

ADAPTACIÓN DE UN MOTO-REDUCTOR COMO BANCO DE PRUEBAS, PARA
EVALUAR LA RESISTENCIA AL DESGASTE EN TRANSMISIONES SINFIN-
CORONA

LAURA MARÍA ZAPATA ARTEAGA
JUAN DAVID GARCÍA GARCÍA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA
PEREIRA
2015

ADAPTACIÓN DE UN MOTO-REDUCTOR COMO BANCO DE PRUEBAS, PARA
EVALUAR LA RESISTENCIA AL DESGASTE EN TRANSMISIONES SINFIN-
CORONA

LAURA MARÍA ZAPATA ARTEAGA
JUAN DAVID GARCÍA GARCÍA

Proyecto de grado
Para optar al título de Tecnólogo Mecánico

Director:
Dairo Hernán Mesa Grajales
PhD. En Ing. Metalúrgica y materiales

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA
PEREIRA
2015

Pereira, Septiembre 2015

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Pereira, Septiembre 2015

DEDICATORIA

Juan

Primero y antes que nada, le doy gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres, a quienes les debo toda mi vida, les agradezco su cariño y apoyo incondicional, así como por haber sabido formarme en una persona con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante buscando siempre el mejor camino.

A mis profesores gracias por su tiempo, así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

Laura

A Dios, por permitirme disfrutar de esta vida y rodearme de gente tan maravillosa y valiosa, empezando por mi familia; quienes han sido mi mayor inspiración en todo este proceso y de mi vida en general, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio; también por confiar y depositar su fe en mí, por ayudarme a cumplir mis metas y apoyar todas mis decisiones.

A mis amigos por acompañarme en mis mejores momentos y a todas aquellas personas que de una u otra forma han logrado contribuir en mi formación profesional y personal.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, quien es, el que nos permite iluminar nuestra mente y abrirnos a nuevas ideas y retos en nuestra vida profesional y personal, como también a nuestra familia, amigos, y de más personas que estuvieron con nosotros en todo este proceso de nuestras vidas.

A nuestro director de proyecto Dairo Hernán Mesa Grajales, quien estuvo siempre apoyándonos y asesorándonos para culminar con éxito esta etapa de nuestras vidas, agradecemos por su paciencia y compromiso adquirido en este proyecto.

A la Universidad Tecnológica de Pereira, porque gracias a sus instalaciones, docentes y funcionarios, pudimos terminar otra etapa de nuestras vidas. A todos los docentes y funcionarios de la UTP, personal del taller de máquinas y herramientas, laboratorio de motores, de modelos y de tribología, agradecemos por su paciencia y apoyo.

También agradecemos a las personas que no nos apoyaron ni ayudaron en este proceso, pues fueron, una motivación mayor para culminar con éxito este proceso de nuestras vidas.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN _____	11
1. INTRODUCCIÓN _____	12
2. OBJETIVOS _____	13
2.1 OBJETIVO GENERAL _____	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS _____	13
3. MARCO TEÓRICO _____	14
3.1 REDUCTORES DE VELOCIDAD _____	14
3.1.1 Tipos de reductores de velocidad _____	14
3.1.1.1 Reductores de velocidad de engranajes _____	14
3.1.1.2 Reductores de velocidad planetarios _____	15
3.1.1.3 Reductores de velocidad Sinfín-Corona _____	16
Ventajas y desventajas de las transmisiones sinfín-corona _____	17
Campo de empleo de las transmisiones sinfín-corona _____	17
Materiales usados para la fabricación de la transmisión sinfín-corona _____	18
Criterios de capacidad de trabajo _____	19
3.2 GENERALIDADES DE LA TRIBOLOGÍA EN TRANSMISIONES SINFÍN-CORONA _____	19
3.2.1 Fallas en los engranajes _____	19
3.2.1.1 Desgaste _____	20
Grados de desgaste _____	20
Desgaste leve _____	20
Desgaste moderado _____	21
Desgaste excesivo o destructivo (severo) _____	21
Tipos de desgaste más comunes sufridos en engranajes _____	21
Desgaste corrosivo _____	21
Desgaste abrasivo _____	22
Desgaste adhesivo o Scuffing _____	22
3.2.1.2 Fatiga superficial _____	24
Picado inicial _____	25
Picado destructivo _____	25
Desprendimiento o desconchado _____	26
3.2.1.3 Flujo plástico _____	27
3.2.1.4 Rotura de dientes _____	28
Fractura por fatiga _____	29
Fractura por fatiga de flexión _____	29
Rotura por sobrecarga _____	30
3.2.2 Máquinas usadas para ensayos de desgaste aplicados a engranajes _____	31
3.2.2.1 Máquina para el ensayo de engranajes Ryder _____	33
3.2.2.2 Máquina para el ensayo de engranajes FZG _____	34
3.2.2.3 Máquina para ensayo de engranajes NASA _____	35
3.2.2.4 Máquina para ensayo de engranajes IEA _____	36

4. PROCEDIMIENTO	37
4.1 DESCRIPCIÓN DE MONTAJE DEL BANCO DE PRUEBAS PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS	37
4.1.1 Caracterización del moto-reductor y sus partes	37
4.1.1.1 Realización de planos tecnológicos	39
Plano del tornillo sinfín	40
Plano de la rueda dentada	41
4.1.2 Fabricación de las piezas donde se evaluará el desgaste	41
4.1.3 Ensamble de la transmisión y conjunto moto-reductor	43
4.1.4 Diseño y fabricación de la estructura que soporta el moto-reductor	45
4.1.4.1 Fabricación de estructura metálica	46
4.2 ADECUACIONES NECESARIAS AL MOTO-REDUCTOR, PARA REALIZAR FUTUROS ENSAYOS DE DESGASTE	50
4.2.1 Piezas requeridas para acoplar el sistema de carga	50
4.2.1.1 Eje escalonado	51
4.2.1.2 Platina móvil	52
4.2.1.3 Platina fija	53
4.2.2 Accionamiento del sistema de carga	55
4.3 INSTALACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA	55
4.3.1 Celda de carga	56
4.3.2 Indicador de sólo peso	57
4.3.3 Termocupla	58
4.3.4 Pirómetro	59
4.4 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO	60
5. CONCLUSIONES	61
6. RECOMENDACIONES	62
7. BIBLIOGRAFIA	63
ANEXO A	66
ANEXO B	92
ANEXO C	94
ANEXO D	111

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1: Reductor de engranajes de dientes helicoidales</i>	15
<i>Figura 2: Reductor Planetario</i>	16
<i>Figura 3: Reductor sinfín-corona</i>	17
<i>Figura 4: Tornillo sinfín y rueda dentada</i>	18
<i>Figura 5: Desgaste corrosivo en la superficie de un engranaje</i>	21
<i>Figura 6: Presencia de desgaste abrasivo en un engranaje</i>	22
<i>Figura 7: Rayado severo en un engranaje</i>	23
<i>Figura 8: Presencia de escoriado destructivo</i>	24
<i>Figura 9: Presencia de fatiga superficial en la superficie de un engrane</i>	25
<i>Figura 10: Picado destructivo</i>	26
<i>Figura 11: Fractura por picadura</i>	26
<i>Figura 12: Falla por desconchado en un tornillo sinfín</i>	27
<i>Figura 13: Flujo plástico en dientes de engranajes</i>	28
<i>Figura 14: Fractura por fatiga</i>	29
<i>Figura 15: Fatiga por flexión</i>	30
<i>Figura 16: Rotura por sobrecarga</i>	31
<i>Figura 17. Esquema banco de pruebas para la medición del rendimiento de reductores y cajas de velocidades</i>	32
<i>Figura 18: Máquina para ensayo de engranajes Ryder</i>	33
<i>Figura 19: Esquema máquina de ensayo FZG</i>	34
<i>Figura 20: Máquina para ensayo de engranajes NASA</i>	35
<i>Figura 21: Conjunto moto-reductor</i>	37
<i>Figura 22: Piezas de la caja reductora</i>	38
<i>Figura 23: Instrumentos de medida</i>	38
<i>Figura 24. Plano del tornillo sinfín</i>	40
<i>Figura 25. Plano rueda dentada</i>	41
<i>Figura 26. Torno CNC</i>	42
<i>Figura 27. Centro de mecanizado CNC</i>	42
<i>Figura 28. Rueda dentada mecanizada en material de aluminio y tornillo sinfín original</i>	43
<i>Figura 29. Proceso de ensamble de rodamientos cónicos al tornillo sinfín</i>	43
<i>Figura 30. Proceso de ensamble completo</i>	44
<i>Figura 31. Plano tecnológico banco de pruebas</i>	46
<i>Figura 32. Instrumentos de medida y corte, usados en la preparación de los componentes de la estructura</i>	47
<i>Figura 33. Equipos e instrumentos necesarios usados en la soldadura de los componentes de la estructura</i>	47
<i>Figura 34. Moto-reductor acoplado a la estructura metálica</i>	48
<i>Figura 35. Conexión motores trifásicos</i>	49
<i>Figura 36. Caja de control eléctrico conectado al motor trifásico</i>	49
<i>Figura 37. Torno convencional</i>	50
<i>Figura 38. Fresadora vertical</i>	50
<i>Figura 39. Eje escalonado</i>	51
<i>Figura 40. Eje escalonado acoplado a freno de disco</i>	52
<i>Figura 41. Platina móvil para mordaza basculante</i>	52
<i>Figura 42. Riel para mordaza basculante</i>	53
<i>Figura 43. Platina fija para mordaza basculante</i>	53
<i>Figura 44. Freno de disco con mordaza basculante</i>	54

<i>Figura 45. Sistema de carga acoplado</i>	54
<i>Figura 46. Accionamiento de carga</i>	55
<i>Figura 47. Celda de carga acoplada</i>	56
<i>Figura 48. Sistema de sujeción en un extremo de la celda</i>	56
<i>Figura 49. Sistema de sujeción del otro extremo de la celda</i>	57
<i>Figura 50. Indicador de sólo peso</i>	58
<i>Figura 51. Termocupla acoplada</i>	58
<i>Figura 52. Pirómetro</i>	59

LISTA DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1. Ecuaciones para determinar los principales parámetros geométricos de la corona del sinfín</i>	39
<i>Tabla 2. Equivalencia entre lubricantes ISO-SAE</i>	45

RESUMEN

El propósito general de este proyecto consistió en adaptar y poner a punto un banco experimental mediante el cual sea posible evaluar la resistencia al desgaste en un reductor de velocidad de transmisión sinfín-corona. El desarrollo de este trabajo se realizó partiendo de una revisión teórica, que abarcó los principios y fundamentos que rigen el estudio del desgaste en transmisiones mecánicas; para este proyecto se requirió diseñar y construir subsistemas mecánicos que adaptados al reductor de velocidad, permitiera generar un banco de carga portante para un reductor de baja potencia, el cual permitirá estudiar el comportamiento de sus componentes frente al desgaste.

Para la construcción del banco de pruebas se utilizó un conjunto moto-reductor de transmisión sinfín-corona, con ruedas helicoidales, un conjunto freno de disco-mordaza, instrumentos de medición tales como una celda de carga con indicador de peso, una termocupla con multímetro, entre otros, disponibles en el laboratorio de motores de la universidad o adquiridos comercialmente.

Este proyecto se enmarca dentro del tipo tecnológico experimental, el cual requiere de conocimientos en materiales, procesos de manufactura y diseño de transmisiones mecánicas, e incorpora técnicas de medición de variables funcionales. El diseño del banco experimental permitirá que los estudiantes de la Escuela de Tecnología e Ingeniería Mecánica de la UTP realicen en él diferentes pruebas, las cuales permitirán conocer, de primera mano, el funcionamiento del banco de carga portante, y realizar ensayos donde se pueda estimar el desgaste sufrido en las probetas de estudio.

El dispositivo adaptado posibilitará la realización de ensayos a la fatiga de contacto además de:

- Evaluar la capacidad de carga portante de engranajes, ante diferentes condiciones de carga
- Explorar e investigar los límites de resistencia de engranajes sometidos a esfuerzos de contacto y de flexión, con diferentes combinaciones de materiales.
- Perfeccionar el diseño y selección en los materiales de transmisiones mecánicas, mediante un mejor conocimiento de los mecanismos de falla
- Evaluar el comportamiento del apareamiento entre dos engranajes obtenidos mediante diferentes procesos de elaboración y/o con diferentes tratamientos superficiales

1. INTRODUCCIÓN

La actividad industrial es sin lugar a duda una de las principales arterias de desarrollo para un país, los innumerables avances en la tecnología requirieron que los académicos e interesados en el campo productivo del sector mecánico estén a la par con dichos avances, técnicas, metodologías y procesos.

Los bancos de pruebas para el estudio del desgaste en engranajes, son dispositivos que permiten simular el contacto real que se genera entre los dientes de los engranajes que conforman una caja reductora. Las pruebas de simulación permiten evaluar y determinar el comportamiento de los engranajes con respecto a ciertas variables establecidas. La recopilación y posterior análisis de los resultados obtenidos mediante los ensayos permiten realizar mejoras con las cuales se puede optimizar el desempeño de dichos elementos. La importancia de estas grandiosas herramientas, como lo son los bancos de pruebas para el estudio del desgaste, radica en la facilidad que tienen los estudiantes de adquirir conocimientos mediante la observación, manipulación física y medición de variables que pueden ser establecidas y controladas, por ejemplo: carga aplicada, velocidad de rotación, tiempo de trabajo, temperaturas de operación; estos ensayos son utilizados para el estudio de la lubricación, el desgaste y los principales fenómenos destructivos que inciden de manera negativa sobre la vida útil de los engranajes, donde se presentan contactos que generan fatiga y flexión, que son precisamente, los dos principales criterios de diseño aplicados a las transmisiones por engranajes; a la vez que se puedan estudiar los efectos provocados por las variaciones en los tipos de material y las condiciones de explotación de estas transmisiones universales.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Adaptar un moto-reductor como banco de pruebas, mediante el cual sea posible evaluar la resistencia al desgaste de transmisiones sinfín-corona

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión bibliográfica general para entender el fenómeno de desgaste en transmisiones sinfín-corona
- Evaluar las condiciones iniciales del sistema mecánico a usar como banco de pruebas (estado mecánico actual), y adaptarlo para la realización de los ensayos
- Proporcionar información detallada de cada uno de los componentes que conforman el banco, además de crear un instructivo (manual de operación), para asegurar el buen uso durante las pruebas que se realicen en él
- Realizar el informe final y la socialización de resultados

3. MARCO TEÓRICO

3.1 REDUCTORES DE VELOCIDAD

Los reductores de velocidad son sistemas de engranajes diseñados para reducir la velocidad en transmisiones de potencia. Los reductores, o moto-reductores, son apropiados para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad de una forma segura y eficiente.

Toda máquina, cuyo movimiento sea generado por un motor (ya sea eléctrico, de explosión u otro), necesita que la velocidad de dicho motor se adapte a la velocidad requerida para el buen funcionamiento de la máquina. Además de esta adaptación de velocidad, se deben contemplar otros factores como: la potencia y torque a transmitir, la capacidad térmica, rendimientos mecánicos (estáticos y dinámicos).

Esta adaptación se realiza generalmente, con uno o varios pares de engranajes que adaptan la velocidad y potencia mecánica y que son montados en un cuerpo compacto denominado reductor de velocidad, aunque en algunos países hispanos también se le denomina caja reductora (1).

3.1.1 Tipos de reductores de velocidad

Los reductores de velocidad se caracterizan por modificar la potencia y la velocidad de entrada y salida, por el par que entregan a la salida y por la relación de reducción. Su clasificación se realiza por la tipología de sus engranajes. Entre las clasificaciones más usuales están: los de engranajes (que pueden ser de dientes rectos o helicoidales), los reductores planetarios y los del tipo sinfín-corona; estos tipos de reductores se describen a continuación, enfatizando en los de tipo sin fin corona, por ser el tema central de este trabajo (2).

3.1.1.1 Reductores de velocidad de engranajes

Los reductores de engranajes son aquellos en que toda la transmisión mecánica se realiza por pares de engranajes de cualquier tipo, excepto los basados en tornillo sinfín. Sus ventajas son el mayor rendimiento energético, menor mantenimiento y menor tamaño (3) (Ver figura 1).

Figura 1: Reductor de engranajes de dientes helicoidales



Fuente: (4)

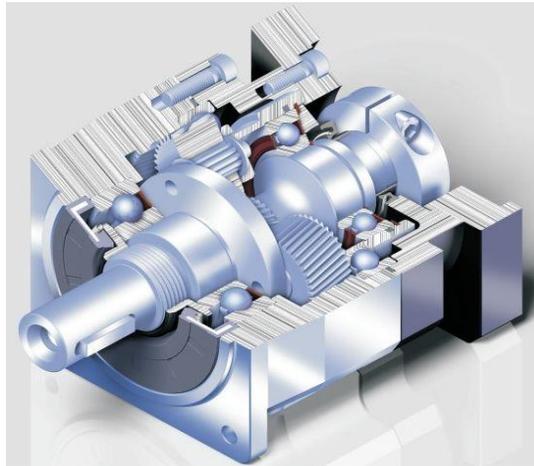
3.1.1.2 Reductores de velocidad planetarios

Son reductores de engranajes con la particularidad de que no están compuestos de pares sino de una disposición algo distinta, como puede verse en la figura 2, y sirve para diferentes tipos de variaciones de velocidad.

Un sistema de engranajes planetario tiene el engranaje principal, conocido con el nombre de sol, fijado rígidamente a la sección delantera de un motor, y una corona interna que es impulsada por el cigüeñal. El piñón está unido al eje del sistema que se desea mover montado en ella, conformando una serie de piñones que, cuando el cigüeñal gira, los piñones giran en torno al sol, en compañía de la hélice en la misma dirección, pero a una velocidad reducida.

Los reductores de velocidad de engranajes planetarios, interiores o anulares, son variaciones del engranaje recto, en los que los dientes están tallados en la parte interior de un anillo o de una rueda con reborde, en vez de en el exterior. Los engranajes interiores suelen ser impulsados por un piñón, (también llamado piñón Sol, que es un engranaje pequeño con pocos dientes). Este tipo de engrane mantiene el sentido de la velocidad angular. El tallado de los dientes de estos engranajes se realiza mediante una talladora mortajadora de generación.

Figura 2: Reductor Planetario



Fuente: (4)

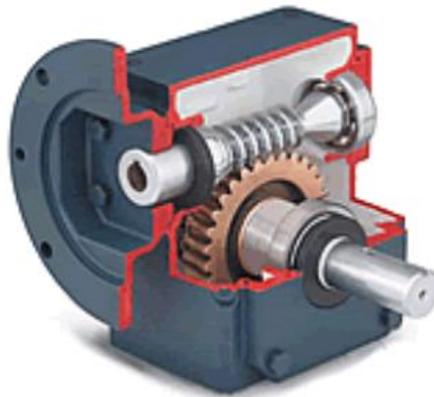
3.1.1.3 Reductores de velocidad Sinfín-Corona (ver figura 3)

Este es quizá el tipo de reductor de velocidad más sencillo, se compone de una rueda dentada, normalmente de bronce, que está en contacto permanente con un husillo de acero en forma de tornillo sinfín de rosca trapezoidal o cercana a la trapezoidal, fabricado en acero templado, con el fin de reducir el rozamiento. Una vuelta del tornillo sinfín provoca el avance de un diente de la rueda y en consecuencia la reducción de velocidad. La reducción se calcula con el producto del número de dientes de la rueda por el número de entradas del tornillo sinfín las cuales suelen ser de una a ocho.

Lás transmisiones sinfín-corona son él tipo de reductor de velocidad más usado y comercializado, aunque paradójicamente, algunos sectores de la ingeniería lo consideran obsoleto por sus grandes defectos como el bajo rendimiento energético y la pérdida de tiempo entre ciclos.

Como se muestra en la figura 3, los reductores de velocidad sinfín-corona no ocupan mucho espacio, esto se convierte en una ventaja al momento de implementarlos en la industria, además brindan un cambio de posición de eje de 90° que en muchos casos es requerido por la configuración de la máquina o el espacio disponible (3).

