

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA HERRAMIENTA PARA EL MONTAJE DE UN CLAVO INTRAMEDULAR EN FRACTURAS DEL PRIMER HUESO METACARPIANO

Presentado ante la Ilustre

Universidad Central de Venezuela

Por el Br. González C. Yomar A.

Para optar al título de Ingeniero Mecánico

Caracas, 2001

A la Ilustre Universidad Central de Venezuela por ser forjadora de cultura y profesionalismo.

A mi tutor académico, Prof. Othman Falcón, por ser un excelente guía durante el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado.

A la Ing. Gabriela Contreras, por darme la oportunidad de conocer y de ser parte de las labores de investigación en el CeBio, y por su colaboración en la ejecución de este proyecto.

Al Doctor José Bendayán por aportar los conocimientos médicos necesarios durante el desarrollo de este trabajo.

A los ingenieros Vladimir Delgado y Wilmer Carrero, por su valiosa ayuda en la fabricación de la herramienta.

Al Prof. Miguel Cerrolaza, por apoyar activamente mi participación como asistente de investigación en las labores de investigación del CeBio.

A los Doctores Daniel Bravo y César González.

Al prof. Juan Carlos Mestre de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Al C.D.C.H., organismo sin el cual no hubiera sido posible estimular el desarrollo de este Trabajo de Grado.

A todos los que laboran en el Centro de Bioingeniería, por su apoyo y compañerismo.

A los Ingenieros Carolina Medrano y Luis Echarri, por su valiosa ayuda.

A todos mis amigos... Luis Marani, Irluz, Isbel, Rocio, Reinaldo, Elkin, Franyelly, Nora, Rocco, Gabriel Castellanos, Joan Martinez, Raul Contreras, Victor, Maira, Liliana, Ibis, Leguis, Eduardo, Jesus, Raúl, Luisa y Marta.

En general a todas aquellas personas, que colaboraron desinteresadamente aportando un grano de arena en el desarrollo de este trabajo.

GONZÁLEZ C. YOMAR A.

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA HERRAMIENTA PARA EL MONTAJE DE UN
CLAVO INTRAMEDULAR EN FRACTURAS DEL PRIMER HUESO
METACARPIANO**

Tutor Académico: Prof. Othman Falcón. Tesis. Caracas, U.C.V.
Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica. 2001. **141 Páginas.**

Asesores:

Dr. José Bendayán. Unidad Clínica Quirúrgica Nueva Caracas.
Ing. Gabriela Contreras, Facultad de Ingeniería, Centro de Bioingeniería (I.M.M.E.)

Biomecánica, Fractura diafisarias, Huesos metacarpianos, Diseño de piezas, Mecanizado.

El objetivo del presente trabajo fue diseñar y construir un prototipo de una herramienta para facilitar la inserción y posterior bloqueo (proximal y distal) de un clavo intramedular a utilizarse en cirugías cuyo objetivo principal sea reducir y estabilizar fracturas diafisarias en el primer hueso metacarpiano. El sistema clavo-herramienta, es un diseño innovador, único en su tipo, pensado y creado con la finalidad de ofrecer un tratamiento eficaz que logre un equilibrio entre la necesidad de una función efectiva de la mano y un aspecto lo más normal posible de la misma con un tiempo total de incapacidad relativamente corto.

El prototipo de herramienta desarrollado está formado por cuatro piezas que acopladas proporcionan un medio funcional para el manejo del clavo. Por un lado tenemos el mango de inserción, las guías cilíndricas y el conector, construidas en acero AISI 420 y por otro el mango direccional, fabricado en una aleación de aluminio fundido A356.

Por la configuración geométrica de las partes del instrumental fue necesario establecer operaciones de maquinado tanto en el torno manual como en el centro de mecanizado cuyas secuencias y parámetros de corte permitieron la manufactura del modelo final propuesto. Adicional a esto, también fue imprescindible realizar ensayos experimentales que validaran el diseño y la funcionalidad del instrumento en cuestión.

Página

1 INTRODUCCIÓN

<i>1.1 Planteamiento del problema</i>	1
<i>1.2 Justificación y viabilidad</i>	2
<i>1.3 Objetivos y alcances</i>	5
<i>1.4 Organización del trabajo</i>	6

2 LA MANO: SU FUNCIÓN Y ANATOMÍA

<i>2.1 Introducción</i>	8
<i>2.2 Anatomía de la mano</i>	9
<i>2.3 Estructura ósea de la mano</i>	11
<i>2.4 Función de la mano</i>	12
2.4.1 El pulgar	12
<i>2.5 El metacarpiano del pulgar: sus articulaciones, músculos y ligamentos principales</i>	14
2.5.1 Descripción	14
2.5.2 Sus articulaciones	15
2.5.3 Sus músculos y ligamentos principales	16
<i>2.6 Fracturas del metacarpiano del pulgar</i>	19
	Página
2.6.1 Fractura de la diáfisis metacarpiana	20
Fracturas oblicuas	21
Fracturas transversas	21
Fracturas conminutas	22
<i>2.7 Principios de la fijación intramedular</i>	23
<i>2.8 Sistemas de tratamiento existentes para fracturas en los huesos metacarpianos</i>	24

2.9	<i>Principales herramientas existentes en el mercado para el manejo de clavos intramedulares</i>	25
	Sistema Polarus	25
	Fémur Finder™ (spade Tip Guide Wire)	26
	Martillo guía	26
	Guía para la inserción de clavos universales de tibia y fémur	27
3	DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ENSAYO “IN VITRO” DEL PRIMER PROTOTIPO	
3.1	<i>Restricciones de diseño</i>	28
3.1.1	Características esenciales del sistema intramedular para la concepción geométrica de la herramienta	30
3.2	<i>Criterios de diseño para la herramienta</i>	31
3.3	<i>Funciones y características de la herramienta para la colocación del sistema intramedular bloqueado</i>	31
3.4	<i>Geometría del prototipo de la herramienta</i>	33
3.4.1	Modelos de herramientas comerciales	33
3.4.2	Modelado en 3D del primer prototipo	35
	Partes esenciales que conforman el prototipo	36
3.5	<i>Construcción del primer prototipo de la herramienta</i>	37
3.5.1	Elaboración del conector entre el clavo y la herramienta	38
		Página
3.5.2	Elaboración del mango direccional	38
3.5.3	Fabricación del mango de inserción	39
3.6	<i>Primer ensayo experimental</i>	39
3.6.1	Parámetro a evaluar	40
3.6.2	Materiales necesarios	40
3.6.3	Descripción del primer ensayo	40

3.6.4 Resultados obtenidos	42
3.6.5 Recomendaciones	43
3.7 <i>Reingeniería del prototipo</i>	44
3.7.1 Cambio en el diseño	45

4 MATERIALES, PROCESOS DE FABRICACIÓN Y TRATAMIENTO TÉRMICO

4.1 <i>Selección de materiales</i>	47
4.1.1 Acero AISI 420	48
Aplicaciones	48
Aceros inoxidables martensíticos: Propiedades físicas y características mecánicas	49
Resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables	52
4.1.2 Aluminio	52
Características y aplicaciones comparativas de la aleación de aluminio 6063	54
Propiedades mecánicas de la aleación de aluminio 6063	54
4.1.3 Polypropileno negro	54
4.2 <i>Selección de procesos de fabricación</i>	55
4.2.1 Piezas a fabricar	55
4.2.2 Mecanizado	55
	Página
Mecanizado de los aceros inoxidables	55
Mecanizado del aluminio	58
4.2.3 Herramientas de corte	60
Torno	60
Geometría del borde cortante	60
Fresa	34

Geometría de la fresa	64
Taladrado	66
4.2.4 Valores normativos de corte por diversos autores	68
4.3 <i>Tratamiento térmico</i>	71
4.3.1 El temple y el revenido	71
4.3.2 Estado de entrega del acero AISI 420	77
5 METODOLOGÍA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN Y ENSAYO “IN VITRO” DEL PROTOTIPO FINAL	
5.1 <i>Proceso de Manufactura</i>	79
5.1.1 Mango direccional	80
5.1.2 Conector entre el clavo y la herramienta	92
5.1.3 Eje con punta roscada del mango de inserción	98
5.1.4 Guía cilíndrica para la broca de Ø1.5mm	102
5.1.5 Guía cilíndrica del destornillador	105
5.2 <i>Tratamiento térmico: temple y revenido</i>	109
5.2.1 El temple	109
5.2.2 El revenido	111
5.3 <i>Presentación de las piezas que conforman el prototipo final de la herramienta de inserción</i>	111
	Página
5.4 <i>Ensayo Final “In Vitro”</i>	112
5.4.1 Parámetros a evaluar	112
5.4.2 Materiales necesarios	112
5.4.3 Descripción del ensayo	113
5.4.4 Discusión de resultados	115

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones	117
6.2 Recomendaciones	119

GLOSARIO	121
-----------------	-----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
-----------------------------------	-----

APÉNDICE A: MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS	127
--	-----

APÉNDICE B: PLANOS DE LA HERRAMIENTA	130
---	-----

APÉNDICE C: ANEXOS	137
---------------------------	-----

Capítulo 2		Página
Figura 2.1	Cara palmar de la mano	9
Figura 2.2	Cara dorsal de la mano	9
Figura 2.3	Partes de la mano según su utilización	10
Figura 2.4	Huesos que conforman la mano humana	11
Figura 2.5	Forma de la pinza pulgardigital formada por el pulgar con el dedo índice y meñique respectivamente	13
Figura 2.6	Formación de una prensa de fuerza entre el pulgar y otros dedos de la mano	13
Figura 2.7	Localización adelantada del pulgar con respecto a los otros dedos	13
Figura 2.8	Movimientos de oposición y contraoposición del pulgar	14
Figura 2.9	Vista lateral y palmar del primer hueso metacarpiano	15
Figura 2.10	Esquemización de las articulaciones del primer metacarpiano	16
Figura 2.11	Vista tridimensional de los músculos motores del pulgar, mostrando los ejes teóricos de movimiento de las articulaciones del pulgar	17
Figura 2.12	Vista lateral de la articulación metacarpofalángica	18
Figura 2.13	Vista anterior y posterior de la articulación trapezometacarpiana.	19
Figura 2.14	Ejemplo de una fractura en la diáfisis del cuarto metacarpiano	21
Figura 2.15	Ejemplo de una fractura oblicua en el quinto metacarpiano	22
Figura 2.16	Ejemplo de una fractura transversa en los dos últimos metacarpianos	22
Figura 2.17	Ejemplo de una fractura conminuta en el árbol metacarpiano	22
Figura 2.18	Placas tubulares de fijación interna	24
Figura 2.19	Tornillos interfragmentarios de compresión	24
Figura 2.20	Agujas de Kirschner	24

	Página
Figura 2.21 Sistema Polarus	25
Figura 2.22 Fémur Finder	26
Figura 2.23 Martillo guía	26
Figura 2.24 Guía para la inserción de clavos universales de tibia y femur	27

Capítulo 3

Figura 3.1 Reconstrucción de la geometría tridimensional de la mano a través de tomografías axiales computarizadas	29
Figura 3.2 Modelos del clavo trabajados para la concepción final de la herramienta	29
Figura 3.3 Modelado de parte de la columna osteoarticular del pulgar y simulación geométrica del modelo final del dispositivo insertado en el canal medular del hueso	30
Figura 3.4 Herramienta utilizada para el manejo y colocación de un clavo de acero inoxidable 316L en el canal medular de la tibia	32
Figura 3.5 Forma del extremo proximal de un clavo intramedular para fémur y tibia	33
Figura 3.6 Disposición de la herramienta para la colocación de un clavo humeral sólido	34
Figura 3.7 Disposición de la herramienta para la inserción y bloqueo de un clavo femoral proximal estándar	34
Figura 3.8 Forma del tornillo de cierre de un clavo UNT	35
Figura 3.9 Forma propuesta para la cabeza del primer modelo del clavo	35
Figura 3.10 Modelado en 3D de las piezas de la herramienta	37
Figura 3.11 Proceso de fabricación del conector del mago direccional	38
Figura 3.12 Proceso de fabricación de la empuñadura del mago direccional	39
Figura 3.13 Vista de las piezas elementales que conforman el sistema quirúrgico para el tratamiento de fracturas en el primer hueso metacarpiano	39

	Página
Figura 3.14 Materiales necesarios para la realización del primer ensayo geométrico	40
Figura 3.15 Vista de la cara palmar del esqueleto de la mano derecha	41
Figura 3.16 Simulación esquemática del ángulo para la inserción del dispositivo	41
Figura 3.17 Ensayo geométrico realizado al sistema quirúrgico	42
Figura 3.18 Piezas que conforman el segundo prototipo de la herramienta	45
Figura 3.19 Ensamble del sistema quirúrgico completo (herramienta y clavo intramedular)	46
Figura 3.20 Simulación geométrica de la disposición del sistema quirúrgico con respecto al primer hueso metacarpiano	46

Capítulo 4

Figura 4.1 Diagrama Comparación de maquinabilidad entre: (A) Ferrítica, (B) martensítica, (C) Austenítica y (D) aceros inoxidable duplex	58
Figura 4.2 Sistema de referencia de la herramienta (simplificada) y ángulos importantes	61
Figura 4.3 ángulos de corte en los filos de la fresa	64
Figura 4.4 Designaciones en la broca espiral, según DIN	66
Figura 4.5 Zonas de temperatura de temple para los aceros al carbono	72
Figura 4.6 Representación esquemática de los períodos fundamentales en tres tipos de tratamiento térmico: recocido de regeneración, normalizado y temple de un acero	72
Figura 4.7 Tiempo aproximado que tarda en calentarse el centro de los redondos de acero al carbono al ser introducidos en un horno caliente	74
Figura 4.8 Influencia de la temperatura de temple sobre la dureza Brinell y sobre la resiliencia después de un revenido a 200°C efectuado sobre los aceros martensíticos	77

	Página
Figura 4.9 Curva de revenido correspondiente a 420 con 0.31 % C, 13.12 % Cr	78

Capítulo 5

Figura 5.1 Disposición geométrica del mango direccional en el tocho de aluminio	81
Figura 5.2 Agarre del tocho de aluminio en las mordazas del mandril	81
Figura 5.3 Simulación del proceso de planeado del tocho	82
Figura 5.4 Posicionamiento del tocho en la prensa	87
Figura 5.5 Montaje de la pieza en la prensa para el mecanizado de la cara 5 y 6	88
Figura 5.6 Mecanizado de la pestaña en el mango direccional	89
Figura 5.7 Parte del proceso de fabricación del mango direccional	91
Figura 5.8 Parte del proceso de fabricación del utillaje	96
Figura 5.9 Utillaje diseñado y construido para la fabricación de las entallas del conector	96
Figura 5.10 Montaje del conector en el orificio del cuerpo principal del utillaje	96
Figura 5.11 Parte del proceso de fabricación del conector	97
Figura 5.12 Parte del proceso de fabricación del eje roscado	102
Figura 5.13 Parte del proceso de fabricación de la primera guía cilíndrica	105
Figura 5.14 Parte del proceso de fabricación de la segunda guía cilíndrica	109
Figura 5.15 Horno donde se realizó el tratamiento térmico de las piezas	110
Figura 5.16 Proceso de temple	111
Figura 5.17 Prototipo final de la herramienta para la inserción y bloqueo de un sistema intramedular para el tratamiento de fracturas diafisarias en el primer metacarpiano	111
Figura 5.18 Materiales principales para la realización del ensayo final	112
Figura 5.19 Ensayo In Vitro final	114

Capítulo 4		Página
Tabla 4.1	Propiedades químicas del AISI 420 (% en masa)	49
Tabla 4.2	Clasificación de los Aceros Martensíticos	50
Tabla 4.3	Propiedades físicas de aceros martensíticos con 12-16 % Cr	50
Tabla 4.4	Propiedades químicas de la aleación 6063	53
Tabla 4.5	Propiedades físicas de la aleación de aluminio 6063	54
Tabla 4.6	Valores prácticos para los ángulos de corte en el torneado con herramientas de acero rápido y de metal duro (Extracto de AWF158)	62
Tabla 4.7	Designación de los metales duros	63
Tabla 4.8	Valores normativos para número de dientes y ángulos de corte en fresa	65
Tabla 4.9	Valores normativos para velocidad de corte (v) y avance por diente de la fresa (S_z)	66
Tabla 4.10	Normas para el empleo de los tipos de herramienta N, H, W para el taladrado (extracto de DIN 1414)	67
Tabla 4.11	Velocidades de corte, profundidades de viruta, y avances al emplear herramientas de widia en el torno	38
Tabla 4.12	Velocidades de corte nominales trabajar aleaciones de aluminio en el torno	68
Tabla 4.13	Velocidades de corte y avances para el acero AISI 420	69
Tabla 4.14	Velocidades de corte en metros minutos para trabajar diversos materiales en las maquinas fresadoras utilizando herramientas de widia	69
Tabla 4.15	Velocidades de corte en metros minutos para trabajar diversos materiales en las maquinas-herramientas (valores medios utilizando herramientas de acero rápido 18-20 % W)	69
Tabla 4.16	Velocidades de corte y avances de fresas para el acero AISI 420	70
Tabla 4.17	Velocidades de corte y avances en brocas de taladro	70

Tabla 4.18	Temperaturas de temple para los aceros martensíticos	75
Tabla 4.19	Tratamiento térmico del material	77

Capítulo 5

Tabla 5.1	Valores asumidos para el temple de las piezas construidas en acero inoxidable AISI 420	110
-----------	--	-----



Capítulo 1

Introducción

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Este trabajo de grado tratará en primer lugar de diseñar una herramienta que permita una fácil inserción y el bloqueo de un clavo intramedular cuando se coloca este dispositivo en una cirugía realizada para la reducción y fijación de fracturas diafisarias en el primer hueso metacarpiano. En este estudio se incluye el modelado geométrico tridimensional de las partes de la herramienta.

En segundo lugar se realizará la fabricación de las piezas del instrumento que posteriormente serán ensayadas In Vitro para la optimización final del prototipo.

La idea principal es darle continuidad al diseño de los primeros modelos hechos en el país de un sistema intramedular; es decir, al conjunto dispositivo-instrumental necesarios en quirófano para reducir fracturas diafisarias del primer hueso metacarpiano, de forma que el cirujano pueda realizar una cirugía percutánea que sea rápida, efectiva, y lo menos invasiva posible que permita una movilidad temprana de la mano.

1.2. JUSTIFICACIÓN Y VIABILIDAD

1.2.1. JUSTIFICACIÓN

Son comunes los daños que las personas remiten en los miembros superiores, específicamente al nivel de las manos por las innumerables actividades personales y profesionales en que estas participan bajo un amplio rango de cargas. Para un hueso normal, las cargas que producen fractura son típicamente extremas, a excepción de aquellos con condiciones severas de osteoporosis o ciertas patologías que pueden producir fracturas durante la ejecución de actividades normales e indispensables en la vida diaria. [3]

Las propiedades mecánicas del hueso varían en un amplio margen, que puede ser afectado por la presencia de ciertos procesos patológicos que alteran dichas propiedades. Cuando se produce una fractura, comienza luego una serie de eventos complejos tanto biológicos como biomecánicos dirigidos hacia la reparación y restauración de las funciones del mismo. [3]

Los progresos alcanzados, están dirigidos a entender, controlar y reforzar los aspectos biológicos de curación de la fractura. El entorno mecánico siempre será un elemento crucial en la sanación de esta lesión, con fuertes interacciones con los factores biológicos. El manejo clínico de las fracturas debe influenciar estos dos elementos para que la capacidad original de soporte de carga del hueso se restaure tan rápidamente como sea posible; la proporción en que dicha capacidad es restaurada está estrechamente ligada con el método de estabilización de la fractura. [3]

Si una fractura no es tratada con la técnica adecuada, puede originar incapacidad en el paciente; ejemplo de esto lo constituyen las fracturas en los huesos metacarpianos a la altura de la diáfisis. En la actualidad la ausencia de dispositivos en el mercado adecuados para el tratamiento de este tipo de lesiones trae como consecuencia que muchos pacientes pierdan movilidad del miembro durante y después de la fijación con mecanismos existentes tales como agujas de Kirschner que requieren de inmovilización con yeso, lo que ocasiona rigidez en los músculos que a su vez prolonga la

recuperación con tratamientos excesivamente elevados. Esta problemática es de gran importancia porque es un indicativo de que las personas lesionadas pueden ver afectada total o temporalmente su capacidad productiva, con las consecuencias sociales que esto implica.

La biomecánica es un área de la bioingeniería creada para el desarrollo y perfeccionamiento de equipos y herramientas cuya aplicación reduce la dificultad y el tiempo de ejecución de cualquier tratamiento en pacientes con diversas lesiones, y en especial aquellas relacionadas con patologías óseas.

La idea de crear un instrumento versátil en Venezuela, cuya aplicación permita el manejo de un clavo intramedular bloqueado al momento de su colocación para tratamiento en fracturas de los huesos metacarpianos está enmarcado dentro de la evolución del PROYECTO DIGITUS actualmente en ejecución en el Centro de Bioingeniería de la UCV. El principal objetivo de este trabajo es diseñar un sistema intramedular con bloqueo para el tratamiento de algunas fracturas de la mano; entonces se hace necesario diseñar una herramienta que sea sencilla, económica y con la suficiente resistencia para la inserción del clavo en el hueso. Por otra parte, el instrumento debe orientar al cirujano para realizar el bloqueo con los tornillos de fijación que estabilizarán el implante permitiendo la formación y consolidación del callo óseo.

Por las razones expuestas anteriormente, se considera importante la ejecución de este trabajo especial de grado y así tratar de aliviar las carencias de equipos y dispositivos biomédicos en los hospitales venezolanos; bien sea porque aún no existan o por lo costoso de los disponibles procedentes del exterior. Por otra parte es de gran interés sentar precedentes en nuestra universidad para impulsar la investigación dirigida al diseño y creación de nuevas tecnologías que permitan optimizar los beneficios en las distintas áreas donde esta sea aplicada.

1.2.2. VIABILIDAD

Este proyecto se llevará a cabo conjuntamente entre la Escuela de Ingeniería Mecánica y el Centro de Bioingeniería (CeBio) de la Universidad Central de Venezuela, este último es un centro

nacional de investigación que funciona interdisciplinariamente entre médicos traumatólogos del Hospital Universitario y otros hospitales e ingenieros especializados en el diseño de dispositivos biomédicos, que brindan el apoyo necesario para el mejor desarrollo de la investigación.

Para la elaboración de este trabajo de grado se cuenta con los siguientes recursos:

- Equipos.

Estaciones de trabajo de alto rendimiento para la concepción y el diseño de la herramienta a construir.

Taller mecánico dotado de dos tornos semiautomáticos, una fresadora vertical, un Centro de Mecanizado (modelo Bridgeport TORQ-CUT 22) y herramientas varias para la fabricación de los prototipos diseñados.

Laboratorio de Diseño asistido por computador de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

- Recursos bibliográficos.

La biblioteca del Centro de Bioingeniería dispone de una extensa colección de libros de Bioingeniería y métodos numéricos en ingeniería y ciencias aplicadas, también recibe siete títulos de las mejores Revistas Internacionales en bioingeniería, a saber:

- ✓ Journal of Biomechanics
- ✓ American Journal of Artificial Organs
- ✓ Japanese Journal of Artificial Organs
- ✓ Clinical Orthopaedics and Related Research
- ✓ Journal of Biomechanical Engineering (ASME)
- ✓ Journal of Medical Engineering and Technology
- ✓ Journal of Bone and Joint Surgery

Las bibliotecas: Central UCV, IVIC, Escuela de Ingeniería Mecánica y la Central de la Universidad Simón Bolívar, también cuenta con valiosa información y una extensa colección de revistas internacionales en Biomecánica entre otros.

- Software

La simulación geométrica será realizada con los mas actuales programas especializados en el modelado y parametrización dimensional en 2D y 3D. Como por ejemplo ProEngineer y Mechanical Desktop entre otros.

- Recursos docentes

Se cuenta con el apoyo y asistencia de los profesores del Departamento de Tecnología y Diseño de la Escuela de Ingeniería mecánica, del personal de investigación del Centro de Bioingeniería y de los técnicos del taller de mecanizado del CeBio y de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

1.3. OBJETIVOS Y ALCANCES

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseño y manufactura de una herramienta y demás accesorios para la colocación y el bloqueo de un sistema intramedular en fracturas diafisarias del primer hueso metacarpiano.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener información de los requerimientos específicos que se espera cumpla la herramienta al momento de su aplicación.
- Recopilar información técnica de herramientas para clavos intramedulares existentes en el mercado.

- Comparar las características de diseño y de ergonomía entre los diferentes sistemas encontrados.
- Establecer los parámetros y aspectos importantes por los cuales se regirá el diseño de la herramienta.
- Estudio de las posibles solicitaciones bajo las cuales estará sometida la herramienta durante su uso.
- Modelar la herramienta mediante un sistema computacional en 3D.
- Estudio y selección de materiales.
- Diseño del proceso para la fabricación de la herramienta.
- Pruebas In Vitro.

1.3.3. ALCANCES

- Diseñar las partes de la herramienta.
- Modelar la herramienta en 3D.
- Construir un prototipo.
- Validar el dispositivo construido con pruebas In Vitro.
- Diseñar el proceso de fabricación del modelo final del instrumento.
- Construcción del modelo final.

1.4. ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

El trabajo que a continuación se presenta está estructurado en seis capítulos. En el capítulo 2 se hace una descripción simple de la anatomía y función de la mano, con el objeto de entender la complejidad de su estructura y el impacto que ocasiona en los seres humanos la pérdida de la funcionalidad temporal o total de este “órgano de ejecución” a consecuencia de una fractura. También se presentan las lesiones más comunes sufridas por los huesos metacarpianos haciendo énfasis en la fractura ocurrida a nivel de la diáfisis, por ser allí donde se centra el estudio del sistema intramedular para el cual fue creada la herramienta. Para finalizar se incluyó como antecedente,

algunos de los instrumentales de inserción más importantes que existen en el mercado para la colocación de clavos intramedulares.

El capítulo 3 tratará del seguimiento realizado para la concepción definitiva del instrumento, desde el diseño y construcción de un primer modelo hasta el ensayo In Vitro realizado para la validación geométrica del mismo, cuyos resultados permitieron la optimización de las dimensiones y características del prototipo final propuesto.

En el capítulo 4 se hace un análisis para la selección del material con los cuales se fabricaron las partes de la herramienta, mediante el estudio de las propiedades mecánicas y físico-químicas requeridas en el diseño y de las aplicaciones más frecuentes de dichos materiales. Seguidamente se plantea el proceso de manufactura para la fabricación de las piezas que conforman el instrumental donde se describe en forma detallada, los parámetros técnicos teóricos tomados como referencia para la ejecución de dichos procesos en taller.

En el contexto de este capítulo también se presenta un marco teórico relacionado con el tema de “tratamiento térmico”, aquí se destacan los datos de referencia utilizados para la ejecución del tratamiento más adecuado que conlleve al mejoramiento de ciertas propiedades en algunas piezas del instrumental de inserción.

El capítulo 5 proporciona información acerca de la secuencia de manufactura y parámetros de maquinado utilizados en ella, para la obtención física de las piezas que conforman la herramienta. Así mismo se hace una descripción del ensayo In Vitro realizado al conjunto clavo-herramienta simulando el proceso de colocación y bloqueo del dispositivo de fijación en una cirugía; para comprobar la efectividad del diseño del modelo propuesto.

Finalmente, el capítulo 6 contiene las conclusiones y recomendaciones obtenidas después del análisis de los resultados arrojados en los ensayos In Vitro realizados al instrumental de inserción.



Capítulo 2

La mano: su función y anatomía

Este capítulo fue estructurado de manera que se pueda entender la necesidad de crear dispositivos e instrumental quirúrgico para el tratamiento de lesiones en los huesos de la mano, especialmente aquellas relacionadas con fracturas a nivel de la diáfisis del primer metacarpiano; mediante la descripción de la estructura e importancia funcional de esta extremidad. Por otro lado, se habla brevemente de los sistemas más utilizados que existen en el mercado para la curación de este tipo de patología ósea, así como de algunas de las herramientas creadas para la colocación de clavos intramedulares bloqueados.

2.1. INTRODUCCIÓN

La mano del hombre esta dotada de una gran riqueza funcional que le proporciona un gran número de posibilidades en las posiciones, los movimientos y las acciones. Ella representa la extremidad efectora del miembro superior que constituye su soporte y le permite adoptar la posición más favorable para una acción determinada. Sin embargo, la mano no es tan solo un órgano de ejecución, sino que también es un receptor sensorial extremadamente sensible y preciso cuyos datos son imprescindibles para su propia función. También es la educadora de la vista, a la que

facilita la valorización y la interpretación de las informaciones. Sin la mano, nuestra visión del mundo sería plana y sin relieves. [1]

Las fracturas de la mano son sumamente comunes. Debido a la importancia intrínseca de su función, es primordial para el cirujano ortopédico estabilizar la fractura previniendo su rotación por consideraciones funcionales y estéticas. Así un tratamiento será eficaz cuando se logra el equilibrio entre la necesidad de una función efectiva y el aspecto normal de la mano. A su vez, un dedo rígido paralizado que obligue a efectuar movimientos torpes con la mano puede ser más penoso para el paciente que si el dedo hubiese sido amputado. Por lo tanto, el objetivo del tratamiento de la fracturas en los metacarpianos, aparte de la preservación de los arcos longitudinales y transversos y prevención contra deformidad rotatoria, será el de ofrecer un aspecto lo mas normal posible de la mano con un tiempo total de incapacidad relativamente corto. [9]

2.2. ANATOMÍA DE LA MANO

Según su topografía la mano contiene dos caras: La palmar y la dorsal. [1]

La cara palmar (fig. 2.1), o anterior de la mano consta de dos partes, la palma y la cara palmar de los dedos.

La cara dorsal (fig.2.2), o posterior de la mano también comprende dos regiones, el dorso de la mano y la cara dorsal de los dedos.



Fig. 2.1 Cara palmar de la mano



Fig. 2.2. Cara dorsal de la mano

La anatomía funcional (fig. 2.3) permite dividir la mano en tres partes según su utilización:

- El **pulgar (I)** que representa por sí solo la casi totalidad de las funciones de la mano, gracias a su facultad de oposición en relación a los otros dedos; está situado en la base del borde externo de la mano.
- El **índice** y el **medio (II)** que constituyen junto con el pulgar las presas de precisión, las pinzas del pulgar con los dedos, bidigitales o tridigitales.
- El **anular** y el **meñique (III)** que, con el resto de la mano, son indispensables para las presas palmares, ya que bloquean las presas de los mangos de las herramientas por el lado cubital asegurando de esta forma la firmeza del puño.

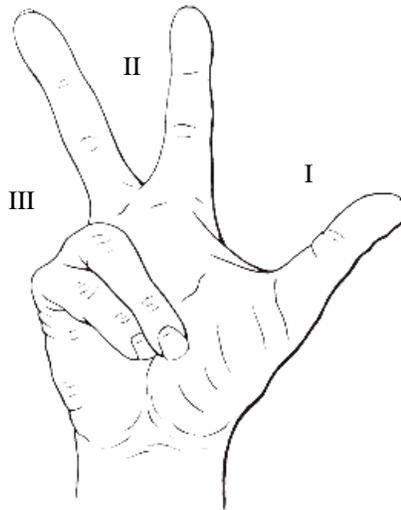


Fig. 2.3 Partes de la mano según su utilización.

2.3. ESTRUCTURA ÓSEA DE LA MANO

La mano está compuesta por veintisiete huesos y mas de veinte articulaciones, mientras que su acción requiere el uso de treinta y tres músculos distintos, que hacen posible su funcionamiento.

Los veintisiete huesos de la mano forman tres grupos (fig. 2.4):

- Los huesos del carpo, dispuestos en número de ocho en dos filas de cuatro huesos cada una.
- Los cinco metacarpianos que se cuentan a partir del pulgar.
- Las catorce falanges son de forma muy irregular, están dispuestos en tres filas de las cuales las filas proximal y distal constan de cinco huesos, mientras que en la segunda tiene cuatro porque en dicha falange falta el pulgar.

