



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**ESTUDIO DEL EFECTO A DESGASTE EN LOS MATERIALES
USADOS PARA ENGRANAJES EN UN MOTORREDUCTOR POR
MEDIO DE INSPECCIÓN VISUAL**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR:

CARLOS HERNÁN CHÁVEZ SALAS

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**ESTUDIO DEL EFECTO A DESGASTE EN LOS MATERIALES
USADOS PARA ENGRANAJES EN UN MOTORREDUCTOR POR
MEDIO DE INSPECCIÓN VISUAL**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR: CARLOS HERNÁN CHÁVEZ SALAS

DIRECTOR: Ing. JORGE SEBASTIÁN BUÑAY GUAMÁN

Riobamba – Ecuador

2022

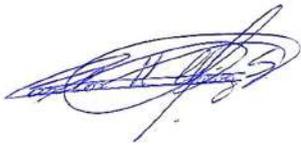
© 2022, Carlos Hernán Chávez Salas

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Carlos Hernán Chávez Salas, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 08 de diciembre de 2022



Carlos Hernán Chávez Salas

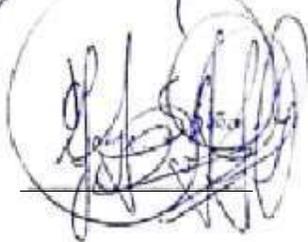
060403730-9

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **ESTUDIO DEL EFECTO A DESGASTE EN LOS MATERIALES USADOS PARA ENGRANAJES EN UN MOTORREDUCTOR POR MEDIO DE INSPECCIÓN VISUAL**, realizado por el señor: **CARLOS HERNÁN CHÁVEZ SALAS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Diego Fernando Mayorga Pérez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-12-08
Ing. Jorge Sebastián Buñay Guamán DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-12-08
Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-12-08

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres Hernán y Carmen que con gran sacrificio, esfuerzo y entrega motivaron día a día mi camino, apoyaron mis decisiones y permitieron que llegue a ser una persona de bien, a pesar del largo e incierto trayecto siempre a mi lado. De igual manera a mis hermanos Alejandra y Francis y mi sobrino Hernán quienes no permitieron que pierda de vista mi meta. A mis amigos y compañeros que en determinado momento tendieron su mano brindando apoyo y confianza.

Carlos

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento a mi familia que apoyaron mi trayectoria y facilitaron cada paso. A mis amigos que con experiencias únicas y largas noches de estudio permitieron hacer de esta etapa una de las mejores. A mis profesores quienes con su conocimiento, paciencia y experiencia dotaron de grandes capacidades dentro del área Ingenieril. Y finalmente a la ESPOCH que permitió mi desarrollo y crecimiento profesional, ético y moral.

Carlos

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XVI
ÍNDICE DE ECUACIONES	XVIII
ÍNDICE DE ANEXOS	XX
RESUMEN.....	XXI
SUMMARY	XXII
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.	Antecedentes	2
1.2.	Delimitación	4
1.3.	Formulación del problema	4
1.4.	Objetivos	6
1.4.1.	<i>Objetivo General</i>	6
1.4.2.	<i>Objetivos Específicos</i>	6

CAPÍTULO II

2.	REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	7
2.1.	Procesos de manufactura.....	7
2.1.1.	<i>Procesos por arranque de viruta</i>	7
2.1.1.1.	<i>Proceso de mecanizado</i>	8
2.1.1.2.	<i>Torneado</i>	9
2.1.1.3.	<i>Fresado</i>	11
2.2.	Materiales.....	13

2.2.1.	<i>Aleaciones de hierro</i>	13
2.2.1.1.	<i>Designación de los aceros</i>	14
2.3.	Endurecimiento superficial del acero	15
2.3.1.	Tratamientos térmicos	16
2.3.1.1.	<i>Temple</i>	16
2.3.1.2.	<i>Revenido</i>	17
2.3.1.3.	<i>Normalizado</i>	18
2.3.1.4.	<i>Recocido</i>	18
2.3.2.	Tratamiento termoquímico	19
2.3.2.1.	<i>Cementación o carburización</i>	19
2.3.2.2.	<i>Nitruración</i>	21
2.4.	Selección de materiales	21
2.4.1.	<i>Método tradicional</i>	22
2.4.2.	<i>Método gráfico</i>	22
2.4.3.	<i>Método con ayuda de bases de datos</i>	22
2.5.	Normativa	23
2.5.1.	<i>Preparación metalográfica</i>	23
2.5.2.	<i>Ataque químico</i>	25
2.5.3.	<i>Evaluación de dureza Rockwell</i>	26
2.6.	Engranajes	27
2.6.1.	<i>Tipos de engranajes</i>	27
2.6.2.	<i>Fallos en engranajes</i>	28
2.6.2.1.	<i>Desgaste</i>	29
2.7.	Evaluaciones visuales	30
2.7.1.	<i>Indicadores del desgaste</i>	31

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	32
3.1.	Metodología de selección de materiales	32

3.1.1.	<i>Método tradicional y por bases de datos</i>	32
3.1.1.1.	<i>Algoritmo de selección por el método tradicional</i>	32
3.1.2.	<i>Método gráfico</i>	33
3.2.	Metodología para la evaluación del material base.	33
3.2.1.	<i>Evaluación microestructural del material base</i>	33
3.2.1.1.	<i>Muestra para análisis microestructural</i>	33
3.2.1.2.	<i>Preparación para análisis metalográfico</i>	34
3.2.1.3.	<i>Ataque químico</i>	35
3.2.1.4.	<i>Extracción de fotomicrografías y análisis</i>	36
3.2.2.	<i>Evaluación de dureza del material base.</i>	36
3.2.2.1.	<i>Preparación para análisis de dureza</i>	36
3.2.2.2.	<i>Selección de parámetros de dureza</i>	36
3.2.2.3.	<i>Mediciones de dureza y análisis</i>	36
3.3.	Metodología de definición de parámetros constructivos	38
3.3.1.	<i>Parámetros de diseño</i>	38
3.3.2.	<i>Dimensiones de los elementos</i>	39
3.3.3.	<i>Tolerancias dimensionales y geométricas</i>	40
3.3.4.	<i>Procesos de mecanizado</i>	40
3.3.5.	<i>Procesos de tratamiento térmico</i>	41
3.3.6.	<i>Desarrollo de planos de detalle y hojas de procesos</i>	41
3.4.	Metodología para el desarrollo de ensayos a desgaste	42
3.4.1.	<i>Análisis de transmisión</i>	45
3.4.1.1.	<i>Primera etapa - Potencia de entrada y salida del motor</i>	45
3.4.1.2.	<i>Segunda etapa – Potencia transmitida por la banda.</i>	47
3.4.1.3.	<i>Tercera etapa - Carga asignada por fricción en el sistema de frenado</i>	47
3.4.2.	<i>Cargas sobre engranajes</i>	48
3.5.	Metodología para la aplicación de inspección visual	50
3.5.1.	<i>Método visual</i>	50
3.5.2.	<i>Método lineal</i>	50

3.5.2.1.	<i>Recolección de datos</i>	50
3.5.2.2.	<i>Procesamiento de datos</i>	52
3.5.3.	<i>Método gravimétrico y volumétrico</i>	57
3.5.3.1.	<i>Toma de mediciones</i>	58
3.5.3.2.	<i>Procesamiento de datos</i>	58
3.5.3.3.	<i>Análisis y resultados</i>	59
3.6.	Metodología para la evaluación final del material	59
3.6.1.	<i>Evaluación de dureza</i>	60
3.6.1.1.	<i>Preparación de muestras</i>	60
3.6.1.2.	<i>Selección de parámetros de dureza</i>	63
3.6.1.3.	<i>Medición de dureza y análisis</i>	63
3.6.2.	<i>Evaluación microestructural</i>	65
3.6.2.1.	<i>Ataque químico</i>	65
3.6.2.2.	<i>Observación y obtención de fotomicrografías</i>	65
3.7.	Metodología para el análisis de costos	65
3.7.1.	<i>Costos directos</i>	65
3.7.2.	<i>Costos indirectos</i>	66
3.7.3.	<i>Costos totales</i>	66

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTREPRETACIÓN DE RESULTADOS	67
4.1.	Resultados de la selección de materiales	67
4.1.1.	<i>Resultados del método tradicional y por bases de datos</i>	67
4.1.1.1.	<i>Desarrollo del algoritmo de selección por el método tradicional</i>	67
4.1.2.	<i>Resultados del método gráfico</i>	70
4.2.	Resultados de la evaluación del material base	71
4.2.1.	<i>Resultado de la evaluación microestructural</i>	71
4.2.1.1.	<i>Muestra para análisis microestructural</i>	71
4.2.1.2.	<i>Preparación para análisis metalográfico</i>	72

4.2.1.3.	<i>Ataque químico.....</i>	73
4.2.1.4.	<i>Extracción de fotomicrografías.....</i>	74
4.2.2.	<i>Resultados de la evaluación de dureza.....</i>	75
4.2.2.1.	<i>Preparación para el análisis de dureza.....</i>	75
4.2.2.2.	<i>Selección de parámetros de dureza.....</i>	75
4.2.2.3.	<i>Medición de dureza y análisis.....</i>	75
4.3.	<i>Resultados de definición de parámetros constructivos.....</i>	76
4.3.1.	<i>Parámetros de diseño.....</i>	76
4.3.2.	<i>Dimensiones de los elementos.....</i>	77
4.3.3.	<i>Tolerancias dimensionales y geométricas.....</i>	78
4.3.4.	<i>Proceso de mecanizado.....</i>	79
4.3.4.1.	<i>Definición de parámetros iniciales.....</i>	79
4.3.4.2.	<i>División del proceso de mecanizado.....</i>	79
4.3.4.3.	<i>Selección de parámetros de corte.....</i>	81
4.3.4.4.	<i>Cálculo de parámetros dependientes.....</i>	84
4.3.4.5.	<i>Asignación de tiempos.....</i>	87
4.3.5.	<i>Proceso de tratamiento térmico.....</i>	87
4.3.6.	<i>Desarrollo de planos de detalle y hojas de procesos.....</i>	90
4.4.	<i>Resultados del desarrollo de ensayos a desgaste.....</i>	90
4.4.1.	<i>Análisis de transmisión.....</i>	92
4.4.1.1.	<i>Primera etapa - Potencia de entrada y salida del motor.....</i>	92
4.4.1.2.	<i>Segunda etapa – Potencia transmitida por la banda.....</i>	93
4.4.1.3.	<i>Tercera etapa - Carga asignada por fricción en el sistema de frenado.....</i>	94
4.4.2.	<i>Cargas sobre engranajes.....</i>	94
4.5.	<i>Resultados de la aplicación de la inspección visual.....</i>	95
4.5.1.	<i>Resultados del método de inspección visual.....</i>	95
4.5.2.	<i>Resultados del método lineal.....</i>	96
4.5.2.1.	<i>Recolección de datos.....</i>	96
4.5.2.2.	<i>Procesamiento de datos.....</i>	100

4.5.2.3.	<i>Interpretación del método lineal.</i>	118
4.5.3.	Resultados del método gravimétrico y volumétrico.	120
4.5.3.1.	<i>Toma de mediciones</i>	120
4.5.3.2.	<i>Procesamiento de datos.</i>	121
4.5.3.3.	<i>Análisis y resultados.</i>	125
4.6.	Resultados de la Evaluación final del material.	126
4.6.1.	Resultados de la evaluación de dureza	126
4.6.1.1.	<i>Preparación de las muestras.</i>	126
4.6.1.2.	<i>Selección de parámetros de dureza.</i>	126
4.6.1.3.	<i>Medición de dureza y análisis.</i>	127
4.6.2.	Resultados de la evaluación microestructural.	130
4.6.2.1.	<i>Ataque químico.</i>	130
4.6.2.2.	<i>Observación y obtención de fotomicrografías</i>	130
4.7.	Resultado del análisis de costos	133
4.7.1.	<i>Costos directos</i>	133
4.7.2.	<i>Costos indirectos.</i>	138
4.7.3.	<i>Costos totales</i>	138
CONCLUSIONES.		139
RECOMENDACIONES.		141
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Factores de velocidad de corte de operación	10
Tabla 2-2: Clasificación y designación de los aceros.	14
Tabla 3-2: Selección de parámetros de ensayo.	26
Tabla 1-3: Orientación de desbaste de las muestras.....	34
Tabla 2-3: Mediciones de dureza.	37
Tabla 3-3: Dimensiones de los elementos.....	39
Tabla 4-3: Procedimiento de tratamiento superficial.	41
Tabla 5-3: Parámetros de control.	42
Tabla 6-3: Parámetros de trabajo.	43
Tabla 7-3: Resumen de datos	45
Tabla 8-3: Datos de cresta y ancho de diente de la corona	52
Tabla 9-3: Datos de cresta y ancho de hélice del tornillo sin fin.	52
Tabla 10-3: Datos promedio y de desgaste lineal de la corona	53
Tabla 11-3: Cálculos preliminares del histograma.....	54
Tabla 12-3: Datos del histograma	55
Tabla 13- 3: Datos de la Campana de Gauss.....	56
Tabla 14-3: Datos de daño desgaste lineal del tornillo sin fin.	57
Tabla 15-3: Orientación de desbaste de las muestras.....	62
Tabla 16-3: Diagramas de indentación de los elementos.....	63
Tabla 17-3: Recolección de datos de dureza.....	63
Tabla 1-4: Características de la aplicación.....	67
Tabla 2-4: Propiedades físicas de material.....	68
Tabla 3-4: Materiales y aplicaciones semejantes	68
Tabla 4-4: Material de las parejas de engranajes.	70
Tabla 5-4: Muestras del material base.	72
Tabla 6-4: Superficie especular de las muestras.	72
Tabla 7-4: Selección del revelador microestructural.....	73
Tabla 8-4: Superficie atacada de las muestras.	73
Tabla 9-4: Parámetros de escala Rockwell C.....	75
Tabla 10-4: Resultado de mediciones de dureza.	76
Tabla 11-4: Parámetros de diseño	77
Tabla 12-4: Dimensiones de los elementos.....	77
Tabla 13-4: Designación de tolerancias dimensionales y geométricas.	78
Tabla 14-4: Parámetros de partida.	79

Tabla 15-4: Selección para el refrentado de la corona.	82
Tabla 16-4: Selección de parámetros de corte (Corona).....	83
Tabla 17-4: Selección de parámetros de corte (Tornillo sin fin)9.....	84
Tabla 18-4: Cálculo de parámetros de corte dependientes (Corona).	85
Tabla 19-4: Cálculo de parámetros de corte dependientes (Tornillo sin fin).....	86
Tabla 20-4: Datos descriptivos del proceso de tratamientos superficiales.....	88
Tabla 21-4: Gráficas del proceso de tratamientos térmicos.	89
Tabla 22-4: Detalles del proceso constructivo de los elementos.....	90
Tabla 23-4: Resumen de datos de ensayos a desgaste	91
Tabla 24-4: Calculo de potencias del sistema.	93
Tabla 25-4: Evaluación del modo de fallo.	96
Tabla 26-4: Datos de la cresta y del ancho de diente.	97
Tabla 27-4: Datos de cresta y ancho de diente (continuación).....	98
Tabla 28-4: Datos de cresta y ancho de hélice del tornillo sin fin.	99
Tabla 29-4: Cálculos promedio y de desgaste lineal de las coronas.	101
Tabla 30-4: Cálculos promedio y de desgaste lineal de las coronas(continuación).....	102
Tabla 31-4: Líneas de tendencia de desgaste.	103
Tabla 32-4: Cálculos preliminares de histogramas de coronas.	104
Tabla 33-4: Datos del histograma.	105
Tabla 34-4: Histogramas de coronas.....	106
Tabla 35-4: Datos de las campanas de Gauss para las coronas.....	108
Tabla 36-4: Campanas de Gauss de las coronas.	109
Tabla 37-4: Datos de daño y de desgaste lineal de los tornillos sin fin.	111
Tabla 38-4: Líneas de tendencia de desgaste de los tornillos sin fin.	112
Tabla 39-4: Cálculos preliminares de los histogramas de los tornillos sin fin.....	113
Tabla 40-4: Datos de los histogramas de los tornillos sin fin.	114
Tabla 41-4: Histogramas de los tornillos sin fin.	115
Tabla 42-4: Datos de los tornillos sin fin.	116
Tabla 43-4: Campanas de Gauss de los tornillos sin fin.	117
Tabla 44-4: Propiedades calculadas de las coronas.	122
Tabla 45-4: Propiedades calculadas de los tornillos sin fin.	123
Tabla 46-4: Valores de masa perdida.....	124
Tabla 47-4: Valores de volumen perdido.....	125
Tabla 48-4: Valores calculados para la pérdida de volumen.	125
Tabla 49-4: Elementos extraídos.....	126
Tabla 50-4: Recolección de mediciones de dureza para las coronas.	127
Tabla 51-4: Valores de difusión de los elementos	128

Tabla 52-4: Elementos indentados.....	128
Tabla 53-4: Curvas características de los tratamientos superficiales.....	129
Tabla 54-4: Elementos de análisis bajo el ataque químico.....	130
Tabla 55-4: Microestructuras de coronas.....	131
Tabla 56-4: Microestructuras de tornillos sin fin.....	132
Tabla 57-4: Costos de material.....	133
Tabla 58-4: Costos de mecanizado de elementos.....	134
Tabla 59-4: Mecanizado de probetas de material base.....	135
Tabla 60-4: Extracción de probetas de elementos.....	136
Tabla 61-4: Costos de tratamiento térmico.....	136
Tabla 62-4: Costos directos.....	137
Tabla 63-4: Costos indirectos.....	138
Tabla 64-4: Costos totales.....	138

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2: Clasificación de procesos por arranque de viruta	7
Ilustración 2-2: Procedimiento para mecanizar un elemento	8
Ilustración 3-2: Tipos de operaciones de torneado.....	9
Ilustración 4-2: Diagrama Hierro - Carbono	13
Ilustración 5-2: Clasificación de las aleaciones de Hierro y carbono.....	14
Ilustración 6-2: Procedimientos para endurecimiento superficial del acero.....	15
Ilustración 7-2: Características de temple.	17
Ilustración 8-2: Características del recocido	17
Ilustración 9-2: Características del recocido.	18
Ilustración 10-2: Características de los medios de cementación.	20
Ilustración 11-2: Tipos de nitruración.	21
Ilustración 12-2: Métodos para la selección de materiales.....	21
Ilustración 13-2: Resumen de ASTM E3.	24
Ilustración 14-2: Método de localización metalográfica.	25
Ilustración 15-2: Tipos de engranajes.....	27
Ilustración 16-2: Tipos de fallo en engranajes.....	28
Ilustración 17-2: Fallos en engranajes.	30
Ilustración 1-3: Algoritmo de selección por el método tradicional.	32
Ilustración 2-3: Dimensiones de las probetas.	34
Ilustración 3-3: Pulido de la probeta.	35
Ilustración 4-3: Esquema de indentaciones.	37
Ilustración 5-3: Parámetros de diseño requeridos.....	38
Ilustración 6-3: Pasos para la asignación de tolerancias.....	40
Ilustración 7-3: Algoritmo de selección de parámetros de corte.	40
Ilustración 8-3: Puntos de medición de la corona.....	51
Ilustración 9-3: Puntos de medición del tornillo sin fin	51
Ilustración 10-3: Preparación de probetas de corona.....	60
Ilustración 11-3: Preparación de probetas de tornillo sin fin.....	61
Ilustración 12-3: Coeficientes de difusión superficial.	64
Ilustración 1-4: Selección por el método gráfico.....	71
Ilustración 2-4: Fotomicrografías del AISI 4340 y del AISI 7210.....	74
Ilustración 3-4: Jerarquía de operaciones de mecanizado para la corona.....	80
Ilustración 4-4: Jerarquía de operaciones de mecanizado para el tornillo sin fin.....	80
Ilustración 5-4: Capacidades del torno para mecanizado de los elementos.....	86

Ilustración 12-4: Mediciones de los métodos gravimétrico y volumétrico.	121
---	-----

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2: Velocidad angular del mandril del torno	10
Ecuación 2-2: Tiempo de corte del torno	10
Ecuación 3-2: Profundidad de pasada	10
Ecuación 4-2: Número de pasadas radiales	11
Ecuación 5-2: Número de pasadas axiales	11
Ecuación 6-2: Velocidad angular de la fresa	12
Ecuación 7-2: Tiempo de corte de la fresadora	12
Ecuación 8-2: Longitud recorrida por la fresa	12
Ecuación 9-2: Avance de la fresa	12
Ecuación 1-3: Dureza promedio	37
Ecuación 2-3: Temperatura promedio del motor	44
Ecuación 3-3: Temperatura promedio de la caja	44
Ecuación 4-3: Voltaje RMS promedio	44
Ecuación 5-3: Corriente RMS promedio	45
Ecuación 6-3: Carga promedio	45
Ecuación 7-3: Potencia eléctrica	46
Ecuación 8-3: Potencia mecánica	46
Ecuación 9-3: Eficiencia nominal del motor	46
Ecuación 10-3: Potencia eléctrica de mediciones RMS	46
Ecuación 11-3: Potencia mecánica calculada	46
Ecuación 12-3: Potencia de la banda	47
Ecuación 13-3: Presión de carga de frenado	47
Ecuación 14-3: Fuerza de carga de frenado	47
Ecuación 15-3: Presión de carga de frenado [psi]	47
Ecuación 16-3: Área del cilindro de frenado	48
Ecuación 17-3: Fuerza de fricción de frenado	48
Ecuación 18-3: Torque de frenado	48
Ecuación 19-3: Carga tangencial de la corona	49
Ecuación 20-3: Carga normal del par	49
Ecuación 21-3: Carga axial del tornillo	49
Ecuación 22-3: Carga a transmitir por el tornillo	49
Ecuación 23-3: Carga axial de la corona	49
Ecuación 24-3: Medición de la cresta promedio	52
Ecuación 25-3: Desgaste de la cresta	53

Ecuación 26-3: Medición del ancho de diente promedio	53
Ecuación 27-3: Desgaste del ancho de diente	53
Ecuación 28-3: Rango de datos.....	54
Ecuación 29-3: Número de intervalos de clase	54
Ecuación 30-3: Valor medio del intervalo k	55
Ecuación 31-3: Media de la cresta	55
Ecuación 32-3: Desviación estandar de los datos de desgaste	55
Ecuación 33-3: Función Gaussiana	56
Ecuación 34-3: Valor máximo de la campana de Gauss.....	56
Ecuación 35-3: Desgaste de la cresta de la hélice.....	57
Ecuación 36-3: Desgaste del ancho de hélice	57
Ecuación 37-3: Masa perdida.....	58
Ecuación 38-3: Porcentaje de masa perdida.....	58
Ecuación 39-3: Volumen perdido	58
Ecuación 40-3: Porcentaje de pérdida de volumen	59
Ecuación 41-3: Volumen de pérdida calculado.....	59
Ecuación 42-3: Volumen final calculado	59
Ecuación 43-3: Difusión	64
Ecuación 44-3: Penetración de elementos de difusión.....	64

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** VELOCIDADES DE CORTE PARA TORNO
- ANEXO B:** VELOCIDADES DE CORTE PARA FRESADORA
- ANEXO C:** VELOCIDADES DE CORTE PARA BROCAS
- ANEXO D:** REACTIVOS PARA ATÁQUE QUÍMICO
- ANEXO E:** SELECCIÓN DE MATERIALES POR EL MÉTODO GRÁFICO.
- ANEXO F:** CATÁLOGO DE MATERIALES AISI 4340- MGACEROS
- ANEXO G:** CATÁLOGO DE MATERIALES AISI 7210 - MGACEROS
- ANEXO H:** EVALUACIÓN MICROESTRUCTURAL DEL MATERIAL BASE.
- ANEXO I:** EVALUACIÓN DE DUREZA DEL MATERIAL BASE.
- ANEXO J:** SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS.
- ANEXO K:** PLANOS DE DETALLE
- ANEXO L:** HOJAS DE PROCESOS DE MECANIZADO
- ANEXO M:** PROCESO DE MONTAJE DEL BANCO DE ENGRANAJES.
- ANEXO N:** PRÁCTICAS DE RUTINA DE ENSAYOS.
- ANEXO O:** DESARROLLO DE ENSAYOS A DESGASTE
- ANEXO P:** DATOS DE CONTROL DE ENSAYOS A DESGASTE (PAREJA 1).
- ANEXO Q:** DATOS DE CONTROL DE ENSAYOS A DESGASTE (PAREJA 2).
- ANEXO R:** DATOS DE CONTROL DE ENSAYOS A DESGASTE (PAREJA 3).
- ANEXO S:** INSPECCIÓN VISUAL
- ANEXO T:** EVALUACIÓN DE DUREZA
- ANEXO U:** EVALUACIÓN MICROESTRUCTURAL
- ANEXO V:** COSTOS

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto técnico fue estudiar el efecto a desgaste de los materiales usados en los engranajes de un motorreductor por medio de la inspección visual para hallar la combinación de corona y tornillo sin fin con mejores prestaciones ante el fenómeno. Se realizó la selección de los materiales haciendo referencia al método tradicional y gráfico con los que fue posible la definición de los materiales, posteriormente se evaluó la dureza y la microestructura del material comercialmente distribuido previo a la construcción de los elementos. Una vez culminada la etapa de evaluaciones del material base, siguió el proceso constructivo donde se desarrolló la recolección de datos y parámetros de diseño bajo los cuales se determinaría las relaciones geométricas importantes de los elementos culminando en la obtención de planos de detalle, hojas de procesos y la construcción de los engranajes como tal. Además, se realizaron evaluaciones externas para la comprobación de un aumento en la dureza superficial posterior a la aplicación de tratamientos térmicos. Los elementos finalmente fueron montados en el banco de pruebas para ser sometidos a cargas extremas con las que se logra un daño acelerado superficial, se aplicaron métodos de inspección visual donde se pretendió la caracterización del fenómeno de desgaste de los elementos reconociendo el modo de fallo y aplicando los métodos lineal, gravimétrico y volumétrico. El trabajo finalizó en la extracción de probetas para el análisis de la profundidad del tratamiento térmico. Se concluye que, entre los aceros tratados térmicamente para fines de obtención de resultados, los de mejor comportamiento serían los aportados superficialmente con un proceso de carbonitruración. Se recomienda desarrollar aportes y análisis de elementos con materiales diferentes al acero u elementos combinados, trabajar con la selección de lubricantes y realizar proyecciones de durabilidad de los elementos.

Palabras clave: <ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL> <ENGRANAJES>
<MOTORREDUCTOR> <TRATAMIENTO TÉRMICO> <BANCO DE PRUEBAS>.

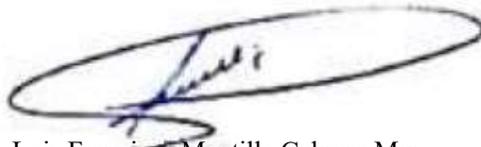
0029-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

The objective of this technical project was to study the effect on wear of the materials used in the gears of a geared motor through visual inspection to find the combination of crown and worm with the best performance against the phenomenon. The selection of the materials was carried out referring to the traditional and graphic method with which it was possible to define the materials, later the hardness and microstructure of the commercially distributed material were evaluated prior to the construction of the elements. Once the evaluation stage of the base material was completed, the construction process continued where data collection and design parameters were developed under which the important geometric relationships of the elements would be determined, culminating in obtaining detail plans, process sheets and the construction of the gears as such. In addition, external evaluations were carried out to verify an increase in surface hardness after the application of heat treatments. The elements were finally assembled on the test bench to be subjected to extreme loads with which accelerated superficial damage is achieved, visual inspection methods were applied where the characterization of the phenomenon of wear of the elements was sought, recognizing the failure mode and applying the linear, gravimetric and volumetric methods. The work ended in the extraction of specimens for the analysis of the depth of the heat treatment. It is concluded that, among the thermally treated steels for the purpose of obtaining results, the ones with the best behavior would be those contributed superficially with a carbonitriding process. It is recommended to develop contributions and analysis of elements with materials other than steel or combined elements, work with the selection of lubricants and make durability projections of the elements.

Keywords: <SURFACE HARDENING>, <GEARS>, <GEARED MOTOR>, <HEAT TREATMENT>, <TEST BENCH>



Lic. Luis Francisco Mantilla Cabrera Mgs.

CI: 0603747809

INTRODUCCIÓN

Generalizando la ingeniería es una rama de estudio amplia y de aplicación multidisciplinaria, esta promueve el desarrollo técnico y científico con miras a la dotación de herramientas aplicativas que faciliten el desempeño humano, dentro de la rama de la mecánica y el estudio ingenieril se busca aportes innovadores dentro del área de diseño, fluidos, térmicas, materiales entre otras.

Los equipos mecánicos de manera directa son una aplicación de ingeniería que facilitan a los usuarios el desarrollo de ciertas actividades lo cual evita el riesgo humano y el empleo innecesario de mano de obra, de este modo los equipos mecánicos tipo motorreductores han tomado gran lugar dentro de la industria local, nacional e internacional lo cual ha involucrado u exigido un rango de competitividad entre las principales marcas desarrolladoras de este tipo de equipos, específicamente dentro de los de corona y tornillo sin fin.

Los elementos mecánicos tipo pares de fricción permiten el estudio del comportamiento a desgaste a los que pueden someterse los materiales al momento de trabajar bajo condiciones extremas lo que pretende y apunta a la predicción de comportamientos de estos ante parámetros conocidos, esto permitirá puntos específicos dentro del ámbito económico, energético, y de materiales. De este modo se podrá trabajar los sistemas a condiciones extremas como el caso particular de un reductor con transmisión de corona y tornillo sin fin.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El desgaste si bien es cierto se ha definido como la degradación de un material el cual al localizarse en elementos de tipo engranaje se presenta como la remoción de material en sus capas externas pertenecientes al elemento mecánico de manera uniforme donde se reduce o deteriora el espesor del diente y ocasiona grandes cambios en la geometría de este, por lo general se presenta de diferente manera por lo que puede ser clasificado como pulimentado, moderado y excesivo, abrasivo, corrosivo, adhesivo. Además, se pueden mostrar los rayados y escoriados de tipo moderado, destructivo y localizado. En general este tipo de daños físicos al elemento suelen aparecer por fricción entre metales y fallos en películas de lubricante, estos a su vez involucra de manera directa costos y durabilidad de los elementos cuyo material ha sido previamente seleccionado para el trabajo bajo las condiciones a las que están sometidos los pares de engranajes (Benitez, 1985).

Mundialmente se evidencia desarrollo de los equipos motorreductores de tipo corona-tornillo sin fin con gran variedad de aplicaciones y opciones al mercado, así se encuentra las marcas potencialmente posicionadas como Bonfiglioli, Weg, Tsubaki, Flender, Hansen, Seisa, entre otras que han podido desarrollar y comercializar sus productos con la ayuda de investigación ligada a la experiencia. En el ámbito investigativo se ubican trabajos como el realizado en Croacia titulado “Determining an allowable wear of worm wheels” donde se han desencadenado pruebas para la determinación del desgaste admisible de un engranaje helicoidal, con este se pretendía hallar el cumplimiento de parámetros de evaluación donde se presentaron condiciones indeseables al evidenciar el desgaste por deslizamiento de los engranajes helicoidales (Paníc, et al., 2017). Por otro lado, el artículo “Material Selection and Heat treatment” realizado en Michigan da un enfoque e introducción a los materiales de selección para manufactura de engranajes, además presenta las propiedades mecánicas de los materiales donde las de importancia serán: resistencia al desgaste, a la corrosión, a la compresión, a la fatiga entre otros parámetros. De este modo se establece una posible dirección ante la selección de los materiales donde lo aconsejable para una durabilidad notable es encaminarse por materiales que permitan endurecimiento superficial, esto gracias a la formación de cerámicos en sus capas externas con fines de evitar desgaste de cualquier tipo, aunque esto no lo convertiría en un elemento de vida infinita (Clemens, 1985). También es importante tomar en cuenta que el desgaste es solo una parte de los fallos que pueden terminar con la vida útil de los engranajes por lo que en el trabajo realizado en California “How to analyze

gear failures” se permite la comparativa visual mediante fotografías e imágenes referentes al tipo de fallos producidos en los engranajes proporcionando características, localización y naturaleza de producción para el reconocimiento de estos, así focalizando a un método práctico (Erichello, et al., 1994).

Una vez dentro del contexto latinoamericano, en Colombia es posible el contraste de información con el desarrollo de la investigación “Las fallas en los engranajes” donde es posible apreciar fenómenos de falla por desgaste, fatiga superficial, flujo plástico, rotura de dientes, y fallas combinadas. Se hace énfasis que los fallos van en función de las condiciones de operación específicamente velocidad y carga, además hay influencia de las características del diseño del engranaje, lubricante y temperatura de operación. En tanto al desgaste se lo caracteriza por condiciones de carga alta y velocidad baja (Benitez, 1985). Así también con el objeto de estudio de materiales en Chile “Boronizado de aleaciones base cobre” se ha pretendido demostrar como los tratamientos térmicos en aleaciones de base cobre como bronce y latones pueden mejorar sus propiedades a desgaste mediante la generación de una capa de mayor dureza superficial, elevado punto de fusión y bajo coeficiente de rozamiento presentando una ventaja al desgaste superficial (Ponce, et al., 2004). En otros estudios realizados entre las universidades de San Carlos de Guatemala y Concepción en Chile, se caracteriza las estructuras cristalinas obtenidas durante el proceso de cementación en aceros DIN 16CrNi4 y DIN 16MnCr5, el estudio pretendió relacionar dureza y tenacidad resultante dentro de aplicaciones a engranajes rectos, lo cual muestra una incidencia en la aplicación de materiales endurecibles superficialmente bajo tratamiento térmico y formación de una capa cerámica de mayor dureza donde por lo general los aceros de enfoque son pertenecientes o equivalentes a aceros al níquel-cromo serie 3XXX (Zacarias, et al., 2015). En tanto en Brasil se ha realizado pruebas dentro de manufactura y mejoramiento de engranajes de tornillo de poliamida como se muestra en la investigación “Polyamide Worn Gear: Manufacturing and performance” donde se presentan análisis por elementos finitos, para posteriormente ser llevados a la práctica con el fin de determinar resistencias al desgaste por abrasión, para el desarrollo fue requerido el uso de materiales poliméricos con y sin tratamiento térmico, y finalmente al momento de llevar a cabo las pruebas resultó que la poliamida que tuvo la aplicación de tratamiento térmico presentó una mayor pérdida de masa, motivo por el que se aduce que el material sin tratamiento térmico puede presentar mejores prestaciones a desgaste (Gasparin, y otros, 2012). Adicional a las revisiones anteriores y en complemento a los fallos en engranajes se provee en el trabajo “Estudio experimental de fallas en engranajes rectos por desalineación, excentricidad y diente roto” otros modos de fallo que si bien no son propiamente desgaste involucran condiciones a las que los elementos trabajan en rangos límite por esfuerzos de contacto (Herrera, et al., 2016).

Una vez dentro de Ecuador, específicamente en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se ha desarrollado el Trabajo Técnico de Integración Curricular “Diseño y construcción de un equipo motorreductor aplicando la metodología QFD” donde se presenta como producto un equipo mecánico de transmisión de potencia tipo corona-tornillo sin fin versátil con una relación de transmisión 1:40, una capacidad de transmisión de 0,5 Hp, y una vida útil de 20000 horas. Un punto clave de la investigación se centra en la búsqueda de un equipo competitivo comercial y operativamente hablando, que se inserte dentro de las opciones de mercado en la zona centro del Ecuador. El equipo desarrollado por los investigadores fue sometido a pruebas donde mediante un sistema de freno se asigna cargas de manera controlada con el fin de llevarlo bajo condiciones extremas y desgaste prematuro en los elementos de transmisión corona-tornillo sin fin construidos en Bronce y acero respectivamente. El trabajo da apertura de este modo y mediante sus innovaciones al desarrollo de otros trabajos de carácter técnico e investigativo con fines de aporte nacional al conocimiento e industria (Aguirre & Hidalgo, 2022).

1.2. Delimitación

El presente trabajo pretende realizar pruebas en el motorreductor diseñado previamente en el trabajo “Diseño y construcción de un equipo motorreductor aplicando la metodología QFD” realizado por Aguirre & Hidalgo (2022 pp. 1-15), diseñado para una potencia de 0,5 Hp y una relación de transmisión 1:40, además se evaluará los nuevos pares de elementos corona- tornillo sin fin bajo condiciones de diseño, operación y lubricante iguales a las pruebas realizadas en el trabajo con la finalidad de obtener una comparativa entre lo ocurrido con los materiales de diseño y con 3 nuevas parejas de materiales que estarían conformadas por aceros para cementación bajo la influencia de diferentes tratamientos térmicos, donde la evaluación de resultados se focalizará en la inspección visual mas no contemplará un análisis de par tribológico. Así con el análisis a desgaste por medio de inspección visual para la obtención del material con mejor comportamiento ante el fenómeno de desgaste.

1.3. Formulación del problema

El desgaste que presentan los materiales en un par corona-tornillo sin fin de un motorreductor ha sido siempre un objeto de estudio, si bien depende de una variedad infinita de factores, pero básicamente esta investigación se enfoca en el desgaste con dependencia a las combinaciones de materiales empleados dentro del par corona-tornillo sin fin. Así destacando los materiales más comunes usados dentro de los elementos de transmisión del motorreductor con interés.

Actualmente el uso de equipos mecánicos permite un desempeño eficiente en el desarrollo de tareas, motivo por el cual se limita el empleo recursos humanos en ciertas actividades. Industrialmente hablando la búsqueda incesante de facilitar a los usuarios el desempeño de sus actividades mediante dispositivos innovadores ha involucrado a la Ingeniería como una fuente potencial para la generación de opciones, por lo que surge la aplicación de los equipos mecánicos para reducción de velocidad y transmisión de potencia. Generalmente no todas las actividades presentan los mismos parámetros de desempeño, por lo que existe una gran cantidad de industria dentro del campo, encontrando la presencia de equipos motorreductores de producción nacional.

En consecuencia, las exigencias de competitividad con el mercado nacional y extranjero buscan la manera más duradera que presenten los elementos de los equipos debido a que ello erradicará en costos de producción. Para llevar a cabo esta propuesta se planteará determinaciones de desgaste por métodos visuales lo cual si bien no son los definitivos para una evaluación final aportan la base y fundamentan el inicio de una investigación a profundidad del tema, que de manera breve permitirán realizar comparativas de desgaste de materiales con el fin de determinar una combinación que presente mayores beneficios para la producción nacional.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Estudiar el efecto a desgaste en los materiales usados para engranajes en un motorreductor por medio de inspección visual para hallar la combinación de corona y tornillo sin fin con mejores prestaciones ante el desgaste.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Seleccionar los materiales y combinaciones adecuadas mediante investigación bibliográfica y software especializado aplicables a los engranajes de un motorreductor en función de sus propiedades mecánicas requeridas.
- Validar las propiedades mecánicas de los materiales previamente seleccionados para las condiciones de operación establecidas mediante evaluaciones microestructurales y de dureza.
- Construir los elementos tipo engranaje y asegurar mediante tratamientos térmicos las propiedades mecánicas requeridas por los elementos a trabajar bajo condiciones de operación establecidas.
- Realizar el protocolo de pruebas y evaluar el tipo de desgaste presente en el par corona y tornillo sin fin.
- Evaluar la cantidad de material removido en los elementos mediante técnicas de inspección visual posterior al desarrollo del protocolo de pruebas.

CAPITULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Procesos de manufactura

Como es de esperarse no todos los elementos se consiguen de la misma manera y al entrar dentro de elementos mecánicos hay una gran cantidad de procesos que se ven involucrados por lo que es importante tomar en cuenta dentro de la rama ingenieril los procesos de manufactura que permitirán dar las características y propiedades geométricas a un elemento. Para esto a continuación se introduce dentro de los procesos por arranque de viruta que son los más comunes a la hora de dar tratamiento geométrico a un elemento de tipo engranaje.

2.1.1. *Procesos por arranque de viruta*

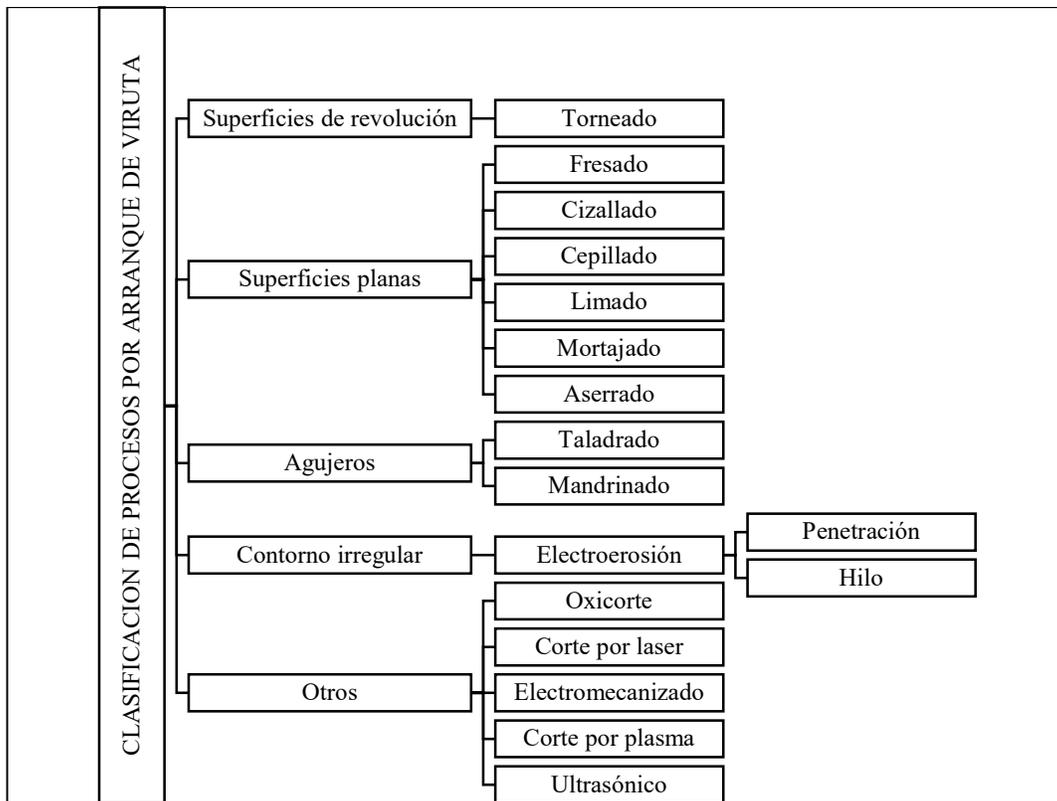


Ilustración 1-2: Clasificación de procesos por arranque de viruta

Fuente: Salueña & Nápoles, 2000, p. 163

Realizado por: Chávez, Carlos, 2022.

En general los elementos mecánicos usados dentro del ámbito ingenieril son obtenidos por diferentes métodos, de este modo y acorde al tipo de producto que se requiere conseguir se selecciona el procedimiento de mecanizado, por lo que en la Ilustración 1-2 se clasificó los procesos por arranque de viruta donde se mostró los procesos de mecanizado pertenecientes a grupos donde se considera el tipo de geometría generada como el caso de superficies de revolución, planas, agujeros, irregulares, y otras. Los procesos mostrados normalmente son los más aplicables. De manera puntual se requiere el análisis de los procesos de mecanizado.

2.1.1.1. Proceso de mecanizado

Al tomar en consideración procesos de mecanizado es importante destacar que se deben cumplir ciertos requerimientos para el desarrollo del mecanizado en cuestión, de este modo se seguirá el proceso establecido en la Ilustración 2-2 con el que se caracteriza un procedimiento para mecanizar un elemento de manera general por arranque de viruta.

Procedimiento post-mecanizado	Revisar los planos de detalle del elemento
	Analizar las operaciones requeridas
	Ordenar las operaciones por importancia
	Considerar el material del elemento
	Seleccionar las herramientas por operación
	Seleccionar la profundidad de pasada
	Seleccionar velocidades de corte
	Seleccionar el avance
	Calcular velocidades de giro
	Calcular tiempos de mecanizado
	Seleccionar el tipo de refrigeración
	Realizar una hoja de procesos
	Mecanizar el elemento

Ilustración 2-2: Procedimiento para mecanizar un elemento

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Al hablar de tiempos de mecanizado, velocidades de giro, avance, velocidades de corte y profundidad de pasada se ingresa en el tema de parámetros tecnológicos por lo que se presentará cada uno de ellos a detalle. Además, se centrará en los principales procesos de mecanizado por arranque de viruta, es decir los más aplicables a elementos mecánicos cilíndricos y engranajes, ya que sería un tanto complicado abordar de manera rápida todos los procesos de manufactura por arranque de viruta.

2.1.1.2. Torneado

El proceso de torneado como ya se mencionó previamente es uno de los procesos más comunes dentro del proceso constructivo de elementos por medio de arranque de virutas haciendo uso de herramientas monofilo donde se permite la obtención de elementos sólidos de revolución y modificación de superficies. La herramienta generalmente se presenta en estado estacionario mientras el elemento rota sobre su eje (PERNÍA, et al., 2018 pp. 17-20).

Tipos de torneado.

Básicamente en la Ilustración 3-2 se muestra la clasificación de las operaciones de torneado subdividiendo en 3 grandes grupos, el externo, el interno y el de cara. Las subclases ubicadas se caracterizan por ser las operaciones que se podrían realizar para la obtención de un sólido de revolución.

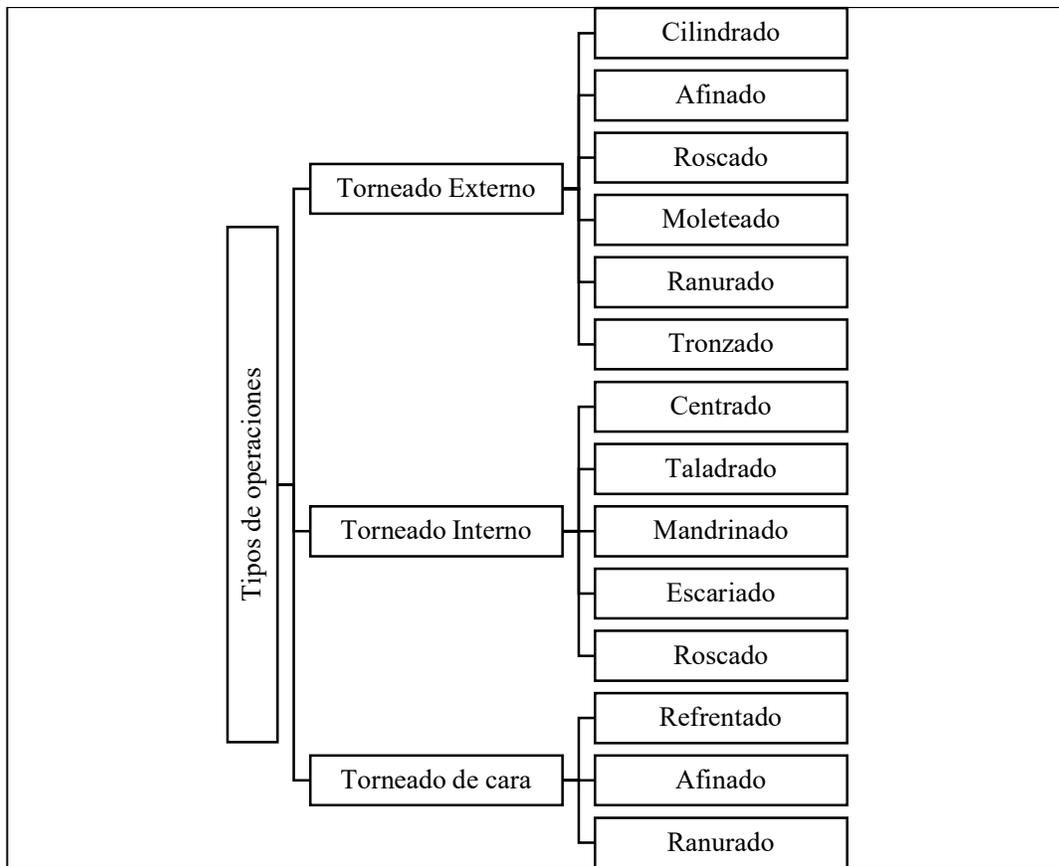


Ilustración 3-2: Tipos de operaciones de torneado.

Fuente: Arias, Y, et al., 2020, p. 3

Realizado por: Chávez, Carlos, 2022.

Parámetros tecnológicos del torneado

A fin de la temática analizada, la selección de parámetros tecnológicos de torneado hace uso de tablas establecidas por fabricantes, catálogos o libros con la finalidad de obtener una correcta operación de manufactura. Así se muestran las tablas formuladas por Larburu (1989 pp. 482-484) como las que se muestran en el Anexo A, donde conjuntamente al conocimiento del material de trabajo y sus propiedades se selecciona el tipo de herramienta a usarse, las velocidades de corte, la profundidad de pasada y la velocidad de avance. Debe notarse que las velocidades establecidas por bibliografía son para procesos de afinado por lo que para procesos de otro tipo se verán afectadas por los factores de la Tabla 1-2 donde se muestran los factores que afectarían la velocidad de corte según la operación a realizarse.

Tabla 1-2: Factores de velocidad de corte de operación

Factor	Operación
0,7	Desbastado
0,3	Taladrado
0,1 a 0,4	Roscado
0,6	Tronzado
0,6	Mandrinado
0,6	Ranurado

Fuente: Larburu, 1989, p. 482

Realizado por: Chávez, Carlos, 2022.

Una vez con los valores seleccionados para velocidad de corte, factor de velocidad y con conocimiento de los parámetros característicos de la operación se procede con la aplicación de las fórmulas para velocidad angular del mandril, tiempo de mecanizado, profundidad de pasadas, número de pasadas axiales y número de pasadas radiales definidas en la Ecuación 1-2, Ecuación 2-2, Ecuación 3-2, Ecuación 4-2 y Ecuación 5-2 respectivamente.

$$n = \frac{1000 * v}{d * \pi} \quad \text{Ecuación 1-2}$$

$$T_c = \frac{l * \pi * d * N}{s * 1000 * v} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

$$P_p = 5 * s \quad \text{Ecuación 3-2}$$

$$\#_p = \frac{D_0 - D_f}{p_p} \quad \text{Ecuación 4-2}$$

$$\#_p = \frac{L_0 - L_f}{p_p} \quad \text{Ecuación 5-2}$$

Donde:

n : Velocidad del husillo [RPM]

v : Velocidad de corte [m/min]

d : Diámetro de acabado [mm]

T_c : Tiempo de corte [min]

l : Longitud a torneear [mm]

N : Número de pasadas

s : Avance [mm/rev]

p_p : Profundidad de corte [mm]

$\#_p$: Número de paradas

D_0 : Diámetro inicial [mm]

D_f : Diámetro final [mm]

L_0 : Longitud inicial [mm]

L_f : Longitud final [mm]

En la ecuación 5-2 se muestra una ligera variación de la Ecuación 4-2 donde se reemplazarán los diámetros inicial y final por longitudes inicial y final respectivamente. Su variación es en el eje de aplicación de manera axial o radial de acuerdo con la aplicación.

2.1.1.3. Fresado

De acuerdo con PERNÍA, et al. (2018 p. 17), el fresado a diferencia del torneado permite el arranque de virutas del elemento por medio del movimiento circular de una herramienta sobre su propio eje con múltiples filos y los movimientos de avance lo realiza el elemento mecanizado.

Parámetros tecnológicos del fresado

De igual manera que en operaciones de torneado, el fresado como tal requiere de la selección de parámetros de corte por lo que se hace uso y referencia a los datos proporcionados por fabricantes, catálogos o libros que doten de información útil para el correcto uso de herramientas y maquinas

herramientas de corte. Las tablas dotadas por autores se muestran como las descritas por el autor Larbúru (1989 pp. 489-490) en el Anexo B, donde con la ayuda del material de trabajo y su dureza nominal se seleccionan el tipo de herramientas de corte, las velocidades de corte, la profundidad de pasada y el desplazamiento de la mesa. Una vez con los valores seleccionados se procede con la aplicación de las fórmulas para el cálculo de la velocidad angular de la herramienta y del tiempo de corte de fresadora definidas en la Ecuación 6-2 y Ecuación 7-2 respectivamente.

$$n = \frac{1000 * v}{d_f * \pi} \quad \text{Ecuación 6-2}$$

$$T_c = \frac{\pi * d_f * L * N}{v * s' * 1000} \quad \text{Ecuación 7-2}$$

$$L = l + m \quad \text{Ecuación 8-2}$$

$$s' = \frac{S}{n} \quad \text{Ecuación 9-2}$$

Donde:

n : Velocidad de la herramienta [RPM]

v : Velocidad de corte [m/min]

d_f : Diámetro de la fresa [mm]

T_c : Tiempo de corte [min]

L : Longitud total recorrida por la fresa [mm]

N : Número de pasadas

s' : Avance de la fresa [mm/rev]

l : Longitud de fresado [mm]

m : Espacio muerto recorrido por la fresa [mm]

S : Avance de la mesa [mm/min]

Adicional se mostraron la Ecuación 8-2 y Ecuación 9-2 usadas para el cálculo de la longitud recorrida por la fresa y el avance de la fresa. Estas últimas ecuaciones serán de relevancia al momento de proceder al cálculo de tiempo de corte y velocidad angular de la fresa. También es importante notar que las ecuaciones se verán afectadas de manera directa por ciertos detalles que serán propios de las maquinas herramientas o a su vez de las herramientas de corte.

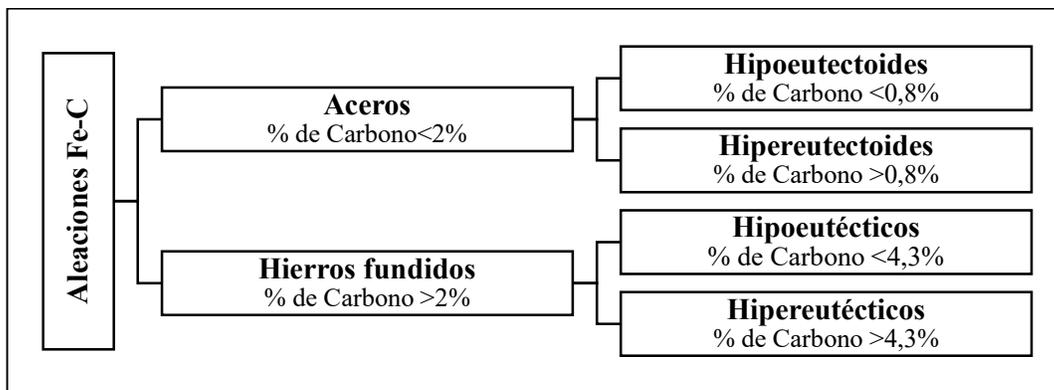


Ilustración 5-2: Clasificación de las aleaciones de Hierro y carbono.

Fuente: Avner, Sydney, 1988.

Realizado por: Chávez, Carlos, 2022.

2.2.1.1. Designación de los aceros

Tabla 2-2: Clasificación y designación de los aceros.

Tipo	AISI	Elementos principales de aleación
Aceros al carbono		
Básico	10XX	Carbono
Libre corte	11XX	Carbono más azufre (Re azufrado)
Aceros aleados		
Manganeso	13XX	1,75% de manganeso
	15XX	1,00 a 1,65% de manganeso
Níquel	23XX	3,5% de níquel
	25XX	5,00% de níquel
Níquel-cromo	31XX	1,25% de níquel y 0,65 o 0,8% cromo
	33XX	3,5% de níquel y 1,55% de cromo
Molibdeno	40XX	0,25% de molibdeno
	44XX	0,40 o 0,52% molibdeno
Cromo-molibdeno	41XX	0,95% de cromo y 0,20% de molibdeno
Níquel-cromo-molibdeno	43XX	1,82% de níquel, 0,50 a 0,80% de cromo y 0,25% de molibdeno
	47XX	1,45% de níquel, 0,45% de cromo y 0,20 a 0,35% de molibdeno
Níquel-molibdeno	46XX	0,82 a 1,82% de níquel y 0,25% de molibdeno
	48XX	3,5% de níquel y 0,25% de molibdeno
Cromo	50XX	0,27 a 0,65% de cromo
	51XX	0,80 a 1,05% de cromo
	52XX	1,45% de cromo
Cromo-Vanadio	61XX	0,6 a 0,95% de cromo y 0,10 a 0,15% de vanadio mínimo

Fuente: Avner, Sydney, 1988.

Realizado por: Chávez, Carlos, 2022.

Como es de relevancia la manera de clasificación y designación de los aceros se presentó la Tabla 2-2 donde se muestran las designaciones AISI para los aceros que bajo el mismo criterio son considerados por el método SAE, estos corresponden al número de serie bajo los cuales se puede conocer el acero en el sistema mencionado, así la tabla ubica a los aceros al carbono y los aceros aleados y se describen el tipo de acero tratado, así como sus componentes principales de aleación. De este modo y por las variaciones que puede mostrar un acero se requerirá del análisis del endurecimiento superficial como un aporte al mejoramiento de las propiedades mecánicas superficiales de la aleación.

2.3. Endurecimiento superficial del acero

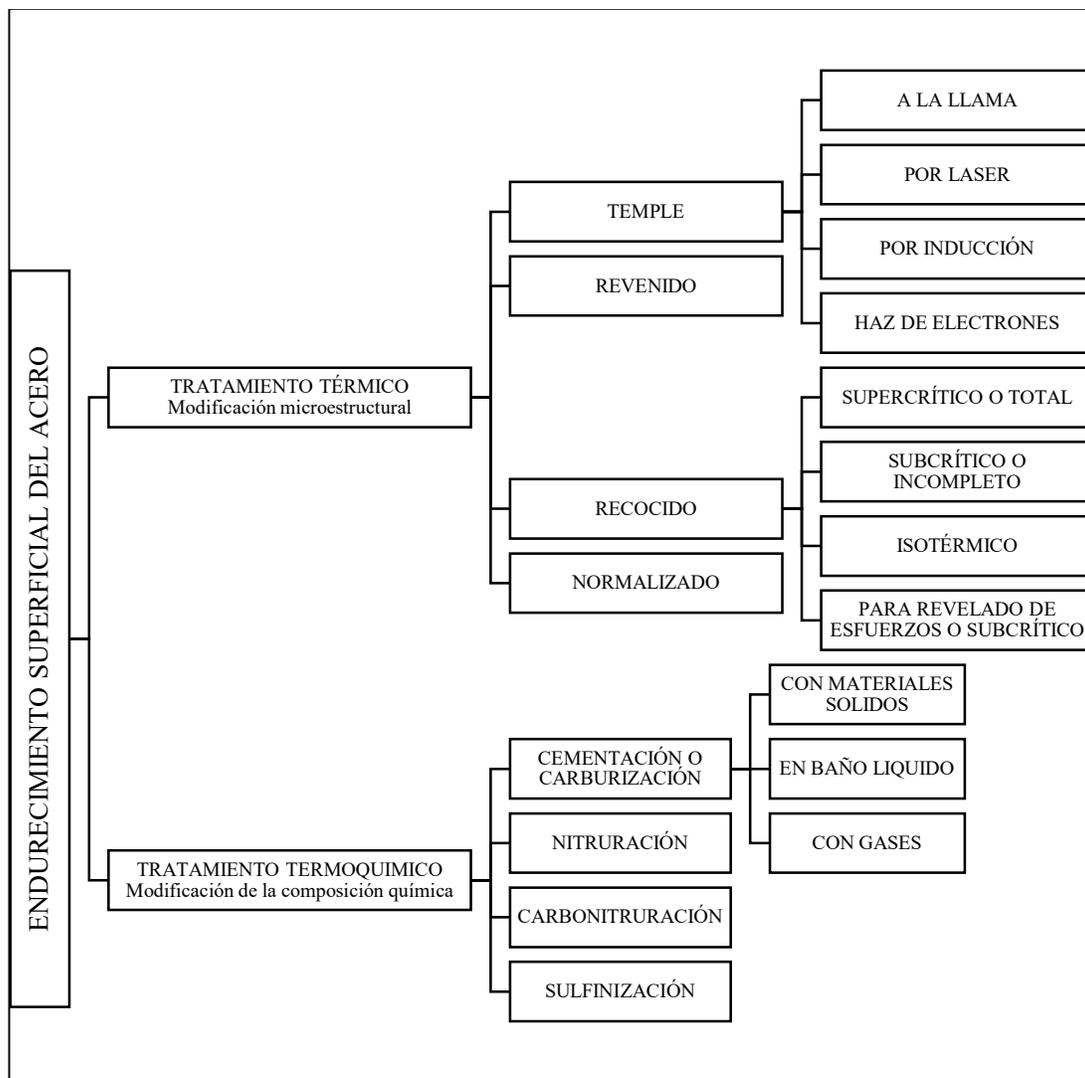


Ilustración 6-2: Procedimientos para endurecimiento superficial del acero

Fuente: Zarate, et. Al, 2016 y Apraiz, 1949.

Realizado por: Chávez, Carlos, 2022.

Los tratamientos de endurecimiento superficiales tienen por objeto el mejoramiento de las propiedades como la resistencia al desgaste y la dureza, conservando la ductilidad y tenacidad del núcleo. Un acero puede obtener un endurecimiento superficial haciendo uso de dos procedimientos, así se mostró en la Ilustración 6-2 la clasificación y división del endurecimiento superficial del acero en dos grandes grupos, el endurecimiento superficial por tratamiento térmico y el endurecimiento superficial termoquímico donde el primero se caracteriza por tener una modificación microestructural superficial y el segundo una modificación química superficial por medio de difusión térmica. Además, el primer grupo ubica las subclases de temple, revenido, recocido y normalizado, y dentro de la segunda se ubican las de cementación (carburización), nitruración, carbonitruración, sulfinización (Zárate, et al., 2016).

2.3.1. Tratamientos térmicos

Como ya se mencionaba previamente se trata de procesos controlados con el objeto de mejorar las propiedades y características de los aceros en la superficie, estos consisten en el desarrollo de procesos de calentamiento y enfriamiento en intervalos de tiempos establecidos además considerando condiciones convenientes. Básicamente la búsqueda enfoca su propósito dentro de la modificación microestructural y para esto es importante la consideración de los factores tiempo y temperatura que serán dependientes del acero, la forma y el tamaño de los elementos con un enfoque a los resultados que se buscan obtener (Apraíz, 1949).

2.3.1.1. Temple

Este tratamiento normalmente se encuentra ligado al aumento de dureza y de propiedades mecánicas. Consiste en un calentamiento hasta la temperatura de austenización que se encontrará en el diagrama Hierro y Carbono como AC3 donde deberá mantenerse el elemento durante un intervalo de tiempo para después mediante un gradiente abrupto de temperatura el cual tendrá una velocidad de enfriamiento mayor a la crítica y se ubicará al elemento en una temperatura por debajo de la temperatura de inicio de formación de martensita (Díaz del Castillo, et al., 2012).

Las características de temple son mostradas en la Ilustración 7-2, donde se aprecian las etapas del tratamiento térmico de temple donde en la Etapa A sucede la vaporización del medio de contacto es decir a la superficie del material se evidencia una película de vapor y la transferencia de calor sucede por conducción y radiación a una velocidad de enfriamiento relativamente lenta, una vez cruzada la transición ya en la etapa B la película de vapor ya no es estable, se presenta una ebullición violenta y la transferencia de calor es rápida como calor latente de vaporización, se caracteriza por tener una mayor velocidad, finalmente en la etapa C una vez pasada la transición

y la temperatura de ebullición el medio se presenta de manera líquida donde la transferencia de calor se da por conducción y convección y la rapidez es la más lenta. Se presenta también dentro de la ilustración los medios bajo los cuales se puede aproximar al medio ideal el templeado de un acero obteniendo una manera rápida de liberación del calor del elemento (Avner, 1988).

CARACTERÍSTICAS DEL TEMPLE	ETAPAS	A: Estado de enfriamiento por medio de una capa de vapor
		B: Enfriamiento por transporte de vapor
		C: Enfriamiento por medio del líquido
	MEDIOS	Salmuera
		Agua del grifo
		Sales fundidas o líquidas
		Aceite soluble y soluciones acuosas
		Aceite
		Aire

Ilustración 7-2: Características de temple.

Fuente: Zarate, et. Al, 2016 y Apraiz, 1949.

Realizado por: Chávez, Carlos, 2022.

2.3.1.2. Revenido

CARACTERÍSTICAS DEL TEMPLE	Objetivos	Eliminación de tensiones	
		Incremento de:	Plasticidad
			Ductilidad
			Tenacidad
		Producción de una microestructura específica	
	Etapas	Calentamiento a la temperatura prevista	
		Mantenimiento o "impregnación térmica"	
		Enfriamiento a temperatura ambiente	
	Eliminación de tensiones	Procesos de deformación plástica (mecanizado y estampación)	
		Enfriamiento no uniforme en piezas conformadas a elevada temperatura	
	Transformación de fase, inducida por enfriamiento en la que la fase madre y la fase producto tienen distinta densidad		

Ilustración 8-2: Características del revenido

Fuente: Callister, William, 2016.

Realizado por: Chávez, Carlos, 2022.

Es importante abordar como parte de los tratamientos térmicos el de revenido que se caracteriza por la exposición de un material a elevadas temperaturas durante un periodo de tiempo y enfriado lentamente. La Ilustración 8-2 fijó las características de este procedimiento, donde se muestra un resumen de los objetivos, etapas, proceso y eliminación de tensiones a las que hace referencia este tipo de tratamiento térmico (Callister, 2016).

2.3.1.3. *Normalizado*

Según Smith (1998 p. 434) el normalizado es un tratamiento caracterizado por el calentamiento de un acero en la región austenítica y enfriamiento en un medio de aire estático y sus objetivos básicamente son:

- Refinamiento de la estructura granular.
- Incremento e resistencia.
- Reducción de secciones estructurales no homogéneas.