Figura 3: Reductor sinfín-corona



Fuente: (2)

Ventajas y desventajas de las transmisiones sinfín-corona

Entre las ventajas de estas transmisiones pueden contarse la suavidad del engrane y la ausencia de ruido, elevadas relaciones de transmisión de potencia con dimensiones específicas pequeñas, de manera relativa. Por ejemplo, en las transmisiones cinemáticas, la relación de transmisión i , puede tener valores de hasta 1000; en las transmisiones de potencia, lo más frecuente es encontrar relaciones i de hasta 100. Las transmisiones sinfín poseen elevada exactitud cinemática, lo que es muy importante para los dispositivos divisores, permitiendo la posibilidad de crear transmisiones autofrenantes.

Entre las desventajas que se tienen es que su sentido de giro no es reversible, sobretodo en grandes relaciones de transmisión y el de consumir en rozamiento una gran parte de la potencia, no obstante, el defecto más crítico se debe a la geometría de la transmisión, la cual impide obtener fricción líquida en el contacto, causando elevado desprendimiento de calor, reduciendo el rendimiento mecánico, aumentando el desgaste y la tendencia al agarramiento, demandando así la necesidad de emplear, para las ruedas sinfín, materiales antifricción costosos (5).

Campo de empleo de las transmisiones sinfín-corona

Aproximadamente la mitad de los reductores producidos son de tornillo sinfín. Su empleo se recomienda en la primera reducción (etapa de reducción), rápida de las transmisiones mecánicas, lo que contribuye a la reducción de sus dimensiones y de las pérdidas de fricción en el engrane. Las transmisiones sinfín se emplean en los tornos (máquinas herramientas), por ejemplo, en las cadenas divisoras y cinemáticas, cuando se requiere elevada exactitud, y en otras máquinas de elevación y transporte como grúas y ascensores debido a que actúan como freno.

Materiales usados para la fabricación de la transmisión sinfín-corona

Los materiales preferidos para la fabricación de las ruedas, también conocidas como coronas, son los bronce, especialmente de estaño y níquel-estaño (que pueden ser o no fundidos en coquilla, un proceso que produce endurecimiento superficial), pero también se emplean frecuentemente otros bronce, por ejemplo al plomo (para alta velocidad) y los de aluminio y silicio (para engranes de baja velocidad y carga pesada). Para reducir los costos, especialmente en ruedas grandes, se utiliza una llanta o corona de bronce fija a un núcleo central de hierro fundido o acero moldeado (5).

Según *Reshetov* (6), se deben utilizar para fabricar transmisiones sin fin- corona los siguientes materiales:

- Aceros cementados con dureza HRC después del temple entre 56 a 63
- Aceros de contenido medio de carbono con temple superficial hasta una dureza HRC entre 45 a 55 con rectificado y pulido posterior
- Aceros nitrurados sin rectificado posterior, solamente pulido

El tornillo sinfín convencionalmente utilizado es fabricado en acero AISI 4140; este acero cumple todas las características necesarias para el funcionamiento de la caja reductora (6).

La figura 4, permite observar más claramente las dos piezas de la transmisión sinfín-corona.

Figura 4: Tornillo sinfín y rueda dentada



Fuente: (4)

Criterios de capacidad de trabajo

Los principales factores que afectan la capacidad de trabajo de la transmisión sinfín-corona son:

- Desgaste de las superficies activas de los dientes (fatiga abrasiva que aparece durante el agarramiento y el picado)
- Destrucción por contacto en las sobrecargas
- Rotura por fatiga de los dientes
- Roturas estáticas de los dientes por sobrecargas

3.2 GENERALIDADES DE LA TRIBOLOGÍA EN TRANSMISIONES SINFÍN-CORONA

La Tribología se centra en el estudio de tres fenómenos bastante comunes en sistemas mecánicos como son: la fricción entre dos cuerpos en movimiento, el desgaste como efecto natural de la fricción y la lubricación como un medio para minimizar el desgaste a través de la reducción de la fricción.

Bajo la óptica de la ingeniería, la tribología cobra importancia debido a las cargas impuestas a los componentes mecánicos, la disminución constante de las tolerancias permitidas en los procesos de fabricación y las crecientes restricciones en cuanto a la emisión de contaminantes.

La Tribología está presente en prácticamente todos los aspectos de la maquinaria, motores y componentes de la industria en general. Los componentes tribológicos más comunes son (7):

- Rodamientos
- Frenos y embragues
- Sellos
- Anillos de pistones
- Ruedas dentadas
- Levas, etc.

3.2.1 Fallas en los engranajes

Los engranajes sinfín-corona casi siempre trabajan en la región de desgaste, pero la selección adecuada de los materiales puede hacer que la línea de desgaste se incline lo suficiente para permitir una operación satisfactoria; la máxima elevación de temperatura admisible frecuentemente restringe los límites de operación más que el desgaste, debido a que la carga permisible sin desgaste aumenta con la velocidad; el calor de fricción generado aumenta con el cuadrado de la velocidad, esto produce recalentamiento de los engranajes y del aceite; una viscosidad rebajada debe conducir a una disminución de la carga admisible. Para minimizar

este efecto, a los lubricantes para sinfín-corona se les puede agregar aditivos para reducir la fricción (8).

Estudios realizados en el campo de la tribología han determinado, que los engranajes fallan durante el servicio formando picaduras o presentando rupturas de los dientes, como consecuencia del desgaste excesivo (desgaste por fatiga de contacto), presentando, de igual manera, deformación plástica. La norma AGMA 1010-95 "*Nomenclature of Gear-toothWear and Failure*", que traduce: (nomenclatura de los tipos de desgaste y fallas de los dientes de engranajes), clasifica los tipos de fallas de los engranajes en cuatro clases generales (9):

- Desgaste.
- Flujo plástico
- Fatiga superficial
- Fractura

Por ser estos tipos de falla de gran importancia, son descritos a continuación:

3.2.1.1 Desgaste

El desgaste puede ser definido como el daño superficial sufrido por los materiales después de determinadas condiciones de trabajo a los que son sometidos, este fenómeno se manifiesta por lo general en las superficies de los materiales, generando una pérdida progresiva de material, debido al resultado de la carga y el movimiento relativo en la superficie de contacto. Las causas más comunes del desgaste en los dientes de los engranajes son: el contacto metal contra metal por fallas de la película lubricante entre los dientes, la presencia de partículas abrasivas en el aceite, desplazamiento de la película de aceite en el área de contacto, ocasionando un desgaste rápido o la formación de estriado y el desgaste de origen químico provocado por la composición del aceite y de sus aditivos. Existen varios grados de desgaste que van desde leve, moderado o excesivo; los grados de desgaste se miden en términos de miles de milésimas de pulgada por millón, o por millones de ciclos de contacto (8).

Grados de desgaste

Desgaste leve

Corresponde a una pérdida lenta de material debido a un proceso de desgaste, en el cual las asperezas de la superficie de contacto de las piezas involucradas se van tornando muy finas y delicadas; este fenómeno se presenta generalmente en transmisiones de baja velocidad y de lubricación cercana a la límite, cuando una película de aceite, entre dos superficies, es más delgada que la altura combinada de las irregularidades sobre las superficies opuestas, ocurre contacto metálico; esta condición se conoce como lubricación límite o película delgada. Este desgaste se puede evitar utilizando un lubricante de mayor viscosidad, reduciendo la temperatura de operación y logrando una reducción sustancial de la carga.

Desgaste moderado

Se ve afectado principalmente, por las condiciones pobres de lubricación, naturaleza de la carga, la dureza superficial y rugosidad del material, al igual que los contaminantes presentes en el aceite lubricante que puedan favorecer las condiciones de desgaste abrasivo o corrosivo; por este motivo, son muy recomendables los cambios frecuentes de lubricación cuando la aparición de contaminantes se hacen muy evidentes. En este tipo de desgaste la línea de paso del entre los engranajes queda pronunciada y se presenta el peligro de picaduras, también se destruye el perfil original del diente, creándose elevadas cargas dinámicas sobre estos. Este desgaste puede ser causado por una película de lubricante muy delgada para soportar la carga aplicada, por la presencia de finas partículas abrasivas en el lubricante o cargas que provocan de vibraciones severas.

Desgaste excesivo o destructivo (severo)

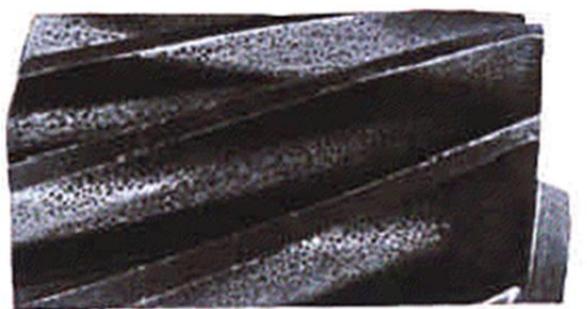
Es la destrucción superficial de la forma del diente, afectando drásticamente la vida útil de los engranajes, reduciendo apreciablemente el funcionamiento continuo; debido a estas condiciones, se genera mayor desgaste y eventualmente puede llevar a la ocurrencia de ruptura del diente; este tipo de falla puede ser causada por las cargas excesivas, aceite contaminado o una muy baja viscosidad del aceite (8).

Tipos de desgaste más comunes sufridos en engranajes

Desgaste corrosivo

La figura 5 muestra el deterioro de la superficie de un engranaje por acción química, el cual se caracteriza por presentar una gran cantidad de picaduras muy pequeñas distribuidas uniformemente sobre la superficie de trabajo del engranaje; estas picaduras se forman por la afinidad del vapor de agua de algunos aditivos de los aceites de extrema presión (E.P) y a la acción de otras sustancias demasiado corrosivas (10).

Figura 5: Desgaste corrosivo en la superficie de un engranaje

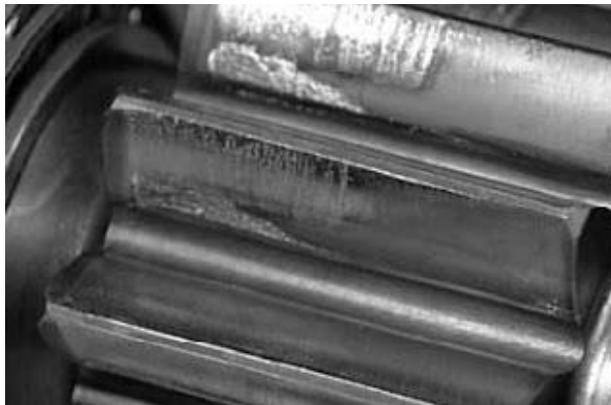


Fuente: (10)

Desgaste abrasivo

La norma ASTM G40-92, define el desgaste abrasivo como la pérdida de masa resultante de la interacción entre partículas o asperezas duras forzadas a moverse a lo largo de una superficie sólida, provocando un daño severo, como se observa en la figura 6. Este tipo de daño se origina cuando dos superficies, que actúan de forma recíproca, se encuentran en contacto físico y una es significativamente más dura y rugosa que la otra. La presencia de una carga normal provoca que las partículas de la superficie más dura se deslicen, presionadas a través de la superficie de los dientes, hasta penetrar la superficie del material más blando, lo cual produce deformación plástica e implica una deformación permanente y formación de surcos o estrías. Las fuentes de partículas duras incluyen la suciedad de la carcasa, arena, partículas de metal de desgaste de los dientes o rodamientos y la infiltración de partículas dentro de la carcasa durante las operaciones de mantenimiento, incluso contaminación del lugar de trabajo.

Figura 6: Presencia de desgaste abrasivo en un engranaje



Fuente: (11)

Desgaste adhesivo o Scuffing

Este tipo de desgaste también se le conoce como escoriado. Este es un desgaste muy rápido de los dientes, causado por grandes fuerzas adhesivas desarrolladas por el contacto de los dientes, cuando la película de aceite no inhibe el contacto de las superficies en engrane, ocurriendo el desgaste adhesivo. Debido a la rugosidad superficial de los dientes, hay puntos de una superficie que tocan puntos de la otra, este contacto metal-metal origina altas temperaturas localizadas en los puntos de contacto resultando en el fundido y posterior unión por soldado de las dos superficies; como el movimiento deslizante continua, las superficies soldadas se rompen y se apartan: sin embargo, el rompimiento no tiene lugar en la interface original, por lo que las partículas de desgaste se adhieren a la superficie a la cual son transferidas y eventualmente se rompen; después de

repetidos ciclos del proceso de soldadura y fractura, la superficie se deteriora y el desgaste se acelera. El escoriado generalmente ocurre cerca a la cabeza del diente del piñón, donde la carga del diente y la velocidad de deslizamiento son mayores. En este caso, el lubricante puede tener un marcado efecto en el escoriado y para prevenirlo, el aceite debe tener suficiente viscosidad para mantener una película lubricante. No obstante, aunque el escoriado se inicia por fallas de lubricación, existen muchos otros factores independientes, inherentes al aceite, capaces de influir en la resistencia final de las superficies engranantes, entre las que figuran: la presión entre las superficies de engrane de los dientes, las propiedades de los materiales, los acabados y tratamientos aplicados a las superficies y las velocidades de fricción entre dichas superficies (8).

Las fallas por escoriado son de difícil análisis y se pueden presentar en varias formas las cuales se mencionan a continuación:

Rayado y escoriado

Son deterioros provocados entre los dientes de los engranajes durante el trabajo. El escoriado se reconoce por la presencia de un número de rayaduras ligeras o pequeñas zonas de atascamiento en la superficie del diente. (Ver figura 7). Estas rayas, por lo general, se deben a la presencia de rugosidades en la superficie correspondiente, entre los dientes de los engranajes. La fricción entre estos puntos crea elevadas temperaturas locales que evitan la formación de la película de aceite: En el contacto resultante de metal-metal, los puntos en relieve se desgastan y la carga se distribuye más uniformemente en la superficie de los dientes; el rayado y el desgaste asociados, a menudo conducen a picaduras serias, indicando que el lubricante no es apropiado para las cargas y velocidades a que se están sometiendo las piezas; por tanto, las picaduras se deben controlar ya que pueden conducir a averías serias en el diente (8).

Figura 7: Rayado severo en un engranaje



Photo: ANSI/AGMA Standard 110.04

Fuente: (8)

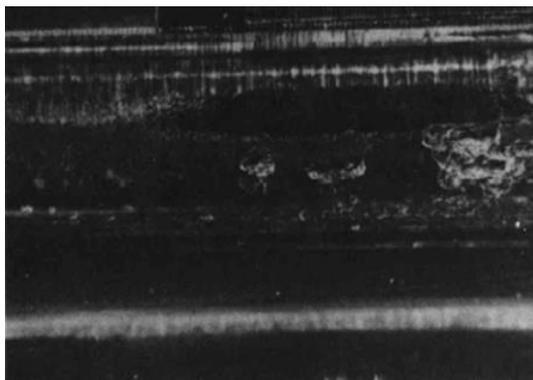
Escoriado moderado

Se observa en los dientes en forma de parches sobre el adendo, el dedendo o ambos.

Escoriado destructivo

Hay presencia de rayas radiales muy definidas y marcas de desgarramiento en la dirección del deslizamiento (Figura 8). Algunas veces el material ha sido removido radial mente sobre la punta de los engranajes: además, hay indicios de que ha habido remoción de material arriba y abajo de la línea de paso, la cual se nota pronunciada, de esta forma, el perfil se destruye por completo y el engranaje queda inservible. Para minimizar en escoriado, se deben utilizar lubricantes que soporten más carga, velocidad y condiciones de alta temperatura en el engrane, se pueden agregar aditivos de extrema presión.

Figura 8: Presencia de escoriado destructivo



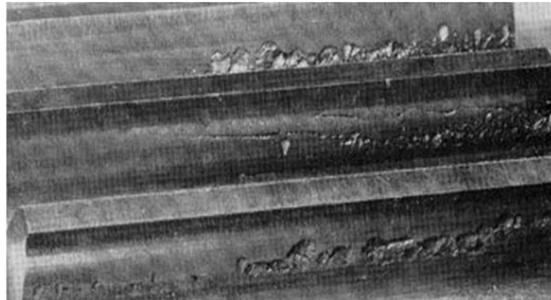
Fuente: (8)

3.2.1.2 Fatiga superficial

La figura 9 muestra la falla por fatiga de contacto superficial, la cual ocurre, incluso con lubricación adecuada y una película ininterrumpida de aceite. La fatiga es el resultado de esfuerzos repetidos en la superficie del engranaje hasta que se forma una grieta en la superficie o subsuperficie, aumentando progresivamente con el trabajo hasta que se rompe un pequeño pedazo del engranaje y deja una picadura en la superficie; como esto ocurre después de muchos millones de ciclos de esfuerzo, las fallas por fatiga, por lo general, resultan evidentes sólo después de prolongados servicios, esto contrasta con el desgaste por rayado y la escoriación que pueden comenzar en forma rápida. Los engranajes que funcionan con carga desarrollan esfuerzos superficiales constantes y si las cargas tienen la suficiente intensidad y el ciclo de esfuerzos se repite con bastante frecuencia, sobreviene la fatiga derivando en la formación de algunos fragmentos de metal en la superficie, dando origen a las picaduras. La falla por fatiga muestra la superficie marcada por

pequeñas picaduras que se pueden descubrir al frotar la superficie con un objeto afilado; en casos avanzados, las picaduras se extienden y se conectan produciendo fallas por escoriación; habiendo diversos lugares propicios para el picado. Los piñones helicoidales, de dureza media y de 20 o más dientes, se pican a lo largo de la línea primitiva, donde la rueda también se puede picar, pero si tiene una dureza cercana a la del piñón y tiene el mismo tratamiento térmico, será este último el que presente mayor picado, habiendo dos razones para esto: el piñón es ordinariamente el conductor y los sentidos del deslizamiento se alejan de la línea primitiva, siendo lo contrario en el engrane conducido, el cual se acercan hacia la línea primitiva (8).

Figura 9: Presencia de fatiga superficial en la superficie de un engrane



Fuente: (12)

La presencia de picaduras generalmente significa que el diseño del engranaje no corresponde a la capacidad de carga que se transmite; en casos como éste, se puede aumentar la dureza superficial o cambiar el material por uno nitrurado de alta resistencia o por otro carburado superficialmente; en la mayoría de los casos se hace necesario un rediseño del engranaje.

La fatiga superficial puede darse en las siguientes formas:

Picado inicial

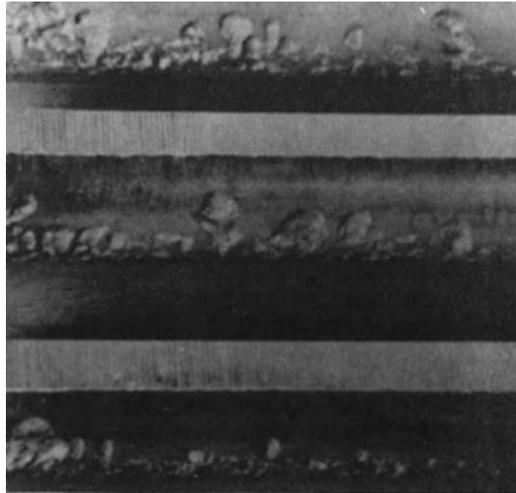
Se presenta en pequeñas áreas sobre esforzadas y cuando se redistribuye la carga, el picado cesa, se puede presentar por errores en el perfil del diente, irregularidades superficiales o pequeños desalineamientos del diente. Estas causas se pueden corregir fácilmente.

Picado destructivo

Cuando se deja progresar el picado inicial, considerables porciones del diente desarrollan cráteres de picado de variadas formas y tamaños; esto resulta de sobrecargas superficiales que no se alivian con el picado inicial; este picado destruye el perfil del diente (Figura 10), originando grietas de fatiga por flexión que

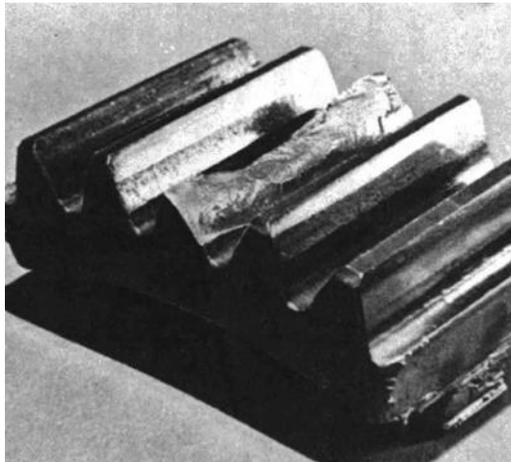
conducen a la fractura del diente (Figura 11), esta falla se evita manteniendo la carga superficial abajo del límite de fatiga del material o aumentando la dureza.

