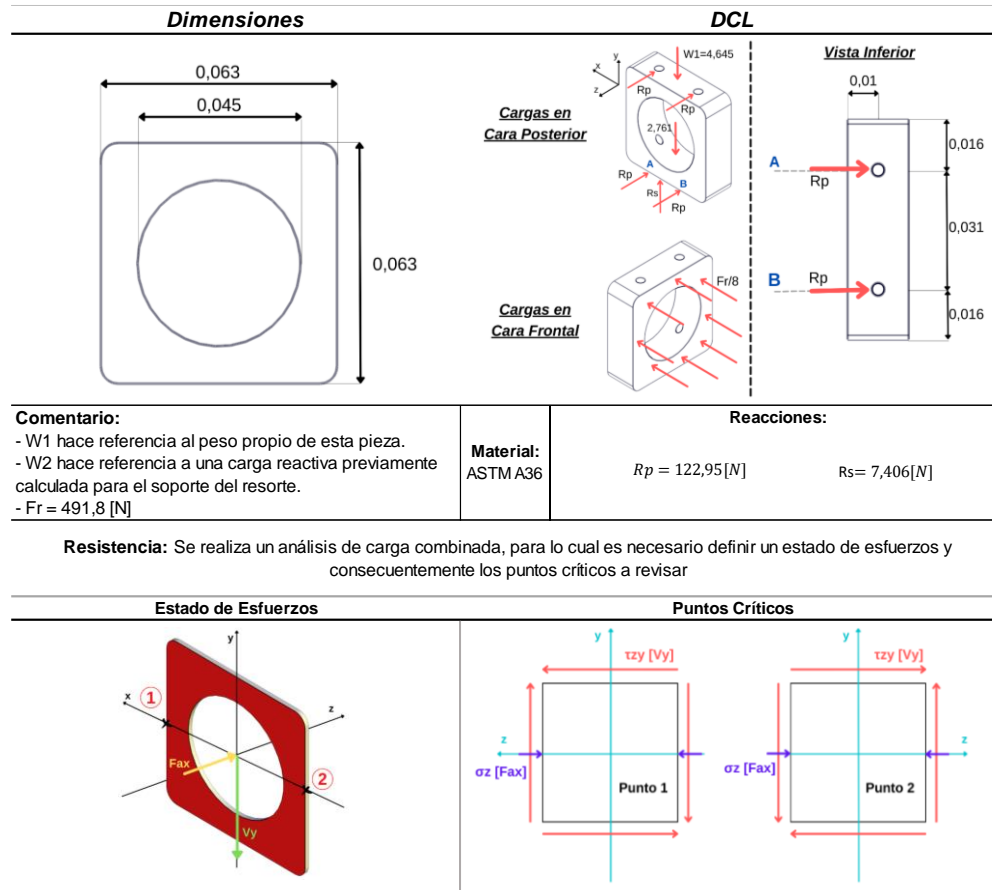
Se elige usar tornillos hexagonales de ¼” por su facilidad de adquisición estándar

5.1.8 Guía Posterior (Pieza A0206)

Este componente está anclado a la Pieza A0204 (Base) a través de 4 tornillos, manteniendo en posición al resorte de compresión y soportando por consiguiente su carga. La Figura 47 muestra el diagrama de cuerpo libre del componente.

Figura 47

Cuadro con dimensiones, DCLs y esquemas del soporte trasero



Utilizando el método de cálculo para resistencia (Apéndice A_- Ec. A01, A05, A07, A09). Como se observa, ambos puntos son igualmente críticos, por lo tanto se evalúan los esfuerzos de las cargas presenten en ambos, a continuación en la Tabla 10 se observa el resumen de resultados para la comprobación de resistencia, donde el esfuerzo máximo es menor y se valida el diseño.

Tabla 10

Resumen resultados cálculo de esfuerzos en soporte trasero

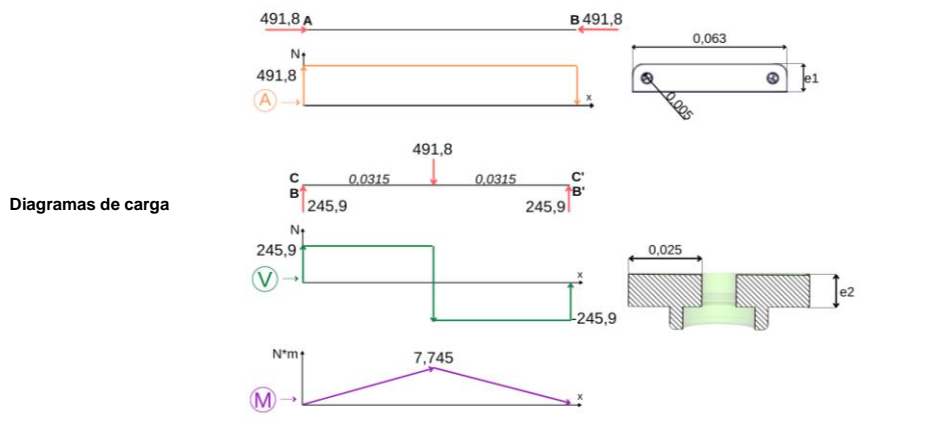
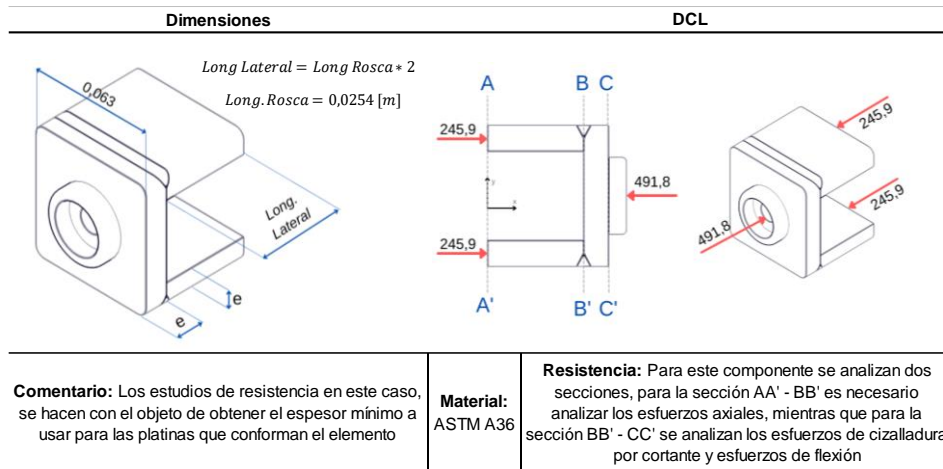
σ_{perm}		σ_{ax}				τ_{vy}			
Sy	N	σ_{perm}	Fax	A	V	Q	I	b	σ_{eq}
[N/m ²]		[N/m ²]	[N]	[m ²]	[N]	[m ³]	[m ⁴]	[m]	[N/m ²]
2,48E+08	1,5	1,653E+08	491,8	3,966E-03	7,406	2,355E-05	1,11E-06	0,018	<u>1,249E+05</u>

5.1.9 Elemento de Empuje (Pieza A0101)

La Figura 48 muestra un cuadro donde se ubican cargas y analisis sobre esta pieza.

Figura 48

Cuadro con dimensiones, DCL y diagramas de carga de elemento de empuje



4.1.9.1 Seccion A-B

Sobre esta sección, las cargas existentes son axiales, ejerciendo un esfuerzo normal, por lo tanto, a través del análisis de este esfuerzo se calcula el espesor mínimo (Tabla 11) para evitar el fallo de la pieza en esta zona. Para esto se usa el método de cálculo para resistencia (Apéndice A - Ec. A01, A07).

Tabla 11

Resumen cálculo para espesor mínimo en sección A-B

Sy [N/m ²]	N	Fax [N]	A [m ²]	e1 [m]
2,48E+08	1,5	245,9	1,98E-06	<u>0,0025</u>

4.1.9.2 Seccion BC-B'C'

4.1.9.2.1 Análisis de Cortante. Como objetivo entonces se calcula el espesor critico en esta zona, para lo cual se usa de nuevo el método de cálculo para resistencia (Apéndice A_- Ec. A05, A07). El calculo de este espesor se presenta en la Tabla 12 para comparar posteriormente con los demas resultados.

Tabla 12

Resumen de resultados para espesor en sección BC

Sy [N/m ²]	N	V [N]	Q [m ³]	I [m ⁴]	b [m]	e _{2τ} [m]
2,48E+08	1,5	245,9	Q(e _{2τ})	I(e _{2τ})	0,05	<u>0,000119</u>

4.1.9.2.2 Análisis de Flexión. Utilizando el método de cálculo para resistencia para encontrar el espesor critico por flexión (Apéndice A_- Ec. A05, A07), la Tabla 13 presenta este calculo.

Tabla 13

Resumen calculo espesor critico por flexión en zona B-C

M [N*m]	c [m]	I [m ⁴]	e _{2f1} [m]
7,75	$\frac{e_{2f1}}{2}$	I(e _{2f1})	<u>0,0027</u>

Los resultados de las tablas indican que la sección más crítica es la sección BC-B’C’ por carga flectora debido a que requiere un espesor mayor para evitar su fallo, conociendo el espesor mínimo se procede a dimensionar el espesor como:

$$e = 0,0127 [m] > 0,0027 [m]$$

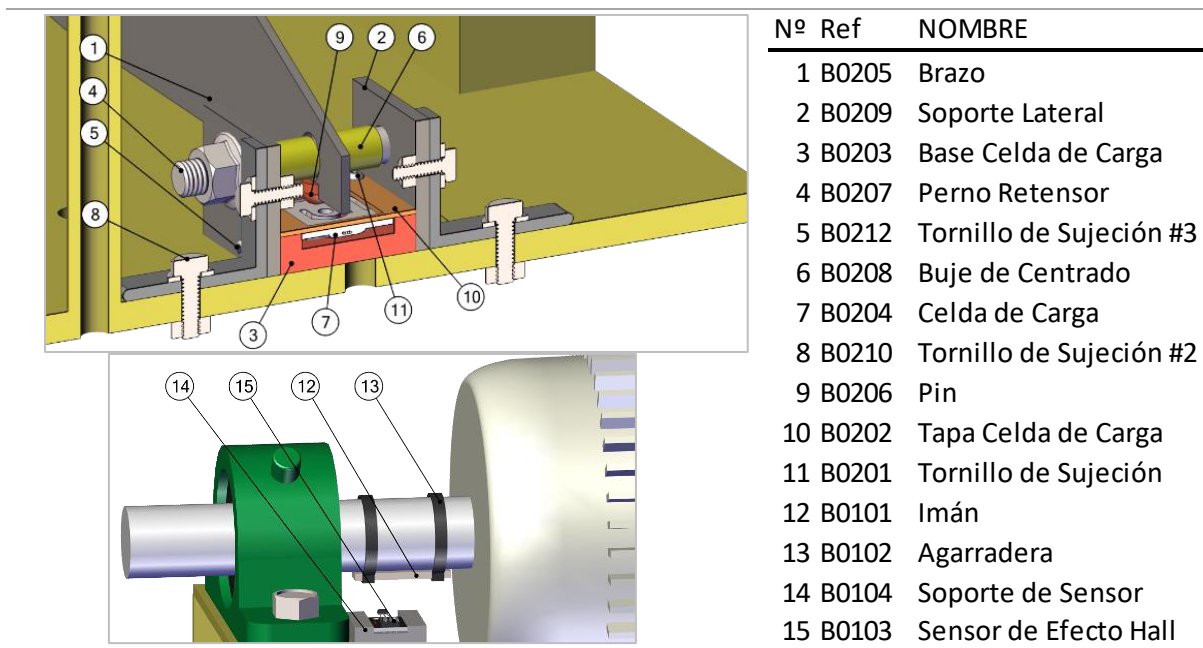
La razón de que este valor este tan alejado del espesor mínimo es debido a la Pieza A0202 (pasador elástico) esta insertada en el extremo de las platinas superior e inferior, por lo tanto, es necesario utilizar dimensiones más grandes para realizar el montaje.

