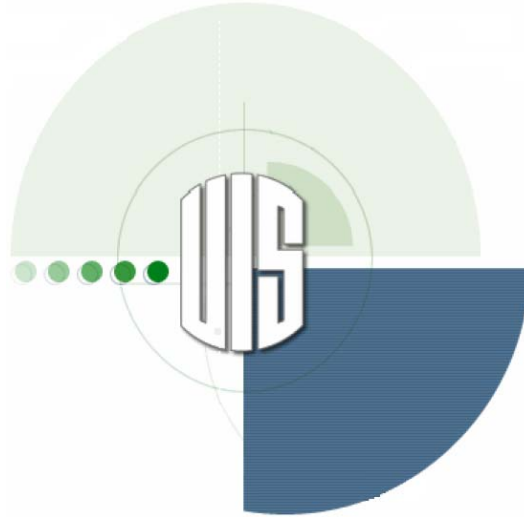


**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TRIBÓMETRO  
PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE  
DESGASTE-CORROSIÓN EN BIOMATERIALES**



**GUSTAVO ADOLFO RAMÍREZ ROCHA**

**HENRY NAVARRO ANGARITA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**BUCARAMANGA**

**2008**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TRIBÓMETRO  
PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE  
DESGASTE-CORROSIÓN EN BIOMATERIALES**

**GUSTAVO ADOLFO RAMÍREZ ROCHA**

**HENRY NAVARRO ANGARITA**

**Trabajo de Grado para optar el título de  
Ingeniero Mecánico**

**DIRECTOR**

**Rómulo Niño Delgado**

**Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2008**

## DEDICATORIA

A Jehová mi Dios por brindarme la oportunidad de culminar esta meta

A mi esposa Sandra por su amor y comprensión

A mi hijo Santiago, mi fuerza y mi ser

A mis padres Amparo y Carlos por su ayuda y fe incondicionales

*Gustavo Ramírez*

## DEDICATORIA

A Dios por permitirme alcanzar esta meta.

A mis padres Benito y María de Jesús.

A mi esposa María Eugenia e hijo Henry Alexander.

A mis hermanos Derly y Geovanny.

A toda mi familia y amigos que de una u otras forma me colaboraron.

*Henry Navarro*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a todas aquellas personas que nos sirvieron de apoyo y fueron de gran ayuda en el desarrollo del proyecto, muy especialmente a:

Nuestro codirector Darío Yesid Peña Ballesteros, por su respaldo, apoyo, confianza y asesoría continúa durante el desarrollo de este proyecto.

Nuestro director Rómulo Niño Delgado, por su orientación, y colaboración oportuna.

## CONTENIDO

		pág.
	<b>INTRODUCCIÓN</b>	22
<b>1</b>	<b>OBJETIVOS.</b>	27
1.1	Objetivos Generales.	27
1.2	Objetivos Específicos.	27
<b>2</b>	<b>JUSTIFICACIÓN.</b>	28
<b>3</b>	<b>ALCANCE DEL PROYECTO.</b>	29
<b>4</b>	<b>FUNDAMENTOS.</b>	30
4.1	Biotribología.	30
4.2	Biomateriales.	30
4.3	Clasificación de los biomateriales.	38
4.3.1	Biomateriales metálicos.	38
4.3.2	Biomateriales cerámicos.	40
4.3.3	Biomateriales poliméricos.	41
4.3.4	Biomateriales compuestos.	42
4.3.5	Nuevos avances en biomateriales.	42
4.4	Propiedades de los materiales metálicos más usados en la construcción de implantes.	46
4.5	Fricción y Desgaste en la Biotribología.	53
4.6	Generalidades sobre el Desgaste.	57
4.6.1	Mecanismos principales de degradación superficial.	57
4.6.1.1	Desgaste por Adherencia.	58
4.6.1.2	Desgaste por Abrasión.	59
4.6.1.3	Desgaste por fatiga superficial.	60
4.6.1.4	Desgaste por Corrosión.	61
4.7	Métodos de ensayos al desgaste.	64
4.7.1	Método de bases artificiales.	64
4.7.2	Método para determinar la cantidad de material de desgaste en aceite.	65
4.7.3	Método radioactivo.	66
4.7.4	Método de laboratorio.	66

4.8	Equipos utilizados para los ensayos de Fricción y Desgaste.	67
4.9	Naturaleza electroquímica de la corrosión.	72
4.10	Pasivación.	75
4.11	Ensayos para determinar el Desgaste-Corrosión.	78
4.11.1	Velocidad de Corrosión.	78
4.11.2	Técnicas utilizadas para medir la velocidad de corrosión.	79
4.12	Celda Electroquímica.	80
4.13	Potenciostato-Galvanostato.	82
4.13.1	Potenciostato.	83
4.13.2	Galvanostato.	84
4.14	Pruebas Electroquímicas para la Corrosión.	86
4.14.1	Velocidad de Corrosión.	86
4.14.2	Curvas Tafel.	87
4.14.3	Curvas de Resistencia a la Polarización.	89
4.14.4	Polarización Anódica Potenciodinámica.	90
<b>5</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.</b>	<b>91</b>
5.1	Descripción de las diferentes alternativas de construcción del tribómetro.	93
5.2	Selección de la alternativa más apropiada.	98
<b>6</b>	<b>DISEÑO CONCEPTUAL DE LA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE DESGASTE-CORROSIÓN EN BIOMATERIALES.</b>	<b>99</b>
6.1	Descripción y operación general.	99
6.2	Descripción de los sistemas constitutivos de la máquina.	101
6.2.1	Sistema estructural.	103
6.2.2	Sistema de Carga y Posición.	104
6.2.3	Sistema de la celda Electroquímica.	108
6.2.4	Sistema Eléctrico y de Potencia.	111
6.3	Diseño y Selección.	116
6.3.1	Estructura Tubular.	116
6.3.2	Resorte reposicionador del sistema de carga.	121
6.3.3	Conjunto brida porta probeta.	127
6.3.4	Cálculo y selección del motorreductor.	129

6.3.5	Acople de unión para el eje conductor de señales y el eje del motorreductor.	141
6.3.6	Selección del variador de frecuencia y distribución del sistema control y de potencia.	145
<b>7</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE</b>	<b>148</b>
7.1	Proceso de fabricación.	148
7.1.1	Torneado.	148
7.1.2	Fresado.	149
7.1.3	Roscado.	150
7.1.4	Taladrado.	150
7.1.5	Esmerilado.	152
7.1.6	Cepillado y Mortajado.	152
7.2	Planificación del Proceso.	152
7.3	Cartas de Fabricación.	155
7.4	Montaje.	167
7.5	Acabado.	168
<b>8</b>	<b>PRUEBAS ELECTROQUÍMICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN UNA MUESTRA DE TI6AL4V.</b>	<b>172</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>175</b>
<b>10</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>176</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>177</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>179</b>