Figura 10: Picado destructivo



Fuente: (8)

Figura 11: Fractura por picadura



Fuente: (8)

Desprendimiento o desconchado

Es una falla por fatiga metalúrgica que se manifiesta con el desprendimiento de pedazos de metal, relativamente grandes, de las superficies de los dientes, como se observa en la figura 12. La superficie metálica de un diente de engrane tiende a

deformarse elásticamente, bajo la carga transmitida, y a formar ondulaciones que se desplazan adelante y atrás de la línea de contacto. Estas ondulaciones se pueden observar cuando se ven funcionar rodillos de hule cargados; con las superficies metálicas, ocurriendo una acción semejante, el material está sujeto a esfuerzos de corte, de compresión y de tensión y el primero alcanza su valor máximo a cierta distancia por debajo de la superficie, generalmente estos esfuerzos se encuentran dentro de los límites estimados por el diseño, sin embargo, bajo ciertas condiciones, como desalineamiento o sobrecargas, los esfuerzos de la sub superficie pueden exceder el límite de resistencia del material, como resultado, se desarrollan en la superficie grietas por fatiga que originan el desprendimiento de pedazos de metal, dejando picaduras de tamaño considerable; los desprendimientos ocurren con mayor frecuencia en un área relativamente pequeña, abajo de la línea de paso, en esta área del piñón los esfuerzos superficiales son mayores ya que un número menor de dientes se encuentra engranado; además, esta misma área se ve sujeta después, a considerables esfuerzos de tensión ocasionados por una carga lineal: En los engranajes cementados al carbono y templados, las picaduras y el desconchado revisten gravedad, donde la probabilidad de desconchado es mayor que la de picado cuando se les somete a fatigas severas; si se desarrollan picaduras o desconchado en un engranaje de temple superficial, estas progresan más rápido que en engranajes de dureza rectificable porque el daño se produce a lo largo del límite entre la superficie templada y el núcleo (8).

Figura 12: Falla por desconchado en un tornillo sinfín



Fuente: (12)

3.2.1.3 Flujo plástico

Aunque el flujo plástico puede tomar varias formas, siempre es el resultado de cargar el engranaje por encima de la carga de deformación permanente del metal en la zona de contacto; si las cargas de compresión son elevadas o la vibración causa cargas intermitentes altas, que hacen las veces de golpe de martillo, la

superficie de los dientes puede laminarse o descamarse, como se observa en la figura 13. Esta falla se presenta como un flujo severo de material superficial que se presenta mediante la formación de rebordes de altura irregular en los extremos y/o en las puntas de los dientes; esta falla está asociada con la plasticidad del material del engranaje, aunque frecuentemente ocurre en engranajes con capa endurecida, fuertemente cargados y engranajes endurecidos completamente.

Figura 13: Flujo plástico en dientes de engranajes



Fuente: (9)

3.2.1.4 Rotura de dientes

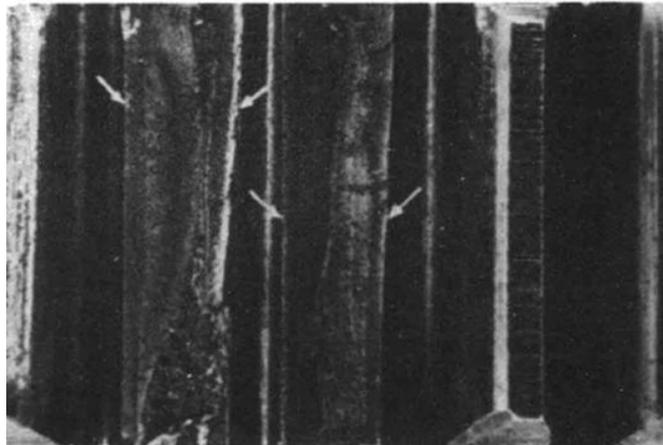
Esta falla resulta de sobrecargas o por ciclos de esfuerzo de los dientes más allá del límite de resistencia a la fatiga del material. Cuando un diente se rompe por fatiga debe haber evidencia de un punto focal donde comienza la fractura, a veces una raya o una entalla en la raíz pueden coincidir con ese punto focal; una inclusión o una grieta, debida al tratamiento térmico, también se pueden encontrar allí, si se halla algún defecto en ese punto, se debe suponer que al menos en parte es la causa de la falla. Cuando un diente se rompe por un choque repentino o una sobrecarga, la fractura suele tener una apariencia fibrosa, aun cuando el diente sea totalmente endurecido, la fractura se verá como las fibras de un material plástico que ha sido torcido. Cuando se rompen dientes consecutivos, suele suceder que uno o los dos se rompen por fatiga; como el engranaje continúa girando bajo torque, el golpe de la rueda que engrana al saltar en el boquete dejado por el diente fatigado romperá otros dientes adicionales. Mirando varios dientes fracturados se puede definir cuál falló por fatiga (presentará una apariencia lisa) y cuáles fallaron luego por sobrecarga (apariencia fibrosa) (8).

Algunas formas en que se puede presentar la rotura de los dientes son:

Fractura por fatiga

Se puede reconocer por la presencia de curvas semielípticas, con marcas perpendiculares en la superficie de la fractura, que irradian desde el foco o núcleo de la fractura (ver figura 14). Son el resultado de cargas periódicas, suficientemente elevadas para agrandar una grieta, pero no tanto como para que una sola de ellas sea capaz de provocar individualmente la fractura del diente.

Figura 14: Fractura por fatiga

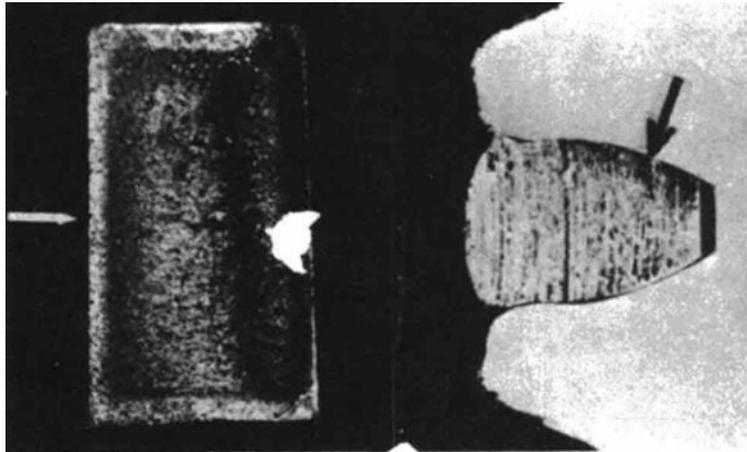


Fuente: (8)

Fractura por fatiga de flexión

La figura 15 muestra que los dientes trabajan como una viga en cantilever, por lo cual los esfuerzos máximos se presentan en la raíz del diente del lado que trabaja a tensión, de esta forma, las fracturas generalmente resultan de una fisura originada en la raíz del diente, debido a entalladuras, inclusiones, pequeñas fisuras de tratamiento térmico y esfuerzos residuales. Por tanto, los elementos del diente deben diseñarse de modo que la carga transmitida resulte dentro del límite de resistencia a la fatiga del material, o escoger un material con mayor resistencia, o aumentar el área de raíz del diente (mayor radio de acordonado) y mejorar su acabado, con esto se puede evitar la fatiga (8).

Figura 15: Fatiga por flexión



Fuente: (8)

Rotura por sobrecarga

Se presenta como una rotura tenaz (fluencia seguida de agrietamiento estable) y fibrosa, mostrando evidencia de que el material ha sido rápidamente arrancado o rasgado, como se observa en la figura 16. La rotura del diente es causada por una sobrecarga que excede la resistencia a la tensión del material; esto viene a parar en una rotura por fatiga de corto ciclo, que generalmente comienza sobre el lado de tensión de la raíz del filete; hay casos en que la sobrecarga se produce por desalineación de los engranajes, en estos casos la fractura se origina en un extremo del diente y ocurre en línea diagonal; la desalineación es una causa común de dientes rotos en engranajes rectos, helicoidales y cónicos, a veces la desalineación se debe a cojinetes flojos o averiados. Los cojinetes flojos causan la deflexión del eje y finalmente una fractura del diente debido a cargas en sus extremos; en todos los casos de fractura, se debe hacer un detenido análisis para encontrar las causas que la originaron y aplicar los correctivos del caso (8).

Figura 16: Rotura por sobrecarga



Fuente: (10)

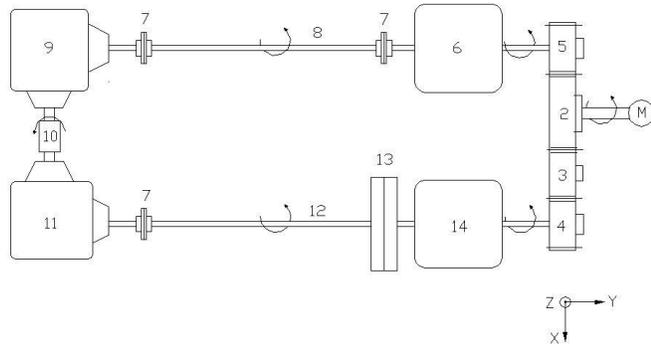
3.2.2 Máquinas usadas para ensayos de desgaste aplicados a engranajes

En la figura 17 se presenta el esquema de un banco experimental para la medición del rendimiento de reductores y cajas de velocidades, un proyecto de grado realizado por estudiantes de la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira.

El objetivo del proyecto consistió en definir un ensayo y diseñar un banco para estudiar el rendimiento de reductores de velocidad. Esta tarea se realizó partiendo de información teórica acerca de bancos de potencia existentes. Para este proyecto se construyó un banco de potencia circulante para ensayos de reductores de bajas potencias, en el cual se puedan estudiar efectos producidos por variaciones de ajustes en las transmisiones y en los montajes de los ejes, entre otros factores (13).

Para la construcción del banco de pruebas se han utilizado dos reductores de engranajes cilíndricos helicoidales, dos reductores de engranajes cónicos ortogonales y un motor eléctrico, disponibles en el laboratorio de motores de la Universidad Tecnológica de Pereira (13).

Figura 17. Esquema banco de pruebas para la medición del rendimiento de reductores y cajas de velocidades



Fuente: (13)

La norma ANSI/AGMA 1010-E95 (13), asocia los principales modos de falla en engranajes, en siete clases generales: Desgaste, fatiga por contacto, fatiga por flexión, rotura, deformación plástica, agrietamiento y agarramiento. Los modos de falla más comunes, en transmisiones por engranajes son fatiga de contacto y fatiga por flexión, que usualmente se verifica según los principales criterios de diseño establecidos en la norma ISO6336 (14).

En vista de que los modos de falla en engranajes son de gran importancia, se han diseñado, a través del tiempo, máquinas que permiten evaluar el contacto de transmisiones por engranaje; dichas máquinas pueden ser clasificadas como tipo engranaje o tipo simulación. En esta investigación, el enfoque estará en las máquinas de ensayo tipo engranajes, ya que las de tipo simulación han demostrado tener una deficiente relación con los resultados obtenidos en pruebas reales en los engranajes, siendo las máquinas de ensayo tipo engranaje mucho más fiables a los resultados reales (15).

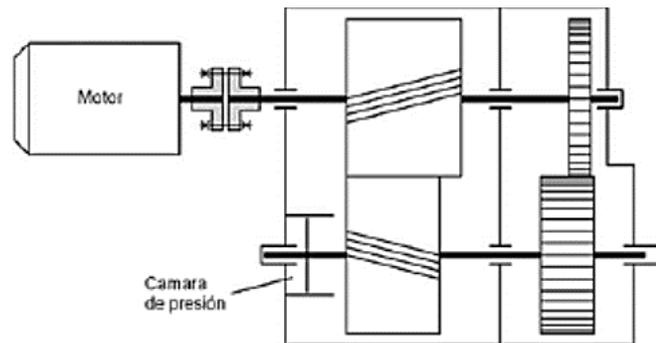
la norma AGMA 925-A03 (16), que además de permitir conocer estudios referentes a trabajos de investigación desarrollados, con respecto al tema de desgaste, hace referencia a las principales máquinas utilizadas para el ensayo de engranajes las cuales son: Ryder, FZG, NASA y IAE; a continuación se mencionan sus principales características y aspectos de mayor interés.

3.2.2.1 Máquina para el ensayo de engranajes Ryder

La máquina presentada en figura 18, es utilizada para evaluar la capacidad de carga y propiedades antiagarramiento de lubricantes para la aviación, de ahí su elevada velocidad de operación, que es de hasta 10000 rpm y un rango de torque de 0 a 270 N.m (16).

La máquina Ryder está compuesta por una sola caja de engranajes con dos árboles conectados por dos pares de engranajes cilíndricos, los cuales tienen exactamente la misma relación de transmisión y forman un lazo de potencia cerrado. En la configuración original, los engranajes estrechos eran rectos, mientras los anchos eran helicoidales. La característica principal de esta instalación es la aplicación de carga a los engranajes de ensayo, mediante movimiento axial de un engranaje helicoidal relativo al otro, debido a la acción de una presión de aceite conocida, sobre el pistón ubicado en el interior del cubo de uno de los engranajes helicoidales. Partiendo del ángulo de la hélice y el área de la cámara presurizada, es posible calcular la carga tangencial. La máquina de ensayo Ryder ha sido ampliamente adoptada y aún está siendo utilizada en ensayos de lubricantes y engranajes, especialmente en los Estados Unidos. Esta permite variar, de manera efectiva, el torque de ensayo durante la operación, mediante el control de la presión hidráulica, pero no es posible determinar la eficiencia de un solo par de engranajes ni pueden ser probadas cajas de engranajes completas (17).

Figura 18: Máquina para ensayo de engranajes Ryder

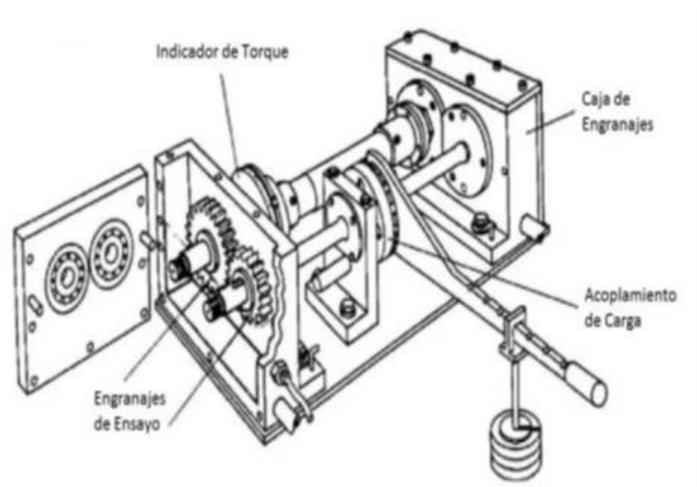


Fuente: (18)

3.2.2.2 Máquina para el ensayo de engranajes FZG

La máquina presentada en la figura 19, es de las más utilizadas alrededor del mundo para evaluar desgaste en engranajes; fue desarrollada en la Universidad Técnica de Munich Alemania y se conoce por sus siglas en alemán FZG (19). (Forschungs stelle fur Zahn-raderund Getriebebau), que traduce, Centro de Investigación para engranajes). Su mayor utilidad es para determinar la capacidad de carga por desgaste de aceites lubricantes y grasas, generando una presión de contacto máxima entre dientes de 2 GPa. Estas máquinas alcanzan unos 530 N.m de torque y una velocidad de rotación de 2250 rpm, donde un control de nivel de vibración permite detectar astillamientos u otros daños severos (14).

Figura 19: Esquema máquina de ensayo FZG



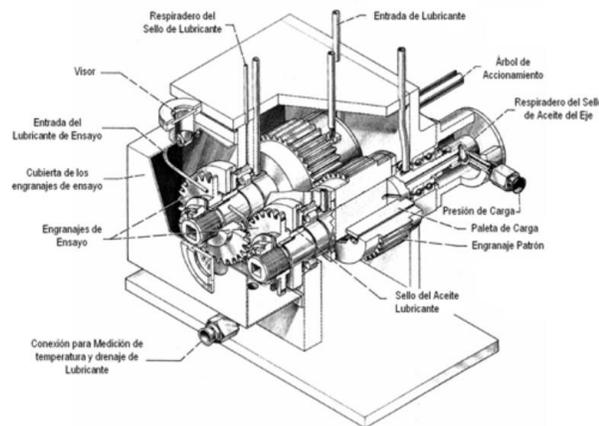
Fuente: (21)

La máquina FZG cuenta con dos cajas de engranajes; en una se encuentra montado el par de engranajes fijos de la máquina y en la otra los de ensayo, ambos pares con la misma relación de transmisión. El árbol más lento posee un elemento intermedio para la medición del torque. El eje rápido está conectado mediante un acoplamiento embricado, que permite a ambos extremos rotar uno con respecto al otro, a través de este acoplamiento se aplica el torque de ensayo mediante una palanca y un contrapeso, cuya activación se ejecuta a través de un pasador de bloqueo que impide el movimiento relativo entre las bridas, transmitiendo así el torque aplicado (20).

3.2.2.3 Máquina para ensayo de engranajes NASA

La máquina presentada en la figura 20, ha sido desarrollada por el centro de investigaciones sobre engranajes de la administración nacional para la aeronáutica y espacio de los estados unidos (NASA). Su funcionamiento se basa en el principio de potencia circulante; está dotada de un motor eléctrico y una transmisión por correa que le permite llegar hasta las 10000 rpm, para una velocidad circunferencial de 46 m/s; posee una capacidad de carga máxima de 6672 N, permitiendo obtener tensiones de contacto cercanas a los 2GPa sobre la superficie del diente sometido al ensayo (14).

Figura 20: Máquina para ensayo de engranajes NASA



Fuente: (22)

Esta máquina cuenta con sistema hidráulico el cual se encarga de proveer la presión de trabajo sobre la paleta de carga, localizada en el interior de uno de los engranajes patrones, lo cual genera un momento torsor que se recircula a través de los elementos de la transmisión y permite alcanzar el nivel de tensión requerida para el ensayo, sobre los dientes del engranaje, mediante ajuste de la presión hidráulica.

Los engranajes son probados con un desplazamiento de las caras que permite alcanzar la tensión de contacto deseada, a costa de un menor torque, posibilitando además realizar 4 pruebas por cada par de engranajes (22).

3.2.2.4 Máquina para ensayo de engranajes IEA

Esta máquina, de fabricación inglesa, es del tipo de potencia circulante; los engranajes de ensayo son del tipo cilíndrico de dientes rectos. Las cargas son aplicadas por medio de un brazo-palanca, su velocidad oscila entre 4000 y 6000 rpm y el torque entre 20 y 407 N.m, lo cual genera una carga máxima sobre los engranajes de ensayo, que permite alcanzar una alta presión específica en la zona de contacto de hasta 35600 kgf/cm², permitiendo evaluar lubricantes para transmisiones universales e hipoides con aditivos de extrema presión muy activos (23).

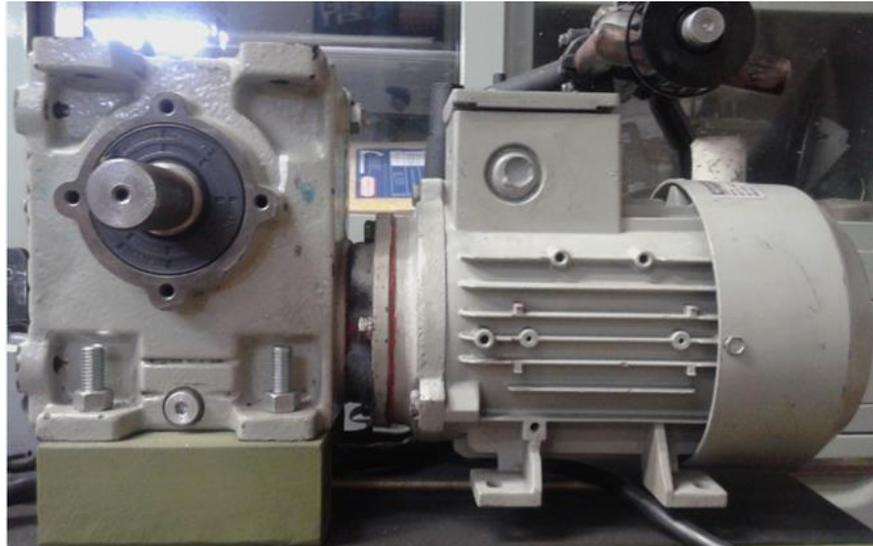
4. PROCEDIMIENTO

4.1 DESCRIPCIÓN DE MONTAJE DEL BANCO DE PRUEBAS PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

4.1.1 Caracterización del moto-reductor y sus partes

Para las pruebas futuras de desgaste, se utilizará un conjunto moto-reductor, de transmisión sinfín-corona, como se muestra en la figura 21, ubicado en el laboratorio de motores de la UTP, el cual fue usado como banco de pruebas para este estudio.