5.2 Banco de Transmisiones Flexibles

A continuación, la Figura 49 presenta la codificación de partes para el diseño en el banco de transmisiones flexibles, los planos de diseño se encuentran en el Apéndice B.

Figura 49

Codificación de piezas en banco de transmisiones flexibles



El montaje de los elementos que permiten la medición de velocidad de giro y torque implica en primer lugar identificar los requerimientos máximos que soportaran los soportes y elementos del diseño, esto da paso a las comprobaciones individuales de las piezas clave sometidas a estas cargas usando el método de elementos finitos y finalmente se presenta el circuito usado para realizar las mediciones acompañado de un diagrama de flujo.

5.2.1 Requerimiento Máximo

Al comenzar a evaluar el diseño, es necesario definir el máximo torque que puede alcanzar el motor presente en el banco. Para el cálculo del par máximo se calcula en primer lugar el torque nominal:

$$T_{lb*ft} = \frac{HP * 5252}{1800} \rightarrow T_{lb*ft} = \frac{2 * 5252}{1800} \rightarrow T_{lb*ft} = 5,836 \rightarrow T_{N*m} = 7,912$$

Seguidamente se busca en catálogos la relación entre el torque máximo y nominal para un motor con esas características, en la Figura 50 se expone esta búsqueda.

Figura 50

Búsqueda de especificaciones para definir el torque máximo en el motor

Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (Nm)	Corriente con rotor trabado I/In		Par de arranque Ta/Tn	Par máximo Tm/Tn	Inercia J (kgm ²)	Tiempo máx. con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	RPM	460 V						Corriente nominal In (A)								
HP	KW			Letra	Ia/In				Caliente	Frio				% de la potencia nominal			Factor de potencia											
									50	75				100	50	75	100											
IV polos																												
1	0,75	143/5T	3,99	L	8,4	3,2	3,5	0,0049	18	40	18,5	51,0	1760	80,0	84,0	85,5	0,55	0,68	0,75	1,47								
1,5	1,1	143/5T	6,00	L	8,4	2,5	3,4	0,0060	14	31	22,0	51,0	1755	82,5	85,5	86,5	0,60	0,70	0,79	2,02								
2	1,5	143/5T	8,03	K	8,0	2,7	3,2	0,0066	11	24	23,0	51,0	1750	85,5	86,5	86,5	0,57	0,70	0,79	2,76								
3	2,2	182/4T	12,0	K	8,1	2,3	3,4	0,0143	23	51	41,0	56,0	1760	87,5	88,5	89,5	0,61	0,73	0,79	3,91								
5	3,7	182/4T	20,0	J	7,5	2,3	3,2	0,0169	15	33	43,0	56,0	1755	88,5	89,5	89,5	0,62	0,74	0,80	6,45								
7,5	5,5	213/5T	29,9	H	7,1	2,2	3,1	0,0566	20	44	70,0	58,0	1765	89,5	91,0	91,7	0,66	0,76	0,82	9,18								
10	7,5	213/5T	39,8	H	6,4	2,0	3,0	0,0637	17	37	78,0	58,0	1765	91,0	91,7	91,7	0,66	0,77	0,83	12,4								

Nota. Tomado de *Catálogo Comercial Mercado Latino-americano (p. 7), WEG.*

De esta manera, se tiene que:

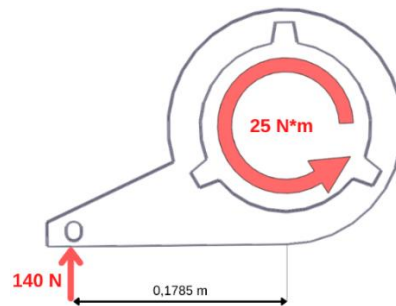
$$T_{max} = T_{N*m} * 3,2 = 25,376 [N * m]$$

5.2.2 Brazo (Pieza B0205)

La Figura 51 presenta la ubicación de las cargas en el brazo, por un lado, el torque generado en el motor y por el otro, la carga reactiva máxima que se puede medir en el motor.

Figura 51

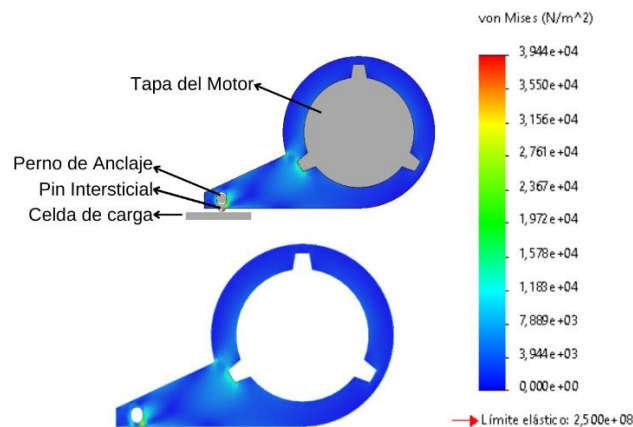
Diagrama de cuerpo libre de brazo de carga



Teniendo en cuenta esta información, se procede a realizar un FEM para discernir las zonas donde se pueden concentrar más los esfuerzos, así como validar que el componente no falle por resistencia. La Figura 52 presenta los resultados del análisis de esfuerzos por Von Mises.

Figura 52

Análisis de elementos finitos sobre brazo de carga



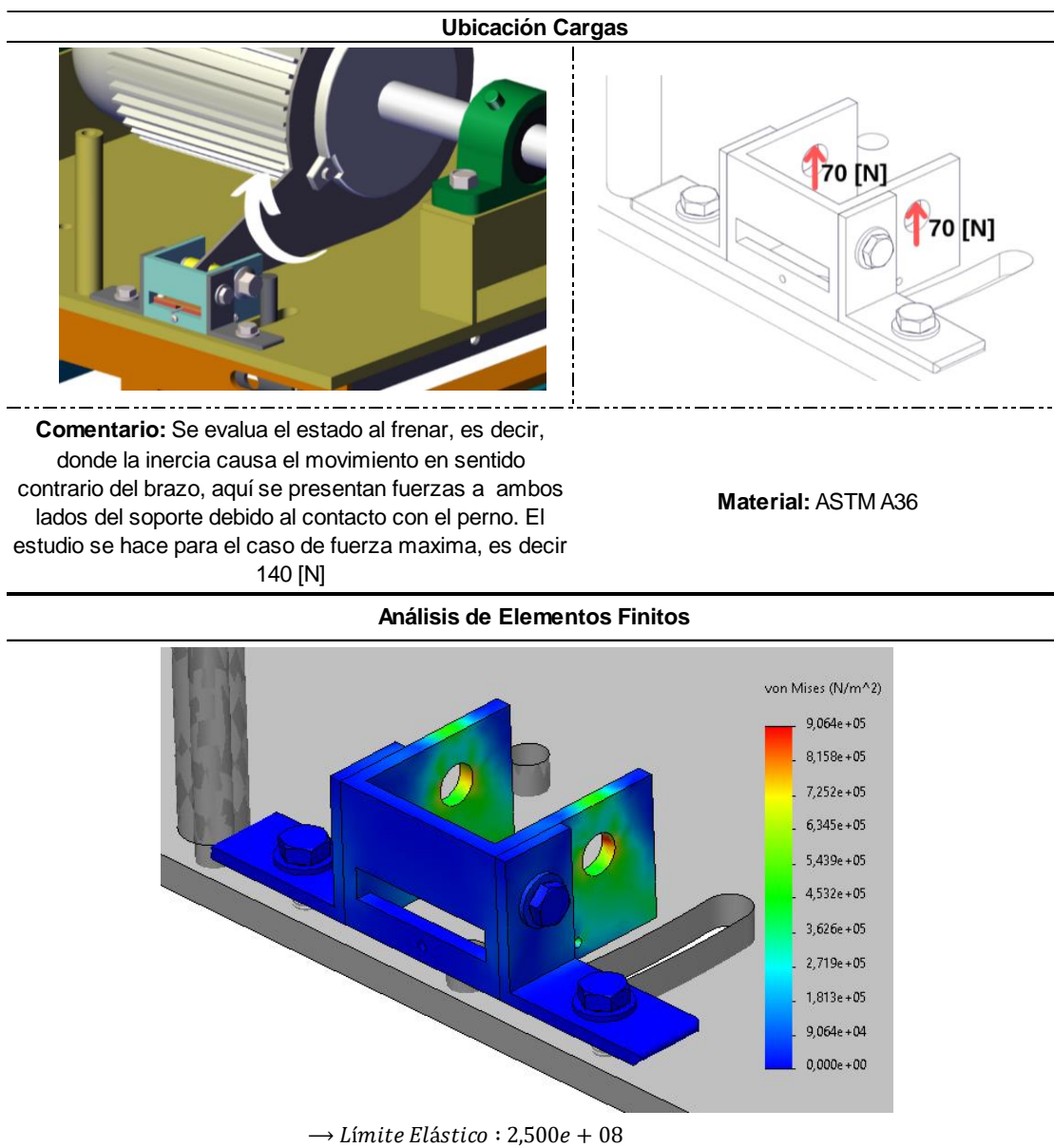
Los esfuerzos máximos están muy por debajo del límite elástico del material y se descarta problemas de falla por resistencia para el mismo.

5.2.3 Soporte Lateral (Pieza B0209)

En el soporte lateral se pueden encontrar 2 estados durante el funcionamiento del banco, el primero se refiere a la posición normal, donde se transmite la carga a la celda de carga, y la segunda, que como se observa y explica en la Figura 53, aparece al momento de frenar el banco.

Figura 53

Cuadro resumen para analizar resistencia en soporte lateral



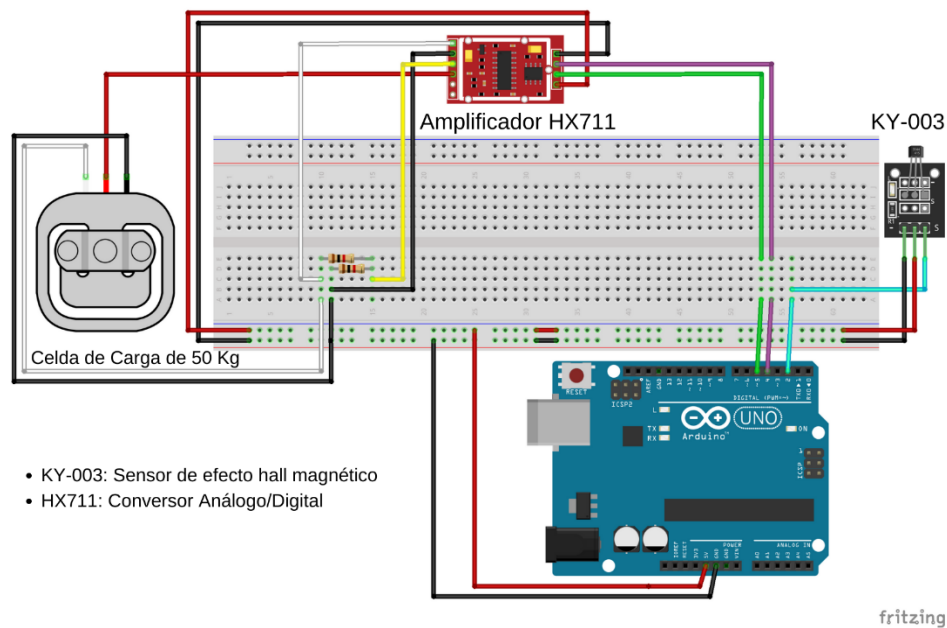
A partir del análisis mostrado se determina que no existen problemas con el soporte en términos de resistencia, así mismo se decide usar tornillos hexagonales de ¼” para la sujeción de los perfiles en ángulo laterales.