2.3.1.4. *Recocido*

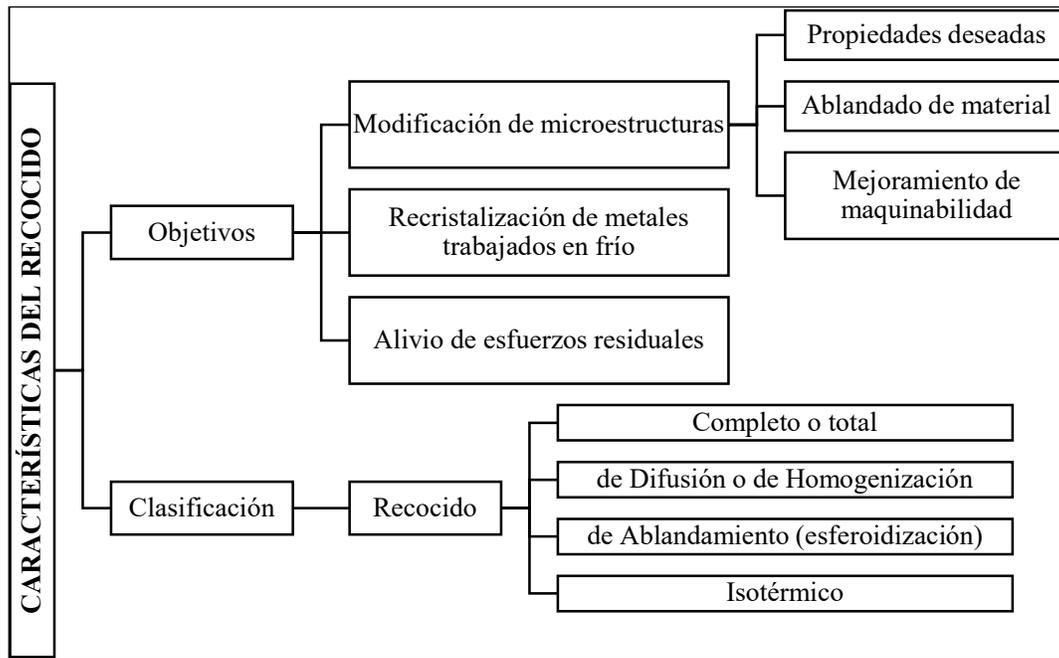


Ilustración 9-2: Características del recocido.

Fuente: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008.

Realizado por: Chávez, Carlos, 2022.

Finalizando la temática de los tratamientos térmicos este se suma al listado y se caracteriza por calentar un material metálico a temperatura elevada durante un intervalo amplio de tiempo, su

objeto es disminuir la densidad de dislocaciones y de esta manera imponer ductilidad (Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008).

La Ilustración 9-2 hace referencia a un breve resumen de las características del recocido, tomando en consideración los objetivos y clasificación. Los objetivos básicamente se enfocan en la modificación de estructuras con el enfoque a propiedades deseadas, ablandamiento del material y el mejoramiento de la maquinabilidad de los elementos, por otro lado se tiene la recristalización para metales trabajados en frío, y el alivio de esfuerzos residuales. Además, se clasifica al recocido como completo o total, como recocido de difusión u homogenización, como recocido de ablandamiento por esferoidización y recocido isotérmico.

2.3.2. Tratamiento termoquímico

Básicamente los tratamientos termoquímicos son aportaciones superficiales y tienen estrecha relación con los procesos de difusión, consisten como se había mencionado con anterioridad en la modificación de la composición química del elemento, de este modo es posible el endurecimiento superficial con la ayuda de una aplicación de tratamiento térmico. De este modo se la difusión realizada en el elemento presentará estrecha relación con la temperatura y el tiempo de aplicación (Ortiz, et al., 2020).

2.3.2.1. Cementación o carburización.

El proceso termoquímico consiste en el aporte superficial de carbono mediante el contacto de productos carburantes, es uno de los principales procesos de difusión donde se permite la modificación de la composición química del acero, pero este aporte deberá ir acompañado de un tratamiento térmico de temple y revenido aportando al elemento una buena tenacidad en el núcleo y una dureza superficial mayor (Federación de enseñanza de CC. OO. de Andalucía, 2011).

En la Ilustración 10-2 se busca el clasificar la cementación en función de los medios bajo los cuales sería posible su desarrollo, para ello se tiene la cementación de tipo sólida, líquida y gaseosa, donde además se describe su manera de aplicación sobre los elementos, de este modo para la primera se tiene bajo cajas con mezcla de cementación, para la siguiente bajo la aplicación de sales fundidas y la tercera bajo el aporte por Hidrocarburos saturados, adicional a ello se debe tener consideraciones, las cuales para el medio sólido serán que los elementos deberán estar totalmente limpios y libres de óxido, así como las cajas soldadas y selladas de la mejor manera. Por otro lado, el medio gaseoso presenta como ventajas la rapidez del proceso, el mejoramiento

de las propiedades del núcleo y la disminución de riesgos a la salud, finalmente el procedimiento se lo enfoca a la producción de elementos en masa.

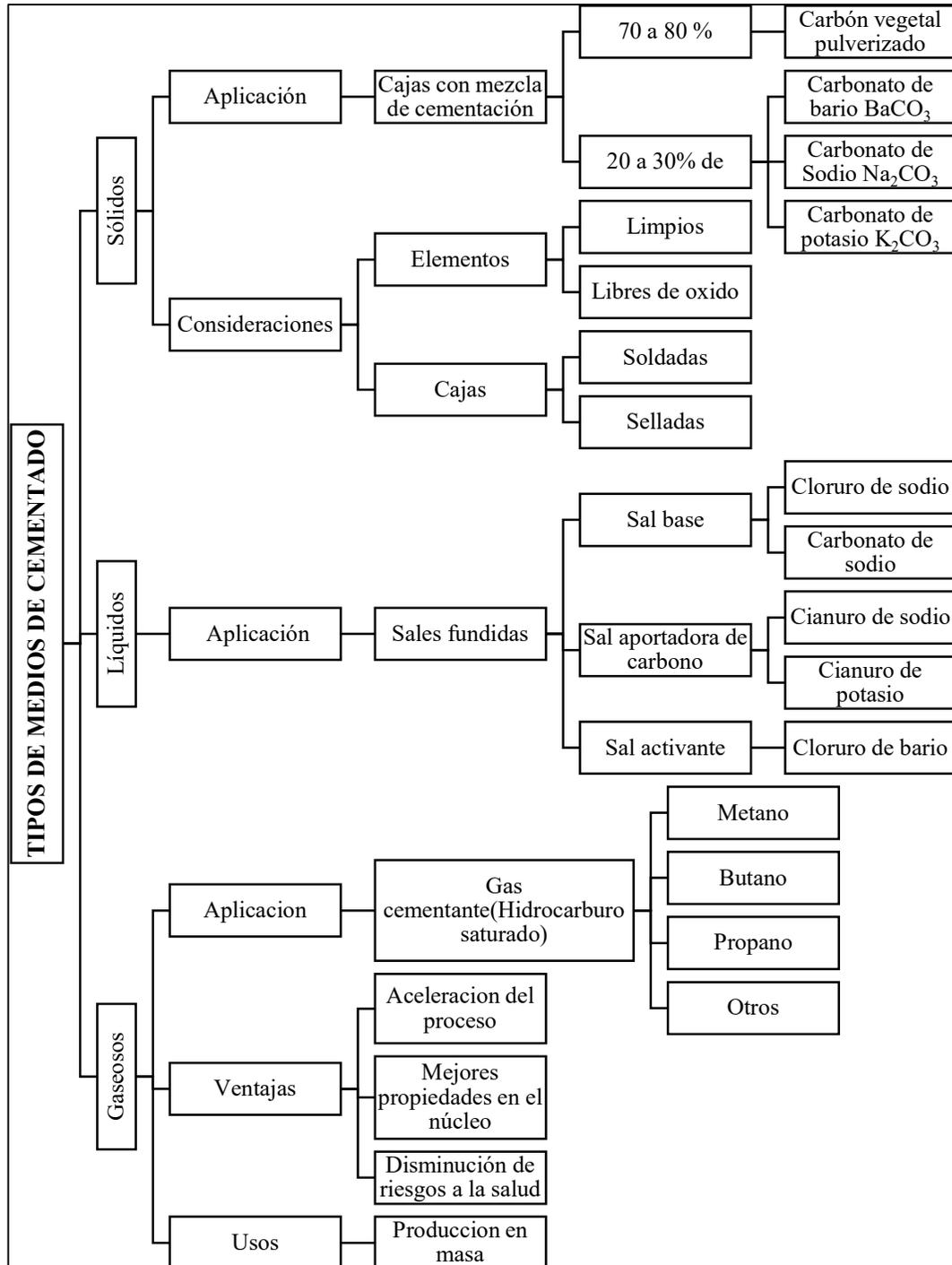


Ilustración 10-2: Características de los medios de cementación.

Fuente: Federación de Enseñanza de CC.OO de Andalucía, 2011.

Realizado por: Chávez, Carlos, 2022.

2.3.2.2. Nitruración

El proceso queda descrito por Molera (1991 pp. 63-64) como un tratamiento superficial de difusión en el que se transforma el hierro o sus elementos superficiales aleantes en nitruros, en una atmósfera nitrurante que muy probablemente se lograría con amoníaco disociado o en un baño de sales, normalmente se presenta ventajas en las propiedades de fricción, oposición a la abrasión, fatiga y corrosión y puede darse por los procedimientos que se muestran en la Ilustración 11-2, clasificándose así los tipos de nitruración según su medio de aplicación, adicional a ello se establece las temperaturas de nitruración, y los elementos nitrurantes.

CARACTERÍSTICAS DE LA NITRURACIÓN	GASEOSA	Temperaturas: 500°C-575°C
		Elemento nitrurante: Amoníaco disociado
	LÍQUIDA	Temperaturas: 500°C-575°C
		Elemento nitrurante: Baño de sales
	SÓLIDA	Temperaturas: 520°C-570°C
		Elemento nitrurante: Pasta
	IÓNICA	Temperaturas: 500°C-575°C
		Elemento nitrurante: Plasma

Ilustración 11-2: Tipos de nitruración.

Fuente: Molera, Pere, 1991.

Realizado por: Chávez, Carlos, 2022.

2.4. Selección de materiales

El proceso de selección de materiales para cualquier elemento mecánico de interés o diseño busca la mejor opción, en el caso particular de engranajes se espera una combinación que permita un comportamiento adecuado entre el par conjuntamente y en cumplimiento de propiedades mecánicas requeridas como: dureza, resistencia a la abrasión o desgaste, tenacidad, resistencia a la compresión, corrosión y fatiga de tal manera que los elementos cumplan las sollicitaciones para las cuales estarán diseñados. Los métodos de selección de materiales se muestran en la Ilustración 12-2, clasificándose en tres grupos el tradicional, el gráfico y por bases de datos.

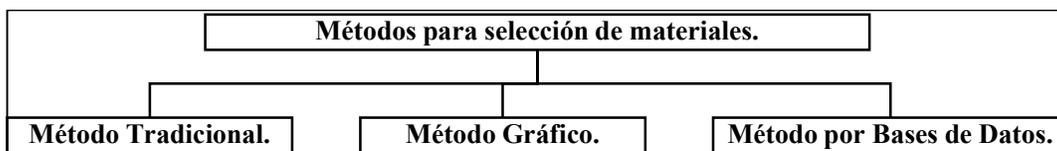


Ilustración 12-2: Métodos para la selección de materiales.

Fuente: Gonzales, Mesa, 2004.

Realizado por: Chávez, Carlos, 2022.

2.4.1. Método tradicional.

Caracterizado por ser un método empírico donde el ingeniero de materiales en base a su experiencia selecciona a su criterio el material a convenir, todo va en función al conocimiento del experto y de la semejanza en aplicaciones que se haya tenido, es decir es un procedimiento de prueba y error donde de acuerdo con el previo uso en partes de funcionamiento parecido y resultados satisfactorios en aplicaciones previas se destina el material de uso. También se denomina “materiales de ingeniería de partes similares” (Smith & Hashemi, 2004). Es posible también que el método este delimitado al mercado de materiales a disposición según la zona por lo que podría estar apoyado en catálogos comerciales de la localidad, a lo que se buscaría un material de aplicación semejante. Este método permite una aproximación rápida para la necesidad.

2.4.2. Método gráfico.

A diferencia del método anterior este proceso tomará su tiempo, de este modo se apoyará en mapas de materiales con objetivo de búsqueda de relaciones que engloben por pares ciertas propiedades de los materiales, fue diseñado exclusivamente para ser utilizado durante la etapa conceptual de la selección de materiales. Como es de esperarse, rara vez el comportamiento de un componente depende sólo de una propiedad por lo que es más acertado buscar coincidencias. Prácticamente el método tiene estrecha relación con los diagramas de Ashby, donde se muestran las propiedades de las diferentes clases de materiales y sus variaciones en amplios intervalos (dependiendo del estado de estos), formando grupos que se ubican en áreas cerradas, zonas o campos en tales diagramas (Askeland, et al., 2011). Normalmente no es un método de aplicación manual por el tiempo de realización de los diagramas y se lo realiza con Software como es el caso de CES Edupack.

2.4.3. Método con ayuda de bases de datos.

Análogo al método tradicional este se lo maneja en Internet que provee una amplia gama de bases de datos sobre materiales, que han sido construidas para comercialización libre o son distribuidas por vendedores de materiales. Estas bases de datos son el resultado de investigaciones en ensayos de materiales. Las bases de datos se dividen básicamente en dos categorías, numéricas y literarias o de referencias bibliográficas. Dentro de estas bases de datos es posible la selección bajo experiencias de fabricantes y recomendaciones de usuarios donde se agiliza la selección de un material (Gonzalez; Mesa; 2004).

2.5. Normativa

2.5.1. Preparación metalográfica

La ASTM (1995 pp. 1-8) enuncia en su normativa para la preparación de especímenes metalográficos el procedimiento estándar para el revelado de constituyentes y estructuras de los metales y sus aleaciones con el uso del microscopio para lo que se resume en la Ilustración 13-2 los puntos de abordaje de la norma ASTM en su apartado E3 más importantes. Estos puntos básicamente se describen a continuación, bajo los cuales se podrá resumir la normativa.

- *Alcance:* hace referencia a los materiales a los que podrá ser aplicada la norma, de manera particular y para el caso se puede tratar con elementos metálicos y con aleaciones metálicas.
- *Selección de especímenes:* Este punto sugiere las secciones que pueden ser extraídas de la muestra con el fin de obtener una correcta evaluación de resultados dependiendo del tipo de trabajo realizado, adicional plantea la Ilustración 14-2 donde se observa el esquema para localización metalográfica.
- *Tamaño de los especímenes:* Hace referencia a las dimensiones sugeridas de los elementos para que sea fácil su manipulación, en caso de ser elementos más pequeños se deberá montarlos u encapsularlos.
- *Corte de especímenes:* Este punto establece 3 métodos de extracción de las probetas por corte con arranque de viruta donde el proceso por aserrado manual es el más adecuado por no alterar la microestructura de los elementos. En tanto al corte con disco de corte se deberá lubricar lo suficiente para no superar temperaturas críticas y el corte por flama deberá ser aplicado lejos del punto de medición ya que altera la microestructura de los elementos.
- *Limpieza:* Lista los elementos que se deben evitar, y los materiales con los que se debería limpiar.
- *Montaje:* muestra los tipos de montaje de un elemento cuando sus características geométricas sean demasiado pequeñas para el trabajo normal.
- *Desbastado y pulido:* Muestran las divisiones del desbastado y características de operaciones para la obtención de una superficie tipo espejo.

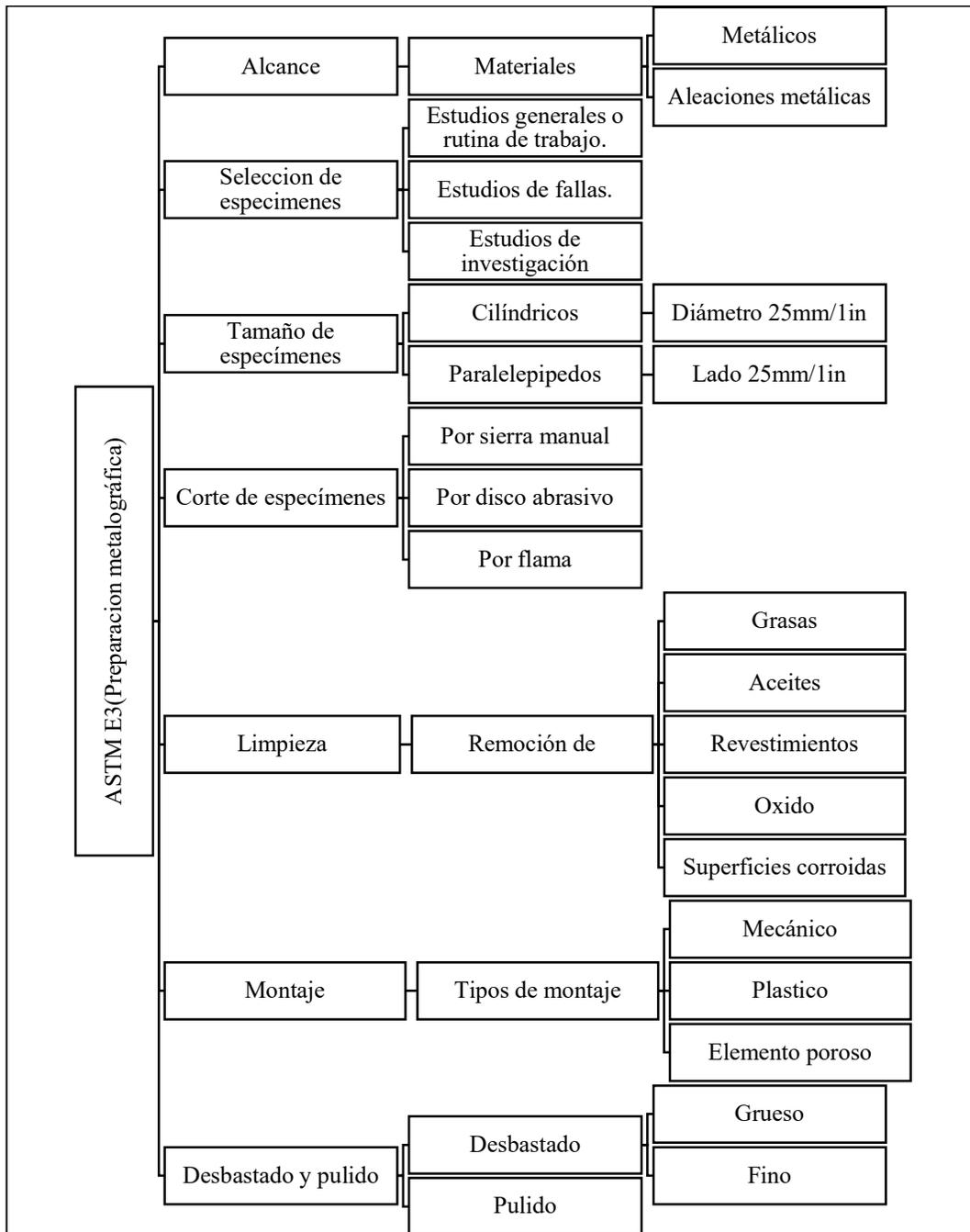


Ilustración 13-2: Resumen de ASTM E3.

Fuente: ASTM, 1999.

Realizado por: Chávez, Carlos, 2022.

Como parte del punto de selección de especímenes se tiene la Ilustración 14-2 que muestra los métodos de localización metalográfica que son de gran aplicación a la hora de requerirse de la extracción de muestras, y como lo resume la ilustración anterior son de utilidad al momento de apuntar a un estudio específico.

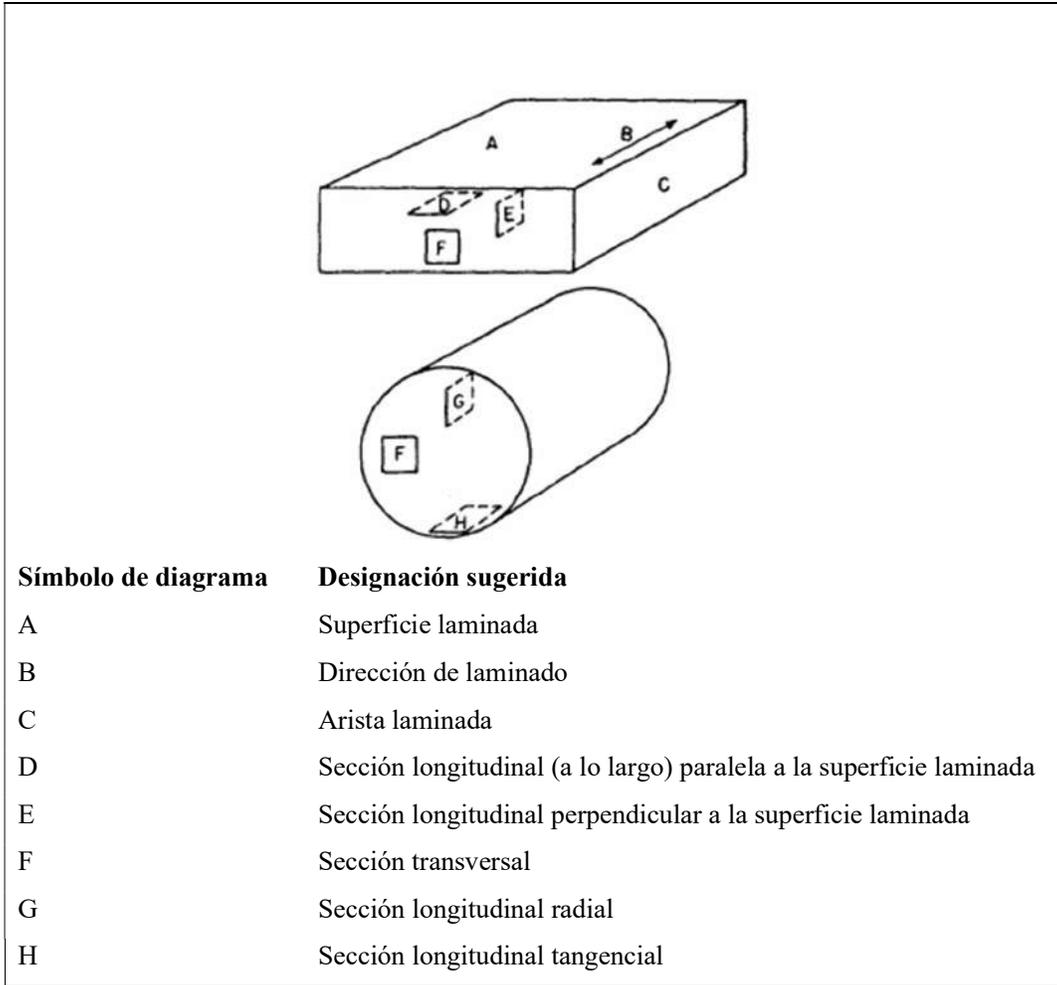


Ilustración 14-2: Método de localización metalográfica.

Fuente: ASTM, 1999.

Realizado por: Chávez, Carlos, 2022.

2.5.2. *Ataque químico*

La normativa establecida por ASTM (1999 págs. 2-19) posterior al proceso de preparación metalográfica y obtención de una superficie tipo espejo, de acuerdo con el material de análisis enlista los reactivos y el requerimiento de revelado, además muestra las composiciones que tendrán estos químicos para su correcto uso y aplicación. La ASTM E407 relaciona básicamente 2 tablas con una variedad muy grande de reactivos que permitirán el revelado de acuerdo con la necesidad de estudio. Se deberá tomar en cuenta que los elementos deberán estar muy limpios en la superficie de ataque para evitar la distorsión del resultado final para este punto. En el Anexo D se muestra una sección de la Tabla 1 y 2 de la norma donde se muestra el Nital que de manera general se usa para el revelado general de estructuras para aceros al carbono siendo el compuesto 74 de la Tabla 2 de la normativa y permite el revelado a aceros desde la serie 1xxx hasta la 4xxx.

2.5.3. Evaluación de dureza Rockwell

Por otro lado la ASTM (2000 pp. 2-4) establece el código para medición de dureza mediante las diferencias de profundidad entre huellas desde una precarga a una carga total máxima en kg, es normal realizar este tipo de ensayo debido a la amplia gama de caracterización que permite, dentro de la norma se define el procedimiento para la aplicación de carga donde se hace el uso de indentadores esféricos de acero y de diamante de varias medidas los cuales son aplicados dependiendo de la escala, la escala y el indentador deben ser elegidos según el material.

Es importante seleccionar bien la escala la estandarización enuncia que si se encuentra en rangos muy altos o bajos se perderá apreciación y será necesario un nuevo ensayo, cuando la medición se encuentra sobre 80 o bajo 20 en cualquiera de sus escalas se debe proceder con el cambio de escala. Además, se debe evitar realizar pruebas muy cercanas a las huellas de indentaciones anteriores, así como en la cercanía de los bordes del elemento para evitar errores de medición, la medición hallada muy cercana a los bordes podría caracterizarse por mostrar un valor muy bajo mientras que la cercana a la indentación por motivos de endurecimiento por deformación plástica mostraría un valor elevado. La selección de carga la realizara mediante la aplicación, es decir el material a tratar de este modo se presenta la Tabla 3-2 donde se permite la selección de parámetros del ensayo de dureza Rockwell para escala, indentador y carga máxima.

Tabla 3-2: Selección de parámetros de ensayo.

Escala	Indentador	[kg]	Aplicaciones
A	Diamante	60	Aceros con/sin tratar. Materiales duros. Láminas duras.
B	Esfera=1/16 [in]	100	Aceros recocidos y normalizados.
C	Diamante	150	Aceros tratados térmicamente
D	Diamante	100	Aceros cementados
E	Esfera=1/8 [in]	101	Metales blandos y antifricción.
F	Esfera=1/16 [in]	60	Bronce recocido.
G	Esfera=1/16 [in]	150	Bronce fosforoso y otros materiales.
H	Esfera=1/8 [in]	60	Metales blandos con poca homogeneidad, fundiciones base
K	Esfera=1/8 [in]	150	Aplicaciones análogas al tipo anterior.

Fuente: ASTM, 1999.

Realizado por: Chávez, Carlos, 2022.

Es de importancia tomar en consideración que los elementos sometidos a un ensayo de dureza deben presentar superficies suficientemente pulidas para evitar mediciones falsas, así como mostrar superficies paralelas para evitar daños en el elemento indentador.

2.6. Engranajes

Los engranajes o ruedas dentadas son elementos de transmisión de potencia mecánica permiten relaciones de transmisión bajas, torques y potencias altos, y un movimiento circular al ingreso como a la salida de movimiento aplicables a máquinas y analizados a manera de un mecanismo.

2.6.1. Tipos de engranajes

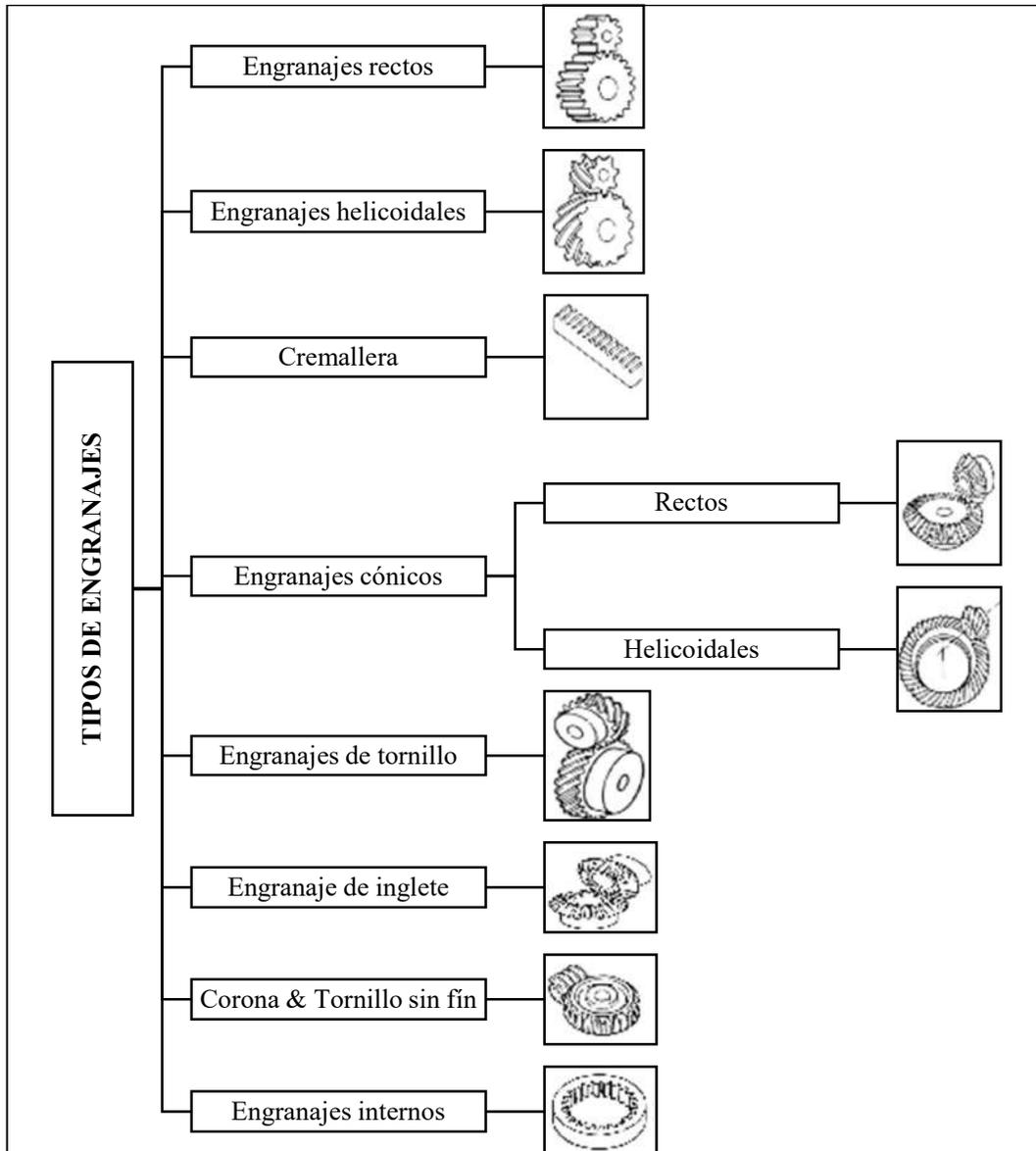


Ilustración 15-2: Tipos de engranajes

Fuente: ASTM, 1999.

Realizado por: Chávez, Carlos, 2022.

Una vez definidos los elementos mecánicos de tipo engranaje se aborda la clasificación de las transmisiones en la Ilustración 15-2 que va de acuerdo básicamente con la geometría de los elementos como un conjunto de transmisión donde se hallan las variaciones de engranajes rectos cuya característica principal son netamente sus ejes de entrada y salida paralelos, por otro lado los engranajes helicoidales permiten la disposición de ejes paralelos y cruzados, de otro modo la cremallera permite mediante el desplazamiento angular del piñón un desplazamiento lineal de esta, de manera similar los engranajes cónicos se subdividen en rectos y helicoidales lo cual facilita la inclinación del eje de salida, los engranajes de tornillo se asemejan a los helicoidales cruzados a 90°, los de inglete son cónicos iguales a 90°, los internos tratan de una corona interna con planetarios externos y finalmente los de corona y tornillo sin fin son engranajes con ejes a 90° donde el tornillo sin fin no permite el retorno de la corona este permite el trabajo en condiciones más severas ya que la relación de transmisión es mayor y solo permiten la reducción de velocidad entre la entrada y salida.

2.6.2. Fallos en engranajes

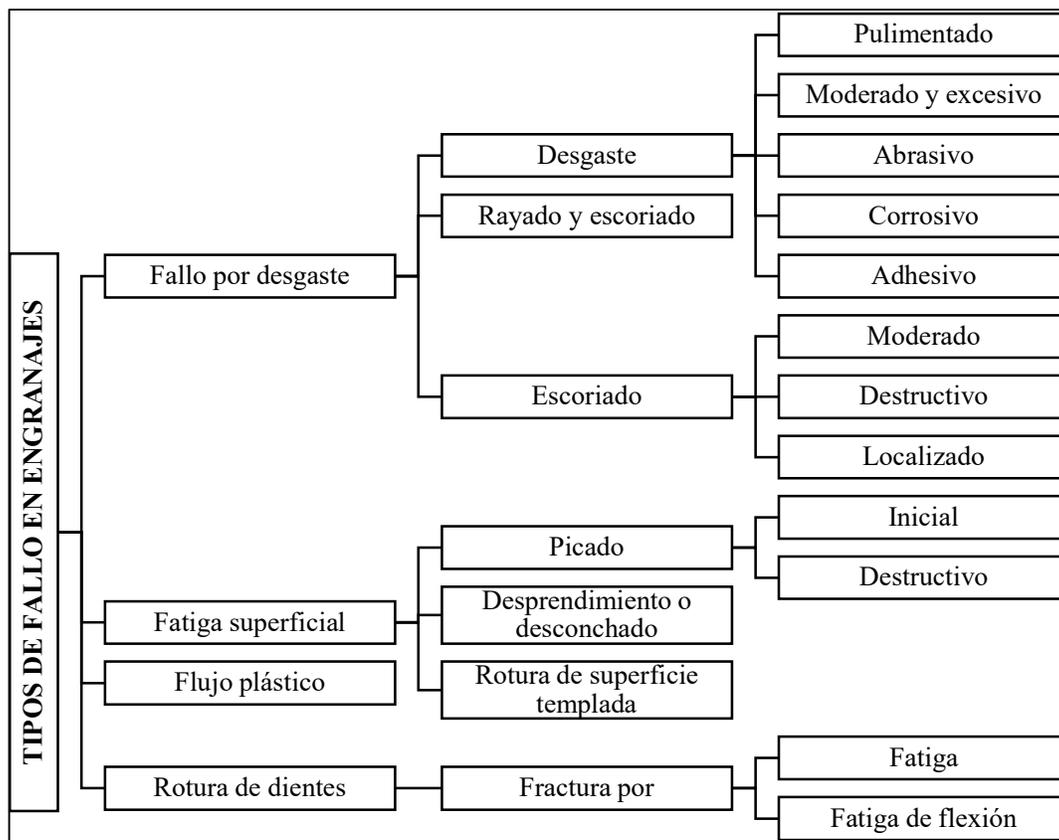


Ilustración 16-2: Tipos de fallo en engranajes.

Fuente: ASTM, 1999.

Realizado por: Chávez, Carlos, 2022.

Por otra parte, es fundamental comprender que los engranajes al igual que todos los elementos mecánicos que trabajan al contacto con otros por motivos de propiedades mecánicas de materiales, condiciones de operación y lubricación, presentan un entorno que involucra características donde se evidencia fricción, así se presentarán daños superficiales en elementos a corto, mediano o largo plazo lo cual tendrá una incidencia en costo de mantenimiento a equipos.

De este modo se evidencia en la Ilustración 16-2 se pretendió el clasificar los tipos de fallos en engranajes de la manera más resumida donde se presentan 4 grandes grupos, el primero caracteriza los fallos por desgaste de donde se desprenden netamente el desgaste, el rayado y escoriado, y el escoriado propio, dentro de la Fatiga superficial se hallan el picado, el desprendimiento o desconchado y la rotura de superficie templada, finalmente se muestra el flujo plástico y la rotura de dientes. Si bien es amplio el campo de estudio de los fallos en engranajes en dependencia a las combinaciones de materiales entre un par de engranajes se hace un enfoque al desgaste en sus clases donde se poseionan el pulimentado, el moderado y excesivo, el abrasivo, el corrosivo, y el adhesivo.

2.6.2.1. *Desgaste.*

Este tipo de deterioro se produce por el desprendimiento de material de sus capas externas de manera uniforme. Este tipo de fallo es muy común por el rozamiento entre metales por fallas o películas pobres de lubricantes. De este modo y en concordancia a la Ilustración 16-2 se clasifica para los fallos por desgaste así:

- *Desgaste pulimentado:* su presencia suele relacionarse a una película de lubricante es más delgada que la altura combinada de las irregularidades opuestas donde ocurre contacto metálico es un desprendimiento de material que no requiere ser evitado. De ser necesario suprimirlo u atenuarlo se hace uso de una capa de lubricante de mayor viscosidad, reducción en la carga y a su vez en la temperatura de operación.
- *Desgaste moderado y excesivo:* tiene la característica de mostrar una remoción en adendum y dedendum, la línea de paso se mantiene intacta, se debe a la lubricación limite o a contaminación en el lubricante, a su vez puede llegar a ser excesivo cuando los dientes presentan una gran cantidad de material removido.
- *Desgaste abrasivo:* Distinguido por hallarse zonas planas y gastadas que interrumpen el perfil del diente (Errichello, et al., 1994).

- *Desgaste corrosivo*: deterioro superficial por acción química, presenta gran cantidad de picaduras uniformemente distribuidas en la zona de trabajo del engranada, se deben al vapor de agua presente en los lubricantes.
- *Desgaste adhesivo*: Conocido también como escoriado, es un desgaste rápido de los dientes a causa de grandes fuerzas adhesivas desarrolladas al contacto entre dientes, es decir la partícula de lubricante no previenen el contacto entre dientes (Benitez, 1985).

Al evidenciar desgaste mediante bibliografía pertinente se puede realizar la comparativa mediante imágenes del comportamiento de fallo, de este modo se podrá clasificar de una manera adecuada el tipo de fallo al que corresponde un caso específico.

2.7. Evaluaciones visuales

Los tipos de fallas y evaluaciones visuales netamente se caracterizan por la realización de comparativa entre imágenes tomadas de la experiencia en campo con lo que se facilita el reconocimiento de los daños de una manera rápida, ya que las fallas comúnmente tienden a mostrarse ante fenómenos específicos (Errichello, et al., 1994).

VISUALIZACIÓN DE FALLO	NOMBRE DEL FALLO
 	<p>(a) Fallo de fatiga por flexión</p> <p>(b) Fallo por agrietamiento fatiga en un filete de raíz del engranaje</p>
 	<p>(c) Fallo por fatiga y picaduras en la superficie de contacto</p> <p>(d) Fallo de desgaste por adhesión</p>
 	<p>(e) Fallo de desgaste por abrasión</p> <p>(f) Fallo de desgaste pulimentado</p>
	<p>(g) Fallo de escoriado</p>

Ilustración 17-2: Fallos en engranajes.

Fuente: Errichello, et al, 1994.

Realizado por: Chávez, Carlos, 2022.

La Ilustración 17-2 muestra varios casos que evidencian desgaste donde la y fallos que normalmente se producen en los dientes de un engranaje, todos de diferente morfología y origen que si bien no son iguales reducen significativamente la vida útil del elemento y su resistencia mecánica.

2.7.1. Indicadores del desgaste

Según los autores Perez & Torre (2015 p. 3), los indicadores de desgaste son parámetros que se han establecido para la evaluación, estudio, clasificación y diagnóstico del desgaste, por lo general son:

- **Lineal (*Wh*):** hacen referencias a mediciones de las dimensiones del elemento y se pueden aplicar cuando los valores de desgaste son de medianos a altos.
- **Gravimétrico (*Wg*):** aplicado en elementos de pequeñas dimensiones mediante la ayuda del peso.
- **Volumétrico (*Wv*):** básicamente es la medición del volumen.

Es importante notar que las mediciones y análisis de los indicadores de desgaste se realizarían antes de después de la ocurrencia de un modo de fallo del elemento es decir al ser sometido a desgaste el elemento.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Metodología de selección de materiales

La selección de materiales se realizará en función de las características requeridas por los elementos diseñados previamente en este caso para la pareja corona-tornillo sin fin, la metodología hará referencia a un desarrollo híbrido en el cual se realizará la comparativa entre el método tradicional, el método gráfico por software (CES Edupack) y el método por bases de datos con el fin de detallar opciones para el trabajo de los elementos operativos del sistema.

3.1.1. Método tradicional y por bases de datos

En el método tradicional se deberá hacer referencia a materiales que previamente hayan sido utilizados para finalidades comunes haciendo uso de la experiencia y disponibilidad en el mercado. Este método hace referencia al conocimiento experimental por lo que será posible seguir el algoritmo de selección.

3.1.1.1. Algoritmo de selección por el método tradicional

La Ilustración 1-3 muestra los pasos a seguirse para el desarrollo del método tradicional donde se define por 4 etapas desde la delimitación de la aplicación, propiedades requeridas y criterios de selección, pasando por la búsqueda de materiales y aplicaciones similares, además por dar la aproximación para analizar la disponibilidad en el mercado dentro de catálogos y marcas.

ALGORITMO DEL MÉTODO TRADICIONAL	Delimitación	Aplicación
		Propiedades físicas del material
		Criterios de selección
	Búsqueda	Materiales
		Aplicaciones
	Aproximación	Coincidencias con solicitudes
	Disponibilidad	Revisión de catálogos y marcas

Ilustración 1-3: Algoritmo de selección por el método tradicional.

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

3.1.2. Método gráfico

El método gráfico por otro lado se caracterizará por hacer la aplicación de software para confirmar los resultados dados en el método tradicional, de este modo se realizará una breve aplicación de los datos que se obtengan en el método tradicional y se los planteará dentro del software pasando directamente a la parte de gráfica y resultados.

3.2. Metodología para la evaluación del material base.

La evaluación del material base constará de 2 etapas principales y varias subetapas con las que se podrá comprobar las propiedades y características del material distribuido comercialmente por lo que se hace uso de la ASTM E3, la ASTM E407 y la ASTM E18 descritas en el capítulo 2, para la extracción de muestras metalográficas, el ataque químico y las evaluaciones de dureza respectivamente. De este modo se iniciará por el análisis microestructural para continuar con el análisis de dureza.

3.2.1. Evaluación microestructural del material base.

La importancia de la observación y evaluación erradica en notar la presencia de las estructuras y organización correcta dentro del material a fin de comprobar que el material se encuentre sin alteración, esto dará la certeza al desarrollar el trabajo que el material de partida fue un material conocido.

3.2.1.1. Muestra para análisis microestructural.

La muestra será extraída del material en bruto nuevo y comercialmente adquirido para el mecanizado de los elementos tipo corona y tornillo sin fin, en el caso de la corona el AISI 7210 y en caso del tornillo el AISI 4340. Comercialmente hablando los dos materiales se distribuyen en forma de ejes para mecanizado por arranque de viruta por medio de procesos de torneado, fresado u otros, por lo que la extracción de las muestras de análisis se establece por medio de la Ilustración 2-3. Esta evidencia las dimensiones de las probetas, las cuales para su obtención y cumplimiento se deberá preparar y trabajar bajo parámetros establecidos por ASTM E3. Es de importancia tomar en consideración que el material de análisis deberá ser extraído de una sección transversal del eje, es decir del símbolo (F) del diagrama que se muestra en la Ilustración 14-2 con el objetivo de localizar la extracción metalográfica.

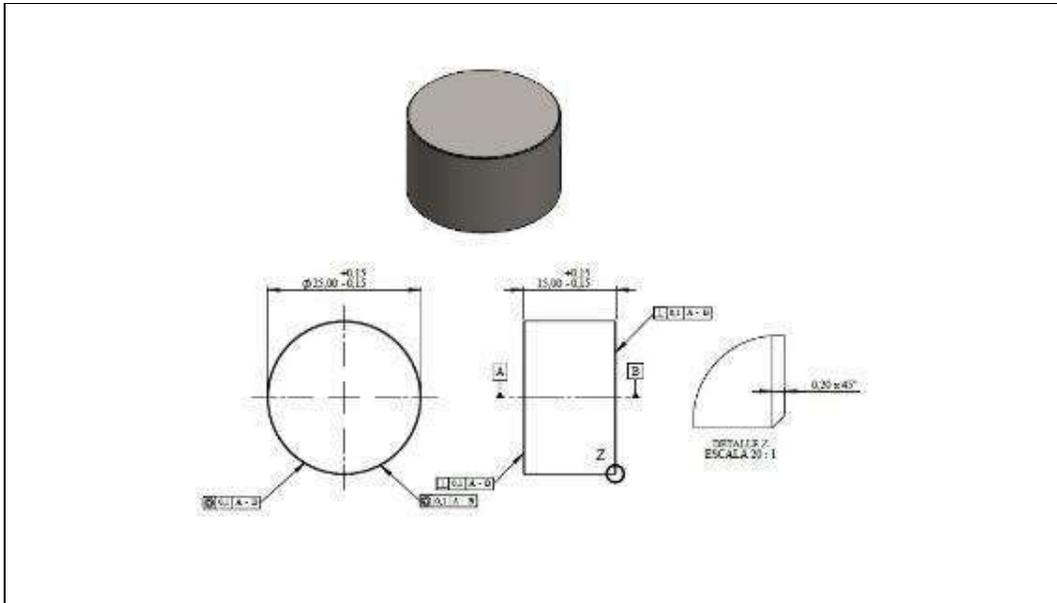


Ilustración 2-3: Dimensiones de las probetas.

Fuente: ASTM, 1995.

Realizado por: Chávez, Carlos, 2022.

3.2.1.2. *Preparación para análisis metalográfico*

La preparación metalográfica deberá proceder mediante dos fases la de desbaste y la de pulido de la superficie de análisis, el desarrollo se realizará tanto para el material de la corona como para el del tornillo sin fin. De este modo se procederá con el lijado mediante papel abrasivo de los números mostrados en la Tabla 1-3 donde se plasma la orientación de desbaste de las muestras, además se describe para cada posición el tamaño de grano de la lija y para facilidad se describirá mediante líneas de referencia y el esquema de la probeta.

Tabla 1-3: Orientación de desbaste de las muestras.

Nº de lija	Ángulo	Referencia	Probeta
400	0°	A	
600	90°	B	
800	180°	C	
1000	270°	D	
1200	0°	A	
1500	90°	B	
2000	270°	C	

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Finalmente, la fase 2 en relación con el pulido del elemento desbastado de este ítem se trabajará con una pulidora que permitirá la rotación del paño, donde mediante un desplazamiento la probeta de la manera rectilínea se generará una trayectoria de pulido de hélice como la que se mostrará en la Ilustración 3-3, adicional se hace la aplicación de polvos abrasivos o Alúmina de 1, 0,3 y 0,04 micras en el orden mencionado para la obtención correcta de resultados. Se deberá mantener el paño bien dotado de alúmina y aproximadamente por un tiempo de 5 minutos. Al terminar con el procedimiento se obtiene una superficie especular que permite una correcta visualización en el microscopio.

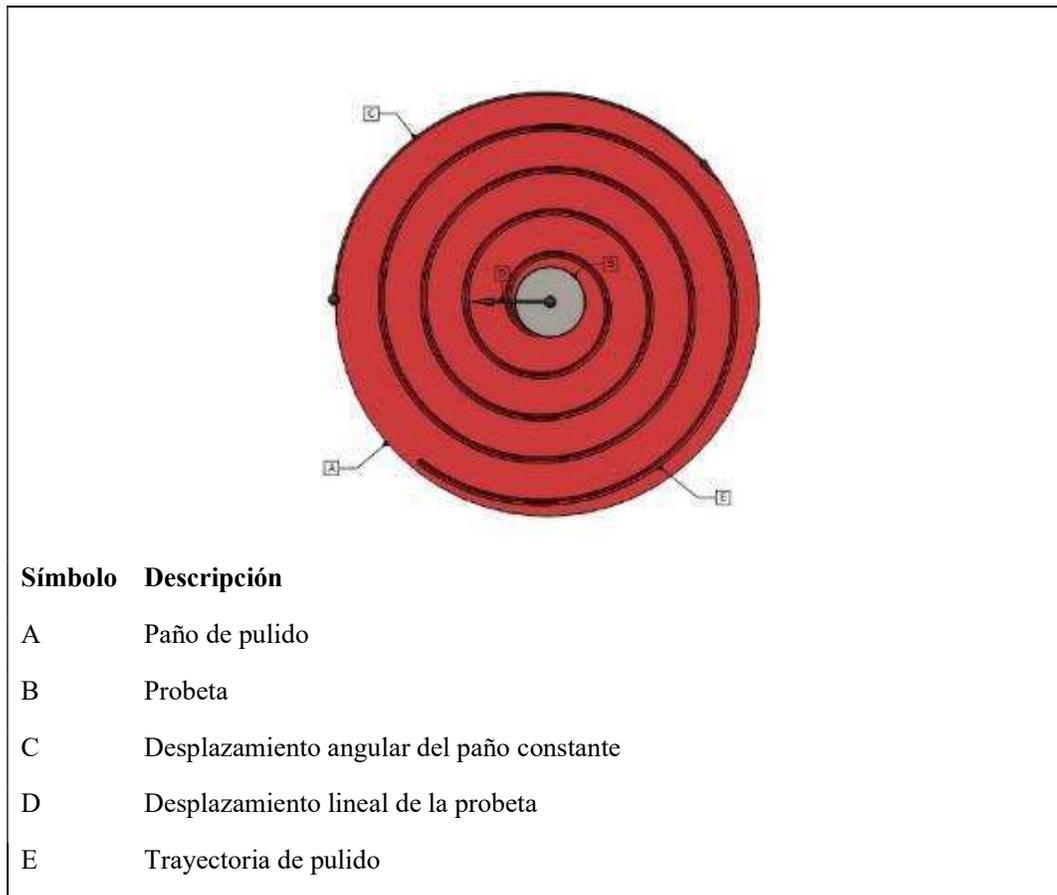


Ilustración 3-3: Pulido de la probeta.

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

3.2.1.3. Ataque químico

Una vez culminado el procedimiento de pulido de la probeta se deberá considerar los métodos de limpieza de la superficie normalizada y sugerida por ASTM E3 para continuar mediante el uso de la norma ASTM E407 definida en el capítulo 2 y tomando en consideración sus datos relevantes ubicados en el Anexo D donde se sugiere la selección de reveladores químicos de acuerdo con el

material y la necesidad requerida, adicional la norma provee las composiciones de los compuestos para el ataque químico y su procedimiento para un correcto revelado. Es importante definir lo que se requiere extraer con el ataque químico y el material de aplicación.

3.2.1.4. Extracción de fotomicrografías y análisis.

Posterior al revelado químico se realizará la evaluación microestructural montando el elemento en el microscopio óptico y se extraerán las fotomicrografías que permitirán el análisis de los datos observados. De este modo se comparará los resultados con los teóricos del material.

3.2.2. Evaluación de dureza del material base.

La evaluación de dureza se llevará a cabo en los elementos previamente analizados microestructuralmente aprovechando la superficie preparada y se seguirán las 3 etapas mostradas posteriormente.

3.2.2.1. Preparación para análisis de dureza

Es importante considerar que la probeta analizada microestructuralmente es útil para la evaluación de dureza por lo que se puede pulir una vez más de la manera establecida para la etapa de preparación para análisis metalográfico y llevar a cabo las mediciones de dureza.

3.2.2.2. Selección de parámetros de dureza

Para este efecto se hace uso de la norma ASTM E18 donde se establecerá el procedimiento de medición de dureza donde inicialmente se selecciona la escala de acuerdo con el material a ser medido como se definió en el Capítulo II donde en la Tabla 3-2 se procederá a la selección de la escala ya que el material de uso es conocido.

3.2.2.3. Mediciones de dureza y análisis

Para este efecto se continuará con el uso de la norma ASTM E18 donde se establecerá el procedimiento de medición, se requiere de 5 indentaciones y deberán estar separadas aproximadamente 2,5 diámetros de la huella tanto desde el extremo del elemento al borde de la huella como entre bordes de dos huellas, de este modo se obtendrán las mediciones como se esquematiza en la Ilustración 4-3. Como se puede apreciar se procura el trabajo en la parte central del elemento y se tabulan los valores mediante la construcción de la Tabla 2-3. En la tabla además

se agregarán celdas de dureza promedio que permite mediante la Ecuación 1-3 realizar el cálculo pertinente, donde se establece la dureza del material comercialmente distribuido, finalmente se tabulan los valores de dureza nominal y de dureza medida.

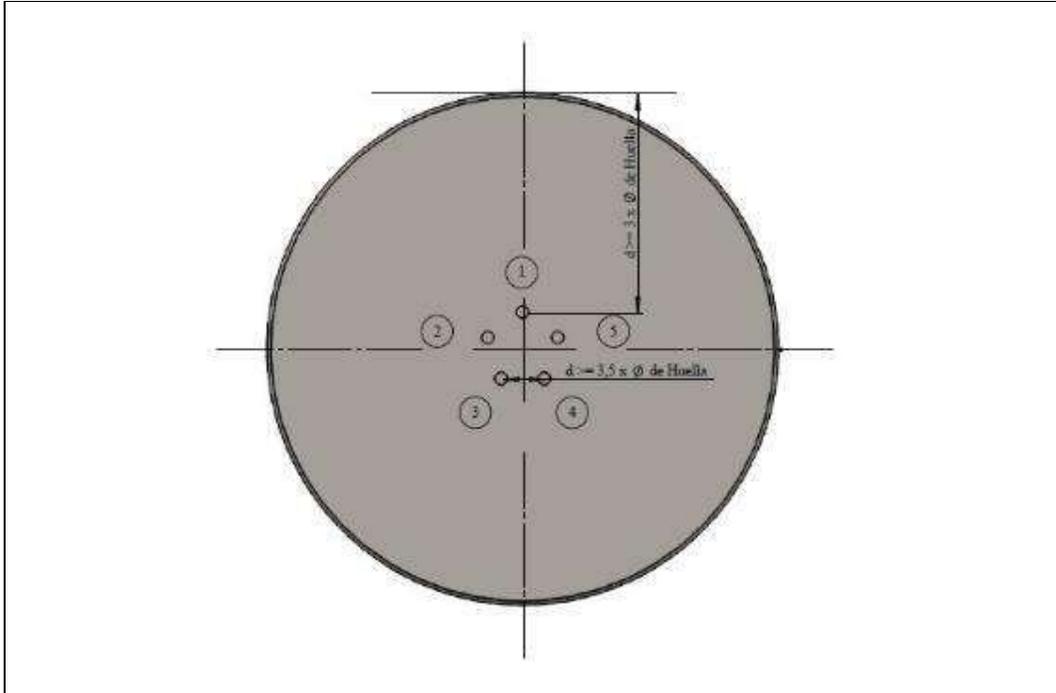


Ilustración 4-3: Esquema de indentaciones.

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Tabla 2-3: Mediciones de dureza.

Medición	AISI 4340	AISI 7210
1		
2		
3		
4		
5		
Promedio:		
Dureza nominal:		

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

$$H_{promedio} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_5}{5}$$

Ecuación 1-3

Donde:

$H_{promedio}$: Dureza promedio [HR]

$H_{1...5}$: Medición de dureza [HR]

3.3. Metodología de definición de parámetros constructivos

A fin de desarrollar de manera ordenada el proceso establecido para el trabajo será importante continuar con la consideración de parámetros de diseño, dimensiones, procesos de mecanizado, tolerancias dimensionales y geométricas. Cada uno de los puntos e información requerida para el desarrollo del trabajo se podrá adjuntar en el siguiente orden.

3.3.1. Parámetros de diseño

En el trabajo presentado por Aguirre e Hidalgo (2022) se buscarán los parámetros seleccionados para el trabajo de la pareja corona - tornillo sin fin, estos parámetros establecidos por los autores son parámetros invariables con los que se debería trabajar para que los elementos desempeñan su papel. Para esto será necesario el recopilar de manera especial los parámetros de diseño generales establecidos en la Ilustración 5-3, los cuales serán determinantes para el proceso constructivo de los elementos, con este fin se buscarán los parámetros tanto para la corona como para el tornillo sin fin.

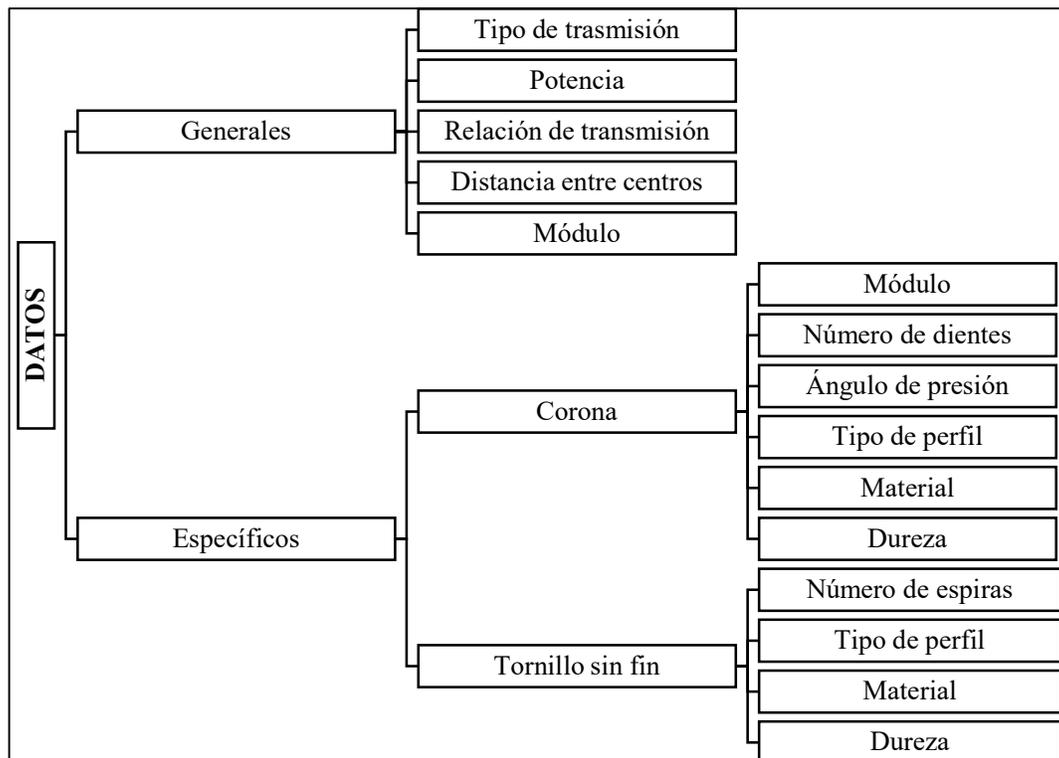


Ilustración 5-3: Parámetros de diseño requeridos.

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

3.3.2. Dimensiones de los elementos

Una vez conocidos los parámetros de diseño recopilados en el paso anterior será necesario determinar las dimensiones implícitas de los elementos con el fin de obtener toda la información constructiva necesaria, de este modo se requerirá el cálculo de los puntos especificados en la Tabla 3-3, donde se definirá todas y cada una de las relaciones geométricas que se encuentran en función de elementos preestablecidos tal es el caso de módulos, pasos, diámetros, ángulos, etc. específicos en cada dimensión de interés.

Tabla 3-3: Dimensiones de los elementos

Parámetros	Tornillo sin fin	Corona
Módulo axial	$m_{x1} = m$	---
Módulo normal	$m_{n1} = m_{x1} * \text{sen } \beta_1$	$m_{n2} = m_{x1} * \text{cos } \beta_2$
Módulo circunferencial	$m_{c1} = \frac{m_n}{\text{cos } \beta_1} = m_{x1} * \text{tg } \beta_1$	$m_{c2} = \frac{m_{n2}}{\text{cos } \beta_2} = \frac{d_2}{z_2} = m_{x1}$
Paso axial	$p_{x1} = m_{x1} * \pi = \frac{p_n}{\text{sen } \beta_1}$	---
Paso normal	$p_{n1} = p_{x1} * \text{sen } \beta_1$	$p_{n2} = p_{x1} * \text{cos } \beta_2 = p_{n1}$
Paso circunferencial	$p_{c1} = \frac{p_{n1}}{\text{cos } \beta_1} = p_{x1} * \text{tg } \beta_1$	$p_{c2} = p_{x1}$
Diámetro primitivo	$d_1 = 2 * Cc - d_2$	$d_2 = m_{c2} * z_2$
Ángulo de hélice	$\text{tg } \beta_1 = \frac{\pi * d_1}{p_{h1}}$ $(\gamma = 90^\circ - \beta_1)$	$\beta_2 = \gamma$
Paso de la hélice	$p_{h1} = p_{x1} * z_1 = \frac{\pi * d_1}{\text{tg } \beta_1}$	$p_{h2} = \pi * d_2 * \text{tg } \beta_1$
Número de dientes	$z_1 = \frac{p_{h1}}{p_{x1}}$	$z_2 = \frac{d_2}{m_{c2}}$
Addendum	$a_1 = m$	$a_2 = m$
Dedendum	$b_1 = 1,157m$	$b_2 = 1,157m$
Profundidad total	$H_{t1} = a_1 + b_1$	H_t
Holgura	$c_1 = b_1 - a_1$	$c_1 = c_2$
Diámetro exterior	$d_{e1} = d_1 + 2m$	$d_{e2} = m(z_2 + 2)$
Diámetro de raíz	$d_{r1} = d_1 - 2b_1$	$d_{r2} = d_2 - 2b_2$
Ancho de la corona	---	$F_2 = 6,75 * m + 6$
Longitud del sin fin	$l = 6 * p_{x1}$	---

Fuente: Larburu, Prontuario de máquinas.

Realizado por: Chávez, Carlos, 2022.

3.3.3. Tolerancias dimensionales y geométricas

Las tolerancias tanto dimensionales como geométricas deberán presentarse gracias a la consideración de pequeñas variaciones dentro del proceso constructivo donde se presentan desviaciones sobre las dimensiones nominales del elemento, para ello será necesario asignar valores de tolerancias ante las cotas que lo necesiten y se seguirá el procedimiento mostrado por la Ilustración 6-3.

Asignación de tolerancias	Localización puntos de interes
	Toma de medida nominal
	Identificación de tolerancia
	Selección de tolerancia

Ilustración 6-3: Pasos para la asignación de tolerancias.

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Cabe notar que para tolerancias dimensionales y geométricas se trabajará bajo el uso de la normativa ISO 286.

3.3.4. Procesos de mecanizado

Algoritmo	Definición de:	Material a mecanizar
		Propiedades de dureza
		Dimensiones de material bruto
	División de etapas considerando	Procedimientos lógicos
		Jerarquias de operaciones
		Procedimientos en función del resultado
		Operaciones, fases y subfases
	Selección de:	Velocidad de corte
		Herramientas de corte
		Refrigeración
		Herramientas
		Útiles de: Control Trabajo
Cálculo	Velocidad del husillo	
	Tiempo de mecanizado	
Asignación de tiempos de:	Preparación	
	Manipulación	

Ilustración 7-3: Algoritmo de selección de parámetros de corte.

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Los procesos de mecanizado serán parte esencial para el desarrollo constructivo de los elementos, y parámetro fundamental dentro del análisis de costos por lo que se requerirá el análisis de los parámetros de corte como el de la velocidad angular y el tiempo de corte por medio de la Ecuación 1-2 y Ecuación 2-2 respectivamente con el proceso detallado en el Capítulo II. Así en la Ilustración 7-3 se definirán los pasos a seguir para la obtención de los elementos mecanizados mediante el uso del algoritmo para la selección de parámetros de corte.

3.3.5. *Procesos de tratamiento térmico*

El proceso de tratamiento térmico quedará definido por los parámetros y características del material por lo que para este proceso mediante el uso de las recomendaciones establecidas en el libro Introducción a la metalurgia física del autor Avner (1988) y con la ayuda del catálogo de Mg Aceros se planteará un procedimiento para la definición del proceso de tratamiento superficial para cada elemento. De este modo se construirá la Tabla 4-3 que mostrará un esquema de los campos a detallarse para cada tratamiento térmico, es decir el número de filas dependerá del tratamiento aplicado y se realizará la tabulación de cada uno de los tratamientos y los elementos.

Tabla 4-3: Procedimiento de tratamiento superficial.

Tratamiento superficial		
Tratamiento	Tiempo	Temperatura

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

De manera que la columna de Tratamiento pretenderá el nombre del procedimiento a realizarse, la columna de tiempo se refiere al tiempo del procedimiento y Temperatura del procedimiento se referirá a los rangos a los cuales se pretenderá llegar.

3.3.6. *Desarrollo de planos de detalle y hojas de procesos*

Los parámetros de diseño, dimensiones de los elementos, tolerancias dimensionales y geométricas serán un aporte directo para este punto ya que se requiere de ellos para el desarrollo de los planos de detalle de los elementos, que se presentarán como Anexos en la parte final del documento, adicional se hará uso del INEN (1989) el cual en su norma denominada CPE INEN 003: Código de dibujo técnico-mecánico, con un ajuste a los formatos establecidos por la ESPOCH. Una vez con los planos de detalle la construcción de las hojas de procesos se facilitará debido a que estas requieren ciertos datos de los planos y se plantearán los datos determinados a lo largo de la metodología para definición de parámetros constructivos.

3.4. Metodología para el desarrollo de ensayos a desgaste

El protocolo de pruebas requiere un control de parámetros de funcionamiento el cual permitirá la mayor estabilidad de la carga en los engranajes por lo que es necesario hacer comprobaciones de cumplimiento en intervalos de 20 min como se establece en el Anexo P, Anexo Q y Anexo R adicional al cabo de intervalos de entre 1 y 2,5 horas la inspección minuciosa de los elementos de trabajo, para ello se fija la Tabla 5-3, dicha tabla pretende la toma de datos en donde cada punto reflejará 1 medición, es decir la toma de 3 mediciones en una hora para Temperatura de la caja reductora y el motor, Corriente, Tensión, Carga de trabajo y la Hora de medición, durante los periodos de trabajo del reductor. Cabe notar que el ensayo deberá ser realizado en condiciones controladas y aptas para la validez de los resultados, además la toma de datos será realizada de manera física en jornadas de 8 horas y un turno diario para cada persona que monitoree el equipo, adicional será grabado el funcionamiento del equipo.

Tabla 5-3: Parámetros de control.

Medición		Temperatura [°C]		Corriente [A]	Tensión [V]	Carga [PSI]	Tiempo [H]
		Motor	Caja				
1	1						
	2						
	3						
2	1						
	2						
	3						

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

De la Tabla 5-3: Parámetros de control, se deberá notar que las celdas describirán lo siguiente:

- Medición (columna izquierda): Se referirá al número de hora a partir del inicio de la prueba, los valores oscilarán de entre 1 a 24 y al cumplirse con el día de trabajo se iniciará un nuevo conteo.
- Medición (columna derecha): Se referirá al número de toma de datos en la hora de trabajo, cada que se cumpla con 1 hora de trabajo se reiniciará el conteo y los valores oscilarán de 1 a 3.
- Temperatura (Motor): Se referirá a la toma de temperaturas sobre el motor a fin de evitar condiciones de riesgo para este, por medio de la aplicación de medidores de temperatura tipo termopar y en el punto estimado como el de más alta temperatura en [°C].