Figura 21: Conjunto moto-reductor



Fuente: Autores

Se verificó si el moto-reductor contaba con todas sus partes y si se encontraba en condiciones operativas e incluso se verificó, por medio del nivel de aceite, si este contaba con lubricante en su interior, al momento de desacoplarlo. Una vez desacoplado el conjunto moto-reductor, se trasladó la caja reductora al taller de máquinas y herramientas de la UTP, donde se verificó dimensional y funcionalmente todas sus partes, presentadas en la figura 22.

Figura 22: Piezas de la caja reductora



Fuente: Autores

Una vez desensamblada la caja reductora, se limpiaron las piezas para garantizar una mejor medición. La figura 23, presenta los instrumentos de medición utilizados para llevar a cabo la toma de las medidas, los cuales fueron: pie de rey, micrómetro, galgas métricas.

Figura 23: Instrumentos de medida



Fuente: Autores

Luego de realizar las medidas necesarias, se fabricaron copias idénticas de la corona original que tenía el reductor, esto con el fin de tener un registro de fabricación de estos elementos, para cuando se desee evaluar el desgaste en esta pieza específica. Al menos una de las coronas fabricadas (en material de aluminio), fue usada para verificar el funcionamiento del sistema durante su puesta a punto; para ello, se realizaron los cálculos necesarios, con base en las ecuaciones principales que rigen estos elementos mecánicos, para determinar los parámetros geométricos de la corona del sinfín, los cuales se presentan en la tabla 1, a partir de los cálculos realizados, fueron mecanizadas las tres coronas que sirvieran (en un futuro trabajo de grado), como caso de estudio del desgaste.

Tabla 1. Ecuaciones para determinar los principales parámetros geométricos de la corona del sinfín

Ecuaciones para determinar los principales parámetros geométricos de la rueda sin-fin		
Designación	Ecuación	Esquema
M = Módulo	$M = P/3,1416 = Dp/N$	
Dp = Diámetro primitivo del tornillo sin-fin		
P = Paso		
N = Número de dientes de la rueda		
DE = Diámetro exterior	$DE = (N+2)*M$	
D1 = Diámetro mayor sobre las aristas	$D1 = DE+(0,4775*P)$	
A = Ancho de la rueda	$A = 2,38*P+6mm$	
R = Concavidad Periférica	$R = 0,5*Dp-M$	
r = Radio de la cabeza	$r = 0,25*P$	
E = Distancia entre ejes de la rueda y el sin-fin	$DP+Dp/2$	

Fuente: Autores

4.1.1.1 Realización de planos tecnológicos

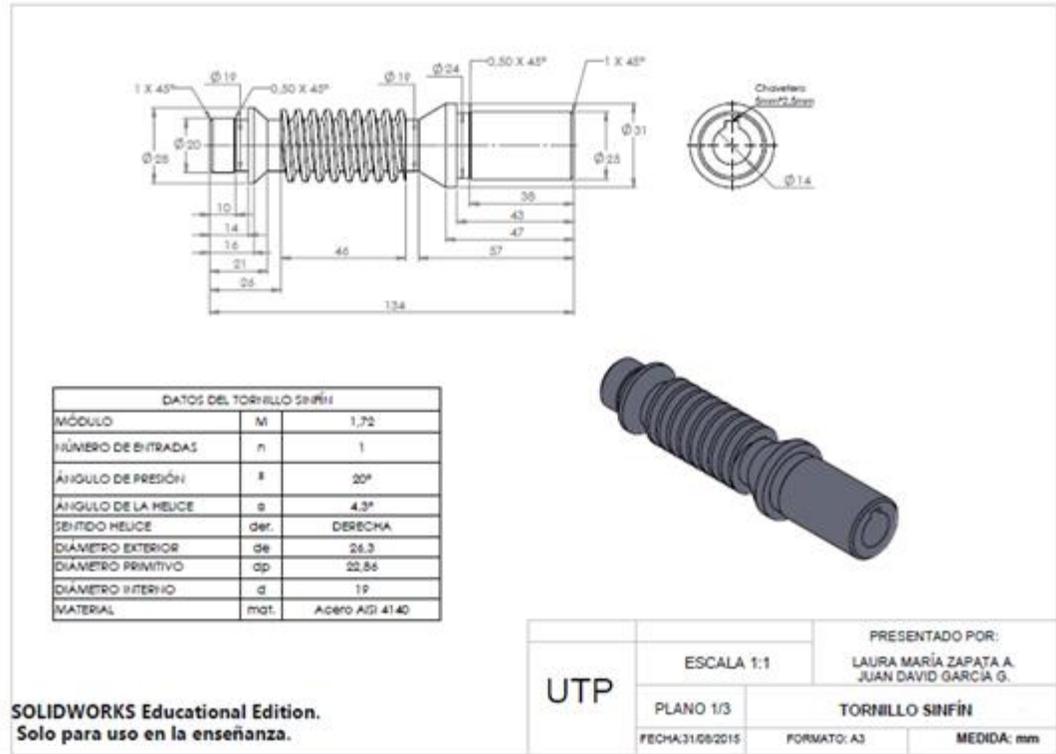
Se realizaron los planos tecnológicos de la transmisión sinfín-corona basándose en las piezas originales, la cual involucra al tornillo sinfín y a la corona, también llamada rueda dentada.

Para la realización de los planos tecnológicos, se utilizó el Software de diseño CAD en 3D | SOLIDWORKS.

Plano del tornillo sinfín

En la figura 24 se presenta el plano tecnológico del tornillo sinfín.

Figura 24. Plano del tornillo sinfín

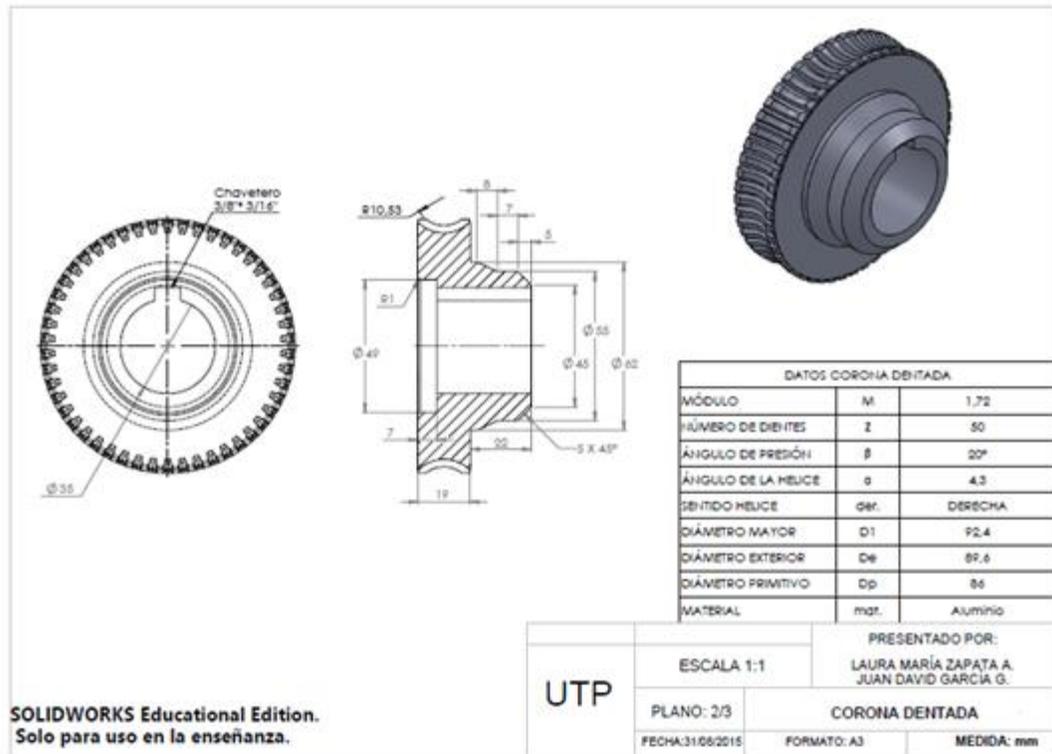


Fuente: Autores

Plano de la rueda dentada

En la figura 25 se presenta el plano tecnológico de la rueda dentada.

Figura 25. Plano rueda dentada



Fuente: Autores

4.1.2 Fabricación de las piezas donde se evaluará el desgaste

Después de tener los cálculos y los planos necesarios para la fabricación de las tres coronas a utilizar en futuros estudios del desgaste, se procedió al mecanizado de estas, el cual se hizo por arranque de viruta (torneado CNC y centro de mecanizado CNC).

El proceso de mecanizado de las tres coronas se realizó en las instalaciones del SENA de Dosquebradas (Risaralda), donde se contó con la colaboración y asesoría de sus funcionarios. En las figuras 26 y 27 se muestran las máquinas utilizadas para realizar el proceso de arranque de viruta.

Figura 26. Torno CNC



Fuente: Autores

Figura 27. Centro de mecanizado CNC



Fuente: Autores

4.1.3 Ensamble de la transmisión y conjunto moto-reductor

Cuando se finalizó el mecanizado de la primera pieza a estudiar, la cual fue en material de aluminio, como se muestra en la figura 28, con el tornillo sinfín original, quien será usado durante futuras pruebas de desgaste; se procedió a ensamblar la transmisión en la caja reductora, posicionando todas sus partes, las cuales son: 2 rodamientos cilíndricos que van el eje de la rueda dentada, 2 rodamientos cónicos situados en el tornillo sinfín, pines retenedores y tapones de seguridad. Las figuras 29 y 30 muestran el proceso de ensamble.

Figura 28. Rueda dentada mecanizada en material de aluminio y tornillo sinfín original



Fuente: Autores

Figura 29. Proceso de ensamble de rodamientos cónicos al tornillo sinfín



Fuente: Autores

Figura 30. Proceso de ensamble completo

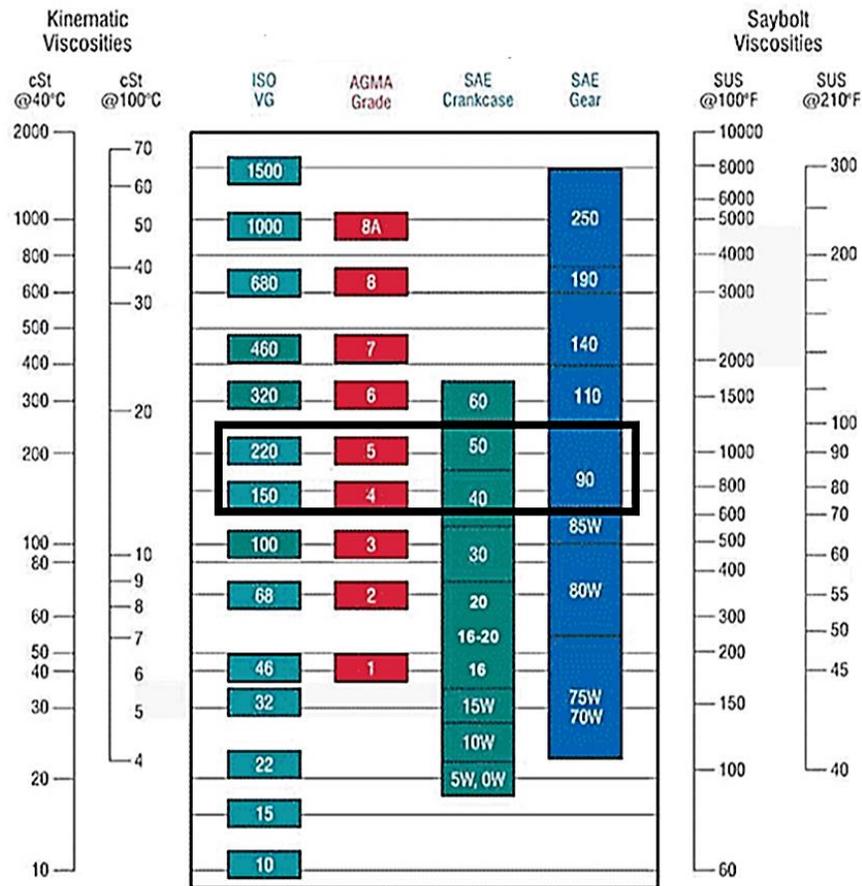


Fuente: Autores

Después de tener la caja reductora con todas sus partes ensambladas, se unió el eje de salida del motor a la caja reductora, por medio del eje de entrada de la misma, con su respectivo acople metálico como se muestra en la figura 21.

Acoplado el conjunto moto-reductor, se procedió a llenar la caja reductora con el lubricante apropiado; que según la empresa Ramfe, fabricante del equipo, se recomienda utilizar un lubricante ISO VG 220; pero debido a inconvenientes presentados, se optó por utilizar un lubricante equivalente, que de acuerdo con los datos de equivalencias de lubricantes mostrados en la tabla 2, se encontró que se podía utilizar un aceite SAE 80W90.

Tabla 2. Equivalencia entre lubricantes ISO-SAE



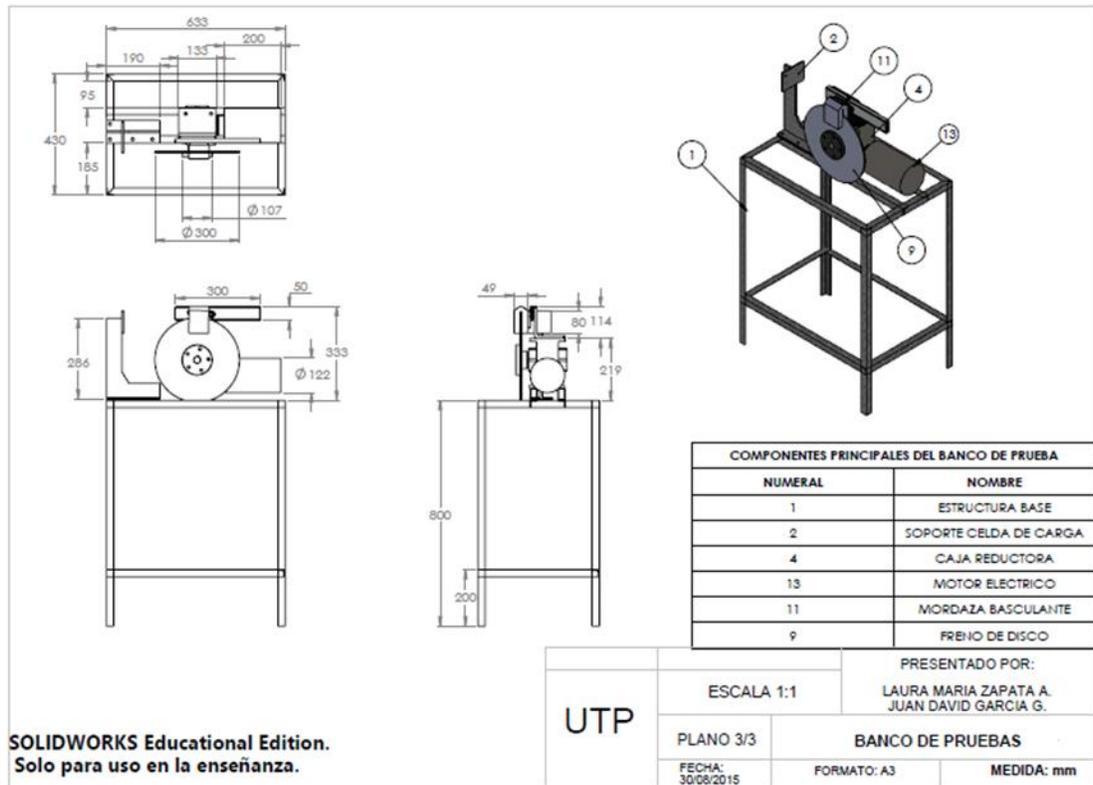
Fuente: Autores

4.1.4 Diseño y fabricación de la estructura que soporta el moto-reductor

Luego de tener el conjunto moto-reductor ensamblado, se inició con el diseño de la estructura metálica, a la cual se acopló el banco de pruebas; dicho diseño se realizó en el Software de diseño CAD en 3D | SOLIDWORK.

El Plano tecnológico del banco de pruebas es presentado en la figura 31.

Figura 31. Plano tecnológico banco de pruebas



Fuente: Autores

4.1.4.1 Fabricación de estructura metálica

Con el diseño listo y el material necesario a nuestra disposición, se procedió a realizar los cortes necesarios, los cuales se realizaron en el taller de máquinas y herramientas de la UTP, usando como herramientas: mango sierra, pulidora con disco de corte y abrasivo, prensa de bancada, escuadra metálica, flexómetro, los cuales se presentan en la figura 32.

Figura 32. Instrumentos de medida y corte, usados en la preparación de los componentes de la estructura



Fuente: Autores

Cuando se terminaron los cortes, se pidió asesoría a uno de los laboratoristas del taller de máquinas herramientas de la UTP, para recordar los conceptos básicos de soldadura y, así, realizar las uniones soldadas de los perfiles. La soldadura fue realizada en cubículos apropiados, ubicados en el taller de máquinas y herramientas de la UTP.

En la figura 33, se puede observar el equipo e instrumentos necesarios para llevar a cabo el ensamble de los elementos que conforman la estructura a través del proceso de soldadura.

Figura 33. Equipos e instrumentos necesarios usados en la soldadura de los componentes de la estructura



Fuente: Autores

Teniendo la estructura ya terminada, se realizaron las perforaciones necesarias para ensamblar el conjunto moto-reductor en la estructura, la figura 34 permite observar cómo queda acoplado.

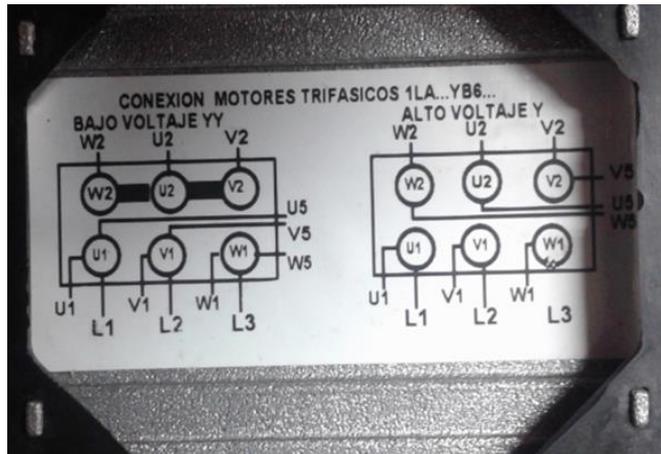
Figura 34. Moto-reductor acoplado a la estructura metálica



Fuente. Autores

Una vez el moto-reductor se ensambló en la estructura, se realizó la conexión trifásica de bajo voltaje presentada en la figura 35, desde una caja de control eléctrico, para energizar el motor con sus respectivos cables, como se muestra en la figura 36, dicha caja de control eléctrico, permitió encender y apagar el tribómetro con mayor facilidad y seguridad.

Figura 35. Conexión motores trifásicos



Fuente: Autores

Figura 36. Caja de control eléctrico conectado al motor trifásico



Fuente: Autores

4.2 ADECUACIONES NECESARIAS AL MOTO-REDUCTOR, PARA REALIZAR FUTUROS ENSAYOS DE DESGASTE

4.2.1 Piezas requeridas para acoplar el sistema de carga

Las piezas mencionadas a continuación fueron fabricadas en el taller de máquinas y herramientas de la UTP. En las figuras 37 y 38 se presentan las máquinas utilizadas para llevar a cabo su proceso de fabricación.

Figura 37. Torno convencional



Fuente: Autores

Figura 38. Fresadora vertical



Fuente: Autores

Para la realización de las pruebas de desgaste (las cuales deberán ser realizadas en un futuro trabajo de grado, como se dijo), fue necesario acoplarle al eje de salida de la caja reductora un freno de disco para motocicleta, con su respectiva mordaza, en este caso de tipo basculante.