5.2.4 Circuito Electrónico

En este banco de laboratorio se miden 2 variables, por un lado, el torque transmitido por el motor a través de la carcasa, y, por otro lado, la velocidad de giro del eje. La Figura 54 muestra las conexiones de este circuito electrónico, la celda de carga recibe la carga puntual y manda la señal a través del módulo HX711 al Arduino, mientras tanto, el sensor de efecto hall se encuentra directamente debajo captando la señal del imán anclado al eje.

Figura 54

Circuito electrónico para banco de transmisiones flexibles



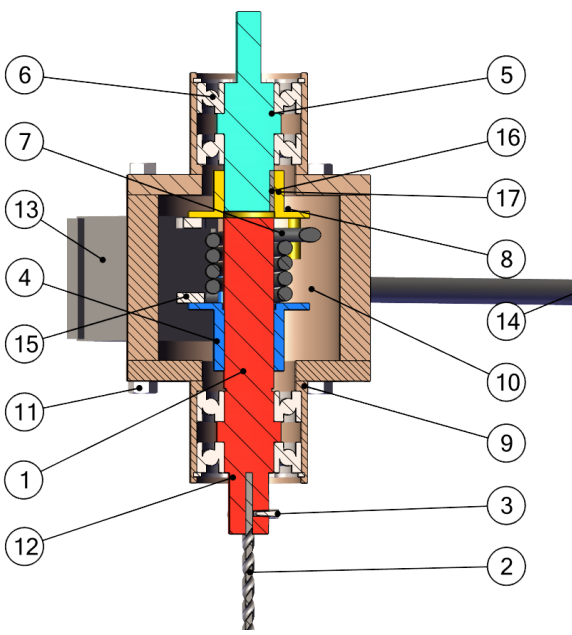
El código específico se encuentra en el Apéndice C.

5.3 Banco de Taladro

A continuación, la Figura 55 identifica los elementos del dispositivo a instalar en el taladro, y se presenta su codificación en los planos al lado derecho.

Figura 55

Esquema con codificación de piezas de dispositivo en taladro

	Nº	Ref	Nombre
	1	C0504	Eje Inferior
	2	C0501	Broca
	3	C0502	Tornillo Prisionero
	4	C0508	Soporte Inferior
	5	C0104	Eje Superior
	6	C0107/C0506	Rodamiento de Contacto Angular
	7	C03	Resorte de Torsión
	8	C0102	Soporte Superior
	9	C0105/C0505	Caja para Rodamientos
	10	C04	Carcasa Central
	11	C06	Tornillo de Sujeción
	12	C0106/C0503	Anillo de Retención Interno
	13	C0202	Caja Electrónica
	14	C07	Varilla Retensora
	15	C0101/C0509	Imán
	16	C0103	Cuña
	17	C0107/C0510	Tornillo Prisionero #2

En primer lugar, es necesario definir los parámetros que se pueden encontrar en el proceso de taladrado, así como identificar como se pueden implementar en la práctica de laboratorio tomando como base el taladro presente en el laboratorio de mecánica. En el diseño de este banco se determinarán primero los parámetros a implementar en la práctica y los requerimientos de carga para el dispositivo a instalar en el taladro de mesa, luego se procederán a dimensionar los elementos clave en la transmisión del torque, se presentan además esquemas de cuerpo libre,

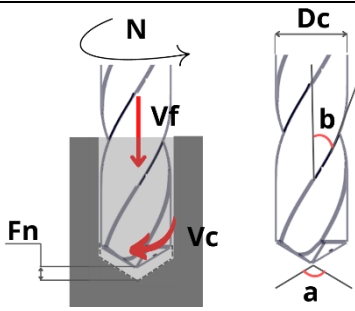
análisis usando el método de elementos finitos y algunos cuadros de diseño para componentes específicos.

5.3.1 Parámetros

En el proceso de taladrado se encuentran involucrados varios parámetros que inciden en su funcionamiento, es necesario entonces identificar que parámetros son de importancia para la práctica. La Figura 56 muestra un cuadro donde se listan los parámetros acompañados de un esquema en el lado izquierdo.

Figura 56

Lista de parámetros involucrados en el proceso de taladrado

Ecuaciones		Símbolo	Nombre	Unidades
$V_c = \frac{D_c * \pi * N}{1000}$		N	Velocidad de Giro	RPM
		Vf	Velocidad de Avance	mm/min
		Vc	Velocidad de Corte	m/min
$F_n = V_f * N$		Fn	Avance por Revolución	mm/rev
		Dc	Diámetro de Broca	mm
		b	Ángulo de Hélice	°
		a	Ángulo de Punta	°

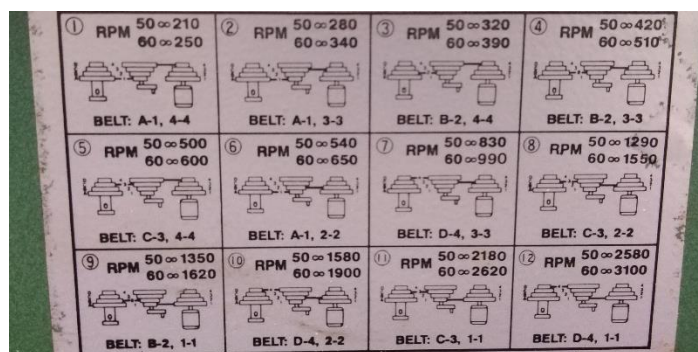
Como se presentó en el Capítulo 4, el diámetro de la broca se establece como fijo en la práctica de laboratorio, tomando la decisión de no implementar ya sea un montaje adicional para controlar el rango de tamaños de broca, o de adquirir una porta brocas comercial. Por otra parte, en el caso de los ángulos, es posible implementar el uso de distintas brocas con el mismo tamaño, pero con distintos ángulos ya sea de hélice o de punta, así que se establece como un parámetro a tener en cuenta sobre el que se pueden generar algunos estudios.

En el caso de “Vf” y “Fn”, son parámetros que dependen de que se puedan controlar a través del taladro, en este caso, ya que la forma como se mueve el taladro es manual haciendo uso de una manivela, no es posible conocer estos valores y tomarlos como parámetros variables en la

para observar su comportamiento. Finalmente, en el caso de la velocidad de giro y la velocidad de corte es posible establecer cualquiera de las dos como parámetro de entrada modificable, ya que se cuenta, como se ve en la Figura 57, con una transmisión por correas en la parte superior del taladro que permite el ajuste en un amplio rango de velocidades.

Figura 57

Rango de velocidades que permite el taladro de banco

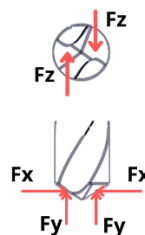


5.3.2 Requerimientos

El banco como ya se comentó con anterioridad, está planteado para la medición de torque mientras el taladro se encuentra en funcionamiento, es decir el dispositivo está sometido a las cargas que aparecen en la broca durante el taladrado, a continuación, en la Figura 58 se puede observar el posicionamiento de las cargas que enfrenta una broca mientras se realiza el proceso de taladrado.

Figura 58

Fuerzas que aparecen durante el taladrado



Aparece entonces la fuerza axial (F_y), fuerzas radiales (F_x) y las fuerzas tangenciales (F_z) que generan el torque durante el taladrado, el conocer estas fuerzas permitirá el diseño correcto del dispositivo a instalar; para estimar con certeza estos requerimientos de fuerza es necesario remitirse a otras investigaciones centradas alrededor de la medición de estas cargas, utilizando estos datos se definirán los requerimientos base para el dispositivo. A continuación, la Figura 59 presenta un resumen de los trabajos consultados, que parámetros se usan y los datos de interés (máximos) medidos en relación al torque y la fuerza axial.

Figura 59

Resumen datos de torque y fuerza axial en distintos trabajos de investigación

Trabajo	Autor	Broca	Parámetros	Material	Valores de importancia	
					Torque [N*m]	Fuerza Axial [N]
Optimization of Process Parameters with Minimum Thrust Force and Torque in Drilling Operation Using Taniguchi Method	Suleyman Nesel	Material: HSS Diámetro: 10 mm Angulo de Helice: 20°/25°/30° Ángulo de Punta: 118°	Velocidad Corte (m/min): 18/22/28 Velocidad de Alimentación(mm/rev): 0,1/0,2/0,3	AISI 1040 (Endurecido a 35HRC y Normalizado a 900°C)	20	1600
Effect of Changing Drilling Parameters on Thrust Force and Torque	Naser Ahmed	Diámetro: 10 mm Angulo de Helice: 30° Ángulo de Punta: 118°	Velocidad de Giro (rpm): 360/700/1000/1400 Velocidad de Alimentación (mm/rev): 0,125/0,176/0,25/0,352	Aluminio 6061-T6	4,1	1150
Cutting Forces in Drilling Operation: Measurement and Modelling for Medium Scale Manufacturing Firms	Gurumukh Das	Diámetro (mm): 7/8/9/10.2/11/12	Velocidad de Giro (rpm): 110/167	Latón	3,381	980
	Param Das			Aluminio	3,651	903,1
An Experimental Study on the Effect of Minimum Quantity Lubrication on Drilling AISI 1040 Steel	A.M.M Azmul AHSAN	Material: HSS Diámetro: 6 mm	Condición: Seco/Húmedo/MQL Velocidad de Giro: 200/400/600	AISI 1040	7	2
	Md. Golan KIBRIA					
3D Modelling of Drilling Process of AISI 1010 Steel	Riaz Muhammad	Diámetro: 3 mm	Velocidad de Giro (rpm): 300/650/1000/1300/2000 Condición: Seco Velocidad de Alimentación (mm/rev): 0,12/0,175/0,24/0,35	AISI 1010	3,7	1000
	Naseer Ahmed Muhammad Abid Vadim V. Silverschmidt					

A partir de esta información se decide establecer una carga axial mínima a resistir por el dispositivo de 2000 N. Por otra parte, para la práctica se establece un torque máximo de 15 N*m.

5.3.3 Resorte de Torsión (Pieza C03)

El método de diseño para el resorte de torsión, al igual que para el resorte de compresión en una sección previa, se basa en el presentado en el libro “Shigley's Mechanical Engineering Design”. A continuación, la Figura 60 presenta un cuadro que resume las ecuaciones, el esquema del resorte, así como las selecciones de manufactura y material.