## LISTA DE FIGURAS

		pág.
Figura 1	Aplicaciones de los biomateriales en articulaciones en el cuerpo humano.	23
Figura 2	Ejemplos de aplicaciones de los biomateriales.	32
Figura 3	Tubo Stent.	44
Figura 4	Desgaste en los dientes de un engranaje debido a la fricción.	55
Figura 5	Sistema tribológico.	56
Figura 6	Ejemplo de desgaste por adherencia.	58
Figura 7	Ejemplo de desgaste por Abrasión.	59
Figura 8	Ejemplo de desgaste por Fatiga Superficial.	60
Figura 9	Ejemplo de desgaste por Corrosión.	63
Figura 10	Ejemplo de corrosión en un metal bajo condiciones ambientales.	63
Figura 11	Esquema para determinar el desgaste por el método de las bases artificiales.	65
Figura 12	Máquina para los ensayos al desgaste abrasivo.	67
Figura 13	Maquina universal para los ensayos a la fricción y el desgaste.	69
Figura 14	Muestras para el ensayo al desgaste de una máquina universal.	70
Figura 15	Máquina universal UMT-1.	70
Figura 16	Esquema de la instalación para los ensayos de materiales a la resistencia al desgaste durante la fricción sobre partículas abrasivas suavemente fijadas o sueltas.	71
Figura 17	Esquema de la corrosión de un metal que se oxida.	73
Figura 18	Diagrama de Pourbaix mostrando zonas de corrosión, pasivación e inmunidad del hierro frente a potenciales respecto a un electrodo de Cu/CuSO <sub>4</sub> .	76
Figura 19	Esquema de una celda electroquímica.	80
Figura 20	Celda Electroquímica con Potenciostato y Galvanostato.	82
Figura 21	Esquema ilustrativo de un Potenciostato.	83
Figura 22	Esquema ilustrativo de un Galvanostato.	84
Figura 23	Potenciostato-Galvanostato Princeton modelo 363 y sistema de adquisición de datos SCAP363.	85

Figura 24	Curva Tafel Catódica para el Acero Inoxidable 430.	87
Figura 25	Curva Tafel completa Acero inoxidable 430.	88
Figura 26	Curva de Resistencia de Polarización de acero Inox 430.	89
Figura 27	Curva Anódica Potenciodinámica.	90
Figura 28	Curva de polarización para el AISI Ti6Al4V en suero bovino con una concentración de proteínas de 0.03 g/ml a 37°C. Barrido de 1mV/s.	90
Figura 29	Representación esquemática de la primera propuesta de construcción para la máquina de pruebas de desgaste-Corrosión.	93
Figura 30	Representación esquemática de la segunda propuesta de construcción para la máquina de pruebas de desgaste-Corrosión.	94
Figura 31	Representación esquemática de la tercera propuesta de construcción para la máquina de pruebas de desgaste-Corrosión.	95
Figura 32	Representación esquemática de la cuarta propuesta de construcción para la máquina de pruebas de desgaste-Corrosión.	96
Figura 33	Representación esquemática de la quinta propuesta de construcción para la máquina de pruebas de desgaste-Corrosión.	97
Figura 34	Representación de la máquina para ensayos de desgaste-corrosión.	101
Figura 35	Sistemas constitutivos de la máquina para pruebas de Desgaste-Corrosión.	102
Figura 36	Configuración y componentes del Sistema Estructural.	103
Figura 37	Configuración del subsistema de carga.	104
Figura 38	Configuración del Subsistema de Posición.	105
Figura 39	Componentes del Subsistema de Desplazamiento Coplanar.	106
Figura 40	Componentes del Subsistema de Desplazamiento Vertical.	107
Figura 41	Configuración del sistema de Celda Electroquímica.	109
Figura 42	Componentes del conjunto Porta probeta-Brida.	110
Figura 43	Ubicación de los componentes eléctricos.	112
Figura 44	Distribución del panel frontal de control.	112
Figura 45	Cableado eléctrico entre el Tribómetro y el Potenciostato	113

Figura 46	Método de transmisión del movimiento rotacional y aislamiento eléctrico.	114
Figura 47	Configuración del Eje contactor Porta escobillas.	115
Figura 48	Distribución de las cargas sobre la estructura tubular.	117
Figura 49	Grafica de análisis de esfuerzos de la estructura.	118
Figura 50	Distribución del factor de seguridad sobre la estructura.	119
Figura 51	Ubicación del resorte reposicionador del sistema de carga.	121
Figura 52	Límites de tolerancia para el porta probeta y para la brida.	128
Figura 53	Distribución de las fuerzas que generan el Torque de carga.	130
Figura 54	Fuerzas que intervienen en el proceso de rayado de la probeta.	131
Figura 55	Sección transversal del proceso de maquinado con sus partes geométricas.	132
Figura 56	Fuerzas que actúan sobre la herramienta.	132
Figura 57	Motorreductor Spiroplan	140
Figura 58	Conjunto Eje transmisor-Acople-cuña-eje del motor.	142
Figura 59	Fuerzas que interactúan sobre la cuña.	144
Figura 60	Designación para la selección del variador de frecuencia.	145
Figura 61	Diagrama eléctrico del Sistema de Potencia.	146
Figura 62	Diagrama de control y bornes de conexión del variador.	147
Figura 63	Proceso de torneado.	149
Figura 64	Proceso de fresado.	149
Figura 65	Fresa cónica.	150
Figura 66	Macho de roscar.	150
Figura 67	Broca	151
Figura 68	Proceso de fresado.	151
Figura 69	Proceso de Mortajado y Cepillado.	152
Figura 70	Estructura.	157
Figura 71	Estructura y láminas.	158
Figura 72	Vista interior de la estructura.	158
Figura 73	Conjunto Tanque.	159
Figura 74	Tanque y tapa del tanque.	159
Figura 75	Conjunto Porta probeta-Brida.	160
Figura 76	Brida.	160
Figura 77	Porta probeta-Eje.	161

Figura 78	Porta probeta y Tapa.	161
Figura 79	Eje.	162
Figura 80	Sistema de Posicionamiento del Pin.	162
Figura 81	Soporte de la Corredera	163
Figura 82	Corredera.	163
Figura 83	Sistema de Posicionamiento Vertical.	164
Figura 84	Husillo, Rosca de fijación inferior, Base de fricción.	164
Figura 85	Buje de Soporte para el Husillo.	165
Figura 86	Sistema de carga.	165
Figura 87	Acoplamiento del indentador tipo inserto a la puntera 2.	166
Figura 88	Electrodo de Referencia y Contraelectrodo.	166
Figura 89	Montaje de la probeta sobre el portaprobeta.	169
Figura 90	Montaje final del sistema de la celda electroquímica.	169
Figura 91	Montaje final del tribómetro.	170
Figura 92	Vista interna del tribómetro.	170
Figura 93	Vista posterior del Tribómetro.	171
Figura 94	Conexión entre el Tribómetro, potencióstato y Scap363.	171
Figura 95	Montaje de la celda electroquímica en la solución de NaCl.	172
Figura 96	Curva de polarización para el Acero AISI 304.	173
Figura 97	Curva de polarización para la aleación de Ti6Al4V.	174