- Temperatura (Caja): Se referirá a las temperaturas sobre reductor a fin de evitar condiciones de riesgo para el trabajo de los engranajes, por medio del uso de medidores tipo termopar, en el punto estimado como más crítico. El incremento de temperaturas radical entre mediciones puede facilitar el reconocimiento de problemas. La medición se establecerá en [°C].
- Corriente: La medición de este parámetro se la realizará al ingreso de las líneas eléctricas de tensión del motor en [A]. Se realizará mediante el uso de un equipo tipo multímetro de pinza mediante el modo Amperímetro de corriente alterna. El valor arrojado será un valor eficaz.
- Tensión: La medición se la realizará en un punto al ingreso del motor u en la toma de poder para el equipo en [V]. Se realizará mediante el uso de un equipo tipo multímetro mediante el modo Voltímetro de corriente alterna. El valor arrojado será un valor eficaz.
- Carga: se definirá como la presión de frenado mediante la cual se asignará una carga al sistema, de este modo la medición se la tomará por medio del uso de un manómetro presente en el sistema hidráulico de la pinza de freno.
- Tiempo: Se la tomará en [Horas] con referencia al reloj tradicional.

Tabla 6-3: Parámetros de trabajo.

MOTOR			
Marca	WEG	Frecuencia	60Hz
Potencia	2Hp (1,5 kW)	Velocidad de salida	1720 RPM
Voltaje nominal	110/220	Procedencia	Brasil
Amperaje nominal	27,60/13,59	Temperatura máxima	40°C
CORREA			
Marca	DONGIL	Tipo	A-27
Sección	Trapezoidal	Tipo	A
Lp	685,8mm	Relación	1:1
POLEAS			
Marca:	Ecuapolea		
Diámetro:	2 ½ in	Material:	Fundición (Al)
Distancia de centros:	240mm	Ranura tipo:	Trapezoidal tipo A
SISTEMA DE FRENO			
Tipo	Pinza y disco	Accionamiento	Hidráulico
Líquido de freno	DOT 3	Pastillas	Grafito
Disco	Acero	Manómetro	0-200 psi

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

La toma de los datos establecidos anteriormente en la Tabla 5-3 permitirá verificar la uniformidad de la carga aplicada sobre los engranajes del reductor. Antes del inicio y cálculo será importante la consideración de los parámetros de trabajo bajo los cuales el equipo estará funcionando, para ello se los listará en la Tabla 6-3 donde los datos mostrados serán fijados por la naturaleza de los elementos que conforman el sistema, tal es el caso de los datos del motor, la correa de transmisión, las poleas conducida y conductora, y el sistema para asignación de carga de trabajo.

Una vez con los datos tomados en la Tabla 5-3 será importante considerar el resumen de estos a 1 por cada 8 horas haciendo uso del promedio por lo que en la Tabla 7-3 se mostrará una reducción significativa en la cantidad de datos y para su construcción se requerirá del uso desde la Ecuación 2-3 hasta la Ecuación 6-3, donde se arrojan los promedios para Temperaturas de motor y caja, Corriente y Tensión de motor, y finalmente carga de trabajo.

$$T_{MOTOR_{prom}} = \frac{T_{MOTOR_1} + T_{MOTOR_2} + \dots + T_{MOTOR_n}}{n} \quad \text{Ecuación 2-3}$$

Donde:

$T_{MOTOR_{prom}}$: Temperatura del motor promedio [$^{\circ}C$]

T_{MOTOR_n} : Medición n de la temperatura del motor [$^{\circ}C$]

n : Número de mediciones

$$T_{CAJA_{prom}} = \frac{T_{CAJA_1} + T_{CAJA_2} + \dots + T_{CAJA_n}}{n} \quad \text{Ecuación 3-3}$$

Donde:

$T_{CAJA_{prom}}$: Temperatura de la caja promedio [$^{\circ}C$]

T_{CAJA_n} : Medición n de la temperatura de la caja [$^{\circ}C$]

$$V_{RMS_{prom}} = \frac{V_{RMS_1} + V_{RMS_2} + \dots + V_{RMS_n}}{n} \quad \text{Ecuación 4-3}$$

Donde:

$V_{RM_{prom}}$: Tensión eficaz promedio de mediciones [V]

V_{RMS_n} : Medición eficaz n de tensión [V]

$$I_{RMS_{prom}} = \frac{I_{RMS_1} + I_{RMS_2} + \dots + I_{RMS_n}}{n} \quad \text{Ecuación 5-3}$$

Donde:

$I_{RMS_{prom}}$: Corriente promedio de mediciones [A]

I_{RMS_n} : Medición n de corriente [A]

$$P_{CARGA_{prom}} = \frac{P_{CARGA_1} + P_{CARGA_2} + \dots + P_{CARGA_n}}{n} \quad \text{Ecuación 6-3}$$

Donde:

$P_{CARGA_{prom}}$: Carga promedio de mediciones [PSI]

P_{CAR_n} : Medición n de carga [PSI]

Con estos datos se muestra la Tabla 7-3 de resumen de datos la cual facilitará el proceso de cálculo más adelante.

Tabla 7-3: Resumen de datos

Resumen		Temperatura [°C]		Corriente	Tensión	Carga
Día	Dato	Motor	Caja	[A]	[V]	[PSI]
1	1					
	2					
	3					

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

3.4.1. *Análisis de transmisión*

Para una aproximación cercana hará falta el análisis de los tipos de transmisión mecánica que se involucran al trabajo de los elementos tipo engranaje por lo que será necesario analizar los puntos posteriores.

3.4.1.1. *Primera etapa - Potencia de entrada y salida del motor*

El procedimiento para el cálculo de potencia del motor iniciará por el cálculo de la potencia eléctrica de la Ecuación 7-3 que hace referencia para este punto a los valores del fabricante, la

Tensión y Corriente corresponden a valores nominales y eficaces. Además, se deberá realizar la conversión de unidades de la potencia mecánica establecida por el fabricante con el uso de la Ecuación 8-3 para de manera conjunta proceder con el cálculo de la eficiencia del motor plasmada en la Ecuación 9-3.

$$P_{E[W]} = V_{RMS} * I_{RMS} \quad \text{Ecuación 7-3}$$

Donde:

$P_{E[W]}$: Potencia eléctrica [W]

V_{RMS} : Voltaje eficaz [V]

I_{RMS} : Corriente eficaz [A]

$$P_{M[W]} = P_{M[Hp]} \left(\frac{1000W}{1KW} \right) \left(\frac{1KW}{1,341Hp} \right) \quad \text{Ecuación 8-3}$$

Donde:

$P_{M[W]}$: Potencia mecánica [W]

$P_{M[Hp]}$: Potencia mecánica [Hp]

$$\eta = \frac{P_{M[W]}}{P_{E[W]}} \quad \text{Ecuación 9-3}$$

Con los valores eficaces promedio de 1 hora de trabajo se realizará el mismo procedimiento de la Ecuación 7-3 con la variante mostrada en la Ecuación 10-3 donde ahora se trabajará con los valores promedios, además se realizará el cálculo de la potencia mecánica con el valor de eficiencia obtenido previamente en la Ecuación 9-3 con los datos predeterminados por el fabricante y se utilizará la ecuación mencionada con la variante del despeje de la potencia mecánica mostrada en la Ecuación 11-3.

$$P_{E[W]} = V_{RMSprom} * I_{RMSprom} \quad \text{Ecuación 10-3}$$

$$P_M = \eta * P_E \quad \text{Ecuación 11-3}$$

Para continuar con el procedimiento se pasará a la etapa de transmisión de potencia por medio de la banda trapezoidal por lo que será necesario el introducirse en la segunda etapa.

3.4.1.2. Segunda etapa – Potencia transmitida por la banda.

La segunda etapa tiene relación a la potencia transmitida por la banda por haciendo referencia a la ley de conservación de la energía, las potencias de entrada y salida serán iguales.

$$P_{B_1} = P_{B_2} \quad \text{Ecuación 12-3}$$

Como la potencia de los elementos se conservará al analizar todas las etapas entonces será necesario adicionar el análisis de cargas soportados.

3.4.1.3. Tercera etapa - Carga asignada por fricción en el sistema de frenado

Para esta etapa se realizará un análisis de la mordaza de freno donde gracias al dato establecido por las hojas de control se permitirá despejar de la Ecuación 13-3 de la presión de frenado, la Fuerza de frenado mostrada en la Ecuación 14-3, en donde los datos serán introducidos con las unidades correctas mediante el uso de la Ecuación 15-3 para la conversión de unidades de la presión y la Ecuación 16-3 de área de los cilindros de freno.

$$P_{F[Pa]} = \frac{F_{F[N]}}{2 * A_{CF[m^2]}} \quad \text{Ecuación 13-3}$$

Donde:

$P_{f[Pa]}$: Presión de frenado [Pa]

$F_{f[N]}$: Fuerza de frenado [N]

$A_{CF[m^2]}$: Área del cilindro de freno [m²]

$$F_{F[N]} = P_{F[Pa]} * 2A_{CF[m^2]} \quad \text{Ecuación 14-3}$$

$$P_{F[Pa]} = P_{F[psi]} \left(\frac{1in^2}{(0,0254m)^2} \right) \left(\frac{1kg}{2,205lb} \right) \left(\frac{9,81N}{1kg} \right) \quad \text{Ecuación 15-3}$$

$$A_{CF[m^2]} = \frac{\pi}{4} (\emptyset_{CF[m]})^2 \quad \text{Ecuación 16-3}$$

Donde:

$P_f[psi]$: Presión de frenado [psi]

$\emptyset_{CF[m]}$: Diámetro del cilindro de freno [m]

Una vez se han desarrollado los cálculos se evaluará la exigencia que se manifiesta sobre el disco de frenado por lo que por medio de la Ecuación 17-3 se calculará la fuerza de fricción del disco de freno, a continuación, se calculará un torque de frenado con la Ecuación 18-3

$$F_{frF[N]} = 2 * \mu_k * F_F[N] \quad \text{Ecuación 17-3}$$

Donde:

$F_{frF[N]}$: Fuerza de fricción de frenado [N]

μ_k : Coeficiente de fricción cinética

$$T_{F[Nm]} = F_{frF[N]} * r_F[m] \quad \text{Ecuación 18-3}$$

Donde:

$T_{F[Nm]}$: Torque de frenado [Nm]

$r_F[m]$: Radio de frenado [m]

El torque de frenado más adelante permitirá el análisis de fuerzas sobre los elementos tipo engranaje y los diagramas de cargas generados sobre los mismos.

3.4.2. *Cargas sobre engranajes*

Para el cálculo de cargas se notará que el engranaje tipo corona es el que determina los datos por lo que la carga tangencial se calculará por la Ecuación 19-3, la carga normal se la evalúa mediante la Ecuación 20-3. Posterior a ello mediante la Ecuación 21-3 y la Ecuación 22-3 se calcula juntamente con la ayuda de la carga normal las cargas axiales del tornillo y la carga a transmitir

por el tornillo respectivamente, finalizando con la igualdad de la Ecuación 23-3 para el cálculo de carga axial de la corona.

$$F_2 = \frac{T_F[N\ m]}{r_2[m]} \quad \text{Ecuación 19-3}$$

Donde:

F_2 : Carga tangencial de la corona [N]

r_2 : Radio primitivo de la corona [m]

$$F_n = \frac{F_2}{\cos \beta_1} \quad \text{Ecuación 20-3}$$

Donde:

F_n : Carga normal del par [N]

$$F_{a_1} = F_n * \cos \beta_1 \quad \text{Ecuación 21-3}$$

Donde:

F_{a_1} : Carga axial del tornillo [N]

$$F = F_n * \sin \beta_1 \quad \text{Ecuación 22-3}$$

Donde:

F : Carga a transmitir por el tornillo [N]

$$F_{a_2} = F \quad \text{Ecuación 23-3}$$

Donde:

F_{a_2} : Carga axial de corona [N]

Finalmente se notará la carga que se aplica sobre los engranajes y se podrá controlar el proceso de ensayos mediante la presión de carga en el disco de freno. Es importante notar el fenómeno dado por la carga eléctrica ya que en caso de mantenerse constante la carga de freno puede evidenciar o dar a conocer un fallo oculto del sistema por lo que los datos de carga eléctrica siempre serán relevantes a la hora de llevar a cabo pruebas dentro del banco, y es una de las bases para efectuar la toma de datos.

3.5. Metodología para la aplicación de inspección visual

3.5.1. Método visual

Según datos bibliográficos el desgaste quedará mostrado de varias maneras por lo que se deberá hacer uso de imágenes similares a la de la Ilustración 17-2 de este modo será posible el reconocimiento del modo de fallo. Para el desarrollo del método visual será necesario realizar la comparativa entre el elemento de análisis específicamente en los puntos de trabajo y presencia de desgaste e imágenes dotadas por autores.

3.5.2. Método lineal

Este método hace referencia a las dimensiones que pueden ser tomadas de un elemento de manera directa. Para este caso se tomarán los elementos o pares de fricción salidos del banco de engranajes y se los deberá caracterizar dimensionalmente en los puntos de interés. Estos puntos serán los afectados por el trabajo y evidencian desgaste, por este motivo se tomarán los datos de la cresta y el ancho de diente ubicados en el diámetro exterior y el diámetro primitivo respectivamente tanto para cada uno de los dientes de la corona y cada una de las espiras de la hélice del tornillo sin fin.

3.5.2.1. Recolección de datos.

Para este efecto se mostrará los puntos en los que se tomarán los datos en la Ilustración 8-3 para el caso de la corona y la Ilustración 9-3 para el caso particular del tornillo sin fin. De este modo la corona permitirá la toma de 40 mediciones por cada punto, es decir 120 mediciones para cresta y 120 para ancho de diente, lo cual no permite el tornillo sin fin, pero al menos permite 16 mediciones para cresta y 16 para ancho de diente por su dimensión. El paso consecutivo a la ubicación de los puntos por medio de las ilustraciones presentadas será la medición y recolección de los datos construida en una tabla que agrupa los datos de los elementos tipo corona y de los elementos tipo tornillo.

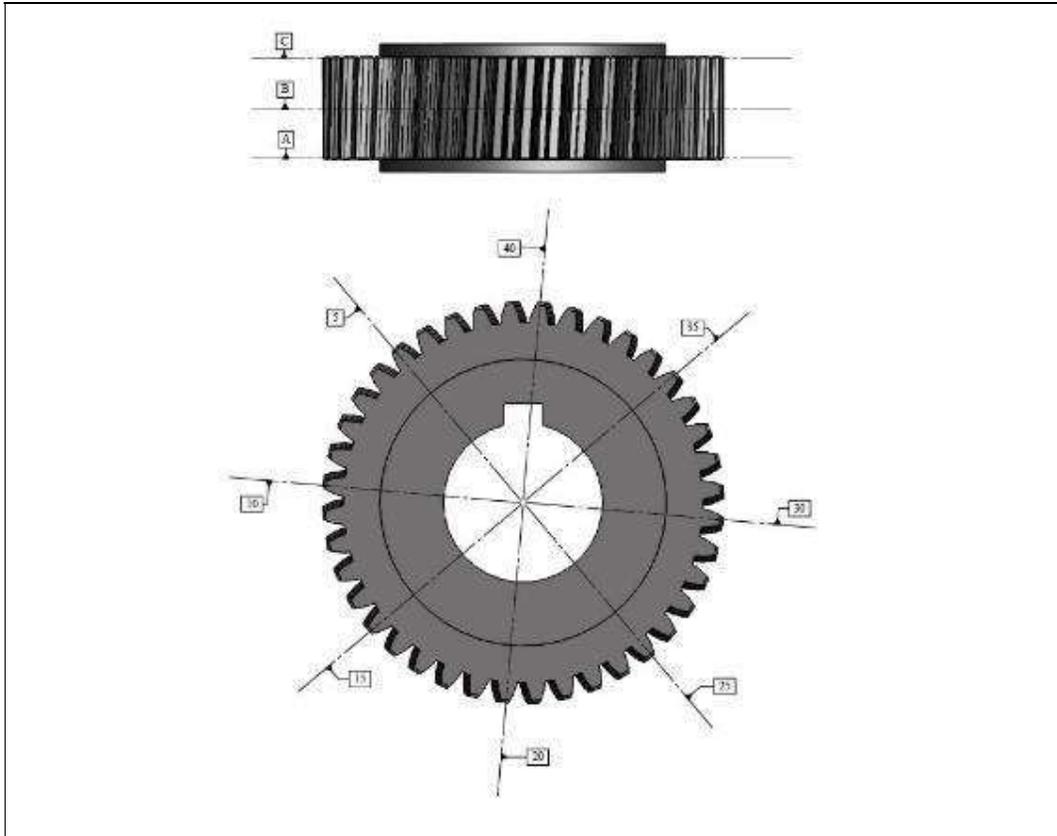


Ilustración 8-3: Puntos de medición de la corona.

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

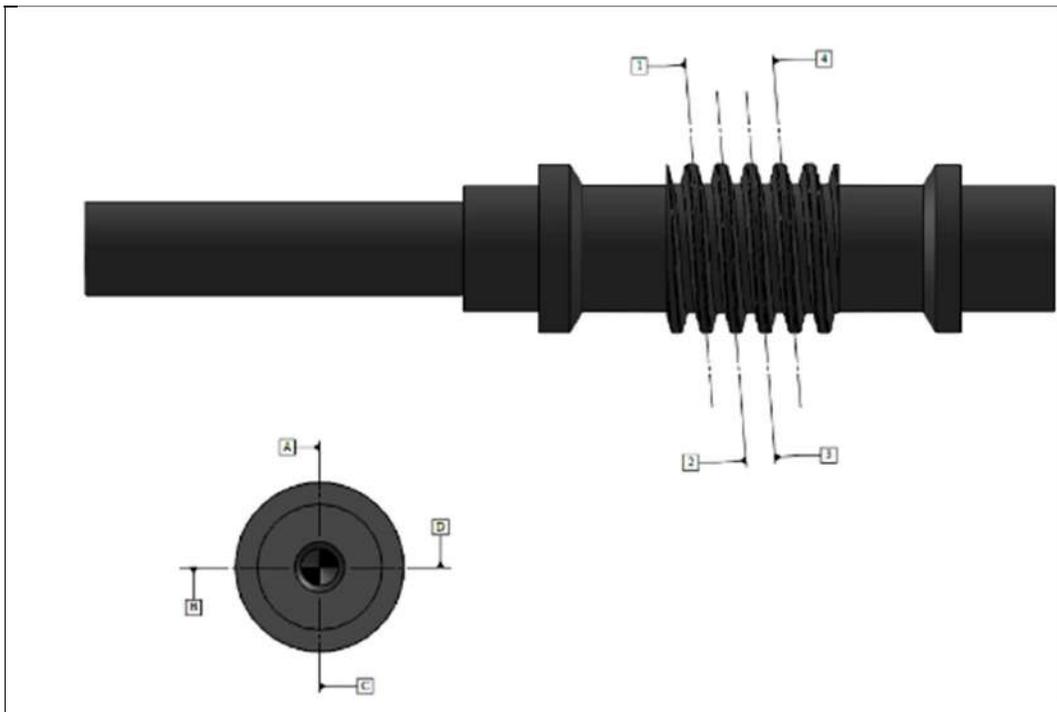


Ilustración 9-3: Puntos de medición del tornillo sin fin

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Tabla 8-3: Datos de cresta y ancho de diente de la corona

N°	CORONA					
	CRESTA			ANCHO DE DIENTE		
	A	B	C	A	B	C
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Tabla 9-3: Datos de cresta y ancho de hélice del tornillo sin fin.

N°	TORNILLO SIN FIN							
	CRESTA				ANCHO DE HÉLICE			
	A	B	C	D	A	B	C	D
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

En este caso se presentó las tablas de recolección de datos de una manera generalizada, pero en la práctica se deberá tomar para cada elemento así se hace uso de la Tabla 8-3 que presenta los datos de la cresta y ancho de diente de la corona, y la Tabla 9-3 que muestra los datos de cresta y ancho de hélice del tornillo sin fin.

3.5.2.2. *Procesamiento de datos*

Para este punto posterior a la recolección de datos se deberá realizar el procesamiento por lo que se va a realizar mediante el uso de métodos estadísticos la representación y una estimación de estabilidad de los valores por lo que se analizará el desgaste en el elemento tipo corona y el elemento tipo tornillo.

Para la corona se aplicará la Ecuación 24-3 para la determinación de la medida de cresta promedio entre 2 puntos sanos del engranaje, la Ecuación 25-3 para la determinación de la dimensión de desgaste presentada en la cresta, la Ecuación 26-3 para el desarrollo de la medida del ancho de diente promedio entre 2 puntos sin desgaste y la Ecuación 27-3 para la determinación de las dimensiones de desgaste evidenciado en el ancho del diente. Con estas ecuaciones será posible la construcción de la Tabla 10-3 donde se muestra el esquema para el planteamiento de datos promedio y de desgaste lineal de la corona.

$$M_{cresta_p} = \frac{M_{cresta_A} + M_{cresta_C}}{2} \quad \text{Ecuación 24-3}$$

$$D_{cresta} = M_{cresta_p} - M_{cresta_B} \quad \text{Ecuación 25-3}$$

Donde:

M_{cresta_p} : Medición de la cresta promedio [mm]

M_{cresta_A} : Medición de la cresta sin daño en el punto A [mm]

M_{cresta_C} : Medición de la cresta sin daño en el punto C [mm]

D_{cresta} : Desgaste de la cresta [mm]

M_{cresta_B} : Medición de la cresta con desgaste máximo en el punto B [mm]

$$M_{ancho_p} = \frac{M_{ancho_A} + M_{ancho_C}}{2} \quad \text{Ecuación 26-3}$$

$$D_{ancho} = M_{ancho_p} - M_{ancho_B} \quad \text{Ecuación 27-3}$$

Donde:

M_{ancho_p} : Medición del ancho de diente promedio [mm]

M_{ancho_A} : Medición del ancho de diente sin daño en el punto A [mm]

M_{ancho_C} : Medición del ancho de diente sin daño en el punto C [mm]

D_{ancho} : Desgaste del ancho del diente [mm]

M_{ancho_B} : Medición del ancho del diente con desgaste máximo en el punto B [mm]

Tabla 10-3: Datos promedio y de desgaste lineal de la corona

N°	Corona			
	Cresta		Ancho de diente	
	Promedio	Desgaste	Promedio	Desgaste
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Una vez determinados los datos de desgaste tanto para la cresta como para el ancho de diente será necesario realizar un gráfico de dispersión con la finalidad de monitorear la tendencia de los valores y predecir el valor promedio de desgaste. Notar que el Rango de trabajo queda definido por la Ecuación 28-3.

Tabla 11-3: Cálculos preliminares del histograma

Cálculos preliminares		
X_{min}		[mm]
X_{MAX}		[mm]
n		[---]
R		[mm]
k		[---]
C		[---]

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Donde:

X_{min} : Desgaste mínimo determinado [mm]

X_{MAX} : Desgaste máximo determinado [mm]

n : Número de datos (Dientes)

R : Rango de los datos

k : Número de intervalos (número entero)

C : Ancho de intervalo

Además, se realizará un histograma para observar la incidencia por clases del daño en los dientes del engranaje de este modo se visualizará el intervalo de mayor frecuencia en el daño de los elementos. Para la construcción del histograma se requerirá de los datos de la Tabla 11-3.

$$R = X_{MAX} - X_{min} \quad \text{Ecuación 28-3}$$

$$k = 1 + 3,32 * \text{Log}(n) \quad \text{Ecuación 29-3}$$

Posterior a la obtención de los datos del histograma se realizará la tabla constructiva de este, se tendrá el número de intervalos determinado por la Ecuación 29-3, los valores mínimos, máximos y el ancho de intervalo se establecen en la Tabla 11-3. De este modo se completará la Tabla 12-3 ya con los datos constructivos del histograma es decir los de interés de los intervalos. Una vez concluida la tabla se realizará el gráfico de histograma con polígono de frecuencias.

Nótese que el valor medio de la Tabla 12-3 va a estar definido por la Ecuación 30-3 el cual se calcula mediante los límites superior e inferior de intervalo y es una medida característica del intervalo.

Tabla 12-3: Datos del histograma

Intervalo	Límite inferior	Límite superior	Valor medio	Frecuencia
1	Li_1	LS_1	xi_1	fi_1
2	Li_2	LS_2	xi_2	fi_2
3	Li_3	LS_3	xi_3	fi_3
...
k	Li_k	LS_k	xi_k	fi_k

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

$$xi_k = \frac{LS_k - Li_k}{2} \quad \text{Ecuación 30-3}$$

Donde:

Li_k : Límite inferior del intervalo k [mm]

LS_k : Límite superior del intervalo k [mm]

xi_k : Valor medio del intervalo k [mm]

fi_k : Frecuencia de intervalo k (datos dentro de intervalo) [mm]

Finalmente, con el cálculo y gráfica de una campana de Gauss se visualizará la media de los valores y el intervalo de interés con lo que se podrá comparar entre los 3 elementos tipo corona y los tres elementos tipo tornillo sin fin. Para esta esquematización se desarrolló el cálculo de la media mediante el uso de la Ecuación 31-3 y la desviación estándar mediante el uso de la Ecuación 32-3.

$$m_{cresta} = \frac{D_{cresta_1} + D_{cresta_2} + D_{cresta_3} + \dots + D_{cresta_n}}{n} \quad \text{Ecuación 31-3}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n (xi - \bar{x})^2}{n}} \quad \text{Ecuación 32-3}$$

Donde:

m_{cresta} : Media de la cresta [mm]

D_{cresta_n} : Desgaste n de la cresta [mm]

σ : Desviación estándar de los datos de desgaste [mm]

xi : Desgaste del intervalo de la cresta [mm]

\bar{x} : Media del desgaste de la cresta [mm]

La finalidad de cálculo de la media y la desviación estándar sería la construcción del gráfico de la Campana de Gauss que permitiría observar el fenómeno de desgaste de una manera ilustrativa, para este efecto es necesario por medio de la función Gaussiana plasmada en la Ecuación 33-3 asignar valores al termino variable que permitiría esta construcción de la gráfica. Cabe notar que para este desarrollo se requiere de la Ecuación 34-3 que permite el cálculo del valor más alto de la curva Gaussiana.

$$f(x) = ae^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}} \quad \text{Ecuación 33-3}$$

$$a = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad \text{Ecuación 34-3}$$

Donde:

a: Valor del punto más alto [mm]

b: Valor del centro de la campana [mm]

c: Desviación estándar [mm]

Adicional con él apoyo en los datos de desgaste mínimo y máximo del histograma se podrá realizar una aproximación correcta de la campana de Gauss que esquematizará el comportamiento a desgaste de cada dato analizado, para el proceder con la construcción final del gráfico en el rango de interés se reemplazará los datos en la fórmula y se obtendrá los datos de la Tabla 13-3 donde se plantean los datos de la campana de Gauss tanto para la cresta como para el ancho de diente de los elementos tipo corona.

Tabla 13- 3:Datos de la Campana de Gauss

Corona			
Cresta		Ancho de diente	
Segm.	D. normal	Segm.	D. normal
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Para el tornillo sin fin se realizará el mismo procedimiento de la corona para este efecto se requerirá de la construcción de la Tabla 14-3 que ubicará los datos referenciales, de daño y de desgaste del tornillo sin fin. En la tabla se deberá ubicar los datos de las espiras exteriores de la hélice con el fin de tomar los valores referenciales de los puntos sanos y combinarlos con los

puntos de las espiras que han sufrido desgaste, de ese modo se calculará el desgaste por medio de la Ecuación 35-3 para la cresta del tornillo y la Ecuación 36-3 para el ancho de hélice del tornillo.

Tabla 14-3: Datos de daño desgaste lineal del tornillo sin fin.

Tornillo sin fin						
Dato	Cresta			Ancho de hélice		
	P. sano	P. daño	Desgaste	P. sano	P. daño	Desgaste

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

$$D_{cresta} = M_{cresta_{sana}} - M_{cresta_{dañada}} \quad \text{Ecuación 35-3}$$

Donde:

D_{crest} : Desgaste de la cresta [mm]

$M_{cresta_{sana}}$: Medición de la cresta en un punto de la espira sana [mm]

$M_{cresta_{dañada}}$: Medición de la cresta en un punto de la espira dañada [mm]

$$D_{ancho} = M_{ancho_{sano}} - M_{ancho_{dañado}} \quad \text{Ecuación 36-3}$$

Donde:

D_{ancho} : Desgaste del ancho de diente [mm]

$M_{ancho_{sano}}$: Medición del ancho de la espira en un punto de la espira sana [mm]

$M_{ancho_{dañado}}$: Medición del ancho de la espira en un punto de la espira dañada [mm]

Se realizará el mismo procedimiento estadístico para la obtención del histograma, el polígono de frecuencias y la campana de Gauss.

3.5.3. Método gravimétrico y volumétrico

La aplicación de este método se la realiza con la finalidad de ponderar la pérdida de masa y volumen presente en las aristas de contacto de los elementos, para este fin se realizará estimaciones de los pesos de los elementos mediante software Solidworks y posteriormente se efectuará la selección de equipos y toma de mediciones.

3.5.3.1. Toma de mediciones

Es importante considerar la tabulación de los datos que se pretenden obtener mediante los procedimientos listados por lo que las tablas de recolección de datos tanto para el tornillo como para la corona se considerarán valores de peso y volumen calculados, adicional valores de peso medidos por un equipo tipo balanza digital y para el caso del volumétrico por recipientes que permitan la comparativa de unidades base, lo valores de cálculo permiten la selección de los equipos a usarse en el desarrollo de la etapa de medición. Posterior a ello se realiza el cálculo, desarrollo y análisis de la metodología del procesamiento de datos.

3.5.3.2. Procesamiento de datos.

Se requerirá del desarrollo para cada elemento de la Ecuación 37-3, que hace referencia a la masa perdida de cada elemento, la Ecuación 38-3 por otro lado plantea la pérdida de masa en porcentaje, estos valores deberán ser agrupados en una sola Tabla con el fin de comparar los datos que arrojarán los demás elementos de análisis.

$$m_p = m_i - m_f \quad \text{Ecuación 37-3}$$

$$\%m_p = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100\% \quad \text{Ecuación 38-3}$$

Donde:

m_p : Masa perdida [g]

m_i : Masa inicial medida [g]

m_f : Masa final medida [g]

$\%m_p$: Porcentaje de pérdida de masa.

Del mismo modo que el análisis desarrollado para la masa con los valores de volumen medido se calculará el volumen de perdida y el porcentaje del volumen de perdida el análisis hará uso de la Ecuación 39-3 y la Ecuación 40-3 respectivamente, de este modo se obtendrían de igual manera los datos tabulados para cada elemento.

$$V_p = V_i - V_f \quad \text{Ecuación 39-3}$$

$$\%V_p = \frac{V_i - V_f}{V_i} * 100\%$$

Ecuación 40-3

Donde:

V_p : Volumen perdido [mL]

V_i : Volumen inicial medido [mL]

V_f : Volumen final medido [mL]

$\%V_p$: Porcentaje de pérdida de volumen

Por motivos netamente comparativos se realizará el cálculo del volumen de pérdida mediante el uso de los datos calculados de porcentaje de masa y volumen inicial calculado de elemento planteado de este modo en la Ecuación 41-3. La Ecuación 42-3 por otro lado calcula el volumen final de los elementos.

$$V_{p_c} = \frac{\%m_p * V_{i_c}}{100}$$

Ecuación 41-3

$$V_{f_c} = V_{i_c} - V_{p_c}$$

Ecuación 42-3

Donde:

V_{p_c} : Volumen de pérdida calculado [mm^3]

V_{i_c} : Volumen inicial calculado [mm^3]

V_{f_c} : Volumen final calculado [mm^3]

3.5.3.3. *Análisis y resultados*

Este punto de la metodología pretendería el trabajo con los datos obtenidos de manera numérica teórica y experimental donde se compararían entra cada elemento común los materiales.

3.6. **Metodología para la evaluación final del material**

La evaluación final tendrá por objeto el análisis del elemento tipo corona y el tornillo sin fin el notar lo sucedido por el tratamiento y trabajo del material sobre el elemento, así se desarrollarían los puntos de análisis dentro de la metodología para la evaluación de dureza y microestructural

dentro de los cuales se ubicarían los pasos de desarrollo completo y análisis de datos obtenidos. En fin, se desarrollarían sus etapas en la jerarquía y orden que se mostraría más adelante.

3.6.1. *Evaluación de dureza.*

Al igual que el método de evaluación de dureza para el material base se considerará prácticamente los mismos pasos con un ligero cambio y donde para esta vez se iniciará por los ensayos de dureza y las probetas se analizarán mediante el esquema provisto en las subetapas enlistadas.

3.6.1.1. *Preparación de muestras*

Los puntos de interés para el estudio son los dientes con lo que se buscará la influencia que tuvo el fenómeno de desgaste en la dureza del material, y a su vez la profundidad del tratamiento térmico dentro el elemento. Prácticamente los equipos de medición para dureza no permiten un análisis específico para caracterizar la superficie de los dientes por su configuración, motivo por el cual en la preparación de probetas se realizará el desarrollo de extracción de probetas.

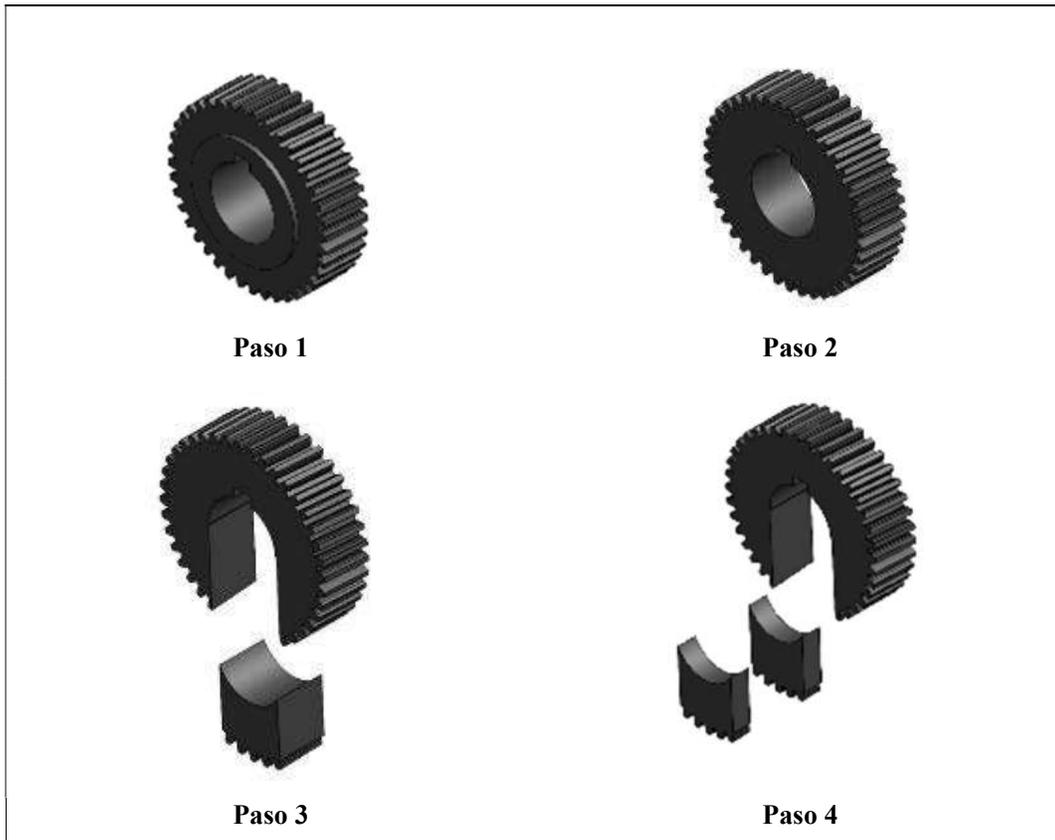


Ilustración 10-3:Preparación de probetas de corona

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Como los puntos de interés son los dientes de cada elemento se preparan las probetas de la Ilustración 10-3 para la corona donde se observarán por pasos todos y cada uno de los detalles de extracción de estas, así en el primer paso tendrá el elemento ensayado en el banco de engranajes, para con el paso 2 ser desbastado en la localización de sus cubos con la ayuda de un torno paralelo de tal manera de no sobrepasar una temperatura de 100°C, en el paso 3 se pretenderá el extraer 5 dientes mediante 2 cortes paralelos de donde estos no afecten a las aristas del engranaje haciendo uso de un equipo para preparación de muestras tipo Discotom con bajo avance de la mesa, alta velocidad del disco y alta refrigeración. Finalmente, en el cuarto paso el elemento de 5 dientes se cortará por el punto más cercano al daño por desgaste quedando como resultado 3 elementos con todas sus superficies paralelas y pulidas, haciendo uso del equipo Discotom considerando condiciones mencionadas para no exceder la temperatura de 100°C y modificar la microestructura.

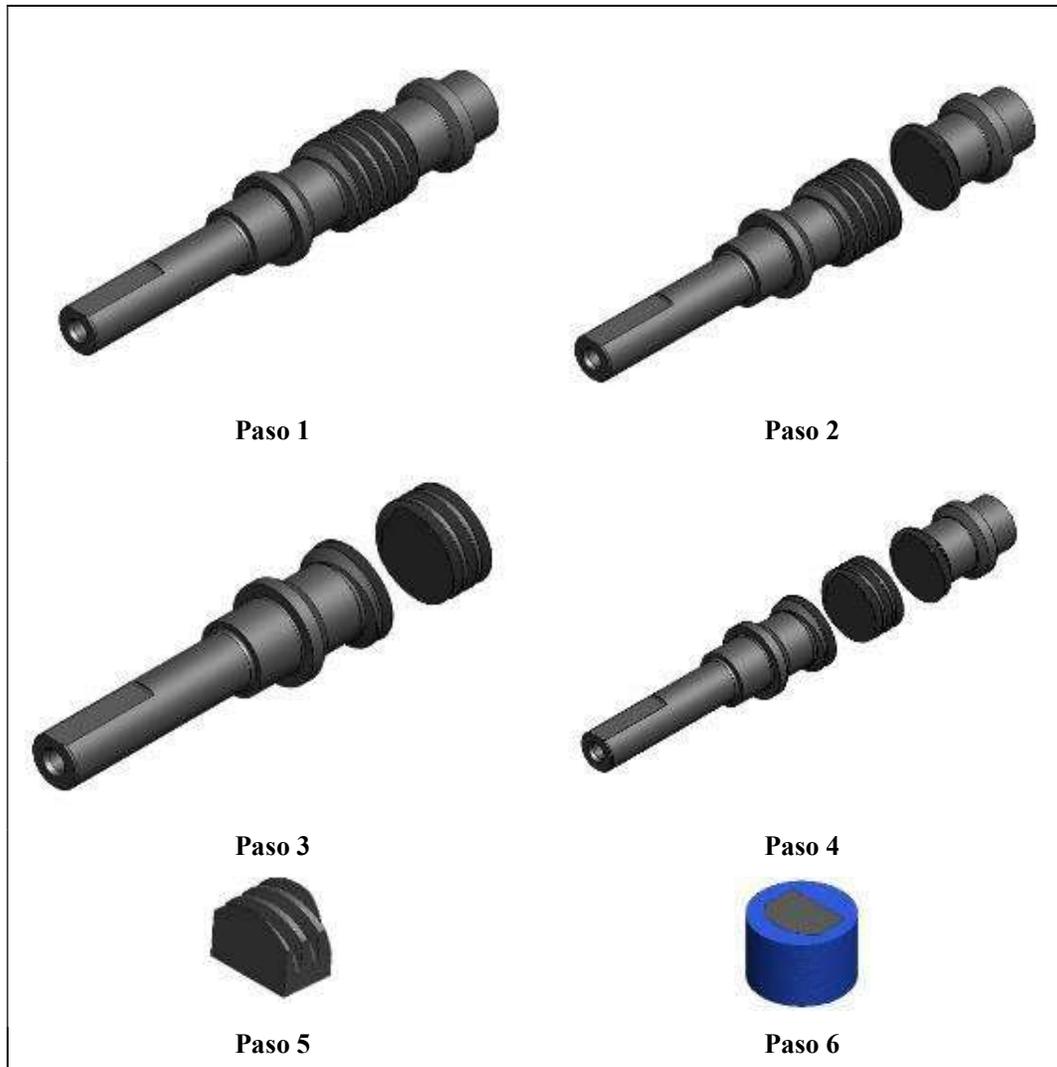


Ilustración 11-3:Preparación de probetas de tornillo sin fin.

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Ahora tratando al tornillo sin fin se preparan las probetas de la Ilustración 11-3 extraídas del tornillo sin fin donde se observarán al igual que la corona por pasos todos los detalles de extracción de las probetas, así en el primer paso tendrá el elemento ensayado en el banco de engranajes, para con el paso 2 ser cortado en uno de sus filetes de hélice de forma paralela a la misma mediante el equipo Discotom, en el paso 3 se pretenderá el extraer 3 espiras de la hélice realizando un corte de forma paralela al anterior. En el cuarto paso el elemento se encuentra dividido en tres partes por el punto más cercano al daño por desgaste quedando como resultado 3 elementos con todas sus superficies paralelas y pulidas, el paso 5 se relaciona a la extracción de un elemento de menor proporción para en el paso 6 ser montado en baquelita, para este procedimiento se realizará el uso del equipo de encapsulado en polímeros.

Además, se buscará la obtención de una superficie tipo espejo donde no se evidencien rayaduras o marcas que interfieran con la observación y resultados de evaluaciones en durómetro y microscopio. Para este efecto será importante realizar la siguiente división en el elemento. Por este motivo en la Tabla 15-3 se esquematizará el proceso de desbaste donde se ubican los tamaños de grano de las lijas a usarse y en el orden adecuado, el ángulo de orientación de pulido y la referencia en función de la probeta de trabajo.

Tabla 15-3: Orientación de desbaste de las muestras.

Desbaste				
Nº de lija	Ángulo	Referencia	Corona	Tornillo sin fin
400	0°	A		
600	90°	B		
800	180°	C		
1000	270°	D		
1200	0°	A		
1500	0°	B		
2000	90°	C		

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Al obtener una homogeneidad en el lijado se procederá con la fase de pulido de la probeta detallado en la Ilustración 2-3 y descrito en la Evaluación microestructural del material base. Así se obtendrá una superficie especular, nótese que los elementos se desplazaran del mismo modo sobre el paño de pulido, con la aplicación de polvos abrasivos u alúmina de hasta 0,04 micras y durante un tiempo de exposición al procedimiento de 5 minutos eliminando todo vestigio de daños ocasionados a la superficie en procesos de obtención de probetas desarrollados con anterioridad a este punto.

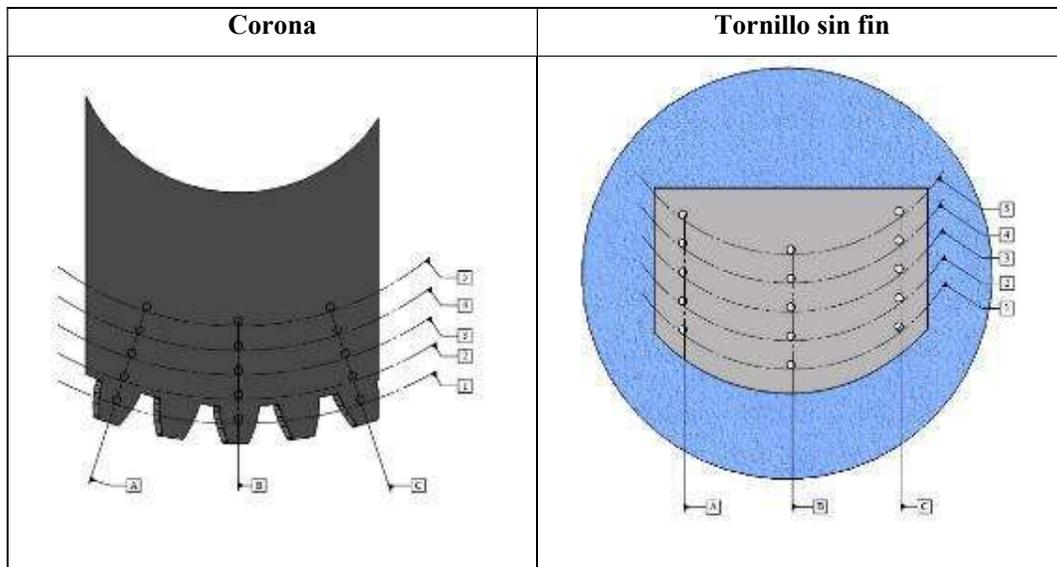
3.6.1.2. Selección de parámetros de dureza.

Este punto se desarrollará de la misma manera que para el material base. Así se muestra el procedimiento dentro de las subetapas de la evaluación del material base.

3.6.1.3. Medición de dureza y análisis.

La medición de dureza se deberá realizar con proximidad a la superficie de los dientes de la corona y hélice del tornillo sin fin e ingresando hacia el núcleo del elemento de manera consecutiva a distancias lo más iguales posibles y en línea recta con el fin de observar la penetración del tratamiento superficial. De este modo se esquematiza en la Tabla 16-3 los diagramas de indentación de los elementos donde se guiará la toma de datos para las mediciones de dureza, y se construirá la Tabla 17-3 de recolección de datos de dureza, empleada para todos los elementos.

Tabla 16-3: Diagramas de indentación de los elementos.



Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Tabla 17-3: Recolección de datos de dureza.

Medición	Columna A	Columna B	Columna C	Promedio
1				
2				
3				
4				
5				

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Finalmente, se analizarán las curvas de penetración del tratamiento superficial y se realizará una comparativa entre tratamientos.

Los resultados obtenidos deberían ser comparados con el análisis de difusión de los tratamientos por lo que se mostraría la comparativa haciendo uso de la Ecuación 43-3

$$\frac{C_s - C_x}{C_s - C_0} = \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad \text{Ecuación 43-3}$$

Donde:

C_s : Concentración superficial del gas que se difunde en la superficie

C_0 : concentración inicial uniforme del elemento sólido.

C_x : Concentración del elemento a la distancia x de la superficie en el tiempo t .

x : distancia desde la superficie

D : Coeficiente de difusión del soluto que se difunde

t : Tiempo de difusión.

Para este efecto de análisis será requerida la Ecuación 44-3 que pretendería el análisis de la profundidad de difusión.

$$1 = \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad \text{Ecuación 44-3}$$

Soluta	Disolvente (estructura de la matriz)	Capacidad de difusión (m ² /s)	
		500°C (930°F)	1000°C (1830°F)
1. Carbono	Hierro FCC	$(5 \times 10^{-15})^*$	3×10^{-11}
2. Carbono	Hierro BCC	10^{-12}	(2×10^{-9})
3. Hierro	Hierro FCC	(2×10^{-23})	2×10^{-16}
4. Hierro	Hierro BCC	10^{-20}	(3×10^{-14})
5. Níquel	Hierro FCC	10^{-23}	2×10^{-16}
6. Manganeso	Hierro FCC	(3×10^{-24})	10^{-16}
7. Zinc	Cobre	4×10^{-18}	5×10^{-13}
8. Cobre	Aluminio	4×10^{-14}	$10^{-10} M^\dagger$
9. Cobre	Cobre	10^{-18}	2×10^{-13}
10. Plata	Plata (cristalina)	10^{-17}	$10^{-12} M$
11. Plata	Plata (límite de grano)	10^{-11}	
12. Carbono	Titanio HCP	3×10^{-16}	(2×10^{-11})

Ilustración 12-3: Coeficientes de difusión superficial.

Fuente: Smith, 2004.

3.6.2. Evaluación microestructural.

Se procederá a la secuencia del proceso de evaluación microestructural del material base, tomando en consideración que la superficie especular se encuentra apta para realizar el ataque químico.

3.6.2.1. Ataque químico

Se repite el procedimiento previamente realizado para el análisis microestructural del material base, bajo la ASTM E407.

3.6.2.2. Observación y obtención de fotomicrografías

Una vez realizado el Ataque químico se montarán los elementos de análisis en el microscopio óptico y se extraerá la microestructura de los puntos de interés que serían el punto del tratamiento térmico y el del material base cerca del núcleo, de este modo se extraerán las fotomicrografías y se analizarán los resultados obtenidos.

3.7. Metodología para el análisis de costos

El cálculo de costos involucrará la relación y dependencia del costo total de manufactura en función de los costos directos e indirectos que se obtendrán producto del desarrollo del trabajo, así se realizará el análisis dentro de 3 etapas.

3.7.1. Costos directos

Los costos directos serán los que de una manera u otra deberán realizarse para la obtención del proyecto, es decir son indispensables dentro del desarrollo de este. Dentro de los productos u elementos mecánicos se los hará referencia como valores de material en bruto adquirido, procesos de manufactura, procesos de tratamiento superficial, insumos, entre otros.

De este modo se requerirá del detalle de todos y cada uno de los valores, este caso se deberá analizar desde los puntos de:

- Costo de material: hace referencia al costo de comercialización de la materia prima, establecidos al mercado local, en este caso se ve afectado por criterios y costos de producción, manufactura, importación y distribución.

- Costo de mecanizado de elementos: Una vez obtenidos los materiales e insumos para la fabricación se verá afectado específicamente por la complejidad de la tarea efectuada para la obtención de una geometría determinada, normalmente se realizará su ponderación en función de longitudes, profundidades de corte, número de pasadas, tiempos de trabajo, entre otras.
- Costo de tratamiento térmico: Hacen referencia al valor estimado por costos que involucra el realizar un tratamiento superficial, de este modo se ve afectado por el tiempo y elementos de tratamiento, el tiempo irá en función del tamaño de los elementos.

Finalmente será importante agrupar de una manera más compacta todos los valores analizados a detalle en los puntos anteriores y adjuntar los valores de insumos, así también cabe notar que se deberá aplicar el Impuesto al Valor Agregado que será del 12% en la localidad.

3.7.2. Costos indirectos

Se caracterizan por ser valores que si bien no son indispensables se verán involucrados dentro del desarrollo del proyecto, esto se deberá a la naturaleza del proyecto, estos se los agrupará y generalizará dentro de una sola Tabla de ser necesario. Será importante considerarlos, pero es irrelevante llevar detalle de estos.

3.7.3. Costos totales.

Una vez realizado el análisis de costos directos e indirectos será importante la unión de estos para poder determinar un valor total del proyecto y con ello ponderar la factibilidad de este, así como para tener referencia a futuros trabajos de este tipo.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTREPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados de la selección de materiales

4.1.1. Resultados del método tradicional y por bases de datos

El método tradicional tuvo 4 etapas por lo que se mostrará en el desarrollo del algoritmo de selección por el método tradicional los pasos a detalle que se desarrollaron.

4.1.1.1. Desarrollo del algoritmo de selección por el método tradicional.

El algoritmo presentó 4 etapas donde cada una desglosó subetapas y se muestran a continuación.

Delimitación de aplicación.

Los materiales de búsqueda serán destinados a la aplicación de engranajes de una transmisión de potencia de tipo Corona y Tornillo sin fin. La Tabla 1-4 muestra las características que se necesitaron para la selección propias de la aplicación a tratarse por lo que se cayó en datos de relación de transmisión, potencia, velocidad de entrada, tipo de carga, modulo y sistema de unidades.

Tabla 1-4: Características de la aplicación.

Relación de transmisión	1:40
Potencia de transmisión	0,5 hp
Velocidad de entrada	1720 RPM
Tipo de carga	Constante
Módulo	1,5 mm
Sistema	Internacional

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Delimitación de las propiedades físicas del material.

Al considerar la Tabla 2-4 se incidió en la consideración de datos propios del material por lo que se muestra la dureza, la posibilidad de tratamiento térmico, el tipo de material y las características del núcleo del elemento dadas por condiciones del material.

Tabla 2-4: Propiedades físicas de material.

	Corona	Tornillo sin fin
Tipo de material	Aleación metálica	Aleación metálica
Posibilidad de tratamiento	Si	Si
Dureza (HRC)	30	40
Núcleo	Tenaz	Tenaz

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Delimitación de los criterios de selección

Como subetapa final se delimitó la selección del material a los parámetros de costo, durabilidad, resistencia a desgaste, disponibilidad comercial. Pasando con este y los parámetros anteriores a la etapa de búsqueda.

Búsqueda de aplicaciones y materiales

Tabla 3-4: Materiales y aplicaciones semejantes

Corona		Tornillo sin fin	
Material	Aplicaciones	Material	Aplicaciones
Bronce al aluminio AB-2	Coronas, piñonera, bujes, cajas reductoras (contacto con aceros de alta dureza y lubricación forzada).	S45C/ AISI 1045	Árboles, bielas, chavetas, tornillos sin fin, engranajes de baja velocidad
AISI 7210	Piñones, ejes estriados, cigüeñales, engranajes, cojinetes, pines, etc.	AISI 4140	Engranajes de temple/llama, inducción, nitruración), taladros, brocas, ejes de reductores.
Bronce al estaño SAE 65	Bujes, coronas, piñones, impulsores, rodetes (Requerimiento de excelentes condiciones de lubricación)	AISI 4340	Cardanes, cigüeñales, engranajes de temple/llama, inducción, nitruración), mandriles, tornillería de alta resistencia.

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Dentro de la etapa de búsqueda de aplicaciones y materiales semejantes, comercialmente disponibles se tiene la lista de la Tabla 3-4 donde se muestran varias opciones para la corona y para el tornillo sin fin.

Aproximación

Como es posible evidenciar los materiales que se presentaron son comercialmente disponibles al mercado, pero se los deberá analizar de acuerdo con su aplicabilidad, costos, propiedades y prestaciones. Para la corona se presentaron 3 materiales dentro de los cuales serían descartables los 2 bronce porque comercialmente hablando el bronce es mucho más costoso que un acero y se busca que el modelo sea competitivo por lo que la mejor opción sería usar un material AISI 7210, ahora por fines comerciales es distribuido en la marca Bohler bajo la descripción de E410 y brinda prestaciones para ser endurecible superficialmente y para las pruebas y búsqueda de mejor opción se llevará a cabo con 3 tratamientos térmicos diferentes que permitan evidenciar una diferencia en función a desgaste. Por otro lado, el tornillo sin fin presenta 3 aceros como opción donde el AISI 1045 no sería viable por ser un acero para elementos tipo engranaje para baja velocidad ya que el tornillo al estar al contacto con la corona tendrán gran diferencia, de entre el acero AISI 4140 y AISI 4340 se selecciona el segundo debido a que el rango de dureza es más amplio y los requerimientos del elemento se encuentra en 30HRc equivalente a 285HB, además al igual que el elemento seleccionado para el tornillo sin fin este admite varios modos de tratamiento térmico por lo que se efectuaran sobre el mismo 3 diferentes.

Resultados

Para el planteamiento de resultados se fue necesaria la construcción de la Tabla 4-4 con la finalidad de mostrar los resultados de la pareja 1, 2 y 3 respectivamente, dentro de la cual se detalla de una manera breve tanto para la corona como para el tornillo sin fin, el material, la descripción del material, el fabricante, el país de origen del material, el tratamiento superficial estimado para los elementos, así como el costo del material. Los resultados fueron arrojados tras la experiencia y las descripciones presentadas por fabricantes y distribuidores de aceros a nivel nacional, es importante considerar que los materiales que se seleccionaron tanto para la corona como el tornillo sin fin a su vez fueron arrojados por bases de datos establecidas por las mismas empresas que distribuyen este tipo de insumos en el mercado nacional o sus marcas. Así las tablas se encargan de describir parámetros importantes, en el Anexo F se encuentran las características del AISI 4340 y en el Anexo G las del AISI 7210. Estos materiales comúnmente usados para la producción de elementos de maquinas a nivel nacional y tienen un costo accesible al consumidor.

Tabla 4-4: Material de las parejas de engranajes.

	Corona	Tornillo sin fin
Pareja 1		
Material	E410/AISI 7210	AISI 4340
Descripción	Acero para cementación	Acero bonificado para
Fabricante	Bohler	Bohler
Origen	Suecia	Suecia
Tratamiento	Temple al aceite	Temple al aceite
Costo (USD/kg)	4,87	13,50
Pareja 2		
Material	E410/AISI 7210	AISI 4340
Descripción	Acero para cementación	Acero bonificado para
Fabricante	Bohler	Bohler
Origen	Suecia	Suecia
Tratamiento	Cementación	Cementación
Costo (USD/kg)	4,87	13,50
Pareja 3		
Material	E410/AISI 7210	AISI 4340
Descripción	Acero para cementación	Acero bonificado para
Fabricante	Bohler	Bohler
Origen	Suecia	Suecia
Tratamiento	Carbonitruración	Carbonitruración
Costo (USD/kg)	4,87	13,50

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

4.1.2. *Resultados del método gráfico*

Inicialmente el método de manera análoga al método tradicional hizo uso de los parámetros de entrada ya que los datos no difieren debido a la aplicación y al tipo de material buscado, de modo que se obtuvo como producto de la selección por el método gráfico por el software CES Edupack para la Corona el uso de aceros de la serie 72XX mientras que para el tornillo sin fin el uso de los aceros de la serie 43XX. Así se puede notar una coincidencia entre los dos métodos ya que en el tradicional se dio los aceros comercialmente distribuidos en el país mientras que el software determino la serie a la que muy probable se puede aplicar.

La Ilustración 1-4, muestra el método gráfico por el cual recaen las propiedades de los materiales cuyo parámetro de enfoque es la dureza, siendo complementado por parámetros de densidad, módulo de Young, elongación entre otras características de los materiales, y útiles dentro de la aplicación.

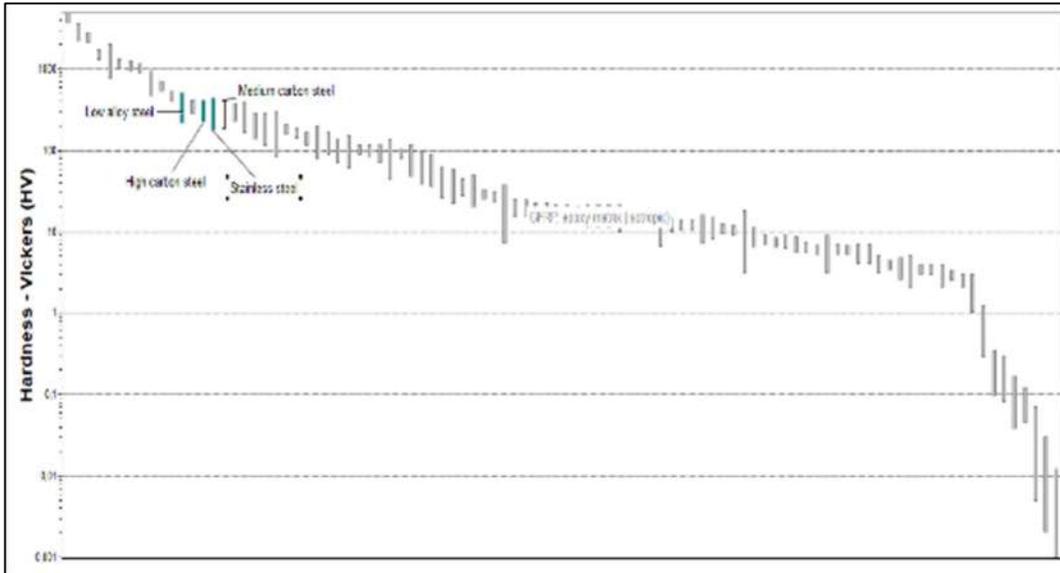


Ilustración 1-4: Selección por el método gráfico

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Es importante considerar los parámetros de análisis en los sistemas de unidades que considera el software así muestra los pasos de selección por el método gráfico el Anexo E.

4.2. Resultados de la evaluación del material base.

El material base fue analizado con fines de conocimiento de sus propiedades, de este modo se procedió con la metodología desarrollada en las dos etapas que se presentan más adelante.

4.2.1. Resultado de la evaluación microestructural

De acuerdo con la metodología correspondiente se obtuvo el desarrollo de la evaluación microestructural que se muestra a continuación en cada uno de sus pasos de detalle.

4.2.1.1. Muestra para análisis microestructural

Las muestras tomadas para el análisis microestructural se extrajeron de la sección transversal (F) de los ejes AISI 7210 y AISI 4340 según la Ilustración 2-3, así se muestran en la Tabla 5-4 cada probeta de análisis en correspondencia al material de trabajo, para este efecto hubo la necesidad de preparar las muestras mediante arranque de viruta por torneado donde se efectuó un desbastado y afinado cilíndrico. Además de la ayuda de un corte por sierra manual lubricado con el fin de obtener la microestructura sin alteraciones.

Tabla 5-4: Muestras del material base.

	AISI 7210	AISI 4340
Muestra		

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

4.2.1.2. *Preparación para análisis metalográfico.*

Como producto de la etapa de preparación se tuvo una superficie sin muestras de daños por rayadura que afectaran al análisis microestructural por lo que se apreció una superficie desbastada y posteriormente pulida u especular como las que se muestran en la Tabla 6-4, esto permitió pasar a la tercera etapa del procedimiento establecido en el Capítulo III.

Tabla 6-4: Superficie especular de las muestras.

	AISI 7210	AISI 4340
Superficie de la muestra	 	 

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Cabe notar que la secuencia establecida en el Capítulo III es muy importante ya que permitió llegar de manera correcta a los resultados, fue de utilidad observar que entre cada papel abrasivo se borren las líneas de abrasión dejadas por el anterior. A propósito, las líneas se deben mostrar en un solo sentido.

4.2.1.3. Ataque químico

El ataque químico del material fue realizado con la selección de las consideraciones establecidas en la Tabla 7-4 tomadas de la Tabla 1 y Tabla 2 de la normativa ASTM E407 donde el ataque recomendable es por medio del uso de Nital durante unos segundos hasta un minuto, lo más recomendable para los dos tipos de acero AISI 7210 y el AISI 4340 fue mantener por lo menos 5 segundos bajo el ataque del compuesto, para finalmente disipar su efecto mediante la limpieza con agua.

Tabla 7-4: Selección del revelador microestructural.

Selección de la tabla 1		
Metal	Revelador	Usos
Fe + C y Fe + <C + <4% Adicionales	74 a	Estructura general
Selección de la tabla 2		
Revelador	Composición	Procedimiento
74	1-5 mL HNO ₃ 100 mL Etanol (95%) o metanol (95%)	La tasa de revelado aumenta y la sensibilidad disminuye al incrementar el porcentaje de ácido nítrico. (a) Sumergir de unos segundos a un minuto.

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Tabla 8-4: Superficie atacada de las muestras.

	AISI 7210	AISI 4340
Superficie atacada de las muestras		

Fuente: Chávez, Carlos, 2022

Finalmente se mostró la superficie atacada químicamente para el AISI 7210 y el AISI 4340 en la Tabla 8-4, de este modo fue posible el montaje en el microscopio de los elementos.

4.2.1.4. Extracción de fotomicrografías.

Para concluir con el procedimiento se montaron los elementos en el microscopio y se extrajeron las fotomicrografías de la Ilustración 1-4 donde se visualiza como primer resultado la fotomicrografía del AISI 7210, seguida de la del AISI 4340.

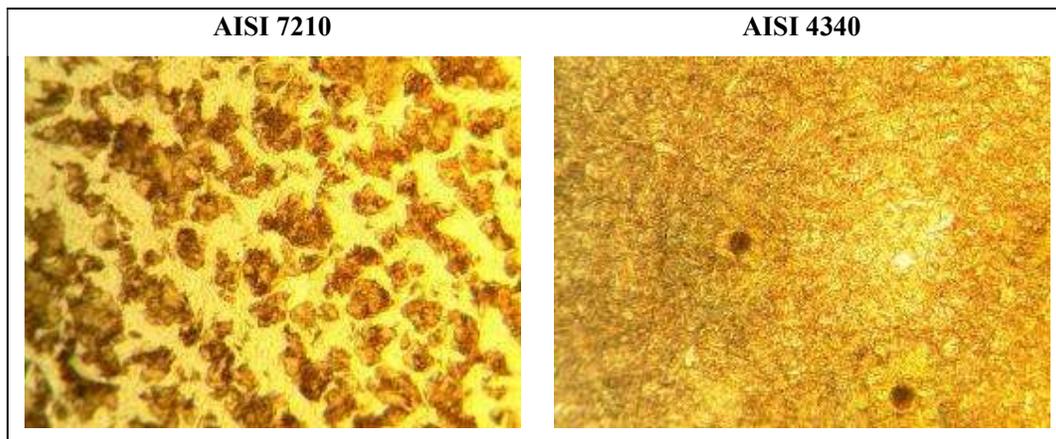


Ilustración 2-4: Fotomicrografías del AISI 4340 y del AISI 7210.

Fuente: Chávez, Carlos, 2022

Las fotomicrografías extraídas de los elementos tipo corona y tornillo sin fin con la ayuda de un microscopio óptico, y su cámara haciendo uso del software Toup view se observan en la ilustración anterior donde se evidencia materiales sin modificación alguna en su estructura así, el AISI 7210 se caracteriza por ser un acero con 0,15% de carbono, al ser obtenido de un enfriamiento lento, se observa las fases de hierro α (fase blanca) y una fase de perlita (fase negra) que puede obtener en una proporción similar, normalmente conocida la microestructura como islas de perlita aisladas en un mar de ferrita, esta fase se obtiene desde una temperatura de 724 °C y se mantiene prácticamente invariable hasta llegar a temperatura ambiente. Por otro lado, el AISI 4340 es un acero al molibdeno más cromo y níquel con un rango de 0,35-0,40% de carbono el cual se caracteriza por presentar un alto porcentaje de perlita (hierro α + cementita) rodeada de una red delgada de cementita (Keyser, 1985).

En el Anexo H se muestra el procedimiento para la extracción de las fotomicrografías de los elementos tipo probeta extraídos del material en bruto y revelados mediante el uso del microscopio óptico.

4.2.2. Resultados de la evaluación de dureza

Bajo la metodología establecida para las evaluaciones del material base se ensayaron los mismos elementos previamente obtenidos para la evaluación de microestructura. Por lo que se siguió las 3 etapas presentadas posteriormente.