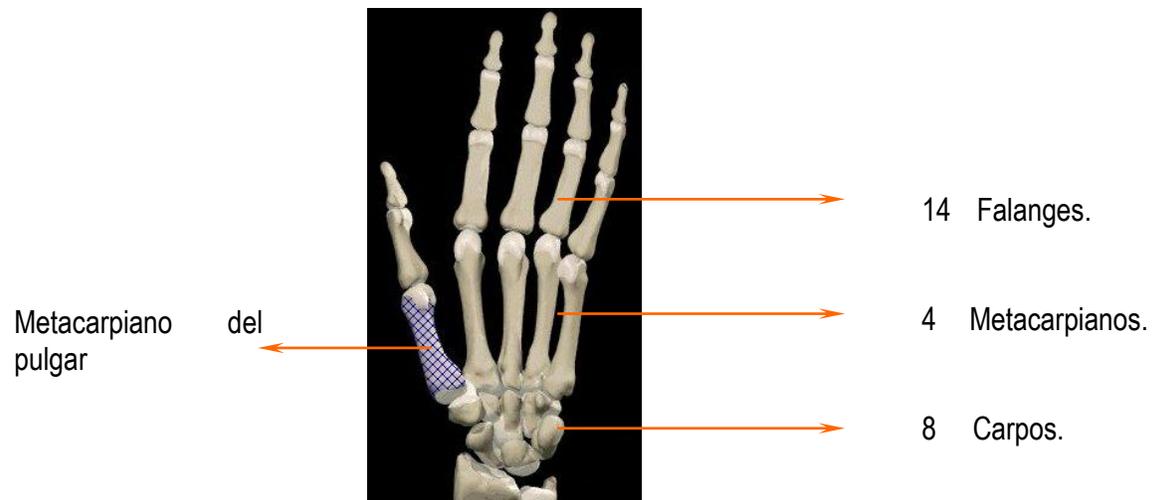


Fig. 2.4 Huesos que conforman la mano humana

2.4. FUNCIÓN DE LA MANO

La mano es un instrumento de compleja organización anatómica y funcional capaz de ejecutar acciones innumerables gracias a su función especial: La prensión, sin embargo, no existe un solo tipo de presión, sino varios que se clasifican en tres grandes grupos: las presas propiamente dichas, las presas con la gravedad y las presas con acción. Esto no resume todas las posibilidades de acción de la mano: además de la presión, también puede realizar percusiones, contacto, y expresión gestual. [1]

Todas las presas tienen un punto en común: la necesidad del movimiento del pulgar para ser ejecutadas, por lo tanto *cualquier trauma que restrinja la capacidad funcional de los huesos y articulaciones que conforman al pulgar, trae como consecuencia la pérdida casi total de las acciones de la mano.*

2.4.1. EL PULGAR

El pulgar ocupa una posición y desempeña una función aparte en la mano puesto que es indispensable para realizar las pinzas pulgardigitales (ver fig. 2.5) con cada uno de los restantes dedos, y en particular con el índice, y también para la constitución de una prensa de fuerza con los otros cuatro dedos (ver fig. 2.6). También puede participar en acciones asociadas a las prensas que conciernen a la propia mano [1]. *Sin el pulgar, la mano pierde la mayor parte de sus posibilidades hasta el punto que las intervenciones quirúrgicas complejas plantean su reconstrucción partiendo de los elementos restantes: se trata de las operaciones de pulgarización de un dedo y en la actualidad de trasplante.*

El pulgar debe esta función eminente, por una parte, a su localización por delante tanto de la palma de la mano como de los otros dedos (ver fig. 2.7) que le permite, en el movimiento de oposición, dirigirse hacia los otros dedos, de forma aislada o global, o separarse por el movimiento de contraoposición para relajar la presa. El movimiento de oposición no es único sino que existe toda una gama de oposiciones que realizan gran variedad de presas y de acciones según el número de

dedos implicados y su modalidad de asociación. Por otra parte, el pulgar debe su función a la gran flexibilidad funcional que le proporciona la organización tan peculiar de su columna articular y de sus motores musculares.



Fig. 2.5 Forma de la pinza pulgardigital formada por el pulgar con el dedo índice y meñique respectivamente.

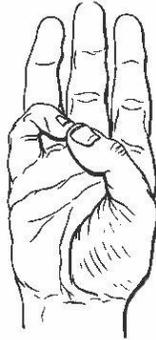


Fig. 2.6 Formación de una prensa de fuerza con los otros dedos de la mano.

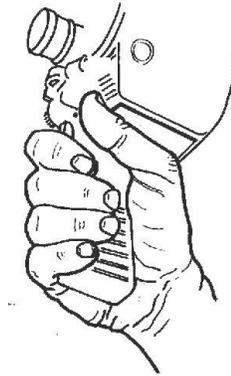


Fig. 2.7 Localización adelantada del pulgar con respecto a los otros dedos.

Para comprender la gran variedad de acciones que ameritan del uso del pulgar, es necesario describir brevemente los principales movimientos del mismo.

La oposición es el principal movimiento del pulgar: es la facultad de desplazar el pulpejo del pulgar en contacto con el pulpejo de uno de los otros cuatro dedos para constituir una pinza pulgardigital. Por lo tanto, no existe una única oposición sino toda una gama de oposiciones que realizan una gran variedad de presas y de acciones según el número de dedos implicados y su modalidad de asociación. La contraoposición es el movimiento contrario al de oposición. [1]

Desde el punto de vista mecánico, la oposición es un movimiento complejo que asocia, en diversos grados, tres componentes: La anteposición, la flexión y la pronación. La anteposición, es el movimiento que desplaza el pulgar por delante del plano de la palma de la mano, la flexión desplaza toda la columna del pulgar hacia dentro, éste es el motivo por el cual se le denomina aducción en la terminología clásica, la pronación se puede definir como el cambio de actitud de la última falange del pulgar que “mira” en direcciones distintas según su grado de rotación sobre su eje longitudinal. [1]

Todos los tipos de oposición están incluidos en el interior de un sector cónico cuyo vértice se localiza en la articulación trapezometacarpiana.

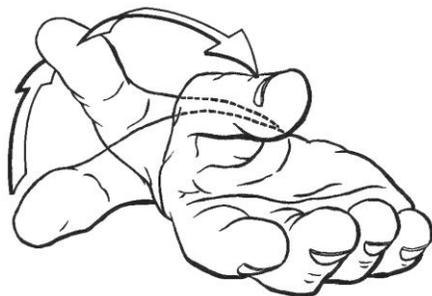


Fig. 2.8 Movimientos de oposición y contraoposición del pulgar

Una vez comprendida la importancia del pulgar para la ejecución de las funciones principales de la mano, es necesario enfocar el estudio hacia el primer árbol metacarpiano, sus articulaciones, ligamentos y músculos motores principales; con el objeto de argumentar la forma y procedimiento de inserción del clavo intramedular debido a la necesidad de una cirugía lo menos invasiva posible, es decir, que no comprometa en ningún momento la integridad de tejidos y estructuras óseas adyacentes a la zona lesionada y que son tan imprescindibles para el correcto funcionamiento de la columna osteoarticular del pulgar .

2.5. EL METACARPIANO DEL PULGAR: SUS ARTICULACIONES, MUSCULOS Y LIGAMENTOS PRINCIPALES

2.4.1 DESCRIPCIÓN.

El primer metacarpiano es un hueso largo, de reducida dimensión, en el cual se distingue una diáfisis o cuerpo (corpus) y dos epífisis, una proximal o superior, denominada base (basis), y otra distal o inferior, denominada cabeza (capitalum). El hueso en conjunto es ligeramente convexo hacia el dorso de la mano. (fig. 2.9)

El cuerpo es de sección prismático triangular, con una cara que mira en dirección dorsal y las otras dos dirigidas la una hacia delante y adentro y hacia delante y afuera la otra.

La extremidad superior o base esta algo ensanchada, presentando en su superficie proximal o superior una cara articulada con los huesos de la segunda fila del carpo y, además, en los cuatro últimos dedos, otras dos pequeñas caras, una externa o radial y otra interna o cubital, para la articulación con los metacarpianos vecinos. La base del primer metacarpiano tiene su extremidad superior una superficie articular en forma de silla de montar para el hueso trapecio, no presentando en cambio caras laterales.

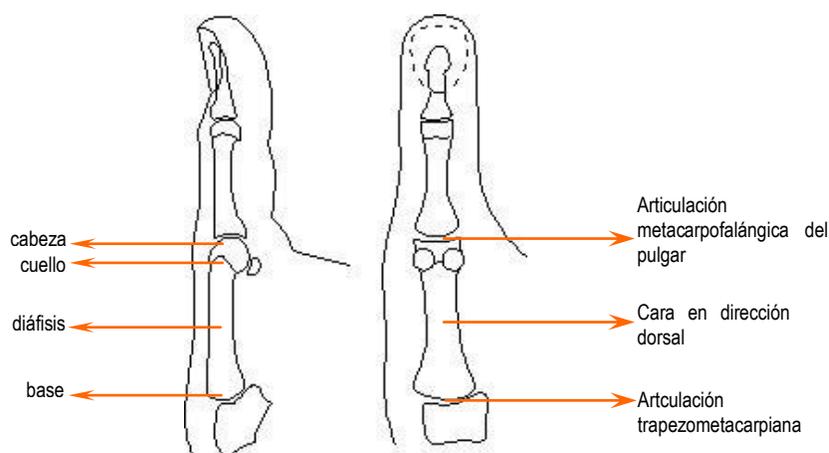


Fig. 2.9 Vista lateral y palmar del primer hueso metacarpiano.

2.5.2. SUS ARTICULACIONES.

- **Articulación metacarpofalángica:** Esta articulación posee una cápsula, un ligamento palmar y dos ligamentos colaterales. es una articulación en bisagra capaz solamente de flexión y extensión a través de 90 grados aproximadamente. La fisiología tan particular de la metacarpofalángica del pulgar y de sus músculos motores se adapta notoriamente a la función de presión. [1]

- Articulación trapezometacarpiana: Esta articulación atípica se localiza en la base de la columna móvil del pulgar permitiendo un movimiento extenso y único y desempeña un papel primordial puesto que asegura su orientación y participa de manera preponderante en el mecanismo de la oposición. La articulación trapezometacarpiana trabaja en compresión, semejante a un pivote permitiendo así orientar el primer metacarpiano en todas las direcciones del espacio, modificando la tensión de los músculos tenares. [1]

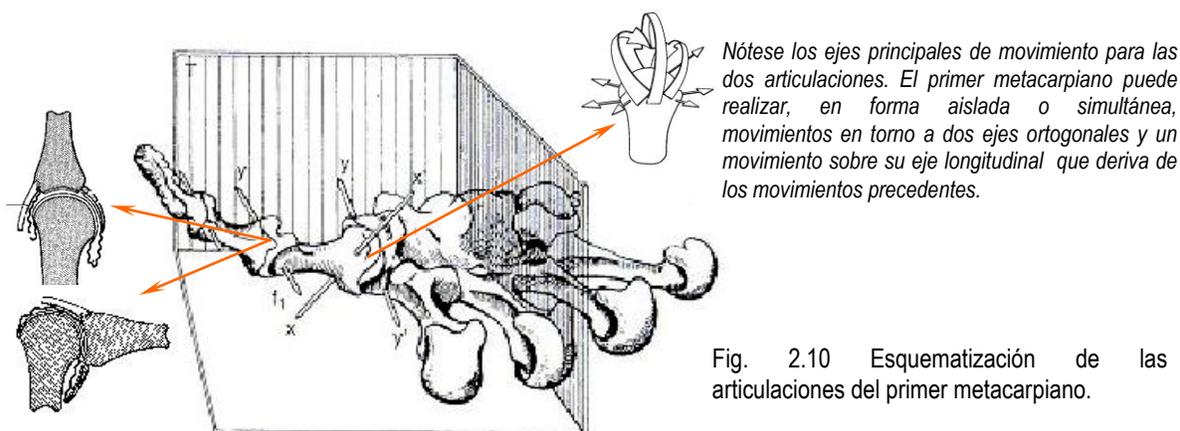


Fig. 2.10 Esquematación de las articulaciones del primer metacarpiano.

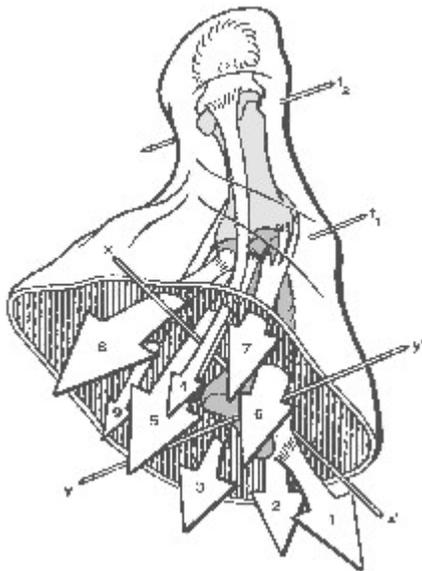
2.5.3. SUS MÚSCULOS Y LIGAMENTOS PRINCIPALES.

El pulgar posee nueve músculos motores, que sobrepasa con claridad a la de los otros dedos, condiciona la movilidad superior y la principal función de este dedo. [1]

Estos músculos se clasifican en dos grupos (fig. 2.11):

- Los músculos extrínsecos, o músculos largos, son cuatro y se localizan en el antebrazo. Tres son abductores y extensores y se utilizan para relajar la presa, el último es flexor y su potencia se utiliza para el bloque de las presas de fuerza.
- Los músculos intrínsecos, incluidos en la eminencia tenar y el primer espacio interóseo, son cinco y se clasifican a su vez en dos subgrupos: el externo y el interno. Participan en la

realización de distintas presas y en particular en la oposición. No se trata de motores de potencia sino más bien de precisión y coordinación. [1]



Leyenda

- (1) Músculo abductor largo de fuerte acción de extensión sobre el primer metacarpiano, localizado en la proximidad inmediata del eje XX' y por detrás del eje YY'.

Situados por detrás del eje XX' y por detrás del eje YY', tenemos:

- (2) Tendón extensor corto, paralelo al anterior.
- (3) Tendón extensor largo.

Localizados por delante del eje YY' y por detrás del eje XX', tenemos:

- (8) El aductor.
- (9) El primer interóseo palmar (cuando existe).

Estos dos músculos producen una retroposición asociada a una ligera flexión en la trapezometacarpiana y aproximan el primer metacarpiano al segundo.

Situados por delante de los ejes XX' y YY', están los principales músculos de la oposición, ya que realizan a la vez una flexión y una anteposición del primer metacarpiano :

- (6) El oponente.
- (7) El abductor corto.

En lo relativo a los dos últimos:

- (10) El flexor largo propio del pulgar y,
- (11) El flexor corto, constituido por dos haces; uno se fija en el fondo de la corredera carpiana y el otro en el borde inferior del ligamento anular.

Estos músculos se sitúan en el eje XX' y por lo tanto, son flexores puros de la trapezometacarpiana.

Fig. 2.11 Vista tridimensional de los músculos motores del pulgar, mostrando los ejes teóricos de movimiento de las articulaciones del pulgar.

- Ligamentos laterales de la metacarpofalángica: Se integran en un aparato fibroso más complejo que suspende y “centra” los tendones extensores y flexores.

En la figura, se pueden observar los siguientes tendones: (1) el extensor común, (2) los flexores y el profundo, (3) el superficial. En cuanto a los ligamentos tenemos: (4) ligamento lateral, ubicado en el tubérculo lateral de la cabeza metacarpiana, (5) el ligamento transversal intermetacarpiano, sus fibras se extienden de un borde a otro de la mano, a la altura de las articulaciones metacarpofalángicas.

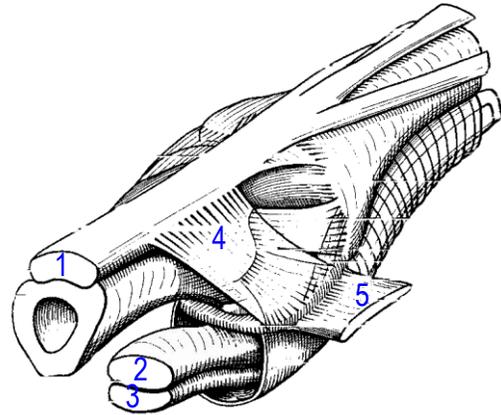


Fig. 2.12 Vista lateral de la articulación metacarpofalángica

- Ligamentos de la trapezometacarpiana: Dirigen el movimiento y aseguran, según su grado de tensión, la coaptación en cada posición.

El ligamento intermetacarpiano (LIM), se extiende desde la base del primer y segundo metacarpiano. El ligamento oblicuo posterointerno (LOPI), el cual envuelve a modo de corbata la articulación por detrás. El ligamento anterointerno (LOAI), cruza la cara anterior de la articulación enrollándose en sentido inverso al precedente. El ligamento recto anteroexterno (LRAE), se extiende directamente entre el trapecio y la base del primer metacarpiano hasta la cara anteroexterna de la articulación.

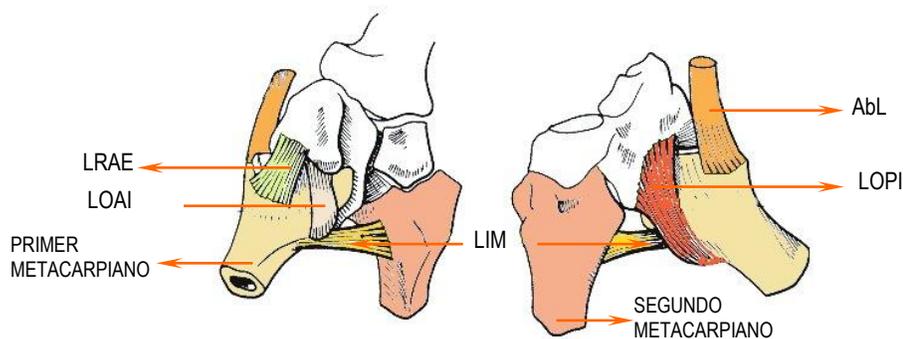


Fig. 2.13 Vista anterior y posterior de la articulación trapezometacarpiana. En la figura se muestra la descripción de los ligamentos hecha por J.Y. de la Caffinière (1970).

En esta parte del capítulo se habla brevemente de la fractura diafisaria del árbol metacarpiano. El enfoque dado abarca desde la descripción de la lesión hasta la indicación de los casos en que la fijación interna puede ser usada como método de tratamiento para este tipo de fracturas. La idea es entender como esta lesión puede impedir la movilidad de la mano y así poder argumentar la imperiosa necesidad de crear dispositivos intramedulares adecuados para la curación y consolidación de fracturas a nivel de la diáfisis.

2.6. FRACTURAS DEL METACARPIANO DEL PULGAR

Las fracturas de los huesos metacarpianos ocurren como resultado de algún trauma directo en la mano. El tratamiento por lo general intenta restablecer la anatomía normal, pero cuando esto no es posible, el objetivo debe ser el recuperar la máxima funcionalidad del pulgar. [3]

La integridad de la primera articulación carpometacarpiana es mucho más importante que la de cualquier otra articulación para la función del pulgar, y por tanto de toda la mano. A menos que se reduzcan con exactitud las fracturas metacarpianas que afecten esta articulación, pueden causar limitación de la movilidad, dolor y debilidad de las funciones de pinza y presión de la mano.

Las fracturas de los metacarpianos representan un importante porcentaje del total de casos traumatológicos que se atienden en la emergencia del Hospital Leopoldo Manrique Terreo de Coche (Caracas). Muchas de estas fracturas son inestables presentando además, desplazamientos, angulaciones y rotaciones que de no ser tratadas en forma adecuada según el caso, reducción abierta o cerrada, y/o fijación interna o externa, puede quedar como secuelas, inestabilidades, consolidación viciosa y rotaciones incapacitantes. El metacarpiano del pulgar es asiento de fracturas de especial consideración con respecto a los demás dedos . [7]

Existen tres grupos importantes de fracturas que ocurren en los huesos metacarpianos: Las fracturas diafisarias, de Bennet y de Rolando.

2.6.1. FRACTURA DE LA DIÁFISIS METACARPIANA (fig. 2.14).

Las fracturas de la diáfisis metacarpiana son resultado de un traumatismo directo o indirecto. En ellas, la angulación dorsal de los fragmentos fracturados es secundaria a las fuerzas ejercidas por el músculo interóseo.

Las fracturas no desplazadas del tercio medio de la diáfisis suele tratarse mejor con métodos cerrados, pero cuando existen fracturas desplazadas (incluyendo las articulares), se indica la reducción y fijación interna. Lograr una alineación rotacional correcta es el factor mas importante durante la reducción. Así mismo, las fracturas desplazadas de la diáfisis metacarpiana son susceptibles de fijación percutánea con un clavo longitudinal o también fijando el metacarpiano fracturado a un metacarpiano adyacente con clavos percutáneos. [10]

En el manejo de este tipo de fracturas se presentan comúnmente tres importantes problemas potenciales: acortamiento, angulación dorsal y el mal alineamiento rotacional. Un acortamiento de varios milímetros y una pequeña variación en los grados de angulación dorsal no afectan la función normal. Sin embargo, aunque la angulación dorsal raramente produce invalidez funcional, muchos pacientes serán infelices con la apariencia cosmética de un bulto muy visible en el dorso de la mano. El abultamiento es normalmente más prominente en una fractura del árbol metacarpiano

específicamente en el cuello del mismo. La mala rotación de un metacarpiano es una complicación seria porque esto normalmente interfiere con la flexión normal de los dedos adyacentes.



Fig. 2.14 Ejemplo de una fractura en la diáfisis del cuarto metacarpiano.

Las fracturas diafisiarias pueden ser de tres tipos: oblicuas, transversas, y conminutas.

- Fracturas oblicuas

Las fracturas oblicuas del arbol metacarpiano ocurren como resultado de un torque con el dedo actuando como palanca (fig. 2.15). Estas fracturas tienden a acortar y rotar más que angular.

La necesidad de reducir y controlar la deformidad rotatoria son indicaciones para el tratamiento operativo, ya que la reducción de estas fracturas puede ser difícil de lograr sin visualización directa del sitio de la fractura. La fijación interna estable normalmente puede lograrse con la aguja de Kirschner, tornillos AO, entre otros. [9]

- Fracturas transversas

Las fracturas transversas normalmente son el resultado de un golpe directo, y ellas generalmente se angulan dorsalmente debido a los músculos interóseos que ejercen una fuerza

volar (fig 2.16). Estas fracturas pueden inmovilizarse con las tablillas dorsales, aplicando presión en tres puntos para controlar la angulación. [9]

Las fracturas metacarpianas más transversas tienen una cantidad significativa de tejido blando inflamado entonces puede ser difícil o imposible mantener la reducción con entablillado externo. Entonces el método más adecuado para el tratamiento es la reducción cerrada y percutánea mediante el uso de un fijador intramedular o transverso, o una combinación de los dos.

- Fracturas Comminutas

Estas fracturas del árbol metacarpiano son causadas por un trauma violento tales como accidentes donde halla compresión de la zona, disparos por arma de fuego, etc. y son frecuentemente asociadas con una gran cantidad de daños a tejidos blandos. (fig. 2.17)

Si se fija y se estabiliza lo suficiente para permitir el movimiento rápido del dedo, estas fracturas pueden tratarse con fijación externa. Sin embargo, ellas requieren de una combinación de fijación interna y externa para facilitar el tratamiento del daño al tejido blando y prevenir daños mayores al hueso. [9]



Fig. 2.15 Ejemplo de una fractura oblicua en el quinto metacarpiano



Fig. 2.16 Ejemplo de una fractura transversa en los dos últimos metacarpianos



Fig. 2.17 Ejemplo de una fractura conminuta en el árbol metacarpiano

2.7. PRINCIPIOS DE LA FIJACIÓN INTRAMEDULAR

Los principios biomecánicos de la fijación intramedular fueron establecidos por Küntscher cuando en 1940 describió la técnica de enclavado intramedular. Este método de osteosíntesis proporciona estabilidad relativa sin compresión interfragmentaria, permitiendo sin embargo, un apoyo precoz en las fracturas estabilizadas el cual produce compresión axial entre los dos fragmentos principales de la fractura. El tratamiento postoperatorio depende entonces de la estabilidad axial y rotacional conseguida por la fijación interna. [10]

El clavo intramedular es un dispositivo de conducción de carga, permitiendo la transmisión de esta a través del foco de la fractura. Siendo posible el tratamiento funcional activo en la mayoría de los casos. Las fracturas en las zonas de transición, fracturas segmentarias y polifragmentarias exigen un enclavado bloqueado u otros métodos de fijación.

La sola idea de que la fijación interna disminuyera la estancia hospitalaria, ofreciera una rápida movilización de todas las articulaciones involucradas y una deambulación precoz, fue suficiente razón para que este sistema tomara auge.

En cuanto a las fracturas metacarpianas, su tratamiento ha progresado considerablemente desde mediados de los años 40, cuando casi todas las fracturas metacarpianas eran tratadas vendando excesivamente la zona afectada aplicando pequeños esfuerzos para reducir la fractura. El tratamiento actual debe ser basado en la localización exacta de la fractura y en precisar su angulación o desplazamiento; además de tomar en cuenta la estabilidad inherente, el trauma del tejido blando asociado, y las demandas funcionales del paciente. Es aquí donde los clavos intramedulares bloqueados juegan un papel importante ya que su evolución ha ampliado su indicación para el tratamiento de fracturas diafisarias en tibia y peroné, y en los últimos años este sistema ha resultado exitoso en lesiones del miembro superior como por ejemplo en el húmero, cúbito y radio. [3]

La gran mayoría de fracturas de los metacarpianos y falanges pueden tratarse con cirugías poco invasivas. Sin embargo, es indispensable identificar las fracturas que exigen reducción abierta y fijación interna para así aumentar al máximo el resultado buscado.

2.8. SISTEMAS DE TRATAMIENTO EXISTENTES PARA FRACTURAS EN LOS HUESOS METACARPIANOS

Actualmente para el tratamiento de este tipo de patologías, resulta conveniente el uso del enclavado percutáneo mediante una aguja de Kirschner (fig. 2.20) más que otros métodos de uso limitado como es el caso de las placas (fig. 2.18) y de los tornillos interfragmentarios (fig. 2.19), los cuales requieren inmovilización adicional por yeso, ocasionando rigidez en los músculos y prolongando su recuperación con tratamientos excesivamente elevados. [2]



Fig. 2.18 Placas tubulares de fijación interna



Fig. 19 Tornillos interfragmentarios de compresión



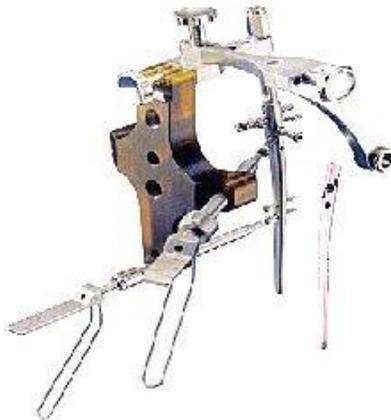
Fig. 2.20 Agujas de Kirschner

Para el manejo de sistemas dirigidos al tratamiento de patologías óseas como lo es la fractura, es necesario contar con un instrumental adecuado, especialmente para la inserción y extracción de los clavos intramedulares. Se deben tener a mano los instrumentos diseñados específicamente para el tipo de clavo seleccionado, antes de la cirugía. Muchos de estos instrumentos están pensados para evitar errores tales como la mala orientación del clavo.

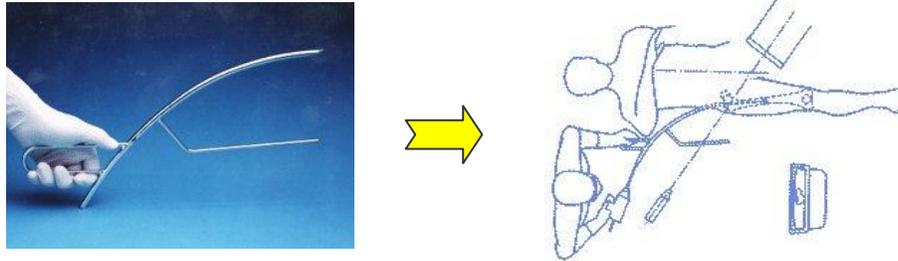
2.9. PRINCIPALES HERRAMIENTAS EXISTENTES EN EL MERCADO PARA EL MANEJO DE CLAVOS INTRAMEDULARES

- SISTEMA POLARUS: Sistema de fijación para fracturas en el humero. (*ACUMED. Sistemas innovadores para el manejo de fracturas en extremidades superiores e inferiores*).

Los implantes Polarus se diseñan en función de las estructuras vitales y anatomía del humero. La única guía de este sistema permite la colocación y el bloqueo seguro del tornillo proporcionando una reducción adecuada.



- FEMUR FINDER™ (Spade Tip Guide Wire): Sistema para posicionar de una manera rápida la guía de alambre en el centro del canal medular al empezar el bloqueo de una varilla intramedular de fémur. (*IMP. Innovative Medicals Products INC*).



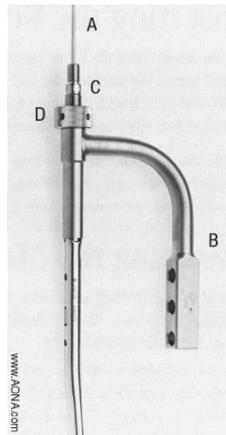
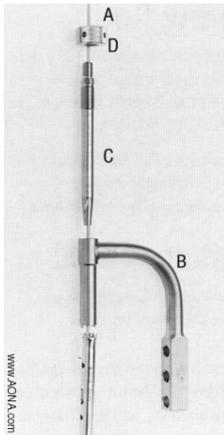
- MARTILLO GUÍA: Herramienta para introducir un clavo distal femoral de titanio (*AONA Implant Instrument and Technique Guide Series*).



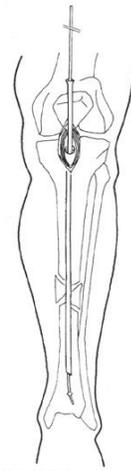
- GUÍA PARA LA INSERCIÓN DE CLAVOS UNIVERSALES PARA TIBIA Y FÉMUR: Herramienta para guiar el clavo y controlar su rotación durante la inserción, aunque la guía es normalmente orientada un poco a lo largo del procedimiento, puede ser rotada lateralmente 180° para facilitar el implante del clavo (*AONA Implant Instrument and Technique Guide Series*).

Si el clavo va a ser bloqueado, la guía ofrece la alternativa de hacerlo mediante agujeros que manejan la dirección de inserción de los elementos de bloqueo.

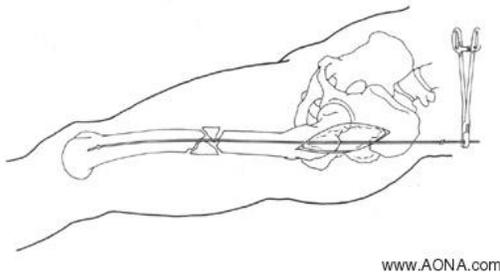
Guía para tibia:



LEYENDA:
 A... BARRA GUÍA.
 B...ASA.
 C...TORNILLO CÓNICO ROSACDO.
 D...ROSCA



Guía para Fémur:





Capítulo 3

Diseño, construcción y ensayo “In Vitro” del primer prototipo.



En este capítulo, se describirán los pasos que se siguieron para la concepción del diseño final de la herramienta. Para ello, se establecieron las restricciones y los criterios de diseño de cada una de las piezas que conforman el instrumento de inserción en función del uso del mismo. Seguidamente se presenta el proceso de modelado y construcción de las partes, que posteriormente permitió realizar el primer ensayo “In Vitro” para validar los criterios de diseño asumidos así como la confiabilidad y funcionalidad de la herramienta. Con los resultados obtenidos se realizaron las modificaciones pertinentes a fin de concretar el modelo final del dispositivo de inserción.

3.1 RESTRICCIONES DE DISEÑO

El diseño del instrumento depende principalmente de la configuración geométrica del clavo intramedular. Este sistema de fijación interna como ya se ha mencionado, está destinado al tratamiento de fracturas del primer hueso metacarpiano.

La herramienta fue diseñada especialmente para acoplarse perfectamente con el dispositivo de fijación. Dicho dispositivo, superó muchas restricciones en su diseño por lo que requirió de un estudio detallado de la anatomía del pulgar para lograr el prototipo definitivo el cual fué obtenido después de una serie de pasos descritos brevemente a continuación:

Inicialmente se reconstruyeron tridimensionalmente los huesos de la mano a través de la recopilación de la data de tomografías axiales computarizadas mediante el uso de programas especializados como Pro-Engineer [30] y Mechanical Desktop [29] (fig. 3.1), dando especial importancia al primer metacarpiano por la funcionalidad del mismo y su movimiento de oposición con los otros dedos. Luego, se simularon geoméricamente los modelos insertados en el canal medular del hueso y orientado según las especificaciones de cirujanos de la mano asesores del Centro de Bioingeniería UCV (fig. 3.3), con lo que se asegura que el clavo posea la forma y tamaño requeridos para cumplir su función. Como el dispositivo es intramedular, es necesario que en el extremo proximal del clavo exista un sistema de conexión interno con la herramienta; de esta manera se evita que las protuberancias del dispositivo que sobresalgan del hueso, provoquen incomodidades al momento de la sutura y molestias en el paciente.

