

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**FABRICACIÓN DE RUEDAS DENTADAS RECTAS, PARA LA CONFIGURACIÓN
DEL CABEZAL DIVISOR EN FRESADORA UNIVERSAL DEL TALLER
METALMECÁNICO.**

Trabajo de Titulación para optar al Título de Técnico
Universitario en MECÁNICA INDUSTRIAL.

Alumnos:

Alejandro Esteban Vera Abarca

Martín Ignacio Reyes Guerrero

Profesor Guía:

Sr. José Carvallo Basáez

2020

RESUMEN.

KEYWORDS: MECANIZADO, GEOMETRÍA, RUEDA DENTADA, TOLERANCIAS.

El presente trabajo de título tiene como objetivo en fabricar diversas ruedas dentadas para la fresadora universal INDUMA, ubicada en el taller metalmecánico de la Universidad Técnica Federico Santa María sede Viña del Mar. En el primer capítulo se realizarán dos ensayos: uno de chispa y de dureza para determinar el material utilizado por el fabricante en el juego de ruedas. Una vez identificado el material. En el capítulo dos, se procederá a determinar los diversos parámetros de mecanizado (cálculos), ya sea en torno como en fresadora, identificando; por medio de una ficha de procedimiento para el mecanizado; los componentes geométricos que las ruedas poseen.

Posteriormente, en el capítulo tres, se describe la fabricación de las ruedas dentadas rectas, adicionando una ficha de control geométrico para corroborar los parámetros de elaboración.

ÍNDICE GENERAL.

RESUMEN.....3

ÍNDICE DE FIGURAS.....7

ÍNDICE DE TABLAS. 9

INTRODUCCIÓN. 10

OBJETIVO GENERAL. 11

OBJETIVOS ESPECÍFICOS. 11

CAPÍTULO 1: Recopilación de antecedentes generales. 12

1.1 Descripción técnica de equipos involucrados y problemática..... 13

1.1.1 Taller metalmecánico.....13

1.1.2 Máquina Herramienta: Torno Paralelo. 13

1.1.3 Máquina Herramienta: Fresadoras.....14

1.2 Fresadora universal. 15

1.2.1 Partes de la fresadora universal. 15

1.2.2 Movimientos de la herramienta de corte en la fresadora. 16

1.2.3 Variables de mecanizado. 17

1.2.4 Operaciones de mecanizado en fresadora universal.....17

1.2.5 Ficha técnica fresadora universal utilizada.....19

1.3 Ruedas dentadas. 20

1.3.1 Métodos de fabricación de ruedas dentadas. 20

1.4 Geometría rueda dentada recta. 21

1.5 Cabezal divisor..... 22

1.5.1 Funcionamiento externo.....22

1.5.2 Plato de sujeción por mordazas. 23

1.5.3 Disco con orbitas graduadas.....23

1.5.4 Funcionamiento interno. 24

1.5.5 Accesorio cabezal divisor lira. 25

1.6 Divisiones en el cabezal divisor. 25

1.6.1 División angular. 25

1.6.2 División directa. 26

1.6.3 División indirecta. 26

1.6.4 División diferencial. 27

1.7 Problemática. 28

1.8 Caracterización del material. 29

1.8.1 Solicitud de material para la fabricación de las ruedas dentadas rectas. 29

1.8.2 Justificación técnica.....29

1.9 Ensayo de chispa. 29

1.9.1 Conclusión de datos obtenidos.”	31
1.10 Ensayo de dureza.	31
1.10.1 Datos obtenidos.	32
1.10.2 Conclusión de los datos obtenidos.	33
Capítulo 2: Cálculos de ruedas dentadas rectas para fresadora universal INDUMA.	35
2.1 Previo a los cálculos.	36
2.1.1 Requerimientos y dimensionamiento de las ruedas dentadas rectas a fabricar.	36
2.2 Introducción a los cálculos.	37
2.3 Cálculos de mecanizado en torno.	38
2.3.1 Velocidad de corte de la herramienta.	38
2.3.2 Diámetros del material a mecanizar.	39
2.4 Geometría rueda torno.	40
2.4.1 Cálculo y determinación del diámetro exterior de una rueda dentada recta.	40
2.5 Cálculos de mecanizado en fresadora.	41
2.5.1 Velocidad de giro de la herramienta (RPM).	41
2.5.2 Velocidad de avance (V_f).	41
2.5.3 Cálculos de división cabezal divisor.	42
2.6 Fórmula para el cálculo de ruedas dentadas mediante la división indirecta.	42
2.7 División Diferencial (V_{mdd}).	43
2.8 Cálculos ruedas dentadas rectas.	44
2.9 Tolerancias dimensionales.	45
2.9.1 Tolerancias dimensionales para las ruedas dentadas a fabricar.	45
2.9.2 Tolerancias del diámetro de la perforación.	45
2.9.3 Tolerancias del chaveteado.	47
2.10 Ficha de procedimiento para el mecanizado.	49
Capítulo 3: Fabricación de ruedas dentadas rectas y control dimensional.	51
3 Procedimiento del mecanizado y control dimensional.	52
3.1 mecanizado en torno.	52
3.1.1 Cálculos del mecanizado en torno.	52
3.1.2 Tabla resumen de los datos calculados para torno.	52
3.2 Diagrama del proceso de fabricación de las ruedas dentadas rectas.	53
3.2.1 Procedimiento de mecanizado.	53
3.3 mecanizado en fresa.	54
3.3.1 Cálculos de mecanizado en fresadora.	54
3.3.2 Velocidad de giro de la herramienta (RPM fresa):	54
3.3.3 Avance de la meza (V_f) (mm/min):	55
3.3.4 Altura del diente (h):	55
3.3.5 Vuelta a la manivela división indirecta (V_{mdi}):	55

3.3.6 Vuelta a la manivela división diferencial (Vmdd): 55

3.4 Tabla resumen de los datos calculados para fresado. 56

3.5 Procedimiento del mecanizado en fresadora..... 56

3.6 chaveteado..... 57

3.7 control geométrico. 58

3.7.1 Espesor y altura cordal.....58

3.7.2 Cálculos de la altura y espesor cordal:.....59

3.7.3 Longitud tangente a la base (W ó Wn). 59

3.7.4 Instrumentos utilizados. 60

3.8 Ficha control geométrico rueda dentada recta. 62

3.9 Análisis de datos obtenidos. 64

3.9.1 Diámetro exterior (De).....64

3.9.2 Diámetro interior, perforación.....65

3.9.3 Altura y espesor cordal. 65

3.9.4 Longitud tangente a la base (W).....66

Conclusión.....69

Bibliografía. 70

Anexos. 71

ÍNDICE DE FIGURAS.

FIGURA 1-1: TALLER METALMECÁNICO USM JMC. 13

FIGURA 1-2: TORNO PARALELO PINACHO ALPIN. 14

FIGURA 1-3: FRESADORA HORIZONTAL. 14

FIGURA 1-4: FRESADORA VERTICAL.....15

FIGURA 1-5: PARTES FRESADORA UNIVERSAL. 15

FIGURA 1-6: MOVIMIENTO DE CORTE CONCORDANTE. 16

FIGURA 1-7: MOVIMIENTO DE CORTE DISCORDANTE.....16

FIGURA 1-8: REPRESENTACIÓN VELOCIDAD DE CORTE TORNO.....17

FIGURA 1-9: REPRESENTACIÓN VELOCIDAD DE AVANCE FRESADORA. 17

FIGURA 1-10: ESQUEMA PLANEADO.....18

FIGURA 1-11: ESQUEMA PERFORADO.....18

FIGURA 1-12: ESQUEMAS DE RANURADO. 18

FIGURA 1-13: TALLADO DE RUEDA DENTADA RECTA. 19

FIGURA 1-14: FRESADORA UNIVERSAL INDUMA USM JMC. 19

FIGURA 1-15: PIÑÓN GENERADOR.....20

FIGURA 1-16: TALLADO POR CREMALLERA. 20

FIGURA 1-17: TALLADO POR FRESA MADRE.....21

FIGURA 1-18: TALLADO POR FRESA MODULAR. 21

FIGURA 1-19: GEOMETRÍA RUEDA DENTADA RECTA. 21

FIGURA 1-20: CABEZAL DIVISOR. 23

FIGURA 1-21: PLATO DE SUJECIÓN POR MORDAZAS. 23

FIGURA 1-22: DISCO CON ORBITAS GRADUADA. 23

FIGURA 1-23: ORBITA GRADUADA OPERADOR. 24

FIGURA 1-24: FUNCIONAMIENTO INTERNO CABEZAL DIVISOR. 24

FIGURA 1-25: ACCESORIO LIRA CABEZAL DIVISOR.....25

FIGURA 1-26: LIRA CON TREN DE RUEDAS EN CABEZAL DIVISOR. 25

FIGURA 1-27: CABEZAL DIVISOR CONEXIÓN ENTRE EJES. 27

FIGURA 1-28: ESMERIL DE PEDESTAL.....29

FIGURA 1-29: ENSAYO DE CHISPA. 30

FIGURA 1-30: TABLA DE DATOS COMPARATIVOS ENSAYO DE CHISPA.....30

FIGURA 1-31: ENSAYO DE CHISPA REALIZADO A MATERIAL EN CUESTIÓN.....31

FIGURA 1-32: IMAGEN COMPARATIVA ENSAYO DE CHISPA A FUNDICIÓN GRIS. 31

FIGURA 1-33: DURÓMETRO. 31

FIGURA 1-34: PIEZAS DE MUESTREO. 32

FIGURA 1-35: TABLA CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS HIERRO FUNDIDO GRIS SEGÚN NORMA ASTM. 33

FIGURA 2- 1 MONTAJE DE RUEDAS CON USO DE LIRA. 36

FIGURA 2- 2 MICRÓMETRO DE EXTERIOR PARA LA MEDICIÓN DEL ANCHO O ESPESOR DE LA RUEDA. 36

FIGURA 2- 3 MICRÓMETRO DE INTERIOR PARA LA MEDICIÓN DEL AGUJERO DE LA RUEDA.....37

FIGURA 2- 4 PROCEDIMIENTO FABRICACIÓN RUEDAS DENTADAS RECTAS. 38

FIGURA 2- 5 HERRAMIENTA DE METAL DURO. 38

FIGURA 2- 6 MATERIAL FUNDICIÓN GRIS FC200.....39

FIGURA 2- 7 BOCETO RUEDA TORNO. 40

FIGURA 2- 8 FRESA MODULAR HSS M1,5x20°. 41

FIGURA 2- 9 COMPONENTES RUEDA DENTADA RECTA. 44

FIGURA 2- 10 TABLA TOLERANCIAS NORMA ISO 286 “SISTEMA DE TOLERANCIA PARA LOS LÍMITES Y AJUSTES”. ..46

FIGURA 2- 11 RANGO TOLERANCIAS NORMA ISO 286. 47

FIGURA 2- 12 TABLA RANGO TOLERANCIA IT 8 NORMA 286.....47

FIGURA 2- 13 GEOMETRÍA CHAVETA.....47

FIGURA 2- 14 GEOMETRÍA CHAVETA Y CHAVETEADO. 48

FIGURA 2- 15 TABLA TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS CHAVETA Y CHAVETEADO NORMA DIN 6885. 48

FIGURA 3- 1 PROCESO FABRICACIÓN DE RUEDAS DENTADAS RECTAS.....53

FIGURA 3- 2 MECANIZADO TORNO PERFORACIONES. 53

FIGURA 3- 3 MECANIZADO EXTERIOR RUEDA DENTADA.....54

FIGURA 3- 4 DIMENSIONES Y TOLERANCIAS RUEDA DENTADA RECTA. 54

FIGURA 3- 5 FRESADO RUEDA DENTADA RECTA.....56

FIGURA 3- 6 ESQUEMA DE RANURADO RUEDA DENTADA RECTA. 57

FIGURA 3- 7 : RUEDA DENTADA RECTA. 57

FIGURA 3- 8 BROCHADORA MANUAL. 58

FIGURA 3- 9 ACCESORIOS BROCHADORA.....58

FIGURA 3- 10 ESPESOR Y ALTURA CORDAL.....59

FIGURA 3- 11 LONGITUD TANGENTE A LA BASE (W). 59

FIGURA 3- 12 MICRÓMETRO DE EXTERIOR. 60

FIGURA 3- 13 : PIE DE METRO CON DOBLE NONIO.....61

FIGURA 3- 14 MICRÓMETRO DE PLATOS. 61

ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1-1: DATOS TÉCNICOS TORNO PARALELO ALPIN. 14

TABLA 1-2: TABLA DATOS TÉCNICOS FRESADORA UNIVERSAL INDUMA. 19

TABLA 1-3: PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE UNA RUEDA DENTADA RECTA. 22

TABLA 1-4: TABLA DATOS TÉCNICOS ESMERIL DE PEDESTAL. 29

TABLA 1-5: TABLA DATOS TÉCNICOS DURÓMETRO PORTÁTIL..... 32

TABLA 1-6: TABLA DE MEDICIONES Y VALORES PROMEDIO DE DUREZA BRINELL. 33

TABLA 1-7: CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS FUNDICIÓN ASTM 20. 34

TABLA 1-8: CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS FUNDICIÓN ASTM 30. 34

TABLA 2- 1: INFORMACIÓN TÉCNICA MICRÓMETRO EXTERIOR..... 36

TABLA 2- 2: INFORMACIÓN TÉCNICA MICRÓMETRO INTERIOR. 37

TABLA 2- 3: MEDIDAS NOMINALES DE LAS RUEDAS DE FÁBRICA DE LA FRESADORA INDUMA..... 37

TABLA 2- 4: DESCRIPCIONES MECÁNICAS INSERTO DE METAL DURO. 38

TABLA 2- 5: DIÁMETROS DEL MATERIAL A MECANIZAR. 39

TABLA 2- 6: FABRICACIÓN DE RUEDAS DENTADAS DIÁMETRO EXTERIOR Y NÚMERO DE DIENTES. 40

TABLA 2- 7: TABLA DE VUELTAS A LA MANIVELA DIVISIÓN INDIRECTA (VMDI) DE RUEDAS A FABRICADAS..... 43

TABLA 2- 8: FÓRMULAS GEOMÉTRICAS RUEDAS DENTADAS RECTAS..... 44

TABLA 2- 9: NORMA ISO 2768 “TOLERANCIA GENERALES PARA LAS MEDIDAS LINEALES” 45

TABLA 3- 1: TABLA RESUMEN DATOS TORNO. 52

TABLA 3- 2: VALORES DE DIÁMETRO EXTERIOR (De) CORRESPONDIENTE A NÚMERO DE DIENTES A REALIZAR (Z)... 53

TABLA 3- 3: TABLA RESUMEN DATOS CALCULADOS FRESADO..... 56

TABLA 3- 4: RANGO Y RESOLUCIÓN MICRÓMETRO EXTERIOR. 60

TABLA 3- 5: DATOS TÉCNICOS DENTÍMETRO UTILIZADO. 61

TABLA 3- 6: DATOS TÉCNICOS MICRÓMETROS DE PLATOS UTILIZADOS. 61

TABLA 3- 7: DIFERENCIA DIMENSIONAL DIÁMETRO EXTERIOR. 64

TABLA 3- 8: DIFERENCIA DIMENSIONAL PERFORACIÓN RUEDA DENTADA. 65

TABLA 3- 9: DIFERENCIA DIMENSIONAL ALTURA Y ESPESOR CORDAL..... 65

TABLA 3- 10: DIFERENCIA DIMENSIONAL LONGITUD TANGENTE A LA BASE. 66

TABLA 3- 11: TABLA DE DATOS RECOPIULATORIOS DE CONTROL GEOMÉTRICO. 67

TABLA 3- 12: TABLA DE “SÍ, CUMPLE O NO CUMPLE” CON LAS TOLERANCIAS..... 68

INTRODUCCIÓN.

El contexto en el cual se desarrolla el presente trabajo, tiene lugar en las instalaciones de la universidad técnica Federico Santa María sede José Miguel Carrera, específicamente en el taller metalmecánico, el cual presenta una problemática en su fresadora universal, más específicamente en el juego de ruedas dentadas que posee complicando la configuración del cabezal divisor por división diferencial; en la elaboración de ruedas dentadas rectas, ya que, solo posee un limitado juego de ruedas para realizar dicha división. Complicando la división de números utilizados en la fórmula de división diferencial. Para ello se pretende fabricar ruedas dentadas compatibles con el juego de ruedas disponible, aumentando la variedad de ruedas dentadas.

Se procederá inicialmente a identificar el material utilizado por el fabricante en sus ruedas dentadas, los diversos parámetros de fabricación en las máquinas herramientas utilizadas, la geometría y tolerancias dimensionales de las ruedas dentadas rectas y finalmente la fabricación y el control dimensional de éstas.

OBJETIVO GENERAL.

Fabricar ruedas dentadas rectas mediante fresa modular para configuración de lira en fresadora universal.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Determinar material de ruedas dentadas rectas mediante ensayos de chispa y dureza de acuerdo con normas para la selección del material en que se fabricaran.
- Desarrollar cálculos asociados y tolerancias geométricas establecidas en la elaboración de ruedas dentadas rectas y ficha técnica para el procedimiento de su fabricación.
- Fabricar ruedas dentadas rectas considerando procedimiento de fabricación y control dimensional.

CAPÍTULO 1: RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES
GENERALES.

1.1 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE EQUIPOS INVOLUCRADOS Y PROBLEMÁTICA.