Figura 60

Cuadro resumen de diseño para el resorte de torsión

	Ecuaciones	
	$\rightarrow L1 = L2 = L$ $\rightarrow M = F * L$ $\rightarrow \frac{Sy}{N} = Ki * \frac{32 * M_{sy}}{\pi * din^3}$ $\rightarrow Ki = \frac{4 * C^2 - C - 1}{4 * C * (C + 1)}$ $\rightarrow C = \frac{D}{din}$ $\rightarrow Sy = 0,78 * Su$ $\rightarrow Rev_{sy} = \frac{10,8 * M_{sy} * D}{din^4 * E} * Na$ $\rightarrow Na = Nb + \frac{2 * L}{3 * \pi * D}$	$\rightarrow \theta_{sy} = Rev_{sy} * 360$ $\rightarrow D_{sy} = Nb * \left[\frac{D}{Nb + Rev_{sy}} \right]$ $\rightarrow Di_{sy} = D_{sy} * din$ $\rightarrow D_{vástago} = Di_{sy} * 0,9$ $\rightarrow L = (Nb + 1) * din$ $\rightarrow L_{sy} = (Nb + 1 + \theta_b) * din$ $\rightarrow \theta_{b/sy} = \frac{10,8 * M_{sy} * D}{din^4 * E * 0,159155}$
	Dirección de Enrollado 	Material: AISI 1070 $E = 197,2 \times 10^9$ $Su = 1231,92 \times 10^6$
<i>D</i> : Diámetro medio del resorte	<i>Na</i> : Factor para calcular deflexión en cuerpo y brazos	
<i>din</i> : Diámetro del alambre	<i>Nb</i> : Número de vueltas en el cuerpo	
<i>F</i> : Fuerza en el extremo del resorte	θ_{sy} : Deflexión máxima en grados	
<i>Sy</i> : Esfuerzo maximo en zona elástica	<i>Di_sy</i> : Diámetro interno a máxima carga	
<i>Su</i> : Esfuerzo último	<i>D_sy</i> : Diámetro medio a máxima carga	
<i>Ki</i> : Concentrador de esfuerzos perfil interno	<i>D_vástago</i> : Diámetro eje interno	
<i>M_sy</i> : Momento maximo que permite	<i>L</i> : Longitud del resorte de torsión	
<i>Rev_sy</i> : Deflexión maxima en revoluciones	<i>L_sy</i> : Longitud a máxima carga	
<i>E</i> : Módulo elástico	$\theta_{b/sy}$: Deflexión en cuerpo del resorte a máxima carga	
<i>C</i> : Índice del resorte	<i>N</i> : Factor de seguridad	

Antes de abordar plenamente estos cálculos, primero es necesario definir un tamaño para el eje, de esta manera se puede derivar un ancho del resorte que no sea demasiado grande en

relación a los demás componentes. Para esto se revisó el catálogo de rodamientos angulares SKF, la Tabla 14 resume las dimensiones de importancia para varios tamaños de rodamientos.

Tabla 14

Dimensiones de rodamientos de contacto angular y eje

d (mm)	D (mm)	B (mm)
15	35	11
17	40	12
20	47	14
25	52	15
25	62	17
30	62	16
30	72	19

d: Diámetro del Eje
D: Diámetro Interno de la Carcasa
/Externo del Rodamiento
B: Espesor Rodamiento

Se selecciona entonces un tamaño de 25 mm, específicamente en el eje mientras que para el resorte se escoge un diámetro de diseño de 36 mm.

A partir de esta información es posible comenzar a realizar cálculos para el resorte de torsión, en la Tabla 15 se presentan los resultados para distintos diámetros de alambre.

Tabla 15*Resultados de resorte de torsión para distintos diámetros de alambre*

din (m)	Nb	C	D (m)	L (m)	Longitud (m)	M _{sy} (N*m)	θ_{sy} °
0,002	3	18	0,018	0,036	0,008	0,4822	66,45
0,003	3	12	0,018	0,036	0,012	1,592	43,34
0,004	3	9	0,018	0,036	0,016	3,692	31,79
0,005	3	7,2	0,018	0,036	0,02	7,048	24,86
0,006	3	6	0,018	0,036	0,024	11,9	20,24
0,007	3	5,143	0,018	0,036	0,028	18,45	16,94
0,008	3	4,5	0,018	0,036	0,032	26,87	14,46
0,002	4	18	0,018	0,036	0,01	0,4822	87,84
0,003	4	12	0,018	0,036	0,015	15,92	57,3
0,004	4	9	0,018	0,036	0,02	3,692	42,03
0,005	4	7,2	0,018	0,036	0,025	7,048	32,87
0,006	4	6	0,018	0,036	0,03	11,9	26,76
0,007	4	5,143	0,018	0,036	0,035	18,45	22,39
0,008	4	4,5	0,018	0,036	0,04	26,87	19,12
0,002	5	18	0,018	0,036	0,012	0,4822	109,2
0,003	5	12	0,018	0,036	0,018	1,592	71,25
0,004	5	9	0,018	0,036	0,024	3,692	52,26
0,005	5	7,2	0,018	0,036	0,03	7,048	40,87
0,006	5	6	0,018	0,036	0,036	11,9	33,27
0,007	5	5,143	0,018	0,036	0,042	18,45	27,85
0,008	5	4,5	0,018	0,036	0,048	26,87	23,77

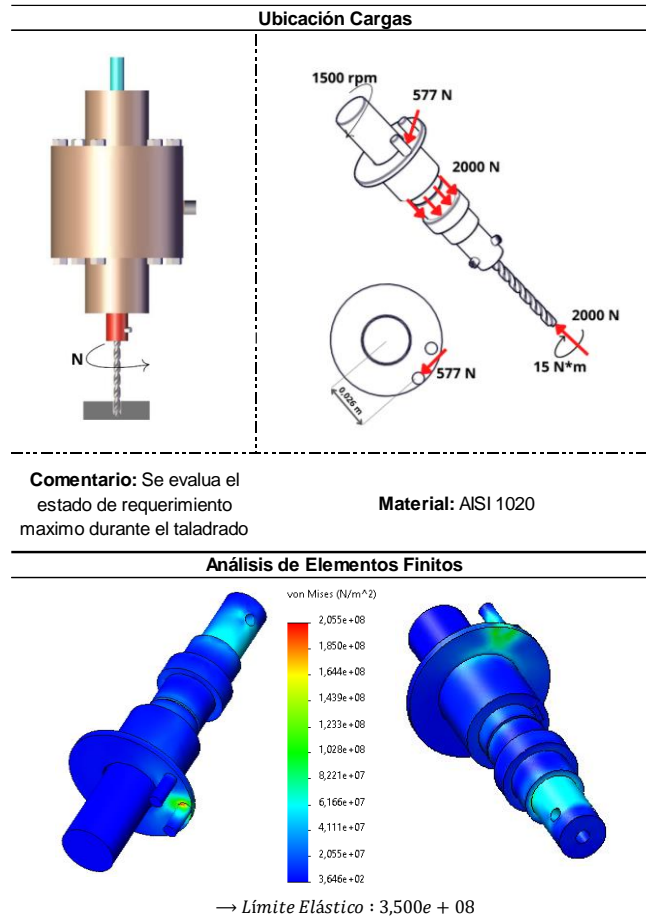
A partir de los resultados se determina usar un resorte de torsión con diámetro de 7 mm, la razón es que es el primer tamaño para el cual el momento máximo supera el momento máximo de diseño establecido para la práctica de 15 N*m.

5.3.4 Eje en Montaje Inferior

En el caso de los ejes, es necesario revisar los elementos principales de transmisión, siendo las Piezas C0504 (Eje Inferior) y C0508 (Soporte Inferior), a continuación, la Figura 61 presenta un cuadro resumen del análisis sobre el montaje de estas piezas,

Figura 61

Cuadro resumen del análisis FEM sobre la transmisión inferior



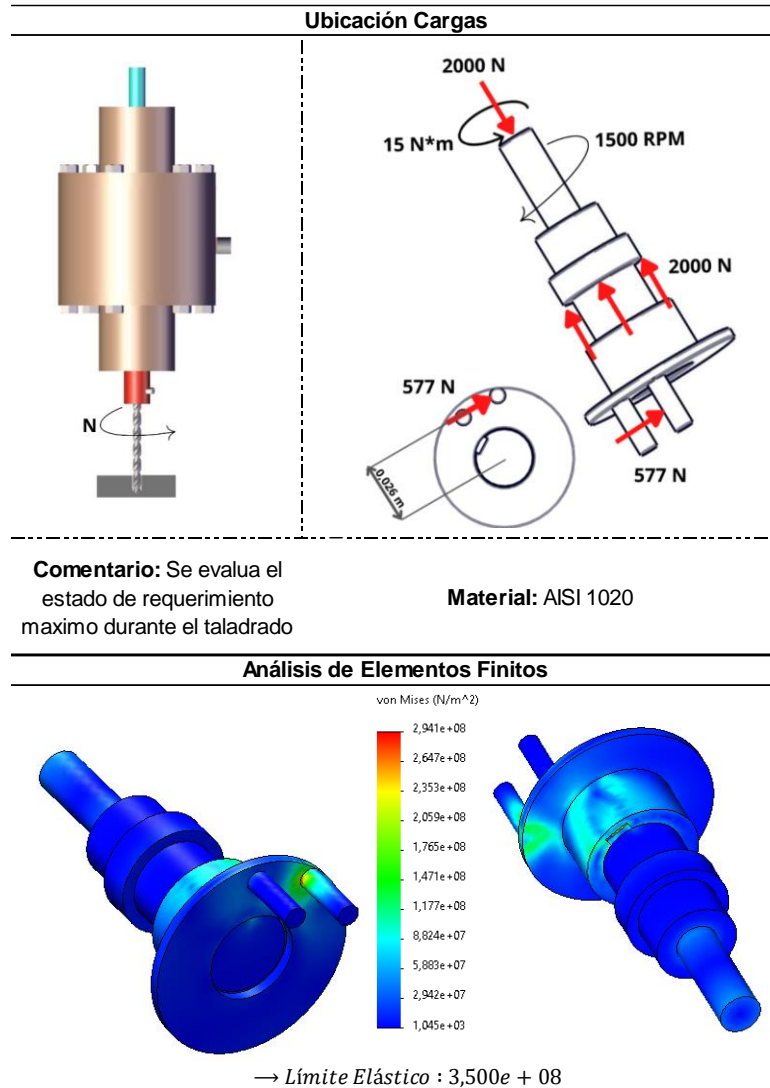
Se verifica entonces que la transmisión ubicada en la zona inferior no falla por resistencia ya el valor máximo de esfuerzo no supera el límite elástico del material.

5.3.5 Eje en Montaje Superior

Este es un análisis análogo al anterior presentado, solamente que se evalúa la transmisión en la zona superior, específicamente las piezas C0104 (Eje Superior) y C0102 (Soporte Superior). La Figura 62 resume el proceso de ubicación de cargas y resultados por FEM.