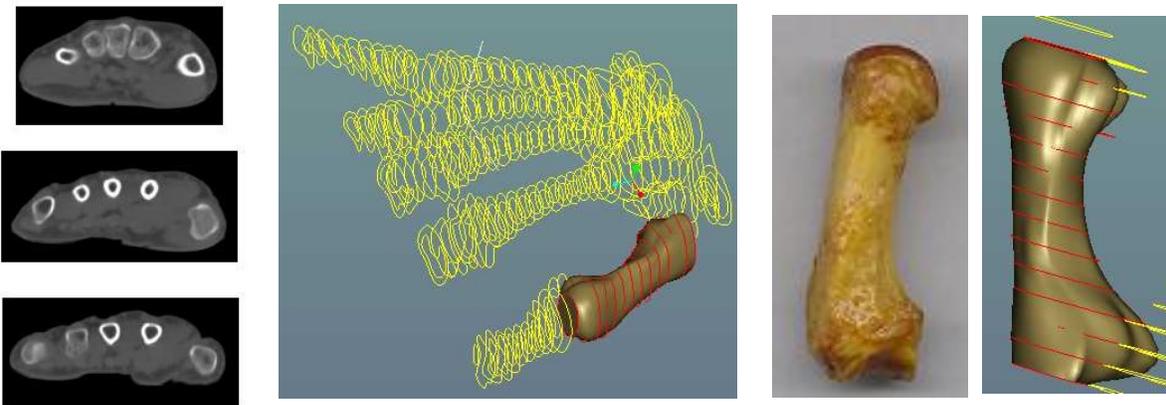


Fig. 3.1. Reconstrucción de la geometría tridimensional de la mano a través de tomografías axiales computarizadas. Se puede apreciar la similitud del modelo obtenido del primer metacarpiano con el hueso real. [27] y [28]

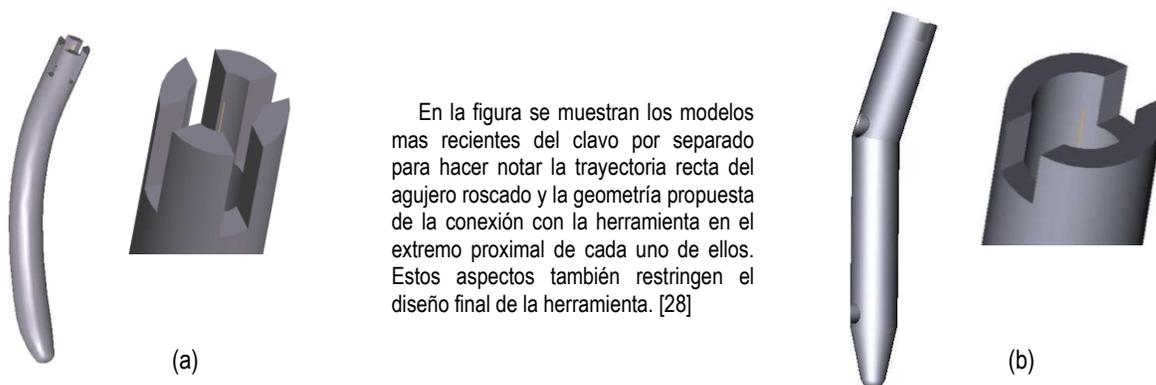


Fig. 3.2. Modelos del clavo trabajados para la concepción final de la herramienta. a) clavo curvo con entallas en forma de cruz en la cabeza del mismo, b) clavo recto con doblez a 20° y mueca transversal en su extremo proximal.

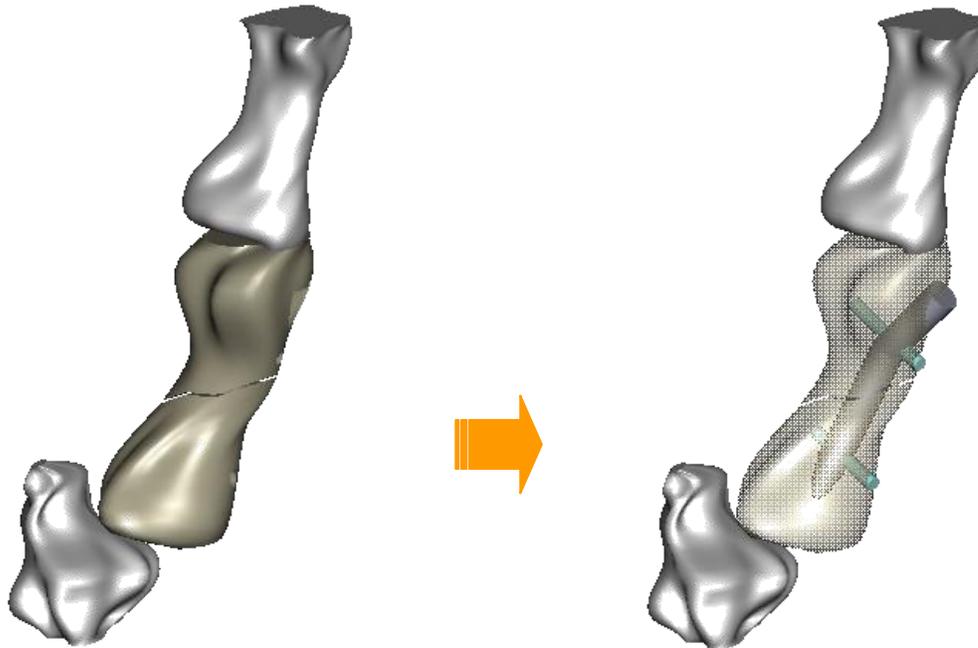
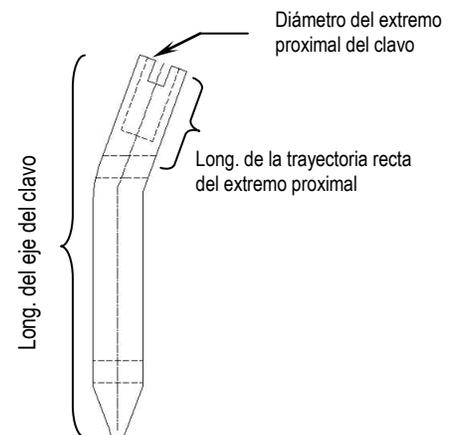


Fig. 3.3 Modelado de parte de la columna osteoarticular del pulgar y simulación geométrica del modelo final del dispositivo insertado en el canal medular del hueso. [28]

3.1.1. CARACTERÍSTICAS ESENCIALES DEL SISTEMA INTRAMEDULAR PARA LA CONCEPCIÓN GEOMÉTRICA DE LA HERRAMIENTA.

- Material.
- Diámetro del extremo proximal del clavo.
- Longitud de la trayectoria recta del extremo proximal.
- Longitud de la curva que define el eje del clavo.
- Ubicación geométrica de los orificios para el bloqueo.



El diseño de este clavo resulta particularmente interesante, sobretodo desde el punto del tamaño y forma del sistema. Como se mencionó anteriormente, de las dimensiones depende la correcta alineación y el tipo de acople del dispositivo con la herramienta, así como la elección del material

para la fabricación de las piezas que forman dicho acople debido a la resistencia y estabilidad mecánica inherente. Además, también resultan influenciados el tamaño y la disposición geométrica de las partes que conforman el instrumento de inserción.

3.2. CRITERIOS DE DISEÑO PARA LA HERRAMIENTA.

- Partes con geometrías sencillas y adaptadas a los requerimientos de uso.
- Geometrías que ofrezcan una resistencia mecánica acorde con las sollicitaciones a las cuales van a ser sometidas.
- Piezas que permitan a la herramienta tener el tamaño necesario para el manejo del dispositivo de fijación.
- Facilidad de fabricación.
- Fabricadas con materiales biocompatibles y de propiedades adecuadas al uso y a la fabricación.
- Diseño de piezas ergonómicas.

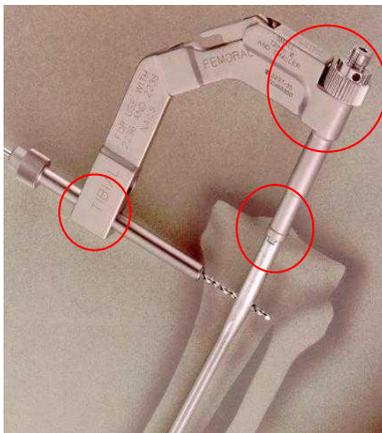
3.3 FUNCIONES Y CARACTERÍSTICAS DE LA HERRAMIENTA PARA LA COLOCACIÓN DEL SISTEMA INTRAMEDULAR BLOQUEADO

Una de las funciones primordiales de la herramienta es facilitar la inserción del clavo intramedular durante su colocación en el paciente.

El instrumento en cuestión debe ser funcional y sobretodo confiable, ya que está destinado a ser utilizado en cirugía de la mano, es decir; por ser un dispositivo quirúrgico que entrará en contacto con fluidos y tejidos del cuerpo humano, se presenta la necesidad de que las piezas acopladas al clavo y próximas a él sean construidas con materiales biocompatibles y con la resistencia mecánica adecuada para cumplir con los requerimientos de uso.

El sistema intramedular es bloqueado a causa de la estabilidad inherente necesaria entre los fragmentos del hueso para la formación y consolidación del callo óseo, lo que quiere decir que se requiere de tornillos autoroscantes (bloqueos) pasantes a través de orificios orientados de manera transversal a la trayectoria longitudinal del clavo, por tal motivo la herramienta, a parte de insertar al clavo en el canal medular, *debe servir de guía al cirujano para mantener la correcta alineación del tornillo con dichos orificios.*

Se debe asegurar que el sistema de fijación de la herramienta con el clavo sea estable y firme, a fin de evitar movimientos relativos que comprometan la correcta ubicación de la guía con respecto a la trayectoria del bloqueo. También debe gozar de cierta funcionalidad, de manera de asegurar que en ningún momento sea necesaria la aplicación de grandes fuerzas que pongan en riesgo la posición final del clavo dentro de la médula del hueso .



En la figura se muestran los puntos más importantes para el diseño de una herramienta: guía del bloqueo, forma de sujeción entre el clavo y la herramienta y sistema de conexión con el mango direccional.

Fig. 3.4 Herramienta utilizada para el manejo y colocación de un clavo de acero inoxidable 316L en el canal medular de la tibia. (fuente: ZMS Intramedullary fixation. Catálogo).

3.4 GEOMETRÍA DEL PROTOTIPO DE LA HERRAMIENTA

3.4.1. MODELOS DE HERRAMIENTAS COMERCIALES

Como ya se mencionó, uno de los factores decisivos para el diseño del instrumento de inserción es la estabilidad y firmeza que deben poseer las conexiones de las piezas entre sí. Entonces, para comenzar a trabajar en la configuración geométrica del prototipo del instrumento, es necesario tener como guía ciertos modelos de herramientas distribuidas por casas comerciales para el manejo de dispositivos intramedulares; tomando como referencia las características y criterios de diseño que permitan dar forma al instrumento.

Es importante anotar que todos los dispositivos intramedulares evaluados han sido diseñados para huesos largos como fémur o tibia, lo que enfatiza la novedad del diseño aquí desarrollado.

En las siguientes figuras se pueden observar algunos de los dispositivos comerciales que se tomaron como apoyo para el diseño geométrico del instrumental de inserción.



Fig. 3.5 Forma del extremo proximal de un clavo intramedular para fémur y tibia. Nótese el agujero roscado y la entalla transversal. (fuente: catálogo de Industrias Quirúrgicas de Levante S.L. Clavo FD).

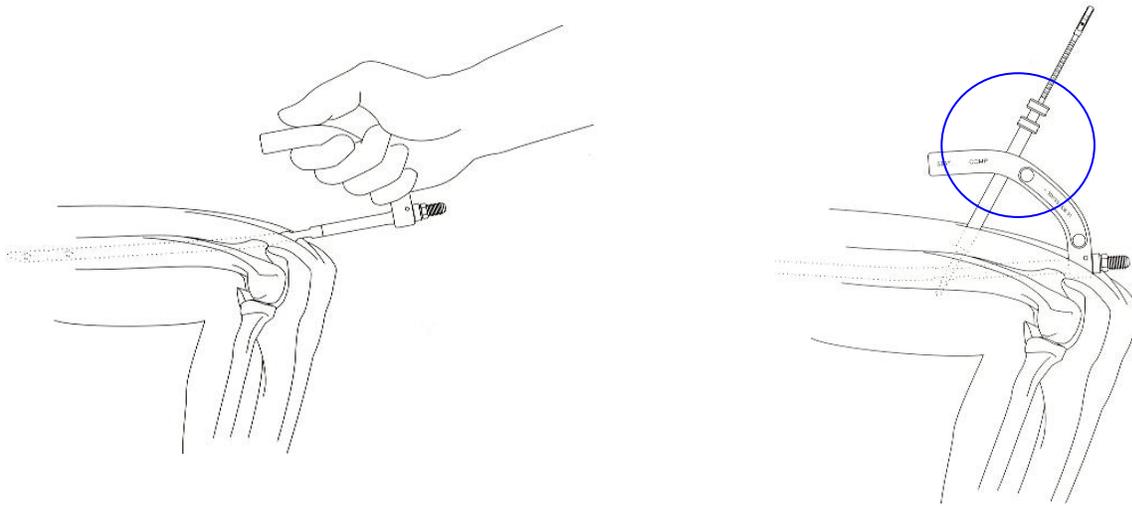


Fig. 3.6 Disposición de la herramienta para la colocación de un clavo humeral sólido. El mango direccional sirve además como arco de inserción para el bloqueo distal (fuente: catálogo SYNTHES, técnica quirúrgica UHN Clavo humeral sólido).

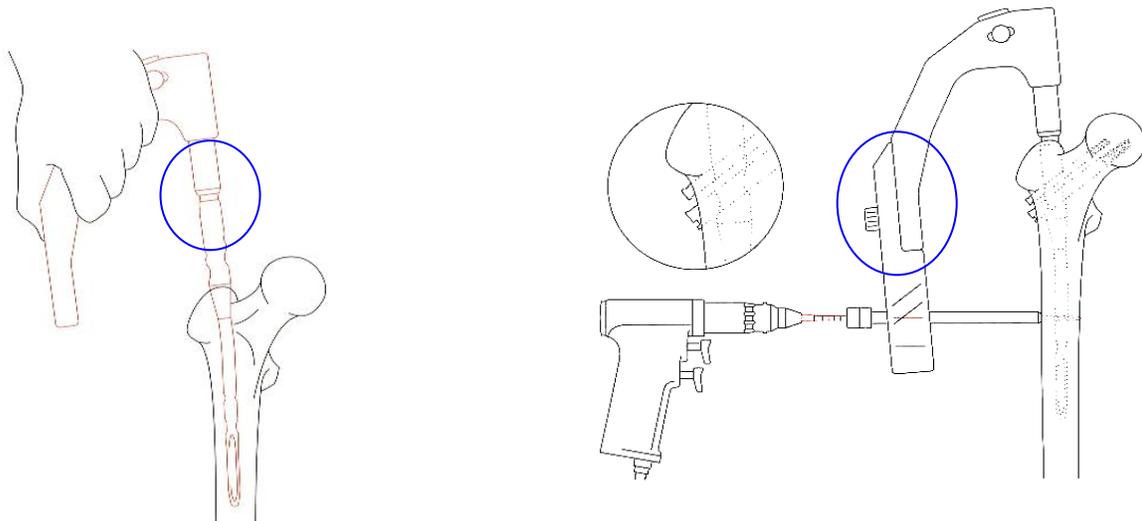


Fig. 3.7 Disposición de la herramienta para la inserción y bloqueo de un clavo femoral proximal estándar. Nótese la forma del mango direccional y el acople entre el instrumento y el clavo (fuente: catálogo SYNTHES, técnica quirúrgica PFN Clavo Femoral Proximal).

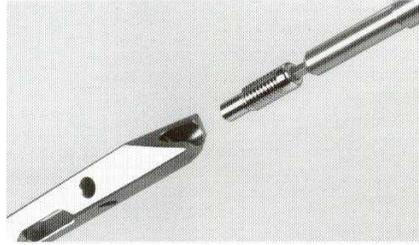


Fig. 3.8 Forma del tornillo de cierre, el cual impide la invasión de tejidos hacia el interior de la rosca del clavo UNT, facilitando así la posterior extracción del implante. (fuente: catálogo SYNTHES, técnica quirúrgica UTN Clavo tibial sólido).

3.4.2. MODELADO EN 3D DEL PRIMER PROTOTIPO

Para cumplir con uno de los objetivos específicos planteados en este trabajo, es necesario concebir la forma geométrica de la herramienta y fabricarla. Para ello, se tomaron como guía tanto las características y criterios de diseño presentados anteriormente, como las propiedades observadas en otros instrumentos existentes en el mercado.

Para la conexión entre el clavo y el instrumento de inserción, se tomó como base aquella que consta de un agujero longitudinal roscado con muescas transversales. *La razón por la que se propuso este sistema para los ensayos iniciales, es que se ha comprobado que la combinación de ambos proporcionan firmeza en el agarre y dificultan la posibilidad de movimiento relativo entre el clavo y la herramienta.* [31]



Fig. 3.9 Forma propuesta para la cabeza del primer modelo del clavo: trayectoria recta roscada con entallas transversales en forma de cruz .

- Partes esenciales que conforman el prototipo:

Conector entre el clavo y la herramienta: Pieza que acopla ambos elementos mediante una unión rígida ensamblada mediante tornillo. Fabricada en un acero inoxidable con propiedades similares a el utilizado para la fabricación del clavo de forma de reforzar la resistencia de las entallas en forma de cruz acanalada propuestas para conectar la pieza tanto con el clavo como con el resto de la herramienta. Por otra parte, la inclusión de este elemento permite que la construcción del mango direccional sea de un material distinto y menos costoso que el trabajado para el conector y el clavo (ver fig. 3.10.a).

Mango direccional: Pieza compuesta por un sólido de revolución en su extremo superior y por un sólido de caras planas en el cuerpo restante, la cual además será usada como guía del bloqueo, mediante un agujero pasante oblícuo en la zona inferior del mango (según requerimientos del primer modelo del clavo, ver fig. 3.2.a). También puede servir de apoyo al cirujano para facilitar la colocación del clavo.

La forma del extremo superior es necesaria para fijar el mango direccional al esqueleto de la herramienta, por un lado posee ranuras similares a las del conector y por otro presenta una superficie plana para el asiento del mango de inserción en el apriete (fig. 3.10.b).

Mango de inserción con extremo roscado: Elemento utilizado para impulsar la inserción del clavo en el canal medular del hueso mediante la fuerza aplicada por el cirujano en la empuñadura del mango. El diseño del eje roscado será un aspecto importante a estudiar durante los ensayos, debido a la sólida sujeción que debe brindar durante el uso de la herramienta (fig. 3.10.c).

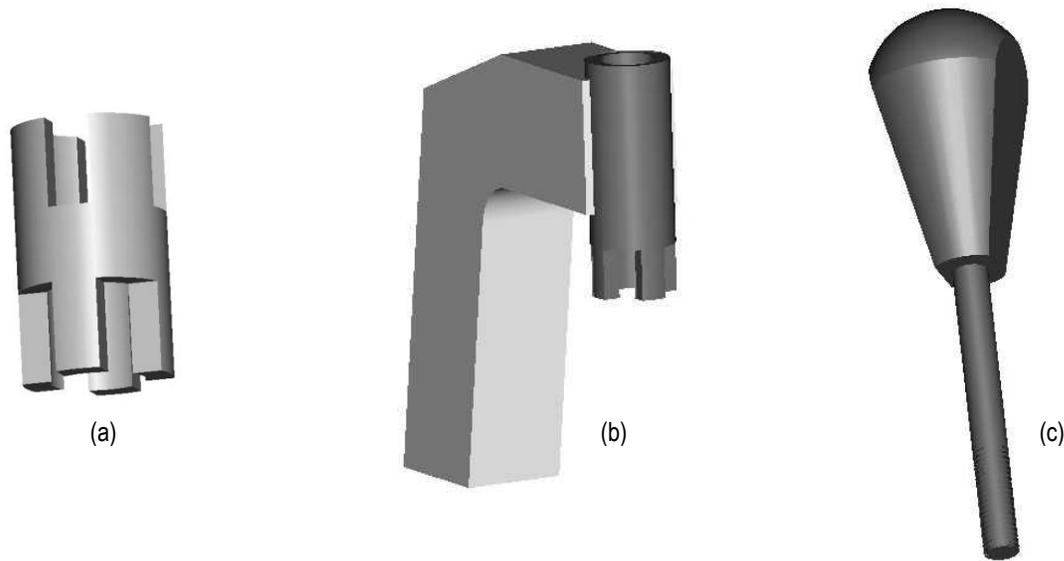


Fig. 3.10 Modelado en 3D de las piezas de la herramienta: a) conector entre el clavo y la herramienta, b) mango direccional, con su extremo inferior en forma de asa, d) mango de inserción con extremo roscado, el cual consta de dos partes: la empuñadura y el eje roscado. (software utilizado: ProEngineer)

3.5 CONSTRUCCIÓN DEL PRIMER PROTOTIPO DE LA HERRAMIENTA

Para realizar el primer ensayo experimental es necesario la construcción del prototipo de la herramienta. El tamaño del modelo fue dimensionado en escala 3:1, debido a que previamente se habían obtenido huesos metacarpianos artificiales en resina polyester a esta misma escala para la realización de los ensayos. Una vez terminado el diseño y verificado el correcto acople entre las piezas del instrumento mediante un ensamblaje computacional en 3D, se procedió a seleccionar el material para la construcción del modelo. Los aspectos tomados en cuenta son:

- Debido a la naturaleza preliminar del modelo, aún no se requieren de controles estrictos de fabricación y parámetros de corte.
- El primer ensayo “In Vitro” se realizó principalmente para evaluar la geometría del dispositivo, por lo tanto se utilizó una aleación de aluminio 6063 T5 , un material que no es no tan exigente en cuanto a las propiedades mecánicas de ciertas partes de la herramienta definitiva.
- Buena maquinabilidad.

- Es recomendable contar con un material de fácil adquisición, bajo costo cuyo mecanizado se efectúe en un tiempo relativamente corto.

El mecanizado de las piezas fue realizado por un lado en el torno manual marca MEUSER & CO, modelo MOOL-34817 y por el otro en el Centro de Control Numérico (CNC) marca BRIDGEPORT modelo TORQ-CUT 22; ambos están ubicados en el taller del Centro de Bioingeniería de la U.C.V.

3.5.1 ELABORACIÓN DEL CONECTOR ENTRE EL CLAVO Y LA HERRAMIENTA

Después de cortar el tocho de aluminio a las dimensiones adecuadas, se procedió a elaborar en el torno, el cilindro de revolución con el diámetro y longitud especificados en el diseño de la pieza; luego en el centro de mecanizado, se programó y ejecutó la secuencia de la fresa de corte para la fabricación de las entallas ortogonales en cruz por ambos extremos.

3.5.2. ELABORACIÓN DEL MANGO DIRECCIONAL

Por ser una pieza compuesta, es decir, un cilindro de revolución incrustado en un sólido formado por caras planas, su fabricación se dividió en dos partes: la primera de ellas se realizó en el torno (fig. 3.11.a) y la segunda en el centro de mecanizado (fig. 3.11.b, 3.11.c y 3.11.d), previamente fue necesario establecer un plano de separación entre el extremo superior y el resto del mango para fabricar los dos elementos por separado, debido a que por mecanizado es imposible elaborar la pieza completa de una vez. Posteriormente ambos elementos se acoplaron mediante un dispositivo de unión (fig. 3.11.e).

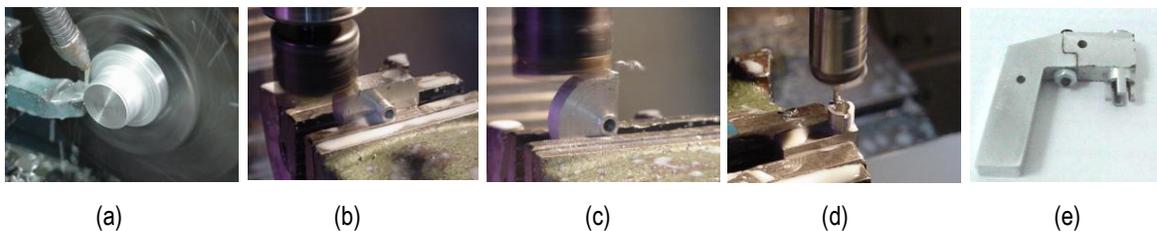


Fig. 3.11 Proceso de fabricación del conector del mango direccional: a) elaboración de cilindros concéntricos, b y c) planeado del cilindro mayor por tres de sus extremos ortogonales entre sí, d) elaboración de las entallas para el acople, e) unión de los elementos que conforman al mango direccional: extremo superior y el resto del mango.

3.5.3. FABRICACIÓN DEL MANGO DE INSERCIÓN

Como ya se ha mencionado, el mango de inserción consta de dos partes: la empuñadura y el eje roscado. La empuñadura fue elaborada en el torno con dos procesos básicos: cilindrado y conado.

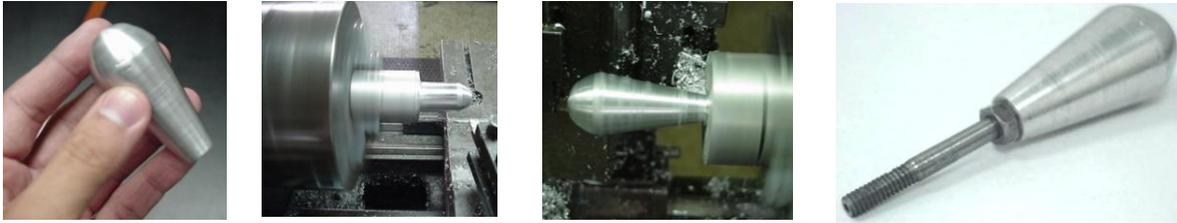


Fig. 3.12 Proceso de fabricación de la empuñadura del mango direccional. Luego se muestra el ensamble con el eje roscado



Fig. 3.13 Vista de las piezas elementales que conforman el sistema quirúrgico para el tratamiento de fracturas en el primer hueso metacarpiano.

3.6. PRIMER ENSAYO EXPERIMENTAL

Para argumentar la funcionalidad de la herramienta, es necesario la realización de pruebas que arrojen resultados tangibles acerca de las suposiciones que se han hecho del modelo. Dichas pruebas pueden ser muy variadas, pero todas tienen en común la necesidad de un método directo para la evaluación de los resultados, bien sea por observación, por análisis computacional, etc.

Uno de los alcances de este trabajo es probar mediante ensayos “In Vitro” el diseño propuesto para la herramienta, entonces se hace necesario establecer la metodología del experimento, los parámetros que se desean evaluar durante la prueba, los materiales necesarios y el método de evaluación.

3.6.1 PARÁMETROS A EVALUAR

El objetivo principal del ensayo fue evaluar el comportamiento del modelo fabricado, tomando como referencia el aspecto geométrico, ergonómico y la estabilidad mecánica relacionada con la forma de unión entre las partes que conforman el instrumento. Se partió por suponer que el prototipo cumpliría con todos los requerimientos anteriores.

3.6.2. MATERIALES NECESARIOS

Las pruebas se hicieron utilizando un modelo del clavo a escala 3:1 hecho en aluminio y una copia experimental del pulgar fabricado en resina polyester preacelerada con canal medular a base de poliuretano.

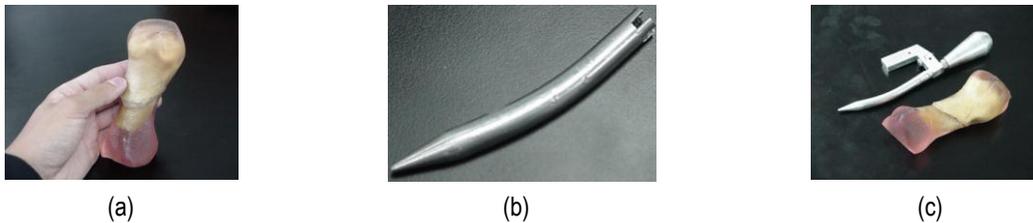


Fig. 3.14 Materiales necesarios para la realización del ensayo geométrico: a) modelo del hueso metacarpiano construido a escala 3:1 con una fractura diafisaria transversal, b) prototipo del sistema intramedular a escala, c) el árbol metacarpiano acompañado por el sistema quirúrgico acoplado: herramienta y clavo.

3.6.3. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO.

El sitio más recomendado por los especialistas en traumatología para hacer el orificio de entrada del sistema intramedular se encuentra ubicado en el vértice dorsal externo de la cabeza del primer metacarpiano, en las adyacencias de la articulación metacarpofalángica; de esta manera se evitan daños en el aparato extensor o en los tendones circundantes (fig. 3.15).

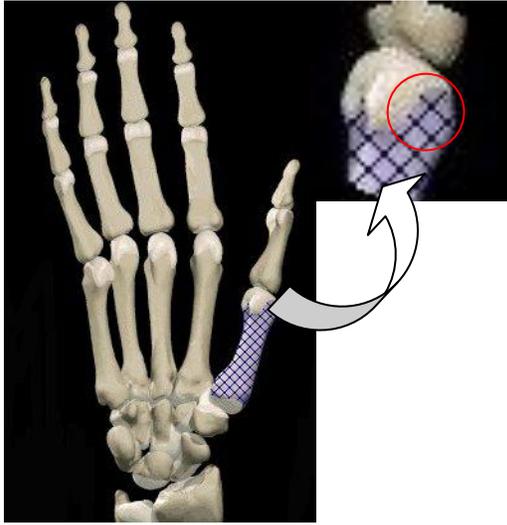


Fig. 3. 15 Vista de la cara palmar de la mano derecha. También se puede observar la zona donde se hizo el orificio para introducir el clavo durante el ensayo. Observe cómo se dispone la columna del pulgar de frente, donde la curva convexa del primer metacarpiano se ve estrictamente de perfil.

Para la realización del ensayo, también fue preciso establecer la forma más adecuada para la penetración de entrada al hacer el orificio en el hueso. Según recomendaciones del especialista, debe hacerse de manera que dicho agujero quede orientado de manera similar a la geometría del canal medular en esa zona; es decir, no existe un ángulo o regla específica sino que se realiza un cálculo aproximado según la experiencia.

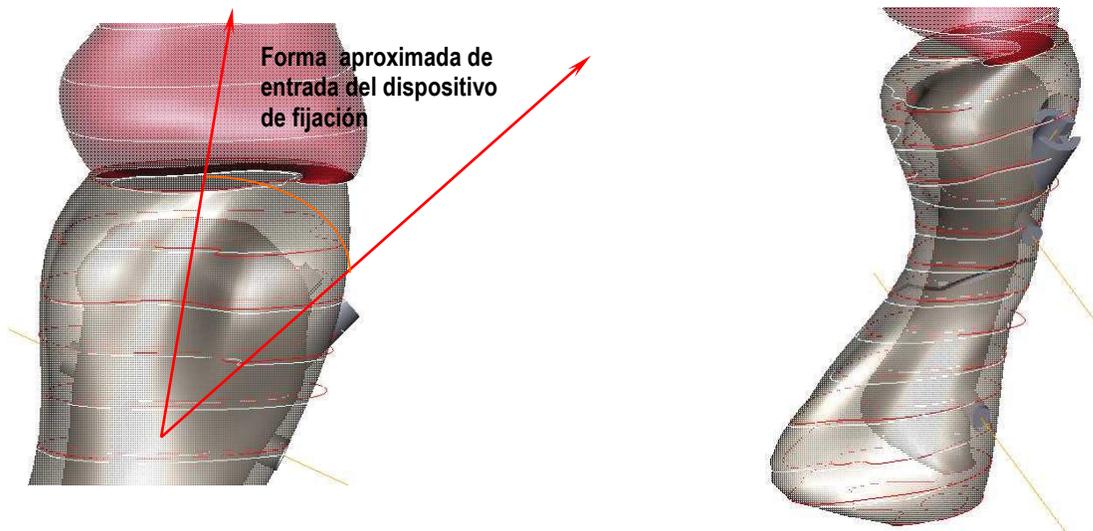


Fig. 3.16 Simulación esquemática de la forma de inserción del dispositivo (software: Pro Engineer)

Mientras se introducía el dispositivo de fijación, se evaluó la respuesta de la herramienta ante las sollicitaciones a las cuales estaba siendo sometida, observando en todo momento si el diseño de las partes que conforman el instrumento de inserción, ofrecía la suficiente rigidez como para mantener la estabilidad en los acoples más importantes (ver fig. 3.4); es decir, que no sufrieran algún tipo de deformación plástica que permitiera la existencia de movimiento relativo en la pieza de unión que conecta al clavo con el mango direccional y con el resto de la herramienta (ver fig. 3.10.a). De esta forma, se verifica que la posición del mango direccional con respecto al clavo sea la correcta.