1.1.1 Taller metalmecánico.

En el taller metalmecánico se realizan distintas actividades. A este lugar concurren alumnos de diversas carreras tales como: T.U. en mecánica industrial, T.U. en mantenimiento industrial, T.U. en diseño y producción industrial en moldes y matrices e Ingenieros de ejecución en mecánica de procesos y mantenimiento industrial. Estas carreras poseen asignaturas tales como taller de máquinas-herramientas en donde se fabrican o ejecutan operaciones de fabricación en piezas de determinado material.

En el taller metalmecánico. Se pueden encontrar diversos instrumentos de medición tales como: pie de metro, micrómetros de exteriores, reglas metálicas, herramientas de medición de ángulos y de forma, tal como, el goniómetro y la escuadra respectivamente.



Figura 1-1: Taller metalmecánico USM JMC.
Fuente: Elaboración propia.

En el mismo lugar, se encuentran máquinas como esmeriles de pedestal y máquinas-herramientas tales como tornos paralelos, rectificadoras planas, taladros de pedestal o columna, fresadoras verticales, horizontales y universales.

1.1.2 Máquina Herramienta: Torno Paralelo.

El torno paralelo es una máquina-herramienta con la cual se pueden realizar diferentes operaciones mecánicas. Mediante el arranque de viruta. Consta de un plato que cumple la función de dar sujeción y movimiento rotatorio al material. Cabe mencionar que en esta máquina-herramienta el movimiento de corte lo realiza el material mientras que los movimientos de avance y profundidad son proporcionados por la herramienta de corte.



Figura 1-2: Torno Paralelo Pinacho Alpin.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1-1: Datos técnicos torno paralelo ALPIN.

INFORMACIÓN TÉCNICA: TORNO PARALELO PINACHO ALPIN	
PARÁMETROS MECÁNICOS.	
CAPACIDAD	
Velocidades del Husillo	60-2000 RPM
Distancia entre centros	1000 mm
Diámetro de volteo sobre la bancada	250 mm
PARÁMETROS ELÉCTRICOS	
Potencia del motor principal	5,3 HP

Fuente: Elaboración propia.

1.1.3 Máquina Herramienta: Fresadoras.

1.1.3.1 Fresadora Horizontal.

Utiliza herramientas de corte circulares de forma, que se montan en un eje horizontal acoplado al cabezal de la máquina y soportado por un extremo, está transversalmente ubicado a la mesa de mecanizado, esta última permite el desplazamiento horizontal, vertical y angular para el generado de piezas como ruedas dentadas rectas, helicoidales, ranurados rectos o con alguna diferencia angular, entre otros.



Figura 1-3: Fresadora horizontal.
Fuente: Google.com

1.1.3.2 Fresadora Vertical.

En la fresadora vertical el husillo está orientado verticalmente y perpendicular a la mesa de trabajo, la herramienta de corte está montada en el husillo y gira sobre su propio eje, este tipo de fresadora permite hacer diversas operaciones de mecanizado dependiendo de la forma de la herramienta de corte y del desplazamiento de la meza de trabajo, logrando hacer ranurados de distintas formas y perforaciones concéntricas o equidistante entre sí.



Figura 1-4: Fresadora vertical.
Fuente: Google.com

1.2 FRESADORA UNIVERSAL.

Una fresadora universal está diseñada para incorporar el funcionamiento del husillo de la fresadora vertical y horizontal. Intercambiando accesorios en el cabezal de ésta, dando como resultado una máquina herramienta más versátil en comparación a las otras ya mencionadas.

1.2.1 Partes de la fresadora universal.

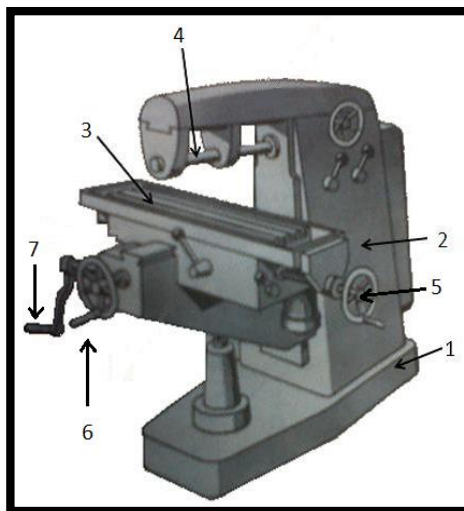


Figura 1-5: Partes fresadora universal.
Fuente: Google.com

1. **Base:** La base permite un apoyo correcto de la fresadora al suelo, este posee un recipiente de acopio del líquido refrigerante.
2. **Columna:** Se apoya sobre la base, generalmente son parte de una misma pieza y tienen la función de estabilizar los componentes de la maquinaria.

3. **Mesa:** Posee una superficie con ranuras. Encima de la cual se sujeta la pieza a mecanizar por medio de diversos accesorios. Esta sobre dos carros a modo de posibilitar el movimiento transversal y longitudinal.

4. **Husillo:** Está conectado por medio de sistemas de engranajes y poleas al motor eléctrico permitiendo su rotación, a este se le acopla un eje porta herramientas los cuales generan la rotación de la herramienta de corte.

5. **Manivela de movimiento longitudinal:** Junto con un tornillo acoplado a la mesa permiten el movimiento en el eje X.

6. **Manivela de movimiento transversal:** Al igual que la manivela de movimiento longitudinal este acoplado a la mesa de trabajo permitiendo el movimiento en el eje Y.

7. **Manivela de movimiento vertical:** Esta manivela permite el desplazamiento en el eje Z, por medio de un tornillo al interior de la columna que conecta con la mesa de trabajo.

1.2.2 Movimientos de la herramienta de corte en la fresadora.

1.2.2.1 Concordante.

Se identifica por la dirección del movimiento de la herramienta de corte siendo la misma que la dirección de avance del material, este tipo de movimiento se utiliza para un mejor acabado superficial, para esto la potencia de la máquina a utilizar, debe ser adecuado al espesor de la viruta a desprender.

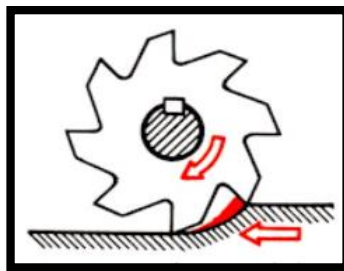


Figura 1-6: Movimiento de corte concordante.
Fuente: Google.com

1.2.2.2 Discordante.

A diferencia del movimiento concordante la dirección de movimiento de la herramienta de corte, es opuesto a la dirección de avance de la pieza. Cuando se realiza el arranque de viruta. Al desprender una sección de material de menor espesor a uno mayor, la maquinaria utiliza menos potencia para generar el arranque de viruta, este movimiento presenta vibraciones y una menor calidad superficial.

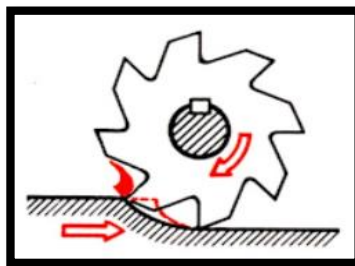


Figura 1-7: Movimiento de corte discordante.
Fuente: Google.com

1.2.3 Variables de mecanizado.

1.2.3.1 Velocidades de corte de la herramienta de torno (V_c).

Este valor identifica la facilidad de la herramienta de corte al desprender material de la pieza a mecanizar, la dureza de ambos materiales afecta inversamente proporcional a la velocidad de corte, es decir, a medida que aumente la dureza del material, disminuirá la velocidad de corte de la herramienta.

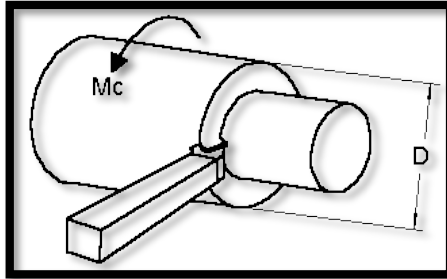


Figura 1-8: Representación velocidad de corte torno.
Fuente: Google.com

Generalmente, estos datos son obtenidos de tablas referenciales contenidas en libros de mecanizado en máquinas herramientas o son facilitados por el fabricante.

1.2.3.2 Velocidad de avance de la herramienta (f_n).

Es la capacidad de avance que tiene la herramienta al momento de generar el desprendimiento de viruta del material a mecanizar.

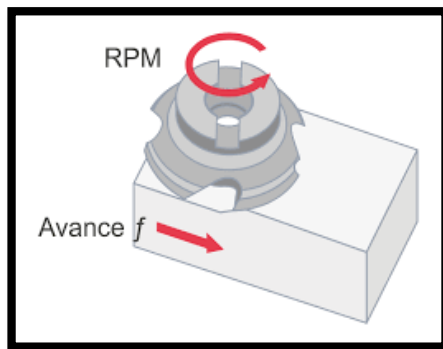


Figura 1-9: Representación velocidad de avance fresadora.
Fuente: Google.com

Al igual que la velocidad de corte (V_c) los valores de velocidad de avance son obtenidos por tablas referenciales en libros de mecanizado en máquinas herramientas o bien determinadas por el fabricante.

1.2.4 Operaciones de mecanizado en fresadora universal.

Algunos de los mecanizados más utilizados en la fresadora universal son los siguientes:

1.2.4.1 Planeado.

Se le llama planeado a la operación de mecanizado con la que se obtiene una superficie plana, esta operación se puede llevar a cabo con el eje vertical y horizontal dependiendo de la forma de la herramienta de corte.

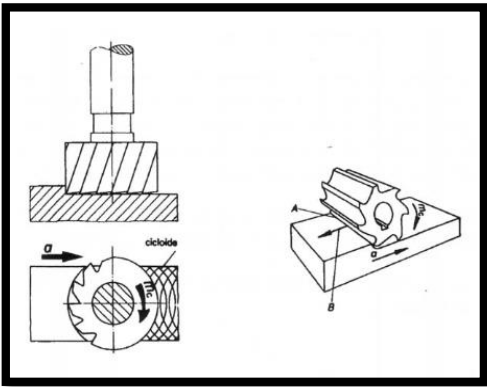


Figura 1-10: Esquema planeado.
Fuente: Google.com

1.2.4.2 Perforado.

Corresponde al tallado de perforaciones pasantes o no con forma cilíndrica o cónica sobre el material, estos pueden ser localizados, sobre la periferia de un material cilíndrico y/o equidistante uno del otro, pueden ser realizados con herramientas brocas o fresa cilíndrica.

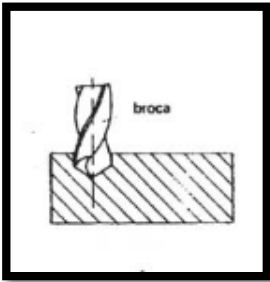


Figura 1-11: Esquema Perforado.
Fuente: Google.com

1.2.4.3 Ranurado.

Es la operación de mecanizado en la cual se genera una muesca en la pieza que varía dependiendo de la forma de la herramienta.

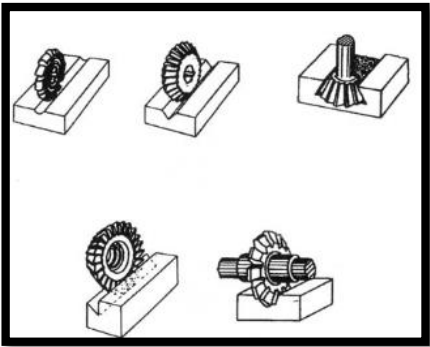


Figura 1-12: Esquemas de ranurado.
Fuente: Google.com

1.2.4.4 Fresado ruedas dentadas.

La fabricación de las ruedas dentadas se produce por la entalladura de una forma y geometría determinada sobre la periferia de un cilindro que varía según los requisitos del fabricante. Todas las ruedas dentadas están diseñadas para cumplir con la función de transferir movimiento mecánico, ya sea en ejes paralelos, perpendiculares y angulares, existen procedimientos variados de talladura.



Figura 1-13: Tallado de rueda dentada recta.
Fuente: Elaboración propia.

1.2.5 Ficha técnica fresadora universal utilizada.



Figura 1-14: Fresadora universal INDUMA USM JMC.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1-2: Tabla datos técnicos fresadora universal INDUMA.

INFORMACIÓN TÉCNICA: FRESADORA UNIVERSAL “INDUMA”	
PARÁMETROS MECÁNICOS.	
Área de trabajo (ancho x largo)	250 X 1250 mm
Máximo recorrido longitudinal de la mesa	800 mm
Máximo recorrido transversal de la mesa	235 mm
Máximo recorrido vertical de la mesa	440 mm
Rangos de velocidad del husillo	35 a 1600 RPM
PARÁMETROS ELÉCTRICOS.	
Potencia del motor principal	4 KW

Fuente: Elaboración propia.

1.3 RUEDAS DENTADAS.

1.3.1 Métodos de fabricación de ruedas dentadas.

Para la fabricación de ruedas dentadas encontramos dos grupos principales con sus correspondientes subconjuntos de fabricación:

1.3.1.1 Tallado por generador:

Tallado por piñón generador.

La herramienta de corte tiene forma de engrane y de una mayor dureza, esta misma genera el corte sobre el material progresivamente con movimientos ascendentes y descendentes, junto con un movimiento rotatorio copia su forma por la periferia del material.

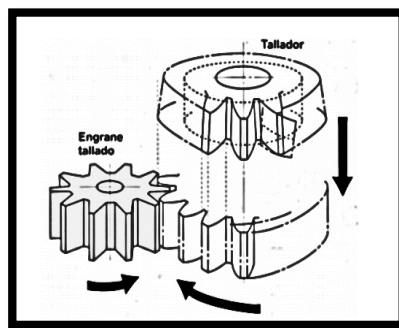


Figura 1-15: Piñón generador.
Fuente: Google.com

1.3.1.2 Tallado por cremallera.

Como su nombre lo indica, la herramienta de corte posee forma de cremallera y es la que calca su forma en la periferia del material, al igual que el tallado por generador la herramienta de corte posee un movimiento ascendente donde se genera el corte y un movimiento descendente para trasladar la herramienta más un movimiento rotacional.

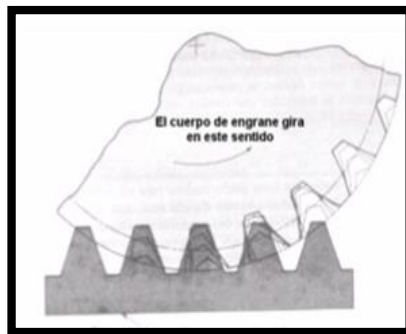


Figura 1-16: Tallado por cremallera.
Fuente: Google.com

1.3.1.3 Tallado por generación:

Fresa madre.

Esta forma de fabricación utiliza una herramienta de corte con múltiples cuchillas las cuales rotan provocando el corte. Posicionándose tangencialmente al material que a su vez, rota. El encuentro entre ambos a una altura aproximada genera la entalladura del diente.

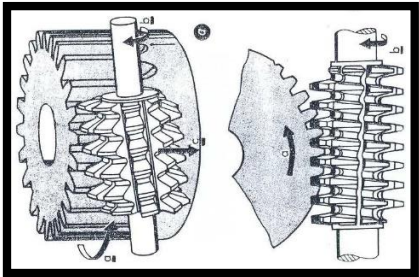


Figura 1-17: Tallado por fresa madre.
Fuente: Google.com

1.3.1.4 Fresa modular.

Este tipo de entalladura se genera por una herramienta de corte llamada fresa modular, la cual rota en el eje acoplado al husillo, desprendiendo viruta y plasmando sobre la superficie de la pieza la forma de la herramienta, el material fijo se aproxima a la herramienta, sujetado por un accesorio de la fresadora llamado cabezal divisor que a su vez facilita la división equidistante de la superficie del material. Es uno de los métodos más utilizados en la industria debido a que este mismo método junto con la transmisión de la mesa y el cabezal divisor pueden mecanizar diversos tipos de ruedas dentadas como las rectas, helicoidales y cónicas.

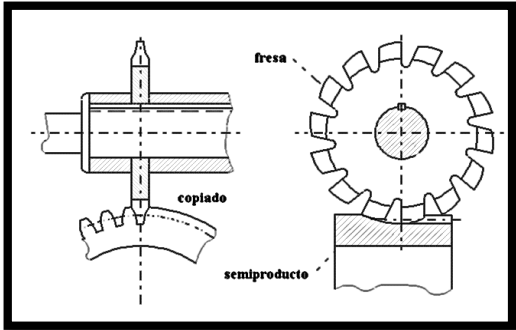


Figura 1-18: Tallado por fresa modular.
Fuente: Google.com

1.4 GEOMETRÍA RUEDA DENTADA RECTA.

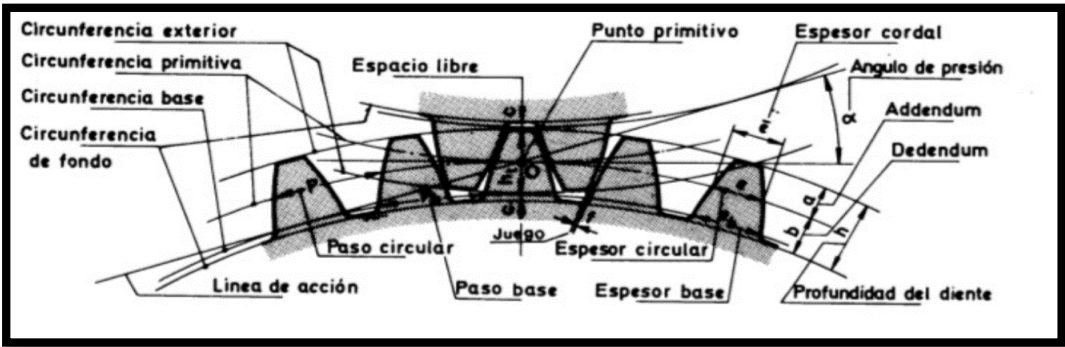


Figura 1-19: Geometría rueda dentada recta.
Fuente: Libro Prontuario maquinas-herramientas.