4.2.1.1 Eje escalonado

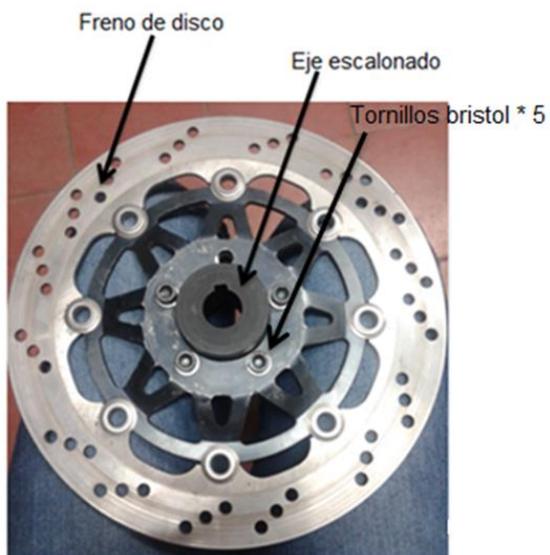
Para acoplar el freno de disco al eje de salida de la caja reductora, fue necesario diseñar un eje escalonado con chaveta y prisionero, como se presenta en la figura 39, el cual se fabricó en acero AISI 1045; dicho acople se realizó por medio de 5 tornillos, como puede observarse en la figura 40.

Figura 39. Eje escalonado



Fuente: Autores

Figura 40. Eje escalonado acoplado a freno de disco



Fuente: Autores

4.2.1.2 Platina móvil

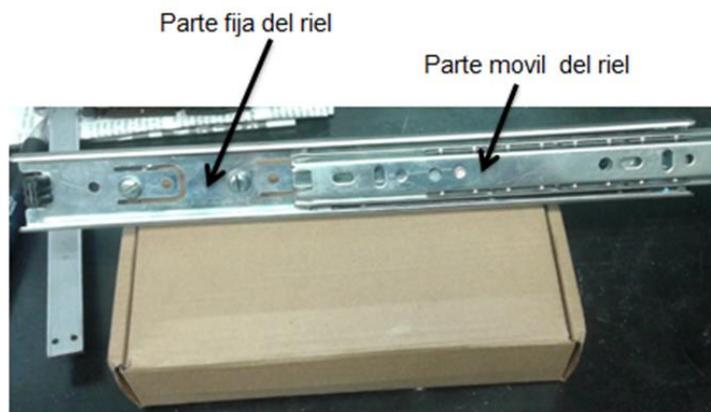
La figura 41, muestra la platina móvil, que va sujeta a la mordaza por medio de dos tornillos avellanados, como también, a la parte móvil de un riel (ver figura 42), por medio de dos perforaciones achuradas, siendo este riel, el que hará que la mordaza sea de tipo basculante, es decir, que tenga un leve desplazamiento.

Figura 41. Platina móvil para mordaza basculante



Fuente: Autores

Figura 42. Riel para mordaza basculante



Fuente: Autores

4.2.1.3 Platina fija

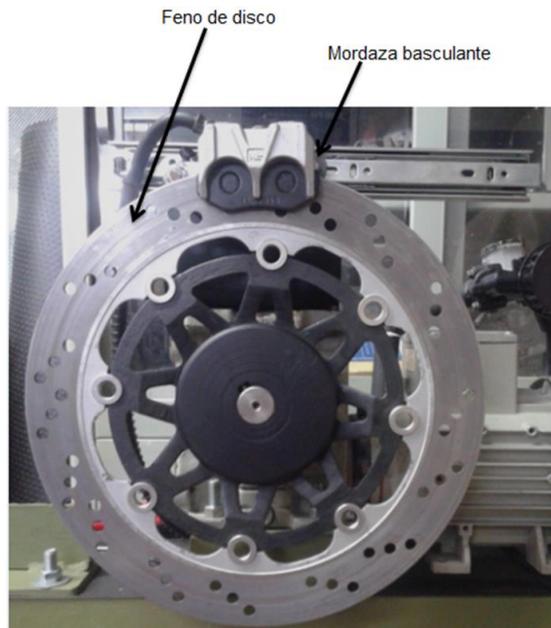
La figura 43, muestra la platina fija, que va sujeta a la parte fija del mismo riel mencionado anteriormente, por medio de 3 tornillos de cabeza plana, como también, a la parte superior de la caja reductora, por medio de dos tornillos de cabeza hexagonal con sus respectivas tuercas y arandelas, garantizando así, una mayor rigidez tanto en el sistema de carga como en el tribómetro. Las figuras 44 y 45, permiten ver cómo quedó acoplado el sistema de carga.

Figura 43. Platina fija para mordaza basculante



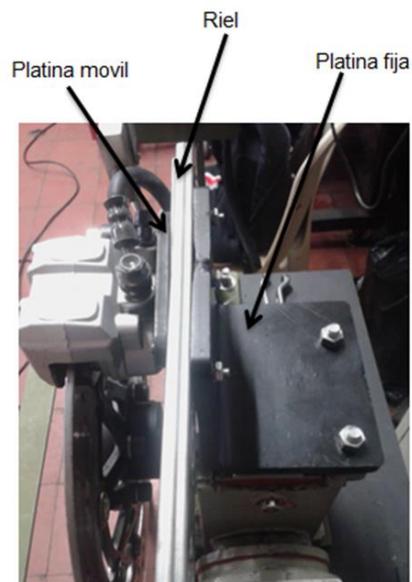
Fuente: Autores

Figura 44. Freno de disco con mordaza basculante



Fuente: Autores

Figura 45. Sistema de carga acoplado



Fuente: Autores

4.2.2 Accionamiento del sistema de carga

Para poder accionar el sistema de carga, es decir, que la mordaza cumpliera con su función de frenado con respecto al disco, se adaptó una varilla roscada de 5/16", con punta esférica, a un tubo metálico en forma de L, (ver figura 46), dicha varilla roscada, cuando se gira por medio de una manigueta acoplada en su extremo, es la que acciona y hace que el líquido de frenos circule por toda la manguera de la mordaza, hasta que llega a los dos pistones, y es ahí cuando se produce el frenado. La fuerza de frenado depende de cuantas veces se gire la manigueta.

Figura 46. Accionamiento de carga



Fuente: Autores

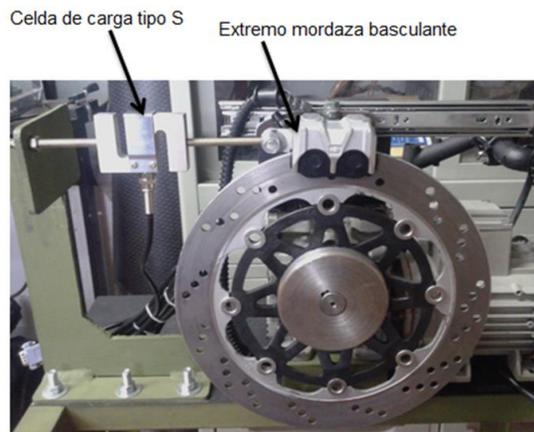
4.3 INSTALACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Después de tener el sistema de carga ensamblado en el moto-reductor, los instrumentos de medida utilizados, para poder llevar a cabo las pruebas de desgaste, se mencionan a continuación, explicando el método de instalación seguido.

4.3.1 Celda de carga

La figura 47, permite ver, que en un extremo de la mordaza se le acopló una celda de carga tipo S, con capacidad de medida de 100 kg, la cual funciona a tracción; si se desea conocer más, acerca de sus características puede recurrir al Anexo B. Esta celda se utilizó con el fin de convertir una señal de desplazamiento en una señal de fuerza.

Figura 47. Celda de carga acoplada



Fuente: Autores

Para poder acoplar la celda de carga en un extremo de la mordaza basculante, se fabricó un buje, ver figura 48, para poder así, por medio de una varilla roscada, sujetar dicho extremo a un extremo de la celda de carga.

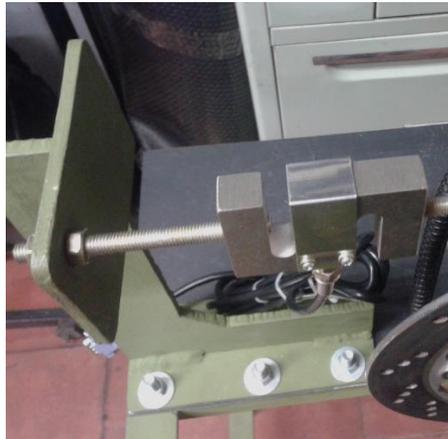
Figura 48. Sistema de sujeción en un extremo de la celda



Fuente. Autores

El otro extremo de la celda, se ensambló por medio de otra varilla roscada de 5/16, la cual se fijó con doble tuerca a una pieza que está fija a la estructura principal por medio de 6 tornillos con sus respectivas tuercas y arandelas, como se puede ver en la figura 49.

Figura 49. Sistema de sujeción del otro extremo de la celda



Fuente: Autores

Para obtener buen resultado con este instrumento de medida, se debió garantizar que la celda de carga estuviese totalmente perpendicular a las varillas roscadas, dicho proceso se comprobó por medio de un nivel de burbuja.

4.3.2 Indicador de sólo peso

La señal de desplazamiento que recibe la celda de carga, por medio de la mordaza basculante, se convierte en una señal de fuerza, mediante un dispositivo llamado, indicador de sólo peso, el cual se muestra en la figura 50. Las características y el manual del indicador de sólo peso se pueden ver en el (Anexo C).

Figura 50. Indicador de sólo peso



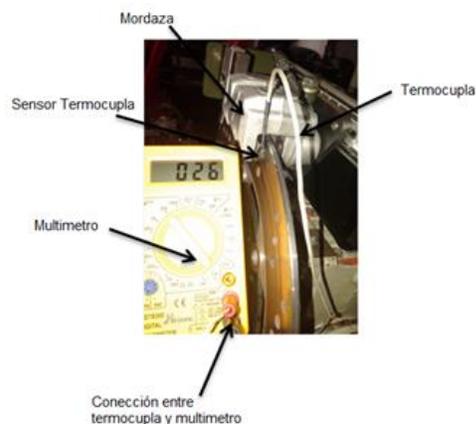
Fuente: Autores

La conexión de este instrumento a la celda de carga se hizo partiendo de las fichas técnicas de cada uno de los mismos, las cuales se pueden ver en los (Anexos B y C).

4.3.3 Termocupla

Debido a que las pastillas que se encuentran en la mordaza son las que hacen el contacto con el freno de disco, esta interacción genera un calentamiento por contacto, para registrar los valores de temperatura generados en las pastillas y evitar que estas lleguen a su punto máximo de calentamiento el cual es aproximadamente 240°C, se instaló una termocupla con multímetro a una de las pastillas, como se muestra en la figura 51.

Figura 51. Termocupla acoplada



Fuente: Autores

4.3.4 Pirómetro

Para registrar los valores de temperatura generados en el disco de freno debido al rozamiento continuo con las pastillas, se utilizó un pirómetro digital el cual funciona por medio de un sensor de láser proyectado hacia la superficie del disco, este instrumento entrega en pantalla los valores de temperatura en °C como se observa en la figura 52.

Figura 52. Pirómetro



Fuente. Autores

4.4 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO

Para hacer la prueba de funcionamiento, lo primero que se hizo fue calibrar la celda de carga con el indicador de peso, que son los elementos que controlan el parámetro principal del ensayo, el cual es la carga aplicada al moto-reductor.

Siguiendo los pasos del manual operativo del banco de pruebas, se realizaron las fases para la puesta en marcha del mismo.

Cuando se acopló la celda de carga en el extremo de la mordaza, como también la celda de carga al indicador de peso, se purgó el freno de disco para que el líquido de frenos funcionara correctamente y fluyera adecuadamente por la manguera.

Teniendo los instrumentos de medida acoplados al banco de pruebas, los cuales son: celda de carga con el indicador de peso y termocupla con multímetro, se encendió el motor trifásico y se empezó a accionar el sistema de carga, hasta que el indicador de peso mostró una carga de prueba de 6 kg.

El multímetro que se conecta a la termocupla, para indicar la temperatura en las pastillas, indicó un aumento de 2°C con respecto a la temperatura ambiente que fue de 28°C durante un tiempo de 20 minutos.

Con esta prueba de funcionamiento, queda claro que se pueden realizar pruebas de desgaste en él.

5. CONCLUSIONES

- Se realizó una revisión bibliográfica que abarcó el tema de reductores de velocidad, haciendo énfasis en el sistema sinfín–corona, mediante la cual se comprendió el funcionamiento de este tipo de transmisiones y los tipos de desgaste que se presentan en ellas
- Se adaptó un moto-reductor de transmisión sinfín-corona, como banco de pruebas para hacer futuras pruebas de desgaste en él
- Se diseñó y fabricó la estructura que soporta el banco de pruebas, bajo los conocimientos adquiridos durante todo el proceso de aprendizaje en la carrera
- Se fabricaron tres coronas idénticas a la original de la caja reductora; en tres materiales diferentes que servirán como probetas de estudio para determinar cuál de estos tipos de material presenta un mejor comportamiento frente al desgaste
- Se adaptó un sistema de carga al moto-reductor, con el fin de generarle una fuerza de frenado a la transmisión sinfín-corona y así acelerar su proceso de desgaste, comprendiendo su funcionamiento de transmisibilidad
- Se adaptaron instrumentos de medida, los cuales sirven para tener un control del comportamiento de todo el banco y así determinar cuándo es momento de detener las pruebas
- En la prueba de funcionamiento, se observó que la temperatura en las pastillas no cambia mucho con respecto a la temperatura ambiente del lugar, en cambio, se observó, que el componente que más se recalentó en el banco de pruebas fue el motor
- Se dejan dos coronas idénticas a la original, en materiales de bronce y fundición de hierro nodular; con el fin de que estudiantes realicen pruebas de desgaste en ellas
- Se deja instalada una corona idéntica a la original, en material de aluminio, la cual funcionó correctamente en la transmisión

6. RECOMENDACIONES

- No operar el banco de pruebas sin tener en mano el manual de operación, ya que en él se podrán encontrar los pasos y recomendaciones a seguir, al momento de realizar las pruebas de desgaste
- No trasladar de sitio el banco para pruebas de desgaste, a menos que sea a un lugar donde no haya mucha humedad ni cambios bruscos de temperatura, ya que los instrumentos que posee el banco son sensibles a cambios bruscos de estas variables ambientales
- Antes de fabricar las piezas a estudiar, siendo estas, las coronas dentadas en diferentes materiales, se recomienda observar detalladamente el plano tecnológico de esta, y verificar con instrumentos de medida los datos entregados en el plano tecnológico, con el fin de fabricar una fiel copia de la corona original
- Verificar que los instrumentos acoplados al banco de pruebas se encuentren en perfecto estado al momento de realizar las pruebas
- Al momento de operar el banco, compruebe que no esté en desnivel con respecto al piso, como también, verificar que todos sus componentes estén bien ajustados, para así evitar vibraciones e inconvenientes en los resultados arrojados por los instrumentos de medida
- Utilizar el mismo lubricante para realizar todas las futuras pruebas de desgaste en la transmisión sinfín-corona. Se deja a disposición un lubricante SAE 80W90, marca Coexito, recomendado para la caja reductora
- Prestar atención al recalentamiento del motor, ya que en la prueba de funcionamiento, se observó, que era el componente que más variación de temperatura tenía

7. BIBLIOGRAFIA

1. **Oscar, Arduño Santiago.** <http://tesis.ipn.mx/dspace/bittream/>. [En línea] agosto de 2009. [Citado el: 10 de julio de 2015.]
2. **C.F.Amado.** *Diseño y construcción de una caja reductora de velocidad de engranajes tornillo sinfín en baño de aceite con relación de 40/1.* Guatemala : Universidad san carlos de guatemala, 2003.
3. **Automatizacion, PEEA. Provedora de Equipos Electromecánicos y.** <http://www.peea.commx/productos/reductores.html>. [En línea] [Citado el: 10 de julio de 2015.]
4. **Industry, Direct.** Reductores. [En línea] 2011 de julio de 10. [Citado el: 10 de julio de 2015.] <http://www.diectindustry.es/fabricante-industrial/reductor-60934.html>.
5. **Romero Piedrahita, Carlos Alberto; Calle Trujillo Gabriel.** *Diseño de elementos de máquinas .* Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira 551pISBN 958-8065-86-0, 2005.
6. **Reshetov.D.** *Diseño de elementos de máquinas.* Cuba: de la habana , 1987.
7. **Díaz del Castillo Rodríguez, Felipe.** Tribología : fricción,desgaste , lubricación. facultad de estudios superiorescautilan. [En línea] [Citado el: 10 de julio de 2015.] http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/.
8. **Hernandez Benites, Luis Eduardo.** *Las fallas de los engranajes* 1985, ingeniería y e investigación n°12, pág. 78.
9. **W, Dudley.Darley.** *Manual de engranajes: diseño, manufactura y aplicación de engranajes .* Mexico: compañía editorial continental , 1973.
10. **Shell.** Engranajes- lubricación, modulo 4. [En línea] [Citado el: 10 de julio de 2015.] <http://es.scribd.com/doc/engranajes-lubricacion>.
11. **Caterpillar, Manuales y datos.** Fallas por desgaste abrasivo . [En línea] [Citado el: 10 de julio de 2015.] <http://google.com/doc/18198721/4-Engranajes-lubricacion>.
12. **Galindo Lopez, Sebastian.** *Trabajo de grado diseño y analisis de resistencia de materiales en engranajes cónicos e hipoidales.* Medellín : Universidad EAFIT escuela de ingeniería, 2009.

13. **Mendieta Guzman, Diego Fernando; Anduquia Restrepo, Juan Manuel.** *Construcción de banco experimental para la medición del rendimiento de reductores y cajas de velocidades.* Pereira : s.n., 2012.
14. **Smith, Patrick J.** El enfriamiento y la lubricación de alta velocidad en engranajes helicoidales. *Machiner y Lubrication.* [En línea] [Citado el: 14 de Abril de 2014.] <http://www.machinerylubrication.com/Read/797/cooling-lubrication-of-high-speed-helical-gears>.
15. **ISO.** ISO 6336-1:1996. *Cálculo de la capacidad de carga de dientes rectos y helicoidales - Parte 1.* [En línea] [Citado el: 10 de Abril de 2014.] http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=12632.
16. **UCLM.** ELEMENTOS DE MÁQUINAS. *Elementos de máquinas.* [En línea] [Citado el: 12 de Abril de 2014.] http://www.uclm.es/area/imecanica/AsignaturasWEB/Elementos_Maquinas/Materia_L_didactico/Apuntes.pdf.
17. **925-A03, AGMA.** *Effect of Lubrication on Gear Surface Distress.* s.l. : AGMA gear education instructors, 2005.
18. **1947, ASTM D.** *Standard Test method for load carry capacity of petroleum oils and synthetic fluid gear lubricants .* 1983.
19. **Ryder, E.A.,A.** *Gear and lubricant tester Measures tooth strength or surface.* s.l. : A, BULL, 1947.
20. **Abreu Ruano, Guillermo, y otros, y otros.** Máquinas y equipos para el ensayo de transmisiones por engranajes. [En línea] [Citado el: 25 de Abril de 2014.] <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/maquinas-y-equipos-ensayo-transmisiones-engranajes/maquinas-y-equipos-ensayo-transmisiones-engranajes.pdf>.
21. **Podgornik, B.,Viziting, J.** *Sliding and Pitting Wear Resistance of Plasma and Pulse Plasma Nitrided Steel.* s.l. : IOM communications ltd, 2001.
22. **Moehn, B, R ., Oster, P., Toble. T y Michaelis, K.** *Test Methods for Gear Lubricants.* 2008.
23. **Townsend. D.P. Chevalier, J.L y Zaretsky.E.V.** *PITTING FATIGUE CHARACTERISTIC OF AISI M-50 and super nitrollay spur gears .* Washington D.C : NASA, 1973.
24. **Morris, J., Goldsworthy, J., Scott, J . y Sauter, C.** *Development of Gears and Spline Lubricant Tester .* Chio : Wester Gears Work, 1954.

25. **Diáz del Castillo Rodríguez, Felipe.** DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS. *FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN.* [En línea] [Citado el: 21 de Abril de 2014.] http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m1/Engranases%20historia%20fabricacion%20fallas.pdf.