4.2.2.1. Preparación para el análisis de dureza

Como se recuerda se estableció que la superficie de análisis fuera nuevamente pulida quedando de la manera que se muestra en la Tabla 6-4.

4.2.2.2. Selección de parámetros de dureza

Es importante notar que la dureza tanto del AISI 7210 como del AISI 4340 oscila de entre los intervalos de 15 a 32 y 28 a 35 Rockwell C respectivamente en estado nuevo y sin tratamiento por lo que se selecciona el análisis de dureza en la escala Rockwell C ya que el tratamiento aumentará significativamente la dureza pero no sobrepasará la escala, para esto se obtienen los parámetros de medición de la Tabla 9-4 que van acorde con el material de análisis y con la norma para dureza Rockwell ASTM E-18.

Tabla 9-4: Parámetros de escala Rockwell C

Escala	Indentador	Carga mayor [kg]	Aplicaciones
C	Diamante	150	Aceros tratados térmicamente

Fuente: Chávez, Carlos, 2022

4.2.2.3. Medición de dureza y análisis

Respetando el orden de medición y los parámetros establecidos en el Capítulo III se tienen los resultados de la Tabla 10-4 donde se ubican los elementos de análisis, las mediciones, el promedio calculado por medio de la Ecuación 1-3, y la dureza nominal de catálogo. De esto se tiene conocimiento de la propiedad de dureza del material.

Si bien el material base para la construcción de los elementos tipo corona (AISI 7210) y tornillo sin fin (AISI 4340) no entran dentro del rango de dureza nominal y superan a la misma se procedió a trabajar con estos ya que son comercializados en el país, la variación de dureza puede deberse a que hay un margen dentro del cual se trabaja superior a la dureza nominal. Con estas

características se continuó con la determinación de las ventajas a desgaste por parte de los materiales.

Tabla 10-4: Resultado de mediciones de dureza.

Medición	AISI 7210	AISI 4340
Elementos		
1	47,5 HRc	50,5 HRc
2	47,6 HRc	50,9 HRc
3	47,5 HRc	50,6 HRc
4	47,5 HRc	50,8 HRc
5	47,7 HRc	51,9 HRc
Promedio:	47,56 HRc	50,94 HRc
Dureza nominal:	15-32 HRc	28-35 HRc

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

$$H_{promedio} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_5}{5} = \frac{47,5 + 47,6 + 47,5 + 47,5 + 47,7}{5} = 47,56HRc$$

Es importante tomar en consideración que el procedimiento de realización se adjuntó en el Anexo I donde se muestra el desarrollo de las mediciones de dureza Rockwell para el material base.

4.3. Resultados de definición de parámetros constructivos.

A continuación, se presentarán los resultados útiles para la construcción de los elementos, todos los datos fueron mostrados y los resultados se los plantea como anexos en forma de hojas de procesos para mecanizado y adicional los planos de detalle de los elementos.

4.3.1. Parámetros de diseño

La Tabla 11-4 fue construida mediante el uso de los datos que se tomaron del diseño del banco de engranajes. Los cuales básicamente están ligados a las características definidas por el diseño del equipo, de este modo fueron ubicados los datos acordes a la Ilustración 5-3 donde se los clasifica por dos grandes grupos, el de datos generales donde se ubican los datos comunes de los elementos del reductor y los datos específicos donde se presentan los datos focalizados al tornillo sin fin y a la corona.

Tabla 11-4: Parámetros de diseño

Datos generales		
Tipo de transmisión	Corona – Tornillo sin fin	
Potencia	0,5 hp	
Relación de transmisión	1:40	
Distancia entre centros	42mm	
Módulo	1,5mm	
Datos específicos		
Parámetros	Tornillo Sin fin	Corona
Número de hélices	1	---
Número de dientes	---	40
Ángulo de presión	---	20°

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

4.3.2. Dimensiones de los elementos

Con los datos de la Tabla 11-4 se calculan y completan los parámetros requeridos por la Tabla 12-4 donde se encuentran las dimensiones que serán útiles al desarrollo de planos de detalle.

Tabla 12-4: Dimensiones de los elementos.

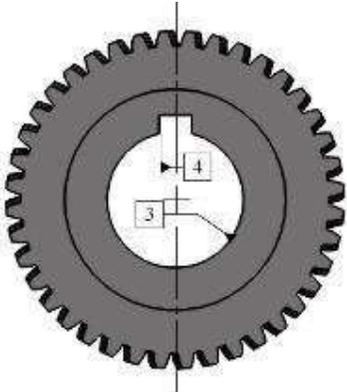
Parámetros	Tornillo sin fin	Corona
Módulo axial	1,5mm	---
Módulo normal	1,497mm	1,497mm
Módulo circunferencial	24,002mm	1,5mm
Paso axial	4,712mm	---
Paso normal	4,703mm	4,703mm
Paso circunferencial	75,399mm	4,712mm
Diámetro primitivo	24mm	60mm
Ángulo de hélice	$\beta_1 = 86,424^\circ$	$\beta_2 = 3,576^\circ$
Paso de la hélice	4,712 mm	3016,212 mm
Número de dientes	1 hilera	60 dientes
Addendum	1,5 mm	1,5 mm
Dedendum	1,736 mm	1,736 mm
Profundidad total	3,236 mm	3,236 mm
Holgura	0,236 mm	0,236 mm
Diámetro exterior	27 mm	63 mm
Diámetro de raíz	56,528 mm	20,528 mm
Ancho de la corona	---	16,125 mm
Longitud del sin fin	28,272 mm	---

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

4.3.3. Tolerancias dimensionales y geométricas

Continuando con los pasos establecidos por la metodología se designó las tolerancias en la Tabla 13-4 donde se tomó a consideración dos puntos en cada elemento que requieren de ellas por su naturaleza, para ello se hizo uso de las sugerencias establecida por el autor N. Larburu y de acuerdo con la normativa ISO, así se obtuvo los datos de orden de tolerancia según los diagramas, donde se realizó la descripción del sitio de tolerancia, tipo de tolerancia buscada, dimensión nominal acorde a los elementos complementarios, tipo de ajuste y finalmente las tolerancias máximas y mínimas de los elementos. Es importante el tomar en consideración que los elementos donde se presentó una tolerancia de tipo dimensional específicamente fueron en los puntos donde otros elementos van montados.

Tabla 13-4: Designación de tolerancias dimensionales y geométricas.

	Tornillo sin fin		Corona	
Punto de tolerancia				
Orden	1	2	3	4
Descripción	Alojamiento de rodamiento	Alojamiento de rodamiento	Alojamiento de Eje	Alojamiento de chaveta
Tipo de tolerancia	Agujero único	Agujero único	Eje único	---
Dimensión nominal	20	20	25	6
Tipo de ajuste	Forzado duro (h6 N7)	Forzado duro (h6 N7)	Forzado medio (h6 K7)	Deslizante
Tolerancia máxima[micras]	0	0	0	5
Tolerancia mínima [micras]	-13	-13	-13	-15

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

4.3.4. *Proceso de mecanizado*

Siguiendo con la metodología del proceso de mecanizado establecida en la Ilustración 7-3 se establecieron los puntos de trabajo que se mostrarán más adelante. El proceso quedó subdividido en 5 etapas donde se inicia por la definición de parámetros iniciales.

4.3.4.1. *Definición de parámetros iniciales.*

La primera etapa del proceso de mecanizado se enfoca en los parámetros iniciales, que involucran específicamente el material de trabajo por lo que es importante la recopilación de los datos definidos en la Tabla 14-4, donde se resume los datos tanto para el material de la corona como del tornillo sin fin.

Tabla 14-4: Parámetros de partida.

Parámetros	Corona	Tornillo sin fin
Material	AISI 7210	AISI 4340
Dureza [HB]	200-300	270-330
Diámetro bruto[mm]	65	28
Longitud bruta [mm]	210	70
Peso bruto [kg]	1,823	0,991
Peso neto [kg]	0,322	0,366

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Los datos recabados serán utilizados juntamente con los de la etapa 2 dentro de la tercera etapa que se denomina la selección de parámetros de corte, siendo aplicables a los procesos de manufactura por arranque de viruta.

4.3.4.2. *División del proceso de mecanizado*

En la segunda etapa del proceso de mecanizado fue importante tomar en cuenta las perspectivas desde el punto de vista del producto final y el punto de vista del material en bruto por lo que se proyectan las fases, subfases y operaciones para obtener el producto terminado. En la Ilustración 3-4 se plantea la jerarquía de operaciones de mecanizado para la corona donde va a estar definido el proceso de acción de las maquinas herramientas que permitirán el trabajo por arranque de viruta del elemento. Es importante la consideración que para los tres elementos tipo corona el trabajo de mecanizado básicamente fue el mismo por lo que solo se estableció un cambio notable en la parte desarrollada para el tratamiento térmico superficial ya que solo en ese punto hay una variación relevante.

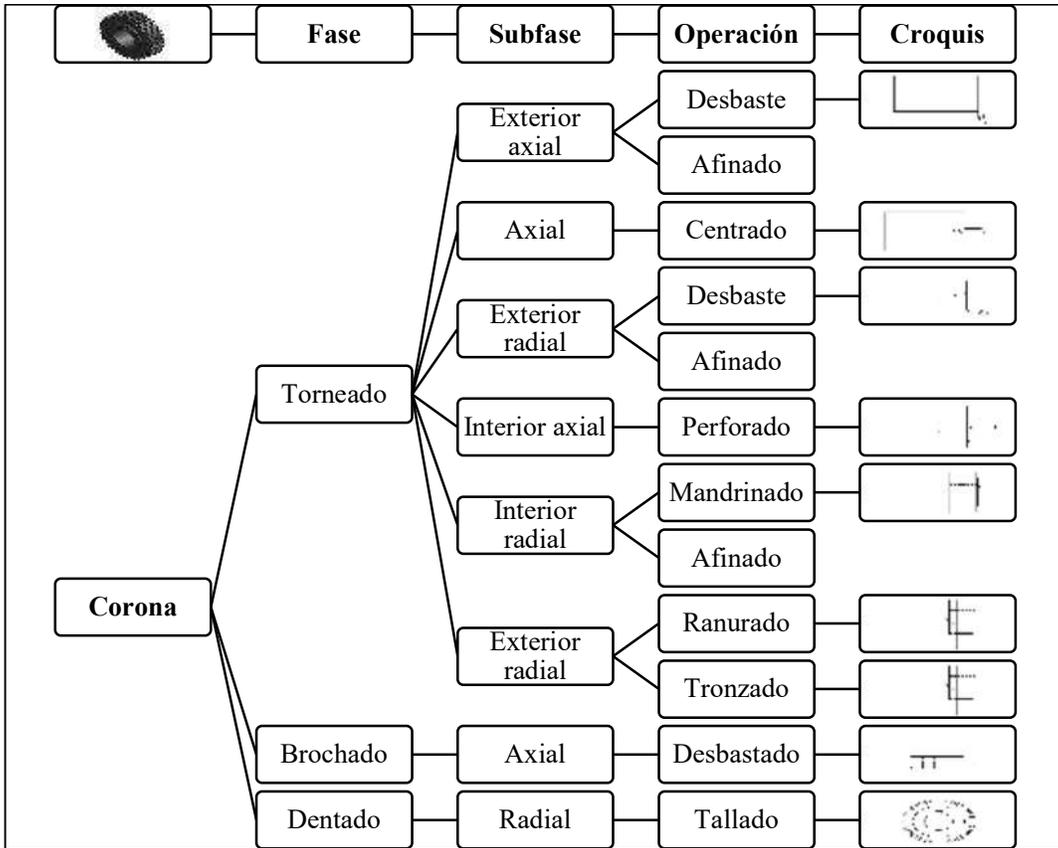


Ilustración 3-4: Jerarquía de operaciones de mecanizado para la corona.

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

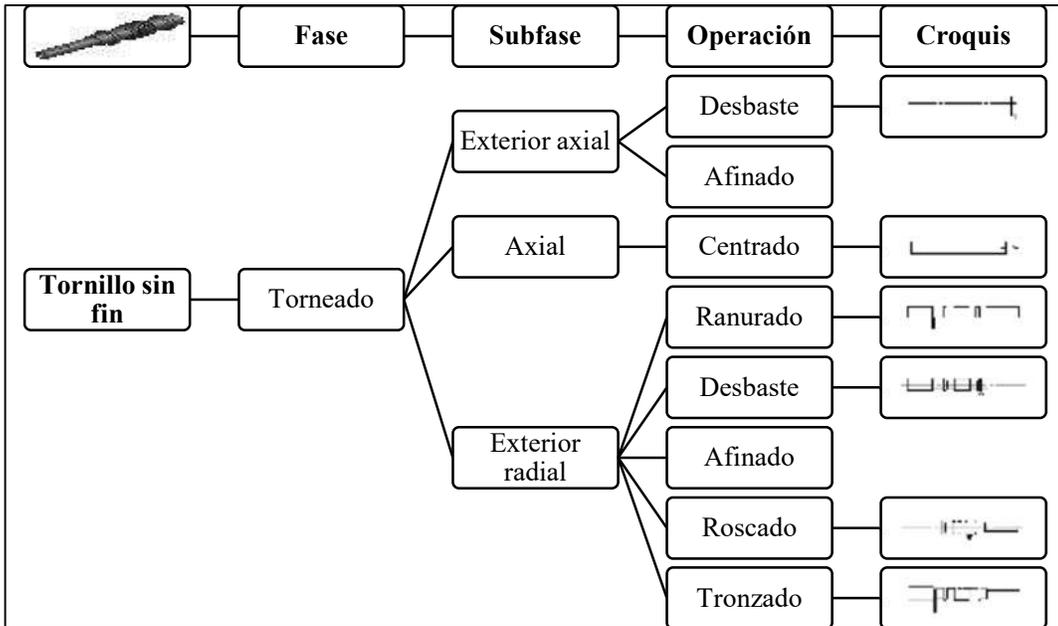


Ilustración 4-4: Jerarquía de operaciones de mecanizado para el tornillo sin fin.

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Así también de la misma manera fue realizado y planteado para el elemento tipo tornillo sin fin mediante la Ilustración 4-4 donde se presentó la jerarquía de operaciones de mecanizado para el tornillo sin fin.

Es importante notar que la definición del proceso de manufactura irá en función de la experiencia del técnico encargado de la construcción de los elementos de este modo será importante considerar las observaciones realizadas por este, aunque en bibliografía también es posible encontrar varias sugerencias es un método viable considerando además las características de las máquinas herramientas.

4.3.4.3. Selección de parámetros de corte

La etapa 4 del proceso de mecanizado inicio por referirse al Anexo A donde se extrajo las opciones de selección para corte con placas de metal duro fijadas mecánicamente, en el material acero aleado tratado que permiten el trabajo con durezas de entre 325 a 450 HB de este modo fue que se seleccionaron velocidades de avance y corte para cada operación (Larburu, 1989).

A continuación, se mostrará la Tabla 15-4, donde se estableció la selección para el refrentado de la corona donde a manera de ejemplo se encuentra el proceso de selección de parámetros de corte del refrentado, el cual será realizado para cada operación de los procesos de manufactura para la corona y el tornillo sin fin. Para este efecto se hizo uso de la Ecuación 3-2 y la Ecuación 4-2 correspondientes al cálculo de la profundidad de pasada y de número de pasadas, así se muestra adelante.

Nótese que de acuerdo con la herramienta de uso y la dureza del material se puede tomar valores tabulados para avance y velocidad de corte, la profundidad de corte va en función del avance y el número de pasadas en función de los diámetros inicial y final y de la profundidad de pasada calculada, adicional las velocidades de corte tabuladas están dadas para operaciones de acabado por lo que si se requiere de otras operaciones se deberá considerar un factor de velocidad de corte. Además, para operaciones de taladro se realiza la selección de datos de la tabla establecida en el Anexo C.

$$P_p = 5 * s = 5 * 0,4 = 2 [mm]$$

$$\#_p = \frac{L_0 - L_f}{p_p} = \frac{70[mm] - 68,2[mm]}{1[mm]} = 1,8 \rightarrow 2$$

Tabla 15-4: Selección para el refrentado de la corona.

Selección para refrentado de la corona			
Tipo de herramienta	Plaquetas de metal duro fijadas mecánicamente	Avance [mm/rev]	0,4
Dureza	325 a 450 HB	Velocidad de corte [m/min]	60
Profundidad de pasada [mm]	1	Número de pasadas	1
Diámetro inicial [mm]	70	Diámetro final [mm]	68
Factor	0,7		

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Siguiendo el procedimiento del ejemplo para el refrentado de la corona se construyeron la Tabla 16-4 donde se realizó la selección de parámetros de corte para la corona y la Tabla 17-4 en cambio para el tornillo sin fin, en estas tablas se establecen los datos seleccionados-correspondientes a los parámetros de corte iniciales que permitirán el mecanizado cálculo de parámetros adicionales de corte. Las tablas recopilaron y clasificaron la información de acuerdo a cada operación de mecanizado analizada, de este modo se observa el orden de fases, subfases y operaciones establecidas en la Ilustración 3-4 y la Ilustración 4-4 para la corona y tornillo sin fin respectivamente, así también para cada operación se ubica un factor que afecta de manera directa a la velocidad de corte en dependencia del tipo de operación de mecanizado tratada, este parámetro de manera conjunta al avance y la velocidad de corte nominal son valores tabulados y con ellos se hace posible la corrección de la velocidad de corte donde se multiplica el factor de operación con la velocidad de corte nominal. La profundidad de pasada se calcula por fórmula donde el valor va a ser igual a 5 valores de avance, además de tabularse los valores de medida inicial y final para proceder con el cálculo del número de pasadas.

Por otro lado, para la selección de refrigerantes usualmente en un trabajo de torneado se usa taladrina, para un proceso de brochado se emplea aceite mineral azufrado, así como para operaciones de fresado. Dentro de los Útiles de trabajo más comunes para piezas cilíndricas en torno se trabaja con el mandril universal, herramientas, portaherramientas y para ciertas operaciones un contrapunto, un mandril portabrocas y una luneta. Al mencionar herramientas de trabajo lo común son las llaves de mandril universal, llaves de portabrocas, portaherramientas y

para control se encontrarán un calibrador pie de rey, un micrómetro y un goniómetro. Esto fue planteado de manera específica para cada operación dentro de las hojas de procesos.

Tabla 16-4: Selección de parámetros de corte (Corona)

Fase	Subfase	Operación	Factor	Avance	Velocidad de corte		Profundidad de pasada	Dimensión		Número de pasadas
			---	[mm/rev]	Nominal [m/min]	Corregida [m/min]	[mm]	Inicial [mm]	Final [mm]	
Torneado	Exterior axial	Desbaste	0,7	0,4	60	42	2	70	68	1
		Afinado	1	0,2	180	180	1	68	67	1
	Axial	Centrado	1	0,2	16	16	1	0	8	1
	Exterior radial	Desbaste	0,7	0,4	60	42	2	65	64	1
		Afinado	1	0,2	180	180	1	64	63	1
	Interior axial	Perforado	1	0,06	16	16	20	0	3	1
			1	0,2	16	16	20	3	6	1
			1	0,2	16	16	20	6	9	1
			1	0,2	16	16	20	9	12	1
			1	0,2	16	16	20	12	15	1
			1	0,2	16	16	20	15	18	1
			12	0,2	16	16	20	18	21	1
	Interior radial	Mandrinado	0,6	0,4	60	42	2	21	24	2
		Afinado	1	0,2	180	180	1	24	25	1
	Exterior radial	Ranurado	0,6	0,2	180	108	10	65	45	3
Tronzado		0,6	0,2	180	108	9,25	45	25,5	1	
Brochado	Axial	Desbastado	1	---	3	3	---	0	3,236	1
Dentado	Radial	Tallado	1	---	14	14	3,236	0	30	40

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

El proceso de selección de herramientas fue dado por medio de la página de machiningcloud.com donde se basó en el procedimiento del Anexo J para la selección de herramientas, esta página se caracteriza por ser una aplicación en la nube donde se permite el extraer características provistas

por fabricantes y distribuidores de herramientas agilizando el proceso de selección y uso adecuado de los elementos, así se permite el conocimiento profundo de las herramientas y sus capacidades en relación con su aplicación y por medio de la misma página se las podría adquirir estas.

Tabla 17-4: Selección de parámetros de corte (Tornillo sin fin)⁹

Fase	Subfase	Operación	Factor	Avance	Velocidad de corte		Profundidad de pasada	Diámetro		Número de pasadas
			---	[mm/rev]	Nominal [m/min]	Corregida [m/min]	[mm]	Inicial [mm]	Final [mm]	
Torneado	Exterior axial	Desbaste	0,7	0,4	60	42	2	210	208	1
		Afinado	1	0,2	180	180	1	208	207	1
	Axial	Centrado	0,3	2	25	7,5	---	0	8	1
	Exterior radial	Ranurado	0,6	0,2	180	108	4	28	21	20
		Desbaste	0,7	0,4	60	42	2	28	21	1
		Afinado	1	0,2	180	180	1	27	20	1
		Roscado	0,1	0,4	60	6	2	27	20,528	2
		Tronzado	0,6	0,2	180	108	---	20	1	1

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

4.3.4.4. Cálculo de parámetros dependientes.

Los parámetros calculados en la presente etapa tuvieron relación con los de la etapa anterior del proceso de mecanizado y requieren de los valores de la Tabla 16-4 y la Tabla 17-4 para su cálculo por lo que fue necesario aplicar las fórmulas para velocidad angular del mandril y tiempo de corte establecidas en el Capítulo II en la Ecuación 1-2 y la Ecuación 2-2 respectivamente. Para ejemplificar se realizaron los cálculos de la operación de refrentado de la corona mostrados a continuación.

$$n = \frac{1000 * v}{d * \pi} = \frac{1000 * 42}{65 * \pi} = 205,677 \text{ RPM} \rightarrow 200 \text{ RPM}$$

$$T_c = \frac{l * \pi * d * N}{s * 1000 * v} = \frac{32,5[mm] * \pi * 65[mm] * 1}{0,4[\frac{mm}{rev}] * 1000 * 42[m/min]} = 0,263min$$

El procedimiento fue realizado de la misma manera para las demás operaciones por lo que los cálculos se resumieron para la corona en la Tabla 18-4 y para el tornillo sin fin en la Tabla 19-4.

Tabla 18-4: Cálculo de parámetros de corte dependientes (Corona).

Fase	Subfase	Operación	Díámetro	Longitud	Velocidad angular		Tiempo
			[mm]	[mm]	Calculada [R.P.M.]	Corregida [R.P.M.]	[min]
Torneado	Exterior axial	Desbaste	65	32,5	205,68	300	0,40
		Afinado	65	32,5	881,47	1255	0,18
	Axial	Centrado	8	10	298,42	300	0,02
	Exterior radial	Desbaste	65	25	205,68	300	0,30
		Afinado	63,2	25	906,58	1255	0,14
	Interior axial	Perforado	3	25	1697,65	2000	0,25
			6	25	848,83	1255	0,15
			9	25	565,88	755	0,22
			12	25	424,41	460	0,29
			15	25	339,53	460	0,37
			18	25	282,94	300	0,44
			21	25	242,52	300	0,52
	Interior radial	Mandrinado	21	24	545,88	755	0,23
		Afinado	24	25	2387,32	2000	0,05
	Exterior radial	Ranurado	65	10	528,88	755	0,28
Tronzado		45	9,25	763,94	755	0,06	
Brochado	Axial	Desbastado	10	20	---	---	3,5
Dentado	Radial	Tallado	30	31,125	127,32	190	84,45

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Tabla 19-4: Cálculo de parámetros de corte dependientes (Tornillo sin fin).

Fase	Subfase	Operación	Diámetro	Longitud	Velocidad angular		Tiempo
			[mm]	[mm]	Calculada [R.P.M.]	Corregida [R.P.M.]	[min]
Torneado	Exterior axial	Desbaste	28	32,5	477,46	755	0,17
		Afinado	28	32,5	2046,28	2000	0,08
	Axial	Centrado	8	10	298,42	300	0,02
	Exterior radial	Ranurado	28	25	1227,77	460	2,04
		Desbaste	28	25	477,46	755	0,13
		Afinado	27	25	2122,07	2000	0,06
		Roscado	27	25	70,74	70	1,77
		Tronzado	20	25	1718,87	2000	0,07

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.



Ilustración 5-4: Capacidades del torno para mecanizado de los elementos.

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Es importante notar las consideraciones siguientes:

- Las operaciones diferentes a las de terminado involucran un factor a la velocidad de corte menor que 1.

- Las operaciones de taladro emplean las mismas ecuaciones tanto para cálculo de velocidad angular como para tiempo de corte con la variante que el diámetro se refiere al de la broca. En caso de trabajar con tablas de torneado se deberá aplicar el factor multiplicador de velocidad de 0,3.
- Para las operaciones de fresado se aplicarán las ecuaciones mostradas en el Capítulo II. Para velocidad del husillo la Ecuación 6-2 y para el tiempo de corte la Ecuación 7-2 y para la selección de los parámetros de corte el Anexo B.
- Finalmente, se requiere la normalización de la velocidad angular de acuerdo con las capacidades de la máquina herramienta a ser utilizada, para este caso se trabajó con las capacidades de la máquina mostradas en la Ilustración 4-4 para mecanizado de los elementos.

4.3.4.5. *Asignación de tiempos.*

Finalmente, la asignación de tiempos de preparación y tiempos de manipulación se basan en la experiencia por lo que se asignaran en operaciones de torneado iniciales y finales un valor de 2,5 min y 2min respectivamente, para operaciones consecutivas tiempos de 1,5 min y 1 min respectivamente, en el caso de operaciones en máquinas externas tiempos de 5min y 4min respectivamente.

4.3.5. *Proceso de tratamiento térmico*

Con la ayuda del planteamiento metodológico se obtuvo y organizó los datos de cada tratamiento superficial mediante el modelo establecido por la Tabla 4-3 de este modo se proporciona la información para cada una de las coronas, así como para cada uno de los tornillos sin fin en la Tabla 20-4 partiendo de los datos establecidos por el distribuidor de aceros presentado en el Anexo F y en el Anexo G para un acero 7210 y un acero 4340. Así se esquematiza y describe para la primera pareja un tratamiento superficial de temple al aceite y revenido, para la segunda pareja un tratamiento superficial de cementación, temple y revenido, y para la última pareja un tratamiento superficial de carbonitruración con temple y revenido.

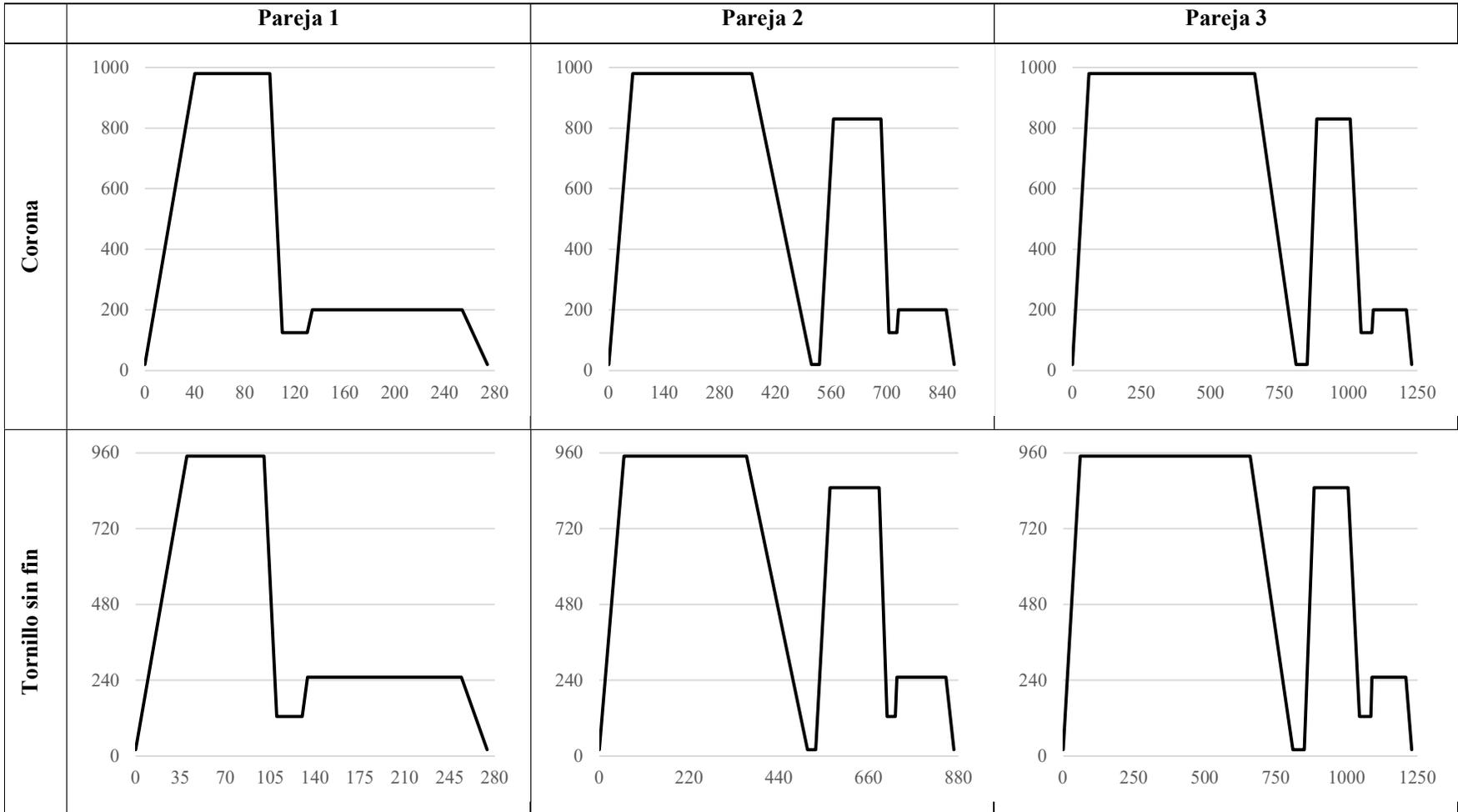
Cabe notar que para los dos elementos de cada pareja se lleva a cabo tratamientos iguales pero por las características de sus materiales deben trabajarse por separado ya que sus temperaturas de tratamiento difieren, adicional a ello se debe en la Tabla 21-4 se esquematizan de manera grafica los tratamientos superficiales, sus tiempos y temperaturas.

Tabla 20-4: Datos descriptivos del proceso de tratamientos superficiales.

Tratamientos superficiales					
Corona 1			Tornillo sin fin 1		
Tratamiento	Tiempo	Temperatura	Tratamiento	Tiempo	Temperatura
Calentamiento	---	980 °C	Calentamiento	---	T amb. - 950 °C
Mantenimiento	1 hora	980°C (T. austenización)	Mantenimiento	1 hora	950°C (T. austenización)
Temple al aceite	---	125°C	Temple al aceite	---	125°C
Calentamiento	---	160-200°C	Calentamiento	---	200-250°C
Revenido	1-2 horas	160-200 °C	Revenido	1 hora	200-250 °C
Enfriamiento	---	T. amb	Enfriamiento	---	T. amb
Corona 2			Tornillo sin fin 2		
Tratamiento	Tiempo	Temperatura	Tratamiento	Tiempo	Temperatura
Calentamiento	---	T.amb - 980 °C	Calentamiento	---	T amb. - 950 °C
Mantenimiento (Polvo	5 horas	980°C(T. austenización)	Mantenimiento (Polvo carburizante)	5 horas	950°C(T. austenización)
Enfriamiento	---	980°C - T. amb	Enfriamiento	---	950°C - Tamb.
Recalentamiento	1 a 2 horas	T.amb - (800-830)°C	Recalentamiento	1 a 2 horas	830 °C – 850°C
Temple en baño de sal	---	125°C	Temple en baño de sal	---	125°C
Calentamiento final	---	160-200°C	Calentamiento final	---	200-250°C
Revenido	1-2 horas	160-200°C	Revenido	1-2 horas	200°C – 250°C
Enfriamiento	---	T. amb	Enfriamiento	---	T. amb
Corona 3			Tornillo sin fin 3		
Tratamiento	Tiempo	Temperatura	Tratamiento	Tiempo	Temperatura
Calentamiento	---	T amb. - 980 °C	Calentamiento	---	T. amb. - 950 °C
Mantenimiento (Gas	10 horas	980°C (T. austenización)	Mantenimiento (Gas carburizante)	10 horas	950°C(T. austenización)
Enfriamiento	---	980°C – T. amb.	Enfriamiento	---	950°C – T. amb.
Recalentamiento	1 a 2 horas	800 – 830 °C	Recalentamiento	1-2 horas	830-850 °C
Temple en baño de sal	---	125 °C	Temple en baño de sal	---	125 °C
Calentamiento final	---	160-200°C	Calentamiento final	---	200-250°C
Revenido	1 – 2 horas	160 – 200 °C	Revenido	1-2 horas	200 – 250 °C
Enfriamiento	---	T. amb	Enfriamiento	---	T. amb

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Tabla 21-4: Gráficas del proceso de tratamientos térmicos.



Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

4.3.6. Desarrollo de planos de detalle y hojas de procesos.

Finalmente, el proceso constructivo de los elementos culmina con la obtención de los resultados de la Tabla 22-4 donde se detalló el proceso constructivo de los elementos presentando como producto final los planos de detalle de la pareja corona y tornillo sin fin, las hojas de procesos de mecanizado que estipulan los procesos de mecanizado conjuntamente con los tratamientos de endurecimiento superficial y los elementos tipo corona y tornillo sin fin construidos y tratados superficialmente bajo los tratamientos térmicos de temple al aceite y revenido, cementación y carbonitruración. Es importante notar que los resultados de planos de detalle y las hojas de procesos se encuentran en la parte de anexos donde se puede notar de manera específica el proceso constructivo detallado.

Tabla 22-4: Detalles del proceso constructivo de los elementos.

	Pareja 1	Pareja 2	Pareja 3
Planos de detalle	Anexo K: Planos de detalle de la pareja corona-tornillo sin fin.		
Hojas de procesos	Anexo L: Hojas de procesos de la pareja corona-tornillo sin fin		
Elementos			

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

4.4. Resultados del desarrollo de ensayos a desgaste

Mediante el uso de la metodología establecida para el desarrollo de ensayos a desgaste y el uso de los datos recopilados por el Anexo P, el Anexo Q, y el Anexo R. Es importante notar que el ensayo se realizó bajo condiciones controladas y detalladas en la metodología del procedimiento. Continuando con el proceso la reducción de datos se construirá la Tabla 23-4 donde se determina valores promedio de la toma de datos para cada 8 horas de trabajo. Una vez con los datos tomados en los anexos mencionados con antelación será importante procesarlos mediante el uso desde la Ecuación 1-3 hasta la Ecuación 5-3, donde se arrojan los resultados para la primera hora para Temperaturas de motor y caja, Corriente y Tensión de motor, y finalmente presión de carga promedio, de ese modo serán procesados todos los datos.

Tabla 23-4: Resumen de datos de ensayos a desgaste

Ensayo de pareja 1						
Resumen		Temperatura [°C]		Corriente	Tensión	Carga
Día	Dato	Motor	Caja	[A]	[V]	[PSI]
1	1	52,00	55,29	11,18	234,75	25
	2	54,17	54,88	11,30	234,50	25
	3	55,58	58,13	11,01	232,13	25
2	1	57,92	56,58	11,23	235,17	25
	2	56,54	54,75	11,07	233,88	25
	3	54,71	54,33	11,47	233,63	25
3	1	56,50	57,08	57,74	233,38	25
	2	58,13	59,67	11,00	233,88	25
	3	56,29	57,63	11,09	234,42	25
Ensayo de pareja 2						
Resumen		Temperatura [°C]		Corriente	Tensión	Carga
Día	Dato	Motor	Caja	[A]	[V]	[PSI]
1	1	47,71	37,08	11,11	232,79	25
	2	55,29	54,96	11,22	233,58	25
	3	54,71	57,54	11,17	232,50	25
2	1	31,75	28,88	11,16	234,50	25
	2	54,75	50,25	11,26	234,04	25
	3	54,71	56,08	11,36	233,21	25
3	1	52,25	57,42	11,31	233,83	25
	2	58,13	59,67	11,10	234,17	25
	3	56,29	57,63	11,18	233,63	25
Ensayo de pareja 3						
Resumen		Temperatura [°C]		Corriente	Tensión	Carga
Día	Dato	Motor	Caja	[A]	[V]	[PSI]
1	1	36,25	35,13	11,17	232,83	25
	2	54,33	54,58	11,33	233,42	25
	3	53,63	56,08	11,08	232,67	25
2	1	57,92	56,58	11,23	233,17	25
	2	57,25	54,75	11,07	233,79	25
	3	55,00	51,75	11,30	233,08	25
3	1	56,71	55,46	57,74	233,71	25
	2	54,50	56,42	11,08	233,33	25
	3	56,29	56,96	11,07	233,38	25

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

$$T_{MOTOR_{prom}} = \frac{T_{MOTOR_1} + T_{MOTOR_2} + \dots + T_{MOTOR_n}}{n} = \frac{(24 + 23 + \dots + 55)[^{\circ}C]}{24} = 52 [^{\circ}C]$$

$$T_{CAJA_{prom}} = \frac{T_{CAJA_1} + T_{CAJA_2} + \dots + T_{CAJA_n}}{n} = \frac{(27 + 26 + \dots + 56)[^{\circ}C]}{24} = 55,29 [^{\circ}C]$$

$$V_{RMS_{prom}} = \frac{V_{RMS_1} + V_{RM_2} + \dots + V_{RM_n}}{n} = \frac{(235 + 234 + \dots + 231)[V]}{24} = 234,75[V]$$

$$I_{RMS_{prom}} = \frac{I_{RMS_1} + I_{RM_2} + \dots + I_{RMS_n}}{n} = \frac{(11,50 + 11,41 + \dots + 11)[A]}{24} = 11,18[A]$$

$$P_{CARGA_{prom}} = \frac{P_{CARGA_1} + P_{CA_2} + \dots + P_{CARG_n}}{n} = \frac{(25 + 25 + \dots + 25)[PSI]}{24} = 25[PSI]$$

4.4.1. Análisis de transmisión

Como se estableció en la metodología se procede con el análisis de los tipos de transmisión mecánica que se involucran al trabajo de los elementos tipo engranaje por lo que será necesario analizar los puntos posteriores.

4.4.1.1. Primera etapa - Potencia de entrada y salida del motor

Como se mostró en la metodología se llevó a cabo el cálculo de la potencia eléctrica mediante los valores establecidos por el fabricante por medio de la Ecuación 7-3, además con la Ecuación 8-3 se convirtió las unidades de la potencia mecánica y finalmente se realizó con los dos cálculos el desarrollo de la Ecuación 9-3 de eficiencia del motor.

$$P_{E[W]} = V_{RMS} * I_{RMS} = 220[V] * 13,80[A] = 2989,8[W]$$

$$P_{M[W]} = P_{M[Hp]} \left(\frac{1000W}{1KW} \right) \left(\frac{1KW}{1,341Hp} \right) = 2Hp \left(\frac{1000W}{1KW} \right) \left(\frac{1KW}{1,341Hp} \right) = 1491,424 [W]$$

$$\eta = \frac{P_{M[W]}}{P_{E[W]}} = \frac{1491,424 [W]}{2989,8[W]} = 0,499$$

Una vez determinada la eficiencia por medio de la Ecuación 10-3 se desarrollaron los cálculos de la potencia eléctrica en cada punto de medición, así como la potencia mecánica con la Ecuación 11-3 soportando los datos en la eficiencia calculada.

$$P_{E[W]} = V_{RM_{prom}} * I_{RM_{prom}} = 234,75[V] * 11,18[A] = 2624,90[W]$$

$$P_M = \eta * P_E = 0,499 * 2624,90[W] = 1309,82[W]$$

Para continuar con el procedimiento se pasó a la etapa de transmisión de potencia por medio de la banda trapezoidal por lo que fue necesario el introducirse en la segunda etapa.

4.4.1.2. Segunda etapa – Potencia transmitida por la banda.

La segunda etapa tuvo relación a la potencia transmitida por la banda donde la potencia fue igual a la del motor, como en el ejemplo de cálculo de la Ecuación 12-3.

$$P_{B_1} = P_{B_2} = 1309,82 [W]$$

De este modo en la Tabla 24-4 se muestra el cálculo de potencias del sistema. Es decir, la potencia eléctrica consumida y la potencia mecánica entregada por el motor en Watts.

Tabla 24-4: Calculo de potencias del sistema.

Ensayo de pareja 1			
Resumen		Potencias	
Dia	Dato	Eléctrica	Mecánica
1	1	2624,90	1309,82
	2	2650,73	1322,71
	3	2554,63	1274,76
2	1	2641,31	1318,02
	2	2589,09	1291,96
	3	2679,68	1337,16
3	1	13475,56	6724,30
	2	2573,01	1283,93
	3	2599,68	1297,24
Ensayo de pareja 2			
Resumen		Potencias	
Dia	Dato	Eléctrica	Mecánica
1	1	2586,51	1290,67
	2	2621,88	1308,32
	3	2596,35	1295,58
2	1	2617,90	1306,33
	2	2635,80	1315,26
	3	2648,76	1321,73
3	1	2644,75	1319,73
	2	2600,13	1297,46
	3	2612,61	1303,69
Ensayo de pareja 3			
Resumen		Potencias	
Dia	Dato	Eléctrica	Mecánica
1	1	2599,68	1297,24
	2	2644,51	1319,61
	3	2576,98	1285,91
2	1	2618,85	1306,81
	2	2588,17	1291,50
	3	2632,87	1313,80
3	1	13494,71	6733,86
	2	2586,40	1290,61
	3	2583,17	1289,00

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

4.4.1.3. Tercera etapa - Carga asignada por fricción en el sistema de frenado

Para esta etapa se realizó el cálculo bajo un análisis de la mordaza de freno donde con el dato establecido por las hojas de control se calculó la presión de frenado en Sistema Internacional, el área del cilindro de freno, la fuerza de frenado, adicional la fuerza de fricción del freno y el torque de frenado. Mostrados desde la Ecuación 14-3 a la Ecuación 18-3.

$$\begin{aligned} P_{F[Pa]} &= P_{F[psi]} \left(\frac{1 \text{ in}^2}{(0,0254 \text{ m})^2} \right) \left(\frac{1 \text{ kg}}{2,205 \text{ lb}} \right) \left(\frac{9,81 \text{ N}}{1 \text{ kg}} \right) \\ &= (25 \text{ psi}) \left(\frac{1 \text{ in}^2}{(0,0254 \text{ m})^2} \right) \left(\frac{1 \text{ kg}}{2,205 \text{ lb}} \right) \left(\frac{9,81 \text{ N}}{1 \text{ kg}} \right) = 172398,30 \text{ [Pa]} \end{aligned}$$

$$A_{CF[m^2]} = \frac{\pi}{4} (\phi_{CF[m]})^2 = \frac{\pi}{4} (0,025 \text{ m})^2 = 0,000491 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F_{F[N]} = P_{F[Pa]} * 2A_{CF[m^2]} = (172398,30 \text{ [Pa]}) * 2 * (0,000491 \text{ [m}^2\text{]}) = 169,30 \text{ [N]}$$

$$F_{frF[N]} = 2 * \mu_k * F_{F[N]} = 2 * (0,1) * (169,30 \text{ [N]}) = 33,86 \text{ [N]}$$

$$T_{F[Nm]} = F_{frF[N]} * r_{F[m]} = (33,86 \text{ [N]}) * (0,08 \text{ m}) = 2,709 \text{ [Nm]}$$

Como se pudo notar los valores de la asignación de carga no fueron variables por lo que se los calcula de manera constante, es decir para cada medición los valores calculados anteriormente fueron correspondientes a la carga, la única variación va sobre la potencia del motor. De este modo la carga que soportan los engranajes de igual manera será calculada de manera constante.

4.4.2. Cargas sobre engranajes

Procediendo con las cargas sobre los engranajes se calculó la carga tangencial de la corona mediante la Ecuación 19-3, la carga normal del par mediante la Ecuación 20-3, la carga axial del tornillo mediante la Ecuación 21-3, la carga tangencial del tornillo mediante la Ecuación 22-3 y finalmente la igualdad de cargas por medio de la Ecuación 23-3.

$$F_2 = \frac{T_{F[Nm]}}{r_{F[m]}} = \frac{2,709 \text{ [Nm]}}{0,03 \text{ [m]}} = 90,3 \text{ [N]}$$

$$F_n = \frac{F_2}{\cos \beta_1} = \frac{90,3 [N]}{\cos(86,424^\circ)} = 1447,754 [N]$$

$$F_{a_1} = F_n * \cos \beta_1 = (1447,754 [N]) * \cos(86,424^\circ) = 90,3 [N]$$

$$F = F_n * \sin \beta_1 = (1447,754 [N]) * \sin(86,424^\circ) = 1444,935 [N]$$

$$F_{a_2} = F = 1444,935 [N]$$

Se puede notar por medio de los datos y los cálculos que la potencia del motor vario con mínimos parámetros por la energía eléctrica provista por la red de distribución mientras que la potencia absorbida por la carga de trabajo se mantuvo constante al mantener siempre una carga de freno constante, esto asegura la estabilidad de carga sobre los engranajes. Se debe notar también que las variaciones de potencia eléctrica fueron mínimas y a su vez tuvieron un impacto mínimo sobre la potencia mecánica que a su vez solo será consumida por el reductor en fracción mas no su totalidad. Se puede respaldar el desarrollo de los ensayos mediante el Anexo S donde se mostró el procedimiento realizado.

4.5. Resultados de la aplicación de la inspección visual

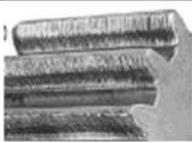
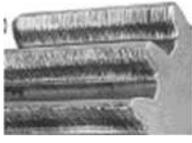
4.5.1. Resultados del método de inspección visual

Según datos bibliográficos el desgaste quedará mostrado de varias maneras por lo que se realizará la comparativa entre los dientes y hélices de los elementos con imágenes del fenómeno, así se muestra en la Tabla 25-4 donde se listan las imágenes de los elementos tipo corona y tornillo sin fin junto con los elementos de comparación.

Es posible evidenciar que el desgaste es de tipo abrasivo por el simple hecho de haberse encontrado líneas de rayadura del material en el sentido de contacto dejando trayectorias paralelas tanto en la corona como en el tornillo sin fin, así se muestran en todos los elementos siguiendo la hélice en el tornillo y siguiendo la morfología del tornillo en los dientes propiamente del engranaje tipo corona.

A manera visual se puede notar un mayor daño en la corona que en el tornillo, todo puede deberse a la dureza alcanzada con el tratamiento térmico sobre la superficie del tornillo lo cual causa que la hélice del tornillo se vea incrustada en los dientes de la corona, a su vez por el hecho que la corona siempre va a tener un factor menor de seguridad por su trabajo a mayor radio.

Tabla 25-4: Evaluación del modo de fallo.

	1	2	3	Comparar
Corona				
Tornillos sin fin				

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Continuando con los métodos de inspección visual se desarrolló los métodos lineal, gravimétrico y volumétrico en las etapas siguientes.

4.5.2. *Resultados del método lineal*

Esta metodología fue aplicada de la manera establecida en el Capítulo III e hizo referencia a las dimensiones del elemento que pueden ser comparadas de manera directa. Por este motivo se tomaron los pares de fricción salidos del banco de engranajes y se los caracterizó dimensionalmente en los puntos de interés. Los puntos que evidenciaron desgaste fueron la cresta y el ancho de diente ubicados en el diámetro exterior y el diámetro primitivo respectivamente, para ser más específicos el punto central de cada corona, se analizó cada uno de los dientes de la corona y cada una de las espiras de la hélice del tornillo sin fin.

4.5.2.1. *Recolección de datos.*

Fue necesario tomar como referencia los puntos de medición mostrados en la Ilustración 8-3 donde se establece una división del elemento tipo corona para la toma de datos de desgaste y la Ilustración 9-3 donde se plantea los puntos de medición del tornillo sin fin. Con las ilustraciones para la ubicación de los puntos de medición fueron construidas las tablas contenedoras de datos de todos los elementos, haciendo uso de los formatos de tablas establecidos para el levantamiento de datos presentados en la metodología de recolección de datos del método lineal. La Tabla 26-4 y la Tabla 27-4 fueron desarrolladas con los datos tomados de la medición directa en la cresta y el ancho de diente para los puntos A, B y C del diagrama en cada corona.

Tabla 26-4: Datos de la cresta y del ancho de diente.

N°	Corona 1						Corona 2						Corona 3					
	Cresta			Ancho de diente			Cresta			Ancho de diente			Cresta			Ancho de diente		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	1,52	0,89	1,76	2,27	2,02	2,19	1,54	1,37	1,55	2,24	2,08	2,22	1,62	1,46	1,51	2,26	2,19	2,21
2	1,50	1,08	1,79	2,22	2,01	2,20	1,56	1,24	1,52	2,19	2,04	2,17	1,72	1,47	1,59	2,28	2,17	2,22
3	1,54	1,14	1,77	2,22	1,93	2,19	1,52	1,33	1,42	2,22	2,05	2,17	1,68	1,43	1,53	2,28	2,17	2,26
4	1,67	1,12	1,80	2,24	2,00	2,19	1,46	1,10	1,43	2,25	2,01	2,19	1,66	1,45	1,52	2,29	2,09	2,27
5	1,72	1,14	1,82	2,26	1,89	2,21	1,40	1,16	1,41	2,22	2,03	2,19	1,80	1,45	1,60	2,31	2,16	2,26
6	1,73	0,87	1,78	2,25	2,02	2,22	1,37	1,08	1,35	2,20	1,99	2,16	1,68	1,46	1,68	2,32	2,23	2,30
7	1,72	0,93	1,80	2,25	1,94	2,25	1,27	1,04	1,33	2,20	2,00	2,14	1,78	1,46	1,75	2,34	2,25	2,27
8	1,80	0,84	1,82	2,28	1,95	2,24	1,29	1,11	1,28	2,19	2,03	2,10	1,79	1,52	1,85	2,33	2,23	2,29
9	1,78	0,89	1,84	2,28	1,75	2,25	1,41	1,14	1,43	2,17	1,94	2,09	1,76	1,67	1,89	2,32	2,25	2,25
10	1,76	0,85	1,83	2,29	1,84	2,23	1,44	1,14	1,48	2,18	2,00	2,11	1,90	1,64	1,91	2,35	2,27	2,31
11	1,80	0,88	1,78	2,30	1,80	2,27	1,40	1,07	1,37	2,20	2,06	2,10	1,84	1,68	1,84	2,31	2,21	2,30
12	1,82	1,03	1,81	2,32	1,86	2,22	1,37	1,19	1,37	2,21	2,02	2,12	1,98	1,65	1,86	2,30	2,26	2,29
13	1,79	1,06	1,77	2,28	1,92	2,19	1,39	1,09	1,40	2,22	1,99	2,09	1,93	1,73	1,84	2,35	2,22	2,34
14	1,72	1,22	1,81	2,28	1,96	2,25	1,35	1,22	1,51	2,22	2,01	2,14	1,86	1,74	1,81	2,27	2,23	2,26
15	1,71	1,18	1,80	2,28	2,06	2,26	1,31	1,28	1,40	2,21	2,02	2,15	1,89	1,72	1,84	2,28	2,19	2,25
16	1,78	1,12	1,80	2,28	2,07	2,31	1,49	1,10	1,56	2,23	2,10	2,14	1,87	1,69	1,78	2,27	2,20	2,25
17	1,83	1,14	1,79	2,25	2,06	2,32	1,34	1,09	1,33	2,24	2,05	2,20	1,93	1,68	1,75	2,26	2,18	2,31
18	1,59	1,03	1,77	2,26	1,92	2,26	1,41	1,23	1,44	2,25	2,04	2,19	1,85	1,67	1,80	2,23	2,17	2,25
19	1,65	0,49	1,72	2,27	1,83	2,29	1,35	1,14	1,43	2,25	2,07	2,22	1,76	1,62	1,74	2,24	2,16	2,24
20	1,45	0,35	1,64	2,29	1,95	2,22	1,48	1,13	1,50	2,24	2,07	2,24	1,65	1,62	1,75	2,26	2,16	2,25

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Tabla 27-4: Datos de cresta y ancho de diente (continuación).

N°	Corona 1						Corona 2						Corona 3					
	Cresta			Ancho de diente			Cresta			Ancho de diente			Cresta			Ancho de diente		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
21	1,56	0,33	1,67	2,18	1,76	2,21	1,52	1,09	1,55	2,28	2,10	2,22	1,68	1,64	1,64	2,23	2,17	2,18
22	1,50	0,30	1,50	2,22	1,74	2,28	1,55	1,27	1,57	2,28	2,09	2,22	1,65	1,58	1,67	2,24	2,16	2,17
23	1,46	0,30	1,48	2,22	1,57	2,28	1,68	1,31	1,67	2,30	2,08	2,20	1,53	1,49	1,53	2,24	2,20	2,18
24	1,48	0,32	1,44	2,23	1,53	2,23	1,71	1,37	1,70	2,29	2,11	2,25	1,50	1,44	1,53	2,20	2,17	2,16
25	1,46	0,40	1,33	2,25	1,56	2,30	1,74	1,42	1,71	2,31	2,17	2,23	1,56	1,48	1,52	2,20	2,13	2,16
26	1,44	0,51	1,45	2,18	1,60	2,24	1,75	1,46	1,75	2,28	2,19	2,26	1,62	1,34	1,42	2,22	2,15	2,22
27	1,40	0,62	1,40	2,19	1,70	2,25	1,75	1,46	1,75	2,30	2,13	2,34	1,43	1,32	1,47	2,16	2,16	2,19
28	1,50	0,68	1,44	2,17	1,92	2,25	1,79	1,51	1,81	2,31	2,22	2,27	1,35	1,31	1,31	2,20	2,12	2,20
29	1,43	0,84	1,43	2,13	1,94	2,24	1,84	1,57	1,88	2,26	2,18	2,28	1,35	1,30	1,36	2,28	2,07	2,12
30	1,35	0,97	1,36	2,14	2,02	2,24	1,86	1,47	1,85	2,30	2,11	2,28	1,38	1,25	1,42	2,25	2,14	2,16
31	1,40	0,98	1,39	2,21	1,95	2,24	1,81	1,63	1,83	2,31	2,11	2,27	1,54	1,38	1,55	2,22	2,10	2,18
32	1,40	0,80	1,40	2,17	1,99	2,18	1,79	1,51	1,84	2,27	2,08	2,36	1,40	1,34	1,48	2,19	2,08	2,18
33	1,37	0,66	1,42	2,17	1,91	2,32	1,75	1,44	1,74	2,26	2,12	2,30	1,42	1,38	1,48	2,18	2,07	2,22
34	1,36	0,62	1,52	2,16	1,78	2,24	1,82	1,39	1,82	2,24	2,11	2,22	1,62	1,41	1,55	2,18	2,17	2,20
35	1,49	0,75	1,49	2,18	1,85	2,26	1,77	1,42	1,75	2,24	2,15	2,23	1,53	1,49	1,53	2,20	2,17	2,21
36	1,44	0,79	1,49	2,20	1,82	2,25	1,75	1,55	1,77	2,30	2,09	2,24	1,56	1,33	1,57	2,19	2,19	2,21
37	1,50	0,56	1,50	2,20	1,81	2,21	1,72	1,56	1,74	2,23	2,13	2,22	1,53	1,44	1,56	2,23	2,18	2,20
38	1,52	0,69	1,52	2,18	1,93	2,24	1,61	1,43	1,63	2,26	2,13	2,19	1,45	1,44	1,45	2,23	2,17	2,21
39	1,59	0,79	1,58	2,26	1,81	2,30	1,62	1,40	1,65	2,20	2,01	2,17	1,49	1,48	1,59	2,24	2,21	2,22
40	1,58	0,87	1,78	2,18	1,85	2,20	1,59	1,36	1,56	2,21	2,06	2,17	1,60	1,55	1,55	2,31	2,21	2,25

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Las dos tablas mencionadas y construidas anteriormente plantean los datos para las coronas donde la corona 1 se ve afectada por un tratamiento térmico de temple, la corona 2 por un tratamiento termoquímico de cementación y térmico de temple y la corona 3 por un tratamiento termoquímico de carbonitruración de igual manera que las demás coronas con tratamiento térmico de temple y revenido.

Tabla 28-4: Datos de cresta y ancho de hélice del tornillo sin fin.

Tornillo sin fin 1								
Hélice	Cresta (puntos)				Ancho de diente(puntos)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	1,05	1	1,09	0,88	2,69	2,68	2,65	2,69
2	1	0,82	0,92	0,81	2,55	2,53	2,52	2,51
3	0,92	0,87	0,97	0,87	2,41	2,53	2,52	2,49
4	1,01	1,03	1,09	1,09	2,74	2,7	2,74	2,72
Tornillo sin fin 2								
Hélice	Cresta (puntos)				Ancho de diente(puntos)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	1,26	1,26	1,28	1,37	2,46	2,6	2,55	2,61
2	1,19	1,19	1,09	1,21	2,43	2,5	2,46	2,5
3	1,2	1,15	1,16	1,22	2,42	2,54	2,49	2,5
4	1,28	1,21	1,32	1,28	2,51	2,67	2,59	2,6
Tornillo sin fin 3								
Hélice	Cresta (puntos)				Ancho de diente(puntos)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	1,3	1,3	1,31	1,32	2,66	2,64	2,63	2,67
2	1,24	1,27	1,17	1,2	2,49	2,45	2,58	2,58
3	1,25	1,29	1,16	1,24	2,51	2,49	2,58	2,58
4	1,3	1,31	1,28	1,33	2,62	2,55	2,6	2,63

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Como se pudo observar de la misma manera se recopilaron los datos para los Tornillos sin fin bajo la influencia de temple, cementado y carbonitrurado superficial como en el caso de las coronas a los que se tabularon en la Tabla 28-4, de igual manera agrupando los datos al elemento correspondiente. Las mediciones realizadas se efectuaron mediante un calibrador pie de rey digital a fin de obtener una mayor apreciación, adicional a ello se midió bajo la influencia del diagrama establecido para la medición de los elementos tipo tornillo sin fin.

Para este punto se efectuaron métodos estadísticos posteriores para una determinación comparativa de los resultados obtenidos para ello se analizará cada uno de los elementos de la manera que se plantea previamente en la metodología.

4.5.2.2. *Procesamiento de datos*

Para cada corona se aplicó la Ecuación 24-3 cuya característica fue la determinación de la cresta promedio entre 2 puntos sanos del engranaje, la Ecuación 25-3 se aplicó para la determinación de la dimensión de desgaste presentada en la cresta, la Ecuación 26-3 se desarrolló para la determinación del ancho de diente promedio entre 2 puntos sin desgaste y la Ecuación 27-3 para la determinación de las dimensiones de desgaste evidenciado en el ancho del diente. Es importante notar que la aplicación de las fórmulas se lleva a cabo para cada uno de los datos tomados de los dientes de cada engranaje como se procedió a continuación.

$$M_{cresta_p} = \frac{M_{cresta_A} + M_{cresta_C}}{2} = \frac{1,52[mm] + 1,76[mm]}{2} = 1,64[mm]$$

$$D_{cres} = M_{cresta_p} - M_{crest_B} = 1,64[mm] - 0,89[mm] = 0,75[mm]$$

$$M_{anch_p} = \frac{M_{ancho_A} + M_{ancho_C}}{2} = \frac{2,27[mm] + 2,19[mm]}{2} = 2,23[mm]$$

$$D_{ancho} = M_{ancho_p} - M_{ancho_B} = 2,23[mm] - 2,02[mm] = 0,21[mm]$$

De este modo fue posible la construcción de la Tabla 29-4 y la Tabla 30-4 donde se muestran los datos promedio y de desgaste lineal de las coronas. Una vez determinados los datos de desgaste tanto para la cresta como para el ancho de diente se realizó los gráficos de dispersión de datos con la finalidad de monitorear la tendencia de los valores y predecir el valor promedio de desgaste. Así se muestran los diagramas de dispersión de datos con su respectiva línea de tendencia para cada caso de análisis es decir para los 3 elementos tipo corona así es el caso de clasificación que se muestra en la Tabla 31-4.

Después de los diagramas de dispersión se consideró la construcción de histogramas para cada fenómeno de desgaste mostrado en las coronas del par de fricción, además de la construcción de campanas de Gauss para ilustrar los fenómenos de manera inteligible, motivo por el cual se requirió de la construcción de tablas de datos para la creación de los diagramas que serían mostrados más adelante.

Tabla 29-4: Cálculos promedio y de desgaste lineal de las coronas.

N°	Corona 1				Corona 2				Corona 3			
	Cresta		Ancho de diente		Cresta		Ancho de diente		Cresta		Ancho de diente	
	Prom	Desg	Prom	Desg	Prom	Desg	Prom	Desg	Prom	Desg	Prom	Desg
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	1,64	0,75	2,23	0,21	1,55	0,18	2,23	0,15	1,57	0,11	2,24	0,04
2	1,65	0,57	2,21	0,20	1,54	0,30	2,18	0,14	1,66	0,19	2,25	0,08
3	1,66	0,52	2,21	0,28	1,47	0,14	2,20	0,15	1,61	0,18	2,27	0,10
4	1,74	0,62	2,22	0,22	1,45	0,35	2,22	0,21	1,59	0,14	2,28	0,19
5	1,77	0,63	2,24	0,35	1,41	0,25	2,21	0,18	1,70	0,25	2,29	0,13
6	1,76	0,89	2,24	0,22	1,36	0,28	2,18	0,19	1,68	0,22	2,31	0,08
7	1,76	0,83	2,25	0,31	1,30	0,26	2,17	0,17	1,77	0,31	2,31	0,05
8	1,81	0,97	2,26	0,31	1,29	0,18	2,15	0,12	1,82	0,30	2,31	0,08
9	1,81	0,92	2,27	0,52	1,42	0,28	2,13	0,19	1,83	0,16	2,29	0,04
10	1,80	0,95	2,26	0,42	1,46	0,32	2,15	0,15	1,91	0,27	2,33	0,06
11	1,79	0,91	2,29	0,49	1,39	0,32	2,15	0,09	1,84	0,16	2,31	0,09
12	1,82	0,79	2,27	0,41	1,37	0,18	2,17	0,15	1,92	0,27	2,30	0,04
13	1,78	0,72	2,24	0,32	1,40	0,31	2,16	0,17	1,89	0,16	2,35	0,13
14	1,77	0,55	2,27	0,31	1,43	0,21	2,18	0,17	1,84	0,10	2,27	0,03
15	1,76	0,58	2,27	0,21	1,36	0,08	2,18	0,16	1,87	0,15	2,27	0,07
16	1,79	0,67	2,30	0,23	1,53	0,43	2,19	0,09	1,83	0,14	2,26	0,06
17	1,81	0,67	2,29	0,23	1,34	0,25	2,22	0,17	1,84	0,16	2,29	0,11
18	1,68	0,65	2,26	0,34	1,43	0,20	2,22	0,18	1,83	0,16	2,24	0,07
19	1,69	1,20	2,28	0,45	1,39	0,25	2,24	0,17	1,75	0,13	2,24	0,08
20	1,55	1,20	2,26	0,31	1,49	0,36	2,24	0,17	1,70	0,08	2,26	0,09

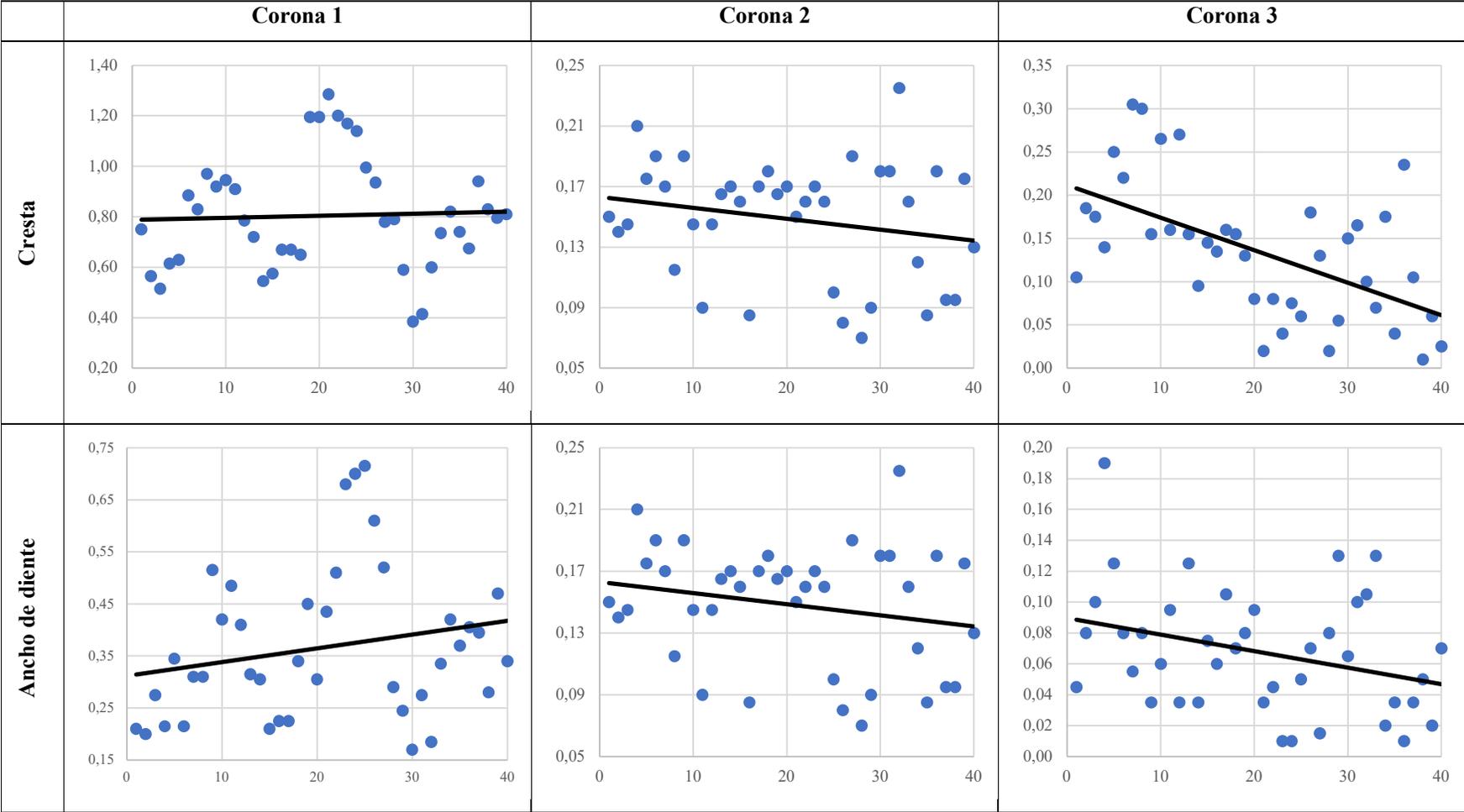
Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Tabla 30-4: Cálculos promedio y de desgaste lineal de las coronas(continuación).