## LISTA DE TABLAS

		<b>pág.</b>
Tabla 1	Campos de aplicación de los biomateriales.	33
Tabla 2	Utilización de los biomateriales en el cuerpo humano.	34
Tabla 3	Ventajas y desventajas de los biomateriales.	45
Tabla 4	Resistencia al punto cedente para los materiales del eje del motorreductor, acople y cuña.	143
Tabla 5	Planificación del proceso de manufactura.	153
Tabla 6	Carta de fabricación.	155

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
<b>ANEXO A</b> Manual de funcionamiento y mantenimiento del tribómetro para pruebas de desgaste-corrosión en biomateriales metálicos.	180
<b>ANEXO B</b> Descripción y operación del potencióstato-galvanostato princeton (p363) y del sistema de control y adquisición de datos scap363	205
<b>ANEXO C</b> Prótesis.	223
<b>ANEXO D</b> Norma ASTM G 99-95a (2000) para la experimentación de desgaste con aparatos tipo pin sobre disco.	231
<b>ANEXO E</b> Tabla para calibres de alambre y diámetros para resortes.	237
<b>ANEXO F</b> Notación para diámetros, longitudes y fuerzas en resortes.	238
<b>ANEXO G</b> Constantes para calcular resistencias de tensión mínimas de los aceros comunes para resortes.	239
<b>ANEXO H</b> Modulo de elasticidad de alambre para resortes en corte (g) y tensión (e).	239
<b>ANEXO I</b> Extracto del estándar ANSI b4.1 para ajustes de holgura tipo (RC).	240
<b>ANEXO J</b> Valores de potencia unitaria en hp y energía específica para materiales seleccionados usando herramientas de corte	241
<b>ANEXO K</b> Temperaturas de funcionamiento permitidas para los materiales del o-ring.	242

<b>ANEXO L</b>	Curva de velocidades admisibles para o-rings.	243
<b>ANEXO M</b>	Curva de pérdidas por rozamiento de los anillos en función de la velocidad de rotación y del diámetro del eje.	244
<b>ANEXO N</b>	Posiciones de montaje del motorreductor spiropian.	245
<b>ANEXO Ñ</b>	Extracto del catálogo de selección para motorreductores spiropian.	246
<b>ANEXO O</b>	Ficha técnica del motorreductor.	247
<b>ANEXO P</b>	Tabla de tamaños de cuñas contra tamaño de fechas.	248
<b>ANEXO Q</b>	Dimensiones para cuñeros paralelos.	249
<b>ANEXO R</b>	Partes del variador de frecuencia Movitrac LTE.	250
<b>ANEXO S</b>	Tabla con datos técnicos del variador de frecuencia.	251
<b>ANEXO T</b>	Planos de Construcción	252

## GLOSARIO

- BIOACTIVO:** Término utilizado para designar la respuesta biológica específica lograda por un material usado para la reconstrucción o sustitución de tejidos en la interfaz del material, en la cual se da como resultado una unión entre el material y los tejidos.
- BIOCOMPATIBLE:** Capacidad de un material de ser aceptado por el organismo y de no provocar que éste desarrolle sistemas de rechazo ante su presencia.
- BIOINERTE:** Término utilizado para describir el comportamiento de materiales ampliamente usados como prótesis en traumatología y odontología, los cuales no inducen ninguna reacción química en los tejidos biológicos con los que tienen contacto.
- BIOMATERIAL:** En términos médicos es un compuesto farmacológicamente inerte diseñado para ser implantado o incorporado dentro del sistema vivo. En este sentido el biomaterial se implanta con el objeto de sustituir y/o regenerar tejidos vivientes y sus funciones.
- BIOTRIBOLOGÍA:** Ciencia que estudia el comportamiento de los fenómenos de fricción, desgaste y lubricación en el organismo
- OSTEOINDUCCIÓN:** También llamada Osteogénesis, se puede definir en general como la capacidad para producir tejido óseo, y de una forma más restringida mediante la acción de elementos celulares.
- OSTEOINTEGRACIÓN** Se define como la unión mecánica firme, directa, estable y duradera producida entre el hueso vivo y el cuerpo de un implante.

<b>PASIVACIÓN:</b>	Es formación de una película relativamente inerte, sobre la superficie de un material (frecuentemente un metal), que lo protege en contra de la acción de agentes externos.
<b>TRIBOLOGÍA:</b>	Ciencia que estudia la fricción, el desgaste y la lubricación que tienen lugar durante el contacto entre superficies sólidas en movimiento.
<b>TRIBÓMETRO:</b>	Dispositivo utilizado en la realización de experimentos que permiten caracterizar el comportamiento de un material ante fenómenos tribológicos.
<b>FLUIDO SINOVIAL:</b>	Fluido viscoso y claro que se encuentra en las articulaciones, el cual reduce la fricción existente entre los cartílagos y otros tejidos en las articulaciones para lubricarlas y acolcharlas durante el movimiento.
<b>ARTROSIS:</b>	Alteración patológica de las articulaciones, de carácter degenerativo y no inflamatorio que suele producir deformaciones muy visibles de la articulación que afecta. Es producida por el desgaste del cartílago, el cual es un tejido que hace de amortiguador protegiendo los extremos de los huesos y que favorece el movimiento de la articulación.

## RESUMEN

### TITULO:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TRIBÓMETRO PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE DESGASTE-CORROSIÓN EN BIOMATERIALES\*.**

### AUTORES:

Gustavo Adolfo Ramírez Rocha.  
Henry Navarro Angarita\*\*.

### PALABRAS CLAVES:

Biomateriales, Oseointegración, Tribómetro, Desgaste-Corrosión, Pruebas Electroquímicas, Implante, Pasivación, Biocompatibilidad.

### DESCRIPCIÓN:

El desarrollo de nuevos biomateriales ha llamado la atención de investigadores en materiales de todo el mundo, debido a los requerimientos de oseointegración cada vez más exigentes. Para esto, se ha hecho necesario perfeccionar técnicas de laboratorio que en las últimas décadas han servido para evaluar materiales usados en la industria en general, con base en que el biomaterial debe ser evaluado bajo ciertos criterios de aceptación y que esta aceptación, pueda ser realizada por medio de pruebas in vitro que simulen las condiciones reales del cuerpo humano.