Tabla 1-3: Parámetros geométricos de una rueda dentada recta.

Símbolo	Nomenclatura	Definición
p	Paso Circular	Es la distancia de contacto entre un diente y otro
m	Módulo Normal	Es la relación del diámetro primitivo y el número de dientes. El módulo se adquiere mediante cálculos.
Dp	Diámetro primitivo	Es la circunferencia en la cual engranan los dientes teóricamente
De	Diámetro exterior	Es el diámetro de la circunferencia de la parte exterior de la rueda dentada.
Di	Diámetro interior	Diámetro de la circunferencia que limita al diente.
c	Espesor del diente	Es el grosor del diente en la base.
S	Distancia entre dientes	Hueco generado por la fresa en el diámetro primitivo de esta.
a	Addendum	Altura del diente desde el diámetro primitivo al exterior.
b	Dedendum	Altura del diente desde el diámetro primitivo al interior.
r	Radio del pie del diente	El radio base de donde nace el diente.
w	Ancho del diente	Es el diente entre dos huecos tallados, en el diámetro primitivo.

Fuente: Libro Prontuario maquinas-herramientas.

1.5 CABEZAL DIVISOR.

Corresponde a uno de los accesorios más indispensables dentro del mecanizado en la fresadora universal, ya que, con éste se es capaz de dividir la superficie del material en fracciones equidistantes, facilitando las operaciones de mecanizado en la superficie del material.

1.5.1 Funcionamiento externo.

El cabezal divisor está compuesto, en su parte externa, por dos elementos primordiales que facilitan la división de la superficie del material a mecanizar.



Figura 1-20: Cabezal divisor.
Fuente: Google.com

1.5.2 Plato de sujeción por mordazas.

Este permite sostener el material a mecanizar por medios de tres o más mordazas, generalmente se encuentra de tres mordazas separadas a 120° cada una para piezas cilíndricas.

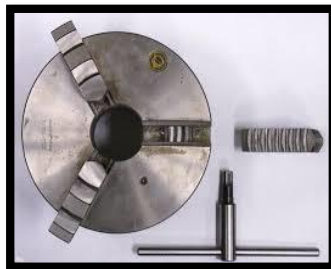


Figura 1-21: Plato de sujeción por mordazas.
Fuente: Google.com.

1.5.3 Disco con orbitas graduadas.

Esta parte del cabezal divisor es la encargada de generar la división en la superficie del material (Figura 1-22), por medio de un eje sin-fin en el centro de éste y una corona en el eje transversal acoplada al plato de sujeción, trasladando la dirección rotacional generada en la manivela sobre el plato de sujeción.

Las orbitas que se muestran en la figura 1-23 ayudan al operador al momento de generar la división. Estando graduadas en ambas caras de su superficie, aumentando la cantidad de divisiones disponibles.



Figura 1-22: Disco con orbitas graduada.
Fuente: Elaboración propia.

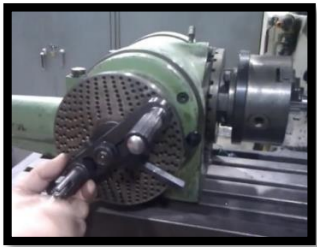


Figura 1-23: Orbits graduada operador.
Fuente: Google.com.

Orbitas disponibles en el taller metalmecánico UTFSM JMC para la configuración del cabezal divisor de la máquina herramienta fresadora universal INDUMA:

24-25-28-30-34-37-38-39-41-42-43-46-47-49-51-53-54-57-58-59-62-66.

1.5.4 Funcionamiento interno.

El cabezal divisor está compuesto internamente de varios elementos mecánicos para transmitir el movimiento (1-24), parte por el movimiento de la manivela que mueve el operario haciendo rotar un eje conectado a tres elementos, disco de orbitas graduadas, una rueda dentada y en su parte posterior finaliza en husillo sin-fin que conecta a la corona principal, la relación entre el sin-fin y la corona es de 40 es a 1, es decir, que por cada 40 vueltas que del eje sin-fin la corona dará una vuelta, siendo la misma que la pieza.

En la parte posterior del cabezal divisor se encuentra el sistema de transmisión de razón de cambio, este es utilizado cuando el operador decide generar una división diferencial en la rotación del material, para ello el operador debe intercambiar el modo de giro del material por medio de una palanca selectora haciendo que desconecte el sistema de transmisión sin-fin corona y pasando a la transmisión por ruedas dentadas y tren de engranajes, los cuales selecciona el operador en la división diferencial. Este juego de tren de ruedas está soportado por un accesorio del cabezal divisor llamado lira.

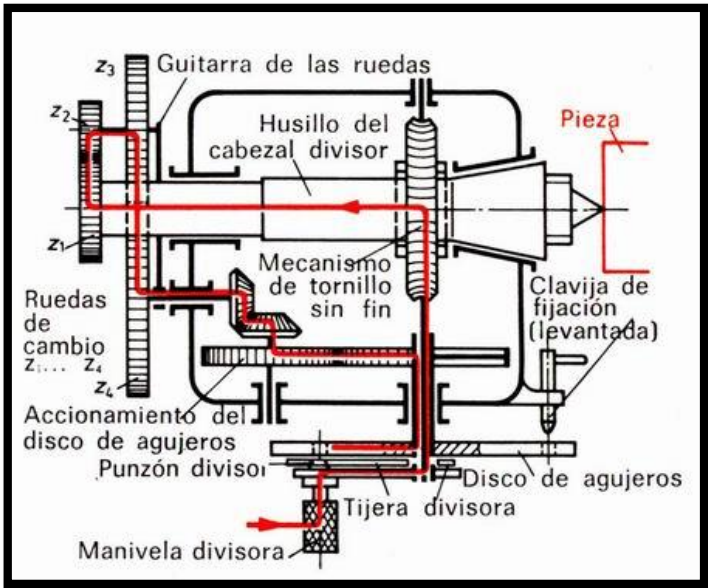


Figura 1-24: Funcionamiento interno cabezal divisor.
Fuente: Google.com.

1.5.5 Accesorio cabezal divisor lira.

La lira es un accesorio del cabezal divisor el cual cumple la función de conectar el sistema de juego de ruedas calculadas en la división diferencial.



Figura 1-25: Accesorio lira cabezal divisor.
Fuente: Google.com



Figura 1-26: Lira con tren de ruedas en cabezal divisor.
Fuente: Google.com

Ruedas dentadas disponibles en el taller metalmecánico UTFSM JMC para la configuración del cabezal divisor de la máquina herramienta fresadora INDUMA:

25-30-35-40-45-50-55-60-70-80-90-100.

1.6 DIVISIONES EN EL CABEZAL DIVISOR.

Para la división de la superficie de un material a mecanizar se utiliza diversos métodos los cuales varían dependiendo de la cantidad de divisiones a realizar en la superficie del material y la disponibilidad del cabezal.

1.6.1 División angular.

Corresponde a la división de la superficie del material (360°) en la cantidad de divisiones requeridas.

$$\textit{División angular} = \frac{\textit{superficie del material (360°)}}{\textit{cantidad de divisiones requeridas}}$$

Dando como resultado ángulos configúrales en un disco graduado del cabezal divisor la cual se puede encontrar en la sección de orbitas ranuradas o en la intersección entre el plato y la estructura del cabezal divisor.

Ejemplo:

Para realizar el dentado de 61 dientes en un material cilíndrico se realiza la siguiente operación.

$$\text{División angular} = \frac{360^\circ}{61} = 5^\circ 54'$$

Dónde:

360° = Superficie del material.

61 = Cantidad de divisiones requeridas.

1.6.2 División directa.

Este tipo de división es utilizada generalmente para divisiones simples, es decir, sin decimales resultantes.

$$X = \frac{k}{N}$$

Dónde:

X: Número de espacios.

k: Número de agujeros o ranuras del disco elegido.

N: Número de mecanizados a realizar.

Ejemplo:

Para realizar el planeado de cuatro caras en una superficie cilíndrica y en un disco de 12 ranuras. Se realizó la siguiente operación.

$$\frac{12}{4} = 3$$

Es decir, que cada tres espacios del disco, se realiza un planeado.

1.6.3 División indirecta.

Este método es utilizado cuando la división de la constante divisoria sin fin corona (K) por la cantidad de divisiones. Lo que puede dar como resultado un número mixto o bien una fracción. Para ello la fracción resultante es amplificada y/o simplificada con la finalidad, de que el denominador coincida con alguna orbita existente en el disco.

$$\text{División indirecta} = \frac{\text{Constante cabezal divisor o constante relación sin-fin corona}}{\text{Número de dientes a realizar}} = \frac{K}{Z}$$

Ejemplo:

Se desea realizar un dentado de 22 dientes en la superficie de un cilindro.

$$División indirecta = \frac{40}{22} = 1 \frac{9}{11} = 1 \frac{54}{66}$$

Donde:

40 = Constante de relación sin – fin corona = *K*

22 = Dientes a realizar = *Z*

Como resultado se observa que la manivela debe posicionarse en la órbita 66 teniendo que dar 1 vuelta completa con 54 espacios. Por cada diente a realizar.

1.6.4 División diferencial.

Se produce como resultante de la división indirecta al momento de cuadrar la resultante fraccionaria con alguna orbita disponible y ninguna de esta es compatible con la división.

Para ello se itera un número ficticio (*Z'*) el cual reemplaza a los agujeros requeridos (*Z*) en la siguiente fórmula:

$$División diferencial = \frac{K*(Z' - Z)}{Z'} = \frac{a}{b}$$

Dónde la división resultante corresponde a la configuración de relación de transmisión entre el husillo del divisor (*a* = *ruedas conductoras*) y el eje del disco divisor (*b* = *ruedas conducidas*), ésta transmisión generará un desfase en el giro de la manivela haciendo posible el ranurado requerido, para complementar la relación de transmisión es necesario acoplar cuatro ruedas dentadas entre ambos ejes, para ellos la fracción resultante es descompuesta en cuatro números:

$$\frac{a}{b} \frac{c}{d}$$

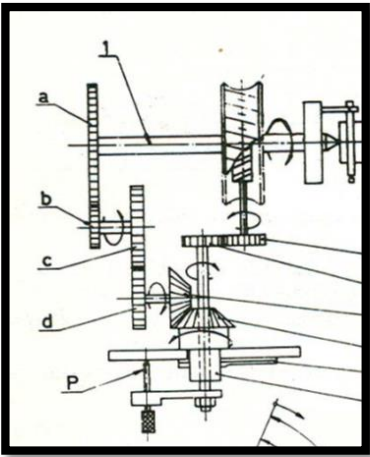


Figura 1-27: Cabezal divisor conexión entre ejes.
Fuente: Google.com

Los cuales deben coincidir con las ruedas disponibles en el acople del cabezal divisor por medio del accesorio lira.

Ejemplo:

Se requiere generar un dentado de 67 dientes en una superficie cilíndrica.

Orbitas disponibles: 24-25-28-30-34-37-38-39-41-42-43-46-47-49-51-53-54-57-58-59-62-66

Número de dientes de ruedas disponibles para configuración de lira:

25-30-35-40-45-50-55-60-65-70-80-90-100

$$\text{División indirecta} = \frac{40}{67}$$

Como 67 es un número primo (divisible por 1 y por sí mismo) no se puede desarrollar por división indirecta. Entonces se procede a realizar una división diferencial.

$$\text{División diferencial} = \frac{40 * (65 - 67)}{65} = \frac{80}{65}$$

Dónde:

40 = Constante de relación sin – fin corona = K

67 = Número de dientes a realizar = Z

65 = Número teórico o ficticio de dientes a realizar = Z'

La división resultante es descompuesta para generar el acople entre las ruedas de los ejes:

$$\frac{80}{65} = \frac{8 * 10}{13 * 5} = \frac{40 * 100}{65 * 50}$$

Dónde:

40 corresponde a la rueda en la posición **a**

65 corresponde a la rueda en la posición **b**

100 corresponde a la rueda en la posición **c**

50 corresponde a la rueda en la posición **d**

1.7 PROBLEMÁTICA.

Un gran inconveniente al momento de fabricar ruedas dentadas con un número de dientes (Z) por método de división diferencial. Son las acotadas configuraciones del tren de ruedas calculadas, ya que, puede dar el caso que en la división resultante no se encuentre dentro del acotado número de ruedas disponibles para esta configuración. Siendo generalmente las resultantes números primos no configurables por el juego de ruedas existente.

Para ello se plantea la fabricación de ruedas compatibles con el juego de ruedas disponible, aumentando la variedad de configuraciones resultantes, disminuyendo la dificultad al momento de encontrar un juego de ruedas adecuadas para la división diferencial.

1.8 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL.

1.8.1 Solicitud de material para la fabricación de las ruedas dentadas rectas.

Para poder realizar la compra del material al proveedor, se solicita una justificación técnica de compatibilidad entre el material de las ruedas del taller y el material a comprar.

1.8.2 Justificación técnica.

El material FC 200 ASTM (ofrecido por proveedor) posee desde un 2% hasta un 3% de carbono (mayor dureza) respecto del hierro fundido (material, ruedas del taller) que comienza desde un 0,15% de carbono. Además; FC 200; posee silicio que fluctúa entre 2,3 a 2,7%. Este elemento opone resistencia al calor; lo que favorece la duración de la herramienta de corte, permitiendo mayores velocidades de corte.

1.9 ENSAYO DE CHISPA.



Figura 1-28: Esmeril de pedestal.
Fuente: Elaboración propia

Tabla 1-4: Tabla datos técnicos esmeril de pedestal.

INFORMACIÓN TÉCNICA: ESMERIL DE PEDESTAL “JOWA”.	
PARÁMETROS MECÁNICOS.	
Velocidad de giro	2800/3400 RPM
PARÁMETROS ELÉCTRICOS.	
Voltaje	220/380 V
Intensidad de corriente	1,4/2,4 A
Potencia	0,75 KW
Conexión	Estrella/Triángulo

Fuente: Elaboración propia

Para tener una idea de la cantidad de carbono que posee el material y discriminar a que conjunto de materiales pertenece, se procede a realizar un ensayo de chispa al material.

Este consiste en presionar una pieza de una aleación ferrosa contra una muela de esmeril girando a grandes velocidades, arrancándole partículas de material, éstas son proyectadas tangencialmente por la periferia de la rueda, al mismo tiempo se produce un fuerte calentamiento localizado, las partículas proyectadas a alta temperatura generando rayos luminosos, chispas, explosiones, estrellas, ramificaciones luminosas, etc. Las cuales son características de cada conjunto de materiales: cada tipo de acero produce una serie de chispas propias del material, mediante la observación y la comparación se puede identificar a que conjunto pertenece el acero en cuestión. Cabe destacar que este tipo de ensayo no posee ninguna norma asociada que regularice la velocidad de la piedra esmeril ni la composición de este mismo.



Figura 1-29: Ensayo de chispa.
Fuente: Elaboración propia.

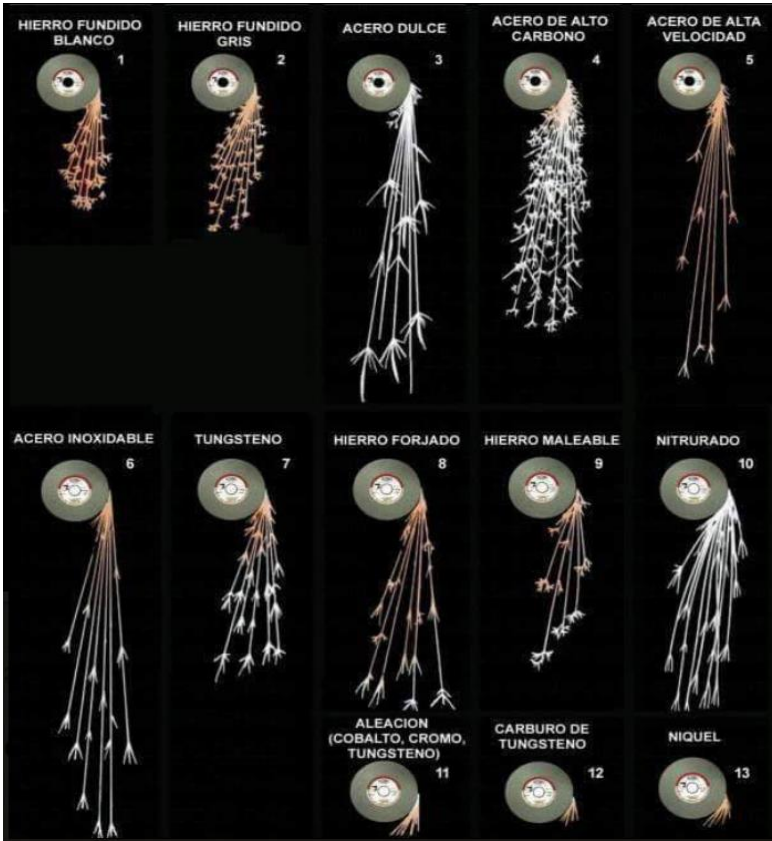


Figura 1-30: Tabla de datos comparativos ensayo de chispa.
Fuente: Tomás Mazón Hernández Inspector de Construcciones Soldadas Nivel 1.

1.9.1 Conclusión de datos obtenidos.

Ensayo de chispa realizado en el taller:



Figura 1-31: Ensayo de chispa realizado a material en cuestión.
Fuente: Elaboración propia.