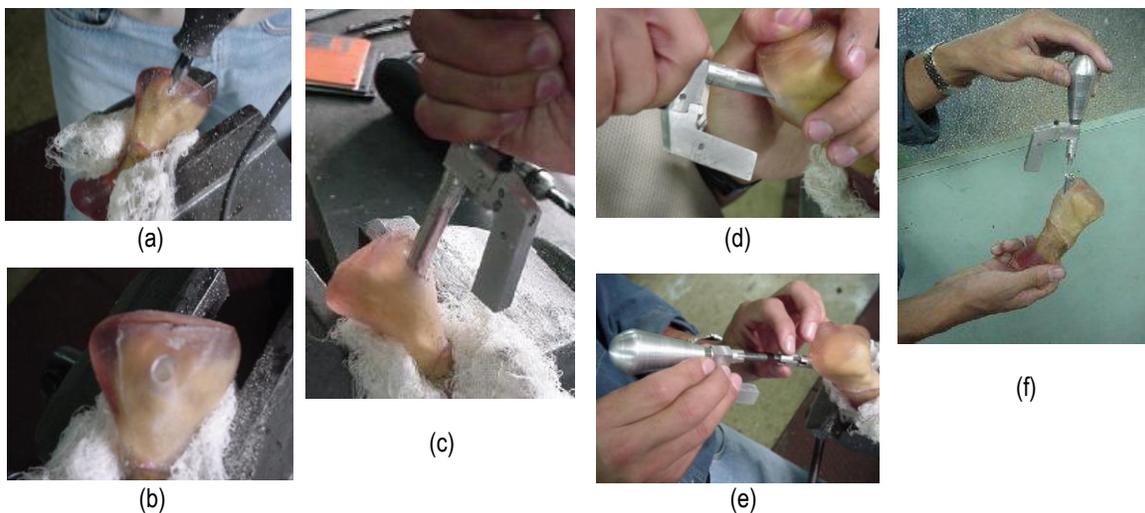


Fig. 3.17 Ensayo geométrico realizado al sistema quirúrgico: a) perforación guía para dar entrada a la broca del taladro, b) vista del orificio para introducir el dispositivo, c) simulación del empuje dado por la herramienta para la inserción del clavo, d) fin de la carrera del clavo a través del canal medular, e) extracción y despiece de la herramienta, f) esquema de las partes después del ensayo.

3.6.4 RESULTADOS OBTENIDOS

El proceso de fabricación del mango direccional resultó ser bastante complejo debido a que es un sólido compuesto; es decir, un sólido de revolución incrustado en otro sólido formado por caras planas (ver fig. 3.10.b).

La configuración geométrica propuesta para la herramienta resultó ser funcional para la inserción del sistema intramedular, es decir; mostró una estructura resistente y adecuada para el manejo del clavo durante su recorrido a través del canal medular del primer hueso metacarpiano. Vale la pena

recordar que los materiales utilizados para la construcción de los modelos fueron: aluminio, poliuretano y resina polyester. Tanto el poliuretano como la resina, presentan propiedades diferentes y una composición más rígida que la que poseen la médula y el hueso humano respectivamente, por lo tanto es fácil entender que el estudio fue realizado en función de materiales que opusieron mayor resistencia al paso del clavo; lo que trae como consecuencia mayores fuerzas aplicadas en el instrumento de inserción para lograr su objetivo. De la misma forma, es importante destacar que la firmeza observada en los acoples de las piezas que estructuran el cuerpo de la herramienta fue satisfactoria, lo que permite afirmar que el mango direccional conservó en todo momento su posición con relación al resto del sistema.

Se observó que el conector entre el clavo y la herramienta (fig. 3.10.a) sufrió una pequeña deformación en la parte superior de los dientes que conforman las entallas. Esta deformación es debida a que el conector por ser la principal zona de contacto, funge como una especie de soporte en el empotramiento del eje roscado del mango de inserción, encontrando zonas donde ocurren esfuerzos concentrados que superan las propiedades mecánicas del aluminio.

La comodidad en el manejo del prototipo también fue evaluada, pero en este caso los resultados no fueron como se esperaba. La longitud de la empuñadura no resultó ser lo suficientemente grande como para que la herramienta sea manipulada cómodamente; por otro lado, su forma geométrica si se adaptó al contorno de la cara palmar de la mano asegurando de esta manera un buen punto de apoyo para la aplicación de fuerzas.

Con respecto a la unión roscada, cumplió su objetivo siendo esta un método efectivo para la consolidación y unión de las piezas del prototipo al extremo proximal del dispositivo de fijación.

3.6.5. RECOMENDACIONES

- Se requiere construir un segundo modelo con las dimensiones reales de diseño y con los materiales adecuados para su fabricación para así comprobar la efectividad en la unión de las partes.

- Debido a que en escala real el diámetro del clavo no sobrepasa los 4.5mm y tomando en cuenta los resultados obtenidos durante este primer ensayo, se hace necesario un cambio en el diseño de las entallas del conector; ya que en la fabricación de las muescas se forman dientes con un espesor muy pequeño de pared que podría acarrear problemas de deformación durante la inserción del clavo en futuros ensayos experimentales.
- En el mercado, ya se comercializan empuñaduras con un diseño semejante al propuesto para la herramienta, por lo tanto sólo hace falta adecuar aquellas dimensiones de acople que estén relacionadas con la nueva empuñadura.
- La idea del orificio oblícuo diseñado en el clavo para el unibloqueo debió ser nuevamente estructurada, ya que el proceso constructivo de dicho agujero fue complicado y requirió de utillajes que debían adaptarse a la geometría del clavo, que por ser totalmente curvo, fue difícil de copiar. Entonces según sugerencias aportadas por el médico traumatólogo, se podría adoptar un diseño que contemple dos agujeros perpendiculares a la trayectoria recta del dispositivo de fijación, de esta manera se facilita su fabricación y se consolida aún más la sujeción de los fragmentos de la fractura.
- Fue necesario un cambio en el extremo inferior de la configuración geométrica del mango direccional, ya que debe existir un segmento que sea perpendicular a la trayectoria que sigue el bloqueo para hacer que la guía sea un sistema más eficiente, por lo tanto los orificios guías del mango tiene que estar situados en dicho segmento.

3.7. REINGENIERÍA DEL PROTOTIPO

Durante el desarrollo y utilización de los diferentes sistemas de fijación existentes en el mundo, se ha evidenciado una carencia de información cuantitativa que justifique diseños racionales. Su aplicación clínica ha respondido en muchos casos, al mecanismo prueba-error, lo que evidencia la necesidad de realizar cambios constantes que optimicen la calidad de un diseño para ofrecer las mayores ventajas posibles en los sistemas propuestos. [8]

3.7.1. CAMBIO EN EL DISEÑO

Después de lo discutido anteriormente se realizaron modificaciones al instrumental con el objeto de mejorar su funcionalidad, aspecto geométrico y agregar otras piezas que proporcionen mayor estabilidad y una mejor alineación de la herramienta con el dispositivo de fijación.

El segundo modelo propuesto, conserva las partes básicas mostradas en el prototipo anterior, habiéndose agregado dos *guías cilíndricas* (figuras 3.18.d y 3.18.e). La función de las guías consiste en orientar la trayectoria tanto de la broca de $\text{Ø}1.5\text{mm}$ como la del destornillador manual con respecto a los orificios del clavo por donde pasan los tornillos de fijación; ambas son cilíndricas, con agujeros concéntricos pasantes de menor diámetro por donde se introducen estos elementos externos.

Después de introducir el clavo en el canal medular del hueso, se coloca la guía de la broca en el primer orificio pasante del mango direccional, seguidamente se hace el agujero base para el bloqueo en la superficie externa del hueso cortical ejecutándose la misma operación en el segundo orificio del mango. Una vez realizada estas operaciones, se extrae la pieza en cuestión y se inserta la segunda guía en los mismos agujeros para hacer pasar a través de ella, el instrumento que fija los tornillos en el hueso.

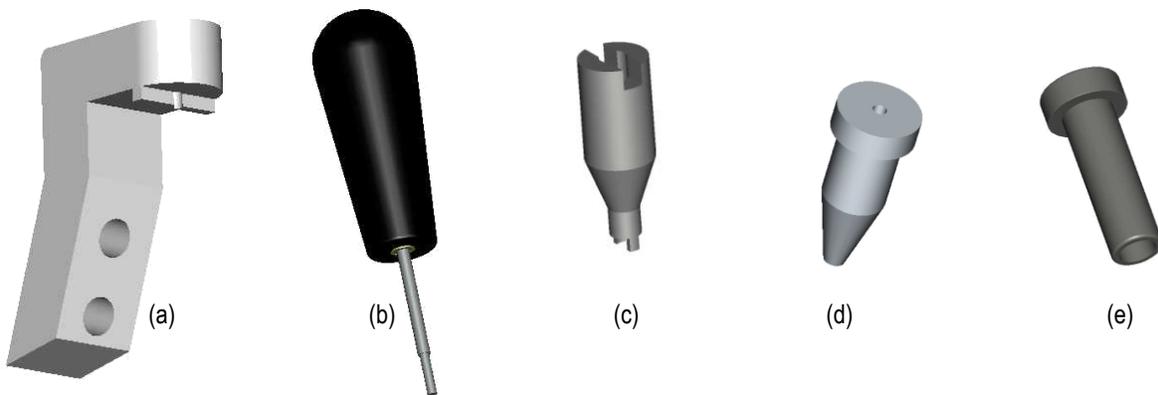


Fig. 3.18 Piezas que conforman el segundo prototipo de la herramienta: a) mango direccional, b) mango de inserción, c) conector entre el clavo y la herramienta, d) guía cilíndrica de la broca, e) guía cilíndrica del destornillador.

Para verificar el nuevo diseño del prototipo, se modeló nuevamente el ensamblaje de las piezas en 3D (figs. 3.19 y 3.20).



Fig. 3.19 Ensamble del sistema quirúrgico completo (herramienta y clavo intramedular). Software: ProEnginner.

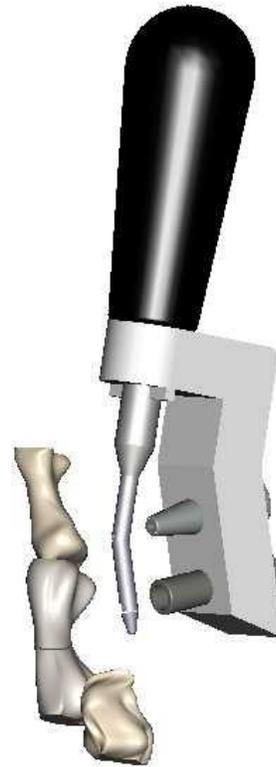


Fig. 3.20 Simulación geométrica de la disposición del sistema quirúrgico con respecto al primer hueso metacarpiano. Software: ProEngineer.



Materiales, procesos de fabricación y tratamiento térmico.

Capítulo 4



El objetivo de este capítulo es dar a conocer los procesos involucrados para la fabricación del instrumental de inserción propuesto en el capítulo anterior. En primer lugar se escogieron los materiales con los cuales se elaboraron las piezas que conforman la herramienta, mediante el manejo de criterios tales como: biocompatibilidad, propiedades mecánicas, metalúrgicas y fisico-químicas requeridas y disponibilidad en el mercado. Luego se seleccionaron los procesos para producir las partes del modelo final en función de los materiales y de las posibilidades tecnológicas y económicas.

4.1 SELECCIÓN DE MATERIALES

El diseño de una pieza que cumplirá una determinada función incluye, necesariamente, la elección acertada del material con el cual ella será construida. Esa selección está condicionada por el balance existente entre las exigencias de la función; las propiedades que ofrecen los materiales disponibles y el proceso de fabricación. [11]

Como ya se ha mencionado, las partes de la herramienta requieren ser elaboradas con materiales que respondan de manera adecuada ante las exigencias de uso; entonces es necesario comenzar por establecer un patrón de referencia para la escogencia de dichos materiales. Ese patrón es el propio clavo o dispositivo de fijación, el cual fue fabricado con acero 316L debido a su conocida resistencia a la corrosión dentro del cuerpo humano, buenas propiedades mecánicas y a que ha sido utilizado con éxito en la fabricación de otros dispositivos biomédicos, por tal motivo las piezas que entran en contacto directo con él, deben ser construidas con un material que posea características similares para asegurar que cuando se produzcan concentraciones de esfuerzos en las zonas de contacto, no sea sobrepasado el rango de comportamiento elástico. Además, también cuenta la necesidad de mantener un acople estable.

4.1.1 ACERO AISI 420

Normalmente, es siempre difícil proceder a elegir correctamente el acero inoxidable adecuado, pues no solamente debe tenerse en cuenta su resistencia a la corrosión sino también sus propiedades mecánicas, como lo son la dureza y carga admisible, resistencia al desgaste y a la fatiga, y también las posibilidades de mejorar estas propiedades mediante el *tratamiento térmico* [11]. En tal sentido, se eligió el acero **AISI 420 (SAE 51420)** para la elaboración de gran parte de los accesorios que conforman al instrumental, por ser un acero al cromo martensítico endurecible con tratamiento térmico y que ofrece buena tenacidad y una alta resistencia a la corrosión y oxidación; esta última propiedad es fundamental para asegurar la biocompatibilidad de dichos accesorios con los tejidos y fluidos humanos.

- Aplicaciones

Se aplica en general en piezas que requieran altas exigencias mecánicas conjuntamente con resistencia a la corrosión: alabes de turbinas, ejes, asientos de válvulas, ***instrumentos quirúrgicos***, cuchillería, piezas de la industria petrolera, etc.

También se utiliza ampliamente en la industria del plástico para la fabricación de moldes para plásticos corrosivos y abrasivos.

Las piezas que ameritaron ser construidas en acero AISI 420 son: el conector entre el clavo y el resto de la herramienta, el eje con punta roscada del mango de inserción y los cilindros guías del bloqueo (ver fig. 3.18), por ser las que entran en contacto directo con el cuerpo en un momento dado.

Sumindu Aceros Inoxidables, suministró el material con las siguientes propiedades:

Tabla 4.1. Propiedades químicas del AISI 420 (% en masa)								
Acero	P max	C	Si máx	Mn máx	S max	Cr	Ni	Mo
ASI 420	0.04	≥0.15	1.00	1.00	0.03	12.00-14.00	-	-
SAE 51420								

Fuente: Sumindu "Aceros Inoxidables Especiales"

Estado de entrega: recocido

Límite de resistencia a la tracción = 670 Mpa.

Límite de resistencia a la fatiga = 620 Mpa.

Dureza (Hb) = 210

- Aceros inoxidables martensíticos: Propiedades físicas y características mecánicas

En el mercado, las aplicaciones principales que normalmente tienen estos aceros, son: con un contenido de carbono hasta 0.10% para la fabricación de utensilios y objetos de construcción. Con más de 0.20% de carbono, para la fabricación de herramientas cortantes. La carga de rotura esta comprendida entre los 539 y 1617 N/mm²; el límite de fluencia es de 314 a 1274 N/mm²; el alargamiento es de 22 a 4 (10xd%); el porcentaje de contracción de 70 a 15; la resiliencia de 20 a 3 Kgm/cm². [18]

Todos estos aceros pueden tomar el temple por enfriamiento desde temperaturas elevadas y la dureza máxima que alcanzan en aquel depende, esencialmente, de su contenido de carbono. Todos ellos se consideran martensíticos porque tal es la naturaleza de la microestructura de su matriz cuando se encuentran en condición de temple.

Por otro lado, estos aceros presentan otra particularidad muy notable y es que su contenido relativamente bajo en elementos de aleación los hace los menos caros de todos los aceros inoxidable.

Para el estudio particular de los aceros martensíticos podemos clasificarlos en los cuatro grupos siguientes:

Tabla 4.2. Clasificación de los Aceros Martensíticos

	Contenido en C, %	Contenido en Cr, %
Grupo 1	≤ 0.15	11.5-14.0
Grupo 2	0.15-0.4	12.0-15.0
Grupo 3	0.60-1.40	15.0-18.0
Grupo 4	0.10-0.20	13.0-20.0 (con Ni)

Fuente: Conde Gabriel y Santiago, "Aceros inoxidable, refractarios y criogénicos", Pág. 70

Para efectos de este trabajo, sólo se describirán las propiedades del grupo 2. Dentro de este grupo encajan los aceros AISI tipos 420 y 420F y otros varios producidos por distintas acerías de todo el mundo.

Tabla 4.3. Propiedades físicas de aceros martensíticos con 12-16 % Cr

Densidad	7.75 g/cm ³
Coefficiente de dilatación entre 0° y 200°C	11*10 ⁻⁶ %/°C
Conductividad térmica a 100°C	0.06-0.07 cal * cm / cm ² * °C * seg.
Calor específico	0.17 cal/gr °C (a 700°C) , 0.11 cal/gr °C (a 20°C)
Módulo de elasticidad	20300

Fuente: Conde Gabriel y Santiago, "Aceros inoxidable, refractarios y criogénicos", Pág. 71

Entre las propiedades físicas mencionaremos igualmente su capacidad de pulido. Esta propiedad puede suceder que varíe de un acero a otro; depende de la presencia o ausencia de ciertas inclusiones no metálicas, de dimensiones microscópicas, etc.

Las diferentes propiedades de los aceros del grupo 2 cambian más o menos en función de la influencia de los diferentes elementos de adición [14]:

El Níquel, ejerce una influencia sensible, descendiendo el punto de transformación, aumentando la templabilidad y retrasando el ablandamiento por revenido. Cuanto mayor es el contenido de cromo, tanto más se acentúa el fenómeno. En los aceros más carburados, el aumento de la templabilidad puede agravar el riesgo de aparición de grietas.

La influencia del Silicio es inversa a la del níquel: aumenta el punto de transformación, disminuyendo la templabilidad y provoca las mismas modificaciones de propiedades que un aumento del contenido del cromo, es decir, aparición de ferrita en los aceros menos carburados, que disminuye la dureza del metal templado. Sin embargo el principal motivo de la adición de silicio, es provocar un aumento de la resistencia a la oxidación en caliente.

El Manganeso, del cual existen siempre pequeñas cantidades en todos los aceros, no afecta prácticamente las propiedades de los aceros al cromo, si su contenido no pasa del 1%.

El Cobre se añade, a veces, para mejorar la resistencia a la corrosión; se piensa en que influye sobre las otras propiedades más o menos como el níquel, pero a un nivel menos exagerado.

El Molibdeno aumenta la resistencia a la corrosión. Al mismo tiempo eleva el punto de transformación y disminuye la capacidad de temple; empero, cuando los aceros al molibdeno están templados completamente, sus propiedades mecánicas no difieren de la de los aceros que contienen únicamente cromo.

El Azufre se añade a fin de aumentar la facilidad de mecanizado. Provoca cierta fragilidad al rojo del metal y disminuye sensiblemente la resiliencia.

- Resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables

La resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables se debe a la formación, en la superficie de los mismos, de una película de óxido muy delgada y resistente que recibe el nombre de película pasiva. Se forma esta película siempre que el medio que rodea el acero es capaz de ceder oxígeno.

El hierro, níquel y cromo son los tres elementos bases de estos aceros, siendo el cromo el elemento que mayor influencia tiene, ya que todas las aleaciones de este metal adquieren su propiedad de pasividad estable.

4.1.2. ALUMINIO

Una pieza clave dentro del concepto de estabilidad de la herramienta es el mango direccional, el cual no requiere ser fabricado en acero, ya que durante su función no se presentan solicitaciones notables que comprometan la estabilidad de dicha pieza. Por lo tanto el aluminio se presenta como una alternativa para la elaboración de este sólido, ya que en general su composición ofrece las propiedades mecánicas suficientes para que este accesorio cumplan con la función que se espera de él.

Sin embargo el comportamiento del aluminio puro presenta virtudes y defectos en general. Entre las primeras son de destacar la baja densidad, las buenas conductividades eléctricas y térmicas, la alta resistencia a la corrosión, el bajo punto de fusión y las relativas bajas temperaturas de deformación plástica, el buen aspecto superficial, la posibilidad de anodizado, etc. En lo que hace a sus deficiencias características se puede mencionar: propiedades mecánicas pobres, mala colabilidad en el proceso de fundición, deficiente maquinabilidad, etc. [11]

Para superar estas deficiencias del metal puro, se han desarrollado aleaciones con resultados altamente sorprendentes y que actualmente, en función del proceso tecnológico al cual están destinadas las aleaciones, son clasificadas en dos familias:

- Aleaciones destinadas a procesos de deformación plástica.
- Aleaciones para fundición.

La resistencia a la corrosión del aluminio se presenta por la gran afinidad del mismo por el oxígeno, formando con el paso del tiempo una fina capa de óxido en la superficie del metal que lo protege y que puede mejorarse aún más con tratamientos de superficie como el anodizado. Por otro lado, el aluminio es antimagnético, no induce corrientes eléctricas y no es tóxico. [11]

Las características básicas que se necesitan en una aleación para la construcción definitiva del mango direccional son: resistencia a la corrosión, buena maquinabilidad y razonables propiedades mecánicas.

Debido a que se construyó un **prototipo** para ensayos In Vitro de este accesorio, no fue necesario la escogencia de una aleación en particular, sólo fue condición suficiente que ofreciera una buena maquinabilidad y que pudiera adquirirse fácilmente. En tal sentido se utilizó la aleación de aluminio fundido A356. Sin embargo, si el mecanizado en el Centro de Control Numérico resulta viable para la producción del mango, la aleación **6063 T5** también se presenta como una excelente alternativa, dado que dentro de sus cualidades se encuentran las antes mencionadas y a que ya ha sido utilizada con éxito en la construcción de piezas usadas en el área de traumatología.

Tabla 4.4 Propiedades químicas de la aleación 6063								
	Fe	Cu	Si	Mn	Mg	Cr	Zn	otros
6063	0.35	0.15-0.4	0.2-0.6	0.1	0.7-1.1	0.1	0.1	0.15

Fuente: ASM "Properties and selection: Nonferrous Alloys and especial-Purpose Materials", Vol. 2, pág. 20

- Características y aplicaciones comparativas

Conveniente para conformado por extrusión de secciones intrincadas de sección media. Formas en temple T4, Alta resistencia a la corrosión, buena terminación superficial, excelentes características especialmente para anodizados. Sus aplicaciones típicas son: Miembros arquitectónicos tales como barras y marcos de ventanas, etc.

Tabla 4.5 Propiedades físicas de la aleación de aluminio 6063	
Densidad	2.7 g/cm ³
Coefficiente de expansión térmica	23.4 μm/m*°C
Conductividad térmica a 25°C	218 W/m*°C
Módulo de elasticidad	69GPa

Fuente: ASM "Properties and selection: Nonferrous Alloys and especial-Purpose Materials", Vol. 2, págs. 51 y 103

- Propiedades Mecánicas

Límite de resistencia a la tracción ≈ 240MPa.

Límite de resistencia a la fluencia ≈ 215Mpa.

Dureza (Hb) ≈ 73

4.1.3 POLYPROPILENO

Este es el material con el cual están fabricadas las empuñaduras que se usarán en el instrumental de inserción, una vez que su geometría pruebe ser efectiva durante los ensayos. Estas empuñaduras son distribuidas por REID Tool Supply Company. [25]

Para seguir un orden cronológico en la elaboración de este trabajo, se establecen cuales serán los procesos de fabricación para las distintas piezas de la herramienta.

4.2 SELECCIÓN DE PROCESOS DE FABRICACIÓN

4.2.1 PIEZAS A FABRICAR

Conector entre el clavo y la herramienta, mango direccional, mango de inserción con extremo roscado y cilindros guías del bloqueo.

4.2.2 MECANIZADO

La mayoría de las partes que conforman el instrumental para el manejo del clavo intramedular poseen geometrías generadas mediante sólidos de revolución que son elaborados a partir de cilindros macizos de los materiales antes mencionados mecanizados en el torno, además, el diseño de dichas piezas también involucran entallas en cuya fabricación es necesario contar con una fresadora para la obtención de la precisión y forma deseada; por otro lado, el proceso de fresado también es imprescindible para la elaboración del mango direccional dada su geometría.

- Mecanizado de aceros inoxidables

Conocer el material de la pieza a mecanizar es esencial con el fin de determinar los factores esenciales que hagan obtener un buen resultado en la operación de mecanizado. Un acero de contenido medio de carbono es más fácil de mecanizar que una aleación resistente al calor y, una fundición gris es más fácil que una fundición de coquilla, mientras que un acero de bajo contenido en carbono puede crear más problemas que un acero aleado; todo esto depende no sólo de la resistencia y dureza del material de una pieza, sino también de sus inclusiones, aditivos libres, microestructura, componentes duros y abrasivos, etc. [28]

Normalmente, los valores pequeños de dureza y resistencia son favorables. Sin embargo son materiales muy dúctiles y, por lo tanto darán problemas de aportación de material en la arista de corte provocando un acabado superficial malo, formación de rebabas y, por tanto vida de

herramienta corta. El aumento de la dureza, por ejemplo, por estirado en frío tiene una influencia positiva.

En cuanto a la ductibilidad, valores bajos de la misma son positivos generalmente. La formación de viruta es buena, y el proceso de corte es energicamente efectivo. Una ductibilidad baja viene acompañada de una dureza alta y viceversa. Una maquinabilidad buena es a menudo un compendio entre dureza y ductibilidad. [28]

El mecanizado de los materiales duros exige un gran consumo de fuerza a la hora de formar la viruta (fuerza específica de corte alta). En estos materiales generalmente se encuentra una capa superficial endurecida. Si la profundidad de la capa endurecida es como la profundidad de corte, la arista de corte de la herramienta estará expuesta a fuertes tensiones.

La manera más común de mejorar la maquinabilidad de los aceros es añadiendo azufre. Si el acero contiene una cantidad suficiente de manganeso, el azufre y el manganeso formarán el sulfuro de manganeso. Durante la formación de viruta las inclusiones de sulfuro deforman plásticamente y produce planos de baja resistencia, a lo largo de los cuales la energía requerida para la iniciación de la rotura y su propagación es muy pequeña.

En aceros al carbono, aceros inoxidables ferríticos y martensíticos, así como en austeníticos, es normal que tengan aditivos de azufre y selenio, así como en aquellos de fácil mecanización.

Condiciones de la pieza a mecanizar

- Laminado en caliente.
- Normalizado.
- Recocido.
- Estirado en frío.
- Templado y endurecido.

Como se mencionó anteriormente, el estado de entrega del acero AISI 420 es “recocido”, entonces sólo se hará referencia a esta condición desde el punto de vista de la maquinabilidad.

Un material trabajado en frío ha sido generalmente expuesto a una normalización o a un recocido suave. El acero trabajado en frío es producido en tamaños pequeños. En general es fácil producir estructuras uniformes en piezas pequeñas. El trabajo en frío aumentará su resistencia mientras mayor sea el tratamiento mecánico aplicado. Los aceros en frío por sí mismos bajo el punto de vista de mecanizado son favorables debido a:

- Mejora de su estado superficial.
- Reduce el “embotamiento” del filo de corte.
- Reduce la formación de rebabas.

En el mecanizado con herramientas de metal duro, se puede decir que aproximadamente 200 HB es considerado un valor medio donde la dureza juega un importante papel de una u otra manera. Un material blando puede producir tendencias a crear material de aportación (“embotamiento”) en la arista de la herramienta, mientras que materiales muy duros, afectan la maquinabilidad negativamente. [28]

En los aceros inoxidables martensíticos es posible disponer en un estado recocido consistente de una matriz ferrítica con carburos de cromo, entonces como el contenido en carbono en estos aceros es más elevado que en los ferríticos, *normalmente se mecanizan en estas condiciones y después del mecanizado se endurecen.*

Hay muchos tipos de aceros inoxidables y su maquinabilidad varía considerablemente, incluso para los mismos tipos de acero inoxidables. El siguiente diagrama nos da una idea relativa de la maquinabilidad de los aceros inoxidables.

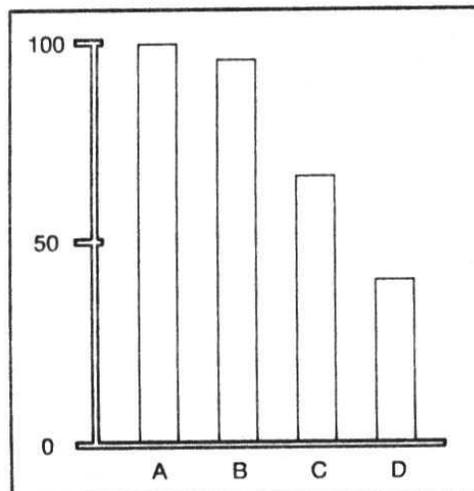


Fig. 4.1 Diagrama Comparación de maquinabilidad entre: (A) Ferrítica, (B) martensítica, (C) Austenítica y (D) aceros inoxidables duplex. Fuente: Sandvik Coromant, "El Mecanizado Moderno", Pág. 11-14

La mejor maquinabilidad de los aceros martensíticos se obtiene con los aceros que contienen un 13% de Cr y bajo contenido de carbono. Con el aumento de contenido de cromo y carbono, la maquinabilidad disminuirá. Los tipos de aceros con contenido alto de carbono (0.8-1%) son muy abrasivos debido a la formación de carburos.

En resumen, las características típicas para el mecanizado de los aceros inoxidables son:

- Una tendencia generalizada de endurecimiento por deformación (mayor presión sobre la arista).
- Conducción pobre de calor (temperaturas de cortes altas).
- Tenacidad y fuerza (elevadas fuerzas de corte y demanda de rotura de viruta).
- Tendencia a la soldadura ("embotamiento" del filo de aportación).

- Mecanizado del aluminio

La mayoría de los aluminios utilizados para mecanizar se presentan en forma de aleaciones. El aluminio puro tiene un uso limitado, debido a que es muy blando y dúctil. Las propiedades tanto del

aluminio como de sus aleaciones van a depender de cómo han sido trabajados anteriormente. Los aluminios aleados se dividen, normalmente, en forjados y aleaciones fundidas.

Los elementos más comunes de aleación son cobre, manganeso, silicio, magnesio, zinc y hierro. Estos producen diferentes efectos sobre las aleaciones: el cobre aumenta la resistencia y mejora la maquinabilidad, el manganeso mejora su ductilidad y su posibilidad de ser fundido, el silicio mejora la resistencia a la corrosión y también facilita la posibilidad de ser fundido, mientras que el hierro aumenta su resistencia y su dureza.

Las aleaciones de aluminio tienen buenas propiedades de maquinabilidad. Las temperaturas de mecanizado son bajas generalmente y podemos obtener velocidades de corte altas. Para controlar bien la viruta en algunas operaciones se necesita valerse de ciertas ayudas. La acción de cortar hará que se necesite una arista muy aguda, positiva y para ello se empleará herramientas de corte con geometría específica para mecanizar aleaciones de aluminio satisfactoriamente. Se necesita un gran ángulo de desprendimiento para evitar tendencia al “embotamiento” del filo de corte. [28]

La maquinabilidad siendo relativamente buena, está basada en la vida de la herramienta, estructura superficial y formación de viruta. Las fuerzas de corte son pequeñas. La forja y las aleaciones fundidas se mecanizan mejor tratadas que recocidas. Inclusive a altas velocidades de corte se puede llegar a producir filo de aportación en ciertas aleaciones, causando un acabado superficial no muy bueno, sobretodo si se trabaja con herramientas de corte que no tienen la geometría adecuada para el mecanizado de aluminio.

El espesor de la viruta es muy importante incluso en el fresado de aluminio. Frecuentemente cuando la velocidad de corte utilizada es elevada, suele ocurrir que el avance tienda a ser bajo, causando excesivo rozamiento, en vez de cortar. Esto producirá un sobre calentamiento dando una vida de herramienta corta. [28]

4.2.3. HERRAMIENTAS DE CORTE

- Torno

Los materiales de corte tienen que ser duros a altas temperaturas, tenaces y resistentes al desgaste.

Los metales duros constan de Carburo de Tungsteno, molibdeno y de titanio además de níquel y cobalto. Estos materiales constituyen por las razones listadas anteriormente, unos magníficos materiales de corte. Permiten el trabajo a velocidades de corte muy elevadas y sirven para trabajar materiales muy duros. [22]

- Geometría del borde cortante

En la cuchilla de torno se distinguen el vástago o mango y la cabeza cortante. El vástago sirve para sujetar el útil. En la cabeza cortante se encuentra el borde cortante, cuya forma depende de las superficies, filos y ángulos presentes.

Ángulos en el borde cortante. Se distingue aquí entre ángulos del útil y ángulo eficaz. Los primeros se refieren a la forma de la herramienta; no a la del corte. Tienen importancia para su fabricación y mantenimiento. Los ángulos eficaces se refieren a la herramienta y a la pieza en el proceso de arranque de viruta.

Los ángulos de la herramienta se miden con ayuda de un sistema de referencia de la herramienta que está constituido por los planos correspondientes (fig. 4.2).

El *plano de referencia* está dispuesto en la cuchilla de torno paralelo a la superficie de apoyo.

El *plano del filo de la herramienta* es perpendicular al plano de referencia.

El *plano de medición de la cuña* es perpendicular al plano de referencia y al del filo.

El *ángulo de incidencia* α es el formado por la superficie de incidencia y el plano del filo.

El *ángulo de filo, o de cuña*, es el que forman la superficie de ataque y la superficie de incidencia.

El *ángulo de ataque γ de la herramienta* es el formado por la superficie de ataque y el plano de referencia.

Los ángulos α , β y γ sumados dan 90° .