N°	Corona 1				Corona 2				Corona 3			
	Cresta		Ancho de diente		Cresta		Ancho de diente		Cresta		Ancho de diente	
	Prom	Desg	Prom	Desg	Prom	Desg	Prom	Desg	Prom	Desg	Prom	Desg
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
21	1,62	1,29	2,20	0,44	1,54	0,45	2,25	0,15	1,66	0,02	2,21	0,04
22	1,50	1,20	2,25	0,51	1,56	0,29	2,25	0,16	1,66	0,08	2,21	0,04
23	1,47	1,17	2,25	0,68	1,68	0,37	2,25	0,17	1,53	0,04	2,21	0,01
24	1,46	1,14	2,23	0,70	1,71	0,34	2,27	0,16	1,52	0,08	2,18	0,01
25	1,40	1,00	2,28	0,72	1,73	0,31	2,27	0,10	1,54	0,06	2,18	0,05
26	1,45	0,94	2,21	0,61	1,75	0,29	2,27	0,08	1,52	0,18	2,22	0,07
27	1,40	0,78	2,22	0,52	1,75	0,29	2,32	0,19	1,45	0,13	2,18	0,01
28	1,47	0,79	2,21	0,29	1,80	0,29	2,29	0,07	1,33	0,02	2,20	0,08
29	1,43	0,59	2,19	0,25	1,86	0,29	2,27	0,09	1,36	0,05	2,20	0,13
30	1,36	0,39	2,19	0,17	1,86	0,39	2,29	0,18	1,40	0,15	2,21	0,06
31	1,40	0,42	2,23	0,28	1,82	0,19	2,29	0,18	1,55	0,17	2,20	0,10
32	1,40	0,60	2,18	0,19	1,82	0,31	2,32	0,24	1,44	0,10	2,19	0,11
33	1,40	0,74	2,25	0,34	1,75	0,31	2,28	0,16	1,45	0,07	2,20	0,13
34	1,44	0,82	2,20	0,42	1,82	0,43	2,23	0,12	1,59	0,18	2,19	0,02
35	1,49	0,74	2,22	0,37	1,76	0,34	2,24	0,09	1,53	0,04	2,21	0,04
36	1,47	0,68	2,23	0,41	1,76	0,21	2,27	0,18	1,57	0,24	2,20	0,01
37	1,50	0,94	2,21	0,40	1,73	0,17	2,23	0,10	1,55	0,11	2,22	0,03
38	1,52	0,83	2,21	0,28	1,62	0,19	2,23	0,09	1,45	0,01	2,22	0,05
39	1,59	0,80	2,28	0,47	1,64	0,24	2,19	0,18	1,54	0,06	2,23	0,02
40	1,68	0,81	2,19	0,34	1,58	0,22	2,19	0,13	1,58	0,03	2,28	0,07

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Tabla 31-4: Líneas de tendencia de desgaste.



Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

La Tabla 32-4 se caracteriza por la obtención de datos preliminares para la elaboración de histogramas de las coronas, donde se obtienen datos de valores mínimos, máximos, número de datos, rango, número de intervalos y el ancho de intervalos. La Ecuación 28-3 y la Ecuación 29-3 muestran la manera de cálculo del rango y del ancho de intervalo respectivamente los cuales se requieren aplicar en cada caso de análisis.

Tabla 32-4: Cálculos preliminares de histogramas de coronas.

Cálculos preliminares – Corona 1				
Datos	Cresta		Ancho de diente	
X_{min}	0,39	[mm]	0,17	[mm]
X_{MAX}	1,29	[mm]	0,72	[mm]
n	40,00	[---]	40,00	[---]
R	0,90	[mm]	0,54	[mm]
k	6,32	7	6,32	7
C	0,13	[---]	0,08	[---]
Cálculos preliminares – Corona 2				
Datos	Cresta		Ancho de diente	
X_{min}	0,08	[mm]	0,07	[mm]
X_{MAX}	0,45	[mm]	0,24	[mm]
n	40,00	[---]	40,00	[---]
R	0,37	[mm]	0,17	[mm]
k	6,32	7	6,32	7
C	0,05	[---]	0,02	[---]
Cálculos preliminares – Corona 3				
Datos	Cresta		Ancho de diente	
X_{min}	0,01	[mm]	0,01	[mm]
X_{MAX}	0,31	[mm]	0,19	[mm]
n	40,00	[---]	40,00	[---]
R	0,30	[mm]	0,18	[mm]
k	6,32	7	6,32	7
C	0,04	[---]	0,03	[---]

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

$$R = X_{MAX} - X_{min} = 1,29[mm] - 0,39[mm] = 0,90[mm]$$

$$k = 1 + 3,32 * \text{Log}(n) = 1 + 3,32 * \text{Log}(40) = 6,319$$

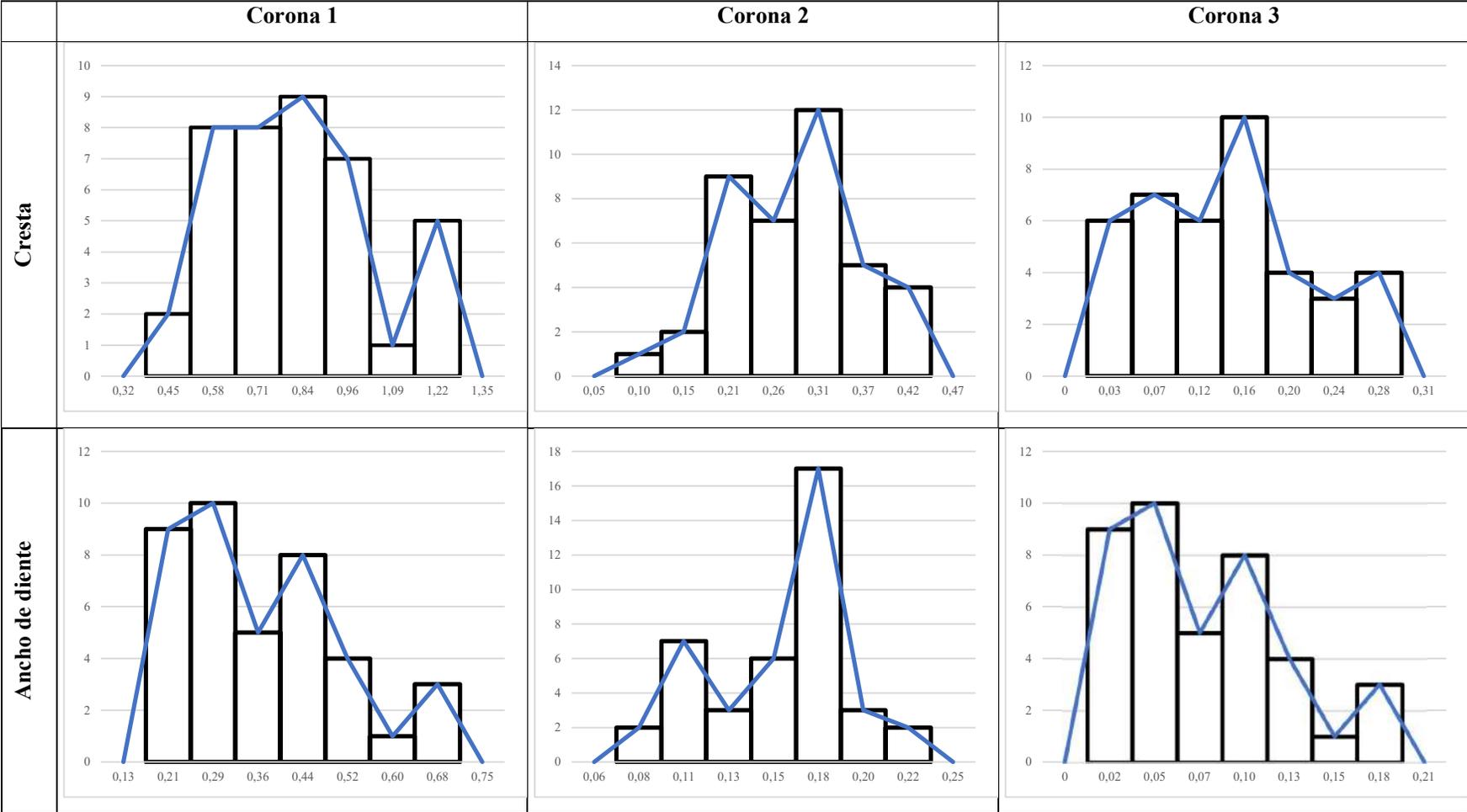
Posterior a la obtención de los datos de los histogramas se realizó la tabla constructiva de estos, así se obtuvo el número de intervalos determinado por la Ecuación 29-3, los valores mínimos, máximos y el ancho de intervalo definidos en la Tabla 32-4. De este modo se completará la Tabla 33-4 contenedora de los datos de los histogramas con los datos de interés de los intervalos. Una vez concluida la tabla se realizaron los gráficos de histogramas con polígonos de frecuencia como se muestran en la Tabla 34-4, y donde se puede evidenciar la mayor incidencia de los datos respecto a los intervalos de análisis.

Tabla 33-4: Datos del histograma.

	Cresta					Ancho de diente				
	Interv.	Límite inferior	Límite superior	V. medio	Frecuen.	Interv.	Límite inferior	Límite superior	V. medio	Frecuen.
				0,32	0				0,13	0
Corona 1	1	0,39	0,51	0,45	2	1	0,17	0,25	0,21	9
	2	0,51	0,64	0,58	8	2	0,25	0,33	0,29	10
	3	0,64	0,77	0,71	8	3	0,33	0,40	0,36	5
	4	0,77	0,90	0,84	9	4	0,40	0,48	0,44	8
	5	0,90	1,03	0,96	7	5	0,48	0,56	0,52	4
	6	1,03	1,16	1,09	1	6	0,56	0,64	0,60	1
	7	1,16	1,29	1,22	5	7	0,64	0,72	0,68	3
				1,35	0				0,75	0
Corona 2	Cresta					Ancho de diente				
	Interv.	Límite inferior	Límite superior	V. medio	Frecuen.	Interv.	Límite inferior	Límite superior	V. medio	Frecuen.
				0,05	0				0,06	0
	1	0,08	0,13	0,10	1	1	0,07	0,09	0,08	2
	2	0,13	0,18	0,15	2	2	0,09	0,12	0,11	7
	3	0,18	0,23	0,21	9	3	0,12	0,14	0,13	3
	4	0,23	0,29	0,26	7	4	0,14	0,16	0,15	6
	5	0,29	0,34	0,31	12	5	0,16	0,19	0,18	17
	6	0,34	0,39	0,37	5	6	0,19	0,21	0,20	3
7	0,39	0,45	0,42	4	7	0,21	0,24	0,22	2	
			0,47	0				0,25	0	
Corona 3	Cresta					Ancho de diente				
	Interv.	Límite inferior	Límite superior	V. medio	Frecuen.	Interv.	Límite inferior	Límite superior	V. medio	Frecuen.
				0	0				0	0
	1	0,01	0,05	0,03	6	1	0,01	0,04	0,02	9
	2	0,05	0,09	0,07	7	2	0,04	0,06	0,05	10
	3	0,09	0,14	0,12	6	3	0,06	0,09	0,07	5
	4	0,14	0,18	0,16	10	4	0,09	0,11	0,10	8
	5	0,18	0,22	0,20	4	5	0,11	0,14	0,13	4
6	0,22	0,26	0,24	3	6	0,14	0,16	0,15	1	
7	0,26	0,31	0,28	4	7	0,16	0,19	0,18	3	
			0,31	0				0,21	0	

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Tabla 34-4: Histogramas de coronas.



Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Es importante notar de la Tabla 39-4 que las columnas se denominan de la manera siguiente:

- Interv.: Detalla el número de intervalo de referencia.
- Límite inferior: Caracteriza el valor mínimo del intervalo
- Límite superior: Describe el valor máximo del intervalo.
- V. medio: Plantea el valor medio del intervalo

$$xi_k = \frac{Ls_k - Li_k}{2} = \frac{0,51[mm] - 0,39[mm]}{2} = 0,45[mm]$$

Finalmente, las gráficas de las campanas de Gauss requirieron de la media haciendo uso de la Ecuación 31-3 y la desviación estándar mediante el uso de la Ecuación 32-3, que utilizaron y procesaron los datos por medio de la función Gaussiana plasmada en la Ecuación 33-3. Adicional se requirió el valor más alto de la curva Gaussiana mediante el uso de la Ecuación 34-3.

$$m_{cresta} = \frac{D_{cresta_1} + D_{cresta_2} + D_{cresta_3} + \dots + D_{cresta_n}}{n} \\ = \frac{0,75[mm] + 0,57[mm] + 0,52[mm] + \dots + 0,81[mm]}{40} = 0,80[mm]$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n (xi - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{(0,75 - 0,8)^2 + (0,57 - 0,8)^2 + (0,52 - 0,8)^2 + \dots + (0,81 - 0,8)^2}{40}} \\ = 0,22[mm]$$

$$f(x) = ae^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}} = (1,81)e^{-\frac{(0,25-0,8)^2}{2(0,22)^2}} = 0,08$$

$$a = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} = \frac{1}{(0,22)\sqrt{2\pi}} = 1,79$$

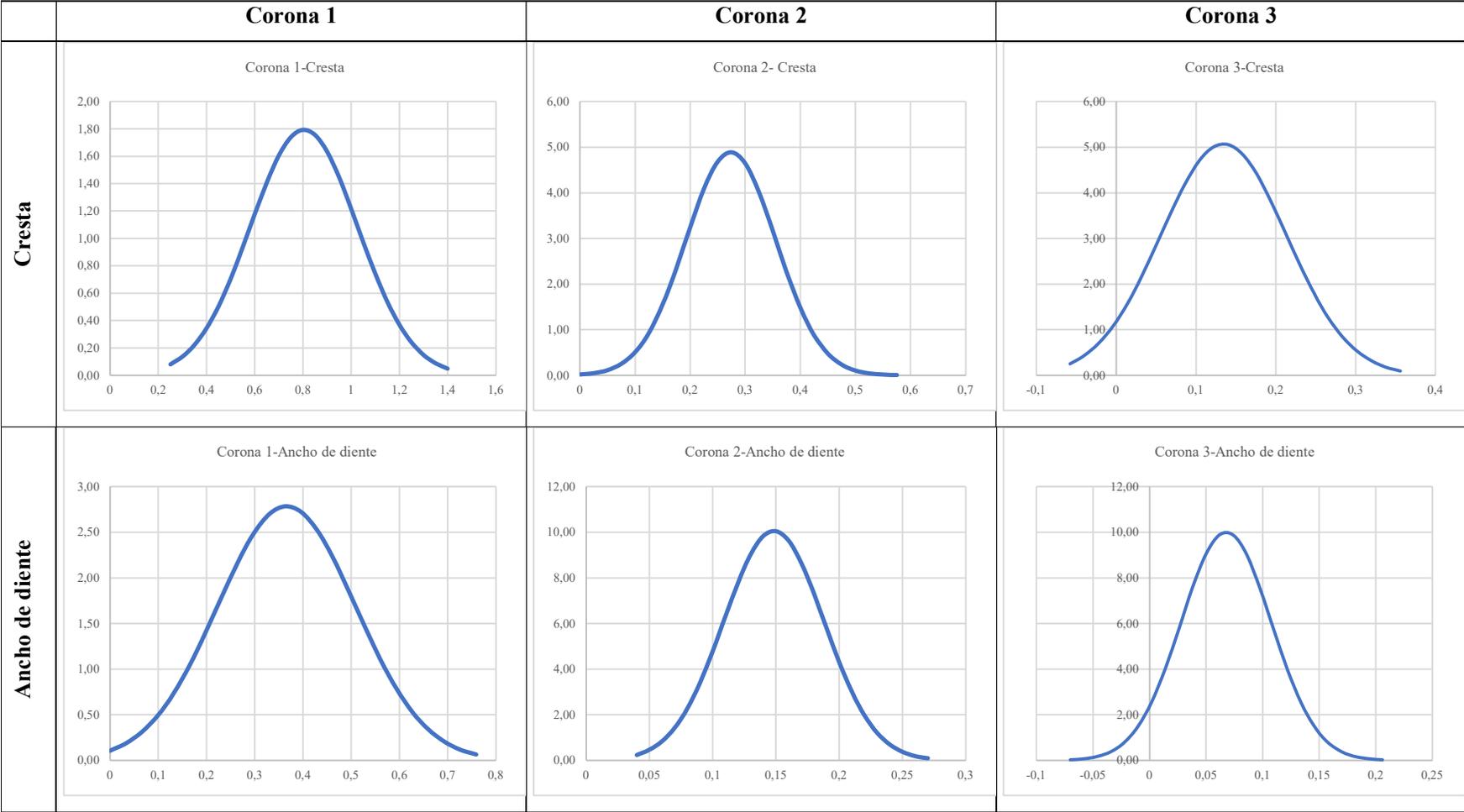
Adicional con él apoyó en los datos de desgaste mínimo y máximo del histograma se podrá realizar una aproximación correcta de la campana de Gauss que esquematizará en la Tabla 35-4 donde se muestra comportamiento, para el proceder con la construcción final del gráfico en el rango de interés se reemplazará los datos en la fórmula y se obtendrá los datos de la Tabla 35-4 donde se plantearon los datos de Segmento y distribución normal pertinentes a cada elemento.

Tabla 35-4: Datos de las campanas de Gauss para las coronas.

Corona 1				Corona 2				Corona 3			
Cresta		Ancho de diente		Cresta		Ancho de diente		Cresta		Ancho de diente	
Segm.	D.normal	Segm.	D.normal	Segm.	D.normal	Segm.	D.normal	Segm.	D.normal	Segm.	D.normal
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
0,25	0,08	0,00	0,11	0,00	0,02	0,04	0,24	-0,06	0,25	-0,07	0,03
0,30	0,14	0,03	0,19	0,03	0,05	0,05	0,47	-0,04	0,43	-0,06	0,07
0,35	0,22	0,07	0,31	0,05	0,11	0,06	0,84	-0,02	0,70	-0,05	0,17
0,40	0,34	0,10	0,49	0,08	0,25	0,07	1,43	0,00	1,08	-0,03	0,39
0,45	0,50	0,13	0,74	0,10	0,51	0,08	2,28	0,01	1,57	-0,02	0,80
0,50	0,70	0,17	1,04	0,13	0,93	0,09	3,41	0,03	2,17	-0,01	1,50
0,55	0,93	0,20	1,40	0,15	1,55	0,10	4,78	0,05	2,85	0,00	2,57
0,60	1,18	0,23	1,79	0,18	2,35	0,11	6,30	0,07	3,55	0,01	4,04
0,65	1,41	0,26	2,16	0,20	3,24	0,12	7,79	0,09	4,19	0,03	5,78
0,70	1,61	0,30	2,48	0,23	4,08	0,13	9,03	0,10	4,70	0,04	7,57
0,75	1,74	0,33	2,70	0,25	4,68	0,14	9,83	0,12	5,01	0,05	9,05
0,80	1,79	0,36	2,78	0,28	4,89	0,15	10,04	0,14	5,06	0,06	9,89
0,85	1,76	0,40	2,72	0,30	4,64	0,16	9,63	0,16	4,85	0,07	9,87
0,90	1,63	0,43	2,53	0,33	4,02	0,17	8,67	0,18	4,41	0,09	9,00
0,95	1,45	0,46	2,22	0,35	3,16	0,18	7,32	0,19	3,81	0,10	7,50
1,00	1,22	0,50	1,85	0,38	2,27	0,19	5,80	0,21	3,12	0,11	5,71
1,05	0,97	0,53	1,47	0,40	1,48	0,20	4,31	0,23	2,43	0,12	3,97
1,10	0,74	0,56	1,10	0,43	0,88	0,21	3,01	0,25	1,79	0,13	2,52
1,15	0,54	0,59	0,78	0,45	0,48	0,22	1,97	0,27	1,26	0,15	1,46
1,20	0,37	0,63	0,53	0,48	0,24	0,23	1,21	0,28	0,83	0,16	0,78
1,25	0,24	0,66	0,34	0,50	0,11	0,24	0,70	0,30	0,53	0,17	0,38
1,30	0,15	0,69	0,21	0,53	0,04	0,25	0,38	0,32	0,32	0,18	0,17
1,35	0,09	0,73	0,12	0,55	0,02	0,26	0,19	0,34	0,18	0,19	0,07
1,40	0,05	0,76	0,06	0,58	0,01	0,27	0,09	0,36	0,10	0,21	0,02

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Tabla 36-4: Campanas de Gauss de las coronas.



Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Para el tornillo sin fin se realizó la construcción de los diagramas del mismo modo que los realizados para la corona para este efecto se requirió de la construcción de la Tabla 37-4 contenedora de los datos referenciales de la hélice en el punto sano, los datos de daño de la hélice en los puntos de mayor afección y los datos de desgaste presentados a la comparativa y diferencia entre los puntos sanos de la hélice y los puntos que evidencian mayor incidencia al fenómeno de desgaste del tornillo sin fin. En la tabla se ubicó los datos de las espiras exteriores de la hélice con el fin de tomar los valores referenciales de los puntos sanos y combinarlos con los puntos de las espiras que han sufrido desgaste, de ese modo se calculó el desgaste por medio de la Ecuación 35-3 para la cresta del tornillo y la Ecuación 36-3 para el ancho de hélice del tornillo.

La tabla además va descrita en función de sus datos de consideración

- N°: Describió la comparativa de mediciones analizadas
- P. Sano: Consideró los puntos sobre las espiras sin evidencia de daño.
- P. daño: Planteó los puntos con mayor visualización de fallo
- Desgaste: Planteó la comparativa entre el punto sin evidencia del fenómeno de desgaste y el punto con evidencia del fenómeno por lo que se realizó una comparativa u diferencia para caracterizar de manera lineal y cuantificar el fenómeno de desgaste.

Es importante notar que la tabulación de los datos fue realizada en función de los datos tomados de la medición efectuada. De este modo se realizó la organización de los datos donde la hélice 1 y la hélice 4 fueron las que menor efecto del fenómeno presentaron mientras que la hélice 2 y 3 son las de trabajo neto y contacto directo a los dientes de la corona por lo que muestran un evidente fallo por desgaste abrasivo. Este análisis se realizó para los 3 elementos de tornillo sin fin comunes por su geometría en los puntos de cresta y ancho de diente recopilados del seguimiento del diagrama para recolección de datos planteado en la Ilustración 9-3 con una división por espira de 90°. Notar que la comparativa se la realiza en la misma línea de medición y permutando los valores de las 2 espiras sanas con las 2 espiras de daño evidente.

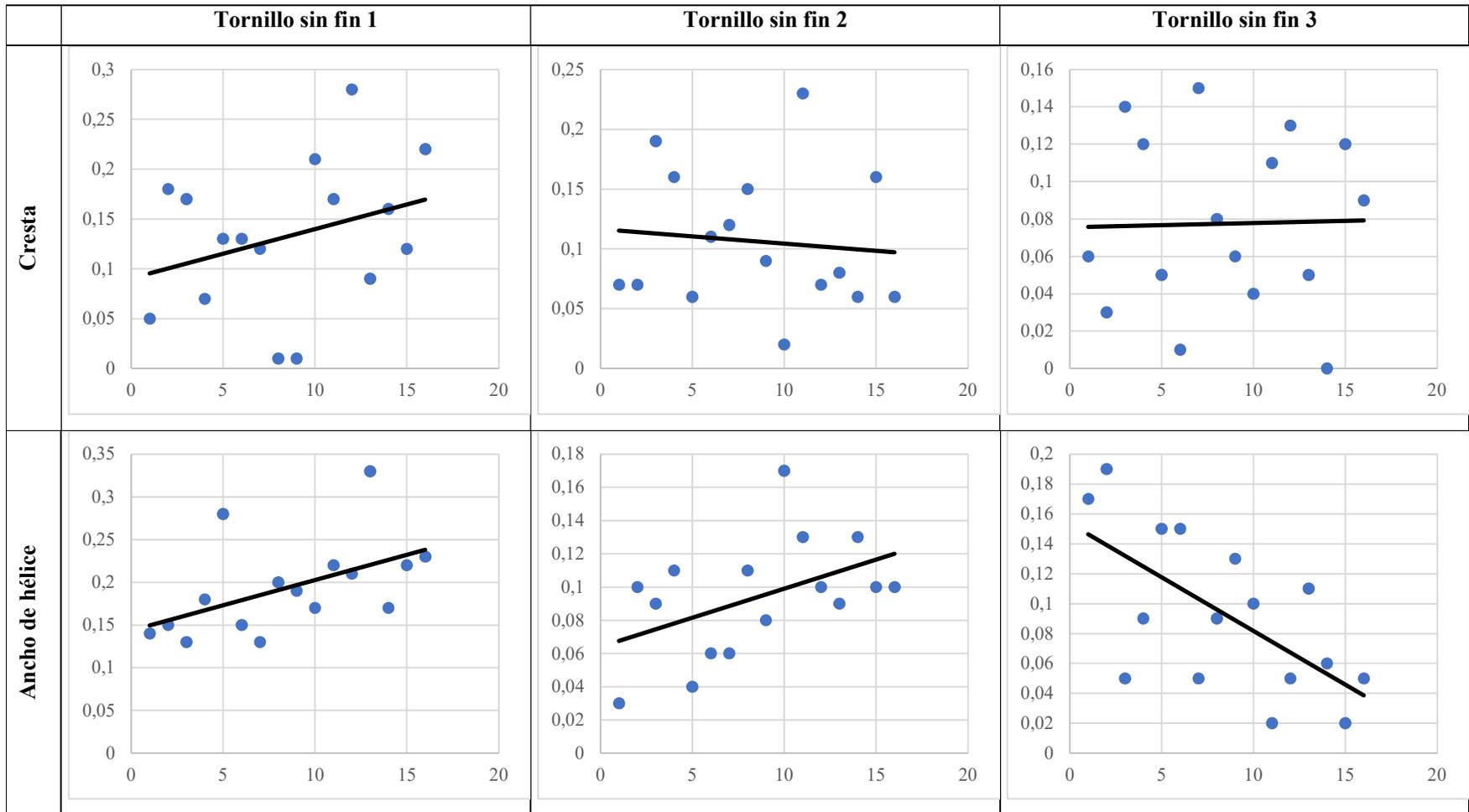
Finalmente, resultado de las combinaciones descritas se construyeron los diagramas de dispersión de datos con la finalidad de observar la línea de tendencia de estos ante la comparativa y mostrándose para cada uno de los elementos de estas características. Dichos diagramas se mostraron en la Tabla 38-4

Tabla 37-4: Datos de daño y de desgaste lineal de los tornillos sin fin.

N°	Tornillo sin fin 1						Tornillo sin fin 2						Tornillo sin fin 3					
	Cresta			Ancho de hélice			Cresta			Ancho de hélice			Cresta			Ancho de hélice		
	P. sano	P. daño	Desgaste	P. sano	P. daño	Desgaste	P. sano	P. daño	Desgaste	P. sano	P. daño	Desgaste	P. sano	P. daño	Desgaste	P. sano	P. daño	Desgaste
1	1,05	1	0,05	2,69	2,55	0,14	1,26	1,19	0,07	2,46	2,43	0,03	1,3	1,24	0,06	2,66	2,49	0,17
2	1	0,82	0,18	2,68	2,53	0,15	1,26	1,19	0,07	2,6	2,5	0,1	1,3	1,27	0,03	2,64	2,45	0,19
3	1,09	0,92	0,17	2,65	2,52	0,13	1,28	1,09	0,19	2,55	2,46	0,09	1,31	1,17	0,14	2,63	2,58	0,05
4	0,88	0,81	0,07	2,69	2,51	0,18	1,37	1,21	0,16	2,61	2,5	0,11	1,32	1,2	0,12	2,67	2,58	0,09
5	1,05	0,92	0,13	2,69	2,41	0,28	1,26	1,2	0,06	2,46	2,42	0,04	1,3	1,25	0,05	2,66	2,51	0,15
6	1	0,87	0,13	2,68	2,53	0,15	1,26	1,15	0,11	2,6	2,54	0,06	1,3	1,29	0,01	2,64	2,49	0,15
7	1,09	0,97	0,12	2,65	2,52	0,13	1,28	1,16	0,12	2,55	2,49	0,06	1,31	1,16	0,15	2,63	2,58	0,05
8	0,88	0,87	0,01	2,69	2,49	0,2	1,37	1,22	0,15	2,61	2,5	0,11	1,32	1,24	0,08	2,67	2,58	0,09
9	1,01	1	0,01	2,74	2,55	0,19	1,28	1,19	0,09	2,51	2,43	0,08	1,3	1,24	0,06	2,62	2,49	0,13
10	1,03	0,82	0,21	2,7	2,53	0,17	1,21	1,19	0,02	2,67	2,5	0,17	1,31	1,27	0,04	2,55	2,45	0,1
11	1,09	0,92	0,17	2,74	2,52	0,22	1,32	1,09	0,23	2,59	2,46	0,13	1,28	1,17	0,11	2,6	2,58	0,02
12	1,09	0,81	0,28	2,72	2,51	0,21	1,28	1,21	0,07	2,6	2,5	0,1	1,33	1,2	0,13	2,63	2,58	0,05
13	1,01	0,92	0,09	2,74	2,41	0,33	1,28	1,2	0,08	2,51	2,42	0,09	1,3	1,25	0,05	2,62	2,51	0,11
14	1,03	0,87	0,16	2,7	2,53	0,17	1,21	1,15	0,06	2,67	2,54	0,13	1,31	1,29	0,02	2,55	2,49	0,06
15	1,09	0,97	0,12	2,74	2,52	0,22	1,32	1,16	0,16	2,59	2,49	0,1	1,28	1,16	0,12	2,6	2,58	0,02
16	1,09	0,87	0,22	2,72	2,49	0,23	1,28	1,22	0,06	2,6	2,5	0,1	1,33	1,24	0,09	2,63	2,58	0,05

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Tabla 38-4: Líneas de tendencia de desgaste de los tornillos sin fin.



Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

$$D_{cresta} = M_{crest\ sana} - M_{crest\ dañada} = 1,05[mm] - 1[mm] = 0,05[mm]$$

$$D_{ancho} = M_{ancho\ sano} - M_{ancho\ dañado} = 2,69[mm] - 2,55[mm] = 0,14[mm]$$

Se realizará el mismo procedimiento estadístico para la obtención del histograma, el polígono de frecuencias y la campana de Gauss realizado en el análisis y procesamiento de los datos de las coronas, por lo que la Tabla 39-4 mostró los datos de cálculos preliminares y juntamente con los datos de los histogramas de los tornillos sin fin de la Tabla 40-4 se construyeron los histogramas con polígono de frecuencias de la Tabla 41-4. Finalmente, la Tabla 42-4 agrupó los datos de construcción de las campanas de Gauss que se muestran en la Tabla 43-4 para cada tornillo sin fin analizado.

Tabla 39-4: Cálculos preliminares de los histogramas de los tornillos sin fin.

Cálculos preliminares – Tornillo sin fin 1				
Datos	Cresta		Ancho de hélice	
X_{min}	0,01	[mm]	0,13	[mm]
X_{MAX}	0,28	[mm]	0,33	[mm]
n	16,00	[---]	16,00	[---]
R	0,27	[mm]	0,20	[mm]
k	5,00	5	5,00	5
C	0,05	[---]	0,04	[---]
Cálculos preliminares - Tornillo sin fin 2				
Datos	Cresta		Ancho de hélice	
X_{min}	0,02	[mm]	0,03	[mm]
X_{MAX}	0,23	[mm]	0,17	[mm]
n	16,00	[---]	16,00	[---]
R	0,21	[mm]	0,14	[mm]
k	5,00	5	5,00	5
C	0,04	[---]	0,03	[---]
Cálculos preliminares - Tornillo sin fin 3				
Datos	Cresta		Ancho de hélice	
X_{min}	0,01	[mm]	0,02	[mm]
X_{MAX}	0,15	[mm]	0,19	[mm]
n	16,00	[---]	16,00	[---]
R	0,14	[mm]	0,17	[mm]
k	5,00	5,00	5,00	5,00
C	0,03	[---]	# _i REF!	# _i REF!

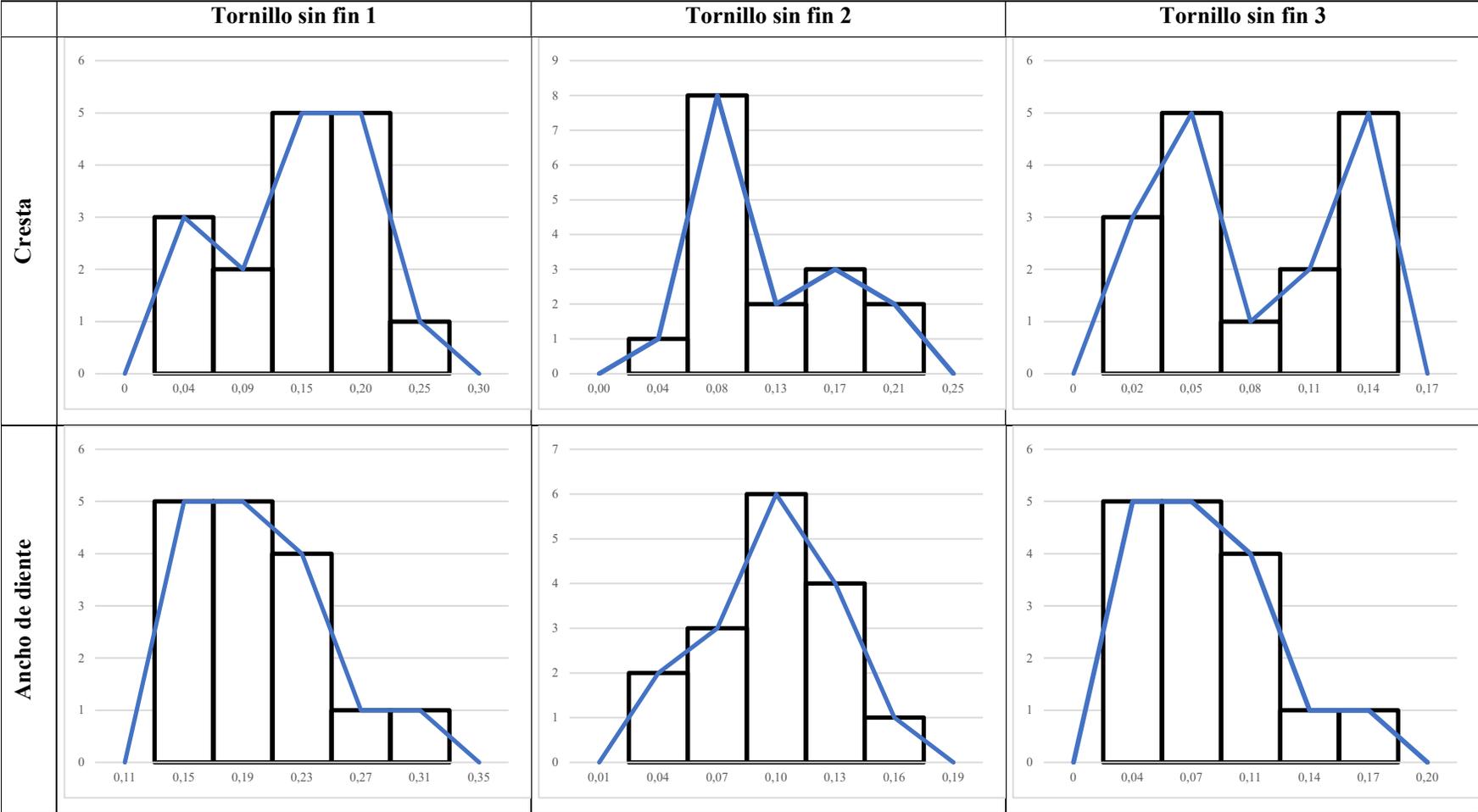
Fuente: Chávez, Carlos, 2022

Tabla 40-4: Datos de los histogramas de los tornillos sin fin.

Tornillo sin fin 1	Cresta				Ancho de diente					
	Interv.	Límite inferior	Límite superior	V. medio	Frecuen.	Interv.	Límite inferior	Límite superior	V. medio	Frecuen.
				0	0				0,11	0
1	0,01	0,06	0,04	3	1	0,13	0,17	0,15	5	
2	0,06	0,12	0,09	2	2	0,17	0,21	0,19	5	
3	0,12	0,17	0,15	5	3	0,21	0,25	0,23	4	
4	0,17	0,23	0,20	5	4	0,25	0,29	0,27	1	
5	0,23	0,28	0,25	1	5	0,29	0,33	0,31	1	
			0,30	0				0,35	0	
Tornillo sin fin 2	Cresta				Ancho de diente					
	Interv.	Límite inferior	Límite superior	V. medio	Frecuen.	Interv.	Límite inferior	Límite superior	V. medio	Frecuen.
				0,00	0				0,01	0
	1	0,02	0,06	0,04	1	1	0,03	0,06	0,04	2
	2	0,06	0,10	0,08	8	2	0,06	0,09	0,07	3
	3	0,10	0,15	0,13	2	3	0,09	0,11	0,10	6
	4	0,15	0,19	0,17	3	4	0,11	0,14	0,13	4
5	0,19	0,23	0,21	2	5	0,14	0,17	0,16	1	
			0,25	0				0,19	0	
Tornillo sin fin 3	Cresta				Ancho de diente					
	Interv.	Límite inferior	Límite superior	V. medio	Frecuen.	Interv.	Límite inferior	Límite superior	V. medio	Frecuen.
				0	0				0	0
	1	0,01	0,04	0,02	3	1	0,02	0,05	0,04	5
	2	0,04	0,07	0,05	5	2	0,05	0,09	0,07	5
	3	0,07	0,09	0,08	1	3	0,09	0,12	0,11	4
	4	0,09	0,12	0,11	2	4	0,12	0,16	0,14	1
5	0,12	0,15	0,14	5	5	0,16	0,19	0,17	1	
			0,17	0				0,20	0	

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Tabla 41-4: Histogramas de los tornillos sin fin.



Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Tabla 42-4: Datos de los tornillos sin fin.

Tornillo sin fin 1				Tornillo sin fin 2				Tornillo sin fin 3			
Cresta		Ancho de diente		Cresta		Ancho de diente		Cresta		Ancho de diente	
Segm.	D.normal	Segm.	D.normal	Segm.	D.normal	Segm.	D.normal	Segm.	D.normal	Segm.	D.normal
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
-0,03	0,51	0,05	0,24	-0,03	0,41	-0,01	0,15	-0,03	0,48	-0,04	0,34
-0,02	0,77	0,06	0,41	-0,02	0,66	0,00	0,33	-0,02	0,77	-0,03	0,58
0,00	1,11	0,07	0,67	-0,01	1,01	0,01	0,67	-0,01	1,19	-0,02	0,95
0,02	1,56	0,09	1,06	0,01	1,50	0,02	1,26	0,00	1,77	0,00	1,46
0,03	2,09	0,10	1,59	0,02	2,12	0,03	2,20	0,01	2,50	0,01	2,13
0,05	2,69	0,11	2,27	0,03	2,87	0,04	3,53	0,02	3,39	0,02	2,97
0,06	3,33	0,12	3,09	0,04	3,71	0,05	5,23	0,03	4,40	0,03	3,93
0,08	3,97	0,13	4,02	0,05	4,60	0,06	7,16	0,04	5,47	0,04	4,95
0,09	4,54	0,15	4,98	0,07	5,45	0,07	9,03	0,05	6,51	0,06	5,92
0,11	4,98	0,16	5,88	0,08	6,18	0,08	10,50	0,06	7,42	0,07	6,73
0,12	5,25	0,17	6,62	0,09	6,71	0,09	11,27	0,07	8,09	0,08	7,27
0,14	5,32	0,18	7,10	0,10	6,96	0,10	11,16	0,08	8,45	0,09	7,48
0,15	5,18	0,19	7,27	0,11	6,92	0,11	10,19	0,09	8,45	0,10	7,31
0,17	4,85	0,21	7,09	0,13	6,58	0,12	8,58	0,10	8,09	0,12	6,79
0,18	4,36	0,22	6,59	0,14	5,98	0,13	6,67	0,11	7,41	0,13	5,99
0,20	3,76	0,23	5,84	0,15	5,21	0,14	4,78	0,12	6,50	0,14	5,03
0,21	3,12	0,24	4,94	0,16	4,34	0,15	3,16	0,13	5,46	0,15	4,02
0,23	2,48	0,25	3,98	0,17	3,46	0,16	1,93	0,14	4,39	0,16	3,05
0,24	1,90	0,27	3,06	0,19	2,64	0,17	1,08	0,15	3,38	0,18	2,20
0,26	1,40	0,28	2,24	0,20	1,92	0,18	0,56	0,16	2,49	0,19	1,51
0,27	0,99	0,29	1,56	0,21	1,34	0,19	0,27	0,17	1,76	0,20	0,98
0,29	0,67	0,30	1,04	0,22	0,90	0,20	0,12	0,18	1,19	0,21	0,61
0,30	0,44	0,31	0,66	0,23	0,57	0,21	0,05	0,19	0,77	0,22	0,36
0,32	0,27	0,33	0,40	0,25	0,35	0,22	0,02	0,20	0,48	0,24	0,20

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Tabla 43-4: Campanas de Gauss de los tornillos sin fin.

	Tornillo sin fin 1	Tornillo sin fin 2	Tornillo sin fin 3
Cresta	<p style="text-align: center;">Tornillo sin fin 1-Cresta</p>	<p style="text-align: center;">Tornillo sin fin 2-Cresta</p>	<p style="text-align: center;">Tornillo sin fin 3-Cresta</p>
Ancho de diente	<p style="text-align: center;">Tornillo sin fin 1-Ancho de hélice</p>	<p style="text-align: center;">Tornillo sin fin 2-Ancho de hélice</p>	<p style="text-align: center;">Tornillo sin fin 3-Ancho de hélice</p>

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

4.5.2.3. Interpretación del método lineal.

Para la interpretación se hace uso del procesamiento de datos realizado previamente y se obtiene el análisis para la corona de acero AISI 7210 con tratamientos de templado y revenido, cementación, templado y revenido, y carbonitruración templado y revenido.

Para la primera corona de análisis se hizo uso de los diagramas de dispersión donde al graficar los datos y la línea de tendencia se obtuvo una pendiente casi nula de valor aproximado a 0,0008 para los datos de la cresta, y para el caso del ancho de diente una de valor ligeramente mayor de aproximadamente 0,0027, esto puede deberse básicamente a un desgaste por desviaciones en el eje de la corona ya que idealmente deberían tener pendiente de 0 y la pendiente en este caso es en el mismo sentido para ambos lugares de medición en el diente. Al analizar los datos por medio de los histogramas se puede observar que existe una alta incidencia dentro del intervalo de 0,77mm a 0,90mm con 9 datos para la cresta y de 0,25mm a 0,33mm con 10 datos para el ancho de diente donde se estima que podría aproximarse el valor medio de los datos y de este modo se lo presenta en su campanas de Gauss donde se observa que el punto medio de los datos es de 0,80mm y se encuentra en el rango de mayor frecuencia para la cresta y de 0,37mm encontrado en el intervalo contiguo al de mayor frecuencia. De este modo se considera un desgaste de 0,8mm para la cresta de la corona 1 y uno de 0,37mm para el ancho de diente.

Por otro lado, la corona 2 presenta mediante los diagramas de dispersión presentó comportamiento similar al de la corona anterior, pero con la diferencia que ahora la pendiente tanto para crestas como para anchos de diente se muestran hacia el otro lado, motivo de ello fue el sentido de medición, la incidencia de los valores y la pendiente en los valores podría ser provocado por desviaciones del eje y la numeración de los dientes en otro sentido. En este caso las pendientes de cresta y ancho de dientes son de -0,0007 para los dos casos. En los histogramas, para la cresta y el ancho de diente se presentó que los intervalos de mayor incidencia tanto para la cresta como para el ancho de diente fueron los intervalos de 0,29mm a 0,34mm con 12 datos y de 0,16mm a 0,19mm con 17 datos respectivamente. Finalmente, las campanas de Gauss arrojaron los datos de la media de 0,27mm y 0,15mm para cresta y ancho de diente que serán los datos considerados para la comparativa entre elementos del mismo tipo.

La corona 3 también arrojó una pendiente en el sentido de los datos de la corona 2 con pendientes de magnitud -0,0038 y -0,0011 correspondientes a los datos de cresta y ancho de diente. Los histogramas mostraron que los intervalos de mayor frecuencia para la cresta y el ancho de diente son de 0,14mm a 0,18mm con 10 datos y de 0,04mm a 0,06mm con 10 datos respectivamente.

Por último, las campanas de Gauss arrojaron los datos medios para cresta de 0,13mm y para ancho de diente de 0,07mm.

Una vez analizados los datos se debe notar que la corona 1 con un desgaste de cresta de 0,8mm y de ancho de diente de 0,37mm se lista como el caso más afectado y el menos adecuado para el trabajo en engranajes con estas características, esto puede deberse al nulo aporte de componentes que permitan una mayor resistencia en la superficie, por otro lado la corona 2 con un tratamiento de cementación presentó en desgaste de cresta de 0,27mm y para ancho de diente de 0,15mm por lo que será una opción intermedia entre la primera y la tercera corona. Finalmente, al realizar el ensayo se determinó que la corona 3 presentó el menor desgaste tanto en cresta como en ancho de diente con mediciones de 0,13mm y 0,07mm respectivamente, esto la hace ubicarse como la mejor opción de los 3 tratamientos visualizados.

Al abordar los datos de los tornillos sin fin se tiene el análisis presentado donde para el primer tornillo sin fin de análisis con un tratamiento de temple al aceite se hizo uso de los diagramas de dispersión que mostraron una línea de tendencia con una pendiente casi nula de valor aproximado a 0,0049 para los datos de la cresta, y para el caso del ancho de hélice una de valor ligeramente mayor de aproximadamente 0,0059, esto puede deberse básicamente a que a diferencia de la corona no todas las espiras de la hélice están mostrando el mismo trabajo por la configuración de los elementos, se debe notar también que la pendiente en este caso es en el mismo sentido para ambos lugares de medición. Al analizar los datos por medio de los histogramas se puede observar que existe una alta incidencia dentro de los intervalos que se encuentran de 0,12mm a 0,23mm con 5 datos para la cresta y de 0,13mm a 0,21mm con 5 datos para el ancho de hélice donde se estima que podría aproximarse el valor medio de los datos y de este modo se observa que el punto medio de los datos es de 0,13mm y se encuentra en el rango de mayor frecuencia para la cresta y de 0,19mm encontrado en el intervalo contiguo al de mayor frecuencia. De este modo se considera un desgaste de 0,13mm para la cresta del tornillo sin fin 1 y uno de 0,19mm para el ancho de hélice.

Por otro lado, el tornillo sin fin 2 presenta mediante la dispersión de sus datos se comporta de manera similar al del tornillo anterior, pero con la diferencia que ahora la pendiente tanto para crestas como para anchos de diente se muestran en sentidos opuestos debido al tipo de contacto entre la corona y el tornillo. En este caso las pendientes de cresta y ancho de dientes son de -0,0012 y 0,0035 respectivamente. Por otra parte, los histogramas de cresta y ancho de hélice presentaron que los intervalos de mayor incidencia tanto para la cresta como para el ancho de hélice fueron los intervalos de 0,06mm a 0,1mm con 8 datos y de 0,09 mm a 0,11mm con 6 datos respectivamente. Finalmente, las campanas de Gauss arrojaron los datos de la media de 0,11mm

y 0,09mm para cresta y ancho de diente que serán los datos considerados para la comparativa entre elementos del mismo tipo.

El tornillo sin fin 3 arrojó en los diagramas de dispersión una pendiente en el sentido de los datos del tornillo sin fin 2 con pendientes de magnitud 0,0002 y -0,0072 correspondientes a los datos de cresta y ancho de hélice. Los histogramas arrojaron los intervalos de mayor frecuencia de 0,04mm a 0,07mm y de 0,12mm a 0,15mm con 5 datos cada uno para la cresta, y para el ancho de hélice son de 0,02mm a 0,09mm con 5 datos. Por último, las campanas de Gauss arrojaron los datos medios para cresta de 0,08mm y para ancho de hélice de 0,09mm.

Al igual que el caso de la corona con un desgaste en cresta se posesiona con la mejor resistencia a desgaste el elemento con tratamiento de carbonitruración con 0,08mm y en el ancho de hélice al igual que el tornillo 2 con un valor de 0,09mm.

4.5.3. Resultados del método gravimétrico y volumétrico

Una vez comparados los resultados del método lineal fue necesaria la aplicación del método gravimétrico para observar la cantidad de masa desprendida de los engranajes producto del daño por desgaste de estos. Para este efecto básicamente se realiza la medición inicial y final de la masa de los elementos tipo engranaje, adicional se realizará una estimación de los datos por medio de Solidworks con fines de obtener una comparativa útil para la validación de los datos y la selección del equipo de medición.

4.5.3.1. Toma de mediciones

Como los elementos no sobrepasaron el peso de 500[g] en el análisis de peso calculado por medio de software entonces fue posible el hacer uso de una balanza con un rango de 0 a 500[g] y se tomó la medición de la manera que se muestra en la Ilustración 12-4 tanto para la corona como para el tornillo sin fin por lo que se construyó la Tabla 50-4 y la Tabla 51-4 que contienen los datos para la corona y el tornillo sin fin respectivamente, Así se plantean los datos de peso y volumen calculado inicialmente por Solidworks, para su posterior medición tanto en peso y volumen inicial y final.

Los datos calculados permitieron la selección de los equipos a usarse, cabe notar que en relación con el volumen por la dificultad de medir valores tan bajos se realizó la conversión a mililitros para observar la apreciación permitida en estas unidades, lo cual tiene un margen de error mayor

que la evaluación en peso, por lo que la evaluación gravimétrica brinda mejor caracterización de material removido de la superficie del elemento lo cual se podrá demostrar más adelante.

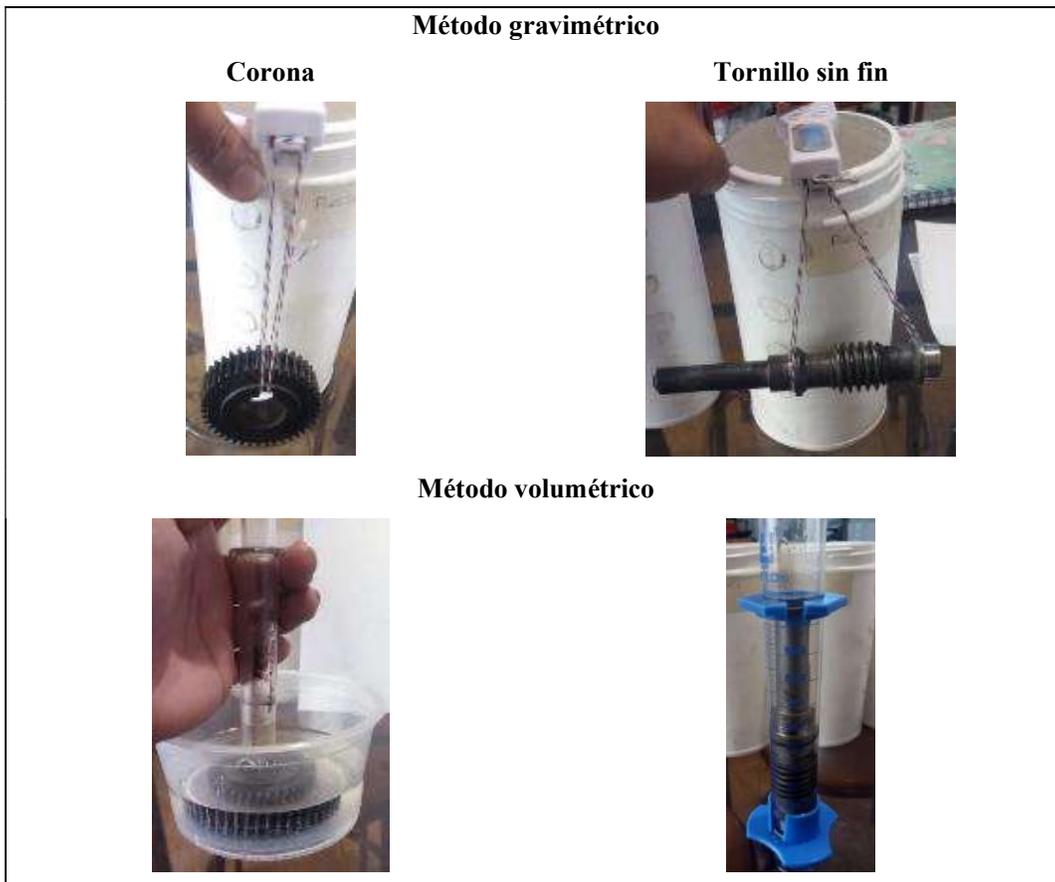


Ilustración 6-4: Mediciones de los métodos gravimétrico y volumétrico.

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

4.5.3.2. *Procesamiento de datos.*

Los elementos tipo corona y tornillo sin fin fueron graficados con cada una de sus características geométricas al resultado final del proceso de mecanizado y el tratamiento térmico, de tal manera que se facilitó la estimación de pesos mediante el software Solidworks lo cual da una pauta clara del procedimiento. La Tabla 44-4 planteó el desarrollo del cálculo de peso del elemento tipo corona en sus 3 casos y con todas sus dimensiones, las mediciones fueron realizadas al inicio y final de cada ensayo de desgaste así se muestra los datos obtenidos y listos para ser procesados, para el tornillo sin fin se realizó de la misma manera con la construcción de la Tabla 45-4 donde igual se calculó el peso de los elementos de acuerdo a sus características geométricas, así como su toma de datos antes y después de cada ensayo, de este modo se procedió con las evaluaciones del desgaste.

Tabla 44-4: Propiedades calculadas de las coronas.

Propiedades calculadas						
Elemento	Corona 1		Corona 2		Corona 3	
						
	Peso calculado [g]	316,78	317,16	317,16	317,76	317,76
	Volumen calculado [mm³]	40354,34	40402,91	40402,91	40478,87	40478,87
	Volumen calculado [mL]	40,354	40,402	40,402	40,478	40,478
	Peso medido [g]	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial
	316,8	297,6	317,2	299,1	317,8	301,5
Volumen medido [mL]	40,5	38,0	40,5	38,0	40,5	38,5

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Tabla 45-4: Propiedades calculadas de los tornillos sin fin.

Propiedades calculadas						
Elemento	Tornillo sin fin 1		Tornillo sin fin 2		Tornillo sin fin 3	
						
Peso calculado [g]	329,72		360,98		348,23	
Volumen calculado [mm³]	42002,05		45984,52		44360,69	
Volumen calculado [mL]	42,002		45,985		44,361	
Peso medido [g]	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
	329,6	319,6	360,8	351,7	348,2	339,6
Volumen medido [mL]	42,0	40,5	46,0	45,0	44,5	43,5

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Se observó que los valores calculados por software relacionados al peso del material tienen similitud a los reales medidos previo al trabajo de los engranajes, por lo que es una apreciación bastante buena ante la caracterización del fenómeno adicional a ello se puede decir que fueron de mayor apreciación que los valores arrojados por el método volumétrico debido a las unidades de empleo fueron las más adecuadas. La Tabla 46-4, por otro lado, y en función de la Ecuación 37-3 y la Ecuación 38-3 determinaría la cantidad de masa perdida comparada de las mediciones y el porcentaje al que esta corresponde de la masa total del elemento, lo cual se aplica para cada elemento y se muestra en la tabla.

$$m_p = m_i - m_f = 316,8 - 297,6 = 19,2 \text{ g}$$

$$\%m_p = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100\% = \frac{316,8 - 297,6}{316,8} * 100\% = 6,06\%$$

Tabla 46-4: Valores de masa perdida.

Orden del elemento	Corona		Tornillo sin fin	
	Masa perdida [g]	% Perdido	Masa perdida [g]	% Perdido
1	19,2	6,06%	10	3,03%
2	18,1	5,71%	9,1	2,52%
3	16,3	5,13%	8,6	2,47%

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Del mismo modo se realizó el procedimiento con el volumen lo que determinó las pérdidas de volumen y porcentaje de pérdidas de volumen en el orden de la Tabla 47-4, como ya se mencionaba la apreciación de método es bastante menor por lo que los valores arrojados no muestran una diferencia notable al ser plasmados. Es importante reconocer que los valores se arrojan del uso de la Ecuación 39-3 y la Ecuación 40-3 usadas del mismo modo para todos los elementos.

$$V_p = V_i - V_f = 40,5 - 38,0 = 2,5 \text{ [mL]}$$

$$\%V_p = \frac{V_i - V_f}{V_i} * 100\% = \frac{40,5 - 38,0}{40,5} * 100\% = 6,17\%$$

Los métodos difieren en su apreciación por el simple hecho de considerar mayor o menor número de decimales en sus unidades de medición por lo que dentro del método volumétrico, lo más adecuado fue trabajar en milímetros cúbicos como unidad de volumen.

Tabla 47-4: Valores de volumen perdido.

Orden del elemento	Corona		Tornillo sin fin	
	Volumen perdido [mm ³]	% Perdido	Volumen perdido [mm ³]	% Perdido
1	2,5	6,17%	1,5	3,57%
2	2,5	6,17%	1	2,17%
3	2	4,94%	1	2,25%

Fuente: Chávez, Carlos, 2022

En vista que el volumen analizado tiene poca apreciación, haciendo uso de la Ecuación 41-3 se realizó una estimación del volumen perdido con otras unidades a manera de evidenciar mejor la tabulación de desgaste, y mostrando la importancia de la correcta selección de unidades. Así también el volumen final calculado mediante la Ecuación 42-3, notando la diferencia existente de entre los valores. De este modo se planteó la Tabla 48-4.

$$V_{p_c} = \frac{\%M_p * V_{i_c}}{100} = \frac{6,06 * 40354,34}{100} = 2445,72$$

$$V_{f_c} = V_{i_c} - V_{p_c} = 40354,34 - 2445,72 = 37908,62$$

Tabla 48-4: Valores calculados para la pérdida de volumen.

Orden del elemento	Corona		Tornillo sin fin	
	Volumen perdido [mm ³]	Volumen final calculado [mm ³]	Volumen perdido [mm ³]	Volumen final calculado [mm ³]
1	2445,72	37908,62	1274,33	40727,72
2	2305,46	38097,45	1159,81	44824,71
3	2076,17	38402,7	1095,64	43265,05

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Como se evidencia la manera volumétrica fue un tanto tediosa por el motivo de sus unidades, pero sus valores fueron acertados, lo único que no permitió es una comparativa adecuada entre los resultados de cada corona por su rango de apreciación.

4.5.3.3. Análisis y resultados

El método presente al igual que el método lineal arroja un resultado de porcentaje mayor de pérdida de masa por lo que la pareja con mejor comportamiento de pérdida es la tercera con tratamiento de carbonitruración lo que muestra un desprendimiento de 5,13% para la corona y un

2,47% para el tornillo, este es el método más confiable debido a que al analizar el volumen no existiría un análisis de mayor precisión y apreciación del fenómeno.

4.6. Resultados de la Evaluación final del material.

El desarrollo de evaluación final del material busca observar la influencia del tratamiento sobre el elemento por lo que se desarrollaron los pasos de la metodología.

4.6.1. Resultados de la evaluación de dureza

El ensayo de dureza como se mencionó en la metodología basará sus pasos en la determinación de la dureza en el material base por lo que siguió la siguiente metodología.

4.6.1.1. Preparación de las muestras

De los elementos extraídos como los diagramas planteados y descritos por la Ilustración 10-3 y la Ilustración 11-3 para la corona y tornillo sin fin respectivamente se muestran en la Tabla 49-4.

Tabla 49-4: Elementos extraídos

Corona	Tornillo sin fin
	

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

4.6.1.2. Selección de parámetros de dureza

Una vez más se tomó la metodología para la evaluación de dureza del material base de los elementos, de este modo se trabajó con la selección de parámetros para medición de dureza por el método de dureza Rockwell en la escala de Rockwell C.

4.6.1.3. *Medición de dureza y análisis.*

Previamente se estableció la metodología llevada a cabo para la verificación de dureza de los elementos por lo que se siguió el planteamiento de los esquemas de la Tabla 17-3 y se recolectaron los datos de dureza mostrados para los elementos de corona y tornillo sin fin en la Tabla 50-4.

Tabla 50-4: Recolección de mediciones de dureza para las coronas.

Corona 1					Tornillo sin fin 1			
Med.	A	B	C	Prom.	A	B	C	Prom.
1	54,1	53	53,5	53,53	65,2	65,1	64,8	65,03
2	53	52	54	53	65,4	65,3	65	65,23
3	47,7	47,8	47,5	47,67	49,9	49,5	49,6	49,67
4	47,5	47,8	47,6	47,63	50	49,9	49,8	49,9
5	47,8	48	47,5	47,77	50,2	51	50,9	50,7
Corona 2					Tornillo sin fin 2			
Med.	A	B	C	Prom.	A	B	C	Prom.
1	60,9	59,9	57,6	59,47	64,4	64,5	64	64,3
2	61	60,9	58	59,97	63	64,1	63,9	63,67
3	47,7	48	47,5	47,73	49,9	50,2	50,8	50,3
4	47,8	47,9	47,5	47,73	50	50,2	49,9	50,03
5	47,5	47,3	47,7	47,5	50,5	50,4	50,5	50,47
Corona 3					Tornillo sin fin 3			
Med.	A	B	C	Prom.	A	B	C	Prom.
1	59,6	57,6	59,1	58,77	67,1	66,7	66,8	66,87
2	48	49,1	47,7	48,27	50,7	49,9	50	50,2
3	47,9	47,5	47,3	47,57	50,4	50,3	51	50,57
4	47,8	47,7	47,5	47,67	50,4	50,6	50,5	50,5
5	47,6	47,6	47,9	47,7	50,6	50,6	50,3	50,5

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Con los datos observados fue importante construir para todos y cada uno de los tratamientos y elementos las curvas características de dureza como las que se muestran en la Tabla 59-4.

Adicional se realiza el cálculo de los datos de la difusión ocasionada a la superficie de los elementos mediante la Ecuación 43-3.

$$1 = \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \rightarrow x = 2,8 * 2 * \sqrt{Dt} = 2,8 * 2 * \sqrt{(3 * 10^{-11})(3600 * 5)} = 1,552\text{mm}$$

Nótese que para el primer tratamiento se consideró un aporte por difusión nulo debido a las condiciones iniciales que se presentan por lo que el material no fue aportado superficialmente. Adicional el tratamiento por carbonitruración se caracteriza por presentar una superficie de mayor dureza, mejores propiedades a desgaste y menor espesor, con un coeficiente de difusión menor, de este modo se evidencia en la Tabla 51-4. Adicional cabe destacar que las mediciones de la Tabla 50-4 fueron realizadas a una separación aproximada entre ellas de 1,6 mm y también del borde con lo que se construiría las gráficas con división al eje horizontal simétrica.

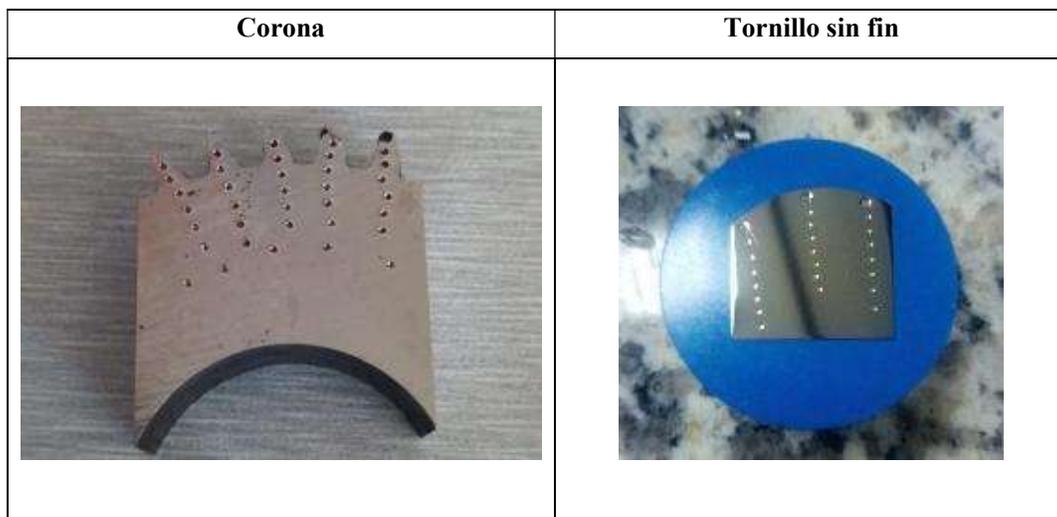
Tabla 51-4: Valores de difusión de los elementos

Tratamiento	Corona	Tornillo sin fin
Temple	---	---
Cementación	1,552 mm	1,552mm
Carbonitruración	0,003mm	0,003mm

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Los elementos indentados se muestran en la Tabla 52-4 medidos como la esquematización realizada en el Capítulo III por parte de la Ilustración 10-3 y la Ilustración 11-3 para la medición de dureza en corona y tornillo sin fin respectivamente.