Imagen comparativa ensayo chispa hierro fundido gris:

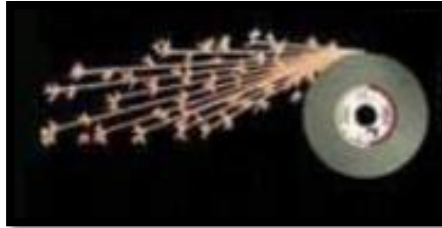


Figura 1-32: Imagen comparativa ensayo de chispa a fundición gris.
Fuente: imagen recortada tabla comparativa Tomás Mazón Hernández Inspector de Construcciones Soldadas Nivel 1.

Como la similitud entre las imágenes es apreciable, el material utilizado por los fabricantes del juego de ruedas dentadas para el uso del accesorio lira, pertenece a la familia de los hierros fundidos gris, debido a que la chispa generada por este al hacer contacto con la muela abrasiva es lo más similar a los ejemplos de la tabla comparativa, en el largo de esta, color amarillo casi anaranjado propios de este grupo de fundición en comparación un color blanquecino debido a su contenido menor en carbono en los aceros altos en carbono (0.25%C-0.55%C) y forma de explosión, dando a conocer que es un material con alto contenido en carbono (2%C-4%C).

1.10 ENSAYO DE DUREZA.



Figura 1-33: Durómetro.
Fuente: Google.com

Tabla 1-5: Tabla datos técnicos durómetro portátil.

INFORMACIÓN TÉCNICA: DURÓMETRO PORTÁTIL “HARDNESS TESTER TH160”.	
PARÁMETROS MECÁNICOS	
Escalas de dureza	Conversión a HL, HRc, HRb, HB, HV, HS
Rango de resistencia solo en acero	370 a 2000 (Mpa)
PARÁMETROS ELÉCTRICOS	
Intensidad	600 (mA)
Voltaje cargador	12 (v)

Fuente: Elaboración propia.

Una vez identificado a que rama de los aceros al carbono pertenece el material, se procede a realizar un ensayo de dureza con la finalidad de indagar más aun y acortar el rango de tipos de materiales al que pertenece la pieza en cuestión, debido a que la dureza de este es propia de cada composición de materiales.

1.10.1 Datos obtenidos.

Para comenzar con el ensayo de dureza de los materiales. Se selecciona la escala y promedio de evaluación de cada muestra, para las tres muestras se decidió escoger la escala de dureza Hardness Brinell (HB), debido a que es la más utilizada por las distribuidoras de material ferroso, también se decidió generar un promedio de tres impactos por cada una de las piezas y una perpendicularidad de 90° con respecto a la superficie del material. Las piezas utilizadas en el muestreo fueron tres, la primera y la tercera corresponden al set de ruedas que posee la fresadora universal INDUMA, la segunda o del medio (Figura 1-34), es a una réplica creada en el taller metalmecánico.



Figura 1-34: Piezas de muestreo.
Fuente: Elaboración propia.

Mediciones de dureza Brinell (HB) y sus respectivos promedios en el orden de la figura 1-34:

Tabla 1-6: Tabla de mediciones y valores promedio de dureza Brinell.

Rueda dentada izquierda	Rueda dentada centro	Rueda dentada derecha
1 ^{ra} Medición	1 ^{ra} Medición	1 ^{ra} Medición
140 HB	157 HB	209 HB
2 ^{da} Medición	2 ^{da} Medición	2 ^{da} Medición
141 HB	166 HB	228 HB
3 ^{ra} Medición	3 ^{ra} Medición	3 ^{ra} Medición
150 HB	157 HB	220 HB
Valor Promedio	Valor Promedio	Valor Promedio
144 HB	160 HB	219 HB

Fuente: Elaboración propia.

1.10.2 Conclusión de los datos obtenidos.

Con los datos obtenidos en el ensayo podemos identificar a que clase corresponde cada uno de los materiales.

CLASE ASTM	RESISTENCIA MÁXIMA (ksi)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (ksi)	RESISTENCIA AL CORTE (ksi)	MODULO DE ELASTICIDAD		LIMITE A LA FATIGA (ksi)	DUREZA BHN
				TENSIÓN (Msi)	TORSIÓN (Msi)		
20	22	83	26	9.6-14	3.9-5.6	10	156
25	26	97	32	11.5-14.8	4.6-6.0	11.5	174
30	31	109	40	13.0-16.4	5.6-6.6	14	201
35	36.5	124	48.5	14.5-17.2	5.8-6.9	16	212
40	42.5	140	57	16-20	6.4-7.8	18.5	235
50	52.5	164	73	18.8-22.8	7.2-8.0	21.5	262
60	62.5	187.5	88.5	20.4-23.5	7.8-8.5	24.5	302

Figura 1-35: Tabla características mecánicas hierro fundido gris según norma ASTM.
Fuente: FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN.

Dando como resultado que los materiales utilizados en la fabricación de ruedas dentadas pertenecen a las fundiciones grises con clase de dureza ASTM 20 y ASTM 30 respectivamente.

Tabla 1-7: Características mecánicas fundición ASTM 20.

Fuerza a la tensión	Módulo de elasticidad	Esfuerzo cortante	Limite permisible elasticidad	Dureza Brinell
200 (N/mm ²)	100 (kN/mm ²)	230 (N/mm ²)	400 (N/mm ²)	170-210 (HB)

Fuente: características GG20/EN-GJL-20

Tabla 1-8: Características mecánicas fundición ASTM 30.

Fuerza a la tensión	Módulo de elasticidad	Esfuerzo cortante	Limite permisible elasticidad	Dureza Brinell
250 (N/mm ²)	110 (kN/mm ²)	290 (N/mm ²)	450 (N/mm ²)	180-240 (HB)

Fuente: características GG30/EN-GJL-30

CAPÍTULO 2: CÁLCULOS DE RUEDAS DENTADAS
RECTAS PARA FRESADORA UNIVERSAL INDUMA.

2.1 PREVIO A LOS CÁLCULOS.

2.1.1 Requerimientos y dimensionamiento de las ruedas dentadas rectas a fabricar.

Se debe tener presente que, la función principal de las ruedas dentada a fabricar es lograr la transmisión del movimiento desde el eje del husillo del cabezal (rueda conductora), al eje que comunica con el disco de agujeros (rueda conducida). Lo anterior, se logra por medio del montaje de la lira y sus ejes móviles (ruedas intermedias). Cabe mencionar que, esta transmisión de movimiento, no necesita grandes cantidades de potencia mecánica para su correcto funcionamiento.



Figura 2- 1: Montaje de ruedas con uso de lira.
Fuente: Elaboración propia.

El dimensionamiento de las ruedas dentadas a fabricar comienza midiendo con micrómetros las dimensiones que poseen las ruedas rectas disponibles de la fresadora INDUMA. Considerando los valores nominales del ancho de la cara o espesor de la rueda y el diámetro del agujero. Es importante destacar que, estos valores nominales son válidos y utilizados para la fabricación de todas las ruedas dentadas rectas. Y que serán toleradas según la norma asociada. Como se verá más adelante en este trabajo.



Figura 2- 2: Micrómetro de exterior para la medición del ancho o espesor de la rueda.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2- 1: Información técnica micrómetro exterior.

Micrómetro de exterior	
Marca	Mitutoyo
Rango	0 a 25 (mm)
Resolución	0,01 (mm)

Fuente: Elaboración propia.



Figura 2- 3: Micrómetro de interior para la medición del agujero de la rueda.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2- 2: Información técnica micrómetro interior.

Micrómetro de interior	
Marca	Insize
Rango	0 a 25 (mm)
Resolución	0,01 (mm)

Fuente: Elaboración propia.

Los valores medidos con los micrómetros son los siguientes:

Tabla 2- 3: Medidas nominales de las ruedas de fábrica de la fresadora INDUMA.

Valores nominales medidos a ruedas del taller.	
Ancho de la cara o espesor de la rueda	Diámetro del agujero (sin chavetero)
12,00 (mm)	20,00 (mm)

Fuente: Elaboración propia.

2.2 INTRODUCCIÓN A LOS CÁLCULOS.

Los cálculos consisten en determinar geométricamente las ruedas dentadas a fabricar. Para ello inicialmente determinaremos la cantidad de ruedas y el número de dientes para cada una de ellas. Los cálculos de geometría se guiaron por el libro “Máquinas prontuario. Técnicas, máquinas, herramientas” creado por el Centro integrador de formación técnica Nicolás Larburu, el cual detalla la fabricación y selección de diversos elementos mecánicos, entre estos la fabricación de ruedas dentadas.

Para seleccionar las ruedas dentadas a fabricar se procedió a comparar los diversos juegos de ruedas que poseían cada cabezal divisor disponibles en el taller, dando como resultado una tendencia al número de dientes “primos” debido a que, al poseer una gran variedad de estas, aumenta la cantidad de configuraciones disponibles del cabezal divisor en la fabricación de ruedas de este mismo tipo.

Número de dientes de ruedas para la configuración del cabezal divisor disponible en la fresadora universal:

25-30-35-40-45-50-55-60-65-70-80-90-100

Número de dientes a fabricar para la configuración del cabezal divisor disponible en la fresadora universal:
23-29-31-37-41-43-47-53-59-61

Para lograr la fabricación de estas ruedas seguiremos el siguiente orden de procedimientos:

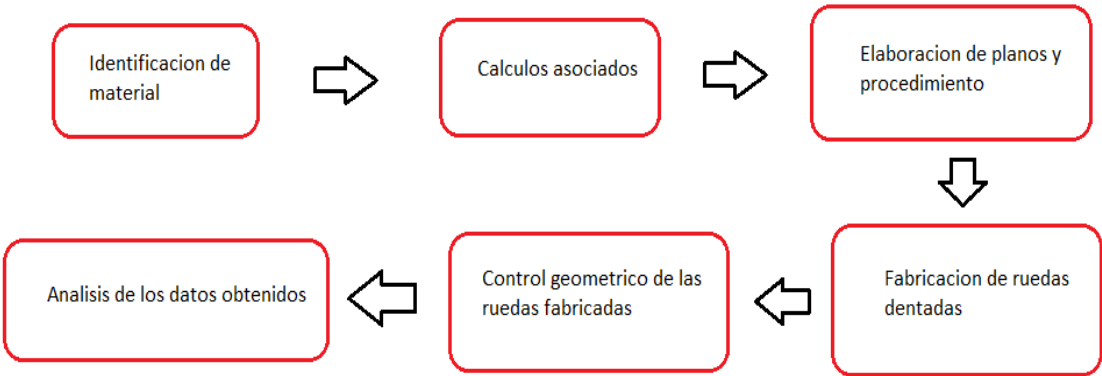


Figura 2- 4: Procedimiento fabricación ruedas dentadas rectas.
Fuente: Elaboración propia.

2.3 CÁLCULOS DE MECANIZADO EN TORNO.

Para iniciar con los cálculos en el mecanizado en torno. Debemos recopilar una serie de datos antes de iniciar con los cálculos:

2.3.1 Velocidad de corte de la herramienta.

Para el mecanizado del material se utilizó un inserto de metal duro debido a que este tipo de herramienta de corte permite una mayor velocidad de corte en comparación a las herramientas de acero rápido (HSS).

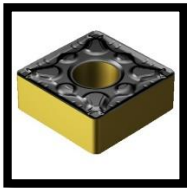


Figura 2- 5: Herramienta de metal duro.
Fuente: www.sandvik.coromant.com.

Tabla 2- 4: Descripciones mecánicas inserto de metal duro.

Descripción de plaquita según norma ISO: SNMG 12 04 08 – PM 4325		
La plaquita sirve para trabajar	P (Aceros)	K (Fundición)
Valores iniciales para torneear una fundación.		
Profundidad de corte	$ap = 3 \text{ (mm)}$	
Avance	$fn = 0,31 \left[\frac{mm}{rev}\right]$	
Velocidad de corte	$Vc = 185 \left[\frac{m}{min}\right]$	

Fuente: Ficha descripciones mecánicas del producto.

2.3.2 Diámetros del material a mecanizar.

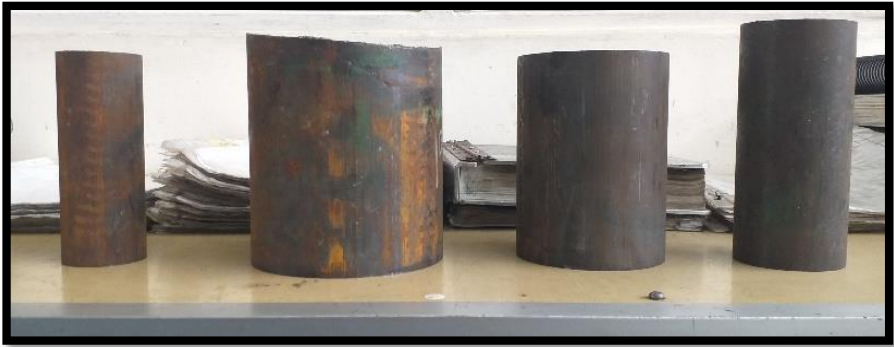


Figura 2- 6: Material fundición gris FC 200.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2- 5: Diámetros del material a mecanizar.

Diámetros de material solicitado.	
2 (pulg.)	50,8 (mm)
3 (pulg.)	76,2 (mm)
4 (pulg.)	101,6 (mm)
4½ (pulg.)	114,3 (mm)

Fuente: Elaboración propia.

La única fórmula utilizada en las operaciones de torneado fue la velocidad de giro del plato.

$$V_c = \frac{\pi * \varnothing * n}{1000}$$
$$n = \frac{V_c * 1000}{\varnothing * \pi}$$

Dónde:

$n = \text{Revoluciones por minuto } \left[\frac{rev}{min}\right]$

$V_c = \text{Velocidad de corte de la herramienta de metal duro } \left[\frac{m}{min}\right] = 185$

$\varnothing = \text{Diámetro del material a mecanizar en (mm)}$

2.4 GEOMETRÍA RUEDA TORNO.

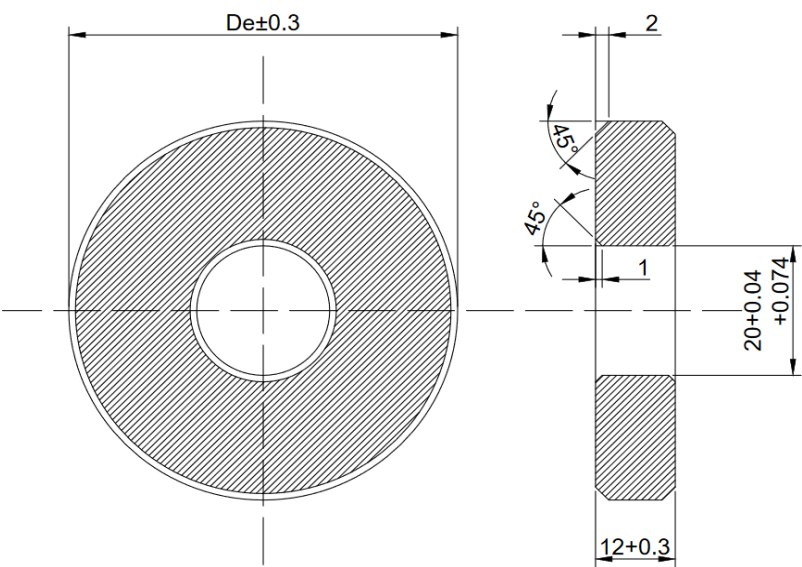


Figura 2- 7: Boceto rueda torno.
Fuente: Elaboración propia.

2.4.1 Cálculo y determinación del diámetro exterior de una rueda dentada recta.

$De = m(z + 2)$

Dónde:

De = "Diámetro exterior" de cada una de las ruedas a fabricar.

m = "Módulo" de 1,5 (mm) para todas las ruedas a fabricar.

z = "Número de dientes" de la rueda a fabricar.

Tabla 2- 6: Fabricación de ruedas dentadas diámetro exterior y número de dientes.

De en (mm)	Z: número de dientes
37.5	23
46.5	29
49.5	31
58.5	37
64.5	41
67.5	43
73.5	47
82.5	53
91.5	59
94.5	61

Fuente: Elaboración propia.

2.5 CÁLCULOS DE MECANIZADO EN FRESADORA.

2.5.1 Velocidad de giro de la herramienta (RPM).

Antes de iniciar con el cálculo, es necesario identificar el tipo de herramienta con que se procederá a mecanizar, velocidad de corte, diámetro y número de dientes de corte que posea.

Para el mecanizado utilizaremos una fresa modular HSS, módulo 1,5 que posee una velocidad de corte en materiales de fundición gris de 16 a 22 $[\frac{m}{min}]$, con un diámetro de 55 (mm) y 12 dientes de corte.



Figura 2- 8: Fresa modular HSS M1,5x20°. Fuente: Elaboración propia.

$$n = \frac{Vc * 1000}{\phi * \pi}$$

Dónde:

$$n = \text{Revoluciones por minuto} \left[\frac{rev}{min} \right]$$

$$Vc = \text{Velocidad de corte de la herramienta} = 22 \left[\frac{m}{min} \right]$$

$$\phi = \text{Diámetro de la herramienta de corte (mm)}$$

2.5.2 Velocidad de avance (Vf).

Corresponde a la siguiente relación:

$$Vf = Va * Z * RPM \left[\frac{mm}{min} \right].$$

Dónde:

$$Va = \text{Velocidad de desprendimiento} = 25 \text{ a } 35 \left[\frac{mm}{min} \right].$$

$$Z = \text{Número de dientes de la herramienta de corte} = 12.$$

$$RPM = \text{Revoluciones por minuto} \left[\frac{rev}{min} \right]$$

2.5.3 Cálculos de división cabezal divisor.

Para iniciar con los cálculos del cabezal divisor, debemos identificar primeramente su constante divisoria, en este caso 40. Además, debemos identificar el número de orbitas disponibles para la división indirecta y la cantidad de ruedas dentadas para la relación de transmisión del cabezal divisor y este mismo.