Figura 62

Cuadro resumen de análisis FEM para transmisión superior



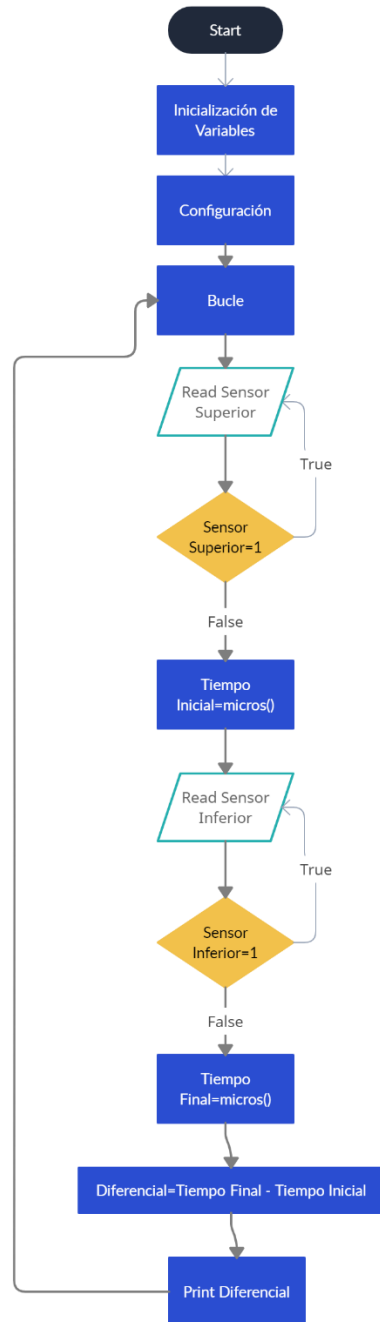
La conclusión es similar a la anterior, donde los esfuerzos máximos no superan el límite elástico del material es validado su uso.

5.3.6 Circuito Electrónico

En el taladro se cuenta con 2 sensores de efecto hall magnéticos KY-0003, la conexión se realiza como se muestra en la Figura 63, por un lado, la medición de rpm ya fue presentada en la sección previa para el banco de transmisiones flexibles, por otra parte, la medición de torque aquí

Figura 64

Diagrama de flujo en circuito para banco con taladro



El código para este circuito se puede encontrar en el Apéndice C.

Con el diagrama de flujo previo es posible entender cómo se realiza la adquisición de datos, datos que representan un diferencial de tiempo que debe utilizarse para deducir el valor del torque, la siguiente Figura resume el cálculo de torque a partir de este diferencial de tiempo,

Figura 65

Cuadro resumen para el cálculo de torque a partir de la medición

Ecuaciones
$Desfase = Diferencial_{carga} - Diferencial_{libre}$
$\rightarrow W = RPM * \frac{360}{60 * 1000000}$
$\rightarrow \theta_{grad} = Desfase * W$
$\rightarrow \theta_{rad} = \theta_{grad} * \frac{\pi}{180}$
$\rightarrow \theta_{rad} = \frac{64 * T * Nb}{E * din^4} \rightarrow Resorte Torsión$
W : Velocidad angular en grados/microsegundos
RPM : Velocidad angular en revoluciones/minuto
θ_{grad} : Ángulo recorrido en grados durante el diferencial
θ_{rad} : Ángulo recorrido en radianes durante el diferencial
Desfase : Diferencia de los diferenciales en estados con y sin carga
Diferencial_carga : Medición taladrando en microsegundos
Diferencial_libre : Medición sin taladrar en microsegundos a unas RPM específicas

Debe aclararse que: las variables para la ecuación del resorte de torsión ya fueron presentadas en la Figura 60 y el dato de RPM (velocidad de giro) es un parámetro que se modifica en el taladro, este cambio de velocidad de rotación causa que los diferenciales solo se puedan relacionar si son medidos a la misma velocidad.

6. Validación

En esta sección se presentan las validaciones que se hicieron para cada uno de los bancos, constatando desde aspectos como el posicionamiento y dimensionamiento, hasta comprobaciones de código y medición. En cada sección se presentan fotos del aparato y sus partes, además de comentarios de pequeños cambios ya haya sido para su construcción o debido a algún problema al momento de validar, al final de cada sección, además, se resumen algunos aspectos para los cuales no fue posible su validación y se presentan comparativas visuales del modelo CAD con el montaje físico.

6.1 Banco de Apriete Estático

A continuación, la Figura 66 presenta el montaje en físico para este banco.

Figura 66

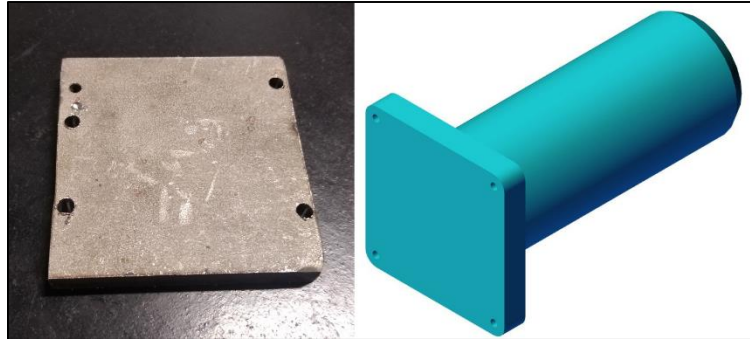
Banco de apriete estático físico



El principal cambio visible en el montaje construido se refiere a la Pieza A0205, en la Figura 67 se muestra una comparativa del modelado y el componente, se puede observar entonces que el principal cambio se haya en la ausencia del eje en la zona interna del resorte de compresión (Pieza A0203).

Figura 67

Comparativa modelo y construcción de la Pieza A0205



La razón del cambio se halla en dos razones:

- Ahorrar en gastos de lo que constituye conseguir el material del tubo y soldarlo en la placa
- La posibilidad de usar la pieza A0206 (Guía Posterior) en ambos montajes de atornillado y apriete.

Mantener esta pieza de soporte del resorte sin su eje central implica no necesitar ese agujero en la guía posterior, de esta manera, la Pieza A0206 queda de la siguiente manera (Figura 68).

Figura 68

Comparativa de geometrías entre modelo y construcción

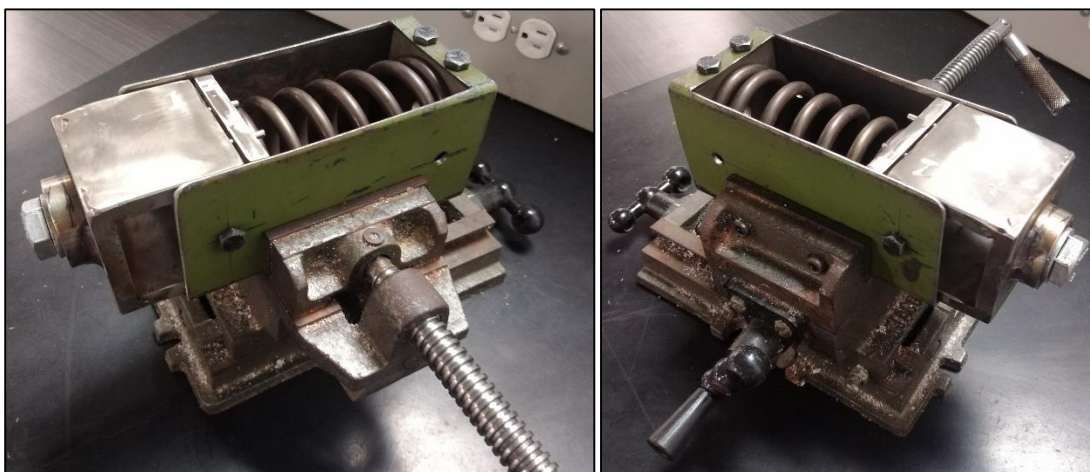


6.1.1 Dimensiones Correctas

Al diseñar este banco se piensa en utilizar la prensa de banco como dispositivo de aseguramiento para realizar la práctica de apriete estático sin una base estable. Se procedió a montar el banco sobre la prensa de banco como se ve en la Figura 69.

Figura 69

Montaje de banco de apriete estático en prensa de banco



Esto constata entonces que el diseño se puede instalar con facilidad sobre la prensa de banco.

6.1.2 Resistencia y Medición a Máximo Trabajo

Para realizar estas pruebas es necesario remitirse a una herramienta que permita hacer estas mediciones, en este caso, se pudo conseguir un torquímetro ajustable de tipo click con un rango desde los 13 N*m hasta poco más de 200 N*m. La Figura 70 muestra en la parte superior el torquímetro, y en la parte inferior el rango que tiene la herramienta.

Figura 70

Torquímetero de click ajustable usado para mediciones y pruebas

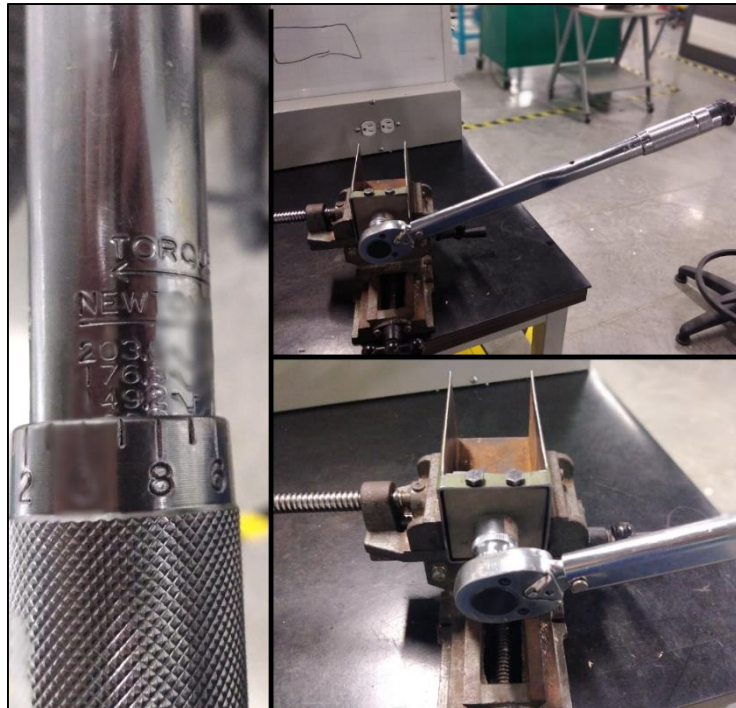


Este tipo de herramienta recibe su nombre porque su ajuste en el mango implica colocar un tope superior de apriete en el torque, y al alcanzarlo se escucha un “click” con el que se puede saber si se llegó al par requerido.

Se realiza entonces el montaje de apriete y se procede a graduar el torquímetro hasta alrededor de los 140 N*m, medida que determina el apriete máximo a alcanzar con el perno F3125 Grado A325 en apriete de juntas. La siguiente Figura muestra a la izquierda la graduación del mango, y a la derecha el punto donde se alcanza el tope y no se puede seguir apretando.

Figura 71

Medición a máxima carga en montaje para estudio del apriete



Aquí es necesario abordar algunas cuestiones, La Figura 72 muestra de forma más cercana el perno sin el torquímetro, se puede observar que el banco se mantiene de la misma forma y resiste satisfactoriamente estas cargas, por otra parte, también puede observar una placa que no hace parte del montaje original en la zona inferior, y parece sostener la posición de la placa roscada. Esto se debe a que al momento de realizar el apriete, la placa roscada no hacia pleno contacto con la guía posterior, lo que implica ya sea una falta de holgura lateral en el agujero, o simplemente una ubicación desfasada del taladrado por unos pocos milímetros, la solución entonces fue retirar los tornillos de fijación laterales (A0207) y colocar esta placa en la zona inferior para evitar que las esquinas de la placa roscada entren en contacto con la pared y puedan dañarla o hundirla.

Figura 72

*Vista cercana de montaje de unión entre placas a 146 N*m*



Luego de realizada esta prueba, se pudo encontrar un problema crucial, no era posible desmontar el perno, hizo falta el uso de una pinza de fuerza para ajustar y posteriormente golpear con un martillo en el extremo para lograr soltar el perno, la Figura 73 muestra herramienta usada para lograr esto.