Por lo tanto por medio de la construcción de un dispositivo llamado tribómetro de desgaste-corrosión, se permitirá aplicar las técnicas electroquímicas al estudio de fenómenos interfaciales entre los implantes y un medio biológico, permitiendo así llevar a cabo el monitoreo del crecimiento de capas de óxido y su resistencia al desgaste que redundarán en la calidad que requiere la industria biomédica y los programas nacionales de salud con un gran impacto psicosocial en la población colombiana. De esta forma se puede ayudar a las empresas fabricantes de implantes a seleccionar materiales y procesos de pasivación superficial, y que junto con otras pruebas de biocompatibilidad o de aceptación en el cuerpo humano, permitan contar con los elementos necesarios y especializados para asegurar el desarrollo de nuevos biomateriales.

---

\* Trabajo de Grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director: Ing. Rómulo Niño, Codirector: Ing. Darío Yesid Peña Ballesteros.

## SUMMARY

### TITLE:

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF A TRIBOMETER FOR THE REALIZATION OF CORROSION-WEAR TESTS IN BIOMATERIALS\***

### AUTORS:

Gustavo Adolfo Ramírez Rocha.

Henry Navarro Angarita\*\*.

### KEY TERMS:

Biomaterials, Osseointegration, Tribometer, Wear-Corrosion, Electrochemical tests, Implant, Passivation, Biocompatibility.

### DESCRIPTION:

The development of new biomaterials has attracted the attention of researchers in materials from around the world, due to the requirements of increasingly demanding osseo integration. For this, it has become necessary to improve laboratory techniques that in the last decades have served to evaluate materials used in industry in general, based on the biomaterial to be evaluated under certain acceptance criteria and that this acceptance can be by means of evidence "in Vitro" that simulate the actual conditions of the human body.

Therefore through the construction of a device called Tribometer for Wear Corrosion, will be allowed to apply electro chemical techniques to the study of phenomena wear interface between implants and biological environment, allowing to carry out the monitoring of growth of oxide layers and its wear resistance, which will improve the quality that the biomedical industry requires and the national programs of health, including a great impact on psychosocial in the Colombian people.

In this way, the implant manufacturers can be helped to select materials and surface passivation processes, and it along with other tests of biocompatibility or acceptance in the human body, allowing to have the specialized elements necessities and to ensure the development of new implants.

---

\* Degree Work.

\*\* Physical-Mechanical Engineering Faculty, Mechanical Engineering School, Ing. Rómulo Niño & Ing. Darío Yesid Peña Ballesteros.

## INTRODUCCIÓN

Gran cantidad de personas en todo el mundo tienen implantado algún tipo de prótesis y es un hecho bien conocido en nuestra sociedad la utilidad y necesidad de todo tipo de implantes.

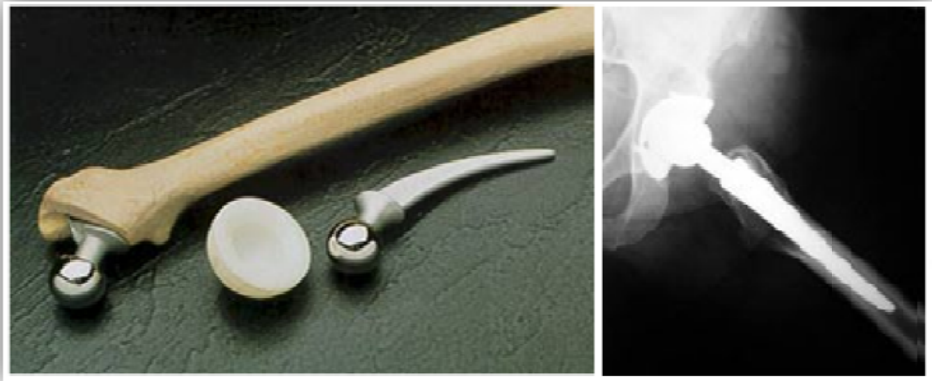
El campo de los biomateriales ha experimentado un espectacular avance en los últimos años, y una motivación importante, para ello, ha sido el hecho de que la expectativa de la esperanza de vida, aumente en forma considerable con el desarrollo de los implantes. Los biomateriales deben cumplir con las condiciones de partida de ser biocompatibles y asegurar una determinada vida media. A su vez, tienen que aportar las prestaciones específicas que requiera la aplicación a que vayan destinados.

La investigación de nuevos biomateriales ha tomado recientemente un rumbo hacia la selección y creación de materiales artificiales que simulen la apariencia y propiedades de partes óseas estructurales, o tejidos duros del cuerpo humano. Sin embargo se ha encontrado que los sustitutos o reemplazos a partir de metales sólidos, polímeros y cerámicos tienden a causar incompatibilidad a largo plazo debido principalmente a la diferencia fisicoquímica de sus superficies con el hueso. Las características fisicoquímicas de las superficies de varios biomateriales de reemplazo no son completamente compatibles con los del tejido óseo. Esta condición ha sido causa de numerosos reportes clínicos de fallas postoperatorias en cirugía traumática y pérdidas para la industria de los implantes y para las instituciones gubernamentales y privadas de salud a nivel mundial, llevando a que las investigaciones se dirijan a obtener materiales graduados en estructura superficial, con alta resistencia al desgaste y al ataque electroquímico, para que funcionen como sustitutos artificiales para el tejido óseo.

El titanio, y en menor grado algunos aceros inoxidable, se han reportado como los mejores materiales metálicos biocompatibles, por sus propiedades mecánicas y por poseer cierto nivel de respuesta biológica compatible debido a que tienen la cualidad de formar sobre sus superficies, óxidos protectores capaces de resistir los ataques químicos producidos por el ambiente biológico del cuerpo humano. Además de proporcionar al implante características particulares, tales como gran resistencia a la corrosión, de manera que no se genere ninguna reacción contraproducente debido al contacto con un medio como la sangre, lo cual puede producir efectos anómalos que conlleven a la pérdida total o parcial de las partes involucradas en la fractura.

En la figura 1 Se pueden observar un sinnúmero de aplicaciones en las que intervienen los biomateriales como sustitutos de partes óseas en el cuerpo humano.

**Figura 1. Aplicaciones de los biomateriales en articulaciones en el cuerpo humano.**



**a) Cadera**



**b) Rodilla**



**c) Hombro**



**d) Codo**



**e) Pie**



**f) Mano**

Fuente: <http://www.totaljoints.info.jpg>

A los biomateriales, (materiales implantables intracorporalmente), se les exige que lleven a cabo una función adecuada, y no ocasionen ningún daño al organismo, esto es, que sean biológicamente aceptables.