Número de orbitas disponibles:

24-25-28-30-34-37-38-39-41-42-43-46-47-49-51-53-54-57-58-59-62-66.

Número de dientes de ruedas dentadas disponibles; en taller; para configuración de lira:

25-30-35-40-45-50-55-60-70-80-90-100.

2.5.3.1 División indirecta (Vmdi).

Para la fabricación de las siguientes ruedas dentadas se procedió a realizar una división indirecta debido a que la resultante coincidía con las orbitas disponibles.

Número de dientes a realizar (Z):

23-29-31-37-41-43-47-53-59

2.6 FÓRMULA PARA EL CÁLCULO DE RUEDAS DENTADAS MEDIANTE LA DIVISIÓN INDIRECTA.

$$V_m = \frac{K}{Z}$$

Dónde:

V_m = Vueltas a la manivela.

K = Constante del cabezal divisor = 40

Z = Número de dientes a realizar.

Ejemplo:

Se necesita saber la cantidad de vueltas a la manivela, espacios y orbital del disco. Para realizar una rueda de 37 dientes.

$$V_m = \frac{K}{Z} = \frac{40}{37} = 1 \frac{3}{37}$$

Dónde:

1: Indica el número de vueltas completas

3: Indica la cantidad de espacios (*este se puede amplificar o simplificar dependiendo del denominador para este caso 37*)

37: Indica el orbital existente en el disco (*este se puede amplificar o simplificar dependiendo de la existencia del orbital en el disco de agujeros*).

Resultados:

Tabla 2- 7: Tabla de vueltas a la manivela división indirecta (Vmdi) de ruedas a fabricadas.

Z	Vuelta a la manivela	Espacios libres	Orbita
23	1	34	46
29	1	22	58
31	1	18	62
37	1	3	37
41	-	40	41
47	-	40	47
53	-	40	53
59	-	40	59

Fuente: Elaboración propia.

2.7 DIVISIÓN DIFERENCIAL (VMDD).

Para la fabricación de la rueda (Z) 61 se procedió a realizar una división diferencial, dando como resultado lo siguiente:

$$División indirecta = \frac{40}{61}$$

$$División diferencial = \frac{40 * (60 - 61)}{60} = \frac{40}{60}$$

Dónde:

- 40 = Constante de relación sin fin corona = *k*
- 61 = Número de dientes a realizar = *Z*
- 60 = Número teórico o ficticio de dientes a realizar = *Z'*

$$\frac{40}{60} = \frac{4 * 10}{6 * 10} = \frac{40 * 50}{30 * 100}$$

Dónde:

- 40 corresponde a la rueda en la posición ***a***
- 30 corresponde a la rueda en la posición ***b***
- 50 corresponde a la rueda en la posición ***c***
- 100 corresponde a la rueda en la posición ***d***

2.8 CÁLCULOS RUEDAS DENTADAS RECTAS.

Para la fabricación de las ruedas dentadas rectas. Se utilizaron las siguientes fórmulas:

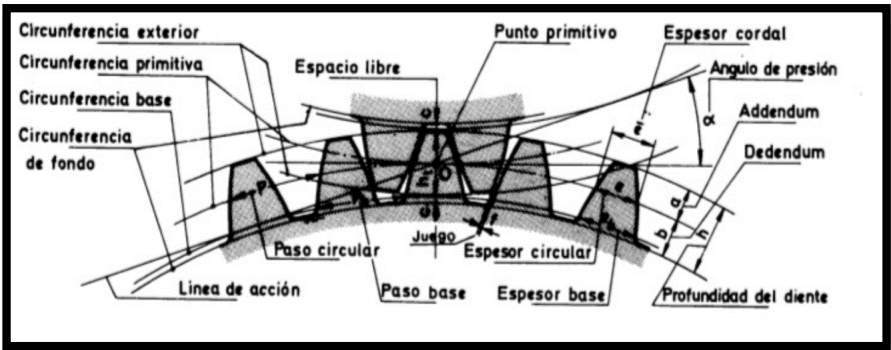


Figura 2- 9: Componentes rueda dentada recta.
Fuente: Libro prontuario de máquinas herramientas.

Tabla 2- 8: Fórmulas geométricas ruedas dentadas rectas.

Nomenclatura	Fórmula
Paso (<i>P</i>)	$\pi * m$ en (mm)
Modulo (<i>m</i>)	Dp/Z o $De/(Z + 2)$ en (mm)
Diámetro Primitivo(<i>Dp</i>)	$Z * m$ en (mm)
Diámetro Exterior(<i>De</i>)	$Dp * 2 * m$ o $m * (Z + 2)$ en (mm)
Diámetro interior (<i>Di</i>)	$Dp - (2 * m * 1.167)$ en (mm)
Diámetro Base (<i>Db</i>)	$Dp * Cos(P * m)$ en (mm)
Espesor del diente (<i>S</i>)	$0.5 * P$ en (mm)
Distancia entre dientes (<i>c</i>):	$0.5 * P$ en (mm)
Addendum (<i>a</i>)	m (mm)
Dedendum (<i>b</i>)	$1.167 * m$ (en mm)
Radio del pie del diente máximo (<i>r_{máx}</i>)	$0.3 * m$ en (mm)
Radio del pie del diente mínimo (<i>r_{min}</i>)	$c/6$ en (mm)
Ancho del diente(<i>w</i>)	$8 * m$ en (mm)

Fuente: Elaboración propia.

2.9 TOLERANCIAS DIMENSIONALES.

Las tolerancias geométricas y dimensionales se interpretan como el rango permisible en el cual debe estar contenido el elemento a fabricar, una incorrecta selección de estos rangos o un sobredimensionamiento en la fabricación bajo estas tolerancias puede llevar a generar un elemento no funcional a lo requerido.

Para la selección de tolerancias geométricas y dimensionales, se utilizaron diversos textos de apoyo, como el libro “Maquinas prontuario. Técnicas, Maquinas, Herramientas” de N. Larburu. Y las normas ISO (Organización Internacional de Normalización) y DIN (Instituto Alemán de Normalización).

2.9.1 Tolerancias dimensionales para las ruedas dentadas a fabricar.

Para obtener los valores de tolerancia dimensionales para las ruedas dentadas se utilizó la norma ISO 2768 “Tolerancias generales para las medidas lineales”. La cual especifica las tolerancias dimensionales para diversos componentes mecánicos en función de su diámetro y tipo de acabado por fabricación, exceptuando aquellas medidas que si posean una norma específica.

Tabla 2- 9: Norma ISO 2768 “Tolerancia generales”.

Desviaciones permitidas en mm para rangos en longitudes nominales				
Diámetro en mm	Fina	Media	Grotesca	Muy grotesca
0.5-3	±0.05	±0.1	±0.2	-
3-6	±0.05	±0.1	±0.3	±0.5
6-30	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0
30-120	±0.15	±0.3	±0.8	±1.5
120-400	±0.2	±0.5	±1.2	±2.5
400-1000	±0.3	±0.8	±2.0	±4.0

Fuente: Norma ISO 2769.

Debido a que el funcionamiento de los componentes a fabricar no requiere de gran exactitud dimensional se decidió utilizar un acabado Medio de fabricación y el rango de los diámetros exteriores de estas, es de 35.7 (mm) a 94.5 (mm) se decidió utilizar una tolerancia de ±0.3 (mm).

2.9.2 Tolerancias del diámetro de la perforación.

En la selección de las tolerancias para la perforación interior que lleva la rueda dentada, se procedió a utilizar la norma ISO 286-1 2010 “Sistema de tolerancia para los límites y ajustes”, la cual indica la holgura permisible en base a la funcionalidad del elemento y el diámetro de este.

La norma ISO distingue dieciocho calidades designados como IT01, IT0, IT1, IT2, IT3..., para dimensiones nominales entre 0 y 3150 mm., De esta forma, se pueden distinguir los siguientes grupos principales de calidades:

- Las calidades de 01 a 3 para ejes, y de 01 a 4 para agujeros, se usan para la fabricación de calibres y piezas de alta precisión.

- Las calidades de 4 a 11 para ejes, y de 5 a 11 para agujeros, están previstas para piezas que van a ser sometidas a ajustes.
- Las calidades superiores a 11 se usan para piezas o elementos aislados que no requieren un acabado tan fino.

Siendo muy ambiguos, para ellos se utilizo la siguiente formula complementaria para la selección de toleracias:

$$i = 0.45 * \sqrt[3]{(D_{Perforacion} + 0.001)} * D_{Perforacion}$$

i=24.4i

Medida nominal en mm		Grados de tolerancia normalizados																	
		IT1 1)	IT2 1)	IT3 1)	IT4 1)	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
Por encima	Hasta e incluso	Fórmulas para las tolerancias normalizadas (Resultados en micrómetros)																	
—	500	—	—	—	—	7i	10i	16i	25i	40i	64i	100i	160i	250i	400i	640i	1000i	1600i	2500i
500	3 150	2i	2,7i	3,7i	5i	7i	10i	16i	25i	40i	64i	100i	160i	250i	400i	640i	1000i	1600i	2500i

Figura 2- 10: Tabla tolerancias norma ISO 286-1 2010 “Sistema de tolerancia para los límites y ajustes”.
Fuente: Norma ISO 286

Nominal size mm		Standard tolerance grades																				
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18	
Above	Up to and including	Standard tolerance values																				
		µm										mm										
—	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4	
3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8	
6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2	
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7	
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3	
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9	
50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6	
80	120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4	
120	180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3	
180	250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2	
250	315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1	
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9	
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,5	4	6,3	9,7	
500	630			9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11	
630	800			10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8	12,5	
800	1 000			11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14	
1 000	1 250			13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5	
1 250	1 600			15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5	
1 600	2 000			18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23	
2 000	2 500			22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1 100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28	
2 500	3 150			26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1 350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33	

Figura 2- 11: Tabla tolerancias norma ISO 286-1 2010 “Sistema de tolerancia para los límites y ajustes”.
Fuente: Norma ISO 286-1

Dentro del rango de los IT8 se encuentra una variada cantidad de tolerancias, para la selección de esta se debe identificar la incorporación de este con el eje (deslizante), siendo la letra A una holgura excesiva y la letra Zc como un apriete por prensa, como se busca una holgura deslizante se optó por utilizar el rango E del margen de tolerancias.

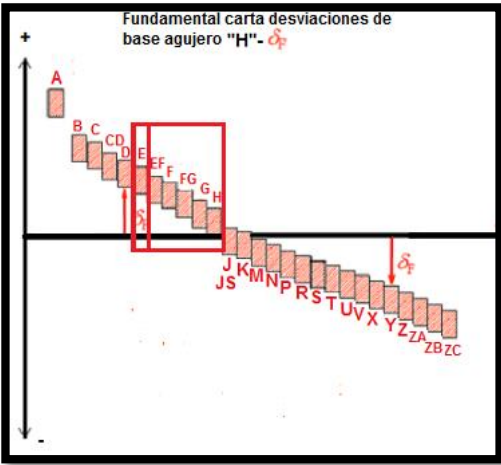


Figura 2- 12: Rango tolerancias Norma ISO 286.
Fuente: Norma ISO 286.

DESVIACIONES DEL AGUJERO EN MICRAS											
Tolerancia		Diámetros nominales en mm.									
Serie	Consig-nación	De 1 a 3	Más de 3 a 6	Más de 6 a 10	Más de 10 a 18	Más de 18 a 30	Más de 30 a 50	Más de 50 a 80	Más de 80 a 120	Más de 120 a 180	Más de 180 a 250
IT 8	D 8	+ 20 + 34	+ 30 + 48	+ 40 + 62	+ 50 + 77	+ 65 + 98	+ 80 + 119	+ 100 + 146	+ 120 + 174	+ 145 + 208	+ 170 + 242
	E 8	+ 14 + 28	+ 20 + 38	+ 25 + 47	+ 32 + 59	+ 40 + 73	+ 50 + 89	+ 60 + 106	+ 72 + 126	+ 85 + 148	+ 100 + 172
	F 8	+ 7 + 21	+ 10 + 28	+ 13 + 35	+ 16 + 43	+ 20 + 53	+ 25 + 64	+ 30 + 76	+ 36 + 90	+ 43 + 106	+ 50 + 122
	H 8	0 + 14	0 + 18	0 + 22	0 + 27	0 + 33	0 + 39	0 + 46	0 + 54	0 + 63	0 + 72
	J 8	- 7 + 7	- 9 + 9	- 10 + 12	- 12 + 15	- 13 + 20	- 15 + 24	- 18 + 28	- 20 + 34	- 22 + 41	- 25 + 47
	K 8			- 16 + 6	- 19 + 8	- 23 + 10	- 27 + 12	- 32 + 14	- 38 + 16	- 43 + 20	- 50 + 22
	M 8			- 21 + 1	- 25 + 2	- 29 + 4	- 34 + 5	- 41 + 5	- 48 + 6	- 55 + 8	- 63 + 9
	N 8	- 15 - 1	- 20 - 2	- 25 - 3	- 30 - 3	- 36 - 3	- 42 3	- 50 4	- 58 4	- 67 - 4	- 77 - 5

Figura 2- 13: Tabla rango tolerancia IT 8 Norma 286
Fuente: Libro Prontuario maquinas herramienta.

Dando como resultado un rango positivo de +40 a +70 micras.

2.9.3 Tolerancias del chaveteado.

Para la selección de tolerancias del chaveteado se utilizó la norma DIN 6885 “dimensionamiento de chaveta y ranura”. Que especifica la utilización, fabricación y tolerancias de esta.

En la figura 2-48 se muestra la geometría de la chaveta utilizada en los ejes de la lira, con esos valores y con la ayuda del diagrama 2-15, logramos ingresar e identificar las tolerancias según la norma.

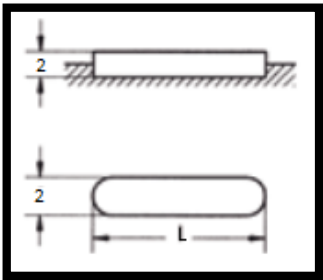


Figura 2- 12: Geometría chaveta.
Fuente: Elaboración propia.

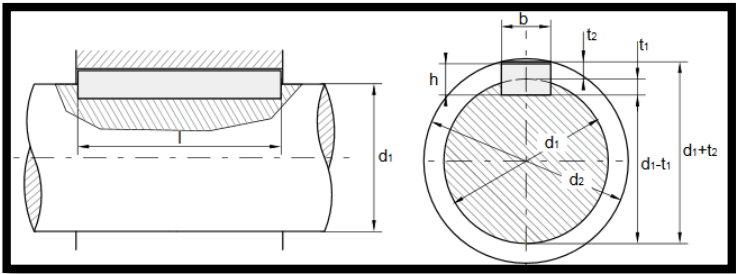


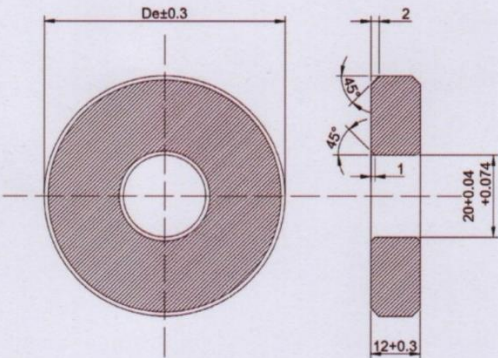
Figura 2- 13: Geometría chaveta y chaveteado.
Fuente: Norma DIN 6885

b		2	3	4	5	6	8	10					
h		2	3	4	3	5	4	6	5	7	6	8	
d1	>	6	8	10	12	12	17	17	22	22	30	30	
	≤	8	10	12	17	17	22	22	30	30	38	38	
Chavetero del eje	b+ asiento fijo	P9	2	3	4	5	5	6	6	8	8	10	10
	b+ asiento ligero	N9	2	3	4	5	5	6	6	8	8	10	10
	t1 con juego en el lomo o aprieto		1,2	1,8	2,5	1,9	3	2,5	3,5	3,1	4	3,7	5
	dif. adm.		+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2
Chavetero del cubo	b+ asiento fijo	P9	2	3	4	5	5	6	6	8	8	10	10
	b+ asiento ligero	JS9	2	3	4	5	5	6	6	8	8	10	10
	t2 con juego en el lomo		1	1,4	1,8	1,2	2,3	1,6	2,8	2	3,3	2,4	3,3
	dif. adm.		+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2
t2 con aprieto			0,5	0,9	1,2	0,8	1,7	1,1	2,2	1,4	2,4	1,8	2,4
	dif. adm.		+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2
a			-	-	-	-	-	-	-	3	-	3	
d2 min.	d1 +		2,5	3,5	4	3	5	4	6	5	8	6	8
r1	min.		0,16	0,16	0,16	0,20	0,25	0,40	0,25	0,40	0,25	0,40	0,40
	max.		0,25	0,25	0,25	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60
r2	max.		0,16	0,16	0,16	0,20	0,25	0,40	0,25	0,40	0,25	0,40	0,40
	min.		0,08	0,08	0,08	0,10	0,16	0,20	0,16	0,20	0,16	0,20	0,25

Figura 2- 14: Tabla tolerancias geométricas chaveta y chaveteado Norma DIN 6885.
Fuente: Norma DIN 6885.