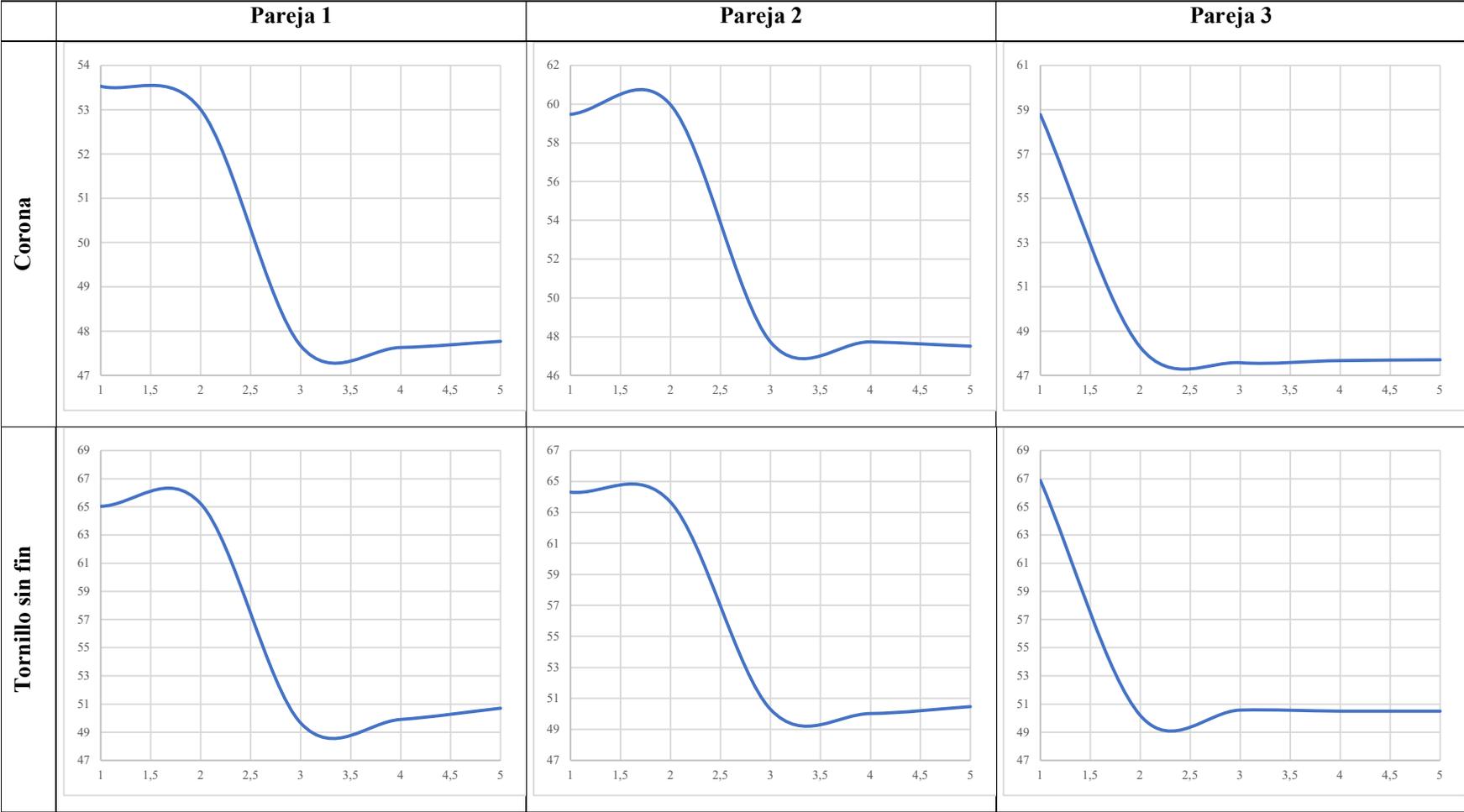
Tabla 52-4: Elementos indentados.



Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Las curvas arrojadas en la Tabla 53-4 son de similitud ya que todas involucran elementos con un tratamiento de endurecimiento superficial lo que busca un mantenimiento de las propiedades en el núcleo de cada elemento así se visualiza al construirlas, por una modificación microestructural y química a excepción de la primera pareja que solo tiene modificación microestructural.

Tabla 53-4: Curvas características de los tratamientos superficiales.



Fuente: Chávez, Carlos, 2022

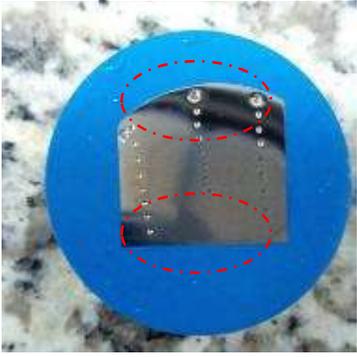
4.6.2. Resultados de la evaluación microestructural

A continuación, se sigue la metodología establecida en el Capítulo III, en cada una de sus etapas.

4.6.2.1. Ataque químico

La etapa de ataque químico tiene por objeto el revelado de la microestructura como ya se pudo evidenciar al desarrollo de la evaluación microestructural del material base, por lo que es necesario aplicar de la misma manera que se vio en ítems anteriores y obtener la Tabla 54-4 de los elementos de análisis bajo el ataque químico.

Tabla 54-4: Elementos de análisis bajo el ataque químico.

Corona	Tornillo sin fin
	

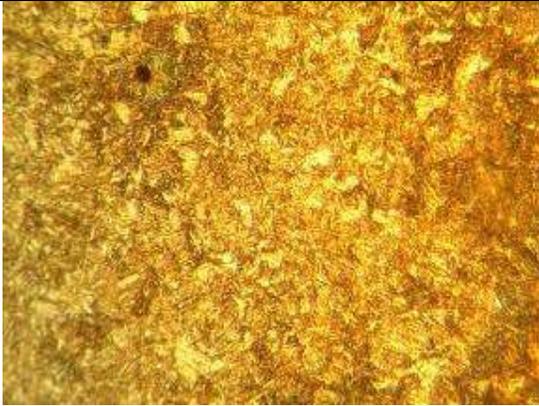
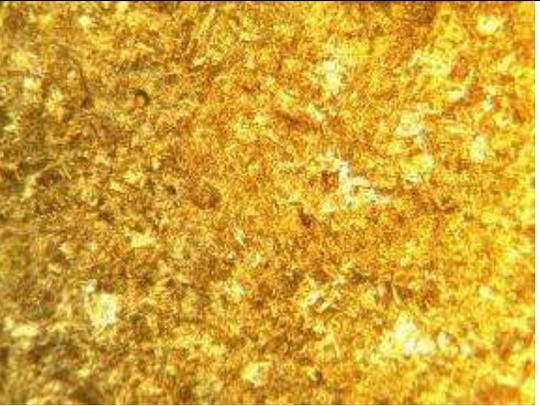
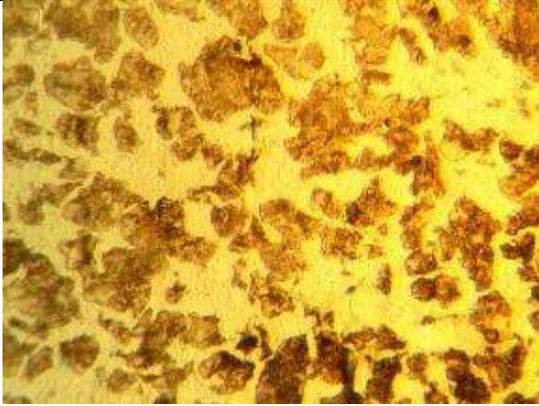
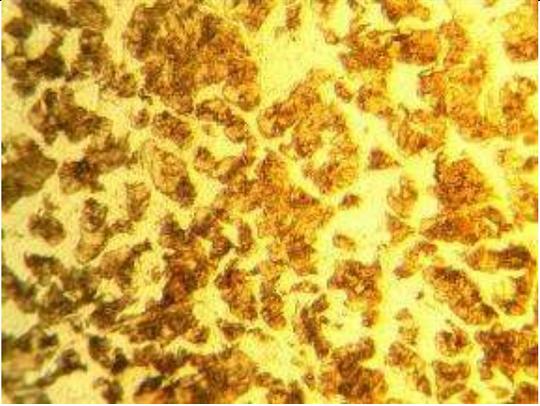
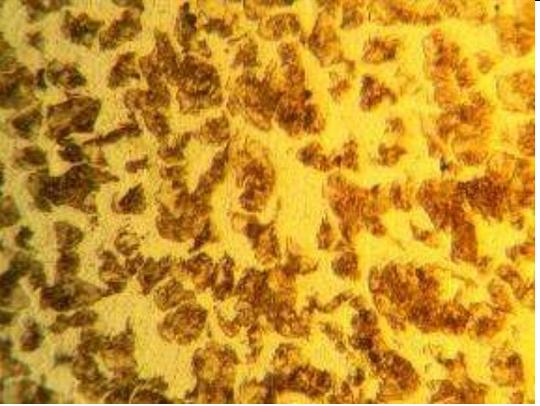
Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

4.6.2.2. Observación y obtención de fotomicrografías

Es importante notar que por la dureza es evidente que hay la presencia de martensita dentro de todos los elementos como se puede notar en la Tabla 55-4 se evidencia martensita de listón en cada microestructura, pero su diferencia es los elementos superficiales y su composición lo cual muestra una mayor ventaja, así como los tornillos de la Tabla 56-4 se observa y lógicamente es correcta la presencia de martensita de placa por lo que se obtiene una mayor ventaja mecánica.

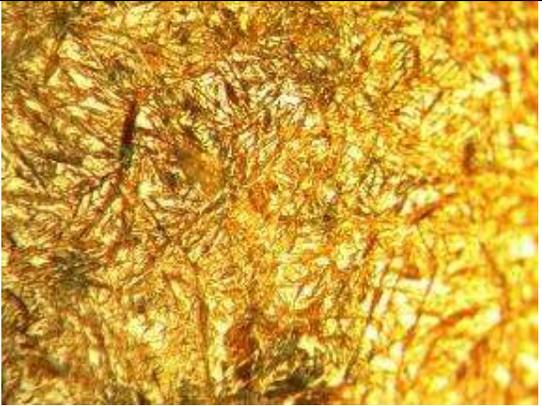
Al análisis de las microestructuras base es importante el considerar como ya se analizó la microestructura en ítems anteriores donde se ve para el AISI 7210 se presentó en el núcleo de las coronas una distribución de islas de perlita aisladas en un mar de ferrita por su contenido de carbono, por otra parte, el AISI 4340 presentó un alto porcentaje de perlita rodeada de una red delgada de cementita al núcleo del tornillo sin fin.

Tabla 55-4: Microestructuras de coronas.

	Corona 1	Corona 2	Corona 3
Fotomicrografía de tratamiento			
Fotomicrografía de material base			

Fuente: Chávez, Carlos, 2022

Tabla 56-4: Microestructuras de tornillos sin fin.

	Tornillo sin fin 1	Tornillo sin fin 2	Tornillo sin fin 3
Fotomicrografía de tratamiento			
Fotomicrografía de material base			

Fuente: Chávez, Carlos, 2022

4.7. Resultado del análisis de costos

La etapa de recursos establece el cálculo de costos que a su vez involucra la relación entre costos directos e indirectos aplicados al presente trabajo. De este modo se busca la relación de todos los procedimientos realizados en el trabajo.

4.7.1. Costos directos

Los costos directos se ven afectados por los valores de material adquirido, mecanizado, tratamiento térmico, extracción de probetas, efectuación de ensayos, insumos para desarrollos de ensayos. Por este motivo se desglosan en los ítems que se muestran más adelante.

El costo de materiales se establece en la Tabla 57-4 donde se muestra el material en bruto de AISI 7210 y AISI 4340, para el procedimiento de mecanizado de estos se estiman el diámetro nominal, la longitud nominal, así como el peso del material en crudo. Haciendo el uso del dato de peso se efectuará el cálculo de costo por motivo que los materiales de ingeniería son comercializados en función de su peso en kilogramos.

Tabla 57-4: Costos de material.

Material	Diámetro [mm]	Longitud [mm]	Peso [kg]	Costo [\$/kg]	Costo total [\$]
AISI 7210	65	70	1,82	13,5	24,57
AISI 4340	28	210	0,99	4,87	4,82

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

El costo de mecanizado toma parte esencial del cálculo de costos por lo que para el hecho se realiza la Tabla 58-4 que presenta los valores por operación de mecanizado en función de parámetros establecidos como número de pasadas, profundidad de pasadas, entre otras, arrojando un costo de mecanizado por corona y por tornillo sin fin, es importante el notar que estos valores son referenciales para un mecanizado en un acero de transmisión o acero dulce con una dureza no mayor de 130 HB, al aumentar la dureza del material se ve afectado de manera directa el costo de mecanizado y la relación de variación es por cada 100 puntos en la dureza se aumenta 1 al factor de costo por lo que para el AISI 7210 se tiene un factor de 2,7 y para el AISI 4340 de 3. Adicional a ello se realiza la aplicación del factor por el valor obteniéndose el costo real de mecanizado bajo las condiciones de trabajo.

Tabla 58-4: Costos de mecanizado de elementos

Corona							
Fase	Subfase	Longitud [cm]	N° Pasadas	Profundidad de pasada	Costo [\$/cm]	Costo Operación	
Exterior axial	Desbaste	3,25	1	2	0,4	1,3	
	Afinado	3,25	1	1	0,2	0,65	
Axial	Centrado	1	1	---	0,25	0,25	
Exterior radial	Desbaste	2,5	1	2	0,4	1	
	Afinado	2,5	1	1	0,2	0,5	
Interior axial	Perforado axial	3mm	2	1	---	0,1	0,2
		6mm	2	1	---	0,125	0,25
		9mm	2	1	---	0,156	0,31
		12mm	2	1	---	0,195	0,39
		15mm	2	1	---	0,244	0,49
		18mm	2	1	---	0,305	0,61
		21mm	2	1	---	0,381	0,76
Interior radial	Mandrinado	2	1	1	0,4	0,8	
	Afinado	2	1	1	0,2	0,4	
Exterior radial	Ranurado	1	3	---	0,2	0,6	
	Tronzado	0,925	1	---	0,2	0,19	
Brochado	Chavetero	2	1	3	0,6	1,2	
Tallado	Dentado externo	2,35	40	3,236	0,155	14,57	
					Valor	24,47	
					Factor	2,7	
					Total	66,07	
Tornillo sin fin							
Fase	Subfase	Longitud [cm]	N° Pasadas	Profundidad de pasada	Costo [\$/cm]	Costo Operación	
Exterior Axial	Desbaste	1,4	1	2	0,4	0,56	
	Afinado	1,4	1	1	0,2	0,28	
Axial	Centrado	1	1	---	0,25	0,25	
Exterior radial	Ranurado radial	0,4	20	4	0,2	1,6	
	Desbaste	5	1	2	0,4	2	
	Afinado	5	1	1	0,2	1	
	Roscado exterior	3	2	2	1,5	9	
	Corte	1	1	1	0,2	0,2	
					Valor	14,89	
					Factor	3	
					Total	44,67	

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Se adjunta también al mecanizado el costo de mecanizado de las probetas para microestructura y dureza del material base obteniéndose el costo de estas en la Tabla 59-4.

Tabla 59-4: Mecanizado de probetas de material base.

AISI 7210						
Fase	Subfase	Longitud [cm]	Nº Pasadas	Profundidad de pasada	Costo [\$/cm]	Costo Operación
Exterior axial	Tronzado	3,25	1	---	0,2	0,65
	Desbaste	3,25	2	2	0,4	1,3
	Afinado	3,25	2	1	0,2	0,65
					Valor	2,6
					Factor	2,7
					Total	7,02
AISI 4340						
Fase	Subfase	Longitud [cm]	Nº Pasadas	Profundidad de pasada	Costo [\$/cm]	Costo Operación
Exterior Axial	Tronzado	1,4	1	---	0,2	0,28
	Desbaste	1,4	2	2	0,4	0,56
	Afinado	1,4	2	1	0,2	0,28
					Valor	1,12
					Factor	3
					Total	3,36

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Finalmente, las probetas que permitieron la evaluación de resultados se extrajeron de los elementos tipo corona y tornillo sin fin con cada tratamiento por lo que se incide en los costos mostrados por operaciones para su obtención de la Tabla 60-4. Es importante notar que las coronas requirieron de un desbaste de sus cubos para de ese modo asentar en los equipos de laboratorio como el caso del durómetro y el microscopio, mientras que los elementos extraídos del tornillo sin fin requirieron del montaje en baquelita por su configuración para evitar el volteo en ensayos de dureza y en evaluaciones metalográficas. Adicional se notará que la dureza por influencia de los tratamientos superficiales ha incrementado, de este modo el costo de operación se verá involucrado, para lo cual es necesario elevar el factor multiplicación del costo. Esta dureza se vio aumentada en aproximadamente 100 puntos por lo que el costo sumará 1 a su factor.

Los cálculos de costos directos en la tabla final deberán considerar valores de elementos usados a lo largo del trabajo, los valores de mano de obra y trabajo ingenieril estiman valores como planos, cálculos, procesamiento de datos, etc.

Tabla 60-4: Extracción de probetas de elementos.

Corona						
Fase	Subfase	Longitud [cm]	Nº Pasadas	Profundidad de pasada	Costo [\$/cm]	Costo Operación
Exterior axial	Desbaste	2,15	4	2	0,4	3,44
	Afinado	2,15	2	1	0,2	0,86
	Corte	6,2	1	30	0,38	2,36
					Valor	6,66
					Factor	3,7
					Total	24,64
Tornillo sin fin						
Fase	Subfase	Longitud [cm]	Nº Pasadas	Profundidad de pasada	Costo [\$/cm]	Costo Operación
Exterior	Esmerilado	1,5	2	10	0,41	0,62
Axial	Corte	10,4	1	27	0,34	3,54
	Encapsulado	---	---	---	2,5	2,5
					Valor	6,66
					Factor	4
					Total	19,13

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Los tratamientos térmicos de los elementos se caracterizan por todos asemejar su morfología a la del primer tratamiento y es debido a que todos los elementos requirieron de Temple y revenido al final de cada tratamiento por lo que la diferencia es la difusión presente en los elementos de la segunda y tercera pareja de corona y tornillo sin fin, por lo que los costos se trabajan de la manera establecida en la Tabla 61-4.

Tabla 61-4: Costos de tratamiento térmico.

Tratamiento	Tiempo [Horas]	Temperatura [°C]	Costo [\$/Hora]	Costo total [\$]
Temple de AISI 7210	2	830	2,075	4,15
Revenido de AISI 7210	1	200	0,5	0,50
Cementado de AISI 7210	5	980	2,45	12,25
Carbonitrurado de AISI 7210	10	980	2,45	24,50
Temple de AISI 4340	2	850	2,125	4,25
Revenido de AISI 4340	1	250	0,625	0,63
Cementado de AISI 4340	5	950	2,375	11,88
Carbonitrurado de AISI 4340	10	950	2,375	23,75

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

Tabla 62-4: Costos directos.

Item	Cantidad	Costo [\$/U]	Costo total [\$]	Descripción
AISI 7210	3	24,57	73,71	Material en bruto
AISI 4340	3	4,82	14,46	Material en bruto
Probeta AISI 7210	1	7,02	7,02	Verificación de propiedades
Probeta AISI 4340	1	3,36	3,36	Verificación de propiedades
Mecanizado de corona	3	66,07	198,21	Construcción de elementos
Mecanizado de tornillo	3	44,67	134,01	Construcción de elementos
Temple AISI 7210	3	4,15	12,45	Tratamientos superficiales
Revenido AISI 7210	3	0,50	1,50	Tratamientos superficiales
Cementado AISI 7210	1	12,25	12,25	Tratamientos superficiales
Carbonitrurado AISI 7210	1	24,50	24,50	Tratamientos superficiales
Temple AISI 4340	3	4,25	12,75	Tratamientos superficiales
Revenido AISI 4340	3	0,63	1,89	Tratamientos superficiales
Cementado AISI 4340	1	11,88	11,88	Tratamientos superficiales
Carbonitrurado AISI 4340	1	23,75	23,75	Tratamientos superficiales
Rodamientos	12	4,50	54	Insumos de ensayos
Aceite	0,6	4,76	2,85	Insumos de ensayos
Retenedores	3	1	3	Insumos de ensayos
Retenedores	3	1,25	3,75	Insumos de ensayos
Binchas Seeger	4	0,8	3,2	Insumos de ensayos
Líquido de frenos	0,355	5	5	Insumos de ensayos
Lijas 3M	12	0,95	11,40	Insumos de extracción
Disco de corte	1	25	25	Insumos de extracción
Silicon gris	3 [oz]	0,95	2,85	Insumos de ensayos
Tinner	3 [L]	1,25	3,75	Insumos de ensayos
Gasolina	1 [G]	2,4	2,4	Insumos de ensayos
Nital	15 [mL]	0,1	1,5	Insumos de extracción
Aceite 3 en 1	1	1,8	1,8	Insumos de extracción
Probetas corona	3	24,64	73,92	Ensayos de materiales
Probetas tornillo sin fin	3	19,13	57,39	Ensayos de materiales
Ensayos de desgaste	3	25	75	Pruebas de desgaste
Inspección visual	6	15	90	Valoración de daños
Ensayos de dureza	7	10	70	Valoración de daños
Fotomicrografías	7	12	84	Valoración de daños
Trabajo ingenieril	30	12,5	375	Desarrollo total
Subtotal			1477,55	
IVA 12%			177,31	
Total			1654,86	

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

La Tabla 62-4 resumió todos los costos directos del trabajo, y focalizados a las tablas descritas previamente y reflejando el total de \$ 1654,86. Posterior a ello se procede con el cálculo de costos indirectos.

4.7.2. *Costos indirectos*

Los costos indirectos básicamente se relacionan al transporte y alimentación relacionados al trabajo así se describen sus valores de la Tabla 63-4.

Tabla 63-4: Costos indirectos.

Descripción	Costo [\$]
Transporte	120
Alimentación	120
Total	240

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

4.7.3. *Costos totales*

Los costos totales finales se ven afectados por los costos Directos e indirectos por lo que se muestran en la Tabla 64-4.

Tabla 64-4: Costos totales.

Descripción	Costo [\$]
Costos directos	1654,86
Costos indirectos	240,00
Total	1894,86

Fuente: Chávez, Carlos, 2022.

CONCLUSIONES

- Bajo el criterio de selección de materiales mediante un estado combinado entre el método tradicional, gráfico y por bases de datos se establece que las alternativas adecuadas para las combinaciones de las parejas de corona y tornillo sin fin en el método gráfico recaen sobre las series AISI 72XX y AISI 43XX respectivamente, dentro del método tradicional y por bases de datos se impone mediante la experiencia el uso de los aceros AISI 7210 y AISI 4340 endurecidos superficialmente y con un núcleo tenaz bajo diferentes tratamientos térmicos temple al aceite, cementación y carbonitruración ya que son los comercialmente distribuidos a nivel local.
- El análisis de dureza y microestructura previo al mecanizado y tratamiento térmico de los materiales en los elementos preparados para ensayo de dureza y microestructura una vez evaluados arrojan las propiedades de dureza promedio de 47,56 y 50,94 en la escala de Rockwell C las cuales superan el rango establecido u esperado en catálogo para acero AISI 7210 y AISI 4340 respectivamente. Al tomar en consideración las evaluaciones microestructurales el AISI 7210 presentó una distribución de islas de perlita aisladas en un mar de ferrita por su contenido de carbono, por otra parte, el AISI 4340 presenta un alto porcentaje de perlita rodeada de una red delgada de cementita. Estas propiedades y características son propias del material base.
- El proceso constructivo que de hecho se encargó de detallar toda y cada una de las fases del proceso de manufactura de los elementos tipo corona y tornillo sin fin obtuvo como producto los planos de detalle de los elementos, las hojas de proceso de mecanizado y los elementos mecanizados como tal. Fue posible de manera única la medición de dureza en la corteza de los elementos mediante la escala Rockwell C por lo que para la Corona 1, 2 y 3 se presentan las durezas superficiales de 53,74; 59,28 y 58,02 respectivamente, para los Tornillos 1, 2 y 3 se arrojaron los valores de 63, 64 y 67 respectivamente, nótese que la dureza con los tratamientos térmicos superficiales se vio incrementada. Debido a la configuración de los elementos hubo que esperar hasta el culminar con los ensayos para caracterizar la profundidad de tratamiento y el análisis microestructural de los elementos.
- Tras el análisis de los elementos bajo los diferentes tratamientos superficiales para la corona que presenta temple al aceite y revenido se esperaba el mayor daño evidente debido al aporte nulo de elementos a la superficie por lo que presentó el mayor desprendimiento de material en ancho de diente con una media de 0,37mm, en el caso del

material cementado por el aporte de carbono a la superficie evidencio un daño de 0,15mm y ubicando al de tratamiento superficial por carbonitruración como el menos afectado con 0,07mm de desprendimiento. Por otro lado, en cuestión al tornillo se presenta mejor resistencia al desgaste por parte del elemento con tratamiento de carbonitruración.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la búsqueda, selección y combinación de mayor cantidad de materiales con el fin de caracterizar ante la aplicación otros materiales dentro de la rama de ingeniería, además incidir en el análisis de materiales combinados en función de reducción de costos.
- Se recomienda que las propiedades mecánicas y microestructurales sean validadas a medida de sufrir desgaste los elementos antes y después de cada ensayo para la caracterización de desgaste temprano y de manera periódica.
- Se recomienda realizar un análisis de proyección de durabilidad de los elementos con el fin de detallar mediante curvas el desgaste y la vida útil de los elementos.
- En función al estudio de desgaste se recomienda el determinar planes de mantenimiento para la selección de lubricantes a lo largo de la vida útil de los elementos, con el fin de que la capa lubricante siempre sea la adecuada.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, J., & HIDALGO, J.** Diseño y construcción de un equipo motorreductor aplicando la metodología QFD. (Trabajo de titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera Mecánica. Riobamba-Ecuador. 2022. pp. 50-65.
- Apraíz, José.** *TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS ACEROS*. Madrid-España: Patronato de publicaciones de la escuela especial de ingenieros industriales, 1949.
- ASKELAND, Donald; et al.** *Ciencia e ingeniería de materiales*. México-México: CENGAGE Learning, 2011, 978-607-481-620-4.
- ASTM.E18-00.** *Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials*.
- ASTM E3-95.** *Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens*.
- ASTM E407-99.** *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*.
- AVNER, Sydney.** *Introducción a la metalúrgia física*. México-México: McGraw&Hill, 1988. 968-6046-01-1, pp 267-280.
- BENITEZ, Luis.** "Las fallas en los engranajes". *Ingeniería e investigación*, vol. 1, nº 1 (1985), (Bogotá) pp. 40-52.
- CALLISTER, William.** *Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales*. Barcelona-España: Reverte, 2016. 978-84-291-7251-5, pp. 338-340.
- CLEMENS, Mt.** "Material Selection and Heat Treatment". *National Broach & Machine*, (1985) (Estados Unidos) pp. 40-46.
- DÍAZ DEL CASTILLO, Felipe & REYES, Alberto.** *ACEROS, ESTRUCTURAS Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS*. México-México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2012, pp. 105-113.

ERRICHELLO, Robert & MULLER, Jane. "How to analyze gear failures". *Geartech*, (1994), pp. 35-40.

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA. *TRATAMIENTOS TÉRMICOS PROTOCOLO*. 2ª ed. Bogotá-Colombia: Facultad de Ingeniería Industrial, 2008.

FEDERACIÓN DE ENSEÑANZA DE CC. OO. DE ANDALUCÍA. *Tratamientos termoquímicos*. Andalucía-España: Revista digital para profesionales de la enseñanza., 2011, 1989-4023.

GASPARÍN, Alexandre; et al. "Polyamide Worm Gear: Manufacturing and Performance". *Material Research*, (2012), (Brasil).

HERRERA, Anderson; et al. "Estudio experimental de fallas en engranajes rectos por desalineación, excentricidad y diente roto". *Ingeniería y desarrollo*, (2016), (España).

CPE-INEN 003. *Código de dibujo técnico-mecánico*.

KEYSER, Carl. *Ciencia de materiales para Ingeniería*. Ohio-Estados Unidos: Limusa, 1985, 968-18-0605-0.

LARBURU, Nicolas. *Máquinas prontuario*. Madrid-España: Paraninfo, 1989, 84-283-1618-X.

MOLERA, Pere. *Tratamientos térmicos de los metales*. Barcelona-España: Marcombo, 1991, 978-84-267-0826-7.

ORTÍZ, Martín, et al. *Tratamientos térmicos*. Sahagún-Colombia: Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún, 2020, 2007-784X.

PANIC, Nenad; et al. "DETERMINING AN ALLOWABLE WEAR OF WORM WHEELS". *FAMENA*, vol. 1, (2017), (Croacia) pp. 55-60.

PEREZ & TORRE. *Guía de diseño para calcular el desgaste abrasivo entre componentes no lubricados*. Lerdo-México: Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo, 2015, 2448-623X.

PERNÍA, Alpha and al., et. *PRÁCTICAS DE MECANIZADO EN TORNO Y FRESADORA.*
España: UNIVERSIDAD DE LA RIOJA, 2018, pp. 17-18.

PONCE, Ernesto; et al. 2004. "BORONIZADO DE ALEACIONES DE BASE COBRE".
Revista Facultad de Ingeniería, vol. 12, nº 2 (2004), (Chile) pp. 57-62.

SMITH & HASHEMI. *Fundamentos de ciencia e ingeniería de materiales.* 4ª ed. México-
México : McGraw&Hill, 2004, 970-10-5638-8.

SMITH, William. *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales.* Madrid-España :
McGraw&Hill, 1998, 0-07-059241-1.

ZACARÍAS, Miguel; et al. 2015. "CARACTERIZACIÓN METALOGRAFICA Y
MECÁNICA DE LAS ESTRUCTURAS CRISTALINAS OBTENIDAS DURANTE EL
PROCESO DE CEMENTACIÓN EN ACEROS DIN 16CrNi4 Y DIN 16MnCr5 Y SU
RELACIÓN CON LA DUREZA Y TENACIDAD RESULTANTE EN ENGRANAJES
DE DIENTES RECTOS". *Universidad de Concepción*, (2015), (Colombia).

ZÁRATE, José; et al. *Ciencia y Tecnología de Materiales.* México-México : Éxodo, 2016, 978-
607-9443-72-6, pp. 175-201.

ANEXOS

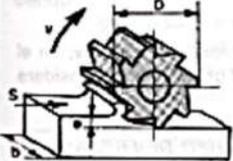
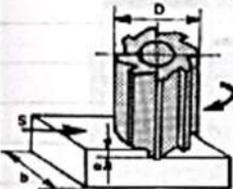
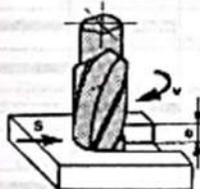
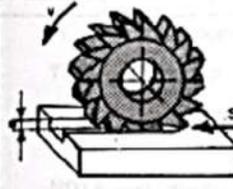
ANEXO A: VELOCIDADES DE CORTE PARA TORNO

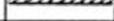
Útiles de corte		CUCHILLAS PARA TORNEADO					TABLA 17 . 12
		VELOCIDADES DE CORTE CON ÚTILES DE ACERO RÁPIDO					
Material a tornear	Resistencia Dureza	Avance s mm por vuelta					
		0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	
		Velocidad v m por minuto					
Acero suave	45 kg/mm ²	43	32	24	18	13	
Acero semiduro	60 kg/m ²	34	25	19	14	10	
Acero duro	85 kg/m ²	26	21	16	12	8	
Acero ligeramente aleado	90-110 kg/mm ²	18	13	10	7,5	6	
Acero aleado	110-150 kg/mm ²	17	12	8,5	6	4	
Acero fundido (moldeado)	50 kg/mm ²	34	25	19	14	10	
Acero fundido duro	50-80 kg/mm ²	27	18	13	10	7,5	
Fundición gris	HB 180	48	27	18	14	10	
Fundición dura	HB 220	32	18	13	10	8	
Fundición acerada	HB 250	22	14	11	7,5	5	
Cobre	60-80 HB	56	53	38	28	21	
Latón	80-120 HB	125	85	56	36	27	
Bronce	100 HB	63	48	40	32	24	
Aleaciones blandas de aluminio	20 HB	132	85	56	38	28	
Aleaciones duras de aluminio	25 HB	118	75	50	38	28	
Aleaciones de magnesio	20 HB	1000	900	800	750	700	
Plásticos		60-200					
Goma dura		100					
<p>NOTA. — Las velocidades de corte indicadas son de aplicación para profundidades de corte de $a \leq 5$ mm; para profundidades $a \geq 5$ mm los valores indicados se reducirán en un 10 a 20%. Estas velocidades corresponden a operación de acabado, para otros se afectarán de los coeficientes siguientes:</p> <p>Desbastado, 0,7; Tronzado, 0,6 Taladrado, 0,3 Mandriando 0,6 Roscado 0,1 a 0,4</p>							

Útiles de corte		VELOCIDADES DE CORTE CON PLAQUITAS DE METAL DURO					TABLA 18, . 12	
CORTE CON PLAQUITAS DE METALDURO SOLDADAS								
Grupo de empleo →			P01	P10	P20	P30	P40	
Material	Dureza Brinell HB	Resistencia a la tracción kg/mm ²	Avance s, en mm por vuelta					
			0,3-0,05	0,7-0,3-0,1	1,2-0,3-0,15	2-0,4-0,2	3-0,4	
Velocidad de corte v, m/min.								
Acero al carbono								
C 0,15%	125	45	280-440	170-240-330	100-200-260	60-150-200	35-125	
C 0,35%	150	60	235-370	140-200-280	80-165-210	45-120-160	25-100	
C 0,70%	250	85	185-300	110-155-220	60-130-170	35- 90-125	20-70	
Acero aleado recocido	150-200	50-65	185-300	110-155-220	60-130-170	40- 95-125	25-70	
Acero aleado tratado	200-275	65-95	145-240	85-120-175	50-100-130	30- 75-100	20-60	
Acero aleado tratado	275-325	90-110	115-180	65- 95-140	40- 80-105	25- 60-80	15-45	
Acero aleado tratado	325-425	110-150	90-150	35- 75-110	30- 65-85	20- 50-60	15-35	
Acero inoxidable martensítico				160-225	110-145-180	80-125-155	45-90	
Acero inoxidable austenítico					110-135	70-105-135	70-90	
Acero fundido (colado), no aleado,	150	50		125-160	65-105-125	45- 90-115	25-70	
poco aleado	150-250	50-80		90-125	45- 75-90	30- 60-80	15-45	
muy aleado	160-200				110-155	70-105-135	55-80	
Velocidades establecidas para una duración de la arista de corte (filo) de 35 minutos.								
CORTE CON PLAQUITAS DE METAL DURO FIJADAS MECÁNICAMENTE								
Grupo de empleo →			P01	P10	P20	P30	P40	
Material	Dureza Brinell HB	Resistencia a la tracción kg/mm ²	Avance s, en mm por vuelta					
			0,3-0,05	0,7-0,3-0,1	1,2-0,3-0,15	2-0,4-0,2	3-0,4	
Velocidad de corte v, m/min.								
Acero al carbono								
C 0,15%	125	45	350-540	200-290-410	130-260-330	80-190-250	45-160	
C 0,35%	150	60	290-460	170-240-350	100-210-270	65-150-200	35-125	
C 0,70%	250	85	230-370	130-190-280	80-160-210	45-115-160	25-95	
Acero aleado recocido	150-200	50-65	230-370	130-190-280	80-160-210	50-120-160	30-95	
Acero aleado tratado	200-275	65-90	180-290	105-150-220	65-130-170	40- 95-125	25-75	
Acero aleado tratado	275-325	90-110	145-230	85-120-175	50-100-130	30- 75-100	20-60	
Acero aleado tratado	325-450	110-150	115-150	65- 95-140	40- 80-105	25- 60-180	15-50	
Acero inoxidable martensítico				200-280	140-190-225	100-160-200	60-115	
Acero inoxidable austenítico					140-170	95-135-170	90-115	
Acero fundido (colado), no aleado,	150	50		160-200	80-135-160	55-115-145	35-90	
poco aleado	150-250	50-80		115-160	55- 95-115	35- 75-100	20-60	
muy aleado	160-200				140-200	100-135-170	70-105	
Velocidades establecidas para una duración de la arista de corte (filo) de 15 minutos.								

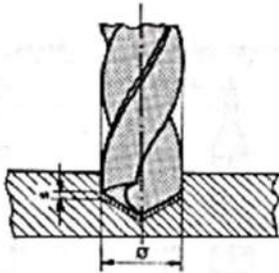
Útiles de corte		VELOCIDADES DE CORTE CON PLAQUITAS DE METAL DURO					TABLA 18, . 12
CORTE CON PLAQUITAS DE METAL DURO SOLDADAS							
Grupo de empleo →		K01	K10 M20	K10	K20	P20	P30
Material	Dureza Brinell HB	Avance s, en mm por vuelta					
		0,2-0,1	1-0,5-0,2	1-0,5-0,2	1,2-0,7	1-0,7-0,3	1,2-0,7-3
Velocidad de corte v, m/min.							
Acero al 12% de Mn	200		15- 25-50		8-25		
Fundición maleable			45-135-180	35-100-135		135-155	45-90-135
Fundición gris	180	125-160	65-145-180	50-110-145	50-70		
Fundición gris aleada	250	70-115	45-90-135	35- 65-100	35-50	60-100-135	
Fundición modular	250		35- 80-125	25- 60-90		80-125	25-45
Fundición templada en coquilla	400	6-20	8- 15-25				
Cobre electrolítico			155-315-540		270-450		
Aleaciones de plomo con desprendimiento			200-270-400		180-250		
Latón, bronce rojo			155-200-270		135-180		
Bronce fosforoso			90-155-225		90-155		
Aleaciones de aluminio de tratamiento colada	80-120 100		1350-1800 225-450-625 225-450-625		900-1350 180-270 90-180		
Velocidades establecidas para una duración de la arista de corte (filo) de 35 minutos.							
CORTE CON PLAQUITAS DE METAL DURO FIJADAS MECÁNICAMENTE							
Grupo de empleo →		K10 M20	K10	M20	P20	P30	
Material	Dureza Brinell HB	Avance s, en mm por vuelta					
		1-0,5-0,2	1-0,5-0,2	1,2-0,7	1-0,7-0,3	1,2-0,7	
Velocidad de corte v, m/min.							
Acero al 12% de Mn	200	20- 30-60	45-130-175	10-30			
Fundición maleable		55-175-230	60-120-175		170-215		
Fundición gris	180	80-150-230	45- 85-130	65-90			
Fundición gris aleada	250	55-115-175		45-65	75-130-175	55-115	
Fundición modular	250	45-100-160	35- 75-120		100-160	30-55	
Fundición templada en coquilla	400		10- 20-30				
Cobre electrolítico		200-400-700		350-570			
Aleaciones de plomo con desprendimiento		290-350-500		230-350			
Latón, bronce rojo		200-260-350		175-230			
Bronce fosforoso		115-200-290		115-200			
Aleaciones de aluminio de tratamiento de colada	80-120 100	1700-2300 290-580-800 290-580-800		1100-1700 230-350 115-230			
Velocidades establecidas para una duración de la arista de corte (filo) de 15 minutos.							

ANEXO B: VELOCIDADES DE CORTE PARA FRESADORA

Útiles de corte		OPERACIONES DE FRESADO				TABLA 21 . 12
VALORES INFORMATIVOS						
Operación de fresado	Material	Desbastado		Acabado		Observaciones
		Velocidad <i>v</i> m/min	Desplazamiento 5 mm/min	Velocidad <i>v</i> m/min	Desplazamiento 5 mm/min	
		Profundidad de pasada = 5 mm		Profundidad de pasada = 1 mm		
CILINDRADO O PLANEADO  <i>b</i> = ancho de la fresa	Acero no aleado hasta 80 kg/mm ²	16...18	90...150	18...22	60...90	Toda clase de fresado hasta 100 mm de ancho en fresado normal
	Acero ligeramente aleado hasta 110 kg/mm ² .	10...13	50...70	13...16	35...45	
	Fundición gris	12...14	10...170	14...18	70...100	
	Latón, bronce	30...40	160...220	40...60	100...160	
	Aluminio aleado	180...300	200...350	220...320	100...200	
REFRENTADO  <i>b</i> = 0,8 · <i>D</i>	Acero no aleado	20...25	80...120	25...30	45...70	Ancho del fresado = 0,8 · <i>D</i> , siendo <i>D</i> el diámetro de la fresa
	Acero ligeramente aleado	12...15 32...40	50...70 80...90	16...30 40...45	45...70 56...70	
	Fundición gris	16...20 50...63	110...160 140...200	20...25 63...70	50...80 125...180	
	Latón, bronce.	45...60	220...280	50...70	90...140	
	Aluminio aleado	240...320 400...500	240...360 350...400	260...380 500...630	90...170 250...350	
RANURADO  Fresas de manguito	Acero no aleado	16...18	35...55	20...24	75...100	Las fresas de alto rendimiento deben estar sólidamente fijadas
	Acero ligeramente aleado	12...14	15...25	16...28	40...55	
	Fundición gris	14...16	40...75	18...20	80...110	
	Latón, bronce	30...40	60...100	50...60	100...140	
	Aluminio aleado	160...200	60...100	180...240	80...120	
RANURADO  Fresas de disco	Acero no aleado	12...16	26...34	18...24	20...30	Valores contraavance para perfil simple y fresado normal.
	Acero ligeramente aleado	10...14	18...24	14...18	15...20	
	Fundición gris	14...16	35...45	16...22	25...35	
	Latón, bronce	26...32	50...65	30...40	35...35	
	NOTA. — Se considerarán valores iguales a los indicados en operaciones de fresado similares a las expuestas.					

Útiles de corte	FRESADO DE METALES APLICACIÓN ORIENTATIVA DE FRESAS. LUBRICANTES DE CORTE		TABLA 22 . 12
Agrupación de las fresas para operaciones de corte			
<p>Considerando las operaciones de fresado especificadas anteriormente, como cilindrado o planeado por medio de fresas cilíndricas, refrentado también por medio de fresas cilíndricas, ranurado con fresas de disco, y asimismo ranurado con fresas de manguito, para aplicación de las fresas según su dentado y ángulo de inclinación de los filos (λ), se establecen los grupos siguientes:</p>			
Grupo A. — Fresas con dentado fino y ángulo λ de inclinación de los dientes pequeño.			
Grupo B. — Fresas con dentado grueso y ángulo λ de inclinación media.			
Grupo C. — Fresas con dentado muy grueso y ángulo λ de inclinación de los dientes grande.			
Aplicación de los grupos de fresas			
Según los materiales se aplicará para su fresado el grupo que se considera más conveniente; en el cuadro que sigue se citan diversos materiales a fresas, y se señala con  el grupo que se considera más conveniente, y con  el grupo también utilizable.			
MATERIAL A FRESAR	GRUPO DE FRESAS		
	A	B	C
Acero de 45 kg/mm ²			
Acero de 60-85 kg/mm ²			
Acero de 90-110 kg/mm ²			
Acero de 150 kg/mm ²			
Acero fundido (moldeado)			
Fundición gris 180 HB			
Fundición de más de 180 HB			
Fundición maleable			
Cobre y aleaciones blandas de Cu			
Aleaciones de cobre frágiles			
Aleaciones de zinc			
Aleaciones de aluminio blandas			
Aleaciones de aluminio semiduras			
Aleaciones de aluminio duras para pequeñas velocidades de corte			
Aleaciones de aluminio duras para grandes velocidades de corte			
Aleaciones de manganeso			
Materiales sintéticos			
Materiales sintéticos prensados			
Lubricantes. — Refrigerantes para el fresado			
Como medio lubricante-refrigerante, para el fresado se utilizará:			
a) Para aceros	Aceite de corte, taladrina		
b) Para fundiciones grises	En seco		
c) Para aleaciones de cobre	Aceite de corte, taladrina		
d) Para aleaciones de aluminio	Petróleo		

ANEXO C: VELOCIDADES DE CORTE PARA BROCAS

Útiles de corte		BROCAS APLICACIÓN.— VALORES INDICATIVOS				TABLA 24 . 12
						
VALORES INDICATIVOS						
Material	Velocidad de corte v m/min	Diámetro de la broca				Refrigeración-lubricación
		5	12	25	40	
		Avance por vuelta, s mm.				
Acero 45 kg/mm ²	25...40	0,10	0,20	0,30	0,40	Emulsión de aceite soluble
Acero 60 kg/mm ²	25...32	0,10	0,18	0,27	0,35	Emulsión de aceite soluble
Acero 85 kg/mm ²	20...28	0,08	0,15	0,24	0,32	Emulsión de aceite soluble
Acero 90-110 kg/mm ²	12...20	0,06	0,20	0,20	0,28	Emulsión de aceite soluble
Acero 150 kg/mm ²	8...15	0,04	0,10	0,16	0,24	Aceite de corte
Acero fundido 50 kg/mm ²	20...35	0,15	0,25	0,40	0,55	Emulsión de aceite soluble
Acero fundido 50-80 kg/mm ²	15...25	0,10	0,20	0,30	0,40	Emulsión de aceite soluble
Fundición gris	20...35	0,15	0,25	0,40	0,55	En seco
Fundición dura	15...25	0,10	0,18	0,28	0,38	En seco
Cobre	30...70	0,12	0,20	0,28	0,36	Aceite soluble
Latón	40...80	0,10	0,20	0,30	0,40	En seco
Latón duro	30...70	0,15	0,25	0,35	0,45	En seco
Bronce	30...70	0,10	0,20	0,30	0,40	Aceite soluble
Aleaciones de aluminio	80...120	0,15	0,25	0,35	0,45	Aceite soluble o en seco
Aleaciones duras de aluminio	100...160	0,15	0,25	0,40	0,55	Aceite soluble con petróleo
Aleaciones de magnesio	120...175	0,30	0,45	0,60	0,75	En seco
Plásticos	30...40	según observaciones				Aire comprimido
Mármol	10	0,03	0,05	0,10	0,15	Agua
<p>Cuando se efectúan taladros profundos, los avances s por vuelta se reducirán de acuerdo con los valores que se indican en la Tabla que sigue:</p>						
Broca de...	Profundidad de taladro hasta...	Profundidad de taladro de...		Profundidad de taladro superior a...		
20 mm diámetro	≈ 5 veces Ø broca	5	hasta 8 veces Ø broca	8 veces Ø broca		
32 mm diámetro	≈ 4	4	6,3	6,3		
50 mm diámetro	≈ 3,15	3,15	5	5		
80 mm diámetro	≈ 2,5	2,5	4	4		
	1 Avance	0,8 del avance		0,5 del avance		
<p>NOTA.—Para brocar de pequeño diámetro se tomarán las mayores velocidades v de corte por minuto, y para las de grandes diámetros se tomarán los menores valores de v.</p>						

ANEXO D: REACTIVOS PARA ATÁQUE QUÍMICO

TABLE 1 Etchants for Metals

NOTE 1—Electrolytic etchants are *italicized*.

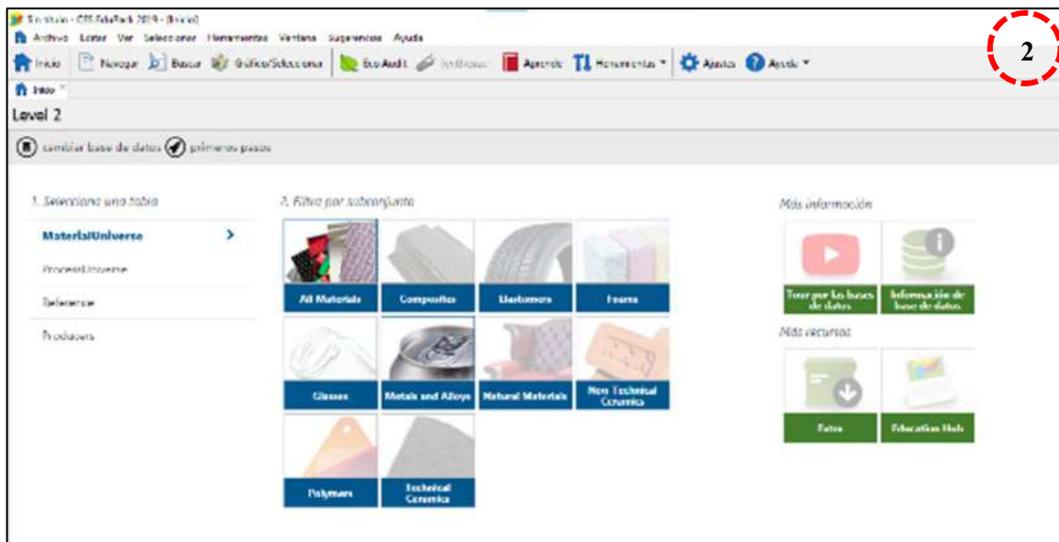
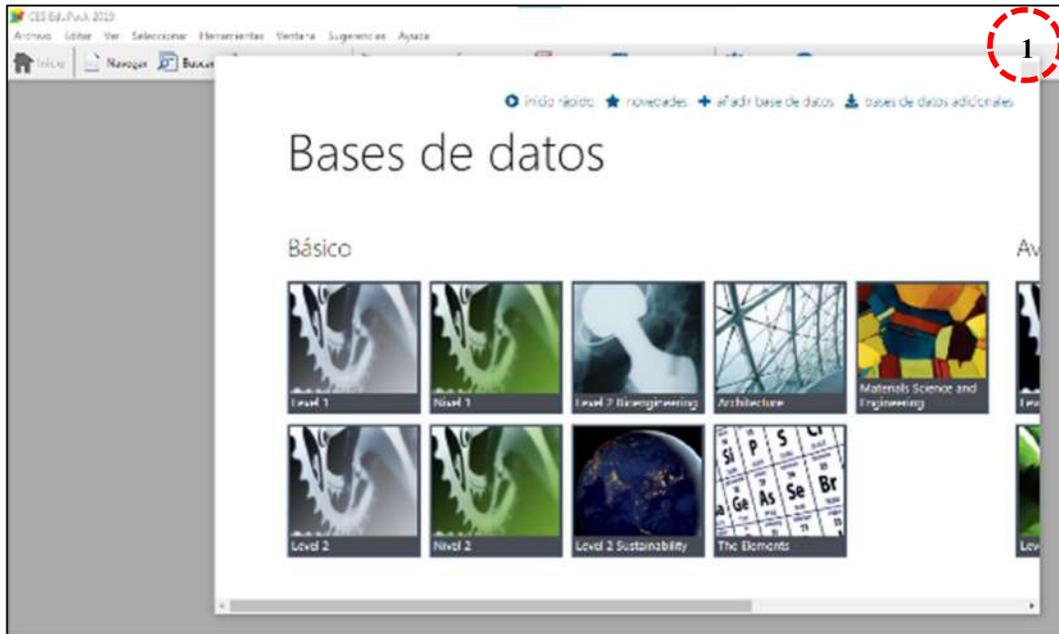
Metal	Etchants	Uses
Aluminum Base:		
Pure Al	1a, 2, 3 4, 5 1b	general structure grain structure under polarized light grain boundaries and slip lines
1000 series	1a, 3, 2 4, 5 6, 7	general structure grain structure under polarized light phase identifications
2000 series	3, 2, 1a 8a, 6, 7	general structure phase identifications
3000 series	3, 1a 4, 5 8a, 6, 7	general structure grain structure under polarized light phase identifications
4000 series	3, 1a	general structure
5000 series	3, 1a, 2, 6, 8a 4, 5	general structure grain structure under polarized light
6000 series	3, 1a, 2, 6, 8a, 222 4, 5 1a, 2, 7, 6, 8a	general structure grain structure under polarized light phase identifications
7000 series	3, 1a, 2 4, 5 3b, 6	general structure grain structure under polarized light phase identifications
Beryllium Base:		
Pure Be	9, 10	general structure via polarized light
Be alloys	11	general structure
Chromium Base:	12, 13c	general structure
Cobalt Base:		
Pure Co	14, 15, 16, 17	general structure
Hard-facing and tool metals	18, 19, 20	general structure
High-temperature alloys	20, 18, 16, 21, 22b, 24, 25 19	general structure phase identification
Columbium Base (see niobium base)		
Copper Base:		
Pure Cu	26, 27, 28, 29, 30, 31d, 32, 33, 34b, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 8b, 210, 215 43, 28	general structure chemical polish and etch
Cu-Al (aluminum bronze)	44, 31d, 34b, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 45, 215	general structure
Cu-Be	46, 41, 45	general structure
Cu-Cr	41	general structure
Cu-Mn	41	general structure
Cu-Ni	34, 47, 48, 40, 49, 50	general structure

E 407

TABLE 2 Continued

Etchant	Composition	Procedure
60	25 mL HNO ₃ 15 mL acetic acid 15 mL HF 5-7 drops bromine	Use hood. Let stand ½ h before using. Swab 3-20 s.
61	60 mL HCl 40 mL HNO ₃	Use hood. Immerse few seconds to a minute.
62	1-5 g CrO ₃ 100 mL HCl	Vary composition of reagent and aging of reagent after mixing to suit alloy. Swab or immerse few seconds to a minute.
63	0.1 g CrO ₃ 10 mL HNO ₃ 100 mL HCl	Swab few seconds to a minute.
64	5 mL HNO ₃ 25 mL HCl 30 mL water	(a) Immerse 1-5 min. (b) Use hot. Will form chloride film on gold alloys if much silver is present. Ammonia will remove film.
65	A 10 g ammonium persulfate 100 mL water B 10 g KCN 100 mL water	Use hood—Can give off extremely poisonous hydrogen cyanide. Precaution—Also poisonous by ingestion as well as contact. Mix 1 + 1 mixture of Solutions A and B just before use. (A mixture of 5 drops of each will cover the surface of a 1 in. dia. mount.) Immerse ½ - 2 min.
66	30 mL HF 15 mL HNO ₃ 30 mL HCl	Swab 3-10 s or immerse to 2 min.
67	10 mL perchloric acid 10 mL 2-butylethanol 70 mL ethanol (95 %) 10 mL water	Precaution—Keep cool when mixing and use. Electrolytic at 30-65 V for 10-60 s.
68	3 mL perchloric acid 35 mL 2-butylethanol 60 mL methanol (absolute)	Precaution—Keep cool when mixing and use. Electrolytic at 60-150 V for 5-30 s.
69	5 mL perchloric acid 80 mL acetic acid	Precaution—Keep cool when mixing and use. Electrolytic at 20-60 V for 1-5 min.
70	5 mL HF 2 mL AgNO ₃ (5 %) 200 mL water	Swab for 5-60 s.
71	5 mL HF 95 mL water	Add 5-10 drops of this solution on the final polishing wheel which has been charged with the polishing solution. The specimen is polished on this wheel until the surface turns black. Distilled water is then slowly added to the wheel and polishing continued until the surface is bright. At this time the specimen should be ready for examination via polarized light. Note—Use inert substance between cloth and wheel to prevent attack of the wheel. Wear gloves.
72	10 mL HF 45 mL HNO ₃ 45 mL water	Swab for 5-20 s.
73	20 mL HCl 25 g NaCl 65 mL water	Electrolytic etch—use carbon cathode and platinum wire connection to specimen. (a) 6 V ac for 1 min. (b) 5 V-20 V ac for 1-2 min. (c) 20 V ac for 1-2 min. For etch-polishing, use shorter times. After etching, water rinse, alcohol rinse, and dry.
74	1-5 mL HNO ₃ 100 mL ethanol (95 %) or methanol (95 %)	Etching rate is increased, sensitivity decreased with increased percentage of HNO ₃ . (a) Immerse few seconds to a minute. (b) Immerse 5-40 s in 5 % HNO ₃ solution. To remove stain, immerse 25 s in 10 % HCl-methanol solution. (c) For Inconels and Nimonic, use 5 mL HNO ₃ solution—electrolytic at 5-10 V for 5-20 s. (d) Swab or immerse several minutes. (e) Swab 5-60 s. HNO ₃ may be increased to 30 mL in methanol only depending on alloy. (Ethanol is unstable with over 5 % HNO ₃ .) Do not store.
75	5 g picric acid 8 g CuCl ₂ 20 mL HCl 200 mL ethanol (95 %) or methanol (95 %)	Immerse 1-2 s at a time and immediately rinse with methanol. Repeat as often as necessary. (Long immersion times will result in copper deposition on surface.)

ANEXO E: SELECCIÓN DE MATERIALES POR EL MÉTODO GRÁFICO.



Proyecto de selección

1. Datos para la selección

Base de datos: Nivel 2

Solucionador de: MaterialInverso: All materials

2. Etapas de selección

Gráfico Limite Árbol

Etapa 1: Limite

3. Resultados: pasan 100 de 100

Mostrar:

Ordenar por:

Nombre
Acrylonitrile butadiene styrene (A...
Age-hardening wrought Al-alloys
Alumina
Aluminum nitride
Aluminum/Silicon oxide composite
Bamboo
Boron carbide
Borosilicate glass
Brass
Brick
Bronze
Buyl rubber (BR)
Carbon black reinforced styrene bu...
Cast Al-alloys
Cast iron, ductile (nodular)
Cast iron, gray

Inicio Etapa 1

Limite

Configuración

[¿No encuentras la propiedad que estás buscando?](#)

- General properties
- Mechanical properties
- Thermal properties
- Electrical properties
- Optical properties
- Critical Materials Risk
- Processability
- Durability: water and aqueous solutions
- Durability: acids
- Durability: alkalis
- Durability: fuels, oils and solvents
- Durability: alcohols, aldehydes, ketones
- Durability: halogens and gases
- Durability: built environments
- Durability: flammability
- Durability: thermal environments
- Geo-economic data for principal component
- Primary material production: energy, CO2 and water
- Material processing: energy

3

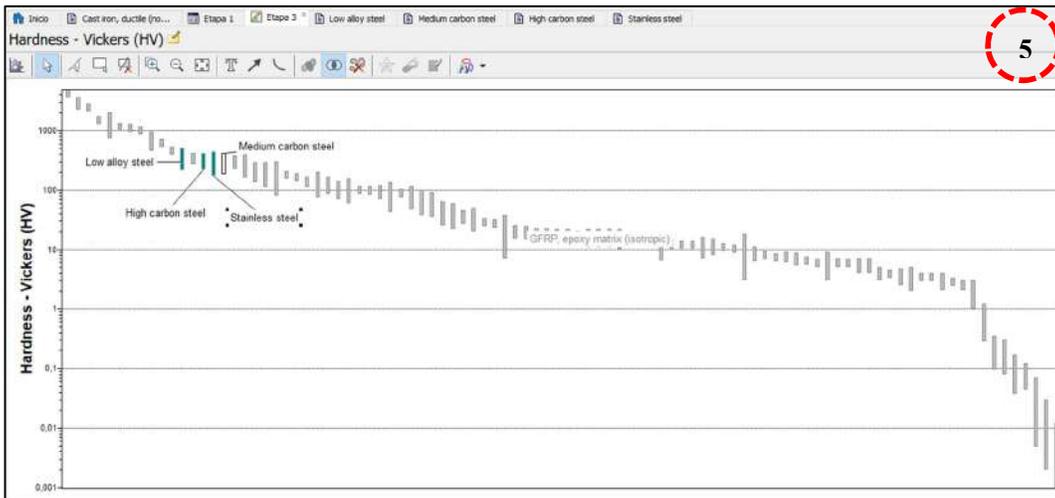
▼ **General properties**

	Minimo	Máximo	
Density	<input type="text" value="7480"/>	<input type="text" value="8000"/>	kg/m ³
Price	<input type="text"/>	<input type="text"/>	USD/kg
Date first used	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

▼ **Mechanical properties**

	Minimo	Máximo	
Young's modulus	<input type="text" value="200"/>	<input type="text" value="210"/>	GPa
Shear modulus	<input type="text"/>	<input type="text"/>	GPa
Bulk modulus	<input type="text"/>	<input type="text"/>	GPa
Poisson's ratio	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Yield strength (elastic limit)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa
Tensile strength	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa
Compressive strength	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa
Elongation	<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="11"/>	% strain
Hardness - Vickers	<input type="text" value="200"/>	<input type="text" value="303"/>	HV
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	<input type="text" value="334"/>	<input type="text" value="651"/>	MPa
Fracture toughness	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="106"/>	MPa.m ^{0.5}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

4



5

Low alloy steel

Ver hoja de datos: All properties Mostrar/ocultar

Metals and alloys > Ferrous >

Description

Image

14mm CHROME VANADIUM
15mm CHROME VANADIUM

Caption
Low alloy steel wrench. © Granta Design

The material

Pure iron is soft stuff. Add carbon and heat-treat it right, and you can get a material that is almost as hard and brittle as glass, or as ductile and tough as boiler plate. 'Heat treat' means heating the steel to about 800 C to dissolve the carbon, then quenching (rapid cooling, often by dropping into cold water) and tempering - reheating it to a lower temperature and holding it there. Quenching turns the steel into hard, brittle 'martensite'; tempering slowly restores the toughness and brings the hardness down. Control of tempering time and temperature gives control of properties. It's wonderful what 1% of carbon can do. But (the inevitable 'but') the cooling rate in that initial quench has to be fast - more than 200 C/second for plain carbon steels. There is no difficulty in transforming the surface of a component to martensite, but the interior cools more slowly because heat has to be conducted out. If the component is more than a few millimeters thick there is a problem - the inside doesn't cool fast enough. The problem is overcome by allowing

6

Technical notes

The SAE-AISI system for low alloy steels works the same way as that for plain carbon steels. Each steel has a four-digit code; the first two digits indicate the major alloying elements, the second two give the amount of carbon, in hundredths of a percent. Typical are the nickel-chrome-molybdenum steels with the designation 43xx, but the alloying elements can include any of the following: more than 2% silicon, more than 0.4% copper, more than 0.1% molybdenum, more than 0.5% nickel, more than 0.5% chromium. More information on designations and equivalent grades can be found on the Granta Design website at www.grantadesign.com/designations



ACEROS MG

ACEROS BONIFICADOS PARA MAQUINARIA





ACEROS MG

705=AISI 4340

Acero bonificado para maquinaria

GENERALIDADES: 705 es un acero al molibdeno más cromo y níquel. El molibdeno tiene una solubilidad limitada y es un buen formador de carburos. Ejerce un fuerte efecto sobre la templabilidad y de manera semejante al cromo, aumenta la dureza y resistencia a alta temperatura de los aceros. Menos susceptible al fragilizado debido al revenido que los demás aceros aleados para maquinaria. Al combinarse con níquel y cromo soportar altas exigencias de resistencia y tenacidad en selecciones grandes. Su contenido de níquel le da más templabilidad, lo mismo que la resistencia en caliente.

705 combina alta resistencia mecánica (la mayor del mercado) con buena tenacidad. Este acero en forma standard es suministrado bonificado por lo que no se requeriría luego un tratamiento térmico, sin embargo, si se desea mejores propiedades, puede ser templado al aceite. Susceptible de temple por inducción y también puede someterse a tratamiento de nitrurado.

ANÁLISIS TÍPICO

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
705	0.36	0.25	0.70	-	-	1.40	1.40	0.20
AISI 4340	0.35-0.40	0.20-0.35	0.60-0.80	0.04	0.04	1.85-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30

EQUIVALENCIAS

AISI/SAE	4340
DIN	34CrNiMo6
W Nr	1.6582
JIS	SNCM1
AFNOR	35NCD6

PROPIEDADES MECÁNICAS EN CONDICIÓN DE SUMINISTRO

Resistencia a la tracción	90-110 kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	70 kg/mm ²
Elongación, A5	min 12%
Reducción de área, Z	min 45%
Resistencia al impacto, KU	aprox. 20 J
Dureza	270-330 HB

De acuerdo a DIN 17200 resp. SEW 550. Tolerancia
DIN 1013 resp. DIN 7527/6

Nota: Estas propiedades se garantizan hasta 0250 mm. Medidas mayores, favor consultarnos.

APLICACIONES:

1. Partes de gran resistencia para la industria automotriz, como:

- Ejes
- Cardanes
- Cigüeñales
- Ejes de leva
- Tornillería de alta resistencia

2. Partes para la construcción de maquinaria de trabajo pesado como:

- Árboles para trituradoras
- Ejes de transmisión de grandes dimensiones
- Engranajes de temple por llama, inducción o nitruración
- Barras de torsión
- Mandriles
- Portaherramientas

3. Aplicaciones donde se requiere resistencia a la fatiga, como:

- En la construcción de equipo pesado para camionetas, aviones, equipo militar, etc.



ACEROS MG

TRATAMIENTO TÉRMICO:

Recocido blando: (650-700 °C): Mantener a la temperatura por 2 horas. Enfriar en el horno con una velocidad de 15°C/h hasta los 600°C y luego libremente al aire.

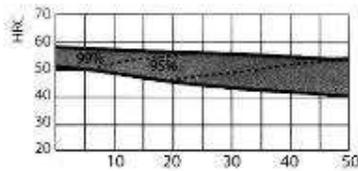
Alivio de tensiones: (450-650°C): El acero templado tenaz deberá ser calentado hasta aproximadamente 50°C por debajo de la temperatura usada para el revenido (como standard el 705 es suministrado revenido a 600°C). Mantenerlo a esta temperatura usada durante ½ a 2 horas. Enfriar en el horno hasta los 450°C y luego libremente al aire.

Temple: (830-850°C), con enfriamiento en aceite: El mantenimiento del tiempo en minutos cuando la superficie ha alcanzado la temperatura de temple es 0.7x espesor o diámetro en milímetros. Interrumpir el enfriamiento a los 125°C y luego revenir inmediatamente.

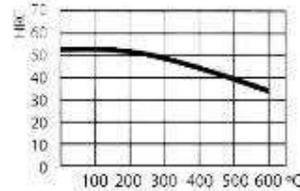
Revenido (500-700°C): El tiempo de mantenimiento a la temperatura de revenido podría ser de 1-2 horas o una hora por pulgada de grueso. Partes de máquinas que requieran una resistencia alta, como por ej. Engranajes, deberán ser revenidas a temperaturas más bajas, es decir de 200 a 250°C, lo que dará una dureza de aproximadamente 500HB.

Nitración: Se pueden lograr durezas de alrededor de 53-55 HRC. El proceso durará entre 48 y 72 horas, por lo cual la planeación de tratamiento debe hacerse con el tiempo necesario.