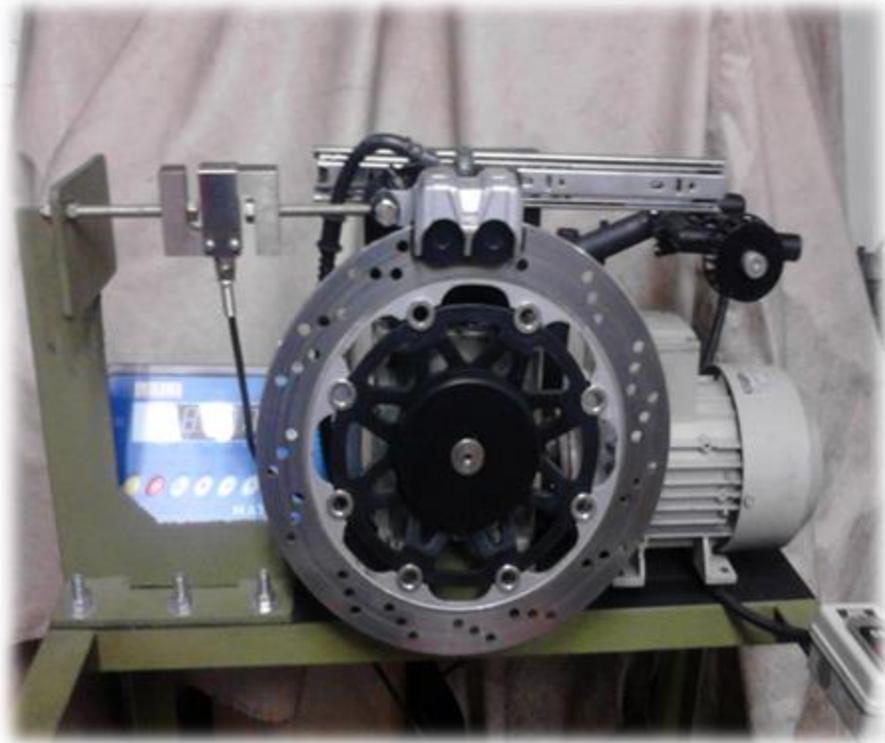
26. **Association, American Gear Manufacturers.** AGMA 925-A03. [En línea] [Citado el: 26 de Abril de 2014.] <http://www.agma.org/publications/how-do-i-submit-a-request-for-interpretation-rfi/agma-925-a03/>.

ANEXO A

MANUAL OPERATIVO

BANCO DE PRUEBAS

PARA EVALUAR EL DESGASTE EN TRANSMISIONES SINFIN-CORONA



CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN _____	69
OBJETIVO _____	70
TARJETA MAESTRA _____	71
INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD _____	73
1. OPERACIONES PREVIAS A LA PUESTA EN MARCHA _____	74
1.1 FASE 1 _____	74
1.1.1 DESMONTAJE DE LOS SUBSISTEMAS QUE COMPONEN EL BANCO DE PRUEBAS _____	74
1.1.1.1 Desensamble de la celda de carga _____	74
1.1.1.2 Desensamble del conjunto que contiene la mordaza basculante _____	75
1.1.1.3 Desensamble del eje escalonado que contiene el freno de disco _____	76
1.1.1.4 Desacople del moto-reductor y extracción de la transmisión sinfín-corona _____	77
1.2 FASE 2 _____	80
1.2.1 Montaje de los cuerpos de prueba _____	80
1.3 FASE 3 _____	83
1.3.1 Rearmado de los subsistemas que componen el banco de pruebas _____	83
1.4. FASE 4 _____	83
1.4.1 Conexión eléctrica del motor _____	83
2 PUESTA EN MARCHA DEL BANCO DE PRUEBAS _____	86
2.1 ENCENDIDO DEL MOTOR _____	86
2.2 REGISTRO DE LOS VALORES DE CARGA (INDICADOR DE PESO) _____	87
2.3 REGISTRO DE LOS VALORES DE TEMPERATURA EN LAS PASTILLAS _____	89
2.3.1 Dispositivo para registrar temperatura (termómetro) _____	89
2.3.2 Autonomía del tribómetro _____	91
3 MANTENIMIENTO GENERAL DEL EQUIPO _____	91

TABLA DE FIGURAS

	Pág.
Figura A 1. Desacople celda de carga _____	75
Figura A 2. Desacople del sistema de carga _____	76
Figura A 3. Desacople del freno de disco _____	77
Figura A 4. Desacople del motor y caja reductora _____	78
Figura A 5. Nivel de aceite caja reductora _____	78
Figura A 6. Ensamble caja reductora _____	80
Figura A 7. Silicona para alta temperatura _____	81
Figura A 8. Aceite recomendado _____	82
Figura A 9. Conexión eléctrica del motor trifásico _____	84
Figura A 10. Conexión eléctrica final _____	84
Figura A 11. Caja de control eléctrico _____	85
Figura A 12. Accionador de carga _____	87
Figura A 13. Indicador de solo peso _____	88
Figura A 14. Termocupla adaptada _____	89

INTRODUCCIÓN

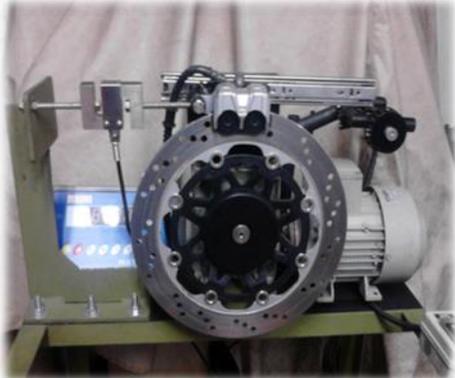
Este manual trata de la puesta a punto y operación del banco de pruebas, para la realización de diferentes pruebas de desgaste en transmisiones sinfín-corona.

En este manual de operación se darán a conocer las partes por las cuales está compuesto el banco de pruebas, y una descripción de cómo debe ser el funcionamiento de cada elemento y cuáles deben ser los cuidados al momento de utilizar la máquina y su respectivo mantenimiento.

OBJETIVO

La elaboración del manual, tiene como objetivo primordial, dotar a los usuarios de un banco de pruebas, con la información necesaria para que haga un buen uso de este sistema de ensayos, de tal manera que, tanto el banco de pruebas y los subsistemas implementados, tengan una mayor vida útil y que dicho banco esté siempre en excelentes condiciones de uso, brindando al usuario buenas prácticas de laboratorio y obtención de resultados confiables.

TARJETA MAESTRA

BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR EL DESGASTE EN TRANSMISIONES SINFIN-CORONA			
TARJETA MAESTRA			
EQUIPO: BANCO DE PRUEBAS CODIGO: UBICACIÓN: LABORATORIO DE MOTORES UTP COLOR: VERDE AÑO DE FABRICACION (modelo) : 2015			
DIMENSIONES Largo: 630 mm Ancho: 433 mm Alto: 1.30 m Peso seco:	CAPACIDAD DE TRABAJO 10 kg máximo de carga TEMPERATURA DE OPERACION 240° C máximo en las pastillas	ENCENDIDO: transitório ARRANQUE: manual AUTONOMIA:	FABRICANTE : DIRECCION : TELEFONO:
CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES QUE CONFORMAN EL BANCO DE PRUEBAS			
CARACTERISTICAS DEL MOTOR			
Motor		Eléctrico	
Marca		Siemens	
Modelo		1LA7 070-4YC60	
Potencia máxima		0.4hp a 1640rpm	
Voltaje de operación		220v	
Conexión eléctrica		Trifásica	
CARACTERISTICAS DE LA CAJA REDUCTORA			
Marca		Ramfe	
Tipo de transmisión		Sinfin-corona helicoidal rosca derecha	
Relación de transmisión		50/1	
Velocidad a la salida		32rpm	
Fuerza a la salida		50kg	
Lubricación recomendada		SAE 80W-90	
Cantidad de lubricante		400 ML	
CARACTERISTICAS DE LA CELDA DE CARGA			
Marca		LEXUS	
Tipo		S mono bloque	
Capacidad de trabajo		100 kg a tracción	
Conexión eléctrica		110 V	

CARACTERISTICAS DE INDICADOR DE PESO	
Marca	LEXUS
Tipo	Matrix
Rango señal de entrada	0 a 3 mV
Display	Análogo digital
Conexión eléctrica	110 V
CARACTERISTICAS DE LA TERMOCUPLA	
Modelo	TP-01A
Rango de operación	-58 a 752°F
Conexión eléctrica	

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

- Este manual debe considerarse como una parte permanente del banco de pruebas, por ningún motivo opere el equipo sin consulta previa de este documento
- Ponga atención, particularmente a las frases precedidas de las siguientes palabras:
 - **ADVERTENCIA:** Indica la posibilidad de poder sufrir daños personales si no se siguen las instrucciones
 - **PRECAUCION:** Indica la posibilidad de sufrir daños en el equipo si no se siguen las instrucciones
 - **NOTA:** Ofrece información útil
- Efectuar siempre una inspección general del banco de pruebas, antes de cada puesta en marcha
- Aprenda a parar rápidamente el banco de pruebas y entender el funcionamiento de todos sus componentes. No permita nunca que ninguna persona opere este equipo si ésta no dispone de las instrucciones apropiadas
- Conserve los manuales de cada subsistema que componen el banco de pruebas, no manipule estos instrumentos sin consulta previa de su respectivo manual
- Periódicamente, realice tareas de mantenimiento en cada componente del banco, siga las instrucciones de su respectivo manual
- Por ningún motivo deje el banco operando sin la supervisión de una persona
- No exceda las capacidades de operación del banco de pruebas, tales como: carga máxima a aplicar y temperatura máxima en las pastillas de freno, descritas en la tarjeta maestra

1. OPERACIONES PREVIAS A LA PUESTA EN MARCHA

1.1. FASE 1

1.1.1. DESMONTAJE DE LOS SUBSISTEMAS QUE COMPONEN EL BANCO DE PRUEBAS

ADVERTENCIA

Desconecte el banco de pruebas de la fuente eléctrica. Trabaje en un lugar con buena fuente de luz, use elementos de protección si es necesario.

NOTA

Para la evaluación de las probetas, utilizadas en los ensayos de desgaste, en la transmisión sinfín-corona, es necesario desmontar por completo todos los subsistemas que lo conforman, se recomienda seguir el procedimiento, descrito a continuación.

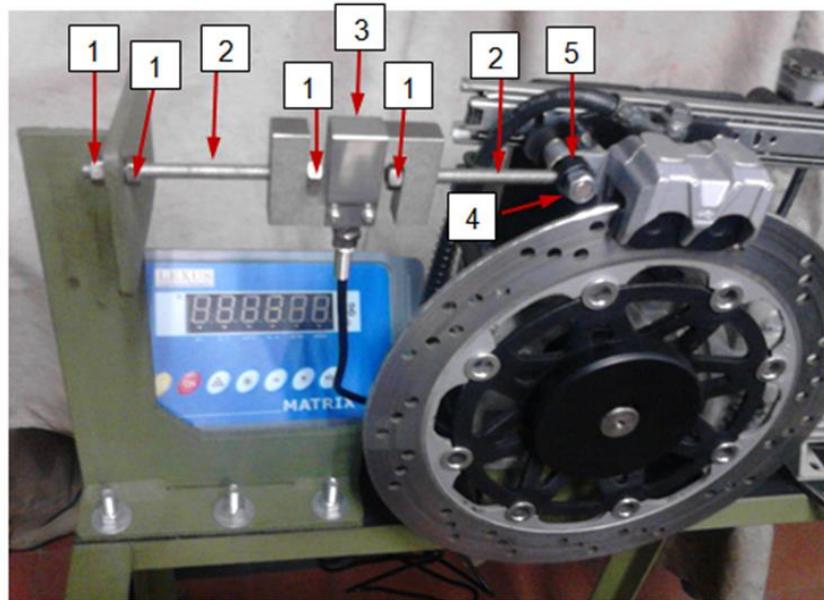
1.1.1.1. Desensamble de la celda de carga (ver figura A1)

Retire las tuercas (1) que sujetan las dos secciones de las varillas roscadas (2) con la celda de carga (3). Retire la tuerca de 3/8" (4) que sujeta al buje (5), el cual se encuentra unido con la varilla roscada (2) del lado derecho.

Utilice las siguientes herramientas:

- llave hexagonal de 12 mm
- llave hexagonal de 8 mm

Figura A 1. Desacople celda de carga



Fuente: Autores

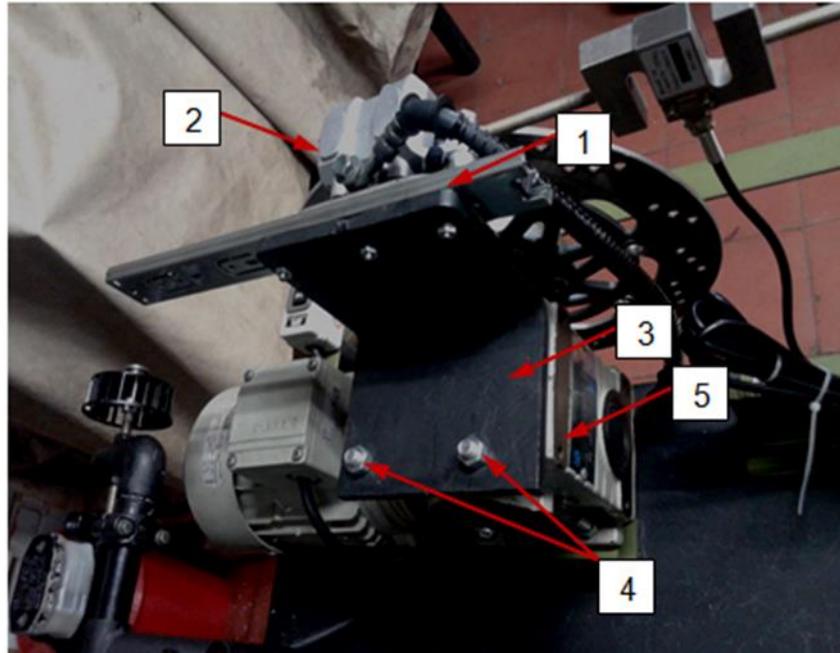
1.1.1.2. Desensamble del conjunto que contiene la mordaza basculante

En el sistema de carga (1), compuesto por la mordaza basculante (2), está montado sobre una platina en L (3), retire las dos tuercas (4) que sujetan la platina en L con la parte superior (5) de la caja reductora, tal como se muestra en la figura A2.

Utilice las siguientes herramientas:

- llave hexagonal de 14mm

Figura A 2. Desacople del sistema de carga



Fuente: Autores

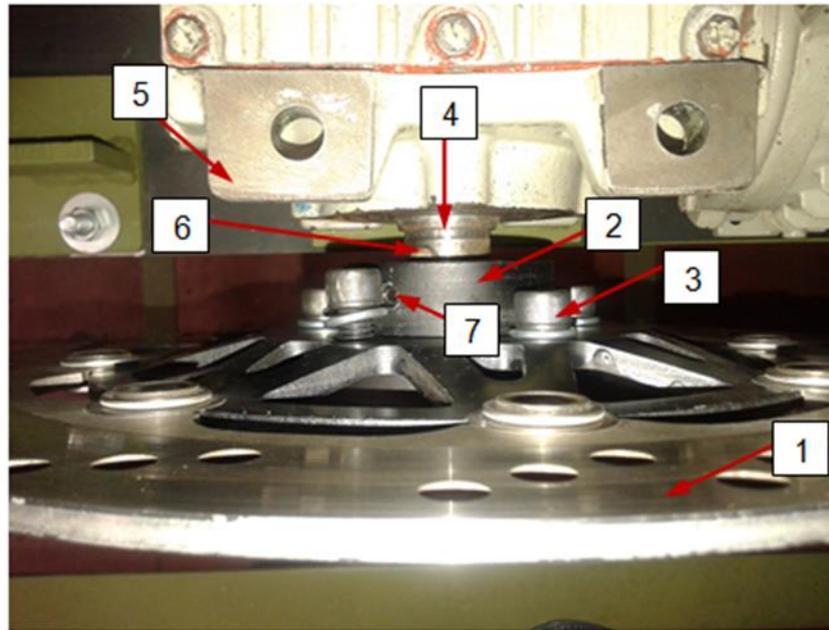
1.1.1.3. Desensamble del eje escalonado que contiene el freno de disco

El freno de disco (1) se encuentra unido con un con un eje escalonado (2) por medio de 5 tornillos tipo Bristol (3), este eje escalonado, a su vez, se encuentra unido al eje de salida (4) de la de la caja reductora (5) por medio de una chaveta (6); para desacoplar el eje escalonado es necesario retirar uno de los tornillos que sujetan el freno de disco con el eje escalonado, como se muestra en la figura A3.

NOTA

Verifique visualmente, debajo de cuál de los 5 tornillos, se encuentra el tornillo prisionero (7) (ver figura A3), que sujeta el eje escalonado con el eje de salida de la caja reductora, una vez ubicado, retire el tornillo Bristol de 5/16" y extraiga el tornillo prisionero, por ultimo empuje hacia afuera el disco hasta que este quede liberado del eje de la caja reductora.

Figura A 3. Desacople del freno de disco



Fuente: Autores

1.1.1.4. Desacople del moto-reductor y extracción de la transmisión sinfín-corona

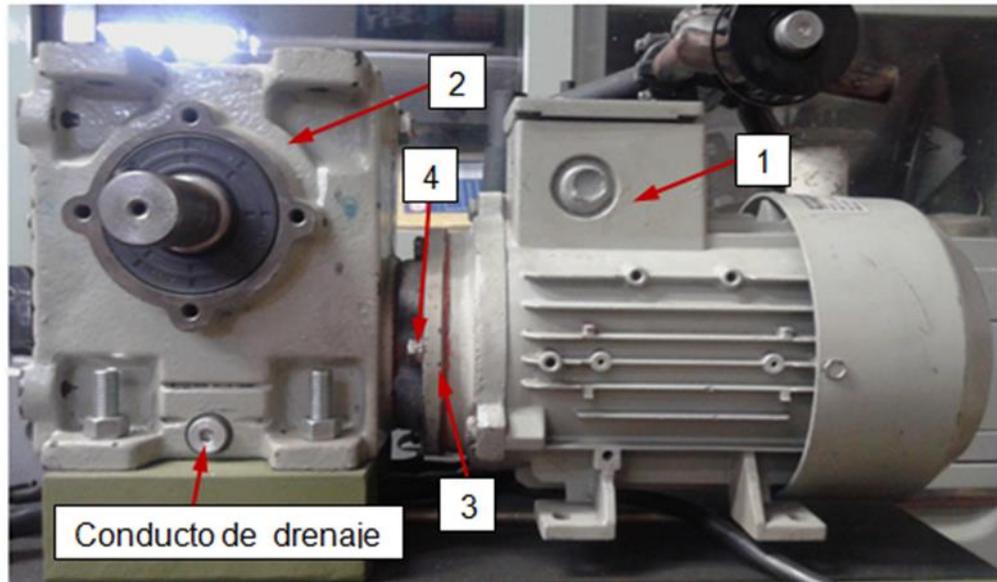
Como los principales elementos de estudio para las pruebas de desgaste, son la transmisión tornillo sinfín y corona helicoidal, es necesario extraerlos de la caja reductora en la cual están contenidos; para ello es obligatorio desacoplar el motor de la caja reductora.

El desacople entre el motor (1) y la caja reductora (2) se logra retirando la tapa escalonada (3), de sección circular, mostrada en la figura A4, la cual contiene 5 tornillos externos (4), de cabeza hexagonal, que la unen con el motor y 4 tornillos internos, tipo Bristol, los cuales la unen con la caja reductora.