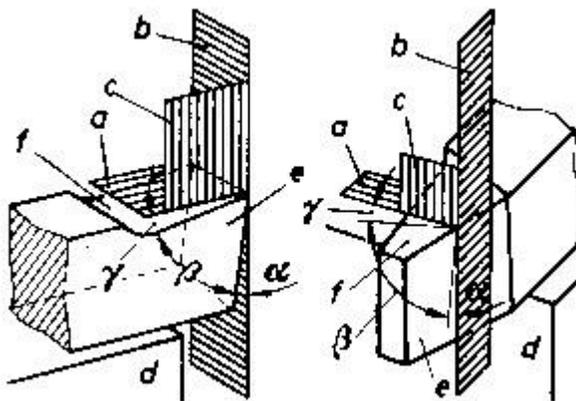


Fig. 4.2 Sistema de referencia de la herramienta (simplificada) y ángulos importantes. a) planos de referencia; b) plano de filo; c) plano de medición de la cuña de la herramienta; d) superficie de apoyo; e) superficie de incidencia; superficie de ataque; α) ángulo de incidencia; γ) ángulo de ataque, β) ángulo de filo o de cuña.

Significado de los ángulos de la herramienta α , β y γ : Estos ángulos existen en todas las cuchillas de torno. Su magnitud correcta se rige sobretodo por el material que se ha de trabajar. El ángulo de filo β tiene un valor agudo para facilitar la penetración en el material, es menos resistente y además conduce mal el calor; el ángulo de incidencia α , debe disminuir la fricción entre la superficie de incidencia y la de corte; el ángulo de ataque γ , cuando es grande, facilita el arranque de viruta y la eliminación de las mismas. [22]

Tabla 4.6 Valores prácticos para los ángulos de corte en el torneado con herramientas de acero rápido y de metal duro (Extracto de AWF158).

Acero rápido		Material	Metal duro	
α	γ		α	γ
8	14	Acero sin alear hasta 700 N/mm ²	6	12
8	10	Acero moldeado hasta de 500 N/mm ²	6	8
8	14	Acero aleado hasta de 850 N/mm ²	6	10
8	10	Acero aleado hasta de 1000 N/mm ²	6	8
8	10	Fundición maleable	6	10
8	0 a 6	Fundición gris	6	0 a 6
8	18	cobre	8	18
8	0 a 6	Latón ordinario, latón rojo, fundición de bronce	6	0 a 6
12	30	Aluminio puro	12	30
12	18	Aleaciones de aluminio para fundir y para forjar	12	14
8	6	Aleaciones de magnesio	8	6
8	14	Materiales prensados aislantes	12	0 a 14
8	10	Goma dura, papel duro	12	0 a 10
-	-	porcelana	6	0

Fuente: H. Gerling, "Alrededor de las máquinas-herramientas", pág.26

Cuchillas de torno con placas de corte de metal duro (elección de los metales duros). Los distintos materiales como acero (viruta larga), fundición gris (viruta corta), exigen para ser trabajados el tipo de metal duro adecuado para cada caso (ver tabla 4.7). [22]

Tabla 4.7 Designación de los metales duros

Letras características	Grupos principales para los materiales en cuanto a arranque de viruta	Color	Grupos de aplicación en cuanto a arranque de viruta
P	Acero, fundición de acero, fundición maleable de viruta larga	azul	 P01 P10 P20 P30 P40 P50 
M	Acero, fundición de acero, acero duro al manganeso, aceros austeníticos, fundición maleable, acero para tornos automáticos	amarillo	 M10 M20 M30 M40 
K	Hierro fundido, fundición dura, fundición maleable de viruta corta, acero templado, metales no féreos, materiales sintéticos	rojo	 K01 K10 K20 K30 K40 

Fuente: H. Gerling, "Alrededor de las máquinas-herramientas", pág.28

 Aumento de la resistencia al desgaste del metal duro, aumento de la velocidad de corte.

 Aumento de la tenacidad del metal duro, aumento del avance.

- Fresa

Las fresas se hacen preferentemente de acero rápido. Para grandes rendimientos de viruta se emplean fresas, por ejemplo las cilíndricas y los platos o cabezales de cuchillas, con filos de metal duro.

Como el acero rápido es un material caro, en el caso de fresas grandes se hace el cuerpo de la fresa con acero de construcción y se le insertan cuchillas de acero rápido. En los platos o cabezales de cuchillas, en vez de las cuchillas insertadas pueden emplearse también placas de corte rotatorias de metal duro. [22]

Las velocidades de corte y avances varían para cortes bastos y cortes para acabados. Indiferentemente del tipo de corte, la pieza de trabajo y herramienta son sumergidas en aceite sulfurizado y diluido con aceite parafinado o preferiblemente una emulsión. El fresado genera mucho calor que es controlado por el fluido de corte, la pieza de trabajo se tuerce o la herramienta se desgasta rápidamente si no es controlado el calor.

Una vez que el fresado se ha iniciado, no debe detenerse porque la herramienta se socava cuando reinicia el corte. Si es necesario volver para hacer una nueva pasada, la herramienta se coloca dos o tres giros detrás de la pieza de trabajo, antes de comenzar de nuevo, evitando así golpes contra el corte.

- Geometría

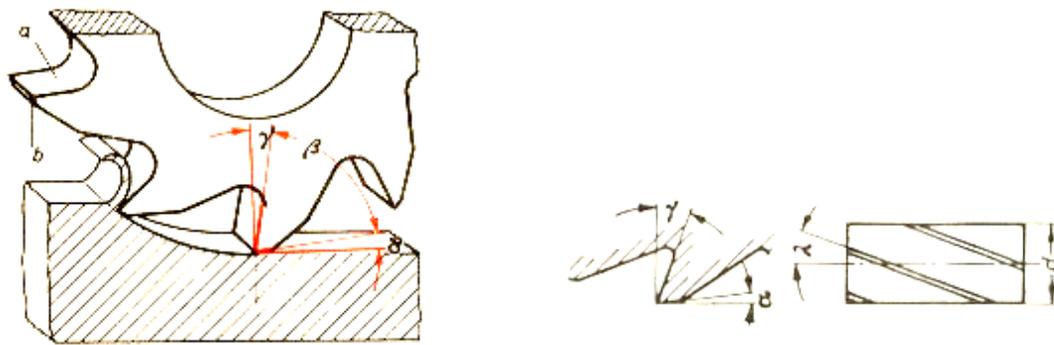


Fig. 4.3 ángulos de corte en los filos de la fresa: α) ángulo de incidencia, β) ángulo de filo, γ) ángulo de ataque, a) superficie de ataque, b) superficie de incidencia, λ) ángulo de inclinación del filo respecto al eje, d) diámetro de la fresa en mm.

Tabla 4.8 Valores normativos para número de dientes y ángulos de corte en fresa.

Tipo de herramienta N: Para aceros ordinarios de construcción (aceros con resistencia a la tracción hasta 1 kN/mm²), fundición gris blanda, metales no férricos de dureza media.

Tipo de herramienta H: Para materiales especialmente duros y tenaces

Tipo de herramienta W: Para materiales de especial blandura y tenacidad

Clase de fresa	Tipo de herramienta	Diámetro de la fresa d_1 (mm)							Ángulos en las fresas						
		Número de dientes z							α	γ	λ				
Fresa cilíndrica DIN 884	N	d_1	40	50	63	80	100	125	160	5 ... 8°	10°	35 ... 40°			
	H	z	6	6	8	8	10	12	14	3 ... 5°	5°	30°			
	W	z	4	4	6	6	8	8	10	8 ... 12°	25°	45°			
Fresa frontal cilíndrica DIN 1880	N	d_1	40	50	63	80	100	125	160	5 ... 8°	10°	20 ... 25°			
	H	z	8	8	10	12	14	16	18	3 ... 5°	5°	15°			
	W	z	4	5	6	8	10	10	12	8 ... 12°	22°	30°			
Fresa de disco DIN 885	N	d_1	50	63	80	100	125	160	200	5 ... 8°	10°	15 ... 20°			
	H	z	8	10	10	12	14	16	18	3 ... 5°	5°	10°			
	W	z	6	6	6	8	10	10	10	8 ... 12°	25°	20 ... 30°			
Fresa angular DIN 842	N	d_1	40	50	63	80	100	125	160	5 ... 8°	0°	0°			
	W	z	12	14	16	18	20	22	24	8 ... 12°	20°	8 ... 15°			
Fresa de vástago DIN 844, 845 (Extracto)	N	d_1	3	5	8	10	16	20	25	32	40	63	8 ... 10°	10°	20°
	H	z	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	4 ... 6°	5°	15°
	W	z	6	6	6	8	10	10	10	12	12	12	8 ... 12°	20°	30°
Fresa de vástago para ranuras en T DIN 851 (Extracto)	N	d_1	12,5	16	22	25	32	40	50	63	75	85	5 ... 8°	10°	... 10°
		z	8	8	10	10	12	12	12	14	14	14			

Fuente: H. Gerling, "Alrededor de las máquinas-herramientas", pág.146

Tabla 4.9 Valores normativos para velocidad de corte (v) y avance por diente de la fresa (S_z)

Material	Fresa de acero rápido							Metal duro		
	v en m/min	s _z = mm/diente						v en m/min	s _z = mm/diente	
		Fresa cilíndrica	Fresa frontal cilíndrica	Fresa de disco	Fresa de vástago	Fresa de forma	Cabezal portacuchillas		Fresa cilíndrica	Cabezal portacuchillas
Fundición gris GG-15	18-22	0,2	0,15	0,07	0,07	0,07	0,3	55-65	0,2	0,3
Fundición gris GG-25	16-20	0,2	0,15	0,07	0,07	0,07	0,3	45-60	0,2	0,3
Fundición maleable GTW-40	16-20	0,2	0,2	0,07	0,07	0,07	0,3	45-60	0,15	0,2
Acero, p. ej.: St 50	20-24	0,2	0,15	0,07	0,06	0,07	0,3	80-120	0,15	0,2
Acero, p. ej.: St 60	18-20	0,15	0,1	0,06	0,06	0,06	0,2	70-100	0,15	0,2
Acero, p. ej.: St 70	12-16	0,1	0,1	0,06	0,06	0,06	0,2	60-100	0,15	0,2
Acero, p. ej.: 31 Ni Cro 14	12-16	0,15	0,1	0,1	0,06	0,06	0,15	60-90	0,1	0,15
Acero, p. ej.: 35 Ni Cro 18	10-14	0,1	0,1	0,07	0,05	0,05	0,1	60-90	0,1	0,1
Fund. de acero, p. ej.: GS-45	16-20	0,15	0,15	0,07	0,07	0,07	0,2	50-80	0,15	0,2
Bronce, p. ej.: GB ₂ 14	40-50	0,15	0,15	0,07	0,07	0,07	0,2	80-100	0,15	0,2
Latón, p. ej.: Ms 60	50-60	0,2	0,2	0,07	0,07	0,07	0,3	100-120	0,2	0,3
Aluminio Al	250-350	0,1	0,1	0,07	0,07	0,07	0,15	400-800	0,1	0,2
Fund. de aluminio	250-350	0,1	0,1	0,07	0,07	0,07	0,15	400-600	0,15	0,2
Materiales sintéticos	55-70	0,15	0,15	0,7	0,07	0,07	0,15	160-200	0,2	0,3

Fuente: H. Gerling, "Alrededor de las máquinas-herramientas", pág.153

- Taladrado

En la elección de la broca para la ejecución de un determinado trabajo de taladrado, hay que tener en cuenta los siguiente: tamaño del agujero a taladrar, material en que se trabaja y afilado de la broca. [22]

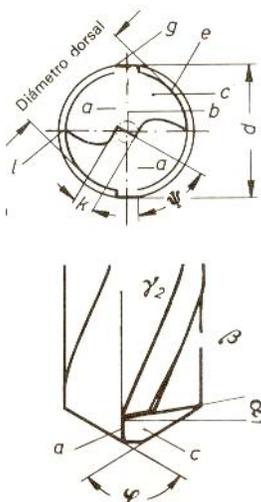


Fig. 4.4 Designaciones en la broca espiral, según DIN: α₁) ángulo de incidencia en las esquinas del filo, γ₂) ángulo de la espiral en las esquinas del filo, β) ángulo de filo, φ) ángulo de la punta, Ψ) ángulo de los fillos transversales, a) filo principal o labio, b) filo transversal, c) superficie de incidencia, d) diámetro de la broca, e) dorso, g)esquina del filo, k) espesor del núcleo, l)arista dorsal.

A los distintos materiales que se trabajan les corresponden determinados tipos de herramientas. Según DIN se distinguen los siguientes tipos:

Herramientas de tipo N (normal) para aceros normales de construcción de máquinas, fundición gris blanda, metales no férricos de dureza media.

Herramientas de tipo H (hart duro) para materiales especialmente duros y materiales tenaces y duros.

Herramientas tipo W (weich blando) para materiales especialmente blandos y tenaces.

Tabla 4.10 Normas para el empleo de los tipos de herramienta N, H, W para el taladrado (extracto de DIN 1414)

Material a trabajar	Tipo de herramienta	Ángulo de la punta
Acero, acero moldeado: 40 a 70 kg/mm ² 70 a 120 kg/mm ²	N	118°
	N	130°
Fundición gris, fundición maleable	N	118°
Latón: hasta Ms 58 desde Ms 60	H	118°
	N	
Cobre hasta Ø broca = 30 mm Ø broca más de 30 mm	W	140°
	N	
Aleación de aluminio: de viruta larga de viruta corta	W	140°
	N	
Mat. moldeados a presión: espesores $s \leq d$ espesores $s \geq d$	H	80°
	W	
Materias prensadas por capas, goma dura	H	80°
Mármol, pizarra, carbón	H	80°

Fuente: H. Gerling, "Alrededor de las máquinas-herramientas", pág. 99

4.2.4 VALORES NORMATIVOS DE CORTE POR DIVERSOS AUTORES

TABLA 4.11 Velocidades de corte, profundidades de viruta, y avances al emplear herramientas de widia en el torno.

MATERIAL	MARCA WIDIA	VELOCIDADES DE CORTE Y SECCIONES DE VIRUTA POSIBLES		VALORES MEDIOS BUENOS	
				DESBASTAR	AFINAR
ALUMINIO	G1	V	800 - 1300	Aprox. 1000	Aprox. 1200
		A	1 - 30	5 - 10	Aprox. 1
		S	0.2 - 4	Aprox. 1	Aprox. 0.2
ACERO INOXIDABLE	S1	V	50 - 120	50 - 70	80 - 120
	S2	V	20 - 90	20 - 60	30 - 90
		A	1 - 20	4 - 8	Aprox. 1
		S	0.2 - 2	Aprox. 1	Aprox. 0.2

V: velocidad de corte en m/min., A: profundidad de viruta en mm., S: avance en mm.

Fuente: A. L. Casillas, "Maquinas cálculos de taller", Pág. 344-347

Para taladrar con brocas widia se emplean velocidades de corte que corresponden a un 75% de las cifras indicadas arriba con avances algo más finos de los usuales al trabajar con brocas de acero rápido.

Tabla 4.12 Velocidades de corte nominales para trabajar aleaciones de aluminio en el torno

Vc(m/min)	
Aleaciones de fundición	Otras aleaciones
Herramientas de acero rápido	
170	140
Herramientas de widia	
360	250

Fuente: ASM Handbook Tomo 7, Tabla 8, pág.7702.

En la siguiente tabla se listan los parámetros nominales para el torneado del acero inoxidable AISI 420.

Tabla 4.13 Velocidades de corte y avances para el acero AISI 420

Profundidad De corte (mm)	ACERO RÁPIDO			CARBURO			
	Vel. (m/min)	Avance (mm/rev)	Material	Vel. (m/min)	Vel. de cilindrado (m/min)	Vel. refrentado (m/min)	material
3.8	26	0.38	T15	107	114	152	C6, CC6
0.75	30	0.18	M42	114	137	183	C7, CC7

Fuente: ASM Handbook Tomo 7, Tabla 4, pág. 692.

Tabla 4.14 Velocidades de corte en metros minutos para trabajar diversos materiales en las maquinas fresadoras utilizando herramientas de widia.

MATERIAL A TRABAJAR	FRESAS NORMALES		
	MARCA WIDIA	V= m/min.	H= avance por diente
ACERO INOXIDABLE	S1	60 - 80	0.01 – 0.03
	S3	20 - 30	0.02 – 0.05
ALEACIONES DE ALUMINIO	G1	50 - 70	0.05 – 0.15

Para afinado debe reducirse el avance 25%, profundidad de fresado para desbaste: 8 – 12 mm., profundidad de fresado para afinado: 1 mm.

Fuente: A. L. Casillas, "Maquinas cálculos de taller", Pág. 598

TABLA 4.15 Velocidades de corte en metros minutos para trabajar diversos materiales en las maquinas-herramientas (valores medios utilizando herramientas de acero rápido 18-20 % W)

MATERIAL A TRABAJAR	CLASE DE TRABAJO		
	TORNEAR	TALADRAR	FRESAR
ALEACIONES ALUMINIO	D 90	80	D 70
	A 120		A 98
ACERO INOXIDABLE	D 8	6	D 6
	A 14		A 10

D: desbaste, A: afinado

Fuente: A. L. Casillas, "Maquinas cálculos de taller", Pág. 590-591

En la siguiente tabla se listan los parámetros nominales para el fresado del acero inoxidable AISI 420.

Tabla 4.16 Velocidades de corte y avances de fresas para el acero AISI 420

Velocidad de corte (m/min)	Avance en mm/diente con una fresa de diámetro:				Material de la herramienta
	6mm	13mm	19mm	25-50mm	
27	0.025	0.05	0.075	0.10	M2, M7
82	0.025	0.05	0.10	0.15	C6

Fuente: ASM Handbook Tomo 7, Tabla 9, pág. 699.

Tabla 4.17 Velocidades de corte y avances en brocas de taladro

Material	Tipo	refrigerante	Vc (m/min)	Curva de avance
Aluminio	Aleaciones forjadas	Aceite soluble (1:25)	≥45	L
	Aleaciones para fundición		30-35	
	Aleaciones silicón			
Aceros inox. martensíticos	HB≤248, S _i ≤1000	Aceite soluble a lata presión	12-16	H

Rango de diámetros de broca en mm.	Rango de avance (mm/rev.)
1-3	0.03-0.075
3-5	0.05-0.18
5-8	0.1-0.28
8-12	0.15-0.35
12-16	0.2-0.45
16-20	16-20
20-25	20-25

Fuente: SOMTA "User Guide", pág14 y 19

Para las brocas de centrar se utilizan los mismos parámetros listados en la tabla anterior, a excepción de los avances los cuales son reducidos en un 40%.

4.3 TRATAMIENTO TÉRMICO

Los tratamientos térmicos tienen por objeto mejorar las propiedades y características de los aceros, y consisten en calentar y mantener las piezas o herramientas de acero a temperaturas adecuadas, durante un cierto tiempo y enfriarlas luego en condiciones convenientes. De esta forma se modifica la estructura microscópica de los aceros, se verifican transformaciones físicas y a veces hay también cambios en la composición del metal. [13]

El tiempo y la temperatura son los factores principales y hay que fijarlos siempre de antemano, de acuerdo con la composición del acero, la forma y el tamaño de las piezas y las características que se desean obtener.

Los tratamientos térmicos más usados son: El recocido, el temple, normalizado, revenido, cementación, nitruración, temple en baño de sales, temple en baño de plomo, etc., *siendo el temple el que presenta mayor importancia dentro de la elaboración de este trabajo pues fue el escogido para alcanzar las propiedades requeridas en la estructura del eje roscado, guía cilíndrica y conector clavo-herramienta construidos todos en acero AISI 420. La aplicación de este tratamiento busca aumentar las cualidades mecánicas para evitar que las piezas, durante su uso, sobrepasen el rango de comportamiento elástico dada las pequeñas dimensiones, peculiares entallas y las sollicitaciones mecánicas a que se encuentran sometidas.*

4.3.1 EL TEMPLE Y REVENIDO

El temple tiene por objeto endurecer y aumentar la resistencia de los aceros. Para ello se calienta en general el acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior y se enfría luego más o menos rápidamente (según la composición y tamaño de la pieza) en un medio conveniente, agua, aceite, etc.

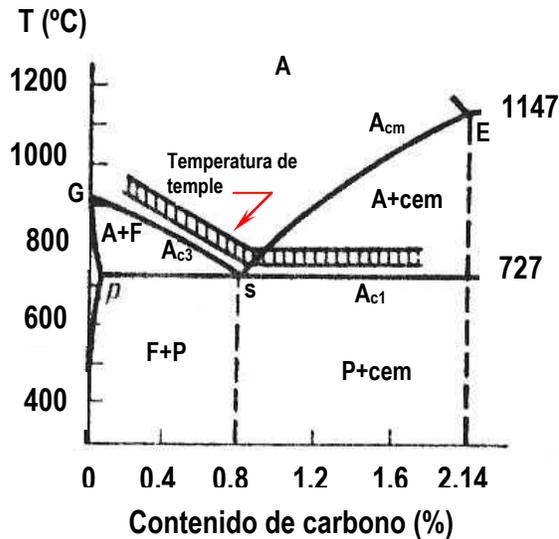


Fig. 4.5 Fuente: Zúev V. *Tratamiento térmico de metales*, pág. 72

Aun cuando los cambios en las propiedades de estos aceros en función de las temperaturas de tratamiento aparezcan como complejos, pueden relacionarse con las alteraciones que tienen lugar en la estructura a medida que se van calentando a temperaturas progresivamente más altas.

Para templar los aceros hipoeutectoides deben calentarse a una temperatura 30-50°C más alta que A_{c3} . En este caso de estructura inicial perlita+ferrita se calienta hasta pasar al estado austenítico. Al enfriarlo a una velocidad mayor que la crítica se obtiene la martensita. A este tipo de temple se le da el nombre de completo. De no enfriarse a esta velocidad, tras el temple aparecerán, junto con la martensita, zonas de ferrita, la cual como constituyente blando disminuye la dureza del acero templado. *Por lo tanto, a todos los aceros hipoeutectoides hay que darles tratamiento completo.* [15]

Para templar los aceros hipoeutectoides deben calentarse a una temperatura 30-50°C más alta que A_{c3} . En este caso de estructura inicial perlita+ferrita se calienta hasta pasar al estado austenítico. Al enfriarlo a una velocidad mayor que la crítica se obtiene la martensita. A este tipo de temple se le da el nombre de completo. De no enfriarse a esta velocidad, tras el temple aparecerán, junto con la martensita, zonas de ferrita, la cual como constituyente blando disminuye la dureza del acero templado. *Por lo tanto, a todos los aceros hipoeutectoides hay que darles tratamiento completo.* [15]

En la siguiente figura se observa una esquematización de la secuencia de tres tipos de tratamientos, incluyendo al temple, nótese la diferencia en la zona de enfriamiento.

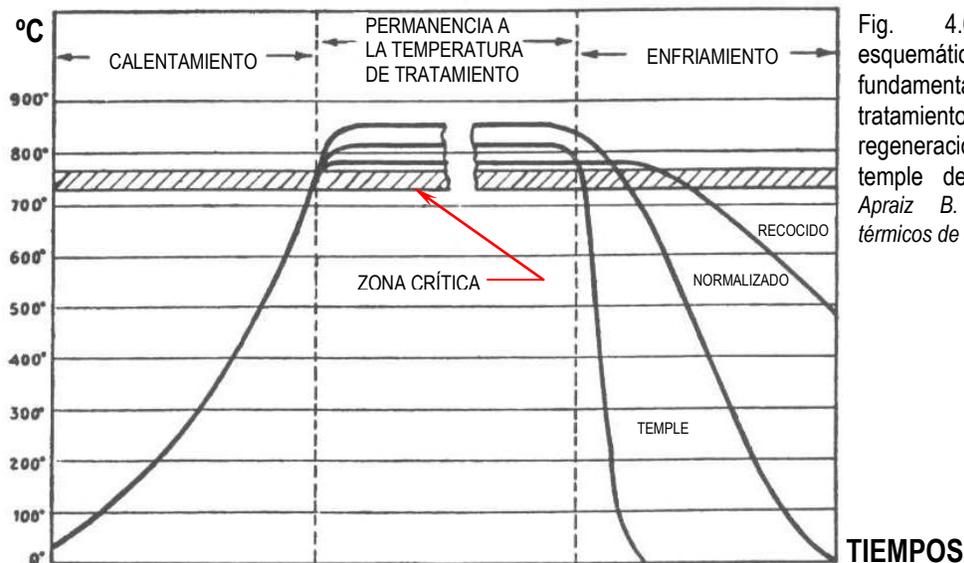


Fig. 4.6 Representación esquemática de los periodos fundamentales en tres tipos de tratamiento térmico: recocido de regeneración, normalizado y temple de un acero. Fuente: Apraiz B. José, *Tratamientos térmicos de los aceros*, pág. 75

En general, todos los aceros martensíticos se comportan ante los diferentes tratamientos térmicos en forma bastante similar a como lo hacen los aceros al carbono aleados.

Como ya se mencionó después del temple, la austenita se transforma en una estructura metaestable, inestable: *la martensita* que es la disolución sólida sobresaturada de carbono en el hierro alfa.

En la condición de temple inicial la estructura básica de estos aceros es martensítica. Cuanto más alto es el contenido de carbono su estructura será más dura y menos tenaz su estructura; además, dicha dureza se debe también a la existencia de un gran número de distorsiones en la estructura cristalina tetragonal, las cuales surgen en el proceso de formación de la martensita. Hay que subrayar que excepto, frente a unos pocos medios, *la resistencia a la corrosión de la martensita es excelente*, quizá en parte por su homogeneidad y también porque en esta forma se encuentra disuelta en la matriz la cantidad máxima de cromo y éste puede prestar su contribución en la resistencia a la corrosión. [16]

Durante la fase de calentamiento, *las piezas de poco espesor y de formas sencillas se pueden introducir directamente en los hornos calientes a alta temperatura (750°C a 850°C)*, pero en el caso de las piezas gruesas debe hacerse lentamente para que haya la menor diferencia de temperatura entre el interior y la periferia, pues en caso contrario se pueden crear fuertes tensiones internas que pueden dar lugar a grietas y roturas. Si no se cumple la condición anterior, entonces durante el paso por la zona crítica aumenta aún más el riesgo de formación de grietas. [13]

Para evitar que las tensiones alcancen valores peligrosos, conviene que en las secciones transversales la diferencia de temperatura entre dos puntos de un mismo radio situados a 25 mm de distancia, no sea superior a 20°C, y para conseguirlo, *la duración del calentamiento desde la temperatura ambiente a los 850°C, debe ser superior a media hora por pulgada de diámetro, y si es posible conviene que la duración del calentamiento sea de una hora por pulgada de diámetro.* [13]

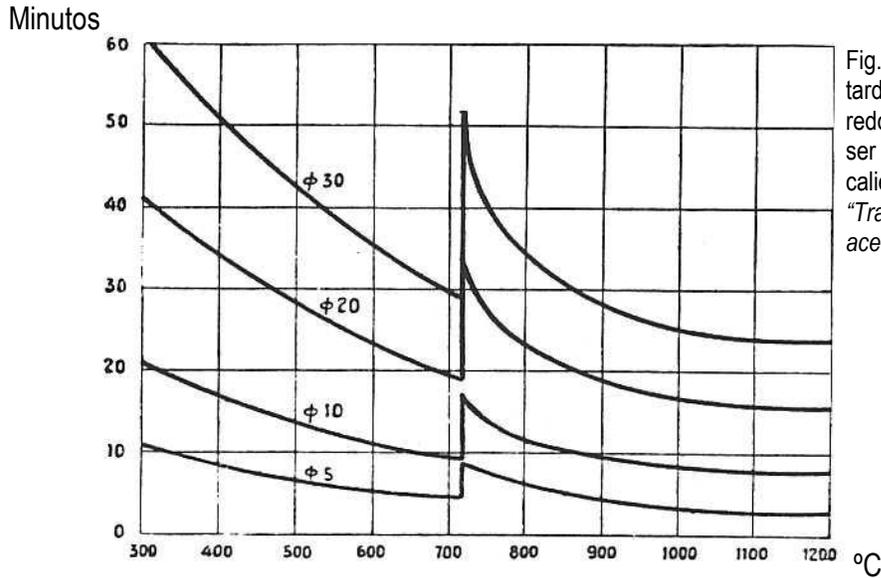


Fig. 4.7 Tiempo aproximado que tarda en calentarse el centro de los redondos de acero al carbono al ser introducidos en un horno caliente. Fuente: Apraiz B. José, "Tratamientos térmicos de los aceros", pág. 77

En la figura anterior se observa que a partir de 721°C el tiempo necesario para que el centro de los redondos alcance la temperatura deseada, aumenta debido al calor que absorbe el acero para que se efectúe la transformación de la perlita en austenita. *La transmisión de calor en los aceros de alta aleación, como los rápidos, inoxidable, indeformables de 13% de cromo, etc., se hace mucho más despacio que en los ordinarios, por lo que la duración del calentamiento deberá ser aproximadamente el doble que el necesario para los aceros al carbono o de baja aleación.* [13]

Para conseguir que toda la masa del acero esté formada por cristales de austenita, hace falta que el acero permanezca a la temperatura de tratamiento durante un cierto tiempo. Esta duración, en el caso del temple, depende de la masa de las piezas, de la temperatura, de la velocidad de calentamiento, de la clase del acero y del estado inicial y final del material. [13]

Cuando el material alcance la temperatura de austenización ocurre que aunque toda la estructura sea ya totalmente austenítica, en los primeros momentos todavía la austenita no es completamente homogénea. Por lo tanto, *en los aceros hipoeutectoides conviene que transcurra algún tiempo para que el carbono se difunda en las zonas que anteriormente fueron ferríticas. Frecuentemente, el tiempo de permanencia se toma igual a 1/5 del de calentamiento.*

Una vez que se supera la temperatura crítica, los aceros comienzan a reendurecerse, a menos que se enfríen a velocidades muy bajas. A medida que se eleva la temperatura, *la dureza va aumentando gradualmente hasta alcanzar un máximo entre 925° y 1065°C*, dependiendo del tipo. *En la siguiente tabla se indican las temperaturas recomendadas para lograr un temple completo en los aceros martensíticos.* [16]

Tabla 4.18 Temperaturas de temple para los aceros martensíticos

TIPO N°	TEMPERATURA DE TEMPLE RECOMENDADA, EN °C	DUREZA MÁXIMA ALCANZABLE EN EL TEMPLE	
		Brinell	Rockwell C
403	925-1010	380-415	39-43
410	925-1010	380-415	39-43
414	980-1065	400-450	42-47
416	925-1010	380-415	39-43
420	980-1040	530-560	53-56
420F	980-1040	530-560	53-56
431	980-1065	410-440	42-46
440 A	1010-1065	555-590	55-58
440B	1010-1065	575-610	57-59
440C	1010-1065	620-630	60-62
440F	1010-1065	620-630	60-62

Fuente: Gabriel Conde y Santiago, "Aceros inoxidable, criogénicos y refractarios", pág. 70

Para templar los aceros al carbono que se caracterizan por elevada velocidad crítica de enfriamiento se emplean como medios de temple el agua y diversas soluciones acuosas, mientras que para los aceros aleados de pequeña velocidad crítica de enfriamiento se utiliza el aceite y el aire. [15]

El temple en un solo medio enfriador es de mayor uso. La pieza calentada a cierta temperatura se sumerge en el medio para templar en el cual permanece hasta enfriarse completamente. Este método se utiliza para las piezas de forma simple fabricadas con aceros al carbono o aleados. Las piezas de acero al carbono con diámetro superior a 5mm se enfrían en el agua y las de diámetro menor, en el aceite. Los aceros aleados se enfrían en aceite. A fin de disminuir las tensiones internas, antes de introducir las piezas en el líquido para templar, se les enfría ligeramente durante cierto tiempo al aire.

La máxima resistencia a la corrosión se obtiene después de un tratamiento térmico constituido por un temple y un revenido [12].

El revenido es la operación final del tratamiento térmico que se realiza después del temple a fin de disminuir las tensiones internas y obtener estructura de mayor equilibrio. Llámese revenido el tratamiento térmico en el cual el acero se calienta hasta una temperatura inferior a A_{c1} (ver fig. 4.5), se mantiene a temperatura prefijada y después se enfría a una velocidad determinada, preferiblemente en aire o aceite.

La velocidad de enfriamiento después del revenido ejerce gran influencia en la magnitud de las tensiones residuales, cuanto mas lento es el enfriamiento, tanto menores son las tensiones residuales. Las tensiones que se producen en el acero después de realizar el enfriamiento de revenido al aire o en aceite son 7 ó 2,5 veces menores respectivamente que las tensiones que aparecen después de efectuar el revenido en agua. [15]

La zona de temperaturas comprendidas entre 450 y 500°C es un rango de referencia que delimita dos tipos de revenido. Cuando se quiere conservar la dureza máxima, se hace con frecuencia un simple revenido de eliminación de tensiones a 200-250°C, que es suficiente para disminuir las tensiones sin provocar cambios estructurales sensibles [14]. Este revenido da la mejor combinación posible de dureza y resiliencia, y la estructura más favorable para la resistencia a la corrosión. Para realizar estas condiciones, es mejor templar al acero a la temperatura máxima admitida, es decir, alrededor de 1000-1040°C.

Un segundo tipo de revenido, efectuado entre 550 y 750°C, se propone, en cambio, modificar profundamente la estructura.