CURVAS PARA TEMPLE Y REVENIDO



DISTANCIA DESDE EL EXTREMO TEMPLADO, mm



Temperatura de revenido °C

MEDIDAS EN STOCK

REDONDO		
mm	APROX. PULGADAS	PESO APROX. kg/m
16	5/8	3.0
20	25/32	2.5
22	7/8	3.0
25	1	3.9
28	1 3/32	4.8
32	1 ¼	6.3
35	1 3/8	7.5
38	1 ½	8.9
40	1 9/16	9.9
45	1 ¾	12.5
50	1 31/32	15.4
55	2 5/32	18.6
60	2 3/8	22.2
65	2 9/16	26.0
70	2 ¾	30.2
75	2 15/16	34.7
80	3 5/31	39.4
85	3 11/32	44.5
90	3 17/32	49.9
95	3 ¾	55.6

REDONDO		
mm	APROX. PULGADAS	PESO PROX. kg/m
100	3 15/16	61.6
105	4 1/8	67.9
110	4 5/8	74.5
115	4 ½	81.5
120	4 ¾	88.7
125	4 15/16	96.3
130	5 1/8	104.1
135	5 5/16	112.3
140	5 ½	120.7
145	5 11/16	129.5
150	5 7/8	138.6
160	6 ¼	157.7
170	6 11/16	178.0
180	7 1/8	199.6
200	7 7/8	246.4
210	8 ¼	271.7
250	9 7/8	385.0
300	11 7/8	555
350	13 7/8	755



ACEROS MG

ACEROS PARA CEMENTACION





ACEROS MG

7210 = AISI 3115/8620 Acero de maquinaria para cementación

GENERALIDADES: Es un acero aleado para cementación, con un núcleo de alta resistencia. Se utiliza para casos donde se requiere alta dureza y resistencia al desgaste superficial, combinado con buena tenacidad del núcleo. Comparado con un acero de más alta aleación (tipo 3% níquel), éste tiene una menor tendencia a la formación de austenita retenida. 7210 tiene un grano fino tratado, del cual se aprovecha tenacidad y seguridad en el temple directo. Se suministra con una buena dureza natural controlada, dando óptima maquinabilidad.

ANÁLISIS TÍPICO %

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
7210	0.15	0.25	0.90	0.80	1.20	0.10
SAE 3115	0.13-0.18	0.20-0.35	0.40-0.80	0.55-0.75	1.10-1.40	—
SAE 8620	0.18-0.23	0.15-0.35	0.70-0.35	0.40-0.60	0.40-0.70	0.15-0.25

EQUIVALENCIAS

SAE	3115/8620
-----	-----------

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Suministro laminado en caliente con dureza aproximada de 217 HB.
Propiedades mecánicas del núcleo en condición de cementado y templado a 820°C y revenido a 180°C durante una hora.

Diámetro, mm	11	63
Esfuerzo de cedencia, kg/mm ²	min. 85	45
Resistencia a la tracción, kg/mm ²	100-135	70-100
Elongación, A5	min. 8%	11%
Reducción de área, Z	min. 30%	30%
Resistencia al impacto, KU	—	30 (para referencia solamente)
Dureza, HB	300-400	200-300

acc. a DIN 17210, tolerancia DIN 1013 resp. DIN 7527/6

APLICACIONES:

1. Industria automotriz, para la realización de piñones, ejes estriados, cigüeñales, etc.
2. Maquinaria como: ejes, engranajes de reducción, cojinetes, tornillería, con exigencias de dureza exterior, columnas, pines de tractores, piezas duras de maquinaria en general, etc.
3. Aplicaciones de mediana resistencia mecánica, expuesta a vibraciones o donde se requiere soldadura, con el 7210 en estado de suministro.

TRATAMIENTO TÉRMICO:

Reconocido suave: 600-670°C. Mantenimiento a la temperatura 2 horas. Enfriar en el horno a una velocidad máxima de 15°C/h hasta 600°C, después libremente al aire. Dureza máxima 217 HB.

Carburización:

880-920°C, en una caja con polvo carburizante

850-900°C, en baño de sal. Principalmente usado para profundidades de cementación hasta 0.5 mm.

Temple:

Temple directo: Para profundidad de cementación hasta 0.5 mm (mayores profundidades si se carburizó con gas).

Temple directo desde la temperatura de cementación en aceite o baño de sal.

Tratamiento simple: para cajas con partes carburizadas con profundidades de cementación hasta los 1.25mm.

Después de carburizar, dejarlo enfriar en la caja a temperatura ambiente. Recalentar a 800-830°C y templar en aceite o en un baño de sal.



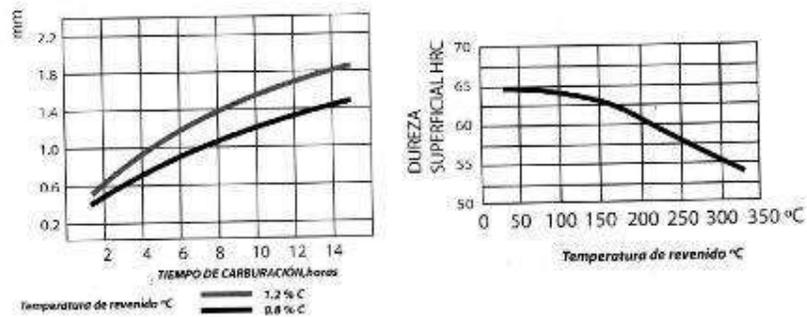
ACEROS MG

Doble tratamiento: para caja con partes carburizadas con profundidades de cementación sobre los 1.25mm:

Después de carburizar se deja enfriar en la caja a temperatura ambiente. Recalentar a 800-900°C y dejar enfriar aire. Recalentar a 780-830°C y templar en aceite o baño de sales.

Revenido: 160-200°C Mantener a esta temperatura durante 1 ó 2 horas luego de lo cual se obtendrá superficialmente durezas de 58-62 HRC, siempre de la profundidad mínima de cementación sea de 05 mm.

DIAGRAMAS DE CARBURACIÓN Y REVENIDO



MEDIDAS EN STOCK

REDONDO			REDONDO		
mm	APROX. PULGADAS	PESO APROX. kg/m	mm	APROX. PULGADAS	PESO APROX. kg/m
20	25/32	2.5	115	4 1/2	81.6
22	7/8	3.0	120	4 1/4	88.7
25	31/32	3.9	125	4 15/16	96.3
30	1 3/16	5.7	130	5 1/8	104.1
35	1 3/8	7.6	140	5 1/2	120.7
38	1 1/2	8.9	150	5 29/32	139.0
40	1 9/16	9.9	160	6 5/16	158.0
45	1 3/4	12.5	170	6 11/16	178.1
50	1 31/32	15.4	180	7 1/8	199.6
55	2 5/32	18.7	190	7 1/2	223.0
60	2 3/8	22.2	200	7 7/8	246.5
65	2 9/16	26.1	220	8 21/32	298.0
70	2 1/2	30.2	250	9 7/8	385.0
75	2 15/16	34.7	280	10 1/4	417.0
80	3 5/32	39.5	280	11	483.0
90	3 17/32	49.9	300	14 1/8	555.0
100	4	61.6	350	13 7/8	755.0
105	4 1/8	68.0	400	14 3/4	986.0
110	4 5/16	74.5			

ANEXO H: EVALUACIÓN MICROESTRUCTURAL DEL MATERIAL BASE.

1



2



3



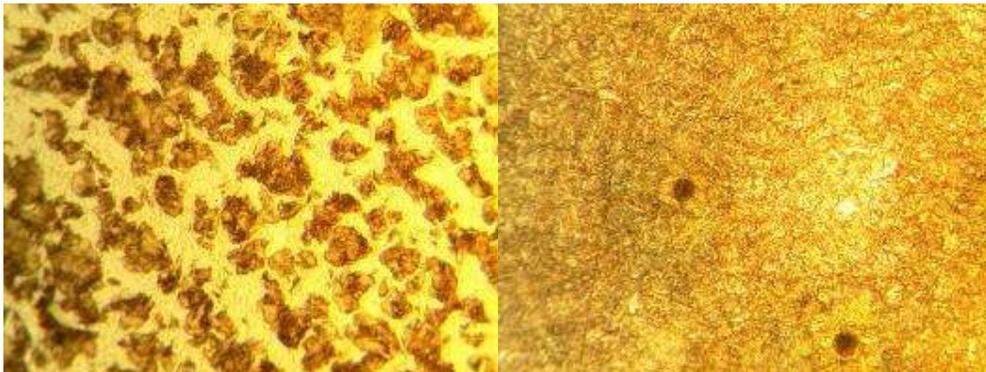
4



5



6



ANEXO I: EVALUACIÓN DE DUREZA DEL MATERIAL BASE.

1



2



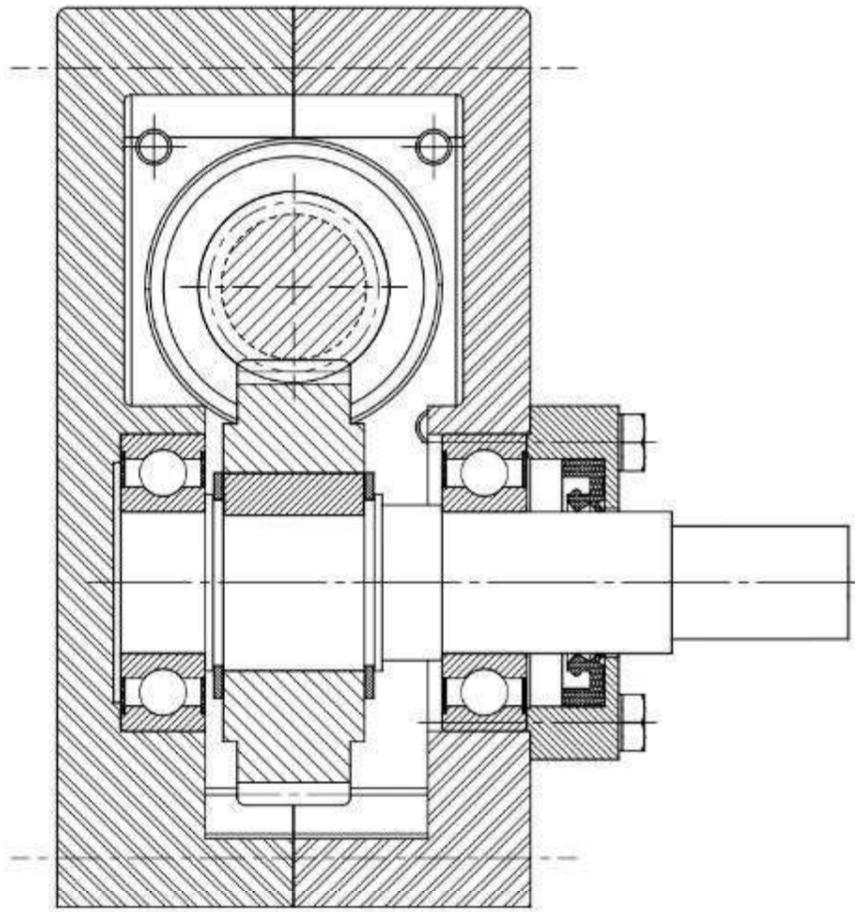
3



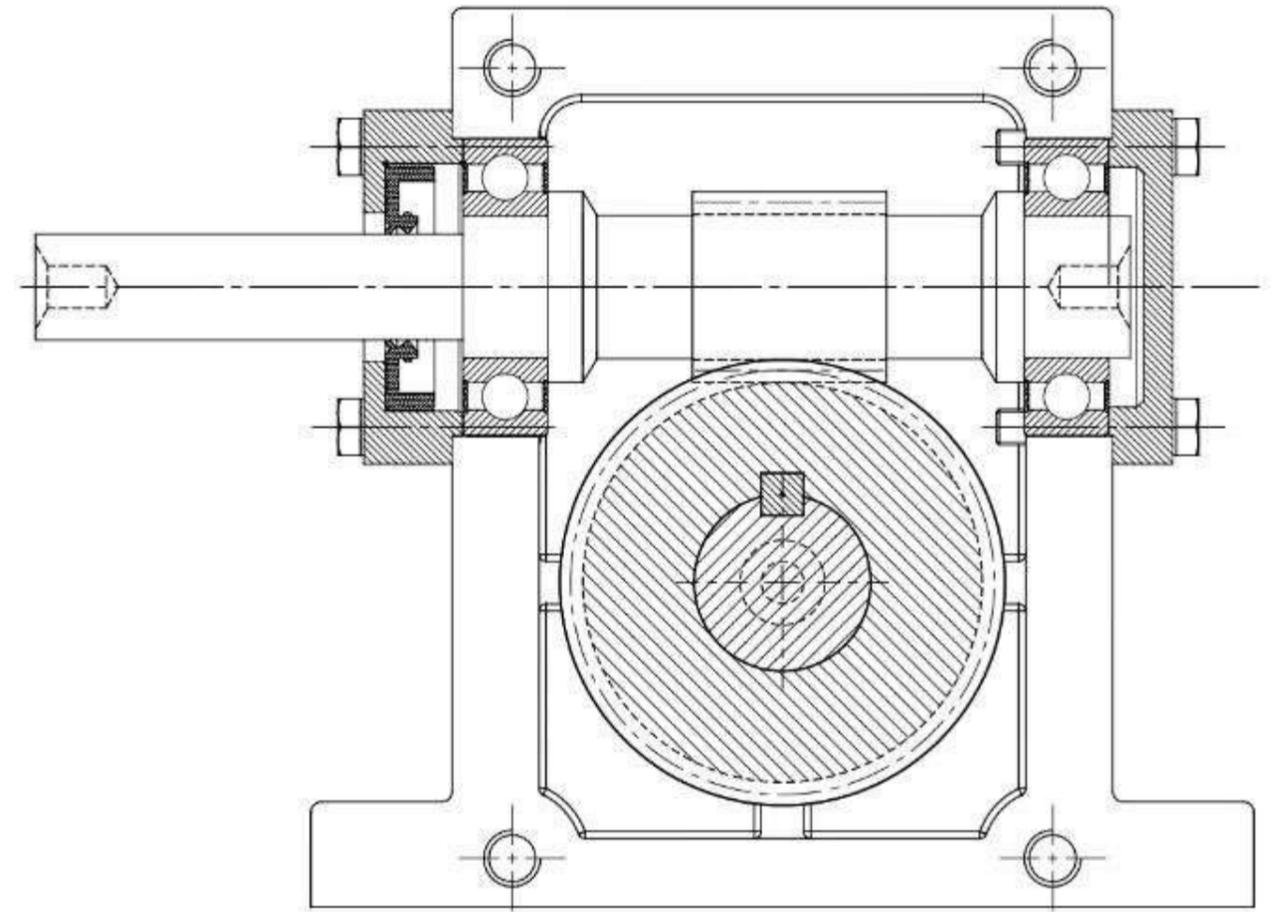
ANEXO J: SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS.

Selección de herramientas (MachiningCloud.com)	Entrada	<p>Ir a machiningcloud.com desde el navegador.</p> <hr/> <p>Iniciar sesión o registrarse(en caso de no disponer de una cuenta).</p> <hr/> <p>Ingresar en asistente de herramientas.</p>
	Criterios de selección	<p>Seleccionar el tipo de mecanizado a realizar(fresado, torneado, taladrado).</p> <hr/> <p>Escoger la operación a realizarse.(Depende mucho de si es operacion exterior o interior)</p> <hr/> <p>Completar la información general de la máquina utilizada.</p> <hr/> <p>Ubicar parámetros de tolerancias, dimensiones, material a mecanizarse y además parámetros de avance(de tablas).</p> <hr/> <p>Llenar información opcional y filtros extra para tener una mejor aproximación de resultados.(Opcional)</p> <hr/> <p>Pulsar en continuar</p> <hr/> <p>Seleccionar estrategia.</p> <hr/> <p>Revisar opciones planteadas.</p>
	Obtención de parámetros de herramienta	<p>Seleccionar herramienta.</p> <hr/> <p>Revisar dimensiones de la herramienta y parámetros de su útil de fijación.</p> <hr/> <p>Descargar modelo.</p> <hr/> <p>Verificar todos sus propiedades y particularidades.</p> <hr/> <p>Tomar en cuenta todas las recomendaciones por fabricante de la herramienta.</p>

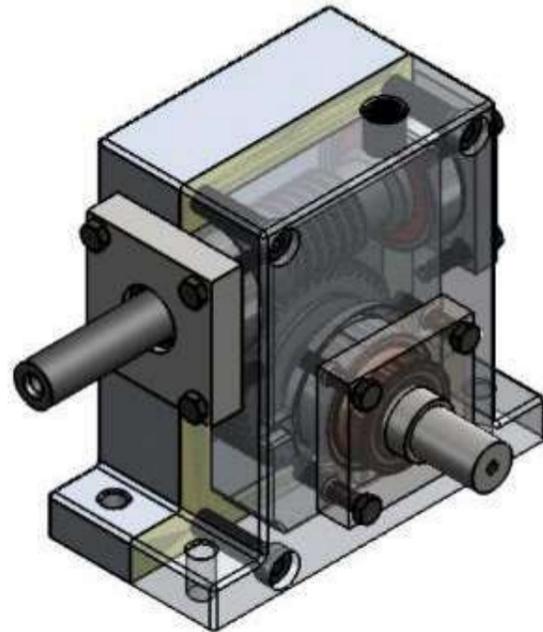
ANEXO K: PLANOS DE DETALLE



VISTA CORTE TRANSVERSAL
ESCALA 1:1

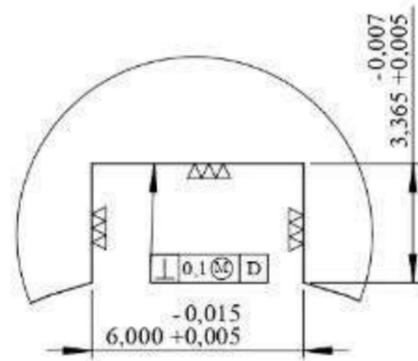
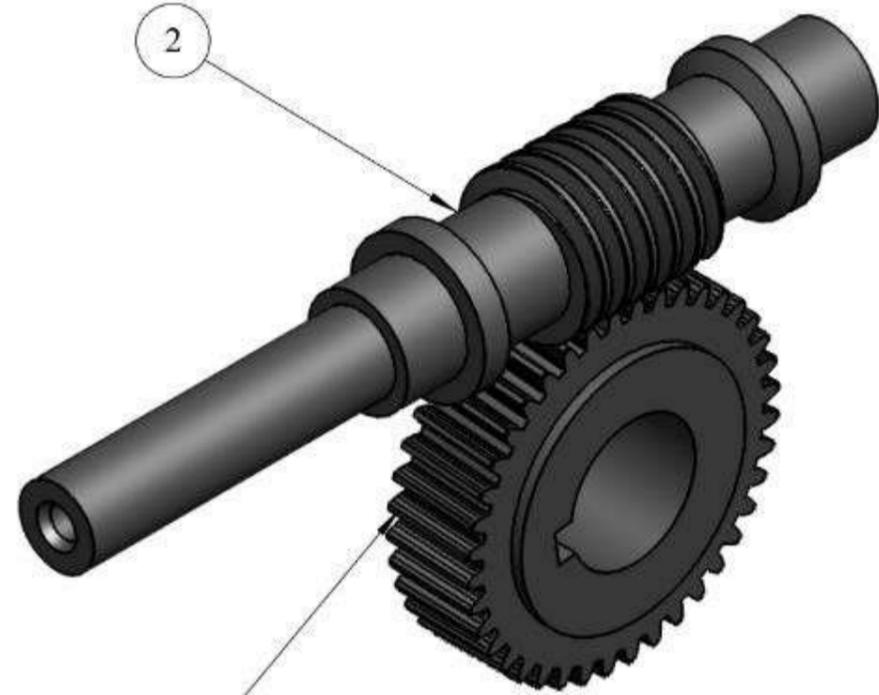


VISTA CORTE LONGITUDINAL
ESCALA 1:1

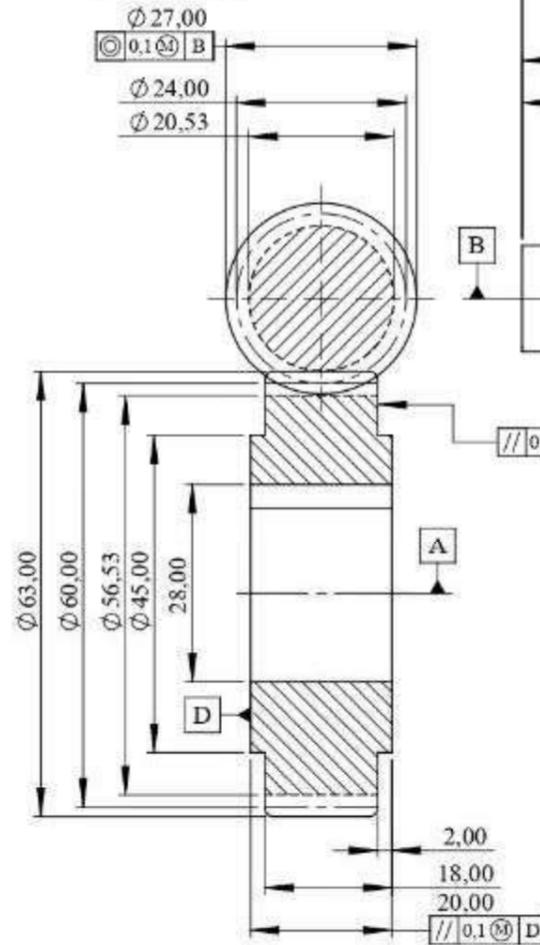


VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:2

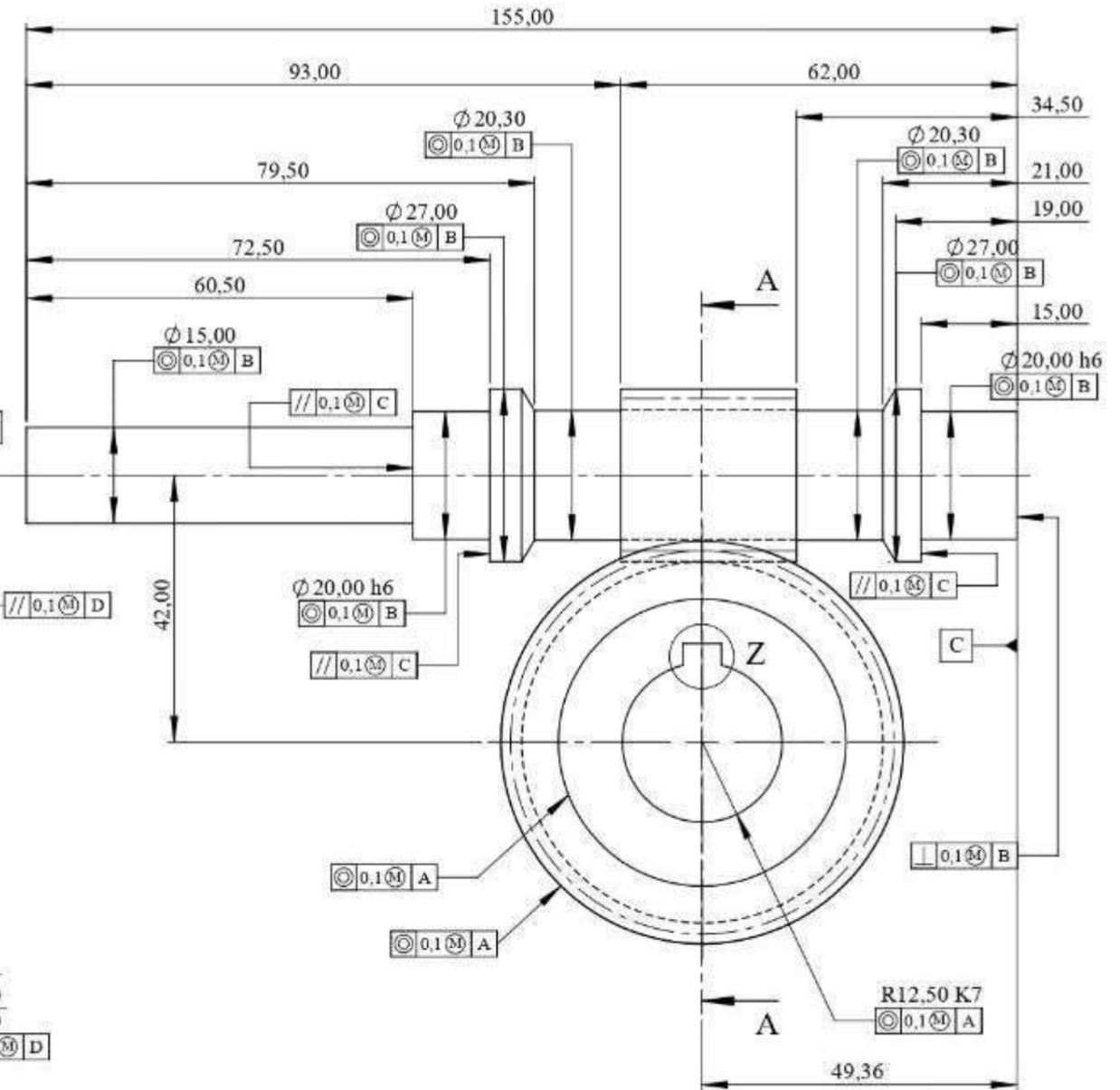
N°. Lámina: 1 de 5		N°. Hojas: 5		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-UIC-PCTSF-001-06-2022		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA MECÁNICA			
Email: carlos.h.chavez@esPOCH.edu.ec / carloschavez8868@gmail.com Teléfonos: (03)2374566/0997178250						Denominación: VISTAS GENERALES DE MONTAJE DE LA PAREJA DE CORONA Y TORNILLO SIN FIN					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: AISI 7210, AISI 4340		Nombre de archivo: VISTA_GENERAL_MONTAJE.sldprt		6.152	±0,1 [mm]	1:1	
Proyectó	Chávez S. Carlos H.	8266	01/06/22	Este documento es propiedad intelectual exclusiva de Carlos Hernán Chávez Salas E.M. Ningún uso y reproducción total o parcial no autorizada constituye violación de los derechos del autor penada por la ley.							
Dibujó	Chávez S. Carlos H.	8266	01/06/22								
Revisó	Ing. Escobar Miguel		22/07/22								
Aprobó	Ing. Buñay Jorge		22/07/22								



DETALLE Z
ESCALA 5 : 1



CORTE A-A



TORNEADO
N6

A3
[mm]

NÚMERO DE ENTRADAS	---	1
NÚMERO DE DIENTES	40	---
ÁNGULO DE PRESIÓN	20°	20°
TIPO DE PERFIL	EVOLVENTE	TRAPEZOIDAL
MÓDULO AXIAL	1,5mm	1,5 mm
MÓDULO NORMAL	1,497mm	1,497mm
MÓDULO CIRCUNFERENCIAL	1,5 mm	24,002 mm
PASO AXIAL	---	4,712mm
PASO NORMAL	4,703 mm	4,703 mm
PASO CIRCUNFERENCIAL	4,712 mm	75,399 mm
DIÁMETRO DE RAÍZ	56,528 mm	20,528 mm
DIÁMETRO PRIMITIVO	60 mm	24 mm
DIÁMETRO EXTERIOR	63 mm	27 mm
ÁNGULO DE HÉLICE	$\beta_1=3,576^\circ$	$\beta_2=86,424^\circ$ ($\gamma=3,576^\circ$)
PASO DE LA HÉLICE	3016,212 mm	4,712 mm
ADDENDUM	1,5mm	1,5mm
DEDENDUM	1,736 mm	1,736mm
PROFUNDIDAD TOTAL	3,236 mm	3,236mm
HOLGURA	0,236 mm	0,236mm
ANCHO DE CORONA	16,125 mm	---
LONGITUD DE TORNILLO	---	28,272 mm
MATERIAL	AISI 7210	AISI 4340
CANTIDAD	3	3
TRATAMIENTO TÉRMICO 1	TEMPLE AL ACEITE	TEMPLE AL ACEITE
TRATAMIENTO TÉRMICO 2	CEMENTACIÓN	CEMENTACIÓN
TRATAMIENTO TÉRMICO 3	CARBONITRURACIÓN	CARBONITRURACIÓN
DUREZA	30 HRc (285 HB)	40 HRc (375 HB)
PARÁMETROS	CORONA	TORNILLO SIN FIN
DATOS ESPECÍFICOS		DATOS GENERALES
MÓDULO		1,5 mm
DIST. DE CENTROS		42 mm
RELACIÓN DE TRASM.		1:40
POTENCIA		0,5 hp
TIPO DE TRANSMISIÓN		ENGRANAJES

ESPECIFICACIONES DE LA PAREJA

1	TORNILLO SIN FIN	AGMA 6022	AISI 4340	2	Z1 M1,5 L28	0,366	Torneado		
1	CORONA	AGMA 6022	AISI 7210	1	Z40 M1,5 F16	0,322	Torneado y fresado		
N.º de Pieza	Denominación	N.º de Norma/Dibujo	Material	N.º de Orden	N.º del Modelo/semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones		
N.º Lámina: 2 de 5	N.º Hojas: 5	Sustitución:	Codificación: FM-EIM-UIC-PCTSF-001-06-2022	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA MECÁNICA					
Email: carlos.h.chavez@esPOCH.edu.ec / carloschavez8868@gmail.com		Teléfonos: (03)2374566/0997178250							
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Denominación: PAREJA DE CORONA Y TORNILLO SIN FIN		Peso [kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Proyectó	Chávez S. Carlos H.	8266	01/06/22	Materiales: AISI 7210, AISI 4340		0,688	±0,1 [mm]	1:1	
Dibujó	Chávez S. Carlos H.	8266	01/06/22	Nombre de archivo: PAREJA_CORONA_TORNILLO_SIN_FIN.sldprt		<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE CARLOS HERNAN CHAVEZ SALAS E IMBIBO CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small>			
Revisó	Ing. Escobar Miguel		22/07/22						
Aprobó	Ing. Buñay Jorge		22/07/22						

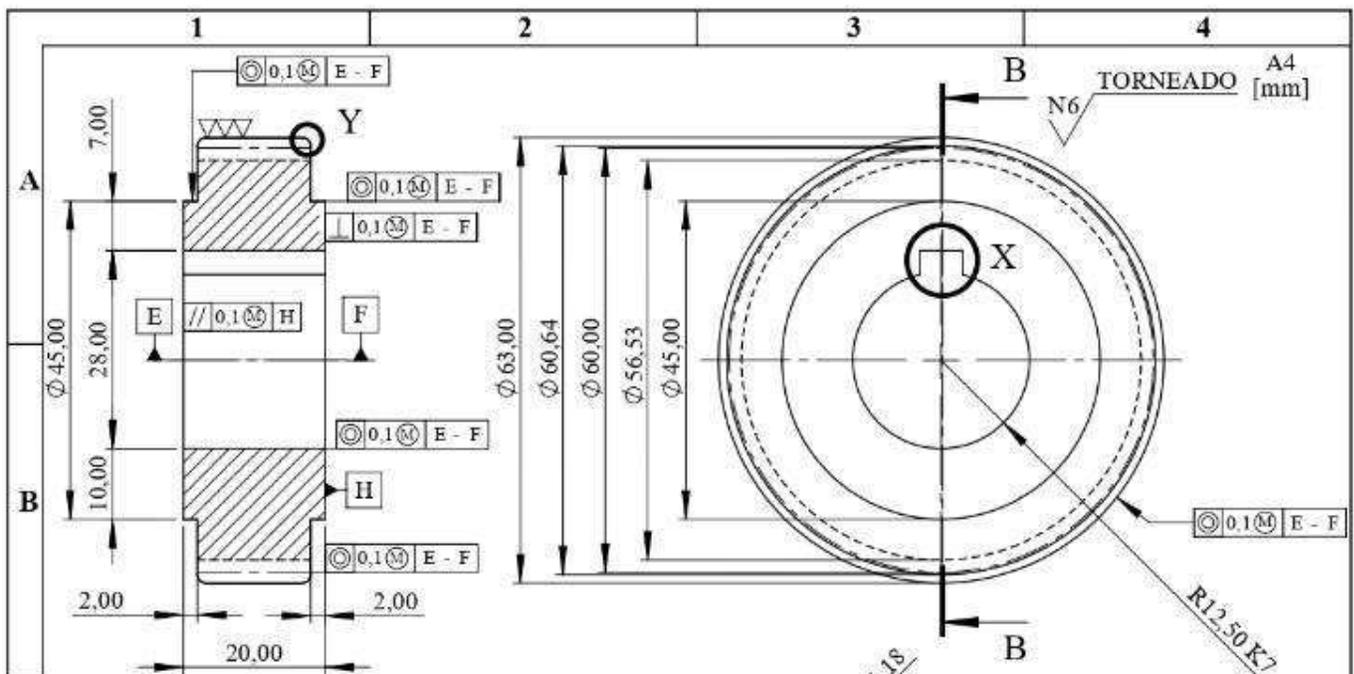
1

2

3

4

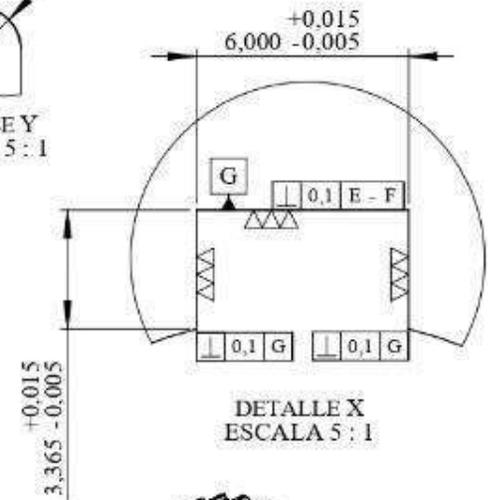
5



CORTE B-B

C	NÚMERO DE ENTRADAS	---	
	NÚMERO DE DIENTES	40	
	ÁNGULO DE PRESIÓN	20°	
	TIPO DE PERFIL	EVOLVENTE	
	MÓDULO AXIAL	1,5mm	
	MÓDULO NORMAL	1,497mm	
	MÓDULO CIRCUNFERENCIAL	1,5 mm	
	PASO AXIAL	---	
	PASO NORMAL	4,703 mm	
	PASO CIRCUNFERENCIAL	4,712 mm	
D	DIÁMETRO DE RAÍZ	56,528 mm	
	DIÁMETRO PRIMITIVO	60 mm	
	DIÁMETRO EXTERIOR	63 mm	
	ÁNGULO DE HÉLICE	$\beta_s=3,576^\circ$	
	PASO DE LA HÉLICE	3016,212 mm	
	ADDENDUM	1,5mm	
	DEDENDUM	1,736 mm	
	PROFUNDIDAD TOTAL	3,236 mm	
	HOLGURA	0,236 mm	
	ANCHO DE CORONA	16,125 mm	
E	LONGITUD DE TORNILLO	---	
	MATERIAL	AISI 7210	
	CANTIDAD	3	
	TRATAMIENTO TÉRMICO 1	TEMPLE AL ACEITE	
	TRATAMIENTO TÉRMICO 2	CEMENTACIÓN	
	TRATAMIENTO TÉRMICO 3	CARBONITRURACIÓN	
	DUREZA	30 HRc (285 HB)	
	PARÁMETROS	CORONA	
	DATOS ESPECÍFICOS		

DETALLE Y ESCALA 5 : 1

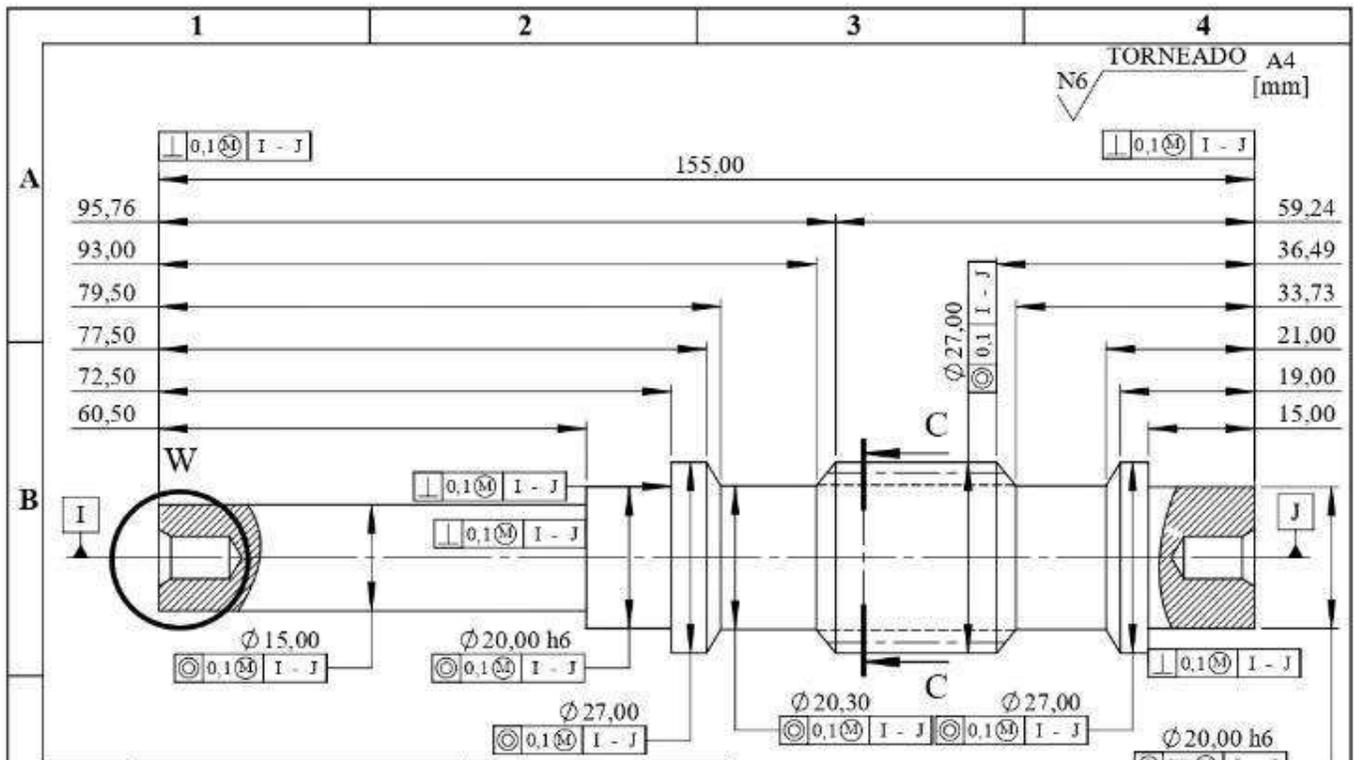


DETALLE X ESCALA 5 : 1

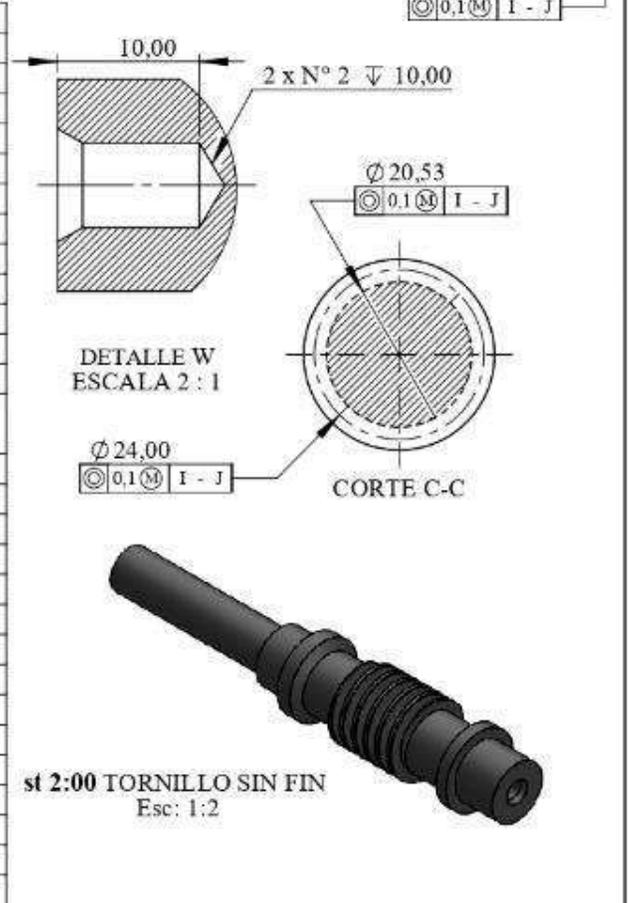
st 1:00 CORONA
Esc: 1:1



Nº. Lámina: 3 de 5	Nº. Hojas: 5	Sustitución:	Codificación: FM-EIM-UIC-PCTSF-001-06-2022	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA MECÁNICA				
Email: carlosh.chavez@esPOCH.edu.ec/ carloshchavez8868@gmail.com Teléfonos: (03)2374566/0997178250			Denominación: CORONA					Peso [kg]
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: AISI 7210(E410)	0,322	±0,1 [mm]	1:1	
Proyectó	Chávez S. Carlos H.	8266	01/06/22					
Dibujó	Chávez S. Carlos H.	8266	01/06/22					
Revisó	Ing. Escobar Mignel		22/07/22					
Aprobó	Ing. Buñay Jorge		22/07/22	Nombre de archivo: CORONA.sldprt	<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE CARLOS HERNAN CHAVEZ SALAS FIM 5366 CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small>			



C	NÚMERO DE ENTRADAS	1	
	NÚMERO DE DIENTES	---	
	ÁNGULO DE PRESIÓN	20°	
	TIPO DE PERFIL	TRAPEZOIDAL	
	MÓDULO AXIAL	1,5 mm	
	MÓDULO NORMAL	1,497mm	
	MÓDULO CIRCUNFERENCIAL	24,002 mm	
	PASO AXIAL	4,712mm	
	PASO NORMAL	4,703 mm	
	PASO CIRCUNFERENCIAL	75,399 mm	
	DIÁMETRO DE RAÍZ	20,528 mm	
	DIÁMETRO PRIMITIVO	24 mm	
	DIÁMETRO EXTERIOR	27 mm	
	D	ÁNGULO DE HÉLICE	$\beta_i = 86,424^\circ$ ($\gamma = 3,576^\circ$)
		PASO DE LA HÉLICE	4,712 mm
ADDENDUM		1,5mm	
DEDENDUM		1,736mm	
PROFUNDIDAD TOTAL		3,236mm	
HOLGURA		0,236mm	
ANCHO DE CORONA		---	
LONGITUD DE TORNILLO		28,272 mm	
MATERIAL		AISI 4340	
CANTIDAD		3	
E	TRATAMIENTO TÉRMICO 1	TEMPLE AL ACEITE	
	TRATAMIENTO TÉRMICO 2	CEMENTACIÓN	
	TRATAMIENTO TÉRMICO 3	CARBONITRURACIÓN	
	DUREZA	40 HRC (375 HB)	
PARÁMETROS		TORNILLO SIN FIN	
DATOS ESPECÍFICOS			

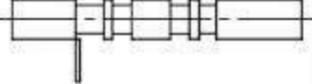
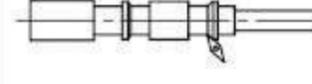
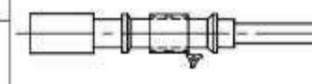
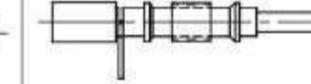
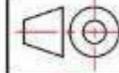
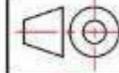
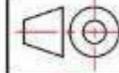


Nº. Lámina: 4 de 5	Nº. Hojas: 5	Sustitución:	Codificación: FM-EIM-UIC-PCTSF-001-06-2022	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA MECÁNICA					
Email: carloschavez@esPOCH.edu.ec/ carloschavez8868@gmail.com Teléfonos: (03)2374566/0997178250			Denominación: TORNILLO SIN FIN					Peso [kg]	Tolerancia
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: AISI 4340	0,366	±0,1 [mm]	1:1		
Proyectó	Chávez S. Carlos H.	8266	01/06/22		Nombre de archivo: TORNILLO_SIN_FIN.sldprt	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL INCLUIDA DE CARLOS BERNAN CHAVEZ SALAS FIM 5266 CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Dibujó	Chávez S. Carlos H.	8266	01/06/22						
Revisó	Ing. Escobar Mignel		22/07/22						
Aprobó	Ing. Buñay Jorge		22/07/22						

	1	2	3	4
A				A4 [mm]
B	NÚMERO DE ENTRADAS	Valor asignado únicamente para el tornillo sin fin para describir el número de helices del mismo.		
	NÚMERO DE DIENTES	Valor asignado para la corona, describe el número de dientes.		
	ÁNGULO DE PRESIÓN	Angulo de desviación en el contacto de los engranajes o línea de acción de la fuerza.		
	TIPO DE PERFIL	Se refiere a la configuración geométrica del diente u helice.		
	MÓDULO AXIAL	Relación entre el diámetro primitivo y el número de dientes.		
	MÓDULO NORMAL	Componente normal del módulo axial.		
	MÓDULO CIRCUNFERENCIAL	Componente circunferencial del módulo axial.		
	PASO AXIAL	Distancia lineal generada entre dos puntos iguales de 2 dientes consecutivos, medido sobre el diámetro primitivo.		
	PASO NORMAL	Distancia lineal generada entre dos puntos iguales de 2 dientes consecutivos, medido de manera perpendicular a la inclinación del diente.		
	PASO CIRCUNFERENCIAL	Distancia circular generada entre dos puntos iguales de 2 dientes consecutivos, medido sobre el diámetro primitivo.		
C	DIÁMETRO DE RAÍZ	Diámetro mínimo de los dientes del engranaje.		
	DIÁMETRO PRIMITIVO	Diámetro de la circunferencia primitiva o de contacto entre dos engranajes		
	DIÁMETRO EXTERIOR	Diámetro máximo de los dientes del engranaje.		
	ÁNGULO DE HÉLICE	Describe al ángulo formado entre el eje del elemento y la hélice de este visto de manera frontal.		
	PASO DE LA HÉLICE	Se define como el avance en sentido axial de la hélice del dentado correspondiente al diámetro primitivo, en una vuelta completa de la rueda dentada.		
D	ADDENDUM	Distancia desde el diámetro primitivo al diámetro exterior		
	DEDENDUM	Distancia desde el diámetro de raíz al diámetro primitivo		
	PROFUNDIDAD TOTAL	Distancia entre el diámetro de raíz y el diámetro exterior		
	HOLGURA	Distancia entre el diámetro exterior de la corona y el diámetro de raíz del tornillo sin fin o viceversa.		
	ANCHO DE CORONA	Define ancho del diente de la corona		
	LONGITUD DE TORNILLO	Define la longitud de roscado del tornillo sin fin.		
	MATERIAL	Describe el material base de mecanizado para el tornillo sin alteraciones.		
E	CANTIDAD	Define el numero de elementos descritos por el plano		
	TRATAMIENTO TÉRMICO 1	Acorde al número de elementos descritos en el plano define si existe en cada uno tratamiento térmico de algun tipo y a se vez el tipo de tratamiento descrito.		
	TRATAMIENTO TÉRMICO 2			
	TRATAMIENTO TÉRMICO 3			
	DUREZA	Describe la dureza del material base del elemento, en las unidades requeridas.		
PARÁMETROS		DESCRIPCIÓN		
DESCRIPCIÓN DE TÉRMINOS				

Nº. Lámina: 5 de 5	Nº. Hojas: 5	Sustitución:	Codificación: FM-EIM-UIC-PCTSF-001-06-2022	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA MECÁNICA			
Email: carlosh.chavez@esPOCH.edu.ec/ carloshchavez8868@gmail.com Teléfonos: (03)2374566/0997178250			Denominación: DESCRIPCIÓN DE TÉRMINOS				
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: AISI 7210, AISI 4340 Nombre de archivo: DESCRIPCION_DE_TERMINOS.sldprt			
Proyectó	Chávez S. Carlos H.	8266	01/06/22				
Dibujó	Chávez S. Carlos H.	8266	01/06/22				
Revisó	Ing. Escobar Miguel		22/07/22				
Aprobó	Ing. Buñay Jorge		22/07/22				
				<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE CARLOS HERNAN CHAVEZ SALAS FIM 8266 CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small> 			

ANEXO L: HOJAS DE PROCESOS DE MECANIZADO

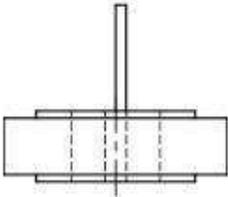
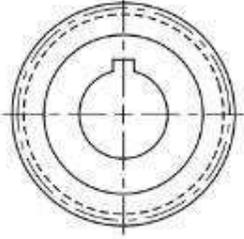
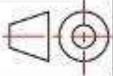
1	2		3	4	5	6	7	8									
A	PROCESOS DE TALLER DE MECANIZADO		HOJA DE PROCESOS			TIPO DE ACABADO:	N6 (TORNEADO)		A3 [mm]								
			ELEMENTO:	TORNILLO SIN FIN			TOLERANCIAS:		0,1 mm								
			SUBENSAMBLAJE:	PAREJA CORONA-TORNILLO SIN FIN			DIMENSIONES MATERIAL:		Ø=28mm x L=210mm								
			MATERIAL:	AISI 4340	TRATAMIENTO SUPERFICIAL:	TEMPLE AL ACEITE CEMENTACIÓN CARBONITRURACIÓN	CANTIDAD:		3								
	DATOS GENERALES:		FECHA:			DUREZA:	270-330 HB										
REALIZADO POR:	CHÁVEZ CARLOS	01/06/22	PESO NETO[kg]:	0,366	ESCALA:	1:2											
VERIFICADO POR:	TLGO. CHÁVEZ HERNÁN	22/07/22	PESO BRUTO [kg]:	0,991	OBSERVACIONES:	MECANIZADO											
MÁQUINA		TORNO - PARALELO															
FASE		TORNEADO															
B	SUBFASE		1.1 EXTERIOR AXIAL	1.2 AXIAL	1.3 EXTERIOR RADIAL												
	OPERACIÓN		DESBASTE AFINADO	CENTRADO	RANURADO RADIAL	DESBASTE AFINADO	ROSCADO EXTERIOR	CORTE									
C	CROQUIS																
D	ÚTILES DE TRABAJO		Mandril Universal (3 mordazas), Portaherramientas (refrentado), Inserto (trapezoidal a 35°), Luneta	Mandril Universal (3 mordazas), Mandril Portabrocas, Broca de centros (2°)	Mandril Universal (3 mordazas), Portaherramientas (ranurado radial), Inserto (ranurado 3mm y 0°), Contrapunto Giratorio	Mandril Universal (3 mordazas), Portaherramientas (desbastado radial), Inserto (trapezoidal a 35°), Contrapunto Giratorio	Mandril Universal (3 mordazas), Portaherramientas (roscado trapezoidal), Inserto (Roscado trapezoidal 1/2), Contrapunto Giratorio	Mandril Universal (3 mordazas), Portaherramientas(tronzado), Inserto (Tronzado 3mm y 8°)									
	HERRAMIENTAS		Llaves para mandril universal, fijación de luneta y portaherramientas	Llaves para mandril universal y mandril portabrocas	Llaves para mandril universal y portaherramientas	Llaves para mandril universal y portaherramientas	Llaves para mandril universal y portaherramientas	Llaves para mandril universal y portaherramientas									
	ÚTILES DE CONTROL		Calibrador, reloj palpador	Calibrador	Calibrador, regla	Calibrador, micrómetro de exteriores	Calibrador	Calibrador									
	SOBREMATERIAL [mm]		0,1	0,05	0	0,05	0,1	0,05	0								
	PROF. DE PASADA[mm]		2	1	---	4	2	1	---								
	N° PASADAS		1	1	1	20	1	1	2								
	A: [mm/min]		302	400	600	92	302	400	28	400							
	a: [mm/rev]		0,4	0,2	2	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2							
	Vc: [m/min]		42	180	7,5	108	42	180	6	108							
	N: [RPM]		755	2000	300	460	755	2000	70	2000							
E	REFRIGERACIÓN		Taladrina		Taladrina	Taladrina	Taladrina	Taladrina	Taladrina								
	T. PREPARACIÓN [min]		2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5							
	T. MANIPULACIÓN [min]		2	1	1	1	1	1	1	2							
	T. MECANIZADO [min]		0,17	0,08	0,02	2,04	0,13	0,06	1,77	0,07							
F					Nº. Lámina: 1 de 6	Nº. Hojas: 6	Sustitución:	Codificación: FM-EIM-UIC-HPCTSF-002-06-2022	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA MECÁNICA								
					Email: carlos.chavez@esPOCH.edu.ec / carloschavez8868@gmail.com			Denominación:									
					Teléfonos: (03)2374566/0997178250			HOJA DE PROCESOS DEL TORNILLO SIN FIN	<table border="1"> <tr> <th>Peso [kg]</th> <th>Tolerancia</th> <th>Escala</th> <th>Registro</th> </tr> <tr> <td>0,366</td> <td>±0,1 [mm]</td> <td>1:2</td> <td></td> </tr> </table>	Peso [kg]	Tolerancia	Escala	Registro	0,366	±0,1 [mm]	1:2	
	Peso [kg]	Tolerancia	Escala	Registro													
	0,366	±0,1 [mm]	1:2														
				Datos	Nombre	Firma	Fecha										
				Proyectó	Chávez S. Carlos H.	8266	01/06/22										
				Dibujó	Chávez S. Carlos H.	8266	01/06/22										
				Revisó	Ing. Escobar Miguel		22/07/22										
				Aprobó	Ing. Buñay Jorge		22/07/22										
				Materiales: AISI 4340			Nombre de archivo: HOJA_PROCESOS_TORNILLO_SIN_FIN.sldprt	<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE CARLOS HERNAN CHAVEZ SALAS E IMBIBO CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small> 									

1	2		3		4		5		6		7		8		
A	PROCESOS DE TALLER DE MECANIZADO	HOJA DE PROCESOS										TIPO DE ACABADO: N6 (TORNEADO, FRESADO, BROCHADO)		A3 [mm]	
		ELEMENTO:		CORONA								TOLERANCIAS:		0,1 mm	
		SUBENSAMBLAJE:		PAREJA CORONA-TORNILLO SIN FIN								DIMENSIONES MATERIAL:		Ø=65mm x L=70mm	
		MATERIAL:		AISI 7210		TRATAMIENTO SUPERFICIAL:		TEMPLE AL ACEITE CEMENTACIÓN CARBONITRURACIÓN		CANTIDAD:		3			
DATOS GENERALES:		FECHA:		PESO NETO[kg]:		0,322		DUREZA:		200-300 HB		ESCALA:		1:2	
REALIZADO POR:	CHÁVEZ CARLOS	01/06/22													
VERIFICADO POR:	TLGO. CHÁVEZ HERNÁN	22/07/22	PESO BRUTO [kg]:		1,823		OBSERVACIONES:		MECANIZADO						



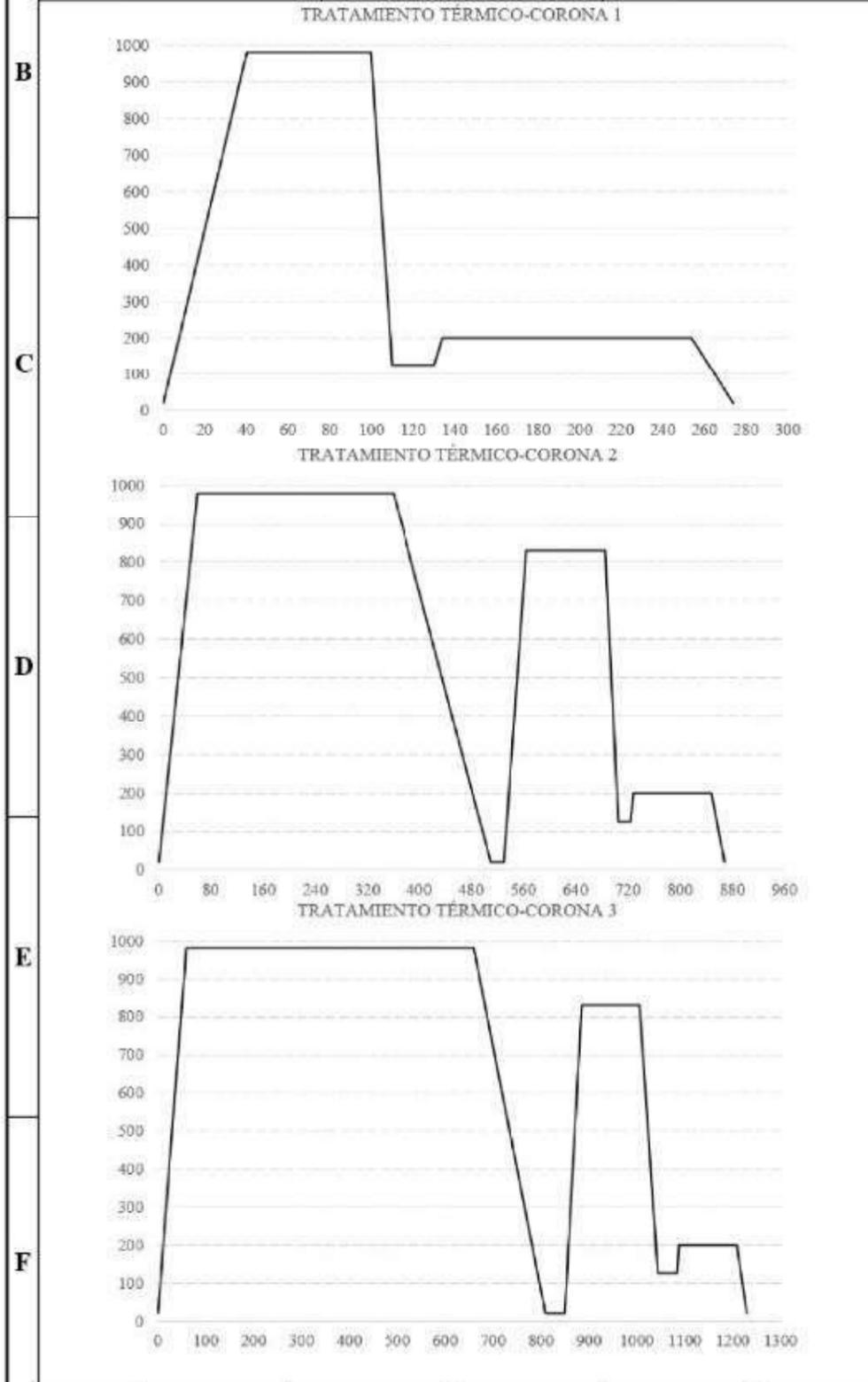
B																	
FASE	I. TORNEADO																
SUBFASE	1.1 EXTERIOR AXIAL		1.2 AXIAL		1.3 EXTERIOR RADIAL		1.4 INTERIOR RADIAL					1.5 INTERIOR RADIAL		1.6 EXTERIOR RADIAL			
OPERACIÓN	DESBASTE	AFINADO	CENTRADO		DESBASTE	AFINADO	PERFORADO AXIAL					MANDRINADO	AFINADO	RANURADO	TRONZADO		
CROQUIS																	
ÚTILES DE TRABAJO	Mandril Universal (3 mordazas), Portaherramientas (refrentado), Inserto (trapezoidal a 35°)		Mandril Universal (3 mordazas), Mandril Portabrocas, Broca de centros (2")		Mandril Universal (3 mordazas), Portaherramientas (desbastado radial), Inserto (trapezoidal a 35°), Contrapunto Giratorio		Mandril Universal (3 mordazas), Mandril Portabrocas, Brocas de pasada (3mm, 6mm, 9mm, 12mm, 15mm, 18mm y 21mm)					Mandril Universal (3 mordazas), Portaherramientas (desbastado interno), Inserto (triangular-0 770n min)		Mandril Universal (3 mordazas), Portaherramientas (tronzado), Inserto (tronzado 3mm y 8°)			
HERRAMIENTAS	Llaves para mandril universal y portaherramientas		Llaves para mandril universal y mandril portabrocas		Llaves para mandril universal y portaherramientas		Llaves para mandril universal y mandril portabrocas					Llaves para mandril universal y portaherramientas		Llaves para mandril universal y portaherramientas			
ÚTILES DE TRABAJO	Reloj comparador		Calibrador		Calibrador		Calibrador					Calibrador		Calibrador			
SOBREMATERIAL[mm]	0,1	0,05	0		0,1	0,05	0	0	0	0	0	0	0,1	0,05	0,05	0	
PROF. DE PASADA[mm]	2	1	1		2	1	20	20	20	20	20	20	2	1	10	9,25	
Nº PASADAS	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	
A: [mm/min]	120	251	60		120	251	120	251	151	92	92	60	60	302	400		
a: [mm/rev]	0,4	0,2	0,2		0,4	0,2	0,06	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	
Vc: [m/min]	42	180	16		42	180	16	16	16	16	16	16	16	42	180	108	108
N: [RPM]	300	1255	300		300	1255	2000	1255	755	460	460	300	300	755	2000	755	755
REFRIGERACIÓN	Taladrina		Taladrina		Taladrina		Taladrina					Taladrina		Taladrina			
T. PREPARACIÓN	2,5	1,5	1,5		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5
T. MANIPULACIÓN	2	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
T. MECANIZADO	0,40	0,18	0,02		0,30	0,14	0,25	0,15	0,22	0,29	0,37	0,44	0,52	0,23	0,05	0,28	0,06

F	Nº. Lámina:	3 de 6	Nº. Hojas:	6	Sustitución:		Codificación:	FM-EIM-UIC-HPCTSF-002-06-2022				ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA MECÁNICA			
	Email:	carlosh.chavez@esPOCH.edu.ec / carloshchavez8868@gmail.com				Denominación:	HOJA DE PROCESOS DE LA CORONA								
	Teléfonos:	(03)2374566-0997178250				Dato	Nombre	Firma	Fecha	Peso [kg]	Tolerancia	Escala	Registro		
	Proyectó	Chávez S. Carlos H.	8266	01/06/22	0,322	±0,1 [mm]	1:2								
Dibujó	Chávez S. Carlos H.	8266	01/06/22	Materiales:	AISI 7210				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE CARLOS HERNAN CHAVEZ SALAS E.M. SIN CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY						
Revisó	Ing. Escobar Miguel		22/07/22	Nombre de archivo:	HOJA_PROCESOS_CORONA.sldprt										
Aprobó	Ing. Buñay Jorge		22/07/22												

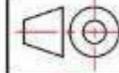
1		2		3		4											
A	PROCESOS DE TALLER DE MECANIZADO	HOJA DE PROCESOS				 A4 [mm]											
		ELEMENTO: CORONA															
		SUBENSAMBLAJE: PAREJA CORONA-TORNILLO SIN FIN															
		MATERIAL: AISI 7210 (E410)															
	DATOS GENERALES:			FECHA:													
REALIZADO POR:	CHÁVEZ CARLOS		01/06/22														
VERIFICADO POR:	TLGO. CHÁVEZ HERNAN		22/07/22														
B	MÁQUINA	BROCHADORA VERTICAL		FRESADORA UNIVERSAL													
	FASE	4. BROCHADORA		5. TALLADORA													
	SUBFASE	4.1 CHAVETERO		5.1 DENTADO EXTERNO													
	OPERACIÓN	BROCHADO VERTICAL		TALLADO DE ENGRANAJE													
C	CROQUIS																
		ÚTILES DE TRABAJO		HERRAMIENTAS													
D	ÚTILES DE TRABAJO		Brocha interna de compresión (6mm), Casquillo para brochado		Husillo Portafresas, Freza madre (M=1,5mm), Husillo de montante auxiliar												
	HERRAMIENTAS		Llaves para sujetadores de elemento y portaherramientas		Llaves para sujetadores de elemento y portaherramientas												
	ÚTILES DE CONTROL		Calibrador		Goniómetro y Calibrador												
	SOBREMATERIAL		0		0												
	PROF. DE PASADA[mm]		3,236		3,236												
	Nº PASADAS		1		1												
	A: [mm/min]		300		24												
	a: [mm/rev]		---		---												
	Vc: [m/min]		3		14												
	N: [RPM]		---		127,324												
E	REFRIGERACIÓN		Aceite mineral azufrado		Aceite mineral azufrado												
	T. PREPARACIÓN		5		5												
	T. MANIPULACIÓN		4		4												
	T. MECANIZADO		3,5		84,45												
	Nº. Lámina: 4 de 6		Nº. Hojas: 6		Sustitución:		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA MECÁNICA										
Email: carlosh.chavez@esPOCH.edu.ec/ carloshchavez8868@gmail.com				Codificación: FM-EIM-UIC-HPCTSF-002-06-2022													
Teléfonos: (03)2374566/0997178250				Denominación:													
Datos		Nombre		Firma		Fecha		HOJA DE PROCESOS DE LA CORONA		Peso [kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Proyectó		Chávez S. Carlos H.		8266		01/06/22				0,322		±0,1 [mm]		1:2			
Dibujó		Chávez S. Carlos H.		8266		01/06/22											
Revisó		Ing. Escobar Mignel				22/07/22		Materiales:		AISI 7210							
Aprobó		Ing. Buñay Jorge				22/07/22		Nombre de archivo:		HOJA_PROCESOS_CORONA.sldprt							
										<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE CARLOS HERNAN CHAVEZ SALAS FIM 8366 CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small>							



1	2		3		4		5		6		7		8	
A	PROCESOS DE TALLER DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL	HOJA DE PROCESOS										A3 [mm]		
		ELEMENTO:	CORONA										TIPO DE ACABADO:	N6 (TORNEADO, FRESADO, BROCHADO)
		SUBENSAMBLAJE:	PAREJA CORONA-TORNILLO SIN FIN										TOLERANCIAS:	0,1 mm
		MATERIAL:	AISI 7210	TRATAMIENTO SUPERFICIAL:	TEMPLE AL ACEITE CEMENTACIÓN CARBONITRURACIÓN	DIMENSIONES MATERIAL:	Ø=65mm x L=70mm	CANTIDAD:	3					
DATOS GENERALES:		FECHA:	PESO NETO[kg]:	0,322	DUREZA:	200-300 HB	ESCALA:	1:2	OBSERVACIONES:	TRATAMIENTOS TÉRMICOS				
REALIZADO POR:	CHÁVEZ CARLOS	01/06/22	PESO BRUTO [kg]:	1,823	OBSERVACIONES:	TRATAMIENTOS TÉRMICOS								
VERIFICADO POR:	TLGO. CHÁVEZ HERNÁN	22/07/22	PESO BRUTO [kg]:	1,823	OBSERVACIONES:	TRATAMIENTOS TÉRMICOS								



TRATAMIENTO SUPERFICIAL TORNILLO SIN FIN (TEMPLADO)				
TRATAMIENTO	TIEMPO	TEMPERATURAS DE TRABAJO		OBSERVACIONES
Calentamiento	---	T. amb.	980°C	
Mantenimiento	1Hora	980°C(T. austenización)		
Temple al aceite	---	980 °C	125°C	
Calentamiento	---	125°C	160-200 °C	
Revenido	1 Hora	160-200°C		
Enfriamiento lento	---	160-200 °C	T. amb.	
TRATAMIENTO SUPERFICIAL TORNILLO SIN FIN (CEMENTADO)				
TRATAMIENTO	TIEMPO	TEMPERATURAS DE TRABAJO		OBSERVACIONES
Calentamiento	---	T. amb.	980°C	
Mantenimiento	5Horas	980°C(T. austenización)		Polvo carburizante
Enfriamiento	---	980 °C	T. amb.	
Recalentamiento	---	T. amb.	800-830°C	
Mantenimiento	1 a 2 Horas	800-830°C		
Temple en baño de sal	---	800-830°C	125 °C	
Calentamiento	---	125°C	160-200 °C	
Revenido	1 Hora	160-200°C		
Enfriamiento lento	---	160-200 °C	T. amb.	
TRATAMIENTO SUPERFICIAL TORNILLO SIN FIN (CARBONITRURADO)				
TRATAMIENTO	TIEMPO	TEMPERATURAS DE TRABAJO		OBSERVACIONES
Calentamiento	---	T. amb.	980°C	
Mantenimiento	10Horas	980°C(T. austenización)		Gas carburizante
Enfriamiento	---	980 °C	T. amb.	
Recalentamiento	---	T. amb.	800-830°C	
Mantenimiento	1 a 2 Horas	800-830°C		
Temple en baño de sal	---	800-830°C	125 °C	
Calentamiento	---	125°C	160-200 °C	
Revenido	1 Hora	160-200°C		
Enfriamiento lento	---	160-200 °C	T. amb.	