Factores decisivos a la hora de evaluar los biomateriales son su biocompatibilidad y su duración, ya que estos materiales tienen que permanecer en contacto con los tejidos vivos, es decir, que no se produzcan reacciones no deseadas en la interfaz tejido-material, y que mantengan sus prestaciones durante el tiempo que tengan que estar en servicio. Los materiales utilizados como biomateriales tienen que poseer un carácter bien sea, inerte o tolerable, o bien bioactivo, y sus productos de degradación no deben originar toxicidad. Son varios los factores a tener en cuenta en el desarrollo de la bioactividad en el material: la respuesta del tejido frente a la composición química de la superficie del biomaterial, el acabado superficial (liso, rugoso o poroso), y la respuesta frente a las pequeñas alteraciones que puede sufrir el material implantado. En este campo el futuro de los biomateriales está dirigido hacia la obtención de implantes con superficies bioactivas y resistentes al desgaste, que logren la imitación, simulación o mimetización de los materiales con los procesos de interacción superficial con los tejidos biológicos de los seres vivos.

Otro requisito también imprescindible es que tengan una buena resistencia a la corrosión. Se conoce bien que la corrosión es un problema general de los metales, más aún si están inmersos en un medio hostil como es el organismo humano, y a temperaturas del orden de 37°C. Sin embargo, algunos metales se escapan, por lo menos en principio, a este problema, como son los metales preciosos. Otros, al formar una capa de óxido en su superficie, se pasivan, protegiendo el interior del metal al evitar que avance la corrosión, tal es el caso del titanio, que hoy en día ha sustituido y seguirá sustituyendo un gran número de metales usados hasta hoy, como los biomateriales, debido a su excelente resistencia electroquímica, propiedades mecánicas y por ser un material con algunas características bioinertes. Sin embargo para que sea biocompatible, el metal debe ser bioconductor y bioactivo, lo primero para favorecer el crecimiento y anclaje del tejido del hueso dentro del implante y el segundo para que se induzca la formación de hueso ya sea en forma natural o en presencia de agentes osteoinductivos tales como, proteínas morfogenéticas del hueso o de fosfato de calcio.

Por la tanto la *Universidad Industrial de Santander*, en especial la *Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales*, por medio del *Grupo de Tribología*

*y Superficies (GTUIS)*, quiere realizar estudios que permitan determinar electroquímicamente las propiedades de resistencia a la corrosión, resistencia al desgaste y así la biocompatibilidad de materiales usados en cirugía traumática.

Por lo tanto, se hace necesario la creación de un dispositivo que permita evaluar la sinergia entre el desgaste abrasivo y el desgaste por corrosión sobre la base de ensayos en el laboratorio, estableciendo las condiciones más parecidas a las que se presentan en el cuerpo humano.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 Objetivos Generales.

- Continuar con la misión de la Universidad de atender y dar solución a las diferentes necesidades que tiene la industria biomédica a nivel nacional, mediante el diseño, construcción y posterior puesta en funcionamiento de una máquina para la realización de pruebas de desgaste-corrosión.
- Dar inicio a las líneas de investigación relacionadas con la Tribología aplicada a Biomateriales mediante el desarrollo de proyectos que integren áreas de conocimiento de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Metalúrgica.

### 1.2 Objetivos Específicos.

- Diseñar y construir una máquina para determinar la resistencia al desgaste-corrosión de biomateriales en un medio fisiológico simulado *in vitro*, mediante el monitoreo del crecimiento de las películas de óxido en una probeta, bajo la acción de desgaste deslizante por medio de métodos electroquímicos, según algunos parámetros de la norma ASTM G99-95a (2000).
- Certificar mediante pruebas de desgaste-corrosión el funcionamiento de la máquina, utilizando el método electroquímico para la determinación de la velocidad de corrosión, en una probeta circular de Ti6Al4V ELI, con dimensiones de 1 ¼" de diámetro y 2 mm de espesor y a velocidades de rotación entre 0 y 500 rpm, bajo un ambiente salino simulado, en donde para la realización de estas pruebas electroquímicas se utilizará un equipo compacto llamado POTENCIOSTATO-GALVANOSTATO PRINCETON modelo 363 (P363), el cual cuantifica los fenómenos de desgaste en los metales simulando el comportamiento y la respuesta de un material ante ambientes corrosivos, mediante las señales de tensión y de corriente que circula por la celda electroquímica.
- Elaborar un manual de funcionamiento y mantenimiento del tribómetro.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Los aparatos para prótesis biomédicas usados en traumatología, son reemplazos artificiales que son usados en un sistema biológico tal, como el cuerpo humano, en un esfuerzo para proveer la función de la parte original. Los aparatos de prótesis están hechos de materiales poliméricos, cerámicos y metálicos o las combinaciones de esos materiales, y un factor muy importante a tener en cuenta en el diseño y aplicación en cirugía, es que existen procesos de degradación específicos para todos esos materiales.

Los metales son usados como implantes quirúrgicos en el cuerpo humano para propósitos ortopédicos. Es importante conocer que a principios de siglo los biomateriales eran esencialmente materiales industriales seleccionados con el criterio de que fueran capaces de cumplir ciertos requisitos de aceptabilidad biológica. Sin embargo, en la actualidad muchos biomateriales son diseñados, sintetizados y procesados con el único fin de tener una aplicación en el campo médico. Es fácil comprender que el paciente, como usuario final, o el cirujano como utilizador, no necesitan biomateriales, sino componentes, piezas o aparatos y sistemas médicos fabricados con biomateriales. De hecho, los biomateriales se sintetizan y elaboran específicamente para cada sistema o aparato médico.

Por lo tanto la cirugía traumática a nivel nacional e internacional ha centrado su interés en encontrar materiales o características en los materiales que cumplan las exigencias tanto mecánicas como químicas en el material y que tengan excelentes propiedades tribológicas obtenidas por diferentes técnicas de ingeniería de superficies. Donde uno de los objetivos desde un punto de vista práctico, es conocer *a priori* la resistencia al desgaste-corrosión de un determinado metal o aleación en un medio ambiente específico y sobre la base de ensayos en el laboratorio, en donde se puedan llegar a establecer las condiciones ambientales más fielmente parecidas a la realidad, con el fin de que estos estudios sobre los materiales puedan llevar a evitar operaciones innecesarias para extraer aparatos protésicos, tornillos o grapas que, por algún motivo relacionado con la falta de capacidad para osteointegrarse, éstos sean rechazados por el organismo humano.

### 3. ALCANCE DEL PROYECTO

Para llevar a cabo ensayos de Desgaste-Corrosión en el laboratorio, como son determinar electroquímicamente las propiedades de resistencia a la corrosión, resistencia al desgaste, y así la biocompatibilidad de materiales usados en cirugía traumática, es necesario utilizar diferentes tipos de dispositivos, para lo cual la *Universidad Industrial de Santander*, en especial la *Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales*, por medio del *Grupo de Tribología y Superficies (GTUIS)*, solicita la construcción de una máquina (Tribómetro) para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en biomateriales, que cumpla con los requerimientos dados anteriormente.

Permitiendo así llevar a cabo el monitoreo del crecimiento de capas de óxido y su resistencia al desgaste por métodos electroquímicos que redundarán en la calidad que requiere la industria biomédica y los programas nacionales de salud con un gran impacto psicosocial en la población Colombiana.