Figura 73

Desmontar el perno en montaje de apriete



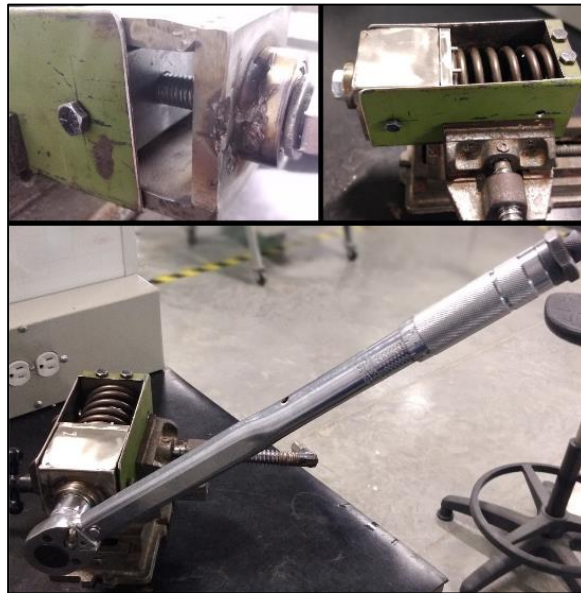
Estos problemas para el desmontaje implican un inconveniente para el desarrollo de la práctica de laboratorio, el atascamiento del perno en prácticas llevaría a perder grandes cantidades

de tiempo para soltarlo, por lo tanto, se decide limitar la práctica hasta los 50 N*m para que se pueda realizar sin mayores problemas, si se tiene interés en estas prácticas de laboratorio se puede visitar el Apéndice D.

Con el montaje de apriete verificado, se continua con las pruebas sobre el montaje para el estudio del atornillado. La Figura 74 presenta imágenes al inicio y luego de atornillar completamente el perno en la parte superior.

Figura 74

Prueba de montaje para estudio de atornillado



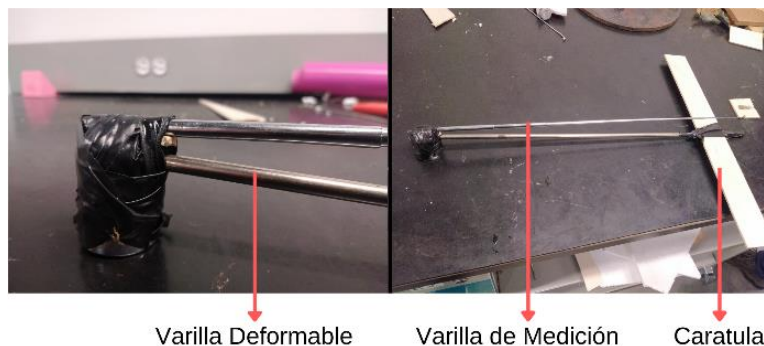
6.1.3 Medición de Torque

Esta parte de la comprobación se refiere a mostrar el uso de los torquímetro estándar y casero. El caso del torquímetro estándar se pudo ver en la sección previa, lamentablemente no se pudo conseguir un torquímetro de aguja estándar, el cual es el tipo de torquímetro planteado para la práctica. Este caso se centra entonces en mostrar el proceso de implementación de un

torquímetro casero alrededor del estudio de atornillado. La Figura 75 presenta el torquímetro construido.

Figura 75

Torquímetro Casero

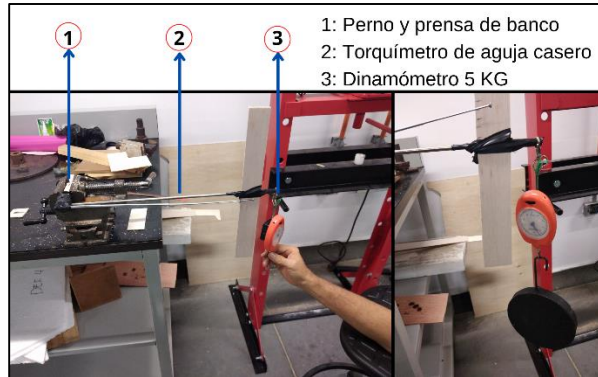


El torquímetro está conformado por 3 elementos principales, la varilla deformable para la que se usó una barra de acero inoxidable, la varilla de medición, y la caratula. La varilla deformable además está conectada a una copa que acepta el perno de 1/2" y tiene una longitud de 37 cm.

Como se explica en la guía de laboratorio (Apéndice D), es necesario calibrar el torquímetro en primer lugar y luego comenzar a realizar la toma de datos con esta herramienta. La Figura 76 muestra a grandes rasgos este proceso, por una parte, la prensa sosteniendo el perno en posición, el torquímetro casero conectado a su cabeza y en su extremo se ubica un dinamómetro que tiene como rango límite 5 Kg.

Figura 76

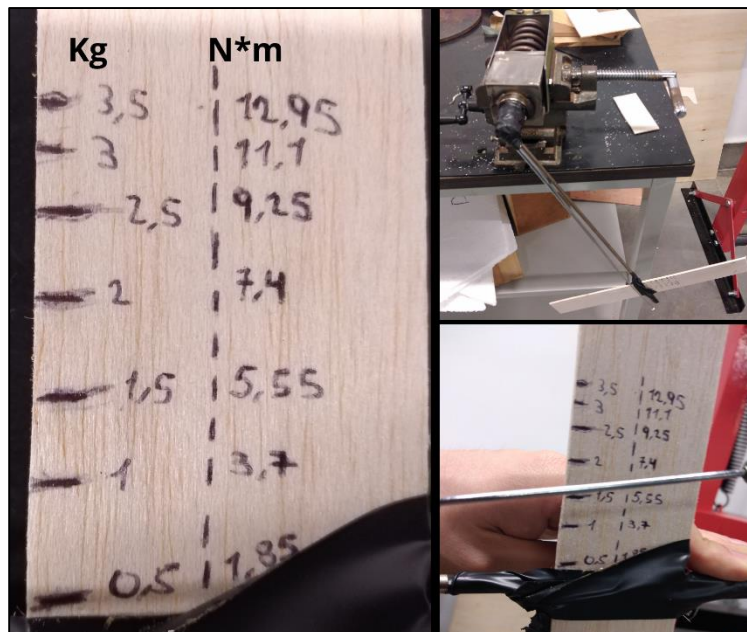
Montaje para calibrar torquímetro casero



El resultado entonces se muestra en Figura 77, donde se presenta la caratula con las marcas correspondientes, y a la derecha la medición realizada sobre el banco de apriete estático.

Figura 77

Caratula y medición con torquímetro en banco de apriete estático



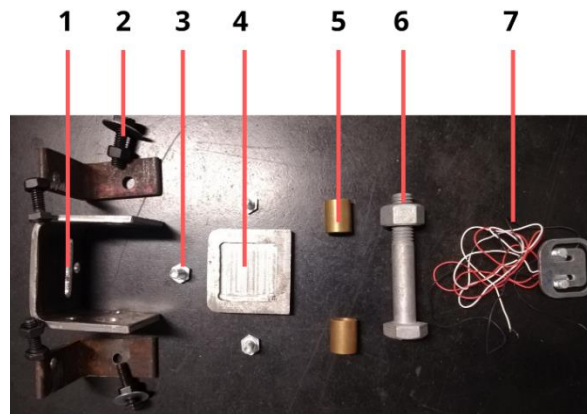
La medición ronda alrededor de los 3,7 N*m.

6.2 Banco de Transmisiones Flexibles

La siguiente Figura muestra las piezas para el montaje de medición de torque.

Figura 78

Piezas para montaje físico en banco de transmisiones flexibles

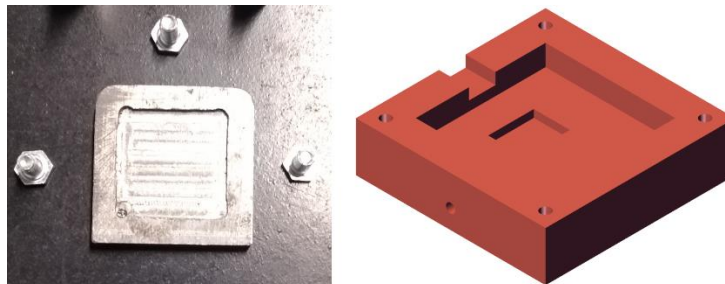


- 1 - B0209 - Soporte Lateral
- 2 - B0210 - Tornillo de Sujeción #2
- 3 - B0212 - Tornillo de Sujeción #3
- 4 - B0203 - Base Celda de Carga
- 5 - B0208 - Buje de Centrado
- 6 - B0207 - Perno Retensor
- 7 - B0204 - Base Celda de Carga

Para esta construcción no se incluyó la Pieza B0201 (Tapa de Celda de Carga) y, además, la Pieza B0203 aparece sin algunas de las geometrías que la componen en el diseño. Es necesario especificar que la celda de carga adquirida es de 50 Kg. La Figura 79 muestra a la izquierda la Pieza B0203 y a la derecha la comparativa con el modelo CAD.

Figura 79

Comparativa para Pieza B0203



La razón de esto se halla en que al estar el banco sin poder funcionar temporalmente debido a que no cuenta con las conexiones eléctricas necesarias, no es posible validar la estabilidad en la sujeción que aportan estas piezas a la celda de carga bajo condiciones de movimiento, se decide entonces no validar este aspecto y la geometría no se alcanza totalmente en la Pieza B0203 para ahorrar en costos.

A continuación, se presentan las validaciones realizadas en este banco.

6.2.1 Posicionamiento Correcto

Una característica necesaria para este diseño está en que su posicionamiento este de acuerdo al espacio con el que se cuenta en la placa del motor y que este realmente en línea con la carga proveniente del motor a través del brazo (Pieza B0205), además de que precisamente el brazo debe encajar en la tapa del motor para transmitir este torque.

A continuación, la Figura 80 muestra el montaje del brazo en la tapa del motor.

Figura 80

Vista frontal del encaje del brazo en la tapa del motor



Asegurando este montaje, ahora es necesario revisar el montaje de esta pieza junto a los elementos en el lateral que acomodan la celda de carga. La Figura 81 presenta el montaje de las

piezas B0209 (Soporte Lateral), B0207 (Perno Retensor) y B0203 (Base para Celda de Carga) para asegurar el buen posicionamiento del diseño realizado.

Figura 81

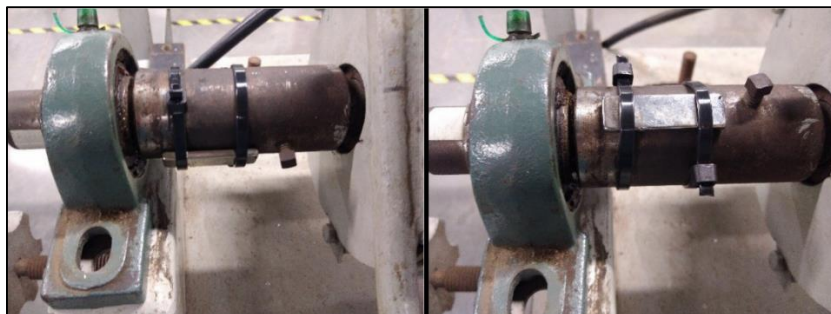
Vistas del soporte lateral instalado en el banco de transmisiones flexibles



Por otra parte, en relación al montaje encargado de la medición de las RPM en el banco, la Figura 82 presenta el montaje del imán sobre el eje del banco en la zona de medición de RPM.