Dando como resultado una tolerancia de 2+0.1 (mm) para el espesor y de 1+01 (mm)para la profundidad del chaveteado de las ruedas dentadas a fabricar.

2.10 FICHA DE PROCEDIMIENTO PARA EL MECANIZADO.

 UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA Tec. Universitario en Mecánica Industrial.	Rueda dentada recta	Profesor encargado: <i>SR. RODOLFO MANCILLA O.</i> Operador: <i>ALEJANDRO VERA A.</i> Fecha: <i>09/12/2019</i> Firma: <i>[Signature]</i> Norma: 2768																
Fase Operación de torneado																		
<table><tr><th colspan="2">Datos</th></tr><tr><td>Velocidad de corte (Vc) (mm/min)</td><td>185</td></tr><tr><td>Velocidad de avance (fn) (mm/r)</td><td>0.31</td></tr><tr><td>Diámetro material en bruto (mm) (Ø)</td><td>50.8-76.2- 101.6-114.3</td></tr><tr><td>N° de diente (Z)</td><td>61</td></tr><tr><td>Modulo (m)</td><td>1.5</td></tr><tr><td>Diámetro Primitivo (Dp) = Z*m</td><td>91,50</td></tr><tr><td>Diámetro exterior (De) = Dp+2*m</td><td>94,50</td></tr></table>	Datos		Velocidad de corte (Vc) (mm/min)	185	Velocidad de avance (fn) (mm/r)	0.31	Diámetro material en bruto (mm) (Ø)	50.8-76.2- 101.6-114.3	N° de diente (Z)	61	Modulo (m)	1.5	Diámetro Primitivo (Dp) = Z*m	91,50	Diámetro exterior (De) = Dp+2*m	94,50		
Datos																		
Velocidad de corte (Vc) (mm/min)	185																	
Velocidad de avance (fn) (mm/r)	0.31																	
Diámetro material en bruto (mm) (Ø)	50.8-76.2- 101.6-114.3																	
N° de diente (Z)	61																	
Modulo (m)	1.5																	
Diámetro Primitivo (Dp) = Z*m	91,50																	
Diámetro exterior (De) = Dp+2*m	94,50																	
Calculos operacionales torno																		
Velocidad de giro del material en torno (RPM): $RPM = \frac{vc \cdot 1000}{\phi \cdot \pi} = \frac{185 \cdot 1000}{114,5 \cdot \pi} = 515 \text{ RPM}$																		
Fase Operación fresado																		
<table><tr><th colspan="3">Datos</th></tr><tr><td rowspan="4"></td><td>Modulo.</td><td>Numero de dientes (Zm)</td></tr><tr><td></td><td>12</td></tr><tr><td>Diámetro exterior (Ø)</td><td>55 (mm)</td></tr><tr><td>Velocidad de corte (Vc)</td><td>22 (m/min)</td></tr><tr><td></td><td>Velocidad de desprendimiento (a)</td><td>0.15-0.3 (mm/diente)</td></tr></table>	Datos				Modulo.	Numero de dientes (Zm)		12	Diámetro exterior (Ø)	55 (mm)	Velocidad de corte (Vc)	22 (m/min)		Velocidad de desprendimiento (a)	0.15-0.3 (mm/diente)			
Datos																		
	Modulo.	Numero de dientes (Zm)																
		12																
	Diámetro exterior (Ø)	55 (mm)																
	Velocidad de corte (Vc)	22 (m/min)																
	Velocidad de desprendimiento (a)	0.15-0.3 (mm/diente)																
Cálculos Operacionales																		
Velocidad de giro de la herramienta (RPM): $RPM = \frac{vc \cdot 1000}{\phi \cdot \pi} =$																		
Profundidad del diente: $h = 2.16 \cdot m = 2,16 \cdot 1,5 = 3,24 \text{ mm}$																		
Velocidad de avance (Vf): $Vf = a \cdot Zm \cdot RPM = 0,15 \cdot 12 \cdot 127 = 229 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$																		
Cabezal divisor	Formula	Orbitas Disponibles																
División indirecta	$\frac{k}{N} = \frac{40}{61}$	24-25-28-30-34-37-38-39-41-42-43-46 47-49-51-53-54-57-58-59-62-66																
División diferencial	$\frac{k \cdot (N' - N)}{N'} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{40(60-61)}{60} = \frac{40}{60}$	Z para configuración de lira 25-30-35-40-45-50-55-60-70-80-90-100																

40 = Para eje del cabezal
60 = Para eje engranes conicos
50 = Rueda intermedia
35 = Rueda intermedia

• Son dos para conservar el sentido de giro inicial.
• Pueden haber sido de otro Z, ya que, son para la transmisión del movimiento.

Fases Operacionales.								
Fases		Operación		Descripción			✓ / x	
1.	Verificación torno/fresa	1.1		Equipar elementos de protección personal.			✓	
		1.2		Verificar que los equipos se encuentren apto para las operaciones de mecanizado.			✓	
		1.3		Selección y montaje correcto de la herramienta de corte.			✓	
		1.4		Verificar cálculos previos al mecanizado.			✓	
		1.5		Selección de velocidades de giro y avance según cálculos.			✓	
		1.6		Determinación de cero en pieza con tambor graduado.			✓	
2.	Mecanizado torno	2.1		Montar material en bruto en el plato del torno.			✓	
		2.2		Refrentar ambas caras del material dando el espesor según plano.			✓	
		2.3		Perforación con la broca de centro, 10 y 20 (mm).			✓	
		2.4		Mecanizado diámetro agujero con porta herramienta interior.			✓	
		2.5		Mecanizado biselado interior.			✓	
		2.6		Montar material en eje cónico ajustable.			✓	
		2.7		Cilindrar material de acuerdo con el diámetro requerido.			✓	
		2.8		Mecanizado biselado exterior.			✓	
		2.9		Desmontar material del eje cónico ajustable.			✓	
3.	Mecanizado fresado	3.1		Montar material en soporte de mecanizado y este entre el cabezal divisor y la contra punta.			✓	
		3.2		Ubicar centro geométrico del material junto con el centro geométrico del módulo en la periferia de ambos (método de la muesca).			✓	
		3.3		Dar profundidad de corte calculada previamente.			✓	
		3.4		Selección de orbita en el cabezal divisor, con sus correspondientes espacios libres calculados.			✓	
		3.5		Iniciar avance, corte y retroceso de la meza.			✓	
		3.6		Rotar material con el cabezal divisor según vueltas y espacios libres calculados.			✓	
		3.7		Repetir paso 3.5 y 3.6 por toda la periferia del material.			✓	
		3.8		Finalizado el recorrido por toda la periferia del material, retirar material del cabezal divisor y del soporte			✓	
4.	Chaveteado y marcado	4.1		Seleccionar herramienta de corte para la brochadora.			✓	
		4.2		Montar herramienta y pieza a mecanizar.			✓	
		4.3		Realizar corte del chaveteado en la perforación dando una altura de 2 mm.			✓	
		4.4		Retirar pieza mecanizada de la brochadora.			✓	
		4.5		Realizar marca superficial del número de dientes.			✓	
Tabla resumen datos operacionales.								
Z	De (mm)	RPM Torneado	RPM Fresado	Velocidad de avance (Vf)	Altura del diente (h)	División indirecta		División diferencial
						Vueltas a la manivela	Espacios libres/orbita	a-b-c-d
23	37.5	1159	127	229	3.24	1	34/46	-
29	46.5	1159	127	229	3.24	1	22/58	-
31	49.5	1159	127	229	3.24	1	18/62	-
37	58.5	772	127	229	3.24	1	3/37	-
41	64.5	772	127	229	3.24	-	40/41	-
43	67.5	772	127	229	3.24	-	40/43	-
47	73.5	772	127	229	3.24	-	40/47	-
53	82.5	579	127	229	3.24	-	40/53	-
59	91.5	579	127	229	3.24	-	40/59	-
61	94.5	579	127	229	3.24	-	20/30	40-50-35-60

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 3: FABRICACIÓN DE RUEDAS DENTADAS
RECTAS Y CONTROL DIMENSIONAL.

3. PROCEDIMIENTO DEL MECANIZADO Y CONTROL DIMENSIONAL.

A continuación, se detallará los diversos procedimientos de mecanizado para generar las diversas ruedas dentadas planteadas y su posterior control de medidas dimensionales.

3.1 MECANIZADO EN TORNO.

3.1.1 Cálculos del mecanizado en torno.

Primeramente, el material en bruto es cortado por una sierra de banda, dejando un espesor aproximado al final, dando un margen de corte de 4 (mm) para el posterior refrentado de este dando la medida del espesor final.

El material cortado, es montado en el plato de la máquina herramienta torno, para la selección de velocidades fue necesario utilizar las siguientes fórmulas:

Revoluciones por minuto (RPM):

$$RPM = \frac{Vc*1000}{\varnothing*\pi}$$

Dónde:

Vc = Velocidad de corte (m/min)

∅ = Diámetro del material (mm)

Para las perforaciones con broca es utilizada la misma fórmula cambiando la velocidad de corte (Vc) del acero rápido y el diámetro (∅) el cual corresponde al diámetro de la perforación a generar.

3.1.2 Tabla resumen de los datos calculados para torno.

Torneado	
Diámetro material en bruto (mm)	RPM (Rev/min)
50,8 (mm)	1159
76,2 (mm)	772
101,6 (mm)	579
114,3 (mm)	515
Perforado en torno	
Diámetro de la broca (mm)	RPM (Rev/min)
Broca guía 3,5 (mm)	2273
Broca de 5 (mm)	1591
Broca de 10 (mm)	795
Broca de 20 (mm)	397

Fuente: Elaboración propia.

3.2 DIAGRAMA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LAS RUEDAS DENTADAS RECTAS.

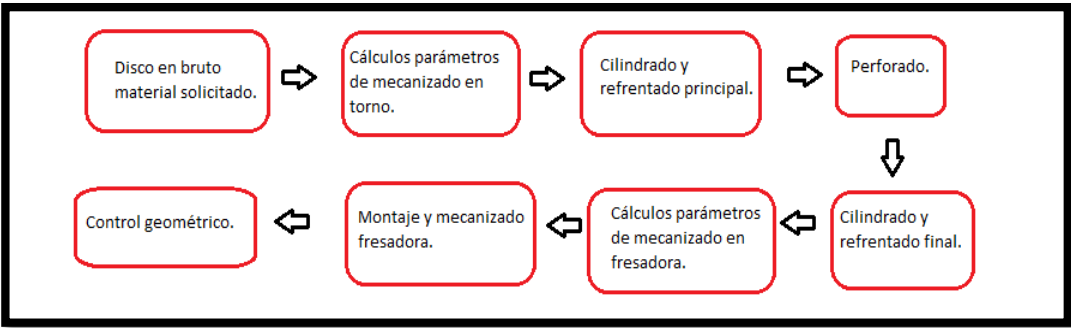


Figura 3- 1: Proceso fabricación de ruedas dentadas rectas.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.1 Procedimiento de mecanizado.

Una vez calculadas las velocidades de giro del material para cada procedimiento de mecanizado, el material fue refrentado por ambas caras dejando un espesor según plano de la ficha de procedimiento 2.10. Luego fue perforado por una broca guía, luego una broca de 5, 10 y 20 (mm).

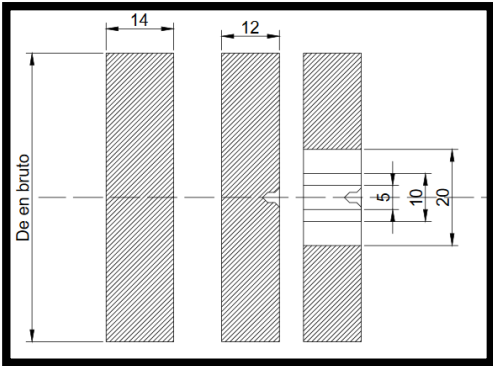


Figura 3- 2: Mecanizado torno perforaciones.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, el material es montado en un eje de arrastre o cónico ajustable, para facilitar el mecanizado de cilindrado y biselado exterior.

Para el cilindrado del diámetro exterior, fue necesario primero indicar la cantidad de dientes a fabricar, el cual varía dependiendo de estos:

Tabla 3- 2: Valores de diámetro exterior (De) correspondiente a número de dientes a realizar (Z).

Z	23	29	31	37	41	43	47	53	59	61
De (mm)	37.50	46.50	49.50	58.50	64.50	67.50	73.50	83.50	91.50	94.50

Fuente: Elaboración propia

Luego del cilindrado exterior se procedió a generar el biselado del diámetro exterior en ambas caras, especificado en la ficha de procedimiento para el mecanizado 2.10.

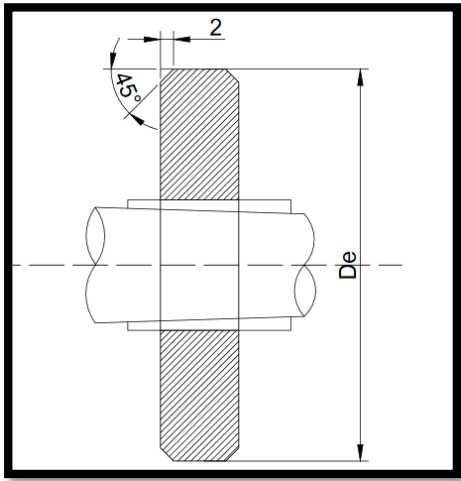


Figura 3- 3: Mecanizado exterior rueda dentada.
Fuente: Elaboración propia.

Finalizado. el biselado exterior, se procedió a desmontar el eje de arrastre del material para generar el mecanizado de la perforación, dando el ajuste necesario, y el biselado interior.

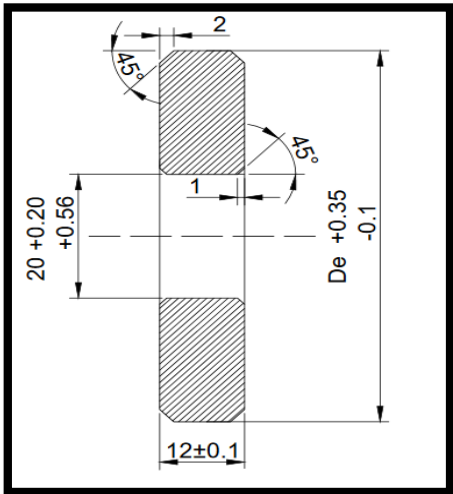


Figura 3- 4: Dimensiones y tolerancias rueda dentada recta.
Fuente: Elaboración propia.

Estos procedimientos se repitieron para todas las piezas a fabricar.

3.3 MECANIZADO EN FRESA.

3.3.1 Cálculos de mecanizado en fresadora.

En primera instancia se identificó los diversos valores de velocidad de giro de la herramienta (RPM fresado), velocidad de avance de la meza, vueltas a la manivela del cabezal divisor y la altura del diente.

3.3.2 Velocidad de giro de la herramienta (RPM fresa):

$$RPM = \frac{Vc*1000}{\varnothing*\pi}$$

Dónde:

V_c = Velocidad de corte (m/min) = 22
 $\varnothing$ = Diámetro de la fresa (mm) = 55

3.3.3 Avance de la meza (Vf) (mm/min):

$$V_f = V_a * Z * RPM$$

Dónde:

V_a = Velocidad de desprendimiento = 0.25 a 0.35 (mm/rev)
 Z = Número de dientes de corte = 12
 RPM = Velocidad de giro de la herramienta (rev/min) = 127

3.3.4 Altura del diente (h):

$$h = 2,16 * m = 3,24 \text{ (mm)}$$

Dónde:

m = módulo = 1,5(mm)

3.3.5 Vuelta a la manivela división indirecta (Vm_{di}):

$$V_m = \frac{K}{Z}$$

Dónde:

K = Constante de relación sin – fin corona = 40
 Z = Número de dientes a realizar:

Z	23	29	31	37	41	43	47	53	59	61
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Orbitas disponibles:

24	25	28	30	34	37	38
41	42	43	46	47	49	51
54	57	58	59	62	66	

3.3.6 Vuelta a la manivela división diferencial (Vm_{dd}):

$$\frac{k*(N'-N)}{N'} = \frac{a}{b}$$

Dónde:

Constante de relación sin – fin corona (k) = 40
Número ficticio cercano al número de muescas a realizar (N')
Número de muescas a realizar (N) = Z
Rueda montada en el eje de la corona (a)
Rueda montada en el eje de transmisión de la manivela (b)

3.4 TABLA RESUMEN DE LOS DATOS CALCULADOS PARA FRESADO.

Tabla 3- 3: Tabla resumen de datos calculados fresado.

Z	RPM	Vf (mm/min)	H (mm)	Vuelta a la manivela	Espacios libres	Orbita	Relación de transmisión resultante
23	127	381	3,24	1	34	46	-
29	127	381	3,24	1	22	58	-
31	127	381	3,24	1	18	62	-
37	127	381	3,24	1	3	37	-
41	127	381	3,24	-	40	41	-
47	127	381	3,24	-	40	47	-
53	127	381	3,24	-	40	53	-
59	127	381	3,24	-	40	59	-
61	127	381	3,24		40	60	40-35-50-60

Fuente: Elaboración propia.

3.5 PROCEDIMIENTO DEL MECANIZADO EN FRESADORA.

Una vez definidos los diversos parámetros de mecanizados, se procedió al montaje de la pieza finalizada; en el procedimiento de mecanizado en torno; en un mandril de sujeción y este mismo al plato del cabezal divisor y la contrapunta. Luego, se seleccionó el módulo y el rango de la fresa debido a que este varía dependiendo de la cantidad de diente a realizar, incorporándolo al eje portaherramientas de la fresadora.