Además monitoreando potenciodinámicamente y galvanostáticamente, todo el proceso de crecimiento y rompimiento de las capas pasivas sobre el material, para desarrollar criterios de selección de los materiales potencialmente disponibles para ser utilizados como biomateriales. Las probetas que se obtengan a nivel de laboratorio serán evaluadas midiendo el desgaste-corrosión en un medio electrolítico simulado (solución Hank o Ringer<sup>1</sup>). También se evaluará el material electroquímicamente midiendo las impedancias a diferentes tiempos de permanencia de las probetas en solución (días o meses) para determinar el comportamiento de la película de óxido en la interfase con el medio biológico.

---

<sup>1</sup> Las soluciones Hank y Ringer son soluciones sintéticas que simulan fluidos corporales tales como la saliva y la sangre.

## **4. FUNDAMENTOS**

Los procesos de Desgaste-Corrosión han sido ampliamente estudiados con el fin de comprender los daños que producen a los materiales. Es importante que el lector se familiarice con dichos procesos por lo cual se va a realizar una ilustración a lo larga de este capítulo.

### **4.1 BIOTRIBOLOGÍA**

Se entiende Biotribología como la ciencia tribológica que se ocupa de los fenómenos de la fricción, la lubricación y el desgaste de interfaces dentro del cuerpo de los seres animales. Un ejemplo típico es la unión en la cadera de los seres humanos, donde superficies articuladas están bien protegidas de fuerzas de impacto y eficientemente lubricadas de forma tal que el desgaste que se experimenta en esas superficies es prácticamente mínimo. Solo hay una tendencia al desgaste en los huesos cuando, por la edad, la lubricación deja de ser efectiva. El desgaste en las uniones de huesos no lubricados causa dolor y también aumenta el desgaste, que se produce además debido a enfermedades. Tales insuficiencias son, hoy en día solucionadas mediante intervenciones quirúrgicas, empleando prótesis. Los materiales de las prótesis deben ser tribológicamente eficientes y biocompatibles. Las prótesis son hechas tanto de metales como de no metales.

### **4.2 BIOMATERIALES**

El término biomaterial designa a los materiales de origen sintético como natural, utilizados en la fabricación de dispositivos que interactúan con sistemas biológicos, sin afectar adversamente el organismo viviente ni sus componentes.

Por lo tanto toda una serie de propiedades deben responder adecuadamente a las condiciones físicas, químicas y biológicas que en la mayor parte de las aplicaciones de Ingeniería no son viables y requieren un estudio detallado, lo que los convierte en una de las áreas de investigación de mayor interés en la actualidad.

Entre los biomateriales están materiales muy diferentes tales como los metales, los cerámicos o los polímeros, tanto naturales como sintéticos.

Habitualmente estos se utilizan en forma de materiales compuestos en los que la asociación de dos o más sustancias con características propias, forman un nuevo material cuyas propiedades son superiores a la de cada uno de sus componentes, para los fines de la aplicación que se le quiere dar.

Sobre la base de la duración y la forma del contacto que se establece con el organismo, los biomateriales suelen clasificarse como de uso temporal o permanente y de localización intracorpórea o extracorpórea.

Desde el punto de vista de su función se pueden distinguir entre ellos los dispositivos destinados al soporte, al diagnóstico o al tratamiento. Algunos biomateriales contienen drogas y son considerados medicamentos, otros pueden incluir células vivas y construir los llamados biomateriales híbridos. También hay biomateriales que incluyen compuestos capaces de responder a señales provenientes del medio biológico que reciben el nombre de materiales inteligentes.

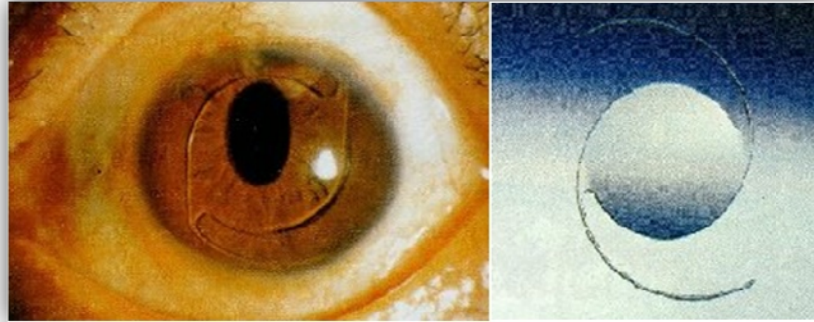
Los biomateriales tienen un campo de aplicación muy amplio que se extiende desde dispositivos de uso masivo y cotidiano en centros de salud como es el caso de jeringas, vendajes, catéteres, bolsas para suero y sangre, y recipientes para residuos hasta sofisticadas piezas que se emplean para promover la regeneración de tejidos o para reemplazar órganos.

Entre los usos quirúrgicos de los biomateriales están los implantes permanentes como son:

*a)* En el sistema esquelético muscular, para uniones en las extremidades superiores e inferiores (hombros, dedos, rodillas, caderas, etc.) o como miembros artificiales permanentes; *b)* en el sistema cardiovascular, corazón (válvula, pared, marcapasos, corazón entero), arterias y venas; *c)* en el sistema respiratorio, en laringe, tráquea y bronquios, diafragma, pulmones y caja torácica; *d)* en sistema digestivo: esófago, conductos biliares e hígado; *e)* en sistema genitourinario, en riñones, uréter, uretra, vejiga; *f)* en sistema nervioso, en marcapasos; *g)* en los sentidos: lentes y prótesis de córneas, oídos y marcapasos caróticos; *h)* otras aplicaciones se encuentran por ejemplo en hernias, tendones y adhesión visceral; *i)* implantes cosméticos maxilofaciales (nariz, oreja, maxilar, mandíbula, dientes), pechos, testículos, penes, etcétera.

**Figura 2. Ejemplos de aplicaciones de los biomateriales.**

**a) Lentes intraoculares.**



**b) Injertos vasculares.**



**c) Válvulas para corazón.**



Fuente: [www.biomaterials.com](http://www.biomaterials.com)

En las tablas 1 y 2, se puede observar un sinnúmero de aplicaciones en la que intervienen los biomateriales junto con los materiales que están contruidos.