Nº. Lámina: 5 de 6	Nº. Hojas: 6	Sustitución:	Codificación: FM-EIM-UIC-HPCTSF-002-06-2022	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA MECÁNICA			
Email: carlos.chavez@esPOCH.edu.ec / carloschavez8868@gmail.com			Denominación:				
Teléfonos: (03)2374566/0997178250			HOJA DE PROCESOS DE LA CORONA	Peso [kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma	Fecha	0,322	±0,1 [mm]	1:2	
Proyectó	Chávez S. Carlos H.	8266	01/06/22	Materiales:	AISI 7210	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE CARLOS HERNAN CHAVEZ SALAS E IMBIBO CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY	
Dibujó	Chávez S. Carlos H.	8266	01/06/22	Nombre de archivo:	HOJA_PROCESOS_CORONA.sldprt		
Revisó	Ing. Escobar Miguel		22/07/22				
Aprobó	Ing. Buñay Jorge		22/07/22				

	1	2	3	4
A				A4 [mm]
B	MÁQUINA	Hace referencia al equipo que por arranque de viruta permitirá la obtención del elemento mecanizado final.		
	FASE	Se refiere a la etapa desarrollada según la máquina empleada que engloba Subfases y Operaciones de similares características y origen.		
	SUBFASE	Subdivide y clasifica las operaciones según su desarrollo.		
	OPERACIÓN	Se define a la operación según el croquis a obtenerse.		
	CROQUIS	Se desarrolla graficos que permitan el observar el avance según el mecanizado.		
	ÚTILES DE TRABAJO	Estipula las herramientas que se requieren para el trabajo según las operaciones.		
	HERRAMIENTAS	En este ítem se muestran elementos útiles para el monteje de los útiles de trabajo.		
	ÚTILES DE CONTROL	Se refiere a los elementos mediante los que se puede controlar la operación, es decir herramientas de metrología.		
	SOBREMATERIAL	Muestra el exceso u tolerancia mayor para el elemento terminado.		
	PROFUNDIDAD DE PASADA	Se define como 5 veces el avance.		
C	NÚMERO DE PASADAS	Se ve afectada por la profundidad de pasada y se define como la cantidad de acciones para conseguir el producto final de la operación		
	VELOCIDAD DE ATAQUE	Hace referencia a la velocidad relativa entre el elemento y la herramienta. Esta se ve calculada por el producto entre el avance y la velocidad angular.		
	AVANCE	Se requiere seleccionar de material bibliografico o catálogos en función de la dureza del material y del tipo de herramientas de corte.		
	VELOCIDAD DE CORTE	Seleccionada en referencia a la dureza del material y la herramienta a usarse, se requiere de bibliografía y se debe afectar por factores según la operación.		
	VELOCIDAD ANGULAR	De acuerdo con el tipo de maquina herramienta se calcula mediante formula, y se definirá por los parámetros de corte seleccionados		
D	REFRIGERACIÓN	En caso de requerir el procedimiento se detalla el tipo de refirgerante.		
	TIEMPO DE PREPARACIÓN	Refleja el tiempo que se requiere por el operador para preparar el elemento antes de la operación		
	TIEMPO DE MANIPULACIÓN	Aproxima el tiempo que el operador requerirá al manipular los elementos entre operaciones		
	TIEMPO DE MECANIZADO	Calcula en minutos el tiempo que se demorará el procedimiento de obtención del elemento mediante formulas establecidas según la máquina herramienta empleada.		
	TRATAMIENTO	Nombra el procedimiento a seguirse de acuerdo a su característica		
E	TIEMPO	Deberá reflejar los datos tiempo según el procedimiento		
	TEMPERATURA DE TRABAJO	Muestra los datos de temperaturas de trabajo como un rango de trabajo.		
	OBSERVACIONES	Se detalla cualquier nota o punto no estipulado y de relevancia para el procedimiento.		
	PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN		
	DESCRIPCIÓN DE TÉRMINOS			

Nº. Lámina: 6 de 6	Nº. Hojas: 6	Sustitución:	Codificación: FM-EIM-UIC-HPCTSF-002-06-2022	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA MECÁNICA				
Email: carlosh.chavez@esPOCH.edu.ec/ carloshchavez8868@gmail.com Teléfonos: (03)2374566/0997178250			Denominación: DESCRIPCIÓN DE TÉRMINOS					Peso [kg] 0,688
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: AISI 7210, AISI 4340	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE CARLOS HERNAN CHAVEZ SALAS FIM 5166 CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Proyectó	Chávez S. Carlos H.	8266	01/06/22					
Dibujó	Chávez S. Carlos H.	8266	01/06/22					
Revisó	Ing. Escobar Mignel		22/07/22					
Aprobó	Ing. Buñay Jorge		22/07/22					
Nombre de archivo: DESCRIPCION_DE_TERMINOS.sldprt								

ANEXO M: PROCESO DE MONTAJE DEL BANCO DE ENGRANAJES.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA
PROCESO DE MONTAJE DE BANCO DE ENGRANAJES**



DATOS GENERALES:

NOMBRE:

Carlos Hernán Chávez Salas

CÓDIGO:

8266

FECHA:

Martes, 10 de Mayo de 2022

INSTRUCCIONES:

El banco de engranajes para las pruebas de resistencia y durabilidad de la corona y tornillo sin fin con relación de transmisión 1:40 y capacidad de 0,5hp previo al montaje de nuevos elementos tipo corona y tornillo sin fin deberán estar sujetos al siguiente procedimiento sugerido con el fin de una correcta manipulación de los elementos de este.

PASO 1 – Desmontaje del reductor.

Para proceder a la prueba de una pareja nueva de engranajes será necesario del desensamble del reductor de su banco de pruebas, para ello como primer punto se deberá.

PASO 2 – Limpieza de los elementos.

Una vez desmontado a su totalidad es importante retirar todo residuo de partículas de aceite u metal y a su vez evitar la presencia de materiales para adhesión en juntas que pudo haber dejado la pareja de engranajes anterior al efectuar sus pruebas y ensamblaje.

PASO 3 – Inspección de elementos.

Es importante comprobar la funcionalidad de elementos como chavetas, seguros, rodamientos, sellos mecánicos y pernos. En el caso de ser necesario reemplazarlos por unos nuevos. Tales como los de la Tabla 1. Elementos de inspección.

Tabla 1: Elementos de inspección

Elementos de inspección				
				

PASO 4 – Ensamblaje de la caja reductora.

Para este punto es importante tener disponibles todos los elementos en el orden que se presenta a continuación y seguir la secuencia mostrada, de este modo el ensamblaje iniciará por:

Paso 4.1 – Subensamblaje de árbol conductor

En la Tabla 2. Subensamblaje de árbol conductor se ubicará el procedimiento de montaje donde se muestra los elementos y cantidad requeridos que serán 2 Rodamientos (6004) y un Tornillo_sin_fin. Además, se muestran el posicionamiento y el montaje final.

Tabla 2: Subensamblaje de árbol conductor.

Subensamblaje de árbol conductor			
Elementos requeridos			
Cantidad	Elemento	Cantidad	Elemento
2		1	
			

Sugerencias: Para montaje de rodamientos:

- Montar los rodamientos uno a uno.
- Untar aceite sobre el agujero del rodamiento y el eje sobre el cuál se montará.
- Ayudarse de una herramienta o prensa hidráulica para el correcto deslizamiento y montaje de los rodamientos sobre el eje.

Para el montaje de los rodamientos

Paso 4.2 –Subensamblaje de árbol conducido

En la Tabla 3: Subensamblaje de árbol conducido se indica que el procedimiento de montaje y los elementos requeridos serán 2 RODAMIENTOS (6004), 2 ANILLOS_SEEGER (Di=25mm), 1 CHAVETA, 1 CORONA y 1 ÁRBOL_CONDUcido. Además, se muestran el posicionamiento y el montaje final.

Sugerencias:

Para el montaje de la chaveta

- Untar aceite sobre la chaveta y su cavidad de montaje
- Ayudarse de una prensa o martillo para el montaje correcto de la chaveta.

Para el montaje de Anillos Seeger:

- Untar aceite sobre el anillo y su cavidad de montaje
- Ayudarse con una pinza para apertura de seguros y un destornillador plano.

Para montaje de rodamientos:

- Montar los rodamientos uno a uno.
- Untar aceite sobre el agujero del rodamiento y el eje sobre el cuál se montará.
- Ayudarse de una herramienta o prensa hidráulica para el correcto deslizamiento y montaje de los rodamientos sobre el eje.

Tabla 3: Subensamblaje de árbol conducido.

Elementos requeridos			
Cantidad	Elemento	Cantidad	Elemento
2		2	
1		1	
1			
Posicionamiento		Montaje	
			

Paso 4.3 – Subensamblaje de carcasa

Según la Tabla 4. Subensamblaje de carcasa, es importante para este punto tener a mano 1 CARCASA_DELANTERA, 1 CARCASA_TRASERA, 1 Subensamblaje de árbol conductor, 1 Subensamblaje de árbol conducido, 1 Tubo de Silicon adhesivo gris para juntas y 4 PERNOS_ALLEN(M8x1,25x45, de cabeza avellanada modificados). Además se muestra de amarillo la junta aplicación del Adhesivo tipo silicón gris, el posicionamiento, el montaje y el

orden de apriete de los pernos con un torque inicial a tope, un torque secundario de 3,5Nm y un torque final de revisión máximo de 5Nm.

Tabla 4: Subensamblaje de carcasa

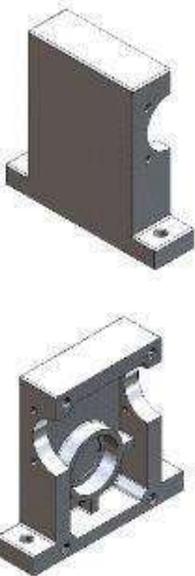
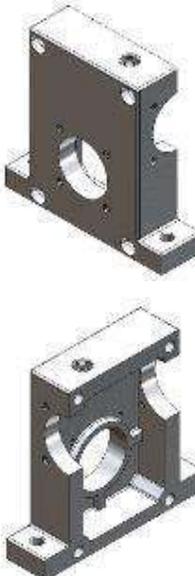
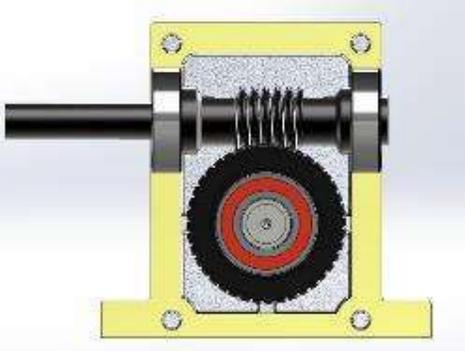
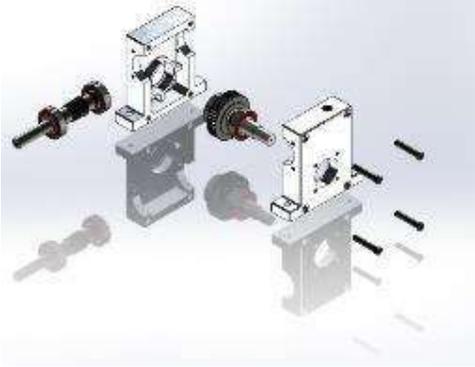
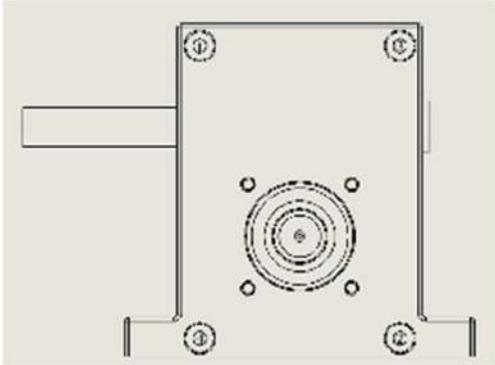
Subensamblaje de carcasa			
Elementos requeridos			
Cantidad	Elemento	Cantidad	Elemento
1		1	
1		1	
4			

Tabla 4: Subensamblaje de carcasa (continuación)

Subensamblaje de carcasa

Junta	Posicionamiento
	
Montaje	Apriete
	

Sugerencias:

Para el montaje:

- Untar aceite sobre los elementos que se encuentren en contacto directo.
- Limpiar con Tinner la junta y evitar aceite en la junta de Silicon
- Usar un torquímetro para la aplicación correcta de pares en los pernos con el orden e indicaciones establecidas posteriormente.
- Retirar el Silicon excedente en la junta al completar el montaje.

Paso 4.4 –Subensamblaje de sellos mecánicos

En la Tabla 5. Subensamblaje de sello de árbol conductor se muestra el procedimiento de montaje del sello sobre la brida, así como en la Tabla 6. Subensamblaje de sello de árbol conducido donde se requieren 1 RETENEDOR (15x35x7_Aceite) y 1 RETENEDOR (20x35x6_Aceite) respectivamente, además de 1 BRIDA_ARBOL_CONDUCTOR y 1 BRIDA_ARBOL_CONDUCIDO en el orden correspondiente. Finalmente, para cada una se muestra el posicionamiento y montaje.

Sugerencias:

Para el montaje:

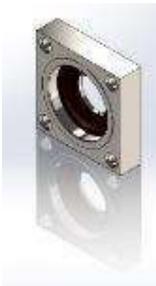
- Untar aceite sobre los elementos sello mecánico y cavidad del sello en la brida.
- Con un martillo o prensa introducir el sello mecánico de forma homogénea.
- Verificar el correcto asentamiento del sello mecánico en su cavidad.

Tabla 5: Subensamblaje de sello de árbol conductor

Subensamblaje de sello de árbol conductor			
Elementos requeridos			
Cantidad	Elemento	Cantidad	Elemento
1		1	
Posicionamiento		Montaje	
			

Tabla 6: Subensamblaje de sello de árbol conducido

Elementos requeridos

Cantidad	Elemento	Cantidad	Elemento
1		1	
Posicionamiento		Montaje	
			

Paso 4.5 -Subensamblaje de Bridas

De acuerdo con la Tabla 7. Subensamblaje de bridas se requerirá 1 Subensamblaje de carcasa, 1 Subensamblaje de sello de árbol conductor, 1 Subensamblaje de sello de árbol conducido, 1 BRIDA_CIEGA, 12 PERNOS_CABEZA_HEXAGONAL(M5x0,8x25) y un Adhesivo tipo silicón gris para las juntas, donde las juntas se muestran de color amarillo para la aplicación del adhesivo, además se muestra el posicionamiento de los elementos, el montaje y el orden de apriete para cada brida. Es importante seguir el orden de apriete con las etapas siguientes:

- Torque inicial a tope
- Torque secundario de 3,5Nm
- Torque final de revisión máximo de 5Nm.

Sugerencias:

Para el montaje:

- Untar aceite sobre la parte del sello que se encontrará en contacto con el metal.
- Aplicar de manera homogénea el silicón sobre los lugares de las juntas.
- Limpiar con Tinner las juntas y evitar aceite en la junta de Silicon
- Usar un torquímetro para la aplicación correcta de pares en los pernos con el orden e indicaciones establecidas posteriormente.
- Retirar el Silicon excedente en la junta al completar el montaje.

Tabla 7: Subensamblaje de bridas

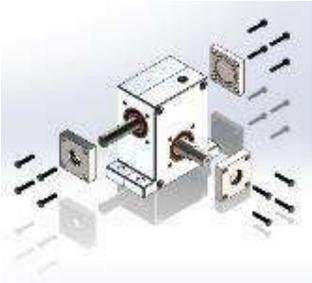
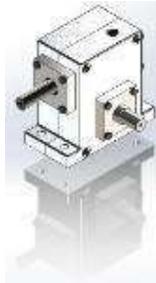
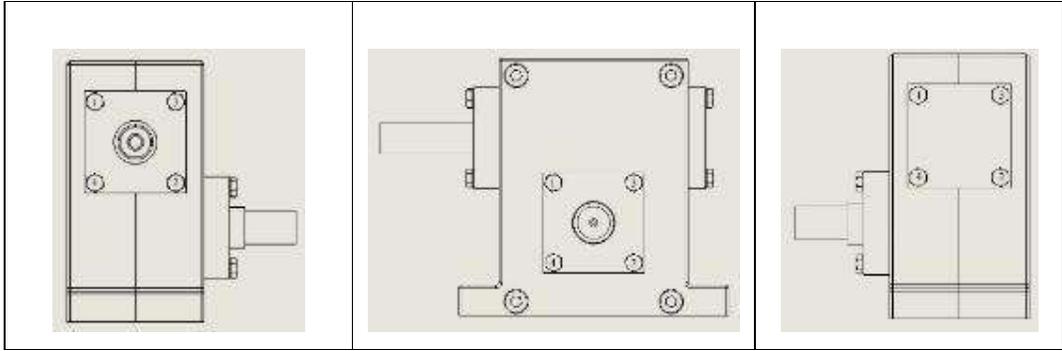
Subensamblaje de bridas			
Elementos requeridos			
Cantidad	Elemento	Cantidad	Elemento
1		1	
1		1	
12			
Subensamblaje de bridas			
Juntas			
			
Posicionamiento		Montaje	
			

Tabla 7: Subensamblaje de bridas (continuación)

Aprietes



ANEXO N: PRÁCTICAS DE RUTINA DE ENSAYOS.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA**



PRÁCTICAS DE RUTINA ANTE EL TRABAJO DEL BANCO DE ENGRANAJES

DATOS GENERALES:

NOMBRE:

Carlos Hernán Chávez Salas

CÓDIGO:

8266

FECHA:

Martes, 10 de Mayo de 2022

PRÁCTICAS:

ARRANQUE DEL ENSAYO

Verificar todos los parámetros siguientes previo al arranque.

- Presencia de obstrucciones nula.
- Presión de frenado debe ser 0 PSI.
- Calibración del módulo arrancador.

Una vez realizado el paso anterior, arrancar el equipo, mantener el trabajo en vacío aproximadamente durante 15min.

Aplicar la presión de frenado y monitorear rangos de corriente, voltaje, presión y temperaturas.

VERIFICACIÓN DE PRESIÓN DE FRENADO

Es importante para el desarrollo de las pruebas monitorear en un rango de entre 1 hasta máximo 2,5 Horas el ensayo. En caso de notar una variación alta de la presión marcado por el manómetro será importante identificar la causa del fenómeno, para ello se muestran algunas:

Causa 1

Se presenta una variación amplia en la medida del manómetro y un desplazamiento excesivo de la pinza de freno.

- La solución será verificar que el espesor del disco se encuentre con una variación $\pm 0,1$ como máximo, de no cumplir realizar un proceso de rectificación de este.

Causa 2

Se presenta una variación pequeña pero no usual entre tiempos de verificación en la marcha del equipo.

Verificar que el disco se encuentre limpio sin residuos de asbesto por el frenado continuo, en caso de haber presencia de residuos con una lija y algo plano como respaldo retirarlos del disco con el equipo en marcha

Causa 3

Se presenta una variación de presión entre tomas de medidas de control sin oscilaciones de la pluma del manómetro, es decir mediciones estables.

Verificar o asegurar el tornillo de frenado.

En caso de estar asegurado el tornillo de frenado y ocurrir entre las primeras mediciones del trabajo despresurizar el sistema de frenado hasta la presión deseada y asegurar el tornillo nuevamente. La ocurrencia de este fenómeno será por la dilatación por temperatura del disco de freno.

CONTROL DE TEMPERATURA DE MOTOR Y CAJA REDUCTORA

Es importante para el desarrollo de las pruebas monitorear en un rango de entre 1 hora hasta máximo unas 2,5 Horas el ensayo con la ayuda de un dispositivo externo de tipo termómetro digital por termocupla o con un pirómetro medir la temperatura de la caja y motor se mantengan estables acorde a las especificaciones dadas por fabricante.

CONTROL DE TENSIÓN DE BANDA

Es importante para el desarrollo de las pruebas monitorear verificar que la banda no tenga un movimiento excesivo, si lo hace parar el equipo u aprovechar algún paro del equipo para tensionarla adecuadamente.

CONTROL DE TENSIÓN Y CORRIENTE DEL MOTOR

Es importante monitorear la tensión y corriente del motor a fin de evitar un corte por parte del guardamotor en caso de que el manómetro de presión del freno proporcione lecturas erróneas y así verificar que la potencia entregada sea en su mayoría constante.

TOMA DE MUESTRAS DE ACEITE

Al finalizar el período de tiempo para la obtención de una muestra de aceite, liberar la presión de frenado, trabajar en vacío aproximadamente 15min, procurar la circulación de aire hacia el motor y los elementos de mayor temperatura y detener el equipo.

Se mantendrá el equipo sin funcionamiento durante 15 min y con una jeringa y manquera se obtendrá la muestra de aceite.

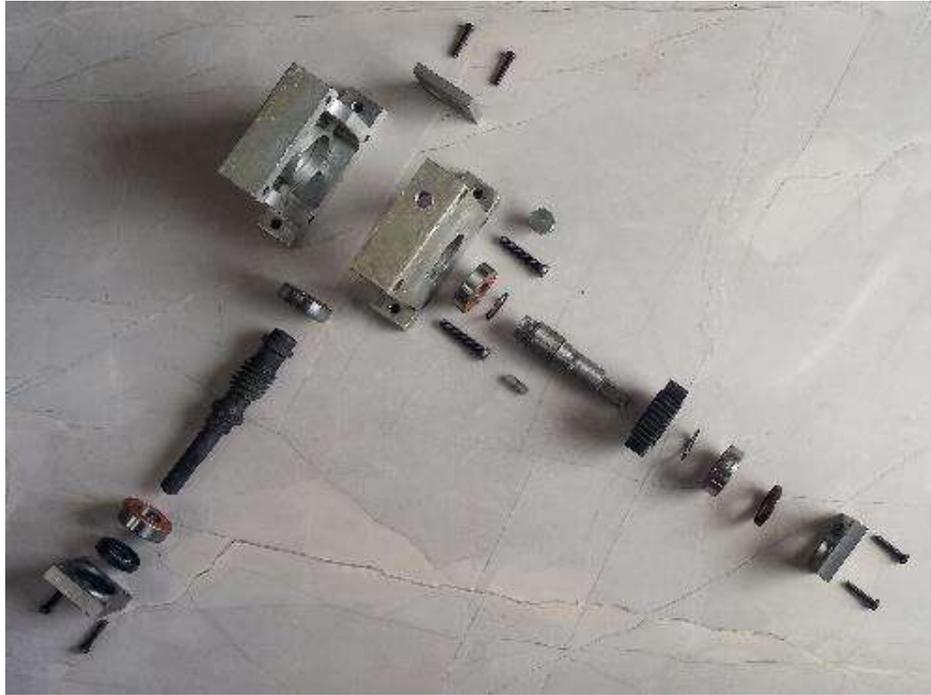
ANEXO O: DESARROLLO DE ENSAYOS A DESGASTE

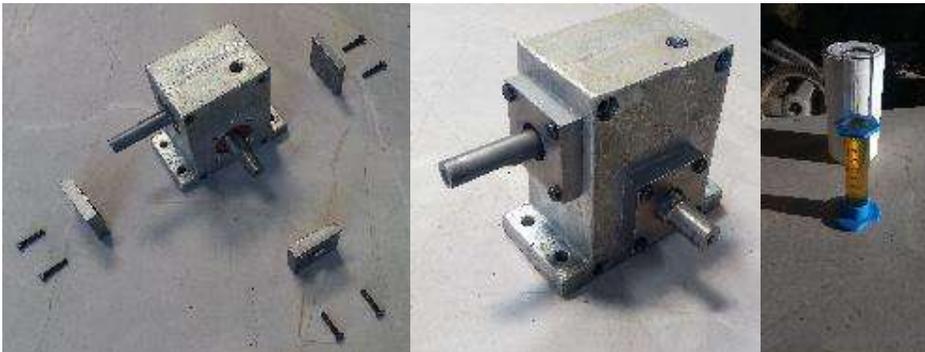
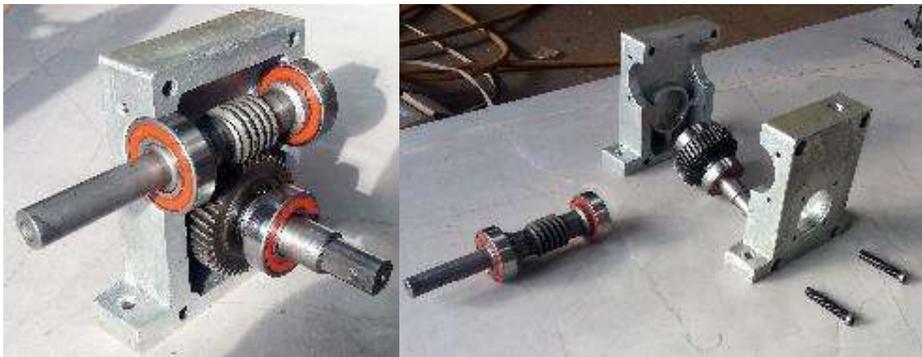
1



2







5



ANEXO P: DATOS DE CONTROL DE ENSAYOS A DESGASTE (PAREJA 1).



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
 FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
 CARRERA DE MECÁNICA
 RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A DESGASTE



Fecha de arranque	10/6/2022
Hora de arranque	10:40 a. m.
Fecha de parada	13/6/2022
Hora de parada	10:40 a.m.
Turnos diarios	3
Duración de turnos	8 Horas

Temperatura ambiente:	23 °C
Carga:	25 PSI
Temperatura del motor:	22 °C
Temperatura del reductor:	22 °C
Tensión nominal:	220 V
Corriente:	11,3 A

Elementos a ensayar:		
Pareja Corona y Tornillo sin fin con tratamiento superficial de Temple al aceite y revenido.		
Desarrolladores de ensayos		
Responsables	CI	Firma
Carlos Hernán Chávez Salas	060403730-9	
Hernán Marcelo Chávez Cascante	060257603-5	
Alejandra Michelle Chávez Salas	060457034-1	

Observaciones:
Es importante tomar en consideración que los elementos de trabajo se montaron en el reductor bajo el proceso estipulado por el procedimiento de montaje de banco de engranajes y los ensayos fueron desarrollados bajo los parámetros que se establecen como prácticas de rutina ante el trabajo del banco de engranajes.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA
RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A DESGASTE



Medición	Temperatura [°C]		Corriente [A]	Tensión [V]	Carga [PSI]	Hora [H]	Responsable
	Motor	Caja					
1	1	55	57	11,3	235	25	11:00
	2	53	56	11,35	234	25	11:20
	3	52	54	11,4	235	25	11:40
2	1	54	55	11,32	235	25	12:00
	2	53	53	11,25	235	25	12:20
	3	54	56	11,56	235	25	12:40
3	1	54	54	11,29	235	25	13:00
	2	54	53	11,47	235	25	13:20
	3	56	55	11,39	235	25	13:40
4	1	56	55	11,18	233	25	14:00
	2	56	55	11,18	233	25	14:20
	3	57	56	11,45	233	25	14:40
5	1	56	58	11,43	234	25	15:00
	2	57	55	11,16	233	25	15:20
	3	57	56	11,08	234	25	15:40
6	1	57	57	10,93	233	25	16:00
	2	57	59	11,44	233	25	16:20
	3	58	60	11,47	232	25	16:40
7	1	58	60	11,47	226	25	17:00
	2	59	60	11,25	227	25	17:20
	3	59	61	11,4	227	25	17:40
8	1	60	60	11,36	237	25	18:00
	2	61	63	11,29	237	25	18:20
	3	62	62	11,36	235	25	18:40
9	1	60	62	11,18	236	25	19:00
	2	60	62	11,14	235	25	19:20
	3	60	61	11,29	236	25	19:40
10	1	59	60	11,22	233	25	20:00
	2	58	60	10,71	232	25	20:20
	3	60	62	11,15	233	25	20:40
11	1	61	62	10,92	236	25	21:00
	2	60	62	11	236	25	21:20
	3	59	61	11,02	236	25	21:40
12	1	59	61	10,82	236	25	22:00
	2	59	61	10,87	235	25	22:20
	3	58	60	10,89	234	25	22:40

[Signature]
060257603-5
Hernán Chávez

[Signature]



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA



Medición	Temperatura [°C]		Corriente [A]	Tensión [V]	Carga [PSI]	Hora [H]	Responsable
	Motor	Caja					
13	1	55	54	10,9	237	25	23:00
	2	55	57	11	236	25	23:20
	3	54	58	11,08	236	25	23:40
14	1	55	58	10,97	234	25	0:00
	2	55	58	11,2	234	25	0:20
	3	56	58	11,01	233	25	0:40
15	1	60	24	11,33	234	25	1:00
	2	60	24	11,57	234	25	1:20
	3	60	25	11,46	233	25	1:40
16	1	60	51	10,92	232	25	2:00
	2	59	51	10,95	232	25	2:20
	3	58	51	10,98	233	25	2:40
17	1	55	57	11,37	235	25	3:00
	2	54	57	11,38	236	25	3:20
	3	54	57	11,34	235	25	3:40
18	1	54	62	11,53	236	25	4:00
	2	54	62	11,55	235	25	4:20
	3	54	62	11,43	235	25	4:40
19	1	54	60	11,38	231	25	5:00
	2	53	60	11,4	230	25	5:20
	3	54	60	11,64	230	25	5:40
20	1	55	60	11,65	233	25	6:00
	2	52	60	11,63	233	25	6:20
	3	54	60	11,7	233	25	6:40
21	1	54	51	11,6	233	25	7:00
	2	53	51	12,01	233	25	7:20
	3	54	51	11,96	234	25	7:40
22	1	55	55	11,67	234	25	8:00
	2	55	53	11,69	234	25	8:20
	3	55	55	11,8	235	25	8:40
23	1	57	54	11,04	235	25	9:00
	2	58	54	11,11	235	25	9:20
	3	57	54	11,22	236	25	9:40
24	1	55	56	11	232	25	10:00
	2	56	56	10,95	232	25	10:20
	3	57	57	11,24	232	25	10:40

060403730-9
Carlos Chávez

[Signature]
060457094-1
Alejandra Chávez



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA
RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A DESGASTE



Medición	Temperatura (°C)		Coeficiente	Tensión	Carga	Hera	Responsable
	Motor	Caja					
1	1	55	48	11,41	235	25	11:00
	2	55	49	11,45	234	25	11:20
	3	55	48	11,41	235	25	11:40
2	1	57	49	11,29	236	25	12:00
	2	58	49	11,25	236	25	12:20
	3	58	49	11,07	237	25	12:40
3	1	59	56	11,28	236	25	13:00
	2	60	57	11,33	234	25	13:20
	3	60	56	10,93	235	25	13:40
4	1	61	60	11,2	236	25	14:00
	2	61	60	11,1	236	25	14:20
	3	61	60	10,78	236	25	14:40
5	1	51	54	11,03	235	25	15:00
	2	52	54	11,13	235	25	15:20
	3	52	54	11,38	235	25	15:40
6	1	55	59	11,54	237	25	16:00
	2	55	59	11,22	238	25	16:20
	3	55	59	11,38	237	25	16:40
7	1	63	62	11,35	235	25	17:00
	2	64	62	11,36	235	25	17:20
	3	63	62	11,43	235	25	17:40
8	1	60	64	11,16	232	25	18:00
	2	60	64	10,97	232	25	18:20
	3	60	64	11,11	232	25	18:40
9	1	57	60	11,24	233	25	19:00
	2	56	60	11,15	233	25	19:20
	3	57	60	11,25	233	25	19:40
10	1	55	65	11,13	231	25	20:00
	2	55	65	11,22	231	25	20:20
	3	55	65	11,18	231	25	20:40
11	1	56	62	10,73	235	25	21:00
	2	55	61	10,9	235	25	21:20
	3	56	62	10,91	234	25	21:40
12	1	56	62	10,7	237	25	22:00
	2	56	61	10,98	236	25	22:20
	3	56	62	10,93	236	25	22:40

[Handwritten Signature]
060257603-5
Hernán Chávez

[Handwritten Signature]



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA



Medición	Temperatura (°C)		Coeficiente	Tensión	Carga	Hera	Responsable
	Motor	Caja					
13	1	59	55	11,34	236	25	23:00
	2	59	55	11,24	236	25	23:20
	3	59	55	11,38	236	25	23:40
14	1	56	57	11,37	236	25	0:00
	2	56	58	11,4	237	25	0:20
	3	56	56	11,45	236	25	0:40
15	1	54	55	11,3	236	25	1:00
	2	54	55	11,45	236	25	1:20
	3	54	54	11,51	236	25	1:40
16	1	55	55	11,55	235	25	2:00
	2	55	56	11,46	236	25	2:20
	3	55	56	11,52	235	25	2:40
17	1	54	57	10,8	232	25	3:00
	2	55	57	10,95	232	25	3:20
	3	55	57	10,96	232	25	3:40
18	1	55	57	11	233	25	4:00
	2	55	55	10,98	233	25	4:20
	3	55	55	11,1	233	25	4:40
19	1	54	58	10,89	233	25	5:00
	2	55	58	11,02	232	25	5:20
	3	54	58	11,06	233	25	5:40
20	1	53	58	10,92	233	25	6:00
	2	52	59	11,19	233	25	6:20
	3	52	57	11,08	233	25	6:40
21	1	55	59	11,42	234	25	7:00
	2	55	58	11,44	234	25	7:20
	3	56	58	11,47	234	25	7:40
22	1	56	59	11,03	231	25	8:00
	2	56	59	11,16	232	25	8:20
	3	56	59	11,18	232	25	8:40
23	1	63	59	10,24	225	25	9:00
	2	64	59	10,3	226	25	9:20
	3	63	59	10,31	226	25	9:40
24	1	53	59	11,31	235	25	10:00
	2	54	60	11,38	235	25	10:20
	3	54	61	11,12	235	25	10:40

[Handwritten Signature]

060457034-1
Alejandra Chavez



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA
RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A DESGASTE



Medición	Temperatura [°C]		Corriente	Tensión	Carga	Hora	Responsable
	Motor	Caja					
	34	27	34	[V]	[PSI]	[H]	
1	1	24	27	11,5	235	25	11:00
	2	23	26	11,41	234	25	11:20
	3	22	27	11,6	234	25	11:40
2	1	52	51	11,44	235	25	12:00
	2	53	53	11,24	234	25	12:20
	3	50	56	11,45	237	25	12:40
3	1	61	57	11,26	235	25	13:00
	2	62	59	11,28	236	25	13:20
	3	63	61	11,3	235	25	13:40
4	1	55	60	11,11	235	25	14:00
	2	56	61	11,12	236	25	14:20
	3	55	60	11,14	235	25	14:40
5	1	57	64	11,36	238	25	15:00
	2	58	64	11,39	238	25	15:20
	3	57	64	11,4	238	25	15:40
6	1	55	64	11,3	235	25	16:00
	2	56	63	11,07	234	25	16:20
	3	55	62	11,05	235	25	16:40
7	1	56	60	10,72	234	25	17:00
	2	56	60	10,73	235	25	17:20
	3	56	60	10,72	236	25	17:40
8	1	56	56	10,99	229	25	18:00
	2	55	56	10,98	230	25	18:20
	3	55	56	11	231	25	18:40
9	1	50	54	11	233	25	19:00
	2	51	54	11,02	233	25	19:20
	3	50	54	11,05	233	25	19:40
10	1	54	54	11,13	233	25	20:00
	2	54	54	11,08	232	25	20:20
	3	54	54	11,1	232	25	20:40
11	1	53	55	11,4	232	25	21:00
	2	53	55	11,42	232	25	21:20
	3	53	55	11,39	232	25	21:40
12	1	52	54	11,25	235	25	22:00
	2	52	53	11,28	235	25	22:20
	3	52	54	11,3	235	25	22:40

060403730-9
Carlos Chávez



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA



Medición	Temperatura [°C]		Corriente	Tensión	Carga	Hora	Responsable
	Motor	Caja					
	34	[V]	[PSI]	[H]			
13	1	58	60	10,61	236	25	23:00
	2	59	59	10,7	236	25	23:20
	3	57	59	10,98	232	25	23:40
14	1	57	58	11,26	232	25	0:00
	2	57	57	11,28	232	25	0:20
	3	57	58	11,24	232	25	0:40
15	1	57	58	10,57	231	25	1:00
	2	57	57	10,59	231	25	1:20
	3	57	58	10,79	232	25	1:40
16	1	55	58	11,3	234	25	2:00
	2	55	58	10,99	234	25	2:20
	3	56	58	11,12	233	25	2:40
17	1	56	57	11,2	234	25	3:00
	2	56	57	11,28	234	25	3:20
	3	55	57	11,06	234	25	3:40
18	1	58	56	11,15	233	25	4:00
	2	57	58	11,09	232	25	4:20
	3	58	59	11,07	234	25	4:40
19	1	56	59	11,15	234	25	5:00
	2	56	56	10,89	233	25	5:20
	3	56	57	10,86	233	25	5:40
20	1	57	59	10,99	236	25	6:00
	2	57	59	10,52	235	25	6:20
	3	57	60	10,6	236	25	6:40
21	1	58	61	11,03	235	25	7:00
	2	56	58	11,3	235	25	7:20
	3	54	56	11,22	235	25	7:40
22	1	55	56	11,18	234	25	8:00
	2	55	56	11,15	235	25	8:20
	3	55	57	11,18	235	25	8:40
23	1	56	57	11,25	234	25	9:00
	2	56	58	11,23	236	25	9:20
	3	56	58	11,22	235	25	9:40
24	1	56	57	11,55	235	25	10:00
	2	57	57	10,99	235	25	10:20
	3	58	58	11,2	234	25	10:40

060403730-9
Carlos Chávez

ANEXO Q: DATOS DE CONTROL DE ENSAYOS A DESGASTE (PAREJA 2).



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA
RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A DESGASTE**



Fecha de arranque	15/6/2022
Hora de arranque	10:40 a. m.
Fecha de parada	18/6/2022
Hora de parada	10:40 a.m.
Turnos diarios	3
Duración de turnos	8 Horas

Temperatura ambiente:	20 °C
Carga:	25 PSI
Temperatura del motor:	19 °C
Temperatura del reductor:	19 °C
Tensión nominal:	220 V
Corriente:	11,23 A

Elementos a ensayar:		
Pareja Corona y Tornillo sin fin con tratamiento superficial de Cementación.		
Desarrolladores de ensayos		
Responsables	CI	Firma
Carlos Hernán Chávez Salas	060403730-9	
Hernán Marcelo Chávez Cascante	060257603-5	
Alejandra Michelle Chávez Salas	060457034-1	

Observaciones:
Es importante tomar en consideración que los elementos de trabajo se montaron en el reductor bajo el proceso estipulado por el procedimiento de montaje de banco de engranajes y los ensayos fueron desarrollados bajo los parámetros que se establecen como prácticas de rutina ante el trabajo del banco de engranajes.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
 FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
 CARRERA DE MECÁNICA
 RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A DESGASTE



Medición	Temperatura (°C)		Coeficiente	Tensión	Carga	Hera	Responsable
	Motor	Caja					
1	1	25	57	11,3	237	25	11:00
	2	28	58	11,14	236	25	11:20
	3	29	57	11,18	235	25	11:40
2	1	45	56	11,19	236	25	12:00
	2	46	56	10,99	237	25	12:20
	3	49	55	11,86	236	25	12:40
3	1	52	54	11,29	235	25	13:00
	2	54	53	11,47	235	25	13:20
	3	56	55	11,39	233	25	13:40
4	1	56	55	11,18	235	25	14:00
	2	56	55	11,75	232	25	14:20
	3	57	56	11,29	232	25	14:40
5	1	56	58	11,41	233	25	15:00
	2	57	55	11,03	235	25	15:20
	3	57	56	11,08	231	25	15:40
6	1	57	57	10,93	232	25	16:00
	2	57	59	11,44	232	25	16:20
	3	58	60	11,72	232	25	16:40
7	1	58	60	11,39	232	25	17:00
	2	59	60	11,41	232	25	17:20
	3	59	61	11,03	233	25	17:40
8	1	60	60	11,36	233	25	18:00
	2	61	63	11,29	234	25	18:20
	3	62	62	11,36	234	25	18:40
9	1	60	62	11,18	235	25	19:00
	2	60	62	11,14	235	25	19:20
	3	60	61	11,29	235	25	19:40
10	1	59	60	11,22	233	25	20:00
	2	58	60	10,71	233	25	20:20
	3	60	62	11,15	233	25	20:40
11	1	61	62	10,92	236	25	21:00
	2	60	62	11	236	25	21:20
	3	59	61	11,02	235	25	21:40
12	1	59	61	10,82	235	25	22:00
	2	59	61	10,87	235	25	22:20
	3	58	60	10,89	235	25	22:40

Hernán Chávez
 060257603-5
 Hernán Chávez

[Signature]



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
 FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
 CARRERA DE MECÁNICA



Medición	Temperatura (°C)		Coeficiente	Tensión	Carga	Hera	Responsable
	Motor	Caja					
13	1	55	54	11,1	235	25	23:00
	2	55	57	11,12	235	25	23:20
	3	54	57	11,12	235	25	23:40
14	1	55	57	11,58	234	25	0:00
	2	55	55	11,6	234	25	0:20
	3	56	55	11,35	233	25	0:40
15	1	60	55	11,24	234	25	1:00
	2	60	54	11,18	234	25	1:20
	3	60	54	11,31	233	25	1:40
16	1	60	53	11,22	233	25	2:00
	2	59	53	11,15	232	25	2:20
	3	58	53	11,18	233	25	2:40
17	1	55	54	11,19	235	25	3:00
	2	54	55	11,33	236	25	3:20
	3	54	56	11,34	235	25	3:40
18	1	54	56	11,53	233	25	4:00
	2	54	57	11,26	233	25	4:20
	3	54	57	11,34	232	25	4:40
19	1	54	57	11,38	231	25	5:00
	2	53	58	11,4	232	25	5:20
	3	54	59	11,64	232	25	5:40
20	1	55	58	11,34	232	25	6:00
	2	52	58	11,63	232	25	6:20
	3	54	57	11,24	232	25	6:40
21	1	54	57	11,57	233	25	7:00
	2	53	57	11,08	233	25	7:20
	3	54	56	11,55	234	25	7:40
22	1	55	55	11,72	234	25	8:00
	2	55	53	11,39	235	25	8:20
	3	55	55	11,41	235	25	8:40
23	1	57	54	11,03	235	25	9:00
	2	58	54	11,11	233	25	9:20
	3	57	54	11,27	233	25	9:40
24	1	55	56	11	232	25	10:00
	2	56	56	11,35	232	25	10:20
	3	57	57	11,54	233	25	10:40

[Signature]

060457034-1
 Alejandra Chávez



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA
RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A DESGASTE



Medición	Temperatura (°C)		Coeficiente	Tensión	Carga	Hera	Responsable
	Motor	Caja					
1	1	20	20	11,15	234	25	11:00
	2	19	20	11,15	235	25	11:20
	3	22	20	11,22	236	25	11:40
2	1	25	22	11,33	236	25	12:00
	2	25	22	11,02	236	25	12:20
	3	26	24	11,06	235	25	12:40
3	1	27	24	11,1	235	25	13:00
	2	29	26	11,02	234	25	13:20
	3	29	27	11,05	233	25	13:40
4	1	29	28	11,13	233	25	14:00
	2	32	28	11,08	232	25	14:20
	3	32	29	11,1	232	25	14:40
5	1	33	30	11,03	235	25	15:00
	2	32	31	11,13	235	25	15:20
	3	35	32	11,38	235	25	15:40
6	1	36	32	11,4	237	25	16:00
	2	35	33	11,43	235	25	16:20
	3	35	33	11,38	235	25	16:40
7	1	38	33	11,35	235	25	17:00
	2	38	34	11,03	235	25	17:20
	3	40	34	11,12	235	25	17:40
8	1	41	35	11,16	234	25	18:00
	2	43	38	11	234	25	18:20
	3	43	38	11,11	232	25	18:40
9	1	45	40	11,24	233	25	19:00
	2	47	42	11,15	233	25	19:20
	3	48	41	11,11	233	25	19:40
10	1	50	43	11,13	234	25	20:00
	2	51	44	11,22	234	25	20:20
	3	53	44	11,18	234	25	20:40
11	1	54	45	11,5	235	25	21:00
	2	55	48	11,55	235	25	21:20
	3	56	50	11,34	234	25	21:40
12	1	56	50	11,33	235	25	22:00
	2	56	50	11,25	236	25	22:20
	3	56	52	11,02	236	25	22:40

[Handwritten Signature]
060257603-5
Hernán Chávez

[Handwritten Signature]



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA



Medición	Temperatura (°C)		Coeficiente	Tensión	Carga	Hera	Responsable
	Motor	Caja					
13	1	55	55	11,14	237	25	23:00
	2	57	56	11,08	236	25	23:20
	3	59	56	11,01	235	25	23:40
14	1	58	57	11,19	236	25	0:00
	2	59	57	11,21	237	25	0:20
	3	59	56	11,17	236	25	0:40
15	1	59	55	11,23	235	25	1:00
	2	58	55	11,33	235	25	1:20
	3	58	54	11,19	233	25	1:40
16	1	57	55	10,87	235	25	2:00
	2	56	56	11,49	232	25	2:20
	3	55	55	11,62	232	25	2:40
17	1	54	56	11,35	233	25	3:00
	2	55	56	11,23	235	25	3:20
	3	56	57	11,25	235	25	3:40
18	1	55	57	11	235	25	4:00
	2	55	56	10,99	234	25	4:20
	3	55	56	11,12	233	25	4:40
19	1	54	55	11,24	232	25	5:00
	2	55	55	11,14	232	25	5:20
	3	54	56	11,18	232	25	5:40
20	1	54	56	11,39	233	25	6:00
	2	53	57	10,99	233	25	6:20
	3	54	57	11,22	233	25	6:40
21	1	55	58	11	234	25	7:00
	2	55	58	11,5	237	25	7:20
	3	55	59	11,25	235	25	7:40
22	1	56	58	11,23	233	25	8:00
	2	56	59	11,02	233	25	8:20
	3	56	60	11,26	235	25	8:40
23	1	55	60	10,97	231	25	9:00
	2	56	60	11,11	231	25	9:20
	3	55	59	11,24	230	25	9:40
24	1	53	59	11,15	229	25	10:00
	2	54	58	11,25	237	25	10:20
	3	53	59	11,13	229	25	10:40

[Handwritten Signature]

060457034-1
Alejandra Chavez



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA
RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A DESGASTE



Medición	Temperatura (°C)		Coeficiente	Tensión	Carga	Hora	Responsable
	Motor	Caja					
1	1	21	21	10,77	234	25	11:00
	2	23	21	10,75	234	25	11:20
	3	24	23	10,82	235	25	11:40
2	1	27	25	11	234	25	12:00
	2	30	25	11,02	234	25	12:20
	3	33	27	11,03	234	25	12:40
3	1	30	30	11	235	25	13:00
	2	31	32	11,19	235	25	13:20
	3	32	32	11,18	235	25	13:40
4	1	35	32	11,22	229	25	14:00
	2	36	34	11,1	229	25	14:20
	3	36	34	11,09	228	25	14:40
5	1	36	36	11,15	235	25	15:00
	2	38	36	11,41	234	25	15:20
	3	37	40	11,38	235	25	15:40
6	1	37	40	11,08	235	25	16:00
	2	36	45	11,15	233	25	16:20
	3	34	50	11,18	233	25	16:40
7	1	34	50	11,19	233	25	17:00
	2	35	50	10,99	235	25	17:20
	3	36	51	11,22	233	25	17:40
8	1	36	52	11	229	25	18:00
	2	35	51	11,5	227	25	18:20
	3	33	53	11,25	229	25	18:40
9	1	31	53	11,23	230	25	19:00
	2	32	53	11,07	231	25	19:20
	3	30	54	11,26	233	25	19:40
10	1	34	53	11,15	232	25	20:00
	2	35	54	11,26	233	25	20:20
	3	34	54	11,25	233	25	20:40
11	1	34	55	11,25	235	25	21:00
	2	33	54	11,28	235	25	21:20
	3	34	55	11,34	235	25	21:40
12	1	33	55	11,24	230	25	22:00
	2	32	56	11,19	230	25	22:20
	3	35	56	11,32	230	25	22:40

060403730-9
Carlos Chávez



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA



Medición	Temperatura (°C)		Coeficiente	Tensión	Carga	Hora	Responsable
	Motor	Caja					
13	1	38	60	10,61	233	25	23:00
	2	39	59	10,7	234	25	23:20
	3	37	59	10,98	234	25	23:40
14	1	37	58	11,36	233	25	0:00
	2	37	57	11,38	233	25	0:20
	3	37	58	11,34	232	25	0:40
15	1	37	58	11,22	233	25	1:00
	2	37	57	11,18	235	25	1:20
	3	37	58	11,5	236	25	1:40
16	1	35	58	11,55	235	25	2:00
	2	35	58	11,34	233	25	2:20
	3	36	58	11,12	233	25	2:40
17	1	36	57	11,2	232	25	3:00
	2	36	57	11,28	234	25	3:20
	3	35	57	11,06	234	25	3:40
18	1	38	56	11,15	233	25	4:00
	2	37	58	11,09	234	25	4:20
	3	38	59	11,23	234	25	4:40
19	1	36	59	11,2	233	25	5:00
	2	36	56	11,25	233	25	5:20
	3	36	57	10,86	232	25	5:40
20	1	37	59	10,99	233	25	6:00
	2	37	59	10,52	235	25	6:20
	3	37	60	11,22	236	25	6:40
21	1	38	61	11,18	235	25	7:00
	2	36	58	11,5	233	25	7:20
	3	34	56	11,55	233	25	7:40
22	1	35	56	11,34	232	25	8:00
	2	35	56	11,15	235	25	8:20
	3	35	57	11,18	235	25	8:40
23	1	36	57	11,25	234	25	9:00
	2	36	58	11,23	236	25	9:20
	3	36	58	11,27	235	25	9:40
24	1	36	57	11,55	233	25	10:00
	2	37	57	10,99	232	25	10:20
	3	38	58	11,2	231	25	10:40

060403730-9
Carlos Chávez

ANEXO R: DATOS DE CONTROL DE ENSAYOS A DESGASTE (PAREJA 3).



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA
RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A DESGASTE



Fecha de arranque	20/6/2022
Hora de arranque	10:40 a. m.
Fecha de parada	23/6/2022
Hora de parada	10:40 a.m.
Turnos diarios	3
Duración de turnos	8 Horas

Temperatura ambiente:	22 °C
Carga:	25 PSI
Temperatura del motor:	20 °C
Temperatura del reductor:	20 °C
Tensión nominal:	220 V
Corriente:	10,99 A

Elementos a ensayar:		
Pareja Corona y Tornillo sin fin con tratamiento superficial de Carbonitruración.		
Desarrolladores de ensayos		
Responsables	CI	Firma
Carlos Hernán Chávez Salas	060403730-9	
Hernán Marcelo Chávez Cascante	060257603-5	
Alejandra Michelle Chávez Salas	060457034-1	

Observaciones:
Es importante tomar en consideración que los elementos de trabajo se montaron en el reductor bajo el proceso estipulado por el procedimiento de montaje de banco de engranajes y los ensayos fueron desarrollados bajo los parámetros que se establecen como prácticas de rutina ante el trabajo del banco de engranajes.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA
RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A DESGASTE



Medición	Temperatura (°C)		Coeficiente	Tensión	Carga	Hera	Responsable
	Motor	Caja					
1	1	55	48	11,41	229	25	11:00
	2	55	49	11,45	234	25	11:20
	3	55	48	11,31	235	25	11:40
2	1	57	49	11,29	234	25	12:00
	2	58	49	11,25	233	25	12:20
	3	49	51	11,86	233	25	12:40
3	1	52	52	11,29	234	25	13:00
	2	54	53	11,47	235	25	13:20
	3	56	55	11,39	235	25	13:40
4	1	56	55	11,18	233	25	14:00
	2	56	55	11,18	232	25	14:20
	3	57	56	11,45	233	25	14:40
5	1	56	58	11,43	234	25	15:00
	2	57	55	11,16	233	25	15:20
	3	57	56	11,08	234	25	15:40
6	1	57	57	10,93	233	25	16:00
	2	57	59	11,44	233	25	16:20
	3	58	60	11,47	232	25	16:40
7	1	58	60	11,47	233	25	17:00
	2	59	60	11,25	235	25	17:20
	3	59	61	11,4	235	25	17:40
8	1	60	60	11,36	236	25	18:00
	2	61	63	11,39	236	25	18:20
	3	62	62	11,36	235	25	18:40
9	1	60	62	11,18	236	25	19:00
	2	60	62	11,14	235	25	19:20
	3	60	61	11,29	236	25	19:40
10	1	59	60	11,22	235	25	20:00
	2	58	60	10,71	232	25	20:20
	3	56	58	11,15	233	25	20:40
11	1	56	58	10,92	236	25	21:00
	2	54	58	11	233	25	21:20
	3	54	55	11,02	233	25	21:40
12	1	53	55	10,82	236	25	22:00
	2	53	55	10,87	235	25	22:20
	3	53	55	10,89	234	25	22:40

Hernán Chávez
060257603-5
Hernán Chávez

[Signature]



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA



Medición	Temperatura (°C)		Coeficiente	Tensión	Carga	Hera	Responsable
	Motor	Caja					
13	1	55	54	10,9	235	25	23:00
	2	56	57	11	236	25	23:20
	3	57	58	11,08	236	25	23:40
14	1	56	58	10,97	234	25	0:00
	2	58	58	11,2	234	25	0:20
	3	59	58	11,01	233	25	0:40
15	1	60	24	11,34	235	25	1:00
	2	62	24	11,57	234	25	1:20
	3	61	25	11,46	234	25	1:40
16	1	60	51	10,92	232	25	2:00
	2	60	51	10,95	232	25	2:20
	3	60	51	10,98	235	25	2:40
17	1	58	56	10,98	235	25	3:00
	2	58	56	11	235	25	3:20
	3	55	54	11	233	25	3:40
18	1	55	54	11,02	233	25	4:00
	2	55	54	11,05	233	25	4:20
	3	54	54	11,13	233	25	4:40
19	1	54	54	11,08	232	25	5:00
	2	54	54	11,1	233	25	5:20
	3	53	55	11,4	233	25	5:40
20	1	53	55	11,42	232	25	6:00
	2	53	55	11,39	234	25	6:20
	3	52	54	11,25	234	25	6:40
21	1	54	51	11,6	233	25	7:00
	2	53	51	12,01	233	25	7:20
	3	54	51	11,96	234	25	7:40
22	1	55	55	11,67	235	25	8:00
	2	55	53	11,69	234	25	8:20
	3	55	55	11,8	235	25	8:40
23	1	57	54	11,04	233	25	9:00
	2	58	54	11,11	235	25	9:20
	3	57	54	11,22	236	25	9:40
24	1	55	56	11	229	25	10:00
	2	56	56	10,95	238	25	10:20
	3	57	57	11,24	229	25	10:40

Alejandra Chávez
060457034-1
Alejandra Chávez



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA
RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A DESGASTE



Medición	Temperatura (°C)		Coeficiente	Tensión	Carga	Hera	Responsable
	Motor	Caja					
1	1	55	48	11,41	235	25	11:00
	2	55	49	11,45	234	25	11:20
	3	55	48	11,41	235	25	11:40
2	1	57	49	11,29	236	25	12:00
	2	58	49	11,25	236	25	12:20
	3	58	49	11,07	238	25	12:40
3	1	59	56	11,28	229	25	13:00
	2	60	57	11,33	229	25	13:20
	3	60	56	10,93	231	25	13:40
4	1	61	60	11,2	230	25	14:00
	2	61	60	11,1	233	25	14:20
	3	61	60	10,78	233	25	14:40
5	1	51	54	11,03	232	25	15:00
	2	52	54	11,13	235	25	15:20
	3	52	54	11,38	234	25	15:40
6	1	55	59	11,54	233	25	16:00
	2	55	59	11,22	236	25	16:20
	3	55	59	11,38	235	25	16:40
7	1	63	62	11,35	235	25	17:00
	2	64	62	11,36	235	25	17:20
	3	63	62	11,43	234	25	17:40
8	1	60	64	11,16	232	25	18:00
	2	60	64	10,97	233	25	18:20
	3	60	64	11,11	233	25	18:40
9	1	57	60	11,24	233	25	19:00
	2	56	60	11,15	231	25	19:20
	3	57	60	11,25	233	25	19:40
10	1	55	65	11,13	231	25	20:00
	2	55	65	11,22	231	25	20:20
	3	55	65	11,18	231	25	20:40
11	1	56	62	10,73	235	25	21:00
	2	55	61	10,9	234	25	21:20
	3	56	62	10,91	234	25	21:40
12	1	56	62	10,7	236	25	22:00
	2	56	61	10,98	236	25	22:20
	3	56	62	10,93	236	25	22:40

Hernán Chávez
060257603-5
Hernán Chávez

Hernán Chávez



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA



Medición	Temperatura (°C)		Coeficiente	Tensión	Carga	Hera	Responsable
	Motor	Caja					
13	1	59	55	11,34	235	25	23:00
	2	59	55	11,24	236	25	23:20
	3	59	55	11,38	233	25	23:40
14	1	56	57	11,37	233	25	0:00
	2	56	58	11,4	233	25	0:20
	3	56	56	11,45	232	25	0:40
15	1	54	55	11,3	233	25	1:00
	2	54	55	11,45	235	25	1:20
	3	54	54	11,51	235	25	1:40
16	1	55	55	11,55	235	25	2:00
	2	55	56	11,46	236	25	2:20
	3	55	56	11,52	235	25	2:40
17	1	54	57	10,8	232	25	3:00
	2	55	57	10,95	232	25	3:20
	3	55	57	10,98	232	25	3:40
18	1	55	57	11	233	25	4:00
	2	55	55	10,98	233	25	4:20
	3	55	55	11,1	233	25	4:40
19	1	54	58	10,89	233	25	5:00
	2	55	58	11,02	232	25	5:20
	3	54	58	11,06	233	25	5:40
20	1	53	58	10,92	233	25	6:00
	2	55	56	10,98	230	25	6:20
	3	55	56	11	231	25	6:40
21	1	50	54	11	233	25	7:00
	2	51	54	11,02	234	25	7:20
	3	50	54	11,05	233	25	7:40
22	1	54	54	11,13	233	25	8:00
	2	54	54	11,08	233	25	8:20
	3	54	54	11,1	232	25	8:40
23	1	53	55	11,4	232	25	9:00
	2	53	55	11,42	232	25	9:20
	3	53	55	11,39	232	25	9:40
24	1	52	54	11,25	235	25	10:00
	2	54	60	11,18	234	25	10:20
	3	54	61	11,12	234	25	10:40

Hernán Chávez

060457034-1
Alejandra Chavez



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA
RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYOS A DESGASTE



Medición	Temperatura [°C]		Corriente [A]	Tensión [V]	Carga [PSI]	Hora [H]	Responsable Firma
	Motor	Caja					
1	1	24	24	11,02	229	25	11:00
	2	24	26	11,05	230	25	11:20
	3	24	27	11,13	231	25	11:40
2	1	26	27	11,08	235	25	12:00
	2	26	29	11,1	234	25	12:20
	3	27	29	11,45	235	25	12:40
3	1	28	29	11,26	235	25	13:00
	2	29	30	11,28	236	25	13:20
	3	32	31	11,3	235	25	13:40
4	1	32	32	11,11	236	25	14:00
	2	32	33	11,12	236	25	14:20
	3	35	35	11,14	236	25	14:40
5	1	38	37	11,36	233	25	15:00
	2	38	37	11,39	233	25	15:20
	3	40	36	10,98	230	25	15:40
6	1	42	37	11	231	25	16:00
	2	44	39	11	229	25	16:20
	3	44	41	11,02	230	25	16:40
7	1	46	41	11,05	232	25	17:00
	2	46	41	11,13	233	25	17:20
	3	46	43	11,08	232	25	17:40
8	1	49	45	11,1	232	25	18:00
	2	49	45	11,4	232	25	18:20
	3	49	49	11,42	233	25	18:40
9	1	53	49	11,39	232	25	19:00
	2	52	53	11,25	233	25	19:20
	3	50	53	11,05	231	25	19:40
10	1	54	54	11,13	233	25	20:00
	2	54	54	11,08	232	25	20:20
	3	54	54	11,1	232	25	20:40
11	1	53	55	11,4	231	25	21:00
	2	53	55	11,42	231	25	21:20
	3	53	55	11,39	232	25	21:40
12	1	52	54	11,25	235	25	22:00
	2	52	53	11,28	234	25	22:20
	3	52	54	11,3	235	25	22:40


060403730-9
Carlos Chávez





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA



Medición	Temperatura [°C]		Corriente [A]	Tensión [V]	Carga [PSI]	Hora [H]	Responsable Firma
	Motor	Caja					
13	1	55	56	10,98	230	25	23:00
	2	55	56	11	231	25	23:20
	3	50	54	11	233	25	23:40
14	1	51	54	11,02	233	25	0:00
	2	50	54	11,05	233	25	0:20
	3	54	54	11,13	233	25	0:40
15	1	54	54	11,08	232	25	1:00
	2	54	54	11,1	232	25	1:20
	3	53	55	11,4	232	25	1:40
16	1	53	55	11,42	232	25	2:00
	2	53	55	11,39	232	25	2:20
	3	52	54	11,25	235	25	2:40
17	1	56	57	11,2	234	25	3:00
	2	56	57	11,28	234	25	3:20
	3	55	57	11,06	234	25	3:40
18	1	58	56	11,15	233	25	4:00
	2	57	58	11,09	232	25	4:20
	3	58	59	11,07	234	25	4:40
19	1	56	59	11,15	234	25	5:00
	2	56	56	10,89	233	25	5:20
	3	56	57	10,86	233	25	5:40
20	1	55	58	10,77	234	25	6:00
	2	56	58	10,75	234	25	6:20
	3	56	57	10,82	235	25	6:40
21	1	56	57	11	234	25	7:00
	2	55	57	11,02	234	25	7:20
	3	58	56	11,02	234	25	7:40
22	1	57	58	11	235	25	8:00
	2	56	55	11,19	235	25	8:20
	3	56	56	11,18	235	25	8:40
23	1	55	56	11,22	229	25	9:00
	2	56	57	11,1	229	25	9:20
	3	56	56	11,09	228	25	9:40
24	1	56	57	11,55	235	25	10:00
	2	57	57	10,99	235	25	10:20
	3	58	56	11,2	234	25	10:40

060457034-1
Alejandra Chávez


060403730-9
Carlos Chávez

ANEXO S: INSPECCIÓN VISUAL

1



2







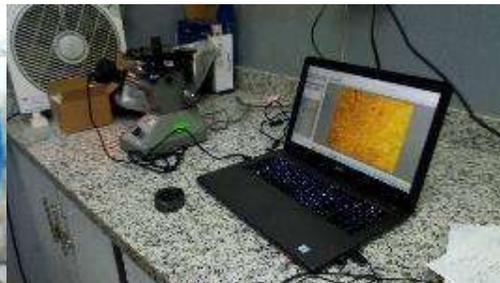
ANEXO T: EVALUACIÓN DE DUREZA

1



ANEXO U: EVALUACIÓN MICROESTRUCTURAL

1



ANEXO V: COSTOS



PROFORMA

CLIENTE: Carlos Hernán Chávez Salas

FECHA: 09 de mayo de 2022

DESCRIPCIÓN: Mecanizado de elementos mecánicos.

CANT.	DESCRIPCIÓN	COSTO
3.	Mecanizado de corona <ul style="list-style-type: none">• Desbaste axial• Centrado• Desbaste axial• Perforado (Diámetro 21mm)• Mandrinado• Ranurado y tronzado• Brochado• Tallado de dientes	198,21
3.	Mecanizado del tornillo sin fin <ul style="list-style-type: none">• Desbaste axial• Centrado• Ranurado• Desbaste radial• Roscado exterior• Tronzado	134,67
SUBTOTAL:		332,88
IVA:		39,95
TOTAL:		372,83

OBSERVACIONES: Previo al mecanizado se deberá realizar una revisión de planos por parte del técnico, en caso de no presentar planos y hojas de procesos se aplicará valores adicionales, adicional es importante tomar en cuenta que el valor no cubre costos en materiales.

Firma:

Tigo. Hernán Marcelo Chávez C.
Gerente