Figura 82

Zona medición de RPM en el banco de transmisiones flexibles



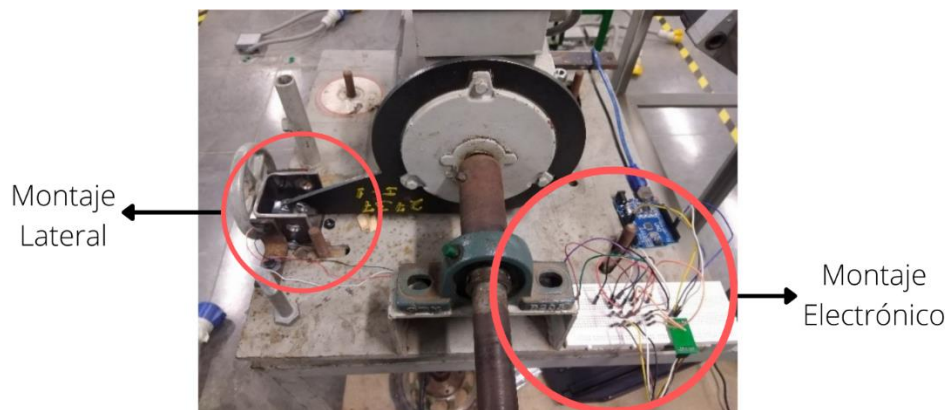
El otro componente que hace parte de este montaje, es el soporte del sensor, su función es posicionar el sensor a la altura mínima a la que pueda captar la señal del imán, debido a que no se puede colocar en funcionamiento el banco, se hace necesario comprobar la medición de RPM de alguna otra manera, es así que se decide utilizar el banco con taladro de mesa para realizar esta prueba. A continuación, se presentan los resultados para medición de torque y RPM.

6.2.2 Medición de Torque

El montaje para realizar la medición está conformado de la siguiente manera, por una parte, se tiene el montaje en la zona lateral que aloja la celda de carga y donde se apoya el brazo anclado al motor, la celda de carga por su parte se conecta al amplificador de celda de carga HX711, la siguiente Figura muestra el montaje mencionado.

Figura 83

Montaje para medir torque en banco de transmisiones flexibles



Por otra parte, como el banco no se puede colocar a funcionar, es necesario generar una fuerza en el apoyo lateral que ayude a determinar el funcionamiento de la celda de carga (Pieza B0204) y del brazo (Pieza B0205), esto se hizo generando una reacción, en el punto de contacto de la celda de carga, a una fuerza externa, para esto se colocó una pesa en la varilla soldada que se encuentra al otro extremo del motor como se ve en la Figura 84.

Figura 84

Foto de como se genera la induce la medición en la celda de carga



El peso de este componente genera la reacción en la celda de carga para su medición y como se ve en la Figura tiene un peso de 2.5 Kg.

Es preciso aclarar que la medición no se puede realizar al momento, la obtención de un valor que coincida con el peso usado depende de una constante para las celdas de carga, este tipo de celdas no son todas completamente iguales y existen diferencias de sensibilidad de unas a otras, por esta razón es necesario primero calibrar la celda hasta que la medición converge al valor de peso esperado. La Figura 85 muestra la comparativa de resultados al usar una constante u otra.

Figura 85

Cuadro comparativo de resultados para celda de carga

Factor Calibración : 8000	Factor Calibración : 19000
<pre> Output Serial Monitor x Message (Ctrl+Enter to send message to 'Arduino Uno' on 'CC Reading: 0.00 kg calibration_factor: 8000.00 Reading: 1.72 kg calibration_factor: 8000.00 Reading: 1.75 kg calibration_factor: 8000.00 Reading: 1.77 kg calibration_factor: 8000.00 Reading: 2.66 kg calibration_factor: 8000.00 Reading: 3.02 kg calibration_factor: 8000.00 Reading: 3.33 kg calibration_factor: 8000.00 Reading: 2.84 kg calibration_factor: 8000.00 Reading: 2.54 kg calibration_factor: 8000.00 Reading: 1.34 kg calibration_factor: 8000.00 </pre>	<pre> Output Serial Monitor x Message (Ctrl+Enter to send message to 'Arduino Uno' on 'CC Reading: 0.00 kg calibration_factor: 19000.00 Reading: 2.34 kg calibration_factor: 19000.00 Reading: 2.06 kg calibration_factor: 19000.00 Reading: 2.16 kg calibration_factor: 19000.00 Reading: 2.35 kg calibration_factor: 19000.00 Reading: 2.39 kg calibration_factor: 19000.00 Reading: 2.35 kg calibration_factor: 19000.00 Reading: 2.63 kg calibration_factor: 19000.00 Reading: 2.91 kg calibration_factor: 19000.00 Reading: 3.15 kg calibration_factor: 19000.00 Reading: 2.77 kg calibration_factor: 19000.00 </pre>
Masa Promedio : 2,33 Kg	Masa Promedio: 2,51 Kg

Es importante realizar una rigurosa calibración de la celda de carga, incluso las diferencias más mínimas generan grandes errores, en este caso, la diferencia no parece tan grande debido a la gran fluctuación en el rango de medición para una constante de 8000, pero descartando los datos más pronunciados, la medición ronda los 1.8 y 1.9 Kg. Se escoge entonces un valor de 19000 para la constante de calibración, y con la calibración realizada, las mediciones pueden ser ajustadas al valor de torque que se necesita, por lo tanto:

$$\text{Peso} = \text{Masa} * \text{Gravedad}$$

$$\text{Torque} = \text{Peso} * \text{distancia}$$

La distancia la determina la longitud del brazo, y este tiene 201 mm de largo. Para el valor promedio medido anteriormente se tiene que para 2.5 Kg medidos en la celda de carga se tienen 5,025 N*m. Se comprueba entonces que el brazo realiza efectivamente la transmisión de fuerza en conjunto con la celda de carga.

6.2.3 Medición de RPM

Aunque el banco no pueda funcionar ahora, es necesario comprobar que el código y sensor estén cumpliendo su función, es así que se realizó un montaje en las cercanías del taladro presente en el laboratorio para corroborar el cálculo de las Rpm, a través precisamente de la señal proveniente del sensor de efecto hall. En la siguiente Figura se puede observar el imán conectado al mandril del taladro y el posicionamiento del sensor de efecto hall, además la placa de madera en la zona inferior hace las veces de graduador para acercar o alejar el sensor y así poder captar la señal.

Figura 86*Montaje para prueba de medición de RPM*

Los resultados se recogieron en un programa que guarda los datos provenientes de la placa de Arduino, la siguiente Tabla presenta el resumen de datos captados para cada velocidad de giro probada.

Tabla 16*Datos de velocidad de giro medidos*

Velocidad Angular (RPM)			
250	340	390	510
240	360	360	480
240	360	480	600
240	360	480	600
240	360	360	480
360	360	480	600
240	360	360	600
240	360	480	480
240	360	480	600
240	360	360	600
240	360	480	480
240	360	480	600
240	360	360	600
360	360	480	480
240	360	480	600
240	360	360	600
240	360	480	480
240	360	360	600
240	360	480	600
240	360	480	480

Las mediciones son constantes, por lo tanto, no existen problemas de estabilidad en el imán que puedan inducir medidas erróneas, además las diferencias entre el valor experimental con el teórico no supera las 20 o 30 RPM, siendo poco significativas. De acuerdo a esto se pudo

comprobar la plena captación de la velocidad de giro, y por lo tanto puede ser implementada en el banco de transmisiones flexibles, así como en el banco con taladro de mesa.

6.3 Banco con taladro de Mesa

A continuación, la Figura 87 presenta el dispositivo construido para este banco.

Figura 87

Dispositivo de medición de torque en taladro de mesa



Antes de abordar las respectivas validaciones, es necesario observar las partes que los conforman; en la Figura 88 se observan las piezas del dispositivo de medición.

Figura 88

Listado de piezas y montajes visibles en dispositivo de medición de torque



-
- 1: Montaje para Eje Superior
 - 2: Montaje para Eje Inferior
 - 3: Resorte de Torsión (Pieza C03)
 - 4: Broca 5/64" (Pieza C0501)
 - 5: Sensores de Efecto Hall
 - 6: Carcasa Central (Pieza C04)
 - 7: Cuñas y elementos de sujeción
 - 8: Varilla Retensora
-

Además de las piezas visibles, en los montajes sobre los ejes se encuentran los rodamientos de contacto angular (C0107) y los anillos de retención internos (C0106). A continuación, se presentan las respectivas validaciones del diseño.

6.3.1 Montaje en Taladro

Aunque la Figura 87 presenta su montaje en un taladro, es necesario de confirmar en el laboratorio de diseño de ingeniería mecánica con el que se cuenta allá, así es que la Figura 89 muestra la comparativa del modelo instalado con el modelo CAD.

Figura 89

Comparativa de montaje entre modelo físico y CAD



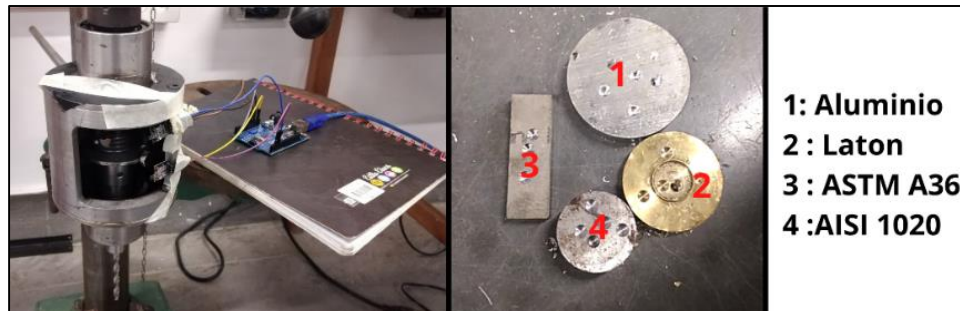
Se comprueba entonces que el dispositivo puede ser montado sin mayor complicación en el banco con taladro de mesa, conociendo esto se proceden a realizar las mediciones.

6.3.2 Medición de Torque

En primer lugar, se realizó el montaje electrónico, asegurando que al girar los sensores de efecto hall captaran la señal, la Figura 90 muestra este arreglo, donde usando cinta se pudo asegurar la recolección de señal.

Figura 90

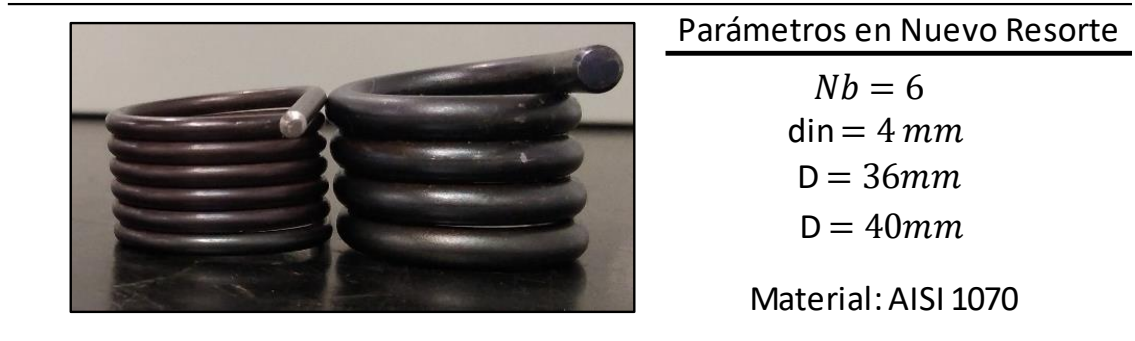
Montaje de pruebas para dispositivo en taladro



Se plantea entonces a varias velocidades recoger los datos diferenciales entre el paso de un imán con otro durante rotación libre y taladrando cada uno de los materiales presentados, se espera entonces que los datos captados durante el taladrado sean mayores a los captados en rotación libre, siendo esto indicador de la presencia de deformación.