A continuación, ambos son interceptados procurando centrar ambos elementos, en la periferia de sus diámetros exteriores, con el centro geométrico de éstos.

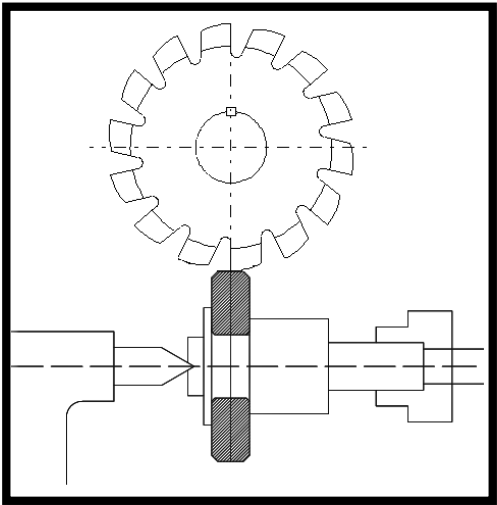


Figura 3- 5: Fresado rueda dentada recta.
Fuente: Elaboración propia.

Luego, se retira longitudinalmente el material para poder dar la altura del diente calculado previamente.

Para continuar se es necesario verificar si la división resultante en las vueltas a la manivela es de división indirecta o diferencial. En caso de ser división indirecta solo se es necesario ubicar la manivela en la órbita correspondiente. De ser división diferencial se es necesario acoplar la relación de transmisión resultante junto con el accesorio de soporte lira.

Una vez dada la altura, posicionada el centro geométrico e identificado las vueltas a la manivela se procedió a la selección de las velocidades de avance y vueltas de la herramienta de corte en la fresadora en los tableros de selección de velocidades.

Se procede a dar la primera pasada de corte del material a lo largo de este de forma discordante, luego se retrocede la herramienta de corte y se da los correspondientes movimientos a la manivela del cabezal divisor, estos dos últimos procedimientos se repiten a lo largo de toda la periferia del material generando el tallado de los dientes.

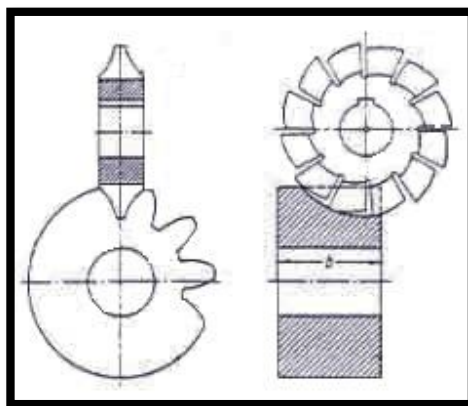


Figura 3- 6: Esquema de ranurado rueda dentada recta.
Fuente: Elaboración propia.

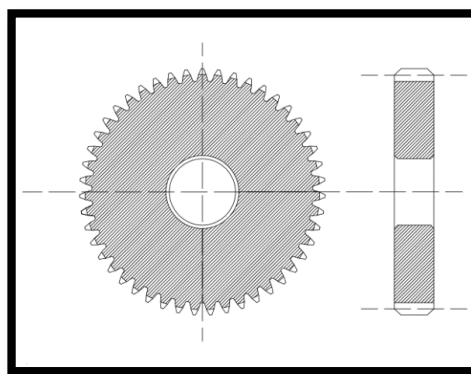


Figura 3- 7: Rueda dentada recta.
Fuente: Elaboración propia.

3.6 CHAVETEADO.

Para el procedimiento del chaveteado, las piezas finalizadas del procedimiento del torno o fresado son ubicadas en la base del brochado manual disponible en el taller y se seleccionó la herramienta de corte correspondiente al mecanizado, en este caso se seleccionó una brocha de superficie de 4 (mm) de ancho.



Figura 3- 8: Brochadora manual.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3- 9: Accesorios brochadora.
Fuente: Elaboración propia.

Una vez ubicada la pieza y la herramienta de corte se procede a generar el chaveteado en el diámetro interior de la pieza empujando la herramienta de corte hacia abajo generando el corte de viruta en el material.

Este procedimiento se repitió en todas las piezas a fabricar.

3.7 CONTROL GEOMÉTRICO.

3.7.1 Espesor y altura cordal.

La verificación del espesor cordal se da en la altura cordal (h_c) del diente los cuales cumplen la función de medir el diámetro primitivo del diente, que es el punto de contacto y transmisión de movimiento entre engranes, y el espesor cordal del diente (S_c), encargado del contacto óptimo entre los dientes de ambos engranes, un espesor muy alto impide la transmisión de movimiento correcta y provoca el apriete de estos, un bajo espesor del diente provoca un mayor desgaste.

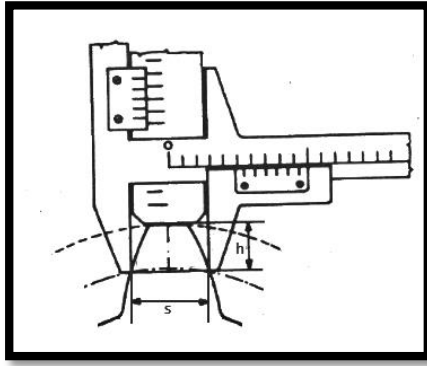


Figura 3- 10: Espesor y altura cordal.
Fuente: Google.com.

3.7.2 Cálculos de la altura y espesor cordal:

Altura cordal del diente (hc):

$$hc = m \left[1 + \frac{z}{2} \left(1 - \cos \frac{90^\circ}{z} \right) \right]$$

Espesor cordal (Sc):

$$Sc = m z \sin \frac{90^\circ}{z}$$

Dónde:

z = Número de dientes de la rueda dentada a medir .

m = Módulo que se utilizó en la fabricación = 1,5 (mm).

3.7.3 Longitud tangente a la base (W ó Wn).

Consiste en medir una determinada longitud en determinados dientes, estos varían dependiendo de la cantidad de dientes que posea la rueda dentada (Z), el ángulo de presión (α) y el módulo (m). La verificación de esta medición determina el espesor correspondiente de los dientes mecanizados por medio de fórmulas matemáticas bien definidas, aumentando la exactitud de medida de estos.

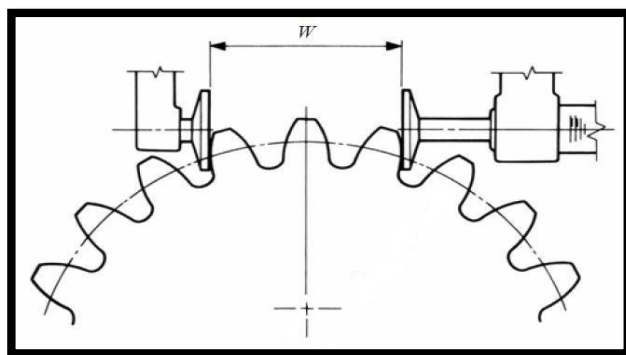


Figura 3- 11: Longitud tangente a la base (W).
Fuente: Google.com.

3.7.3.1 Cálculo de la longitud tangencial a la base:

Cantidad de dientes a medir (K):

$$K = \left(\frac{Z \alpha}{180} \right) + 0.5$$

Dónde:

Z = Número de dientes de la rueda dentada a medir

α = Ángulo de presión = 20°

3.7.3.2 Longitud tangente a la base (W):

$$W = m \cos(\alpha) (\pi (K - 0.5) + Z \operatorname{inv}(\alpha)) + 2 X m \sin(\alpha)$$

Dónde:

K = Cantidad de dientes a medir

Z = Número de dientes de la rueda dentada a medir

α = Ángulo de presión = 20°

m = Módulo que se utilizó en la fabricación = 1.5

$$\operatorname{inv}(\alpha) = \text{Involuta del Angulo de presión} = \tan(\alpha) - \alpha \frac{2\pi}{360}$$

$$X = \text{desplazamiento} = \frac{\text{De medido} - \text{De teórico}}{2 m}$$

3.7.4 Instrumentos utilizados.

3.7.4.1 Micrómetro de exterior:

Es utilizado para la verificación de medidas de un objeto con gran precisión, en rango de centésimas (0,01 mm) o milésimas (0,001) dependiendo el modelo y fabricante.

Dentro del taller se utilizaron los siguientes micrómetros:



Figura 3- 12: Micrómetro de exterior.
Fuente: Google.com

Tabla 3- 4: Rango y resolución micrómetro exterior.

Rango (mm)	Resolución (mm)
0-25	0,01
25-50	0,01
50-75	0,01
75-100	0,01

Fuente: Elaboración propia.

3.7.4.2 Dentímetro:

Utilizado para la verificación de la altura y espesor cordal de los dientes en las ruedas dentadas fabricadas.

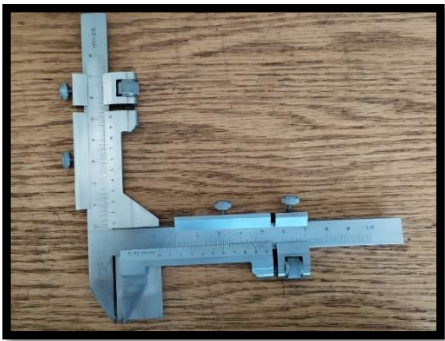


Figura 3- 13: Pie de metro con doble nonio.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3- 5: Datos técnicos dentímetro utilizado.

Rango (mm)	Resolución (mm)
0-100 (horizontal)	0,02
0-80 (vertical)	0,02

Fuente: Elaboración propia.

3.7.4.3 Micrómetro de platos:

Este instrumento se utilizó para la verificación de la longitud tangente a la base (W) en cada rueda dentada.



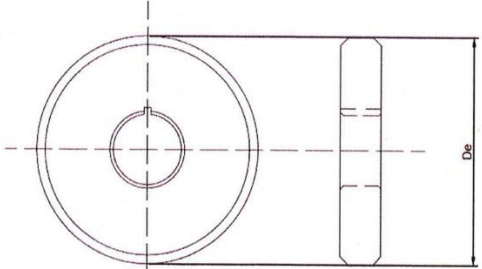
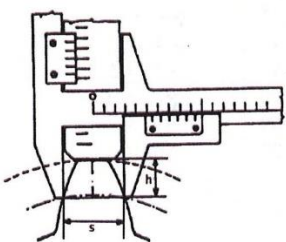
Figura 3- 14: Micrómetro de platos.
Fuente: Elaboración propia.

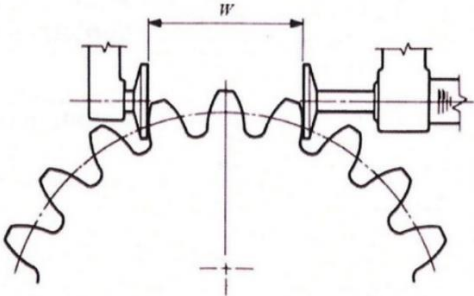
Tabla 3- 6: Datos técnicos micrómetros de platos utilizados.

Rango (mm)	Resolución (mm)
0-25	0.01
25-50	0.01

Fuente: Elaboración propia.

3.8 FICHA CONTROL GEOMÉTRICO RUEDA DENTADA RECTA.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA Tec. Universitario en Mecánica Industrial.	Control geométrico rueda dentada recta	Profesor encargado: <i>Sr. Rodolfo Mancilla O.</i>								
		Operador: <i>Alejandro Vera A.</i>								
		Fecha: <i>02/01/2020</i>	Norma: ISO 2768							
Tolerancia geométrica lineales.										
Desviaciones permitidas en mm para rangos en longitudes nominales										
Diámetro en mm	Fina	Medía	Grotesca	Muy grotesca						
0.5-3	±0.05	±0.1	±0.2	-						
3-6	±0.05	±0.1	±0.3	±0.5						
6-30	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0						
30-120	±0.15	±0.3	±0.8	±1.5						
120-400	±0.2	±0.5	±1.2	±2.5						
400-1000	±0.3	±0.8	±2.0	±4.0						
Diámetro exterior rueda dentada.										
Diámetro exterior (De)(mm): $D_p + 2 \cdot m$ Diámetro primitivo (Dp)(mm): $Z \cdot m$ Donde: Z: corresponde al número de dientes de la rueda dentada. m: corresponde al módulo que se utilizó en la fabricación.										
Z	23	29	31	37	41	43	47	53	59	61
De (mm)	37.5	46.5	49.5	58.5	64.5	67.5	73.5	83.5	91.5	94.5
Altura del diente y espesor cordal.										
Altura media del diente (h)(mm): $h = m \left[1 + \frac{z}{2} \left(1 - \cos \frac{90^\circ}{z} \right) \right]$ Espesor cordal (s)(mm): $S = m \cdot z \cdot \sin \frac{90^\circ}{z}$ Donde: Z: corresponde al número de dientes de la rueda dentada. m: corresponde al módulo que se utilizó en la fabricación.										

Longitud tangencial a la base.					
Cantidad de dientes a medir (K): $K = \frac{\alpha}{180} z + 0,5$ Donde: α = Angulo de presión = 20° Longitud tangencial a la base (W) (mm): $W = m \cos(\alpha) (\pi (K-0,5) + Z \operatorname{inv}(\alpha)) + 2 X m \operatorname{sen}(\alpha)$ Donde: α = Angulo de presión = 20° $\operatorname{inv}(\alpha) = \operatorname{tg}(\alpha) - \alpha$ 					
Datos calculados.					
Z	Diámetro exterior (De)(mm)	Altura media del diente (h)(mm)	Espesor cordal (s)(mm)	Cantidad de dientes a medir (K)	Longitud tangencial a la base (W)(mm)
23	37,5	1,54	2,35	3	11,55
29	46,5	1,53	2,35	4	16,10
31	49,5	1,52	2,35	4	16,14
37	58,5	1,52	2,35	5	20,40
41	64,5	1,52	2,35	5	20,78
43	67,5	1,52	2,35	5	20,83
47	73,5	1,51	2,35	6	25,34
53	82,5	1,51	2,35	7	29,89
59	91,5	1,51	2,35	7	30,02
61	94,5	1,51	2,33	8	34,49
Datos medidos.					
Z	Diámetro exterior (De)(mm)	Altura media del diente (h)(mm)	Espesor cordal (s)(mm)	Cantidad de dientes a medir (K)	Longitud tangencial a la base (W)(mm)
23	37,31	1,68	2,28	3	11,36
29	46,40	1,64	2,40	4	15,98
31	49,48	1,30	2,58	4	16,22
37	58,62	1,38	2,60	5	20,81
41	64,65	1,40	2,66	5	20,87
43	67,62	1,28	2,64	5	20,89
47	73,72	1,30	2,56	6	25,40
53	82,54	1,38	2,50	7	29,95
59	91,49	1,48	2,40	7	30,03
61	94,51	1,20	2,42	8	34,50

Fuente: Elaboración propia

3.9 ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS.

Los siguientes datos muestran la diferencia entre las dimensiones calculadas y medidas, los cuales son comparados con las tolerancias dimensionales obtenidas previamente generando un criterio de aprobación de las medidas (pasa (✓)) en el caso de que se encuentre dentro de las tolerancias o un rechazo (no pasa (x)) si se encuentra fuera del margen de tolerancias.

Para el apruebo o rechazo general de la pieza fabricada se evaluará caso a caso la cantidad de aprobación de las medidas (pasa (✓)) y rechazos (no pasa (x)) totales que tenga.

3.9.1 Diámetro exterior (De).

Como se señaló en el capítulo 2.9.1, la tolerancia dimensional seleccionada para el diámetro exterior (De) bajo la norma ISO 2768 es de $\pm 0,3$ (mm).

Tabla 3- 7: Diferencia dimensional diámetro exterior.

Z	Diferencia dimensional del diámetro exterior. (De) (mm)	¿Cumple con la tolerancia? (✓/x)
	(Medida Nominal) - (Medida Práctica).	
23	+0,19	✓
29	+0,1	✓
31	+0,02	✓
37	-0,12	✓
41	-0,15	✓
43	-0,22	✓
47	-0,22	✓
53	-0,04	✓
59	+0.01	✓
61	-0.01	✓

Fuente: elaboración propia.

Como se muestra en la tabla 3-24, todas las dimensiones del diámetro exterior están dentro de las tolerancias seleccionadas.

3.9.2 Diámetro interior, perforación.

Para las tolerancias de la perforación se utilizó la norma ISO 286 la cual dio como resultado una tolerancia de +0,04 (mm) a +0,07 (mm).

Tabla 3- 8: Diferencia dimensional perforación rueda dentada.

Z	Diferencia dimensional de la perforación. (mm)	Pasa o no pasa (✓/x)
23	+0.06	✓
29	+0.02	x
31	+0.04	✓
37	+0,05	✓
41	+0,02	x
43	+0,06	✓
47	+0,03	x
53	+0,05	✓
59	+0.05	✓
61	+0.03	x

Fuente: elaboración propia.

Dando como resultado en la medición que no todas las diferencias dimensionales están dentro de las tolerancias señaladas.

3.9.3 Altura y espesor cordal.

Para estas medidas se utilizó la norma ISO 2768, al igual que el diámetro exterior, ya que esta especifica las tolerancias lineales de los diversos componentes mecánicos, dando como resultado una tolerancia de ±0,3 (mm).

Tabla 3- 9: Diferencia dimensional altura y espesor cordal.