La duración del revenido generalmente es de 1-2.5 horas. [24]

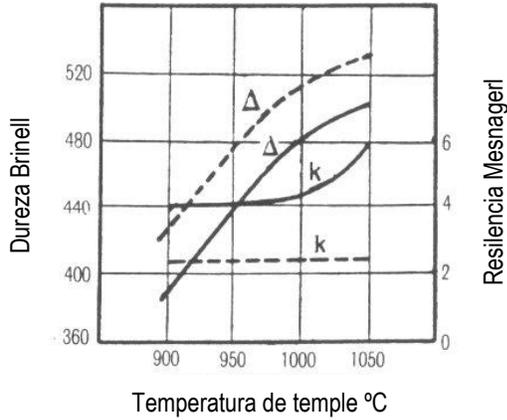


Fig. 4.8 Influencia de la temperatura de temple sobre la dureza Brinell y sobre la resiliencia después de un revenido a 200°C efectuado sobre los aceros martensíticos:

— C=0.26%
 - - - C=0.38%

4.3.2 ESTADO DE ENTREGA DEL ACERO AISI 420 (para más detalle ver apéndice C)

Tabla 4.19 Tratamiento térmico del material

Tratamiento	Temperatura °C	Medio de enfriamiento	Dureza	
			Rc	HBN
NORMALIZADO	NO NORMALIZAR	-		
RECOCIDO	840 – 870	HORNO		228 (máx.)
TEMPLE	980 -1040	ACEITE, AIRE, SALES	56 (máx.)	
REVENIDO	205 - 370	-	48 - 56	

Fuente: SUMINDU Aceros Especiales, certificado de calidad

CURVA DE REVENIDO 420

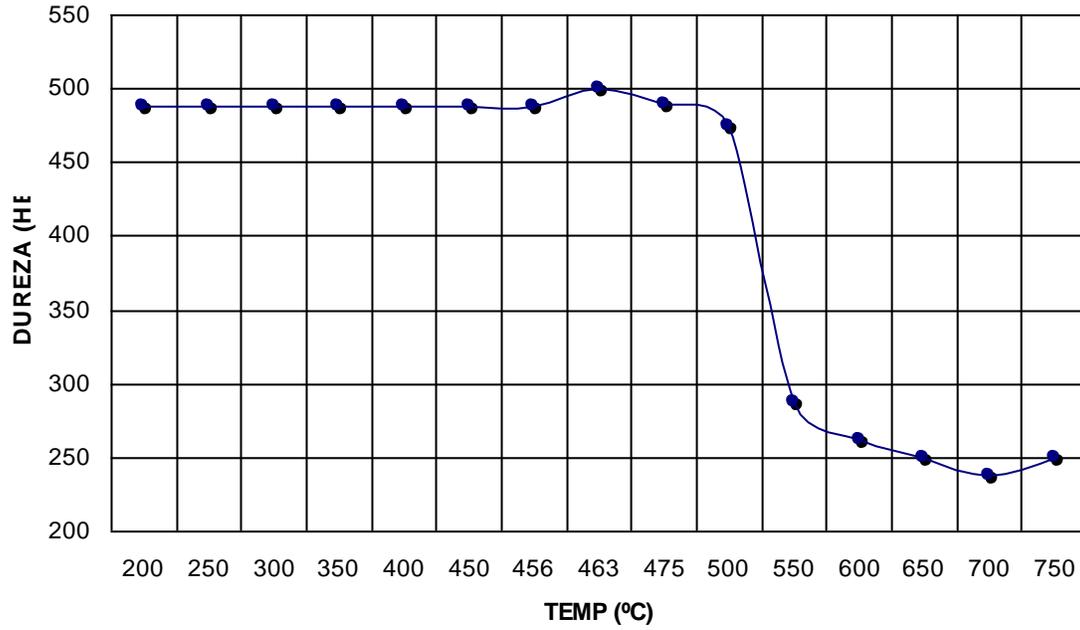


Fig. 4.9 Curva de revenido correspondiente a 420 con 0.31 % C, 13.12 % Cr.



Capítulo 5

Metodología del proceso de fabricación y ensayo “In Vitro” del prototipo final

El objetivo de este capítulo es proporcionar información acerca de la secuencia de manufactura y parámetros de maquinado utilizados en ella, para la obtención física de las piezas que conforman el instrumental de inserción. Así mismo se hizo una descripción del ensayo In Vitro realizado al conjunto clavo-herramienta simulando el proceso de colocación y bloqueo del dispositivo de fijación en una cirugía; para de esta manera validar geoméricamente el prototipo final.

5.1 PROCESO DE MANUFACTURA

Antes de comenzar con la descripción del proceso, hay que tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Los valores nominales de corte bajo los cuales se basaron los cálculos realizados fueron extraídos en su mayoría del ASM International Handbook.
- Por limitaciones en la capacidad máxima de las máquinas-herramienta disponibles para la construcción de los prototipos, no se aplicaron los parámetros de corte óptimos imprescindibles para la fabricación comercial de las piezas; sobretodo para los trabajos en torno.

- los tiempos de mecanizado fueron estimados sin tomar en cuenta el tiempo de preparación de las herramientas ni el tiempo necesario para la programación de las secuencias de mecanizado con sus respectivos parámetros de corte.
- Las profundidades de corte para la elaboración del mango direccional fueron estimadas en función de las dimensiones dadas al tocho de aluminio para los fines del presente trabajo.
- La dirección de corte fue siempre perpendicular al eje longitudinal de cada una de las caras del mango direccional, con el objeto de asegurar que no haya movimiento relativo entre el tocho y el tornillo de sujeción por la acción de las fuerzas de corte que intervienen al momento de producirse el arranque de viruta y que forman un par torsor.

5.1.1 MANGO DIRECCIONAL (ver apéndice B, plano N° 2)

Para la fabricación del mango direccional se utilizó un centro de mecanizado modelo BRIDGEPORT TORQ-CUT 22, ya que la pieza en cuestión cuenta con una geometría formada por caras planas y ortogonales entre sí en su mayoría (ver fig. 3.18a); además por ser una parte clave dentro del instrumental quirúrgico, se requiere de cierta precisión para conseguir la alineación de todos los orificios del sistema. En tal sentido, el montaje y sujeción de la preforma en el mandril del cuarto eje juega un papel importante ya que mediante giros precisos a los ángulos requeridos, se mecanizaron las primeras 5 caras del prototipo final del mango y los respectivos agujeros que sirven de guía al bloqueo, como se explica en el siguiente párrafo.

- Fase preliminar

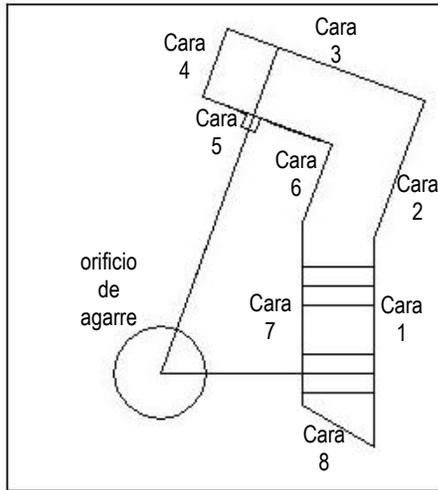


Fig. 5.1 Disposición geométrica de la pieza con respecto al tocho

Dimensionamiento del tocho de aluminio, por ejemplo (100 x 90 x 22.25) mm, que contenga a la pieza y al orificio pasante por medio del cual se hace la sujeción en el mandril del CNC. El centro de este orificio se encuentra en la intersección geométrica de los ejes de simetría de dos de los agujeros guía que forman parte del mango (fig. 5.1), para así asegurar que al momento de maquinar dichos huecos, estos queden orientados de la forma más exacta posible a como fueron diseñados.

En el CNC, se procede a planear todas las caras de la pieza de trabajo con el fin de asegurar la perpendicularidad y el paralelismo necesario para referenciar con exactitud los planos de corte del

mango. Luego se taladra el orificio a través del cual se hace pasar un tornillo que sirve de soporte para el agarre del tocho en el mandril; este orificio debe tener un diámetro lo suficientemente grande como para ofrecer a la pieza la estabilidad requerida al momento de producirse el arranque de viruta, cuya vibración induce al tocho a efectuar movimientos relativos con respecto al tornillo. Además, es indispensable que el apriete del tornillo sea el mayor posible. Para efectos de este trabajo el diámetro del orificio fue de 3/4 pulg.

Luego, por medio de la tuerca que realiza el apriete del tornillo, se hace la sujeción del tocho en las mordazas del mandril (fig. 5.2). Una vez hecho esto, se procede a realizar los procesos de desbaste y afinado necesarios para dar forma al mango direccional.

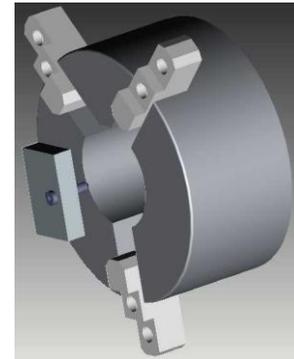


Fig. 5.2 Agarre del tocho en las mordazas del mandril

- Fase de mecanizado

Los procesos básicos involucrados durante la elaboración del *mango direccional* son el desbaste, refrentado, afinado, taladrado y avellanado. Las herramientas utilizadas fueron: *una fresa con cabezal portaplaquitas, una fresa HSS cuatro cortes de 10 mm. de diámetro, brocas de centrar de 2*

y 5mm, brocas de 4, 6, 6.8 y 9 mm de diámetro, un juego de machos para hacer rosca M8 (1.25hilos/mm) y una fresa HSS para avellanar con corte a 60° (para más detalles ver apéndice A).

Mecanizado del tocho

maquina	operación	Secuencia	v_c (m/min) periférica	n (rpm)	f (mm/min)	t (min)	herramienta
C.N.C.	Planeado del tocho	Desbaste (0)	305	1940	290	3	fresa con cabezal portaplaquitas
		Afinado (0)	395	2500	200	4.3	

Observaciones:

El agarre del tocho fue realizado directamente en la mesa de trabajo mediante dos bridas de sujeción en esquinas opuestas ubicadas diagonalmente (fig. 5.3), para así planear la zona central de la pieza de trabajo y sus adyacencias. Luego las bridas fueron nuevamente posicionadas en los dos vértices restantes ya maquinados para planear el material sobrante. Este proceso se hizo por ambas caras hasta obtener el espesor deseado el cual es de **22.25 mm**.

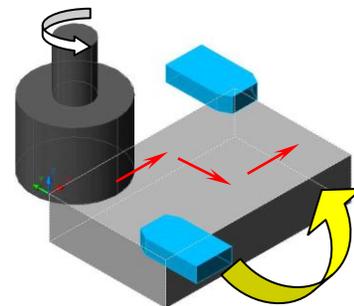


Fig. 5.3 Simulación del proceso de planeado del tocho.
 → Recorrido de la herramienta.

Ancho original del tocho de aluminio: **25 mm**.

Desbaste (0) hecho a una profundidad de corte de **1mm** en una pasada por ambas caras.

Afinado (0) hecho a una profundidad de corte de **0.375 mm** en una pasada por ambas caras.

Para comenzar con la etapa de mecanizado de la pieza fue necesario escoger una cara de la misma, para ello se tomaron en cuenta aquellas que contenían los orificios guía (cara 1) y el agujero pasante para la inserción del eje roscado (cara 3), ya que una vez afinadas tales zonas, se podían realizar inmediatamente los orificios guías manteniendo la misma relación de perpendicularidad obtenida entre el husillo y la pieza de trabajo; entonces en vista de la importancia de la alineación inherente al extremo inferior del mango, la cara 1 fue la superficie ideal para iniciar la primera operación de mecanizado por ser parte del contorno exterior de la pieza y porque al momento de ser

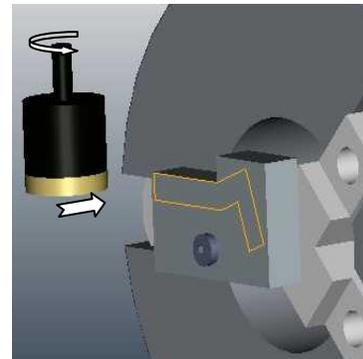
trabajada, no se compromete en gran medida el agarre del tocho con respecto al tornillo de sujeción; siempre y cuando la trayectoria de la herramienta de corte sea perpendicular al eje longitudinal del extremo inferior del mango.

Mecanizado de la cara 1

maquina	operación	secuencia	v _c (m/min)	n (rpm)	f (mm/min)	t (min)	herramienta
C.N.C.	Cara 1	Desbaste (1)	305	1940	290	3.57	fresa con cabezal portaplaquitas
		Afinado (1)	395	2500	200	0.37	

Observaciones:

La eliminación del material en exceso de esta cara fue hecha mediante 14 pases transversales a su eje longitudinal durante la ejecución de la secuencia de desbaste. Luego con una profundidad de corte de 0.26 mm, se procedió a afinar dicha zona.



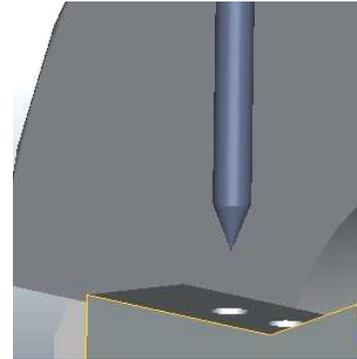
Para abarcar toda la extensión de la cara 1 con la fresa de Ø50mm, se dividió la superficie en dos tramos de igual longitud, con el objeto de eliminar todo el material sobrante de dicha cara, lo que indujo a que el tiempo de desbaste y afinado se haya duplicado debido a que las secuencias de mecanizado se ejecutaron dos veces.

Manufactura de los orificios guías de la cara 1

maquina	operación	secuencia	v _c (m/min)	n (rpm)	f (mm/min)	t (min)	herramientas
C.N.C.	Cara 1: Orificio (1) Orificio (2)	Centro punto	30	1900	171	0.02	Broca de centrar de Ø5mm.
		Taladrado (1)	30	1590	270	0.13	Broca de Ø6 mm.
		Taladrado (2)	30	1060	212	0.18	Broca de Ø9mm.

Observaciones:

La profundidad de corte para la broca de centrar y para las brocas de 6, 6.8 y 9 mm fue de 3 y 16mm respectivamente. Estas secuencias se ejecutaron inmediatamente después de mecanizar la cara 1.

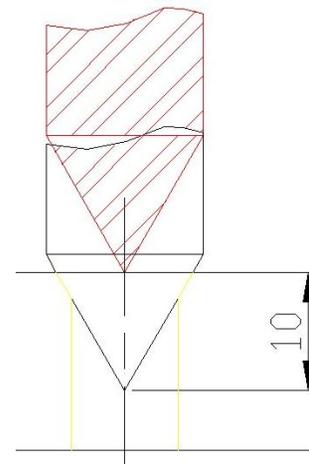


Avellanado

maquina	operación	secuencia	v_c (m/min)	n (rpm)	f (mm/min)	t (min)	herramientas
C.N.C.	Cara 1:	Avellanado (1)	6	300	25	0.44	Broca de avellanar (60°)
	Orificio (1)	Avellanado (2)	6	300	25	0.44	
	Orificio (2)						

Observaciones:

La operación de avellanado se realizó principalmente para darle una presentación más estética a los agujeros de la cara 1, por otro lado, también ayuda a la eliminación de la rebaba producida por la secuencia de taladrado. La profundidad de corte fue de 10 mm.

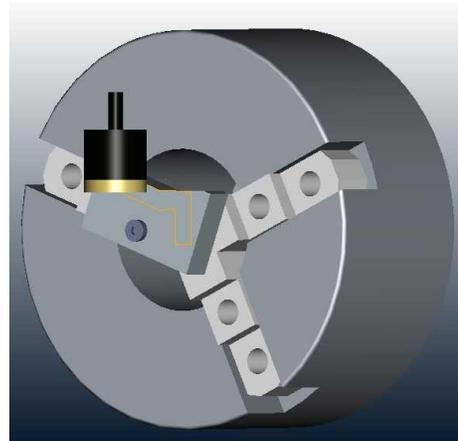


Mecanizado de la cara 2

maquina	operación	secuencia	v_c (m/min)	n (rpm)	f (mm/min)	t (min)	herramienta
C.N.C.	Cara 2	Desbaste (2)	305	1940	290	1.7	fresa con cabezal portaplaquitas
		Afinado (2)	395	2500	200	0.19	

Observaciones:

Se hace rotar el mandril un ángulo de 20° para colocar el plano de la cara 2, perpendicular al eje del husillo y así poder realizar las secuencias necesarias para la obtención de esa superficie. La eliminación del material en exceso de esta cara fue hecha mediante 13 pases transversales a su eje longitudinal durante la ejecución de la secuencia de desbaste, a una profundidad de 1mm. Luego con una profundidad de corte de 0.4 mm, se procedió a afinar dicha zona.

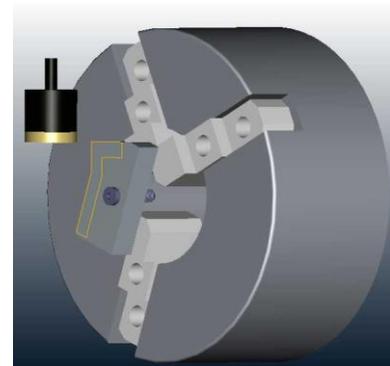


Mecanizado de la cara 3

maquina	operación	secuencia	v _c (m/min)	n (rpm)	f (mm/min)	t (min)	herramienta
C.N.C.	Cara 3	Desbaste (3)	305	1940	290	4.9	fresa con cabezal portaplaquitas
		Afinado (3)	395	2500	200	0.37	

Observaciones:

Se hace rotar el mandril un ángulo de 90° tomando la cara 2 como referencia. La eliminación del material en exceso de esta cara fue hecha mediante 19 pases transversales a su eje longitudinal durante la ejecución de la secuencia de desbaste, a una profundidad de 1mm. Luego con una profundidad de corte de 0.98 mm, se procedió a afinar dicha zona.



Para abarcar toda la extensión de la cara 3 con la fresa de Ø50mm, se dividió la superficie en dos tramos de igual longitud, para eliminar todo el material sobrante de dicha cara, lo que indujo a que el tiempo de desbaste y afinado se haya duplicado debido a que las secuencias de mecanizado se ejecutaron dos veces.

Manufactura del agujero pasante de la cara 3

maquina	operación	secuencia	v_c (m/min)	n (rpm)	f (mm/min)	t (min)	herramientas
C.N.C.	Cara 3: Orificio (4)	Centro punto	13	2000	180	0.016	Broca de centrar de $\varnothing 2$ mm.
		Taladrado (4)	30	2300	276	0.07	Broca de $\varnothing 4$ mm.

Observaciones:

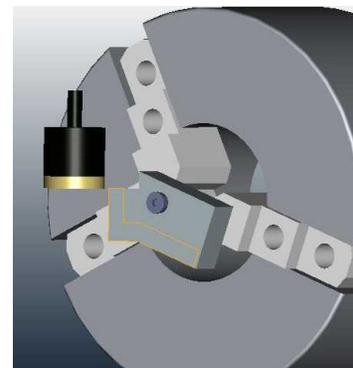
Una vez mecanizada la cara 3, se procede a manufacturar el orificio a través del cual se hará pasar el eje con punta roscada del mango de inserción. La profundidad de corte fue de 19mm.

Mecanizado de la cara 4

maquina	operación	secuencia	v_c (m/min)	n (rpm)	f (mm/min)	t (min)	herramienta
C.N.C.	Cara 4	Desbaste (4)	305	1940	290	6	fresa con cabezal portaplaquitas
		Afinado (4)	395	2800	200	0.2	

Observaciones:

Se hace rotar el mandril un ángulo de 90° tomando la cara 3 como referencia. La eliminación del material en exceso de esta cara fue hecha mediante 44 pases transversales a su eje longitudinal durante la ejecución de la secuencia de desbaste, a una profundidad de 1mm. Luego con una profundidad de corte de 0.46 mm., se procedió a afinar dicha zona.

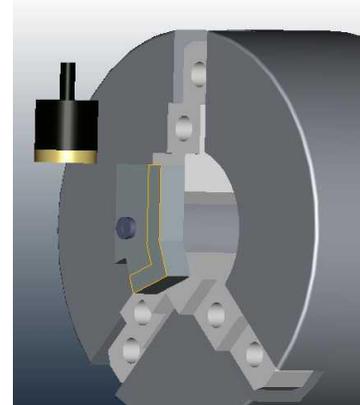


Mecanizado de la superficie que contiene la arista superior de la cara 8

maquina	operación	secuencia	v_c (m/min)	n (rpm)	f (mm/min)	t (min)	herramienta
C.N.C.	Cara 8	Desbaste (5)	402	2560	200	1.25	fresa con cabezal portaplaquitas
		Afinado (5)	440	2800	70	0.72	

Observaciones:

Se hace rotar el mandril un ángulo de 90° con respecto a la superficie 1. La eliminación del material en exceso de esta cara fue hecha mediante 10 pases transversales a su eje longitudinal, los ocho primeros fueron realizados a una profundidad de 1mm, seguido por un pase a 0.5mm; todo durante la ejecución de la secuencia de desbaste, luego se realizó un último pase a una profundidad de corte de 0.5mm durante la secuencia de afinado. La idea es formar la superficie que contiene la arista superior del plano inclinado dado en diseño que será mecanizado inmediatamente después de desmontar la pieza final.



Para continuar con las operaciones de mecanizado de las superficies internas de la pieza (cara 5, 6 y 7), es necesario desmontar el tocho del mandril y sujetarlo firmemente en las mordazas de la prensa (fig. 5.4).

En primer lugar se alinea la cara 1 de la pieza con la superficie horizontal de la bancada del C.N.C.; de esta manera se puede desbastar gran parte del material sobrante.

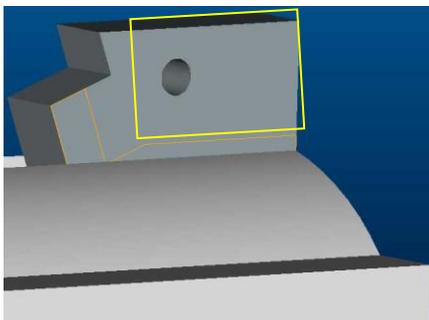


Fig. 5.4 Posicionamiento del tocho en la prensa.

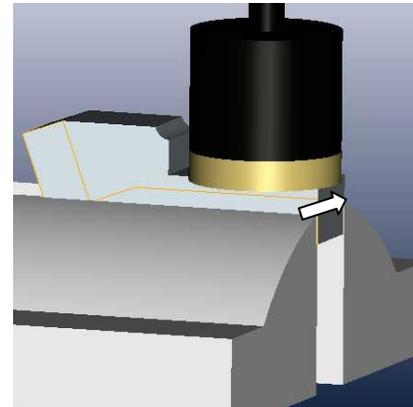
 Zona de arranque de viruta

Mecanizado de cara 7

maquina	operación	secuencia	v_c (m/min)	n (rpm)	f (mm/min)	t (min)	herramienta
C.N.C.	Cara 7	Desbaste (6)	305	1940	290	23	fresa con cabezal portaplaquitas
		Afinado (6)	395	2500	200	0.55	

Observaciones:

La eliminación del material en exceso de esta cara fue hecha mediante 60 pases transversales a su eje longitudinal durante la ejecución de la secuencia de desbaste, a una profundidad de corte de 1mm. Luego se realizó un último pase a una profundidad de 0.73mm durante la secuencia de afinado.



Para abarcar toda la extensión de la cara 7 con la fresa de $\varnothing 50\text{mm}$, se dividió la superficie en dos tramos de igual longitud (50mm), con el objeto de eliminar todo el material sobrante de dicha cara, lo que indujo a que el tiempo de desbaste y afinado se haya duplicado debido a que las secuencias de mecanizado se ejecutaron dos veces.

Para ejecutar las secuencias de arranque de viruta en las caras 5 y 6, es necesario modificar el modo de sujeción de la pieza con respecto a la prensa. Para ello, se colocó el plano de la cara 3 paralelo a la superficie horizontal de la bancada (fig. 5.5).

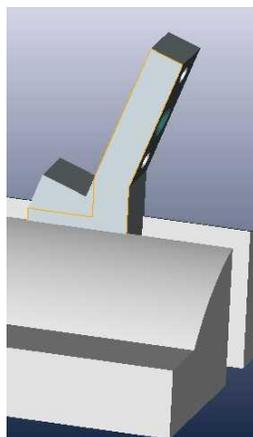


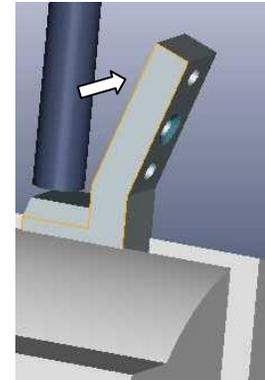
Fig. 5.5 Montaje de la pieza en la prensa para el mecanizado de la cara 5 y 6

Planeado

maquina	operación	v_c (m/min)	n (rpm)	f (mm/min)	t (min)	herramienta
C.N.C.	planeado	100	3000	600	3	fresa cuatro cortes de $\varnothing 10$ mm HSS

Observaciones:

Para comenzar se eliminó el material necesario para dejar una superficie completamente horizontal, seguidamente se midió la distancia entre esta superficie y la cara 3, para calcular el espesor del volumen restante a ser mecanizado. Luego se procedió al arranque de viruta hasta reducir la distancia a 18 mm, la cual es la suma del espesor del cuerpo del mango (15mm) y la altura de la pestaña donde se inserta el conector (3mm).



En este caso, se efectuaron 12 pasadas a una profundidad de corte de 0.5mm durante la secuencia de desbaste y afinado del material sobrante. Se dispuso la fresa de manera transversal con respecto al eje longitudinal (ver fig. 5.6) con el fin de no comprometer el agarre de la pieza y de ir obteniendo durante las sucesivos cortes, la superficie de la cara 6.

Mecanizado de las caras 5 y 6

maquina	operación	secuencia	v_c (m/min)	n (rpm)	f (mm/min)	t (min)	herramienta
C.N.C.	Cara 5 y 6	Desbaste (7)	100	3000	600	0.6	fresa cuatro cortes de $\varnothing 10$ mm HSS
		Afinado (7)	120	3800	152	0.46	

Observaciones:

Una vez realizado el planeado, se programó la segunda etapa de mecanizado para así obtener la geometría de la pestaña. Para ello se contó con un nuevo origen del sistema de coordenadas de la fresa relativo

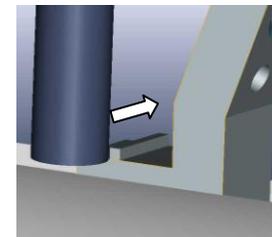


Fig. 5.6 Mecanizado de la pestaña

a la bancada localizado en la arista formada por la intersección de las caras 4 y 5, en donde posteriormente se posicionó el eje de la fresa. Seguidamente se ejecutaron las secuencias de desbaste y afinado necesarias para remover el material de las zonas de la superficie 5 aledañas a la pestaña:

Se realizaron 5 pases durante la secuencia de desbaste, a una profundidad de corte de 0.5mm; luego se procedió a dar el acabado final mediante un pase a 0.5 mm de profundidad. Como en las operaciones anteriores, también se orientó la herramienta de manera transversal a la cara 5 a fin de obtener durante la ejecución del programa, las paredes de la pestaña (fig. 5.6).

Después de ejecutar la operación anterior, fue necesario modificar el agarre de la pieza en la prensa para proceder a mecanizar la cara 8.

maquina	operación	secuencia	v_c (m/min)	n (rpm)	f (mm/min)	t (min)	herramienta
C.N.C.	Cara 8	Desbaste (8)	305	1940	290	3	fresa con cabezal portaplaquitas
		Afinado (8)	395	2500	200	0.5	

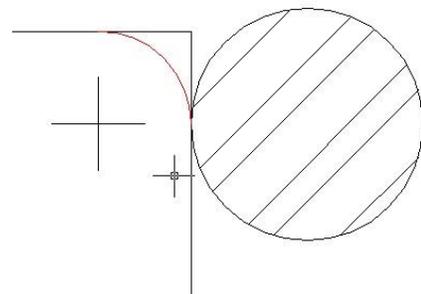
Una vez fabricado el mango direccional, se procedió a darle los toques finales a la geometría externa de la pieza.

Mecanizado para redondear la arista formada por las caras 2 y 3

maquina	operación	v_c (m/min)	n (rpm)	f (mm/min)	t (min)	herramienta
C.N.C.	Redondear arista (1)	100	3000	600	0.33	fresa cuatro cortes de $\varnothing 10$ mm HSS

Observaciones:

Para lograr suavizar esta arista se utilizó dentro del programa de la secuencia, un radio de 4mm y el ángulo que



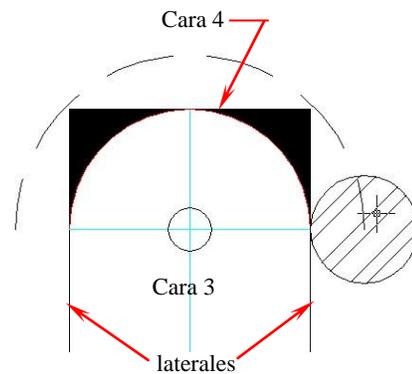
definió la trayectoria fue de 90°. la sujeción se realizó colocando el mango acostado horizontalmente y apoyado sobre unos soportes de aluminio de tal forma de que la fresa al finalizar su rutina de corte, no tocara la bancada. El arranque de viruta se realizó mediante 32 pases a una profundidad de corte de 0.5 mm cada una.

Mecanizado para redondear la superficie 15

maquina	operación	v_c (m/min)	n (rpm)	f (mm/min)	t (min)	herramienta
C.N.C.	Redondear arista (2)	100	3000	600	2	fresa cuatro cortes de $\varnothing 10$ mm HSS

Observaciones:

Para lograr el mecanizado esta superficie se utilizó dentro de la rutina del programa, un radio de 11.125mm y el ángulo que definió la trayectoria fue de 180°. la sujeción se realizó en la prensa colocando la cara 3 de la pieza perpendicular al eje del husillo. El arranque de viruta se realizó mediante 32 pases a una profundidad de corte de 0.5 mm cada una.



- Imágenes de parte del proceso de fabricación del mango direccional

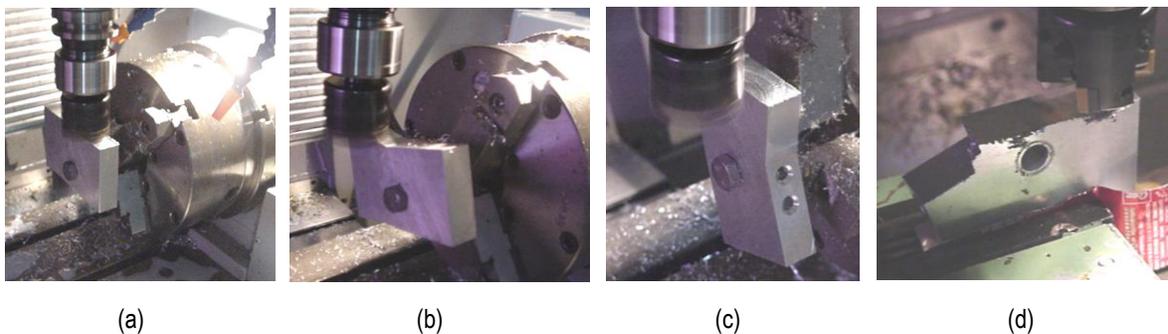


Fig. 5.7 Parte del proceso de fabricación del mango direccional, a) mecanizado de la cara 1, b) mecanizado de la cara 2, c) mecanizado de la cara 3 d) desbaste del material sobrante para el mecanizado de la cara 7.

5.1.2 CONECTOR ENTRE EL CLAVO Y LA HERRAMIENTA (ver apéndice B, plano N° 3)

- fase preliminar

El conector fue fabricado en acero AISI 420, a partir de una barra cilíndrica de 3/4 pulg. de diámetro.

Las secuencias básicas involucradas durante la elaboración del *conector* son el cilindrado, conchado, refrentado, taladrado y desbaste en el torno. Las herramientas utilizadas fueron: *una cuchilla de torno con placa de widia ISO 6 20x20 mm P30 marca SANVIDK, broca de centrar HSS de 2 mm de diámetro, brocas de 3 , 4 y 10 mm de diámetro, fresa 4 cortes de 3 mm de diámetro y una fresa con cabezal portaplaquitas*, (para más detalles, ver apéndice A).