PRECAUCIÓN

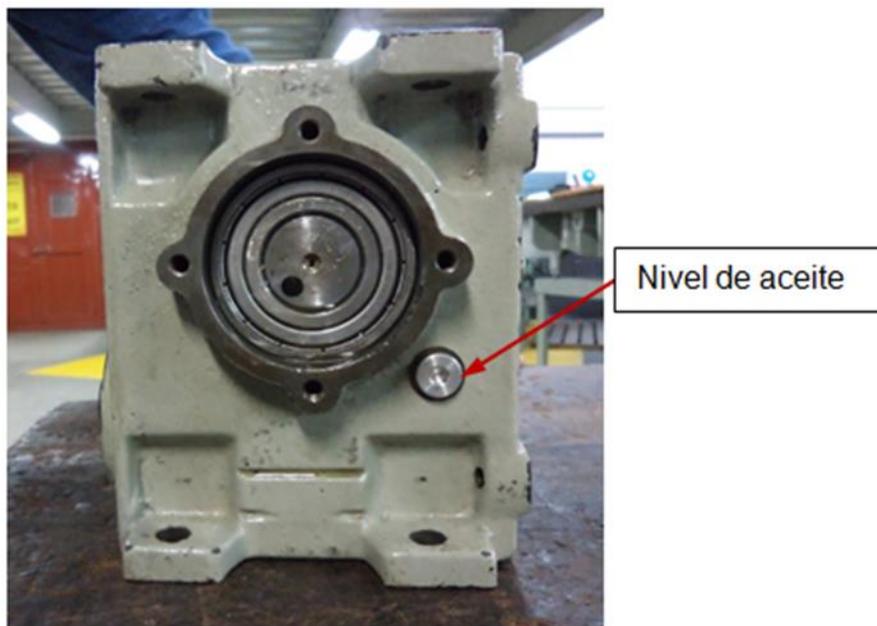
Verifique por medio del nivel de aceite, si la caja reductora contiene aceite en su interior; si lo contiene, es necesario drenarlo. En las figuras A4 y A5 se observa el nivel de aceite y conducto de drenaje respectivamente.

Figura A 4. Desacople del motor y caja reductora



Fuente: Autores

Figura A 5. Nivel de aceite caja reductora



Fuente: Autores

NOTA

Para la extracción del tornillo sinfín y la corona, tenga en cuenta el siguiente procedimiento:

- I. Primero se debe retirar la tapa superior de la caja reductora, esta tapa permite extraer los elementos de la transmisión
- II. Procede a retirar los tapones de seguridad ubicados en los extremos del eje de la corona, estos tapones, por lo general, siempre tienden a dañarse; se recomienda tener varios de estos elementos en el stock
- III. Extraiga los pines que retienen los rodamientos cilíndricos sobre los cuales va montado el eje de la corona, utilice la ayuda de una pinza para la extracción de pines
- IV. Desacople la corona de su eje, utilice un martillo de goma y una pequeña barra, golpee cuidadosamente en el extremo de salida del eje de la corona hasta que esta quede separada del eje
- V. Al retirar la corona y su eje, la extracción del tornillo sin fin se torna más fácil, así que proceda a retirar los tapones de seguridad, extraiga los pines que retienen los rodamientos cónicos sobre los cuales va montado el tornillo sinfín, utilice el martillo de goma y la pequeña barra para golpear cuidadosamente un extremo del tornillo, hasta que este quede liberado por completo

NOTA

El desacople entre los ejes de la transmisión y los rodamientos, generalmente requieren de la ayuda de un extractor de rodamientos.

ADVERTENCIA

Utilice gafas y guantes de protección a la hora de retirar los pines que retienen los rodamientos, ya que estos se encuentran instalados a presión y pueden salir directamente hacia su rostro.

Utilice las siguientes herramientas:

- Martillo de goma
- Pinza para extracción de pines
- Extractor de rodamientos
- Prensa hidráulica

1.2. FASE 2

1.2.1. Montaje de los cuerpos de prueba (probetas a estudiar)

Una vez retirados todos los componentes de la caja reductora, esta quedará disponible para ser ensamblada nuevamente, (ver figura A6), con las nuevas piezas que se deseen experimentar, es decir, se puede variar el material del cual está hecho el tornillo y la corona para determinar sus propiedades frente al desgaste.

Figura A 6. Ensamble caja reductora



Fuente: Autores.

NOTA

El ensamble de la caja reductora, con las nuevas piezas de estudio, se debe realizar en el siguiente orden:

- I. Limpie detalladamente todo el interior de la carcasa del reductor, preferiblemente, use tiner y un cepillo de dientes usado; asegúrese de no dejar ningún tipo de suciedad que pueda alterar el resultado de las pruebas
- II. En el ensamble de la caja reductora, primero se debe introducir el tornillo sinfín, con sus elementos de montaje, es decir, rodamientos cónicos, pines de retención y tapones de seguridad, debidamente verificados

- III. Introduzca la corona por la parte superior del reductor, enseguida acople la corona con su respectivo eje por medio de la chaveta; el siguiente paso es introducir los rodamientos, los pines de retención y los tapones de seguridad, se debe poner la tapa superior de la caja aplicándole silicona para alta temperatura figura A7
- IV. Acople el motor con la caja reductora por medio de la tapa escalonada aplicando silicona para alta temperatura

NOTA

Tanto el acople de la tapa superior de la caja reductora, como el acople entre el motor y la caja reductora, se deben realizar aplicando silicona para alta temperatura, esto con el fin de prevenir fugas de aceite, la silicona marca loctite es una de las más comerciales, por eso se recomienda su uso.

Figura A 7. Silicona para alta temperatura



Fuente: Autores

- V. Por último, llene la caja reductora con el aceite lubricante hasta donde su nivel lo indique, ver figura A4; la industria Ramfe, fabricante de la caja reductora, recomienda utilizar un lubricante ISO VG 220; pero debido a inconvenientes presentados en la adquisición de esta referencia en particular, se recomienda utilizar un lubricante equivalente de referencia SAE 80W-90 para transmisiones y diferenciales, (ver figura A8).

Figura A 8. Aceite recomendado



Fuente: Autores

NOTA

Para proteger el medio ambiente, no se deshaga de manera irresponsable de los desechos en desuso del equipo, como por ejemplo, el aceite de la caja reductora y el líquido de frenos.

RECOMENDACIONES

Asegúrese de aplicar correctamente la silicona para alta temperatura, siga las instrucciones del producto

Para el ensamble de la caja reductora tenga a la mano las siguientes herramientas:

- Llave hexagonal (14mm)
- Llave Bristol (5/16")
- Pinzas para extracción de pines
- Extractor de rodamientos
- Martillo de goma
- Prensa hidráulica
- Embudo para abastecer de aceite a la caja reductora

Los tapones de seguridad siempre tienden a dañarse a la hora de desmontar la caja reductora, por tal motivo se recomienda tener varios de repuesto.

1.3. FASE 3

1.3.1. Rearmado de los subsistemas que componen el banco de pruebas

En la segunda fase de las operaciones previas a la puesta en marcha del banco, fue necesario desmontarlo todo para introducir las probetas de estudio, en esta tercera fase, se precisa rearmar nuevamente el banco.

NOTA

Para el rearmado de los subconjuntos que conforman el banco, siga el orden descrito a continuación.

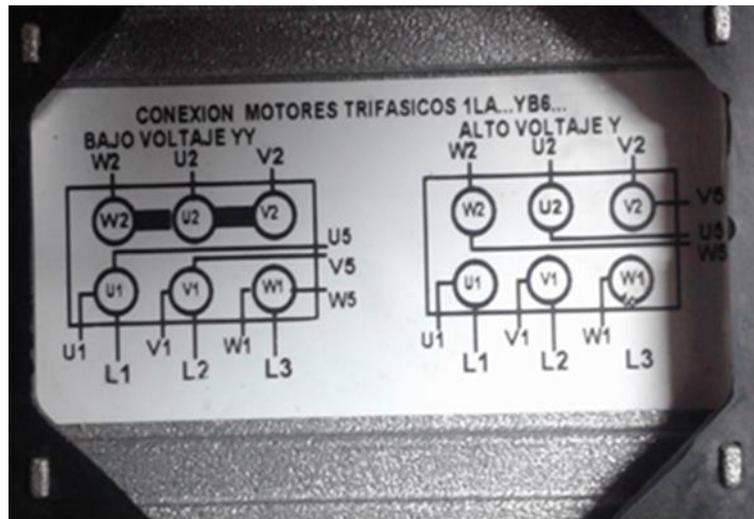
- I. acople el eje escalonado que contiene el freno de disco
- II. Introduzca el eje escalonado que contiene el freno de disco por medio de la chaveta, apriete el tornillo prisionero, por último fije el tornillo tipo Bristol
- III. Monte la platina en L que contiene la mordaza basculante
- IV. Introduzca las pastillas de la mordaza en el freno de disco
- V. Sujete la platina a la caja reductora por medio de los dos tornillos de cabeza hexagonal de 5/16"
- VI. Acople la celda de carga
- VII. Introduzca las dos secciones de las varillas roscadas en los extremos de la celda de carga, sujete la varilla del lado izquierdo con el soporte fijo, sujete la varilla del lado derecho con el buje y asegúrelo con la tuerca de 5/8"
- VIII. Compruebe el nivel de la celda de carga, usando un nivel de burbuja

1.4. FASE 4

1.4.1. Conexión eléctrica del motor

El accionamiento del tribómetro se da por medio de un motor eléctrico marca Siemens, de 0.4 hp a 1640 rpm, con conexión trifásica a 220 V. El esquema de conexión del circuito eléctrico se presenta en la figura A9.

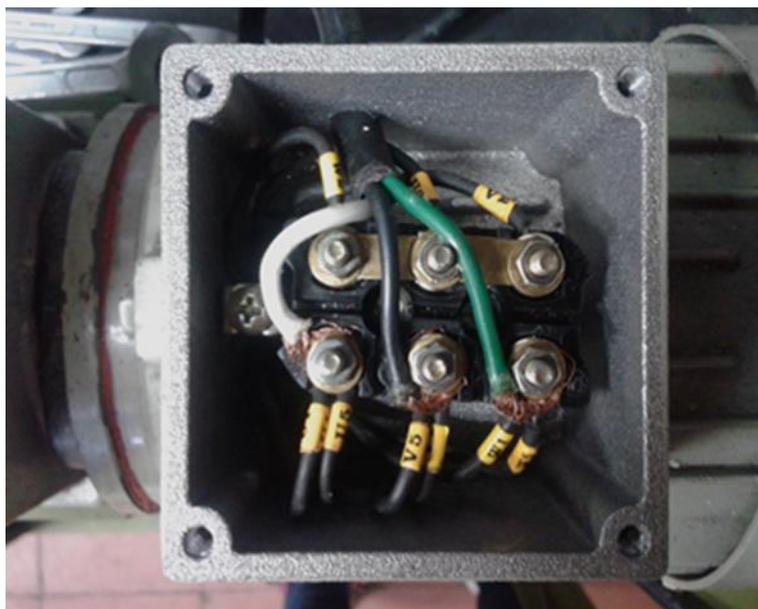
Figura A 9. Conexión eléctrica del motor trifásico



Fuente: Siemens

En la figura A10, se puede observar la conexión final del circuito eléctrico, siendo el cable verde el neutro del circuito; los cables negro y blanco corresponden a las fases; si el orden de las fases se intercambia, cambia el sentido de rotación del motor.

Figura A 10. Conexión eléctrica final



Fuente: Autores

NOTA

Esta configuración de conexión, hace que el eje del motor gire en sentido anti horario visto de frente.

La conexión eléctrica que energiza el motor cuenta con una caja de control eléctrico (ver figura A11), la cual permite encender y apagar el banco de manera segura y oportuna.

Figura A 11. Caja de control eléctrico



Fuente: Autores

2. PUESTA EN MARCHA DEL BANCO DE PRUEBAS

PRECAUCION

Antes de iniciar cualquier operación en el banco, verifique el estado de sus componentes, realice la siguiente lista de chequeo.

- Revise que no haya fugas de aceite en la caja reductora
- Compruebe el nivel de aceite en el líquido de frenos
- Verifique el estado de las pastillas de freno
- Revise los instrumentos de medición, verifique que sus conexiones se encuentren bien instaladas

NOTA

El banco de pruebas para el análisis del desgaste se encuentra principalmente compuesto por un accionamiento (motor), la transmisión a ensayar, el dispositivo de carga, el sistema de lubricación, los instrumentos de medición y control.

A continuación se presenta el orden de la puesta en marcha del banco de pruebas

2.1. ENCENDIDO DEL MOTOR

- I. Conecte el cable de alimentación del motor a la línea eléctrica de 220 V
- II. Presione el botón "ON" del interruptor de corriente
- III. Accionamiento de la carga

PRECAUCION

La carga se debe aplicar sólo cuando el moto-reductor este encendido, por ningún motivo aplique la carga cuando este apagado, la sobrecarga al inicio del ciclo puede quemar el motor.

NOTA

La variación de la carga se da por medio de un porta maniguetas acoplado a una varilla roscada figura A12; cuando la varilla se hace girar en sentido horario, esta desplaza un pistón que inyecta líquido de freno y acciona las pastillas contra el disco generando una fuerza de frenado.

RECOMENDACIÓN

Se recomienda aplicar la carga gradualmente hasta alcanzar el valor deseado, recuerde que este valor no puede superar los 10 kg.

Figura A 12. Accionador de carga



Fuente: Autores

2.2. REGISTRO DE LOS VALORES DE CARGA (INDICADOR DE PESO)

La magnitud de la carga generada mediante el accionamiento de las pastillas, es captada por la celda de carga y esta a su vez se encarga de entregarle esta información al indicador de peso, (ver figura A13), el cual la procesa y entrega en pantalla el valor total de carga, medida en lb.

PRECAUCIÓN

La celda de carga es un instrumento de medición para peso altamente sensible, su funcionamiento requiere de una serie de cuidados, los cuales hay que tener muy presentes, entre ellos se encuentran:

- Evitar todo tipo de golpes y caídas
- No someter el instrumento a cambios bruscos de temperatura y evitar ambientes muy húmedos
- Al momento de su instalación se debe asegurar que la carga a la cual va a estar sometida pase completamente horizontal por la línea de su centro

Figura A 13. Indicador de solo peso



Fuente: Autores

NOTA

Para registrar los valores de carga, siga el procedimiento descrito a continuación:

- Conecte la celda de carga al indicador de peso
- Conecte el indicador de peso a la línea eléctrica de 110 V
- Encienda el indicador de peso y resetéelo hasta que aparezcan ceros en pantalla

RECOMENDACIÓN

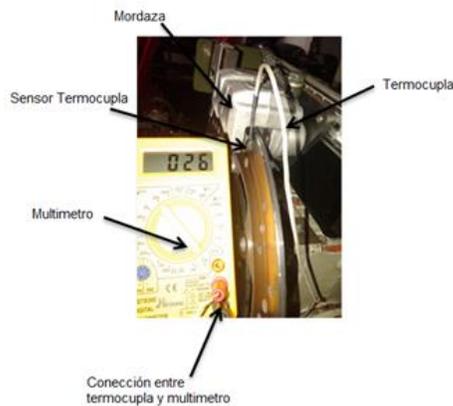
- En lo posible evitar que el indicador de peso durante su funcionamiento, se encuentre cerca de otros equipos eléctricos, como por ejemplo, motores que puedan alterar los valores registrados
- Cada vez que se requiera registrar un valor de carga, es necesario resetear el indicador de peso para que este comience a registrar los valores desde cero

2.3. REGISTRO DE LOS VALORES DE TEMPERATURA EN LAS PASTILLAS

2.3.1. Dispositivo para registrar temperatura (termocupla)

El rozamiento entre el freno de disco y las pastillas genera un elevado aumento de temperatura, lo cual conlleva al recalentamiento de las pastillas y posterior cristalización de las mismas, por tal motivo, los valores de temperatura en las pastillas son una de las principales variables a registrar, para ello, se precisa el uso de una termocupla, la cual está conectada a un multímetro, como se observa en la figura A14.

Figura A 14. Termocupla adaptada



Fuente: Autores

PRECAUCION

Si el aumento de temperatura se mantiene por un tiempo lo suficientemente prolongado, puede causar la evaporación del líquido de frenos contenido en los pistones de la mordaza, además de causar una posible explosión por acumulación de vapor en la manguera que transporta el líquido; por este motivo, se recomienda durante el desarrollo de las pruebas monitorear constantemente la temperatura en las pastillas y en la periferia de la mordaza, evitando que esta alcance un valor máximo de 240° C, valor recomendado por el fabricante del líquido de frenos, puesto que su punto de ebullición se da a los 250° C; para mayor seguridad es necesario utilizar un ventilador que airee constantemente las pastillas y ayude a disipar el calor que se genera en ellas.

NOTA

Cuando sea necesario cambiar de pastillas e instalarle la termocupla, realice el siguiente procedimiento:

- Con un taladro de mano, haga una pequeña perforación en el extremo de una de una de las pastillas
- Introduzca el sensor de la termocupla en la perforación y fíjelo con silicona para alta temperatura
- Conecte la termocupla al multímetro y enciéndalo en modo de temperatura

PRECAUCIÓN

La tabla 1, muestra los valores máximos de temperatura sobre los cuales deben operar los diferentes componentes del banco, se recomienda respetar estos valores.

Tabla 3. Valores máximos de temperatura

Dispositivo	Temperatura máxima en °c
Pastillas de freno	240° C
Líquido de freno	240° C
Freno de disco	420° C

Fuente: Autores

RECOMENDACIÓN

- Evite que el sensor de la termocupla, ubicado en una de las pastillas, haga contacto directo con el freno de disco
- Supervise constantemente el desgaste en las pastillas y cámbielas cuando su espesor sea menor a 3 mm

2.3.2. Autonomía del banco de pruebas

La autonomía de operación del banco durante las pruebas, está determinado por el recalentamiento de las pastillas de freno, el tiempo de operación dependerá del tiempo en que las pastillas alcancen su máxima temperatura de servicio, la cual corresponde a 240° C, temperatura a la cual empiezan a cristalizarse y por ende a perder la capacidad de fricción contra el freno de disco; este inconveniente de temperatura con las pastillas de freno obligan a realizar una sumatoria de ciclos de operación hasta alcanzar el tiempo total de ensayo requerido por las piezas a evaluar.

ADVERTENCIA

Cuando las pastillas alcancen el máximo valor de temperatura en servicio, es necesario parar el tribómetro esperar un tiempo, hasta que las pastillas reduzcan su temperatura hasta el valor del ambiente.

3. MANTENIMIENTO GENERAL DEL EQUIPO

NOTA

Efectúe periódicamente las siguientes tareas de mantenimiento en el banco:

- Ajuste regularmente todas las tuercas que conforman el banco
- Conserve siempre el líquido de frenos sobre el nivel del depósito
- Mantenga limpio el conducto para el escape de los gases de la caja reductora
- Anualmente pinte las partes del banco que lo requieran, evite la presencia de corrosión

ANEXO B

LEXUS
ELECTRONIC WEIGHING

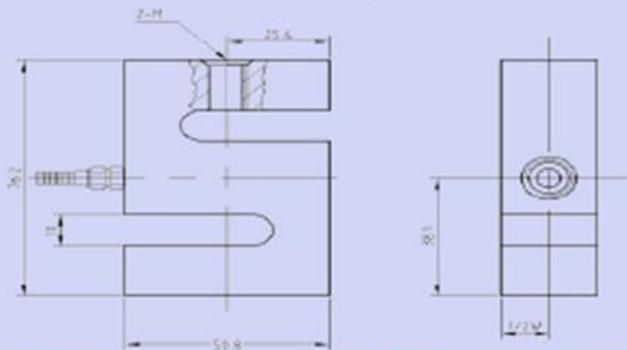
CELDA TIPO "S" MODELO SA

Ver. 2 (2012/01)



Celda de carga tipo "S" en aleación de acero, IP65, para aplicaciones especiales en tensión o compresión, para basculas flotantes.