**Tabla 1. Campos de aplicación de los biomateriales.**

<b>ELEMENTO, COMPONENTE O PRODUCTO</b>	<b>MATERIALES</b>
Catéteres y tabuladoras.	PVC, PE, PU, Silicona, Poliéster, Fluoropolímeros (teflón)
Bolsas sanguíneas.	PVC.
Film para embalajes.	PE, PVC, nylon, Polietileno (PS)
Contenedores quirúrgicos.	PE, PS, poliéster, acrílico.
Recipientes y botellas.	PE, PVC, PS, poliéster, PP.
Partes de analizadores de laboratorio, aspiradores, instrumentos ópticos, etc.	PE, PVC, nylon, etc.
Componentes de equipos médicos electrónicos	Nylon, PP, Poliacetales, etc.
Componente de máquinas para corazón y pulmón.	Polivinilpirolidona.
Compuestos médicos en polvo.	Resinas urea-Formaldehido.
Partes de dispositivos ópticos y acústicos.	Acrílico, policarbonato, epoxy, etc.
Partes y ruedas de sistemas de transporte.	Poliéster, PP, etc.
Equipamiento para transporte de alimentos.	PS, PE, PVC, etc.
Jeringas descartables, agujas, tubos de drenaje, bolsas de aire, cubre zapatos, termómetros de uso único, bandas de identificación, tarjetas, paños térmicos y húmedos, recipientes para residuos, etc.	PE, PVC, PU, PS, etc.
Coberturas de sistemas eléctricos, aisladores, etc.	Poliéster, PVC, PC,  Acrlonitrilo-Butadieno-Estireno(ABS), etc.
Equipamiento y mobiliario.	Poliéster, PE, PP, PVC, PS, acrílicos, etc.

**Fuente:** [www.cienciahoy/biomateriales.com](http://www.cienciahoy/biomateriales.com).

**Tabla 2. Utilización de los biomateriales en el cuerpo humano.**

<b>LOCALIZACIÓN</b>	<b>DISPOSITIVO</b>	<b>ETIOLOGÍA</b>	<b>MATERIALES</b>
<b>OJO</b>	Lente intraocular , Lentes de contacto, Vendaje corneal	Cataratas  Problemas de la visión	Acrílico (polimetilmetacrilato) silicona (Sil), hidrogeles, Silicona-acrilatos, Colágeno.
<b>PISO ORBITAL</b>	Piso orbital	Fractura del orbital que conduce a visión doble	Politetrafluoroetileno (PTFE), silicona, polietileno (PE), Ti(malla)
	Banda escleral	Desprendimiento de retina	Silicona
	Ojo artificial	Remoción por traumatismo o enfermedad	Acrílico
<b>OÍDO</b>	Marco oído externo	Pérdida congénita o traumática del oído externo	Silicona, PE, policloruro de vinilo (PVC)
	Tubo de ventilación	Infección del oído medio, oclusión del tubo de Eustaquio	PE, FC, silicona, acero inoxidable (Acero Inox)
	Prótesis de estribo	Estribotomía	Acero Inox, PTFE
	Timpanoplastia	Reconstrucción del oído medio	Acero Inox, PTFE
<b>NARIZ</b>	Rinoplastia	Nariz congénita en silla	Silicona
<b>BARBILLA</b>	Prótesis de barbilla	Barbilla recesiva	Silicona
<b>BOCA</b>	Prótesis mandibular	Traumatismo, anquilosis	Proplast™
	Implantes dentales	Traumatismo, enfermedad	Acrílico, epoxi, PE ultra alta densidad, titanio, alúmina

LOCALIZACIÓN	DISPOSITIVO	ETIOLOGÍA	MATERIALES
<b>CARA</b>	Prótesis facial	Traumatismo	Acrílico, PVC, poliuretanos
<b>CUELLO</b>	Stents traqueales	Reconstrucción traqueal	Silicona
	Caja de voz	Pérdida de la voz por laringectomía	Silicona, acetales, Acero Inox.
<b>CORAZÓN Y SISTEMA VASCULAR</b>	Marcapasos cardíaco	Arritmia, bloqueo cardíaco	Epoxi, Sil, PTFE, Acero Inox, Ti
	Prótesis valvulares	Enfermedades valvulares	Carbón pirolítico, Ti, PTFE, silicona, tejido reprocesado
	Bombas intra-aórticas	Pacientes con necesidad de asistencia cardíaca	Poliuretanos segmentados, copolímeros uretano-silicona
	Oxigenadores sanguíneos	Cirugía a corazón abierto	Policarbonato (PC), cauchos de silicona, poliacetales
	Vasos sanguíneos y "Stents"	Traumatismo, enfermedad	PVC, poliéster (dacrón, mylar) Aleaciones superelásticas Ni-Ti
	Almacenado de sangre y sistemas de liberación	Traumatismo, cirugía, enfermedades	Vinilos, poliacetales
	Prótesis arteriales	Arteriosclerosis, aneurismas	Tejido de poliéster o PTFE
	Suturas biodegradables	Traumatismo o enfermedad	Poliuretanos (PU), polilactidas
<b>SISTEMA DIGESTIVO</b>	Segmentos gastrointestinales	Traumatismo o enfermedad	Silicona, PVC, nylon, poliacrilatos
	Segmentos de esófago	Traumatismo o enfermedad	PE, polipropileno (PP), PVC

LOCALIZACIÓN	DISPOSITIVO	ETIOLOGÍA	MATERIALES
<b>SISTEMA URINARIO</b>	Stent de uretra	Bloqueo de uretra por enfermedad	Silicona, PE
	Esfínter urinario	Incontinencia urinaria	Silicona
	Membranas de hemodiálisis	Fallas de riñón	Nylon, silicona, celulosa, PU, poliacrilonitrilo, cuprophane
<b>ÓRGANOS SEXUALES</b>	Prótesis mamarias	Mastectomía subcutánea, subdesarrollo o asimetría	Silicona
	Stent vaginal	Reconstrucción por enfermedad o ausencia congénita	Silicona, PE
	Implante	Trompas de Falopio	Silicona
	Implante de pene	Impotencia eréctil	Silicona, PE
	Implante testicular	Orquidectomía	Silicona
<b>ESQUELETO</b>	Placa craneal	Traumatismo	Acrílico, Ti (malla)
	Articulaciones de rodilla, dedos y otras	Artritis, traumatismo	Compuestos PE-fibra de carbono, PU, silicona
	Placas de fijación de fracturas		Aceros, aleaciones Ti-Al-V, acrílicos, PE ultra densidad, dacrón
	Reparación de huesos		Hidroxiapatita, acrílico
	Músculo artificial pasivo	Atrofia muscular, traumatismo	Silicona, poliéster

Fuente: <http://www.cienciahoy/biomateriales.com>.

Una de las características más importantes a tener en cuenta en los biomateriales es su total integración con el cuerpo humano, la cual es imposible dado que el cuerpo humano siempre lo reconocerá como elemento extraño y en mayor o menor medida lo rechazará. Sin embargo, cada vez se obtienen mejores materiales, recubrimientos y formas que se adaptan mejor a las condiciones corporales, logrando mayor receptividad del mismo.

El éxito de un biomaterial o de un implante depende de tres factores principales:

- Propiedades y biocompatibilidad del implante.
- Condiciones de salud del receptor.
- Habilidad del cirujano que realiza el implante; la física sólo se aplica al primero.