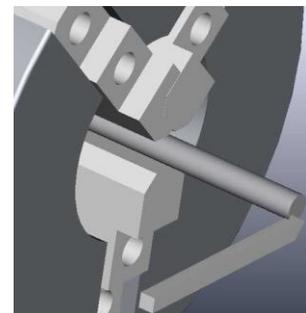
- Fase de mecanizado

Inicialmente se procedió a cortar el tocho de acero de forma tal que su longitud abarcara la altura de la pieza y una distancia mínima necesaria para guardar un margen de seguridad y para asegurar el agarre del tocho en el plato de tres garras del torno. Seguidamente se alineó tanto el eje de simetría de la barra con el del plato como el filo de la herramienta con respecto al plano medio horizontal de la pieza.

maquina	operación	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Refrentado de cara exterior (1)	75	1250	100	0.1	Cuchilla de torno con placa de widia

Observaciones:

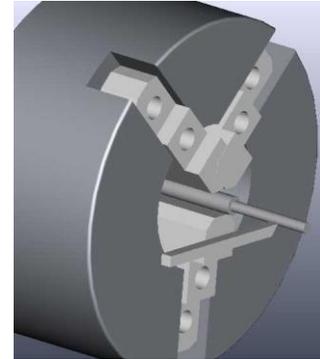
Con una pasada de 0.5mm de profundidad dada por el nonio longitudinal, se efectuó el refrentado.



maquina	operación	secuencia	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Disminución del diá. del tocho hasta 10mm (cilindrado)	Desbaste (1)	54	900	108	5.3	Cuchilla de torno con placa de widia
		Afinado (1)	40	1250	75	0.43	

Observaciones:

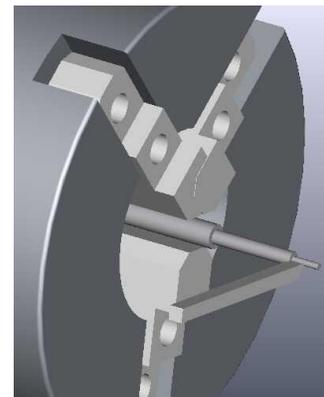
El arranque de viruta durante la secuencia de desbaste se realizó mediante 18 pasadas, cada una con una longitud y profundidad de corte de 32 y 0.5mm respectivamente, Seguidamente se realizó el acabado final penetrando el nonio transversal 0.05mm.



maquina	operación	secuencia	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Cilindrado desde Ø10mm hasta Ø4.5 mm	Desbaste (2)	29	900	108	0.87	Cuchilla de torno con placa de widia
		Afinado (2)	19	1250	75	0.08	

Observaciones:

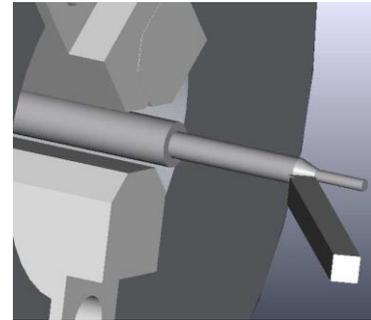
El mecanizado durante la secuencia de desbaste se realizó mediante 11 pasadas, las primeras 10 con una longitud y profundidad de corte de 6 y 0.5mm respectivamente, y la última con 0.25 de profundidad, Seguidamente se realizó el acabado final penetrando el nonio transversal otros 0.25mm.



maquina	operación	secuencia	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Coneado a 20°	Desbaste (3)	29	900	manual	-	Cuchilla de torno con placa de widia
		Afinado (3)	39	1250	manual	-	

Observaciones:

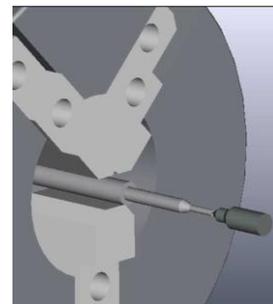
Se inclinó la torreta un ángulo de 20° a fin de realizar el coneadado propuesto en el diseño del conector.



maquina	operación	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Centro punto (1)	6	900	manual	-	Broca de centrar de Ø2mm HSS

Observaciones:

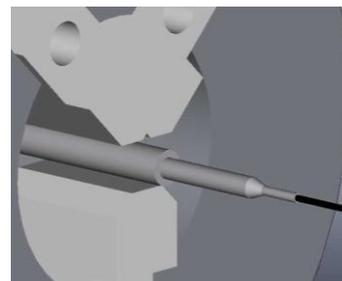
Se penetró la punta de la broca 2mm aproximadamente.



maquina	operación	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
torno	Taladrar agujero de Ø3mm (1)	8.5	900	manual	-	Broca de Ø3mm

Observaciones:

La distancia total recorrida por la punta de la broca fue de aproximadamente 30mm, recorrido suficiente como para dejar un



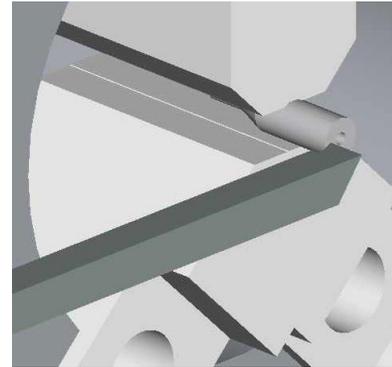
camino que sirviera de guía para la siguiente operación de taladrado con la broca de $\varnothing 4\text{mm}$.

Seguidamente se eliminó el material restante donde se realizó la sujeción del tocho, luego se giró la pieza de manera que la cara interior quedara expuesta a la acción de la cuchilla de corte para darle, mediante el refrentado, la longitud final a la pieza.

maquina	operación	secuencia	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
torno	Refrentado de cara interior (2)	Desbaste	29	900	108	0.1	Cuchilla de torno con placa de widia
		afinado	39	1250	75	0.06	

Observaciones:

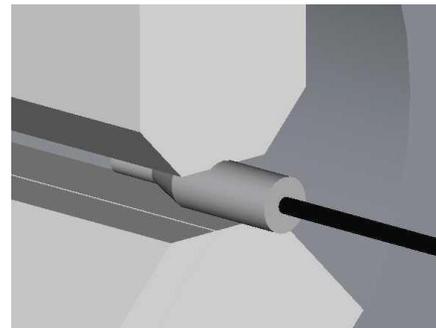
La profundidad de corte depende de la medición longitudinal de la pieza después de la eliminación del material restante donde se realizó la sujeción del tocho. Para este caso, la profundidad fue de 1.95mm, valor dividido de la siguiente manera: 2 pasadas de 1 y 0.5 mm respectivamente durante la secuencia de desbaste y por último para el acabado final, se profundizó 0.45mm con el nonio longitudinal.



maquina	operación	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
torno	Taladrar agujero de $\varnothing 4\text{mm}$ (2)	12	900	manual	-	Broca de $\varnothing 4\text{mm}$

Observaciones:

La punta de la broca penetró 21.2mm, tomando en cuenta la distancia asumida en el diseño, más 0.3 veces el diámetro de la broca.



Una vez elaborado el cuerpo cilíndrico de la pieza en el torno, se procedió a la fabricación de las entallas del conector en el C.N.C. Para ello se diseñó un utillaje (fig 5.8) cuyo cuerpo principal, permitió una sujeción uniforme del cilindro de mayor diámetro en las mordazas de la prensa mientras una rutina de corte programada fabricaba la entalla donde se acopla la pestaña del mango direccional. Por otro lado el utillaje, mediante la inserción de una pequeña barra biselada (fig 5.9) en la canal del plano inferior del cuerpo principal, permitió establecer el plano vertical de simetría de la entalla ya mecanizada, como referencia para la elaboración de los dientes de la otra cara, mediante la inserción de la entalla en el bisel (fig 5.10); de esta forma se consiguió la alineación indispensable en esta pieza para el correcto acople de las partes principales del instrumental de inserción.

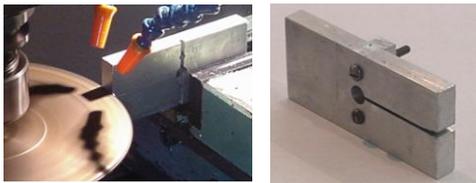


Fig 5.8 Parte del proceso de fabricación del utillaje (material: aluminio)

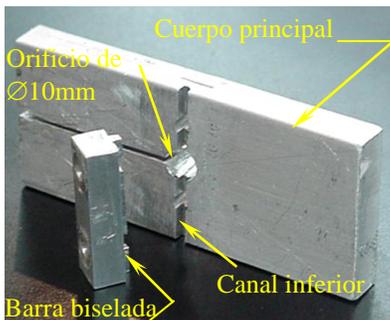


Fig 5.9 Utillaje diseñado y construido para la fabricación de las entallas del conector



Fig. 5.10 Montaje del conector en el orificio del cuerpo principal del utillaje para la fabricación de los dientes que posteriormente se insertarán en las entallas del clavo

Mecanizado de la entalla donde se inserta el mango direccional

maquina	operación	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
C.N.C.	Entalla (1)	23	2500	5	36	Fresa de Ø3mm 4 cortes HSS

Observaciones:

Se realizaron 12 pases transversales a una profundidad de corte de 0.25mm durante la rutina de mecanizado.

Mecanizado de los dientes en donde se acopla el clavo intramedular

maquina	operación	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
C.N.C.	Dientes (1)	23	2500	5	30	Fresa de Ø3mm 4 cortes HSS

Observaciones:

Durante la ejecución del programa, se realizaron 8 pases transversales a una profundidad de corte de 0.25mm por ambos costados del diente, tomando como referencia el espesor del mismo.

- Imágenes de parte del proceso de fabricación del conector entre el clavo y la herramienta

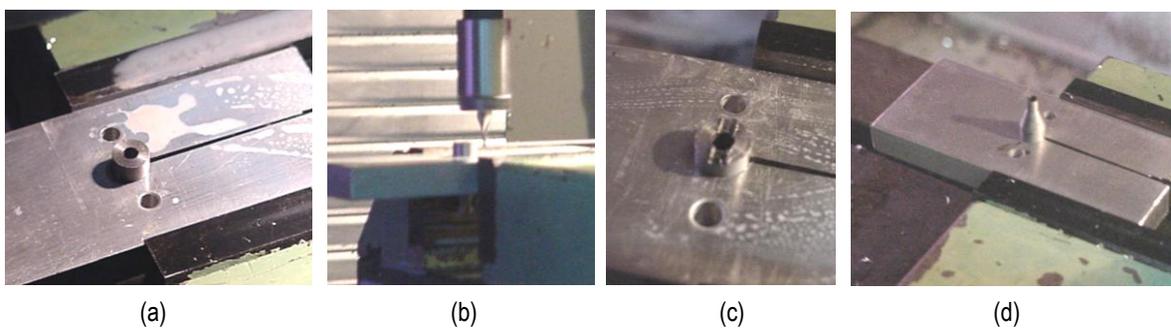


Fig. 5.11 Parte del proceso de fabricación del conector, a) agarre del conector: el utillaje sirve como camisa que mantiene estable la pieza, b) mecanizado de la entalla, c) vista de la entalla, d) posicionamiento de la pieza para el mecanizado de los dientes

5.1.3 EJE CON PUNTA ROSCADA DEL MANGO DE INSERCIÓN (ver apéndice B, plano N° 4)

- fase preliminar

Al igual que el conector, el eje también fue fabricado en acero AISI 420. Las secuencias básicas involucradas durante la elaboración de la pieza son el cilindrado, refrentado, y roscado. Las herramientas utilizadas fueron: *una cuchilla de torno con placa de widia ISO 6 20x20 mm P30 marca SANVIDK, porta-terraja y terrajas de 3mm (0.5 hilos/mm) y ¼ pulg (20 hilos/pulg) respectivamente*, (para más detalles ver apéndice A).

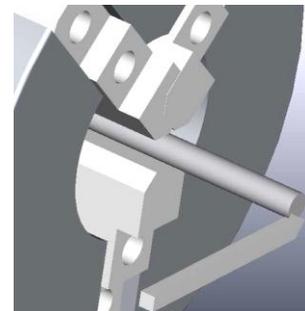
- Fase de mecanizado

Una vez cortado, montado y alineado el tocho de acero (aprox. unos 80mm de longitud), se procedió a refrentar la cara exterior.

maquina	operación	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Refrentado de cara exterior (1)	72	1250	100	0.1	Cuchilla de torno con placa de widia

Observaciones:

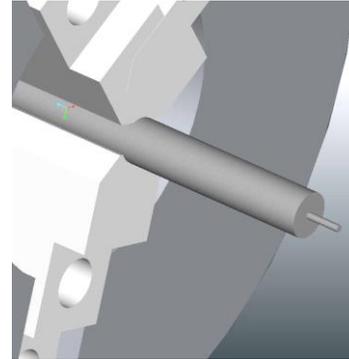
Con una pasada de 0.5mm de profundidad dada por el nonio longitudinal, se efectuó el refrentado.



maquina	operación	secuencia	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Cilindrado a Ø3mm (extremo inferior del eje)	Desbaste (1)	54	900	108	5.14	Cuchilla de torno con placa de widia
		Afinado (1)	13	1250	75	0.2	

Observaciones:

Se realizó un cilindrado tan profundo para garantizar que el momento torsor producido por el roscado de este extremo no fracture en algún punto, el cuerpo restante del eje del mango de inserción.

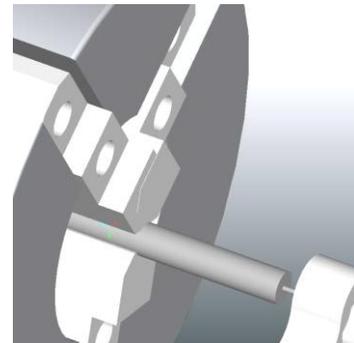


La secuencia de desbaste se realizó mediante 37 pases consecutivos, los primeros 28 a una profundidad de corte de 0.5mm y los nueve restantes a 0.2mm. Seguidamente se realizó el afinado penetrando el nonio transversal 0.25 mm en un solo pase.

maquina	operación	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Roscado (1)	manual	-	Porta-terraja y terraja de 3mm, 0.5hilos/mm

Observaciones:

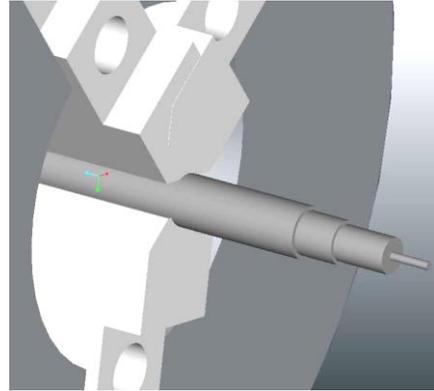
Para asegurar la correcta alineación de la tarraja con el eje, se colocó el porta-terrajas apoyado en el contrapunto con punta plana del torno, luego, mediante vueltas sucesivas, se realizó el roscado en el extremo del eje que entra en contacto con el clavo intramedular.



maquina	operación	secuencia	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Cilindrado a \varnothing 4mm (parte media del eje)	Desbaste (2)	54	900	108	15	Cuchilla de torno con placa de widia
		Afinado (2)	17	1250	75	1	

Observaciones:

Primero se realizaron 12 pasadas con longitud y profundidad de corte de 35 y 0.5mm respectivamente, lo que deja un diámetro del tocho de 13.05mm luego, para evitar la flexión característica del cilindrado de piezas con baja relación de diámetro & longitud de corte, se ejecutaron los desbastes sucesivos dividiendo la longitud total de 35mm en dos partes de 15 y 20mm respectivamente.

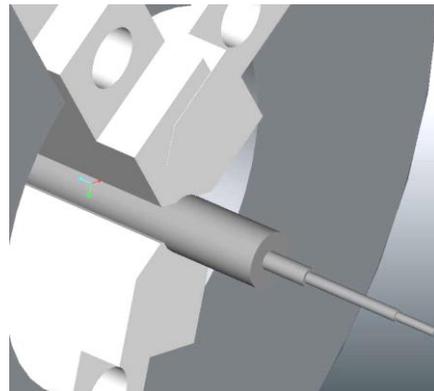


Entonces, partiendo del diámetro anterior, se profundizó el nonio transversal 0.5mm por pasada en la primera sección hasta alcanzar un valor diametral de 8.05mm, seguidamente se disminuyó la penetración a 0.2mm para desbastar hasta llegar a 4.25mm. finalmente se realizó el afinado en dos pasada de 0.15 y 0.1 mm respectivamente. De igual forma se procedió con la segunda sección, lo que se traduce en la obtención de la parte media del eje con un radio de 2mm.

maquina	operación	secuencia	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Cilindrado a Ø6.35mm (extremo superior)	Desbaste (3)	54	900	108	15	Cuchilla de torno con placa de widia
		Afinado (3)	17	1250	75	1	

Observaciones:

Se ejecutó la secuencia de desbaste mediante el corte con penetración de 0.5mm en una longitud de 18mm hasta alcanzar un diámetro de 6.55mm. Seguidamente se realizó el afinado con una profundidad de corte de 0.2mm.



Para continuar con el mecanizado de la pieza, se cortó el tocho restante y se giró el mango de tal forma que la superficie recién cortada quede expuesta a la acción de la cuchilla para un posterior refrentado.

maquina	operación	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Refrentado de cara exterior(2)	25	1250	100	0.03	Cuchilla de torno con placa de widia

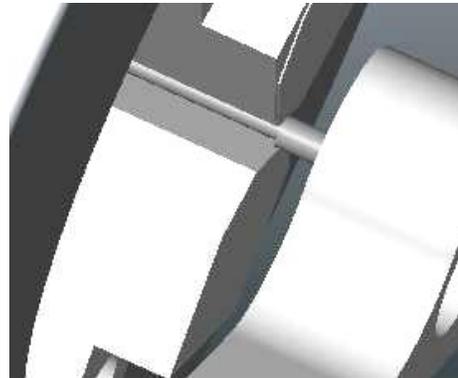
Observaciones:

Con una pasadas de 0.6mm de profundidad dada por el nonio longitudinal, se efectuó el refrentado.

maquina	operación	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Roscado (2)	manual	-	Porta-terrajá y terraja de ¼ pulg, 20 hilos/pulg

Observaciones:

Para asegurar la correcta alineación de la tarraja con el eje, se colocó el porta-terrajás apoyado en el contrapunto con punta plana del torno luego, mediante vueltas sucesivas, se realizó el roscado en el extremo del eje que entra en contacto con el clavo.



- Imágenes de parte del proceso de fabricación del eje del mango de inserción con punta roscada.

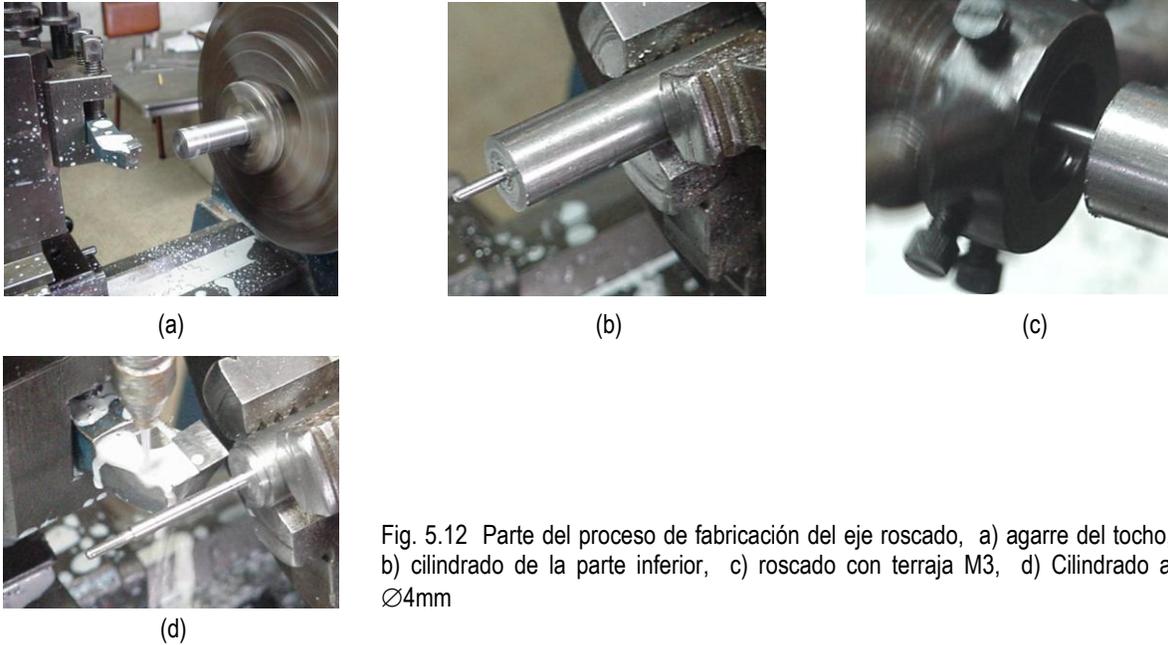


Fig. 5.12 Parte del proceso de fabricación del eje roscado, a) agarre del tocho, b) cilindrado de la parte inferior, c) roscado con terraja M3, d) Cilindrado a $\varnothing 4\text{mm}$

5.1.4 GUÍA CILINDRICA PARA LA BROCA DE $\varnothing 1.5\text{ mm}$ (ver apéndice B, plano N° 5)

- Fase preliminar

Pieza construida también en acero AISI 420. Las secuencias básicas involucradas durante la elaboración de la guía son el cilindrado, refrentado, taladrado y conado. Las herramientas utilizadas fueron: una cuchilla de torno con placa de widia ISO 6 20x20 mm P30 marca SANVIDK, broca de centrar de 1.6 mm de diámetro y broca de 1.7 mm de diámetro (para más detalles ver apéndice A).

- Fase de mecanizado

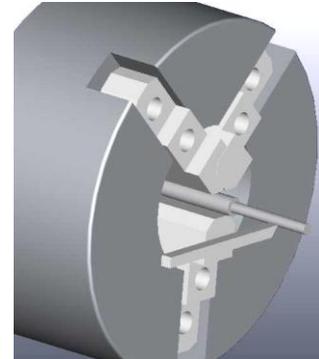
maquina	operación	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Refrentado de cara exterior (1)	72	1250	100	0.1	Cuchilla de torno con placa de widia

Observaciones: Se profundizó 0.5mm

maquina	operación	secuencia	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Disminución del diá. del tocho hasta 14mm (cilindrado)	Desbaste (1)	54	900	108	2.8	Cuchilla de torno con placa de widia
		Afinado (1)	57	1250	75	0.4	

Observaciones:

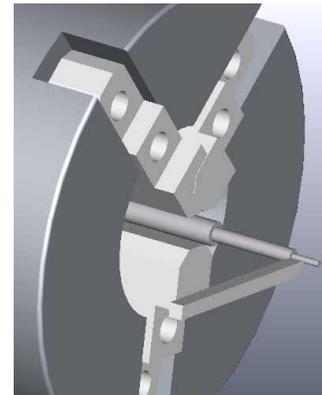
Para realizar el desbaste se tomó una penetración de 0.5mm durante 9 pases con longitud de aprox. 35mm, luego se profundizó 0.25 para alcanzar un diámetro de 14.3mm. Los 0.3mm restantes fueron eliminados durante la secuencia de afinado en un solo pase.



maquina	operación	secuencia	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Cilindrado de 14 hasta 9mm	Desbaste (2)	40	900	108	2.1	Cuchilla de torno con placa de widia
		Afinado (2)	19	1250	75	0.3	

Observaciones:

Se cilindró una profundidad de 5mm de la siguiente manera: 9 pases de 0.5 y uno de 0.25mm, con una longitud de corte de 28mm. Seguidamente se efectuó el afinado penetrando el nonio transversal 0.25mm.



maquina	operación	secuencia	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Coneado a 9°	Desbaste (3)	25	900	manual	-	Cuchilla de torno con placa de widia
		Afinado (3)	35	1250	manual	-	

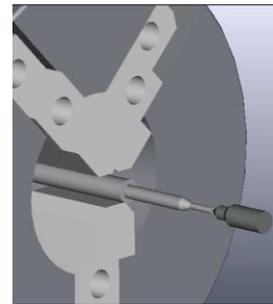
Observaciones:

Se inclinó la torreta un ángulo de 9° a fin de realizar el conchado propuesto en el diseño del eje.

maquina	operación	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Centro punto (1)	6	900	manual	-	Broca de centrar de Ø1.6mm HSS

Observaciones:

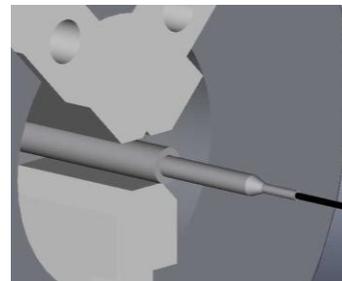
Se penetró la punta de la broca 2mm aproximadamente.



maquina	operación	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
torno	Taladrar agujero de Ø1.7mm (1)	5	900	manual	-	Broca de Ø1.7mm

Observaciones:

La distancia total recorrida por la punta de la broca fue de aproximadamente 34mm, recorrido suficiente como para mecanizar totalmente el agujero pasante



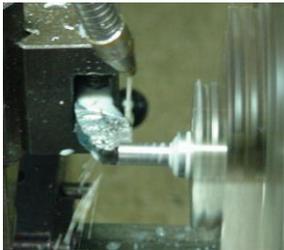
Seguidamente se eliminó el material restante donde se realizó la sujeción del tocho, luego se giró la pieza de manera que la cara interior quedara expuesta a la acción de la cuchilla de corte para darle, mediante el refrentado, la longitud final a la pieza.

maquina	operación	secuencia	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
torno	Refrentado de cara interior (2)	Desbaste	29	900	108	0.1	Cuchilla de torno con placa de widia
		afinado	39	1250	75	0.06	

Observaciones:

La profundidad de corte depende de la medición longitudinal de la pieza después de la eliminación del material restante donde se realizó la sujeción del tocho. Para este caso, la profundidad fue de 3mm, valor dividido de la siguiente manera: dos pasadas de 1mm y una de 0.5 mm durante la secuencia de desbaste y por último para el acabado final, se profundizó 0.5mm con el nonio longitudinal.

- Imágenes de parte del proceso de fabricación de la guía cilíndrica de la broca.



(a)



(b)



(c)

Fig. 5.13 Parte del proceso de fabricación de la primera guía cilíndrica, a) cilindrado a 14mm, b) conchado de la parte inferior, c) presentación de la pieza

5.1.5 GUÍA CILÍNDRICA DEL DESTORNILLADOR (ver apéndice B, plano N° 6)

- Fase preliminar

Pieza construida también en acero AISI 420. Las secuencias básicas involucradas durante la elaboración de la guía son el cilindrado, refrentado y taladrado. Las herramientas utilizadas fueron: una cuchilla de torno con placa de widia ISO 6 20x20 mm P30 marca SANVIDK, broca de centrar de 1.6 mm de diámetro y brocas de 2, 3, 4.5 y 6mm de diámetro, brocas de 11/32” y 9/32” (para más detalles ver apéndice A).

Fase de mecanizado

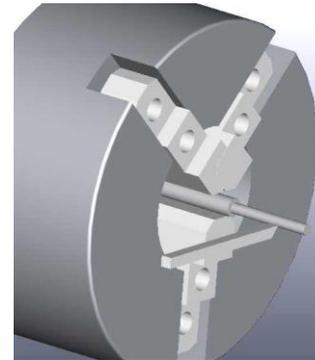
maquina	operación	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Refrentado de cara exterior (1)	72	1250	100	0.1	Cuchilla de torno con placa de widia

Observaciones: Se profundizó 0.5mm

maquina	operación	secuencia	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Disminución del diá. del tocho hasta 14mm (cilindrado)	Desbaste (1)	54	900	108	2.8	Cuchilla de torno con placa de widia
		Afinado (1)	57	1250	75	0.4	

Observaciones:

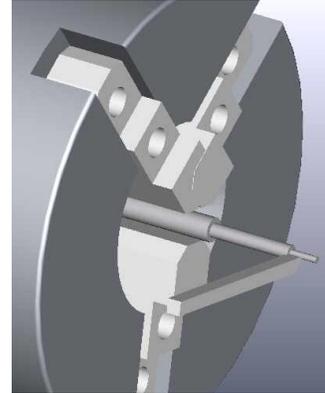
Para realizar el desbaste se tomó una penetración de 0.5mm durante 9 pases con longitud de aprox. 35mm, luego se profundizó 0.25 para alcanzar un diámetro de 14.3mm. Los 0.3mm restantes fueron eliminados durante la secuencia de afinado en un solo pase.



maquina	operación	secuencia	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Cilindrado de 14 hasta 9mm	Desbaste (2)	40	900	108	2.1	Cuchilla de torno con placa de widia
		Afinado (2)	19	1250	75	0.3	

Observaciones:

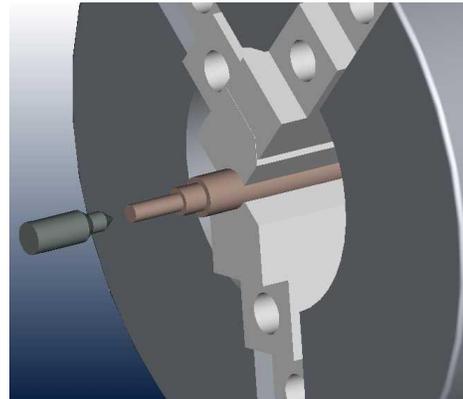
Se cilindró una profundidad de 5mm de la siguiente manera: 9 pases de 0.5 y uno de 0.25mm, con una longitud de corte de 28mm. Seguidamente se efectuó el afinado penetrando el nonio transversal 0.25mm.



maquina	operación	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Centro punto (1)	6	900	manual	-	Broca de centrar de Ø1.6mm HSS

Observaciones:

Se penetró la punta de la broca 2mm aproximadamente.



maquina	operación	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Taladrar agujero de Ø2mm (1)	8	1250	manual	-	Broca de Ø2mm
maquina	operación	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Taladrar agujero de Ø3mm (2)	12	1250	manual	-	Broca de Ø3mm
maquina	operación	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Taladrar agujero de Ø4.5mm (3)	18	1250	manual	-	Broca de Ø4.5mm

maquina	operación	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Taladrar agujero de $\varnothing 6\text{mm}$ (4)	24	1250	manual	-	Broca de $\varnothing 6\text{mm}$
maquina	operación	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Taladrar agujero de $\varnothing 9/32''$ (5)	25	1250	manual	-	Broca de $\varnothing 9/32''$

Seguidamente se eliminó el material restante donde se realizó la sujeción del tocho, luego se giró la pieza de manera que la cara interior quedara expuesta a la acción de la cuchilla de corte para darle, mediante el refrentado, la longitud final a la pieza.

maquina	operación	secuencia	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
torno	Refrentado de cara interior (2)	Desbaste	29	900	108	0.1	Cuchilla de torno con placa de widia
		afinado	39	1250	75	0.06	

Observaciones:

La profundidad de corte depende de la medición longitudinal de la pieza después de la eliminación del material restante donde se realizó la sujeción del tocho.

maquina	operación	Vc (m/min)	n (rpm)	f(mm/min)	t (min)	herramienta
TORNO	Taladrar agujero de $\varnothing 11/32''$ (6)	35	1250	manual	-	Broca de $\varnothing 11/32''$

Observaciones:

La profundidad de corte fue de 4mm, para lograr estabilidad en el asiento entre la superficie interna del agujero y el borde externo de la camisa retráctil del destornillador.

- Imágenes de parte del proceso de fabricación de la guía cilíndrica del destornillador.

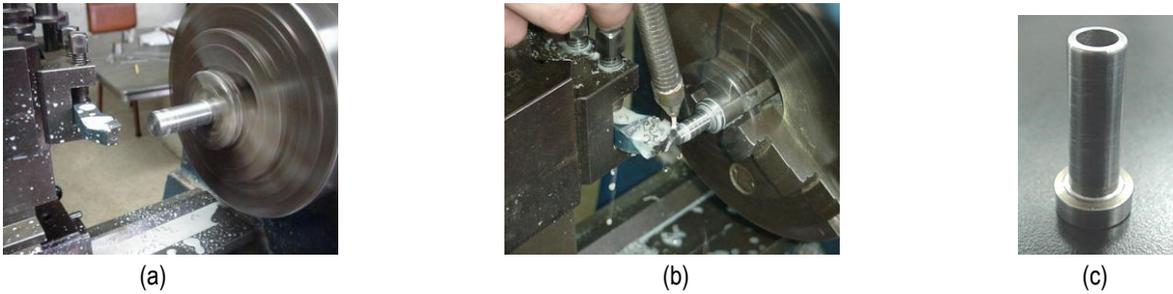


Fig. 5.14 Parte del proceso de fabricación de la segunda guía cilíndrica, a) cilindrado a $\varnothing 14\text{mm}$, b) cilindrado a $\varnothing 9\text{mm}$, c) presentación de la pieza

Luego de describir el proceso de manufactura de las piezas de la herramienta, se procedió a realizar el tratamiento térmico correspondiente a aquellas que por su uso e importancia, ameritan la modificación de propiedades mecánicas y fisico-químicas.

5.2 TRATAMIENTO TÉRMICO: TEMPLE Y REVENIDO

Como se mencionó en capítulos anteriores, el eje con punta roscada, el conector entre el clavo y la herramienta y la guía cilíndrica de la broca son las partes que entran en contacto directo con los tejidos y fluidos corporales mientras se realiza de la cirugía. Por tal motivo es de suma importancia que la propiedad de inoxidable sea asegurada al máximo en cada una de estas piezas, efecto secundario conseguido convenientemente mientras fue sometido el acero AISI 420 a temple para aumentar la dureza del material.