Al realizar las pruebas se obtienen los mismos datos taladrando o en rotación libre con cualquiera de los materiales; esto indica que existe un problema ya sea con el montaje o con la forma de recoger los datos, el análisis arroja 2 posibles razones: por una parte, el resorte es demasiado rígido y no se deforma, actuando como elemento rígido en contacto con los soportes superior e inferior y transmitiendo el movimiento, por otra parte es posible que el problema sea con el código usado en la parte electrónica.

Se decide como primera medida adquirir un segundo resorte con más capacidad de deformación, la Figura 91 muestra la comparativa entre ambos resortes

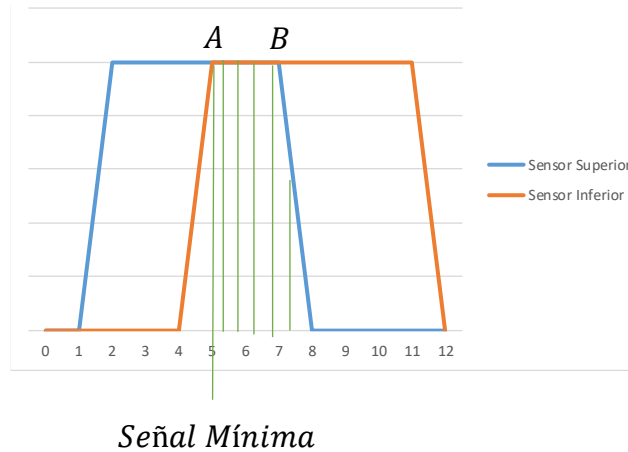
Figura 91*Comparativa de resortes de torsión*

El uso de este nuevo resorte resulto en continuar teniendo los mismos problemas con la captación de datos. El error posteriormente se pudo solucionar corrigiendo el código y se recogieron los datos de tiempo diferencial.

La selección de los datos captados en este contexto implica tener en cuenta como se recogen, la Figura 92 muestra los estados activos e inactivos para los sensores en el taladro, cuando ambos están activos el programa empieza a tomar datos, esto implica la generación de diferenciales más grandes por la naturaleza del código, para más claridad visitar la Figura 64 donde se expone el diagrama de flujo para este circuito, o en su defecto buscar el Apéndice C. Por esta razón la “señal mínima” o “primer dato” seria el dato más preciso.

Figura 92

Selección de datos en banco con taladro de mesa



Con la forma de recoger los datos aclarada, se prosigue al análisis de los resultados presentado en las Tablas 17 y 18.

Tabla 17

Resumen selección diferenciales medidos en taladro

Velocidad (RPM)	Diferencial de Tiempo (microseg)			
	Libre	Aluminio	Latón	AISI 1020
250	29760	34484	33964	40584
340	23880	28972	27748	29004
390	20068	23616	24344	25356
510	16212	20236	19988	23928

Tabla 18

Cálculo de torque a partir de información diferencial

Velocidad (RPM)	Torque (N*m)			
	Libre	Aluminio	Latón	AISI 1020
250	0	0,4516	0,4019	1,035
340	0	0,6621	0,5029	0,6662
390	0	0,5292	0,6377	0,7887
510	0	0,6002	0,5632	1,151

Los datos mostrados en la Tabla 17 son los medidos en el banco, el diferencial de tiempo en microsegundos que pasa entre un sensor y otro, utilizando estos valores y remitiéndose al cálculo presentando en la Figura 65 se pueden calcular los valores de torque, ya que además se conocen las propiedades del nuevo resorte partiendo de la Figura 91.

La tabla muestra una tendencia, aunque no muy clara, y es que el acero 1020 requiere un par más grande para su taladrado, esto implica que es el más duro de los 3. La tendencia mostrada del torque no es muy significativa, pero esto también está de acuerdo al cómo funciona el taladro, ya que el avance se realiza manualmente utilizando la manivela, en ocasiones puede ser más o menos fuerte y esto no permite dilucidar tan fácilmente el comportamiento. Otro punto importante es el cómo se mostraron resultados para un valor seleccionado, con más valores a ingresar en el banco de datos, más chances de reducir el impacto de valores fuera de la norma. Se pudo entonces validar hasta cierto punto que los datos obtenidos tienen cierto sentido, y aunque faltarían pruebas que abarquen muchos más materiales y repeticiones de medición, además de controlar de alguna manera el avance dado por la manivela, las pruebas por el momento muestran que el uso del resorte como elemento central de medición en este montaje es satisfactorio y el dispositivo diseñado para el taladro funciona.

7. Conclusiones

Se diseñó y construyó debidamente un banco de pruebas orientado al análisis del torque en el apriete de placas utilizando un elemento roscante como lo es el perno F3125 Grado A325, con par de apriete que llega hasta los 146 N*m, y que se comprobó que el banco resiste tanto teórica como físicamente, además se logró expandir su aplicación al análisis del proceso de atornillado que ocurre previo al apriete del perno.

El cambio de resorte en el dispositivo del taladro, por las razones previamente planteadas, terminaron facilitando las mediciones de torque debido a contar con una rigidez bastante menor, esto género que las deformaciones fueran más notables durante el proceso de taladrado.

El dispositivo de medición de torque en el taladro es totalmente funcional, y puede ser usado de forma segura desde las 250 RPM hasta las 990 RPM, puede ser usado a velocidades más altas, pero es necesario tener cuidado con la vibración, esta es provocada en parte por una excentricidad en la punta del taladro y también porque la carcasa al haber sido unida en parte con soldadura, dio paso a una superficie no homogénea en algunas zonas internas.

El diseño sobre el banco de transmisiones flexibles planteo el mayor reto de los 3 abordados, principalmente porque es un banco que fue construido y orientado con un objetivo en mente, esto implica que utilizar un espacio disponible no pensado para lo que se quiere instalar, al mismo tiempo que se quieren implementar otros elementos presenta una dificultad mucho mayor que en las demás.

Las adecuaciones y diseños orientados al banco de transmisiones flexibles juegan un papel muy importante en su restitución, donde ya sea a través del uso de las ideas de diseño planteadas o de elementos físicos como lo puede ser el brazo montado en la tapa del motor, puedan llevar al desarrollo de otras prácticas efectivas para el estudio del torque.

Se pudo comprobar el uso de un resorte de torsión como transductor de torque en una aplicación dinámica.

Orientar el diseño inicialmente hacia el taladro de mano y después decidir llevar su uso hacia una maquina más voluminosa con el taladro de mesa, resulto en ser una decisión acertada al observar el dispositivo final de medición que se usa en el taladro, aunque también con restricciones dimensionales, están no son tan limitadas como en un taladro de mano.

Referencias Bibliográficas

- Ahmed, N. (2014). Effect of Changing Drilling Parameters on Thrust Force and Torque. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 347-352.
- Ahsan, N., KIBRIA, G., & Ahmed, R. (2015). An Experimental Study on the Effect of Minimum Quantity Lubrication on Drilling AISI 1040 Steel. *Gazi University Journal Of Science*, 161-167.
- ASME. (2003). ASME B.1.1 Unified Inch Screw Threads.
- ASTM A325(F3125). (n.d.). Retrieved from Precision Bolts: <https://www.precisionbolts.net/astm-f3125-a325/>
- BAHCO. (2015). Catálogo de Destornilladores 2015.
- BALLUFF. (n.d.). *Photoelectric Sensors Principles*.
- Budynas G., R., & Nisbeth J., K. (2015). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (10th ed.).
- Casanova, F., & John, C. (2009). *INVESTIGACIÓN DE LA FALLA DE UN EJE PIÑÓN CONECTADO A UNA EXTRUSORA DE DOBLE TORNILLO.*(Tesis de pregrado). Cali, Colombia.
- Das, G., & Das, P. (2015). Cutting Forces in Drilling Operation: Measurement and Modelling for Medium Scale Manufacturing Firms. *International Journal of Computer Applications*, 11-17.
- Grupo SKF. (2019, Enero). Rodamientos.
- HBM. (n.d.). *Galgas extensométricas para transductores series A y U: para construir transductores con la máxima precisión y calidad*. Retrieved from hbm: <https://www.hbm.com/es/8277/galgas-extensometricas-para-transductores-series-a-y-u/>

HERRAMIENTAS DE ENSAMBLE PARA TORNILLOS Y TUERCAS. HERRAMIENTAS DINAMOMÉTRICAS MANUALES. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONFORMIDAD DEL DISEÑO, DE LA CALIDAD Y EL PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN POSTERIOR. (2016). NTC-ISO 6789.

Joel. [Integza]. (2019, Febrero 24). *DIY Torquemeter - How to measure torque! [Arduino & 3D Printed] [Archivo de Vídeo]. Youtube.* Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=NIpspXaPVcs&feature=youtu.be>

Lorente, R. M., Medina, N., Sáenz, M. A., & M. S. (2017). TORQUE TRACEABILITY FOR NACELLE'S TEST BENCHES: A DESIGN PROPOSAL. *IMEKO 23rd TC3, 13th TC5 and 4th TC22 International Conference.* Helsinki, Finlandia: Conference Proceedings IMEKO 23rd TC3, 13th TC5 and 4 th TC22 International Conference.

Muhammad, R., Ahmed, N., & Silberschmidt. (2010). 3D Finite Element Modelling of Drilling Process. Loughborough.

Muñoz Japón, J. A. (2011). *Puesta en marcha de un banco de ensayos de vehículos híbridos. (Tesis de pregrado).* Sevilla, España.

National Aeronautics and Space Administration. (1995). *Volume I, Section 4.* Retrieved from https://msis.jsc.nasa.gov/sections/section04.htm#_4.9_STRENGTH

Neseli, S. (2014). Optimization of Process Parameters with Minimum Thrust Force and Torque in Drilling Operation Using Taniguchi Method. *Advances in Mechanical Engineering.*

Orduz, J., & Alvarez, H. (2004). *Banco de Pruebas para Transmisiones de Elementos Flexibles.*

paradacreativa. (2018, Octubre 25). *¿Cuál es el funcionamiento de un motorreductor?* Retrieved from tercesa: <https://tercesa.com/noticias/funcionamiento-motorreductor/>

Schicker, R., & Wegener, G. (2002). *Measuring Torque Correctly.*

Shoberg, R. (2010). Engineering Fundamentals of Threaded Fastener Design and Analysis.

Torquímetros. (n.d.). Retrieved from Tramontina: <https://www.tramontina.com.br/es/p/44500140-451-torquimetro-de-vareta-0-140-nm-encaixe-12>

Uniones con tornillos - Curso: Ajuste y montaje de piezas sueltas en grupos de estructuras sencillas. Material de trabajo para los aprendices. (n.d.). Retrieved from NZDL: <http://www.nzdl.org/cgi-bin/library.cgi?e=d-00000-00---off-0gtz--00-0----0-10-0---0---0direct-10---4-----0-11--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0-0-11-1-0utfZz-8-00&a=d&cl=CL1.3&d=HASH01bba03eca883b9b19e97189.9>

WEG. (n.d.). *Catálogo Comercial Mercado Latino-americano*.