DIMENSIONES (mm)



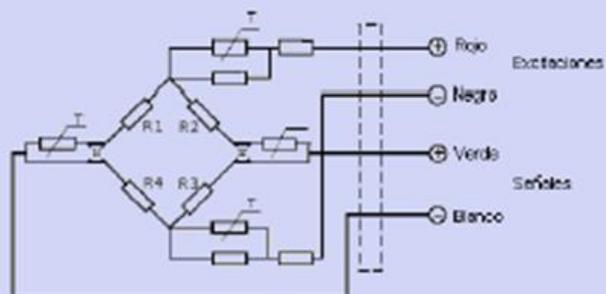
Rated load (kg)	50	100	150	200	250	300	500	1000
W	15	15	15	19	19	19	19	38
M	M8	M8	M8	M12	M12	M12	M12	M16

DIMENSIONES Y ESPECIFICACIONES SUJETAS A CAMBIO SIN PREVIO AVISO

CARACTERISTICAS GENERALES

Parametros	C2	C3	Unidades
Capacidades (E _{max}) :	50, 100, 200, 500		Kg
Intervalos Max. de verificación (N _{lc}):	2000	3000	d
Intervalos Min. De verificación (V _{min}) :	0,03		% de la Capacidad Max.
Sensibilidad (C _n) :	2.0 ± 0.2%		mV/V
Efecto de temperatura en la sensibilidad (T _{kc}) :	0,0024	0,0012	± % de la señal de salida/°C
Efecto de temperatura en el cero (t _{k0}) :	0,002	0,0008	± % de la señal de salida/°C
Cero :	1.0		± % de la señal de salida
Resistencia de entrada (R _{lc}) :	385 ± 5		Ohms
Resistencia de salida (R _o) :	350 ± 2		Ohms
Resistencia de aislamiento :	≥ 5000		Mega-Ohms
Límite de sobrecarga :	150		% de la capacidad
Ruptura de celda :	300		% de la capacidad
Rango de temperatura en operación :	-30 a +70 / -20 a +160		°C / °F
Excitación Recomendada :	5-12		V (AC o DC)
Maxima excitación permitida :	15		V (AC o DC)
Peso aproximado :	600		g
Material :	Aleación de acero		
Clase de protección :	IP65		
Cable	3m		Φ5mm

CONEXION



DIMENSIONES Y ESPECIFICACIONES SUJETAS A CAMBIO SIN PREVIO AVISO

ANEXO C

MATRIX

(7 teclas)

INDICADOR ELECTRONICO DE PESO



MANUAL DEL USUARIO

LEXUS
ELECTRONIC WEIGHING

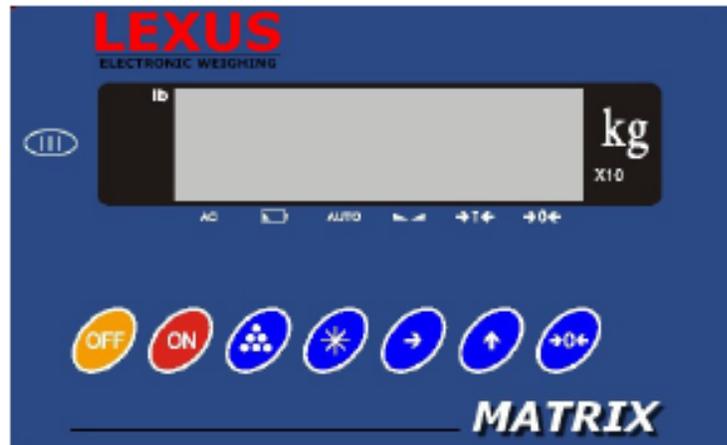
Version 1 (2011/07)

1. Características

- Hasta 10 000 divisiones de escala.
- Tamaño de división: 1/2/5/10/20/50/0.1/0.2/0.5/0.01/0.02/0.05/0.001/0.002/0.005
- Rango de Señal de entrada: 0 ~ 3 mV.
- Velocidad de conversión A/D: 40 conv./s.
- Excitación 5 VDC (4 celdas de carga de 350 Ω / 8 de 700 Ω)
- Duración de la batería: Max. 30 horas de autonomía.
- Display tipo LED de 6 dígitos de 2 cm de altura.
- Siete teclas tipo pulsador
- Transmisión de peso a computador en modo continuo y modo impresión.
- Velocidades de comunicación: 1200, 2400 , 4800 , 9600 bps.
- Acumulación manual y automática.
- Función de retención del peso mas alto (Peak Hold)
- Función de retención de peso estable.
- Función de autoapagado.
- Calibración y programación por medio del teclado.
- Voltaje de alimentación 110 VAC/60Hz (Con adaptador)
- Temperatura de operación : 0 a 40 °C
- Humedad relativa : Hasta del 90%, no condensada.

NOTA : Algunas de las características operativas pueden variar, dependiendo de la versión del equipo.

2. Descripción del teclado y de las señales:



- : Encendido del equipo
- : Apagado del equipo
- : Acumulación e impresión de peso.
- : Tecla de función y confirmación.
- : Mueve el dígito intermitente a la posición deseada.
- : Incrementa el número sobre el dígito intermitente.
- : Tecla de Cero y Tara.

- : Indica que está conectado a la red de voltaje AC.
- : Indica que la batería esta a menos del 30% de su capacidad.
- : Indica que se efectuó una acumulación automática.
- : Indica que la báscula esta en cero.
- : Indica que la lectura de peso es estable.
- : Indica que la báscula tiene una tara.

3. Preparación del equipo

3.1. Instalación

a) El equipo debe ser usado en ambientes libres de corrientes excesivas de aire, ambientes corrosivos, vibraciones, temperaturas excesivas o humedad extrema. No debe ser expuesto directamente a rayos de sol.

b) La báscula debe estar colocado sobre una superficie firme y bien nivelada

c.) Ningún objeto debe estar en contacto con la plataforma de peso excepto la carga a pesar.

3.2. Recomendaciones de uso

a) No operar el equipo en superficies desniveladas, cerca a ventanas o puertas abiertas que causen cambios bruscos de temperatura, cerca a ventiladores, cerca a equipos que causen vibraciones o expuesto a campos electromagnéticos fuertes.

b) Si el equipo esta conectado a una toma eléctrica que tenga fluctuaciones de voltaje mayores al 10% se recomienda el uso de un estabilizador .

c) A la toma eléctrica donde este conectado el equipo de pesaje no deben conectarse otros de gran consumo como motores, refrigeradores, cortadoras etc.

d) No deposite sobre la plataforma un peso superior al alcance máximo.

e) Mantenga siempre limpio el teclado. Utilizar un paño seco (o con un producto de limpieza adecuado) para limpiar las partes del equipo; nunca con chorro de agua.

4. Modo de configuración :

4.1 . Como entrar al modo de configuración [---]

- a) Mantener presionada la tecla  y encender el indicador con la tecla . Sostenerla hasta que muestre el conteo. El display mostrará la versión del equipo (ejemplo, ver 1.6), hará un conteo regresivo y finalmente mostrará el valor de peso actual sobre la báscula.
- b) Presionar la tecla  para pasar a modo de calibración. El display mostrará [CAL SP].
- c) Presionar la tecla  de nuevo pasar a configuración interna y el display mostrará [- Set -].
- d) Presionar nuevamente  para pasar a conteo interno. El display mostrará [- A - d -].

4.2. Configuración interna [- Set -].

- a) Estando en el modo de configuración avance a hasta [- Set -] y presionar  para entrar. Aparece [d XXX], donde XXX es una de las divisiones (en kg) disponibles del equipo.
- b) Ahora se debe presionar  para cambiar a la división deseada y confirmar con  y pasar al siguiente parámetro.
- c) Aparece [000000] o un número hasta de seis dígitos, indicando la capacidad máxima (en kg) de la báscula. Presionar  para seleccionar el dígito deseado. Utilizar la tecla  para incrementar el dígito intermitente y así determinar la máxima capacidad. Presionar  para continuar.

d) Aparece en el display **[Flt XX]** donde XX es un número entre 00 y 99, indicando el nivel de filtro. Presione  para cambiar el dígito intermitente y colocarlo en la posición deseada. Utilice  para incrementar el número intermitente y así determinar el filtro. Entre mayor sea el valor del filtro, la respuesta del display será mas lenta. Presionar  para continuar.

e) Aparece en el display **[AutP XY]** donde X indica la banda de cero y habilita el cero al encender (ver Tabla No.1). Este último parámetro permite que el indicador tome cero al encender hasta el 20% de la capacidad total de la báscula.

El dígito Y indica si el equipo tiene autoapagado programado o no. Con 0 el autoapagado queda deshabilitado y con 1 queda habilitado. Cuando queda habilitado, el display se borrará y mostrará [-] si el peso no varía durante 3 minutos. El display volverá a mostrar peso si se opera de nuevo el indicador. El indicador se apagará completamente si el peso no varía durante 30 minutos. Presionar  para seleccionar el dígito y  para incrementarlo. Presionar  y pasar al siguiente parámetro.

AutP XY	Banda de cero	Cero al encender
0Y	----	NO
1Y	0.4 d	SI
2Y	0.8 d	SI
3Y	1.2 d	SI
4Y	1.6 d	SI
5Y	2.0 d	SI
6Y	2.4 d	SI
7Y	2.8 d	SI
8Y	3.2 d	SI
9Y	3.6 d	SI

Tabla No.1

f) Aparece en el display **[Adr XX]** donde XX indica el modo de transmisión serial. Permite configurar tres modos: continuo, continuo en sentido inverso y modo impresión (ver numeral 7.1.). Presionar  para seleccionar el dígito y  para incrementarlo. Presionar  y pasar al siguiente parámetro.

g) Aparece en el display **[b XXXX]** donde XXXX puede ser 1200, 2400, 4800 o 9600 indicando la velocidad de comunicación por el puerto serial. Presionar  para seleccionar el dígito y  para incrementarlo. Presionar  y confirmar.

4.3. Modo de Conteo Interno [-A-d-]

Estando en el modo de configuración avance a hasta **[- A-d -]** y presione . Aparece el modo de conteo interno de la báscula. Presionar  y pasar al modo de pesaje.

5. Ajuste de peso

- a) Entrar a modo de configuración y avanzar con  hasta que aparezca [CAL SP]. Presione  para ingresar a modo de calibración.
- b) Aparece en el display [CAL 00] indicando que se va a ajustar el cero de la báscula. Presione  para tomar el cero. El display mostrará [----] durante unos segundos.
- c) Luego aparece la carga de calibración de span. Inicialmente mostrará la capacidad máxima. Indique el valor de span presionando  para seleccionar el dígito requerido y  para incrementarlo. Presionar estas teclas las veces que sea necesario.
- d) Coloque sobre la plataforma el mismo peso indicado en el display, asegúrese que el peso este estable y presione  para ajustar el span. El display mostrará [----] durante unos segundos.
- e) Finalmente el display mostrará el valor de calibración indicando que la báscula ya esta calibrada (ajustada).

6. Modo de operación

6.1. Encendido y apagado del equipo.

Presione la tecla . El display mostrará la versión y el conteo regresivo utilizando todos los dígitos del display. Finalmente mostrará el valor de peso actual sobre la báscula o cero, si la función de autocero al encender esta habilitada. Para esto el valor de peso debe ser menor o igual al 20 % de la capacidad total. En ese momento el indicador esta listo para comenzar a pesar.

Para apagar el indicador, en cualquier momento sostenga la tecla  durante 2 segundos y el display mostrará **[bpt XX]** indicando el porcentaje de carga de la batería. Finalmente el display se apagará.

6.2. Alimentación y uso de la batería.

El indicador trabaja internamente por medio de una batería recargable de **6 V, 4AH**. El tiempo de autonomía es de 30 horas cuando esta conectado una celda de carga. Si el numero de celdas aumenta, el tiempo de autonomía disminuye.

Cuando la carga de la batería se encuentra por debajo del 30 % de su capacidad, la luz (LED) de la señal de batería baja  se iluminará indicando que es necesario recargarla. Para esto se debe conectar el equipo a la toma de alimentación. La luz de la señal de conexión a corriente alterna  se encenderá.

El display comenzará a quedar intermitente cuando la carga de la batería este por debajo del 20 % de su capacidad. En ese caso se debe apagar el indicador y dejar recargando la batería durante 8 horas; en caso contrario la batería se puede dañar.

Se recomienda habilitar la función de autoapagado por medio del parámetro **[AutP]** (modo - **set** -) para preservar la durabilidad de la batería.

6.3. Cero de la báscula

Antes de poner en ceros el indicador es necesario verificar que el valor de peso en el display sea estable (se enciende la señal de estabilidad ) y que la báscula no tenga ningún pegue.

Para que la báscula tome ceros es necesario mantener presionada la tecla  durante 2 segundos. El indicador pitará y luego mostrará ceros. La luz de la señal de cero  se iluminará.

6.4. Tara de la báscula

Para tarar la báscula es necesario presionar la tecla  (sin sostenerla) y la luz de la señal de tara  se encenderá. Para que la báscula tome tara es necesario que el peso sea estable ()

El indicador MATRIX adicionalmente posee la función de Tara conocida. Estando en modo pesaje presionar la tecla  y el display mostrará [000000] para poder ingresar el valor de la tara conocida. Con la tecla  se selecciona el dígito a modificar y con  se incrementa el valor del dígito y así sucesivamente hasta marcar el valor de la tara deseada. Para confirmar se debe presionar la tecla  y el indicador descontará el peso ingresado por teclado. La señal de tara  se encenderá.

6.5. Cambio de unidades

El indicador MATRIX Versión 1.6 permite cambiar la unidad de medición de kg a lb (libras americanas) y viceversa. Para esto se debe presionar la tecla  durante 3 segundos aproximadamente.

Ejemplo:

| 601 | kg →  → lb | 1236 | →  → | 601 | kg

6.6. Acumulación

Existen dos modos de acumulación en el indicador MATRIX: manual y automática.

Para cambiar el modo de acumulación se debe presionar dos veces la tecla  en el modo de pesaje. Aparece [n 0] y luego [Aut X]. Para cambiar el valor de X se presiona la tecla .

Desde este parámetro es posible programar el indicador para que imprima el peso a través del puerto serial en el momento de acumular. Para lo anterior es necesario que la interfase serial este configurada en modo impresión (ver numeral 7.3.).

Los posibles valores de este parámetro están en la siguiente tabla:

Aut X	Descripción
0	Acumulación + impresión manual.
1	Acumulación + impresión automática cuando el peso es estable (> 20d).
2	Acumulación + impresión automática cuando retorna a cero. El indicador acumulará el último valor estable (> 20d).
3	Retención peso estable, acumulación + impresión automática cuando retorna a cero. Acumulará el último peso retenido.
4	Peak hold, acumulación + impresión automática cuando retorna a cero. Acumulará el valor de peso mas alto.
5	Retención peso estable, acumulación + impresión manual.
6	Peak hold, acumulación + impresión manual.
7	Función de conteo de piezas.

Tabla No. 2

Presionar  para confirmar y salir a modo de pesaje.

Para acumular manualmente se deben realizar los siguientes pasos:

- a) Colocar el peso sobre la báscula.
- b) Una vez estabilice el peso presionar la tecla de acumulación .
- c) El indicador pitará indicando que ya hubo una acumulación y mostrará en el display el número de acumulación realizada [n X] (X es No. de acumulación).
- d) Se deberá retirar el peso acumulado de la báscula.
- e) Para seguir acumulando otros productos se deben repetir los cuatro pasos anteriores.

Para acumular automáticamente se deben realizar los siguientes pasos:

- a) Colocar el peso sobre la báscula.
- b) Una vez estabilice el peso el indicador, pitará indicando que ya hubo una acumulación y en el display se verá el número de acumulación [n X].
- c) Se deberá retirar el peso acumulado de la báscula.
- d) Para seguir acumulando se deben repetir los tres pasos anteriores.

Para la visualización del acumulado de peso se debe presionar la tecla  y el display mostrará el número de acumulaciones (por ejemplo [n 15]). Presionar la tecla  y el display mostrará [H XXXX] donde XXXX son los dígitos mas significativos (high) del peso acumulado. Presionar nuevamente  y el display mostrará [L YYY.Y] donde YYY.Y son los dígitos menos significativos (low) del peso acumulado. Es decir el peso acumulado total es "XXXXYYY.Y".

Ejemplo: El peso acumulado de 5659.8 kg en 24 operaciones realizadas, se representaría en el display de la siguiente manera:

[n 24], [H 5] y [L 659.8]

Para borrar la acumulación se debe presionar la tecla  cuando el display este mostrando el número de acumulaciones.

Ejemplo: Continuando con el ejemplo anterior, se visualiza el número de acumulaciones presionando  y el display mostrará [n 24], luego  y el display volverá a modo de pesaje. El acumulado queda borrado.

6.7. Retención de peso estable (Stable weight auto-locking)

Para ingresar a habilitar esta función se debe presionar dos veces la tecla  en el modo de pesaje. Aparece [n X] y luego [Aut Y]. Para cambiar el valor de Y se presiona la tecla . Se debe colocar el valor [Aut 3]. Presionar  para confirmar y salir a modo de pesaje. Se recomienda dejar el filtro en un valor de 30 [Fit 30].

El indicador quedará en modo de pesaje. Al colocar un peso en la báscula el display se bloqueará mostrando el último valor de peso estable durante 6 segundos aprox.

6.8. Retención del peso mas alto (Peak Hold)

La función de retención del peso mas alto o valor pico comúnmente es conocido como "Peak Hold" y se habilita también por medio del parámetro [Aut]. Se debe presionar

dos veces la tecla  en el modo de pesaje y en el display aparece [n X] y luego [Aut Y]. Por medio de la tecla  se debe colocar el valor [Aut 4]. Presionar  para confirmar y salir a modo de pesaje.

Se debe colocar una carga (o aplicar una fuerza) y el indicador comenzará a mostrar siempre el valor mas alto de la carga colocada. Si la carga es menor a 20 divisiones, el valor pico quedará intermitente en el display.

Para desbloquear el display se presiona cualquier tecla.

7. Interfase Serial

El indicador tiene incorporada una interfase serial RS232 unidireccional. El indicador MATRIX versión 1.6 puede transmitir a través del puerto serial el valor de peso en caracteres tipo ASCII, en tres modos: continuo, continuo en sentido inverso y modo impresión.

7.1. Modo continuo

El formato continuo del indicador MATRIX es de longitud fija de 8 caracteres (bytes). El valor del parámetro "Adr" debe estar configurado así: [**Adr 99**]

Formato de datos

=	SP	X6	X5	X4	X3	X2	X1
---	----	----	----	----	----	----	----

= Encabezado
X1...X6 Dato de peso (incluye punto decimal)
SP Fin de la cadena (espacio)

X 6 : Dígito mas significativo

X 1 : Dígito menos significativo

Ejemplo: En el display se visualiza [126.35], el dato transmitido es "=53.621_"

7.2. Modo continuo en sentido inverso

Este modo envía el dato de peso en forma inversa en una cadena de 8 caracteres. El valor del parámetro "Adr" debe estar configurado así: [**Adr 00**]

Formato de datos:

=	X1	X2	X3	X4	X5	X6	SP
---	----	----	----	----	----	----	----

X 1 : Dígito menos significativo

X 6 : Dígito mas significativo

Ejemplo: Volviendo al ejemplo anterior. En el display se visualiza [126.35], el dato transmitido es “=_126.35”.

7.3. Modo impresión

Este modo permite imprimir el peso en un impresora serial.

El registro de peso es acumulado y se imprime cuando se presiona la tecla .

Los siguientes son los datos que se pueden imprimir:

No: X	Consecutivo
Gross: GGGGGkg	Peso Bruto
Tare: TTTTTkg	Peso Tara
Net: NNNNNkg	Peso Neto

El formato del total es el siguiente:

No: Y	Número de impresiones
W: WWWWWkg	Peso total

Para imprimir el total acumulado se debe presionar  cuando el display muestre el número de acumulaciones ([n]) o cuando muestre el acumulado ([H]).

Inmediatamente se imprimirá el total acumulado, pero no se borrará.

Ejemplo:

No: 1
Gross: 600kg
Tare: 50kg
Net: 550kg

No: 2
Gross: 500kg
Tare: 0kg
Net: 500kg

No: 3
Gross: 700kg
Tare: 45kg
Net: 655kg

No: 3
W: 1705kg

7.4. Configuración del puerto serial

El puerto serial del indicador MATRIX viene configurado de la siguiente manera:

Rata de baudios: 1200 , 2400, 4800 o 9600 bps (Ver numeral 4.2.)
Paridad : ninguna (N)
Bits de datos: 8
Bits de stop: 1
Código: ASCII

8. Conexiones

A continuación esta descrita la distribución de los pines de cada uno de los conectores del indicador MATRIX:

a) Conector celda de carga DB9H: Conector Delta 9 hembra para MATRIX (ABS):

Pin	Señal	Descripción
1	EXC +	Excitación positiva
2	SEN +	Sensor positivo
3	GND	Blindaje
4	SEN-	Sensor negativo
5	EXC-	Excitación negativa
7	SIG+	Señal positiva
8	SIG-	Señal negativa

Tabla No. 3

b) Conector Puerto RS232: Conector DB9 macho con la siguiente distribución:

Pin	Señal	Descripción
3	TXD	Transmisión
5	GND	Tierra común

Tabla No.4

ANEXO D