5.2.1 TEMPLE

Según fuentes bibliográficas es necesario en primer lugar, estimar el tiempo de calentamiento de cada una de las piezas para que alcancen la temperatura prefijada en el horno, luego se calcula el tiempo de permanencia para modificar la estructura microscópica y obtener la transformación total a austenita y por último, se escoge dentro de los medio de enfriamiento recomendados por la acería,

el más óptimo para asegurar la velocidad de enfriamiento requerida para obtener la estructura martensítica deseada.

Temperatura de temple recomendada (AISI 420): 980-1040°C

Para efectos de este trabajo se tomó una temperatura intermedia de 1000°C, para tratar de garantizar que gran parte o la totalidad de las zonas del horno se encuentren dentro del rango de temperatura de temple.

Tabla 5.1 Valores asumidos para el temple de las piezas construidas en acero inoxidable AISI 420

Nombre de la pieza	Temperatura del horno (°C)	Tiempo de calentamiento teórico (min.)	Tiempo de calentamiento real (min.)	Tiempo de permanencia teórico (min.)	Tiempo de permanencia real (min.)	Medio de enfriamiento
Conector	1000	23.4	35	4.68	10	aceite
Eje roscado	1000	9	35	1.8	10	aceite
Guía cilíndrica	1000	33.07	35	6.61	10	aceite



Fig. 5.15 Horno donde se realizó el tratamiento térmico de las piezas, ubicado en el Laboratorio de Procesos Especiales de la Escuela de Ingeniería Mecánica. Rango de temperatura: 0-1200°C

- Imágenes de parte del proceso de temple.

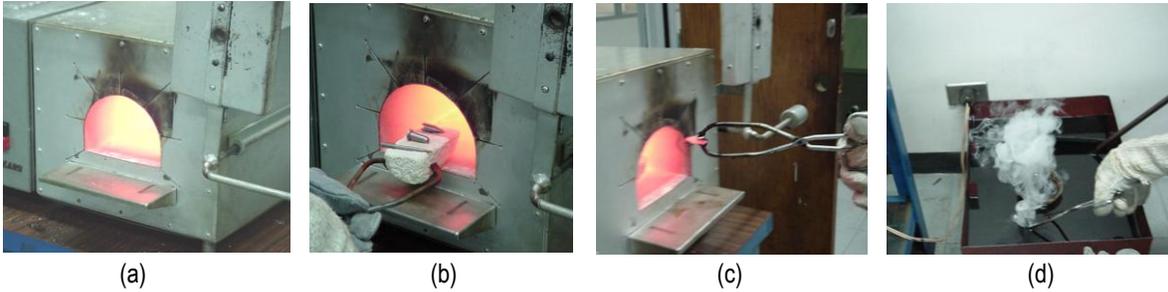


Fig. 5.16 Proceso de temple, a) horno a la temperatura prefijada, b) momento en que se introducen las piezas en el horno, c) extracción de las piezas después de transcurrido el tiempo de calentamiento y permanencia, d) enfriamiento en aceite para conseguir una velocidad crítica de enfriamiento pequeña.

5.2.2 REVENIDO

Después de realizado un temple es necesario aliviar las tensiones internas producidas después del proceso, entonces se efectúa un revenido a baja temperatura para trasladar la martensita procedente del temple a martensita de revenido. Las piezas se sometieron a una temperatura de 250°C durante una hora, luego se dejaron enfriar en el horno.

5.3 PRESENTACIÓN DE LAS PIEZAS QUE CONFORMAN EL PROTOTIPO FINAL DE LA HERRAMIENTA DE INSERCIÓN



Fig. 5.17 Prototipo final de la herramienta para la inserción y bloqueo de un sistema intramedular para el tratamiento de fracturas diafisarias en el primer metacarpiano. En la figura se muestra un despiece de la herramienta con todas sus partes incluidas y una simulación de cómo se dispone el instrumento con respecto a la posición de la mano.

5.4 ENSAYO FINAL “In Vitro”

Después de haber comprobado que la disposición geométrica del instrumental era apta para los requerimientos de uso, es necesario realizar ahora otro ensayo que compruebe que las piezas que conforman la herramienta cumplan la función para la cual fueron creadas.

En esta parte, se realizó la validación experimental final al modelo definitivo propuesto. De sus resultados depende la aceptación del diseño y los futuros cambios que mejoren la funcionalidad del instrumento.

5.4.1 PARÁMETROS A EVALUAR

El objetivo principal del ensayo fue evaluar el comportamiento del modelo fabricado, durante la inserción simulada del dispositivo de fijación intramedular bloqueado en un hueso real del metacarpiano del pulgar, prestando especial atención en la alineación que debe existir en todo momento entre la herramienta y el clavo para asegurar el correcto posicionamiento y bloqueo del sistema.

5.4.2 MATERIALES NECESARIOS

El ensayo se realizó utilizando un modelo del clavo construido en acero AISI 316L, un hueso real del primer metacarpiano, un destornillador para tornillos mini-fragmentos, un taladro inalámbrico de dos velocidades, una broca quirúrgica de $\varnothing 1.5\text{mm}$, una prensa ajustable y el prototipo del instrumental construido.



Fig. 5.18 Materiales principales para la realización del ensayo final. En la figura se muestra las partes del instrumental quirúrgico más importantes para la realización del ensayo: herramienta guía, destornillador, broca, hueso, tornillos, taladro

5.4.3 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

La metodología para la realización de este experimento, fue básicamente la misma utilizada durante el desarrollo del primer ensayo.

Inicialmente se posicionó el hueso en la prensa de forma tal que uno de los vértices dorsales externos de la cabeza quede expuesto, luego se procedió a perforar el agujero que permitiría el paso del clavo hacia la médula del hueso (fig. 5.19.a).

Posteriormente se acoplaron las partes básicas de la herramienta con el clavo: mango direccional, mango de inserción y conector; lo cual permitió al cirujano implantar el sistema de fijación en el interior del canal medular y posicionarlo adecuadamente en función del criterio empleado (fig. 5.19.b). Seguidamente se situó en uno de los orificios del mango direccional, la guía a través de la cual se hizo pasar la broca para taladrar los agujeros base donde se asentarían subsecuentemente los tornillos de fijación en el hueso. De igual manera se procedió en el agujero guía restante del mismo mango (fig. 5.19.c y fig. 5.19.e).

Después de abrir los orificios para el bloqueo, se substituyó la guía de la broca por la guía del destornillador (fig. 5.19.d y fig. 5.19.f), la cual cumple una función similar a la anterior con la diferencia de que ésta permite alinear la punta del destornillador con los agujeros del implante, lo que asegura que los tornillos utilizados para bloquear el dispositivo queden orientados adecuadamente tanto en el interior del hueso como en el del clavo.

Los tornillos fueron introducidos mediante avance manual la distancia suficiente como para retirar de la cabeza del bloqueo, la camisa retráctil del destornillador cuya función principal era evitar que se desacoplara el tornillo de la punta del instrumento en cuestión durante la inserción en el hueso de los primeros hilos de la rosca. Luego se continuó atornillando los bloqueos (en sus respectivos orificios) utilizando únicamente el vástago del destornillador .

Finalmente se desvincula la herramienta del dispositivo intramedular. Para ello se desatornilló el mango de inserción del agujero roscado interno del clavo, lo que permitió desarmar y retirar de la zona, las piezas restantes del instrumento de inserción de una sola vez.



Fig. 5.19 Ensayo In Vitro final efectuado al sistema quirúrgico: a) perforación del orificio para la penetración del clavo, b) Colocación del clavo intramedular, c) perforación del primer agujero guía para el bloqueo, d) tornillo de fijación colocado con el destornillador a través de la guía cilíndrica, e) abertura del segundo orificio guía del bloqueo, f) instalación del segundo tornillo de fijación, g) vista del metacarpiano del pulgar con el sistema intramedular implantado y fijado.

5.4.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios desde el punto de vista geométrico y funcional. Tal como se esperaba, el prototipo final demostró ser ergonómico y liviano lo que permitió al cirujano manejar cómodamente el instrumento durante la ejecución del ensayo.
- Todas las piezas que conforman el dispositivo cumplieron con la función para la cual fueron diseñadas: ofrecer un medio rápido y efectivo para la instalación del implante y fijación del mismo.
- Los puntos de unión en el ensamble clavo-herramienta demostraron tener la suficiente firmeza como para mantener estable la posición del mango direccional con respecto a la del clavo al momento de su colocación y bloqueo, condición necesaria e indispensable para el correcto funcionamiento del sistema durante la realización de una cirugía real.
- Las dimensiones y disposición geométrica del instrumental fueron adecuadas para la técnica quirúrgica utilizada durante el desarrollo del ensayo.



Capítulo 6

Conclusiones y Recomendaciones

Actualmente, en el Centro de Bioingeniería de la U.C.V. se está incursionando en el área de biomecánica, muchas son las propuestas de trabajo dirigidas a la ejecución de proyectos con el fin de diseñar y fabricar dispositivos a bajo costo para el uso de la medicina venezolana, varios de ellos son innovadores y representan un gran avance en el desarrollo científico y tecnológico del país; además, son capaces de competir en calidad con dispositivos similares creados en el mercado internacional.

El trabajo aquí reportado conserva los lineamientos de este Centro de investigación y ha permitido desarrollar una base metodológica para el diseño y la manufactura de instrumentos quirúrgicos, orientados al manejo y colocación de dispositivos intramedulares para el tratamiento de fracturas en huesos cortos del cuerpo humano, como metatarsianos en el pie y metacarpianos a nivel de los huesos de la mano, donde el padecimiento de este tipo de lesión ósea puede llegar a acarrear múltiples problemas de índole laboral, económico, social y hasta psicológico en el paciente.

Por otro lado, los logros y tropiezos encontrados a lo largo de este trabajo mostraron que el tema en cuestión presenta un panorama que admite múltiples soluciones ingenieriles al problema planteado, las geometrías de la herramienta pueden adaptarse dependiendo de los requerimientos,

criterio del especialista, tamaño de la serie de producción y medios de fabricación disponibles, entre otros.

6.1 CONCLUSIONES

6.1.1 EN CUANTO A LA HERRAMIENTA

1. Los programas CAD como Mechanical Desktop y ProEngineer fueron herramientas imprescindibles en el diseño y modelado de las piezas. Por otra parte, la interfase CAM del ProEngineer (Pro/Manufacturing) permitió simular el proceso de fabricación de ciertas partes de la herramienta mediante la generación de códigos de control numérico compatibles con el Centro de Mecanizado Bridgeport Torq-Cut 22.
2. Se ha diseñado y construido un novedoso prototipo de un instrumento que ha probado ser efectivo para la colocación y guía del bloqueo de un sistema intramedular dirigido al tratamiento de fracturas diafisarias ocurridas en el hueso metacarpiano del pulgar. La validación del diseño de este dispositivo se efectuó mediante ensayos "In Vitro" cuyos resultados permitieron confirmar que la geometría propuesta para las partes que conforman la herramienta, cumplen con la función para la cual fueron diseñadas.
3. El prototipo planteado junto con el clavo intramedular permite la realización de una técnica quirúrgica rápida, sencilla y poco invasiva.
4. Las características de diseño y ergonomía del prototipo fueron evaluadas y comparadas con otros sistemas existentes en el mercado para la colocación de clavos intramedulares en general, encontrándose que la sencillez, sujeción firme de las partes y poco peso son las cualidades que distinguen el modelo propuesto en este trabajo.
5. El instrumental de inserción ofrece un medio seguro y eficaz para el cumplimiento del principal objetivo del sistema intramedular: fungir como vínculo rígido, estabilizador de los fragmentos de la fractura para la formación y consolidación del callo óseo.

6.1.2 EN CUANTO AL PROCEDIMIENTO DE MANUFACTURA Y TRATAMIENTO TÉRMICO

1. Se diseñó y desarrolló un procedimiento, por arranque de viruta para la construcción de las piezas que conforman la herramienta, prestando especial atención al mango direccional dada su importancia dentro del acople del sistema quirúrgico y la complejidad de su geometría.
2. La manufactura del mango direccional requiere necesariamente de la disponibilidad de un Centro de Control Numérico lo que restringe su producción en talleres de mecanizado convencionales. Por otro lado, el sistema propuesto para la sujeción de la preforma presentó ciertos inconvenientes relacionados con la vibración que se produce durante el arranque de viruta dada la posición en voladizo de la pieza de trabajo en relación al tornillo de sujeción, lo que puede llegar a comprometer la estabilidad necesaria para conseguir la exactitud en las dimensiones finales de la pieza.
3. Las secuencias en las operaciones de manufactura de las partes de la herramienta fueron seleccionadas buscando la optimización del tiempo requerido para tales procesos. Cabe destacar que el tiempo de fabricación del mango direccional fue relativamente largo tomando en cuenta que se obtuvo tan solo una unidad del producto, lo que conlleva a buscar otros métodos de producción que minimicen la duración del procedimiento o que permitan obtener la mayor cantidad de piezas posibles en un período similar.
4. Se diseñó y construyó el primer modelo en aleación de aluminio 6063 de un utillaje para la fabricación de las entallas del conector clavo-herramienta.
5. La capacidad instalada en cuanto a tornos manuales, en el Taller de mecanizado del centro de Bioingeniería no es adecuada para la fabricación de piezas en Acero AISI 420, debido a que estas máquinas no permiten obtener las velocidades de corte mínimas requeridas para el mecanizado de este material.
6. La realización del temple es importante para aumentar la resistencia mecánica de aquellas piezas que por su función y peculiar geometría están sometidas a mayores esfuerzos durante la

colocación y bloqueo del dispositivo de fijación. Por otro lado, este tipo de tratamiento acompañado del revenido adecuado, ayuda a mejorar la propiedad de inoxidable de estos accesorios, característica muy conveniente en vista de la función de estos accesorios.

6.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda estudiar la posibilidad de adoptar el método de Fundición por Centrifugado, como proceso estándar para la fabricación en serie del mango direccional definitivo, ya que resultados obtenidos en trabajos de investigación anteriores han demostrado que:
 - Es un procedimiento eficaz para disminuir significativamente los costos de producción.
 - Es un medio fácil, rápido y efectivo para la elaboración de piezas metálicas.
 - En una colada se pueden obtener mayor cantidad de piezas en comparación con las que se obtendrían por mecanizado.
 - El método garantiza un excelente acabado superficial, siempre y cuando se lleve un severo control de todas las fases del trabajo.
 - Después del proceso, el material conserva sus propiedades características.
 - Las piezas producidas por este método de manufactura poseen la resistencia requerida a los esfuerzos a que usualmente están sometidas.

2. La construcción definitiva del mango direccional debe ser en una aleación de aluminio cuyas propiedades sean las indicadas para la realización de los futuros ensayos "In Vivo" del clavo intramedular. La escogencia de esta aleación dependerá del método de fabricación utilizado. Si el método seleccionado es el mecanizado, se recomienda el uso de la aleación 6063; por otro lado si la pieza se fabrica por fundición, se podría optar por elegir la aleación A356. Ambas han probado ser efectivas en la producción de piezas orientadas al uso en el área de traumatología.

3. Es necesario contar con máquinas-herramientas convencionales que garanticen el manejo de los parámetros de corte adecuados durante el mecanizado del Acero AISI 420, lo que permitirá a las piezas fabricadas en este material obtener un mejor acabado superficial.
4. Se recomienda utilizar otro medio de enfriamiento durante el tratamiento térmico, como por ejemplo: las sales fundidas, ya que la experiencia en este trabajo empleando aceite como medio enfriador fue la formación en la superficie de las piezas de una película oscura de aceite quemado que requiere de una limpieza adicional muy meticulosa para devolver a dichas áreas la calidad superficial que poseían anteriormente.
5. Es recomendable hacer más ensayos "In Vitro que permitirán sentar una base más sólida que argumente, sin lugar a dudas, la efectividad y funcionalidad del sistema quirúrgico.
6. Se debe capacitar al personal del CeBio UCV para el manejo del Software CAM Pro/Manufacturing.

-A-

Aguja de Kirschner: Alambre con punta de diamante generalmente utilizada para transicciones óseas y reducción de fracturas.

Acero rápido: Aleación de acero que posee la siguiente composición: 0.7-0.9% C, 13-19% W, 3.5-4.5% Cr y 0.8-3.2% V. Las herramientas construídas de este material permiten arrancar viruta a altas velocidades y hasta temperaturas de 600°C, sin perder su dureza (62-64 Rc).

Articulación carpometacarpiana: Zona de unión entre el carpo o muñeca y el hueso metacarpiano.

Abductor del pulgar: Músculo o nervio cuya función es la separación parcial del eje del cuerpo; voltear hacia fuera.

-b-

Bioingeniería: Es una ciencia que trabaja de manera interdisciplinaria entre ingeniería y medicina.

Bloqueo: Interrupción de la conductividad en una vía. Manera de fijar un clavo intramedular.

Biocompatibilidad: Es una característica de superficie, ya que la interacción entre el implante y el ambiente biológico tiene lugar en la superficie. La naturaleza tanto del implante como del tejido que se hallan en contacto determinan las características de la posible falla del implante.

-C-

Comminución: Patología en la que el hueso o una parte de él quedan reducidos a fragmentos.

Cerclaje: Procedimiento para tratar las fracturas óseas, especialmente de la rótula, que consiste en rodear el hueso con alambre para mantener unidos los fragmentos.

Canal medular: Ranura excavada en un hueso.

Cúbito: Hueso del antebrazo que se articula proximalmente con el humero formando la articulación del codo y distalmente con el radio, formando la articulación de la muñeca.

Callo óseo: Exudado plástico alrededor de los fragmentos de un hueso roto, que cumple el trabajo de reparación y constituye luego la cicatriz.

Columna osteoarticular del pulgar: Esta formada por cinco piezas óseas que constituyen el radio externo de la mano: el escafoide, el trapecio, el primer metacarpiano, la primera falange y la segunda falange.

Coaptación: Ajuste de partes anormalmente separadas, como los labios de una herida o los extremos de un hueso fracturado.

-d-

Diáfisis: Parte media de los huesos largos, comprendido entre los dos extremos o epifisis.

Deformidad rotatoria: Deformidad en el eje rotacional del hueso cuando se produce un giro relativo entre los fragmentos de una fractura.

Ductilidad: Capacidad de un material a ser deformado en forma permanente sin sufrir fractura cuando se le aplica la fuerza.

Deformación elástica: deformación del material que desaparece cuando se retira o anula la carga.

Deformación Plástica: Alteración permanente de la longitud del material cuando se aplica una carga y después se retira.

-e-

Enclavado percutáneo: Fijación con clavos a través de la piel.

Esfuerzo: Carga dividida entre el área instantánea en que se aplica la misma en prueba de tensión.

Esfuerzo de fluencia: Esfuerzo aplicado a un material que provoca una deformación plástica permanente.

Enclavado intramedular: Sistema de fijación que ocurre dentro de la cavidad medular de un hueso.

Entrada intercondílea: Entrada situada entre dos huesos cóndilos.

Ensayo In Vitro: Son todas aquellas pruebas que se realizan en un laboratorio utilizando medios inertes.

-f-

Férulas: Dispositivos más o menos rígidos conectados a huesos fracturados, los cuales reducen la movilidad de la fractura en proporción con su rigidez.

Fijación interna: Inmovilización de un hueso fracturado valiéndose de aditamentos aplicados directamente sobre el foco de la fractura.

Fémur: Hueso del muslo, el más largo del cuerpo, que se articula con el iliaco y la tibia.

Fractura: Solución de continuidad en un hueso, producida violenta o espontáneamente.

Fresado: Consiste en arrancar la viruta mediante herramientas circulares de cortes múltiples denominadas fresas. El movimiento fundamental es asumido por la herramienta que gira alrededor de su propio eje, el movimiento secundario es de alimentación y lo tiene la pieza, la cual, estando fija en la mesa de la máquina pasa tangencialmente o frontalmente delante de la pieza que gira.

Fuerza volar: Fuerza de flexión. Relativo o concerniente a la palma de la mano o la planta del pie; se refiere también a la superficie de flexión del antebrazo, muñeca o mano.

-h-

Huesos metacarpianos: Dícese de cada uno de los cinco huesos de la mano que constituyen el esqueleto del metacarpo, cuya zona esta comprendida entre el carpo y los dedos.

Húmero: Hueso largo del brazo, desde el hombro al codo.

-i-

Intrarticular: Dentro de una articulación.

-m-

Músculos extrínsecos: Dícese del músculo cuyos origen e inserción no están en la misma parte o el mismo miembro.

Músculo abductores del pulgar: Desplaza el pulgar hacia delante y lo coloca perpendicularmente en relación a la palma, produciendo además, rotación interna.

Músculo extensores del pulgar: Músculo extensor y abductor cuyo origen se encuentra en la cara posterior del cúbito, radio y ligamento interóseo, por dentro y abajo del abductor largo.

Músculos intrínsecos: El que tiene ambas intersecciones en un mismo órgano, como el transverso de la lengua.

Músculo interoseo palmar: Músculo flexor de la primera falange y extensor de las otras. Aproximan los dedos al eje de la mano.

Martensita revenida: Mezcla de ferrita y cementita que se forma durante el revenido de la martensita.

-o-

Osteoporosis: Enfermedad ósea caracterizada por la disminución del contenido de calcio en el hueso.

Osteosíntesis: Técnica quirúrgica por la cual se estabilizan y reducen fracturas utilizando implantes diseñados especialmente para ello.

-p-

Placas: Barra de metal estrecha y aplanada, que se aplica y fija por medio de tornillos a los huesos fracturados con el objeto de mantener unidos los fragmentos.

Pulpejo: Dícese de la masa carnosa que cubre la extremidad distal de la última falange de los dedos.

Patologías óseas: Enfermedades, cambios funcionales y de estructuras dependientes de la anatomía patológica del hueso.

Presas palmares, bidigitales y tridigitales: Movimientos de la mano ejecutados con el fin de asir objetos

-r-

Retrógrado: Inversión del orden normal de crecimiento y desarrollo. Inserción de clavos intramedulares por la zona opuesta a la habitual.

Resiliencia: Sinónimo de elasticidad.

Reducción abierta: Corrección de una fractura previa incisión cutánea a nivel del foco de la misma.

Reducción cerrada: Corrección de una fractura, por manipulación de los fragmentos óseos sin incisión de la piel.

Recocido de temple: Tratamiento térmico para controlar la precipitación de carburo y la corrosión intergranular en los aceros inoxidables austeníticos. El hierro se calienta para disolver los carburos, y se le enfría rápidamente para evitar su reformación.

—S—

Sseudoartrosis: Falsa articulación como la observada entre los fragmentos óseos de una fractura no consolidada.

—t—

Trapezio: Hueso de la segunda fila del carpo que forma junto al primer metacarpiano, la articulación basal del pulgar.

Tibia: Hueso largo de la pierna, par y asimétrico, situado por dentro del peroné al que está unido por sus extremos por debajo del fémur y por encima del conglomerado óseo del tarso.

Tenacidad: Medida cualitativa de las propiedades al impacto de un material. Un material que resiste a la fractura por impacto es tenaz.

Templabilidad: Se entiende la capacidad del acero de formar estructura martensítica o troosito-martensita a determinada profundidad.

Tornillos interfragmentarios: Tornillos utilizados para mantener unidos los fragmentos de una fractura.

Taladrado: Consiste en practicar un hueco cilíndrico en un cuerpo metálico, se emplean los taladros, que por

medio de las brocas, efectúan la operación. El movimiento principal es de rotación y el secundario, el de avance, es asumido por la herramienta, que gira alrededor de su propio eje y avanza practicando, el hueco en la pieza, que permanece fija.

Torneado: Consiste en perfilar, alrededor de un eje, un sólido de revolución. Se emplean los tornos, que por medio de herramientas monocortantes, efectúan la operación; el movimiento principal lo tiene la pieza en rotación; el movimiento de alimentación o avance, la herramienta.

—U—

Utillaje: Herramienta auxiliar para efectuar una operación de maquinado.

—W—

Widia: Wire Diamant (en alemán) y químicamente conocido como Carburo de Wolframio (WC), es un compuesto metálico inventado en 1926 por Acerías Krupp. Éste posee la propiedad de tener una dureza similar a la del diamante. Éste también es mezclado con Carburo de Titanio (TiC) y cobalto (Co).

—Z—

Zona proximal: Es aquella zona más cerca de un centro, tronco o línea media; opuesto a distal.

Zona distal: Aquella zona más distante del eje o línea media del hueso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

En Medicina:

- [1] **KAPANDJI, A. I.**; *Fisiología Articular*; Miembro Superior; Editorial Médica Panamericana; 1998; 5^{ta} edición; Tomo I.
- [2] **CAMPBELL, W. C.**; *Cirugía Ortopédica*; Publicaciones Harcourt Brace; 1998; Vol. IV; 9^{na} edición.
- [3] **BROWNER, B. D.; JUPITER, J. B.; LEVINE, A. M.**; *Skeletal Trauma*; Publicaciones W. B. Saunders Company; 1998; Vol. II; 2^{da} edición.
- [4] **WERENER, S.**; *Atlas de Anatomía Humana*; Editorial Labor; Barcelona-España; 4^{ta} edición.
- [5] **ROCKWOOD C., GREEN D., SPENCER R.**; *Fractures in Adults*; 3^{era} edición; Cap. 7.
- [7] **AGUILAR A., ARIAS E., GONZÁLEZ O., RODRIGUEZ E., DURAN J.**, *Informe preliminar de técnica alternativa para el tratamiento de fracturas de metacarpianos*; *Revista Venezolana de Cirugía Ortopédica y Traumatología*; Vol. 29; Marzo 1997; pág. 14-16.
- [8] **COMÍN M., PERIS J. L., PRAT J. M.**; *Biomecánica de la fractura ósea y técnicas de reparación*; IBV Instituto de Biomecánica de Valencia; pág. 458.
- [9] **KAPLAN'S**, *Functional and Surgical ANATOMY of the HAND*; tercera edición; Editorial Norton Spinner.
- [10] **MULLER M. E., ALLGOWER M., SCHNEIDER R.**; *Manual de Osteosíntesis (técnicas recomendadas por el grupo de la AO)*, tercera edición.

En Ingeniería:

- [11] **PRIOTTI C. A.**, Influencia de las variables de solidificación en la estructura de las aleaciones Al-Si; Informe N° 12; Proyecto: *Estudios de las aleaciones Al-Si*; Cordoba 1981.
- [12] **METALS HANDBOOK**, *Properties and selection: Nonferrous Alloys And Pure Metals*; ASM Vol. 2; pág. 140-143.
- [13] **APRAIZ J.**, *Tratamiento térmico de los Aceros*; Editorial Dossat; Madrid 1971; 7^{ma} edición.
- [14] **COLOMBIER R., HOCHMANN J.**; *Aceros inoxidables y aceros refractarios*; Ediciones Urmo; Bilbao 1968.
- [15] **ZÚEV V.**; *Tratamiento térmico de metales*; Editorial Mir Moscú; 3^{ra} edición; 1998.

- [16] **CONDE Y SANTIAGO G.**; Aceros inoxidables refractarios y criogénicos; Editorial Interciencia; Madrid 1971; 1^{ra} edición.
- [17] **CASILLAS A. L.**; *Máquinas cálculos de taller*; ediciones Máquinas; España 1982; edición 32.
- [18] **MODESTO O.**; *Trabajado del acero inoxidable*; ediciones Ceac, Barcelona; Vol. 23.
- [19] **HANSON ALBERT, GORDON P. J.**; *The Engineer's guide to steel*; Addison-Wesley Publishing Company, INC.; 1965.
- [20] **HARVEY P. D.**; *Engineering properties of steel*; 1982.
- [21] **PARR G., HANSON A.**; *Stainless Steel*; Editorial Carnes Publication Services, INC.; American Society For Metals; 1986.
- [22] **GERLING H.**, Alrededor de las máquinas-herramientas Editorial Reverté S.A.; España 1986; 3^{era} edición.
- [23] **BACHMANN A., FORBERG R.**; *Dibujo Técnico*; Editorial Labor; España 1982; 2^{da} edición.
- [24] **LAJTIN Y. M.**; *Metalografía y tratamiento térmico de los metales*; Editorial Pueblo y educación; 1983; 3^{ra} edición.

MANUALES, CATÁLOGOS Y REVISTAS

- [25] **REID TOOL SUPLÍ COMPANY**, Catálogo
- [26] **FERRUM**; Distribuidores exclusivos de los Aceros Boehler, Catálogo.
- [27] **ZMS**; Intramedullary fixation, Catálogo.
- [28] **AB SANDVIK Coromant**; El mecanizado moderno, manual práctico.
- [29] **MANUAL MECHANICAL DESKTOP**; Release 3, Autodesk, Inc., 1998.
- [30] **MANUAL PRO/ENGINEER-RELEASE 20.0**; Parametric Technology Corporation, 1998.
- [31] **INDUSTRIAS QURÚRGICAS DE LEVANTÉ S.L.**; ClavoFD, Catálogo.
- [32] **SYNTHESES**; AO/ASIF Catálogos.

PÁGINAS WEB

- [33] <http://www.sb-mb.si/trauma/intramed/history.htm>.
- [34] **ACUMED** <http://www.acumed.net/html/product9.htm>.
- [35] **IMP** <http://www.innovativemedical.com/femurfinder.htm>.
- [36] **AONA** <http://tristan.membrane.com/aona/tech/ortho/index.html>.
- [37] http://www.stosc.stsci.edu/instrument_lab/metals.html.
- [38] <http://www.redmetal.com/aluminiopropmecanicas.htm>.
- [39] <http://www.extrusora-argentina.com.ar/caracteristicas.htm>.
- [40] <http://www.e-hand.com/clf/clf371.htm>.
- [41] <http://www.cintool.com/420one.htm>.

TRABAJOS ESPECIALES

- [42] **ANATO G. JOSE TADEO, ZABALA Z. LORENZO DEL VALLE**; *Estudio de la aplicación del proceso de fundición de precisión por centrifugado, para la fabricación de piezas de uso en tratamientos traumatológicos*; Trabajo Especial de Grado, U.C.V., Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, Caracas 1999.
- [43] **CARVAJAL R. ANTONIO, CASTRO P. DANIEL**; *Diseño del proceso de fabricación de un clavo intramedular para fracturas del peroné distal*; Trabajo Especial de Grado, U.C.V., Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, Caracas 2000.
- [44] **CARRERO WILMER, COLMENARES JOSÉ ALEXANDER**; *Optimización del proceso de fundición de precisión por centrifugado de piezas para traumatología*; Trabajo Especial de Grado, U.C.V., Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, Caracas 2000.

Apéndice A: Materiales, equipos y herramientas utilizadas

MATERIALES

- Barra de acero AISI 420 ($\varnothing 3/4$ ”).
- Barra de sección rectangular de aluminio 6063 T5.
- Barra redonda de aluminio 6063 T5 ($\varnothing 1 1/2$ ”).
- Plancha de aluminio fundido A356.

EQUIPOS

- Centro de mecanizado marca BRIDGEPORT, modelo TORQ-CUT 22., ubicado en el taller mecánico del Instituto de materiales y modelos Estructurales (IMME). (7000 rpm máx.)



- Torno manual marca MEUSER & CO, modelo MOOL-34817, ubicado en el taller mecánico del Instituto de materiales y modelos Estructurales (IMME). (1250 rpm máx.)



- Horno marca PROLABO, rango: (0 – 1200°C) \pm 25°C. Ubicado en el laboratorio de Ensayos Especiales de la Escuela de Ingeniería Mecánica.



- Kit dremel MultiPro.
- Destornillador para tornillos mini-fragmentos. serial 25-210-95, 10.5cm / 4 1/4", distribuido por PIEMCA.



- Broca de acero inoxidable, serial 25-210-15, (\varnothing 1.5mm), distribuida por PIEMCA.



HERRAMIENTAS

- Fresa con cabezal portaplaquitas, modelo KL21R2CN40 KENLOC II 7868CD9.
- Fresa HSS, dos cortes ($\varnothing 1.5\text{mm}$), marca SOMTA.
- Fresa HSS, cuatro cortes ($\varnothing 3\text{mm}$), marca SOMTA.
- Fresa HSS, cuatro cortes ($\varnothing 5\text{mm}$), marca SOMTA.
- Fresa HSS, cuatro cortes ($\varnothing 10\text{mm}$), marca SOMTA.
- Fresa para avellanar con corte a 60° .
- Fresa de disco.
- Broca de centrar HSS de 1.6 y 2mm de diámetro nominal, marca SOMTA.
- Brocas HSS de 1.7, 2, 3, 4, 5, 6, 6.2, 6.8, 8, 9, 10, 12, 14 y 15mm de diámetro, Marca SOMTA.
- Cuchilla de torno con placa de widia ISO 6 20x20mm P30, marca SANVIDK.
- Cuchilla HSS para cilindrado interno.
- Juego de machos para hacer rosca interna $\frac{1}{4}$ " , 20 hilos/pulg.
- Macho HSS helicoidal para hacer rosca ciega M3, 0.5 hilos/mm.
- Portaterrajás.
- Terrajas para hacer rosca externa de $\frac{1}{4}$ " (20 hilos/pulg) y M3 (0.5 hilos/mm).