Z	Diferencia dimensional de la altura cordal (hc)	Pasa o no pasa (✓/x)	Diferencia dimensional del espesor cordal (Sc)	Pasa o no pasa (✓/x)
23	-0,1398	✓	-0,0743	✓
29	-0,1082	✓	+0,045	✓
31	+0,2298	✓	+0,224	✓
37	+0,145	✓	+0,244	✓
41	+0,1225	✓	+0,304	x
43	+0,2415	✓	+0,284	✓

47	+0,2196	✓	+0,204	✓
53	+0,1374	✓	+0,144	✓
59	+0,0356	✓	+0,044	✓
61	+0,3151	x	+0,084	✓

Fuente: elaboración propia

Para el caso de la rueda con número de dientes $Z=41$ se puede observar que sobrepasa por 0,004 milímetros el espesor cordal (Sc) y para la rueda con número de dientes Z 61 sobrepasa la altura cordal (hc) por 0,0151 milímetros, en este caso no es rechazada la rueda dentada, debido a que sobrepasa la tolerancia por micras, generadas supuestamente por partículas al momento de generar la medida o un error del operador al momento de hacer la lectura.

3.9.4 Longitud tangente a la base (W).

Al igual que el espesor y altura cordal se utilizó la norma ISO 2768 para las tolerancias dimensionales dando como resultando $\pm 0,3$ (mm).

Tabla 3- 10: Diferencia dimensional longitud tangente a la base.

Z	Cantidad de dientes (k)	Longitud tangencial (W)(mm)	Pasa o no pasa (✓/x)
23	3	-0,193	✓
29	4	-0,157	✓
31	4	0,070	✓
37	5	0,405	x
41	5	0,081	✓
43	5	0,059	✓
47	6	0,057	✓
53	7	0,053	✓
59	7	0,007	✓
61	8	0,007	✓

Fuente: elaboración propia.

En el caso de la rueda con número de dientes $Z=37$ se logra dimensionar que su longitud tangencial sobrepasa por 0,105 (mm) superando el rango de tolerancia permisible, esto pudo ser generado al momento en que el operador al dar las vueltas a la manivela sobrepaso las orbitas del cabezal divisor sin tener en cuenta el juego interno de este.

Tabla 3- 11: Tabla de datos recopilatorios de control geométrico.

Tabla recopilatoria de datos teórico/prácticos de las ruedas dentadas rectas fabricadas para la fresadora universal INDUMA.								
Nota importante: Considerar ±0,3 como valor de tolerancia para los siguientes parámetros.								
Z	Diámetro exterior De (mm)		Altura cordal hc (mm)		Espesor cordal Sc (mm)		Longitud tangente a la base W (mm)	
23	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
	37,50	37,31	1,54	1,68	2,35	2,28	11,55	11,36
	Diferencia		Diferencia		Diferencia		Diferencia	
	0,19		-0,14		0,07		0,19	
	Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)	
29	√		√		√		√	
	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
	46,50	46,40	1,53	1,64	2,35	2,40	16,10	15,98
	Diferencia		Diferencia		Diferencia		Diferencia	
	0,10		-0,11		-0,05		0,12	
31	Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)	
	√		√		√		√	
	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
	49,50	49,48	1,52	1,30	2,35	2,58	16,14	16,22
	Diferencia		Diferencia		Diferencia		Diferencia	
37	0,02		0,22		-0,23		-0,08	
	Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)	
	√		√		√		√	
	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
	58,50	58,82	1,52	1,38	2,35	2,60	20,40	20,81
41	Diferencia		Diferencia		Diferencia		Diferencia	
	-0,32		0,14		-0,25		-0,41	
	Pasa/no pasa bajo tolerancias √/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/ x)	
	x		√		√		X	
	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
43	64,50	64,65	1,52	1,40	2,35	2,66	20,78	20,87
	Diferencia		Diferencia		Diferencia		Diferencia	
	-0,15		0,12		-0,31		-0,09	
	Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)	
	√		√		x		√	
43	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido	Calculado	Medido
	67,50	67,62	1,52	1,28	2,35	2,64	20,83	20,89
	Diferencia		Diferencia		Diferencia		Diferencia	
	-0,12		0,24		-0,29		-0,06	
	Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)	
43	√		√		√		√	

	<i>Calculado</i>	<i>Medido</i>	<i>Calculado</i>	<i>Medido</i>	<i>Calculado</i>	<i>Medido</i>	<i>Calculado</i>	<i>Medido</i>
47	73,50	73,73	1,51	1,30	2,35	2,56	25,34	25,40
	<i>Diferencia</i>		<i>Diferencia</i>		<i>Diferencia</i>		<i>Diferencia</i>	
	-0,23		0,21		-0,21		-0,06	
	Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)	
	√		√		√		√	
	<i>Calculado</i>	<i>Medido</i>	<i>Calculado</i>	<i>Medido</i>	<i>Calculado</i>	<i>Medido</i>	<i>Calculado</i>	<i>Medido</i>
53	82,50	82,54	1,51	1,38	2,35	2,50	29,95	29,95
	<i>Diferencia</i>		<i>Diferencia</i>		<i>Diferencia</i>		<i>Diferencia</i>	
	-0,04		0,13		-0,15		0,00	
	Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)	
	√		√		√		√	
	<i>Calculado</i>	<i>Medido</i>	<i>Calculado</i>	<i>Medido</i>	<i>Calculado</i>	<i>Medido</i>	<i>Calculado</i>	<i>Medido</i>
59	91,50	91,49	1,51	1,48	2,35	2,40	30,02	30,03
	<i>Diferencia</i>		<i>Diferencia</i>		<i>Diferencia</i>		<i>Diferencia</i>	
	0,01		0,03		-0,05		-0,01	
	Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)	
	√		√		√		√	
	<i>Calculado</i>	<i>Medido</i>	<i>Calculado</i>	<i>Medido</i>	<i>Calculado</i>	<i>Medido</i>	<i>Calculado</i>	<i>Medido</i>
61	94,50	94,51	1,51	1,20	2,35	2,42	34,49	34,50
	<i>Diferencia</i>		<i>Diferencia</i>		<i>Diferencia</i>		<i>Diferencia</i>	
	-0,01		0,31		-0,07		-0,01	
	Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)		Pasa/no pasa bajo tolerancias (√/x)	
	√		x		√		√	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3- 12: Tabla de “Sí, cumple o No cumple” con las tolerancias.

Nº	Z	Cumple o no con la norma	Fundamento
1	23	Sí, cumple	
2	29	Sí, cumple	
3	31	Sí, cumple	
4	37	No, cumple	De = −0,32 y W = −0,41 (mm)
5	41	No, cumple	Sc = −0,31 (mm)
6	43	Sí, cumple	
7	47	Sí, cumple	
8	53	Sí, cumple	
9	59	Sí, cumple	
10	61	No, cumple	hc = 0,31 (mm)

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIÓN.

Con el ensayo de dureza y chispa realizado a tres ruedas dentadas del juego existente para la configuración del cabezal divisor en el engrane de ruedas, se identificó el material utilizado por el fabricante el cual corresponde a una fundición gris FC 200 haciendo la posterior compra de éste, para la fabricación de las ruedas dentadas planteadas. Una vez adquirido el material y planteada la cantidad de ruedas dentadas a fabricar, se elaboró una recopilación de datos fundamentales de la geometría de las ruedas dentadas con la finalidad de calcular los diversos parámetros de mecanizado, dimensionales y de tolerancias en la fabricación de éstas.

Una vez recopilados los diversos datos se procedió a realizar una ficha técnica de cálculos y fabricación para torno y fresadora, con la finalidad de disminuir los diversos errores operacionales en el procedimiento de fabricación.

Ya recopilado los datos operacionales, bajo la supervisión del profesor encargado, se procedió a iniciar la fabricación de las ruedas dentadas planteadas, siendo en primera instancia la fabricación del disco perforado para su posterior dentado, especificado en la ficha técnica del procedimiento de mecanizado.

Fabricados y medidos todos los discos, se procedió al mecanizado en fresadora de estos, de igual manera se procedió al dentado por fresa modular bajo los cálculos elaborados previamente en la ficha de procedimiento de mecanizado.

Finalizado el dentado, se continuó con un control dimensional de cada rueda, para ellos se elaboró otra ficha técnica recopilatorio. La cual especifica los cuatro principales controles dimensionales en las ruedas dentadas, como lo son, el diámetro exterior, altura y espesor cordal y la longitud tangencial especificada en capítulos anteriores.

Bajo los parámetros de tolerancias y los datos obtenidos en el control dimensional se logró identificar que tres de las diez ruedas fabricadas no cumplen con las dimensiones establecidas, dos de éstas sobrepasan las tolerancias en el orden de la centésima de milímetro. Cabe destacar que: Se tiene plena conciencia que estas ruedas no se fabricaron nuevamente debido a que el recurso tiempo límite realizar su fabricación. Sin embargo, como las ruedas fabricadas no están sometidas a tolerancias dimensionales de gran precisión, responden de manera óptima a las solicitudes para las cuales fueron fabricadas, cumpliendo de igual manera con la transmisión de movimiento requerida.

BIBLIOGRAFÍA.

Deutsches Institut für Normung. Norma DIN 6885. Alemania. 6p.

Editorial Europeo de educación. Mechanical and metal trades Handbook. Alemania. 432p.

Estevez, Segundo. Mediciones en el taller mecánico. España. 1977. 458p.

Larburu, Nicolás. Prontuarios maquinas herramientas 13º edición. España 2003. 625p.

Organization for Standardization. Norma ISO 2768. Conglomerado. 2p

Organization for Standardization. Norma ISO 286. Conglomerado. 48p.

ANEXOS.

General Tolerances to DIN ISO 2768

- The latest DIN standard sheet version applies to all parts made to DIN standards.
- Variations on dimensions without tolerance values are according to "DIN ISO 2768- mk".

GENERAL TOLERANCES FOR LINEAR AND ANGULAR DIMENSIONS (DIN ISO 2768 T1)

LINEAR DIMENSIONS:

Permissible deviations in mm for ranges in nominal lengths	f (fine)	Tolerance class designation (description)		v (very coarse)
		m (medium)	c (coarse)	
0.5 up to 3	±0.05	±0.1	±0.2	-
over 3 up to 6	±0.05	±0.1	±0.3	±0.5
over 6 up to 30	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0
over 30 up to 120	±0.15	±0.3	±0.8	±1.5
over 120 up to 400	±0.2	±0.5	±1.2	±2.5
over 400 up to 1000	±0.3	±0.8	±2.0	±4.0
over 1000 up to 2000	±0.5	±1.2	±3.0	±6.0
over 2000 up to 4000	-	±2.0	±4.0	±8.0

EXTERNAL RADIUS AND CHAMFER HEIGHTS

Permissible deviations in mm for ranges in nominal lengths	f (fine)	Tolerance class designation (description)		v (very coarse)
		m (middle)	c (coarse)	
0.5 up to 3	±0.2	±0.2	±0.4	±0.4
over 3 up to 6	±0.5	±0.5	±1.0	±1.0
over 6	±1.0	±1.0	±2.0	±2.0

ANGULAR DIMENSIONS

Permissible deviations in degrees and minutes for ranges in nominal lengths	f (fine)	Tolerance class designation (description)		v (very coarse)
		m (middle)	c (coarse)	
up to 10	±1°	±1°	±1°30'	±3°
over 10 up to 50	±0°30'	±0°30'	±1°	±2°
over 50 up to 120	±0°20'	±0°20'	±0°30'	±1°
over 120 up to 400	±0°10'	±0°10'	±0°15'	±0°30'
over 400	±0°5'	±0°5'	±0°10'	±0°20'

GENERAL TOLERANCES FOR FORM AND POSITION (DIN ISO 2768 T2)

STRAIGHTNESS AND FLATNESS

Ranges in nominal lengths in mm	Tolerance class		
	H	K	L
up to 10	0.02	0.05	0.1
over 10 up to 30	0.05	0.1	0.2
over 30 up to 100	0.1	0.2	0.4
over 100 up to 300	0.2	0.4	0.8
over 300 up to 1000	0.3	0.6	1.2
over 1000 up to 3000	0.4	0.8	1.6

PERPENDICULARITY

Ranges in nominal lengths in mm	Tolerance class		
	H	K	L
up to 100	0.2	0.4	0.6
over 100 up to 300	0.3	0.6	1
over 300 up to 1000	0.4	0.8	1.5
over 1000 up to 3000	0.5	0.8	2

SYMMETRY

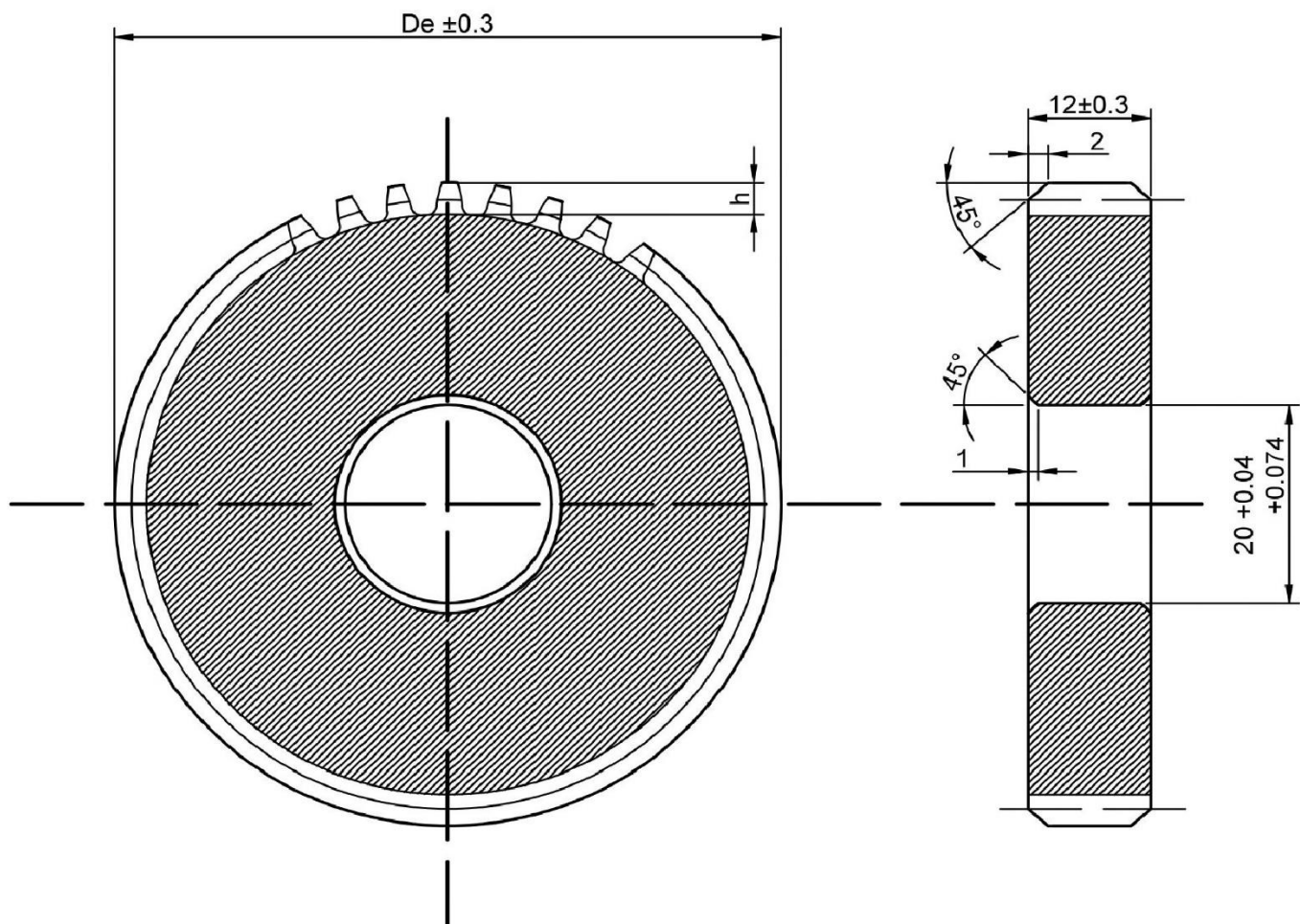
Ranges in nominal lengths in mm	Tolerance class		
	H	K	L
up to 100	0.5	0.6	0.6
over 100 up to 300	0.5	0.6	1
over 300 up to 1000	0.5	0.8	1.5
over 1000 up to 3000	0.5	1	2

RUN-OUT

Tolerance class		
H	K	L
0.1	0.2	0.5

Table 1 — Values of standard tolerance grades for nominal sizes up to 3 150 mm

Nominal size mm		Standard tolerance grades																			
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
Above	Up to and includ- ing	Standard tolerance values																			
		μm										mm									
—	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4
3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
120	180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3
180	250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2
250	315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,5	4	6,3	9,7
500	630			9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11
630	800			10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8	12,5
800	1 000			11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14
1 000	1 250			13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5
1 250	1 600			15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5
1 600	2 000			18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23
2 000	2 500			22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1 100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28
2 500	3 150			26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1 350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33



Numero de dientes (Z)	Diámetro exterior (De)
23	37.5
29	46.5
31	49.5
37	58.5
41	64.5
43	67.5
47	73.5
53	82.5
59	91.5
61	94.5

Modulo (M)	Altura del diente (h)
1.5	3.24

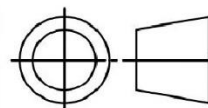
	Nombre	Fecha
Dibujo		
Reviso		
Aprobo		

Plano:

Mecanizado rueda dentada.

Proyecto:

Trabajo de titulo.



Unidades:
mm

Hoja
1 de 1