Los requisitos que debe cumplir un biomaterial son:

1. Ser biocompatible, es decir, debe ser aceptado por el organismo, no provocar que éste desarrolle sistemas de rechazo ante la presencia del biomaterial.
2. No ser tóxico, ni carcinógeno.
3. Ser químicamente estable (no presentar degradación en el tiempo) e inerte.
4. Tener una resistencia mecánica adecuada.
5. Tener un tiempo de fatiga adecuado.
6. Tener densidad y peso adecuados.
7. Tener un diseño de ingeniería perfecto; esto es, el tamaño y la forma del implante deben ser los adecuados.
8. Ser relativamente barato, reproducible y fácil de fabricar y procesar para su producción en gran escala.

### **4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS BIOMATERIALES**

Los biomateriales o materiales biocompatibles pueden clasificarse en inertes y bioactivos. Los primeros son materiales que no provocan ningún tipo de reacción en el organismo, se podría decir que el organismo “no los ve”, mientras que los materiales bioactivos son aquellos que provocan en el organismo reacciones favorables para lo que se quiere mejorar o sustituir en el cuerpo. Estos materiales se pueden clasificar a su vez en estables y reabsorbibles; los estables son aquellos que permanecen en el organismo en la misma forma y tamaño durante todo el tiempo que están implantados, por ejemplo los implantes de cadera. Los reabsorbibles, como su nombre indica, se van degradando en el organismo a medida que pasa el tiempo y se favorece con ello la función que realizan, como en el caso de las suturas de tejidos internos, que deben desaparecer a medida que el tejido se restaura. Es importante reconocer que pequeños cambios en la composición de un biomaterial pueden determinar las propiedades para hacerlo bioactivo, bioinerte y reabsorbible, por lo que es primordial tener una técnica de obtención bien determinada, así como un estudio exhaustivo de sus propiedades mecánicas y fisicoquímicas.

Según su origen los biomateriales se clasifican en metálicos, cerámicos, polímeros y compuestos.

#### **4.3.1 BIOMATERIALES METÁLICOS**

Son los materiales de naturaleza metálica, es decir, enlace metálico, con buena conductividad eléctrica y térmica. En este grupo se cuentan aleaciones de Titanio (Titanio-Vanadio), aleaciones de Cobalto (Cobalto-Cromo-Molibdeno), aleaciones preciosas (Oro, Platino) y aceros inoxidable. Se caracterizan por tener buena resistencia, tenacidad y elasticidad, pero tienen el inconveniente de ser susceptibles a la corrosión electroquímica y a otros mecanismos de desgaste que pueden generar óxidos y sales metálicas tóxicas, por lo que requieren tratamientos superficiales.

En estos materiales para lograr la forma final del implante se realizan procedimientos de forja o fundición (formas rústicas) que posteriormente pueden ser maquinados, extruidos o rolados en barras. La conformación final de las barras se puede hacer por medio de un proceso termomecánico. Algunos implantes pueden ser conformados directamente por fusión con un posterior acabado de maquinado.

Los materiales más utilizados son:

**Aleaciones de titanio:** En las cuales se ha incrementado el interés, principalmente en algunas aleaciones de fase beta debido a que tienen el más bajo módulo de Young de estos metales con estructura cúbica centrada en el cuerpo ( $E \approx 70$  GPa) [Von Reccum, A, 1996] y las aleaciones con memoria de forma TiNi.

- Ti<sub>6</sub>Al<sub>4</sub>V y Titanio - Aluminio - Niobio.
- Ti-Co-Cr-Ti
- ASTM F136: Estructura b + a (Mayor resistencia específica de todos los biomateriales)
- Ti cp: Grado 1 (0.18% O) a Grado 4 (0.40% O). El oxígeno aumenta resistencia, disminuye alargamiento.
- Nitinol: 56 % Ni. Posee memoria de forma a temperatura ambiente, propiedad que se usa en frenillos de ortodoncia y clips para aneurismas intercraneales.

**Aceros inoxidables:** Usados principalmente para fijación de fracturas temporales.

Presentan buena resistencia a la corrosión en agua salada debido a la disminución en su contenido de carbono. El cromo es el elemento que provee la resistencia a la corrosión en concentraciones por encima del 11% en peso. Los más empleados son el AISI 316L, ASTM F 138 y el SANDVIK SAF 2507.

**Aleaciones de cobalto:** Conocidas como aleaciones cobalto- cromo, pueden ser forjadas o fundidas y son usadas para constituir las uniones de las prótesis de cadera y rodilla.

Entre estas aleaciones están la ASTM F75 (F) y F799 (W) Co - Cr - Mo, ASTM F592 Co - Cr - Ni - Mo; esta última no se usa en juntas deslizantes por sus pobres propiedades friccionales, pero posee buena resistencia a la fatiga.

**Aleaciones preciosas:** Pt, Au, Pd. Usadas en odontología por su durabilidad, estabilidad y resistencia a la corrosión.

### **Aplicaciones**

Los biomateriales metálicos son utilizados en prótesis totales, de tipo femoral y de rodilla, prótesis dentales, pernos, tornillos y platinas de ortopedia y ortodoncia, entre otras.

### 4.3.2 BIOMATERIALES CERÁMICOS

Son compuestos policristalinos, refractarios, generalmente inorgánicos y en la mayoría de los casos formados por un óxido de un elemento metálico, con enlaces covalentes, iónicos o ambos. Se utilizan predominantemente para recubrimientos o para reemplazo total de piezas dentales, y son ideales dado su gran estabilidad química para interfaces con tejidos.

El desarrollo reciente ha permitido la conformación de cerámicos que estimulan el crecimiento de tejidos vivos sobre ellos. Tienen una excelente resistencia a la corrosión en vivo, además de su resistencia al desgaste en los cerámicos inertes, pero otros tienen la propiedad de tener una superficie reactiva biodegradable y son denominados bioactivos.

Estos materiales tienen la capacidad de permitir la unión de tejidos, permitiendo una mejor adherencia de los tejidos vivos a los implantes a través de interacciones mecánicas o químicas. Una desventaja de los mismos es su aplicación limitada para cargas deslizantes bajas, debido a su baja tenacidad a la fractura. Los cerámicos inertes son conformados mediante polvos cerámicos sinterizados bajo alta temperatura y presión. Los polvos son inicialmente compactados para dar la forma inicial con el uso o no de aglutinantes (que dan la compactación en verde); luego de obtenida la forma se sinterizan en un horno a alta temperatura. La conformación por fusión no es factible comercialmente debido al alto punto de fusión de estos materiales.

Los biomateriales cerámicos se pueden clasificar en varios grupos, tales como:

**Bioinertes:** No presentan ningún tipo de reacción con el medio externo.

- $\text{Al}_2\text{O}_3$ , (Alúmina).
- $\text{ZrO}_2$ , (Zirconio).
- $\text{TiO}_2$ .
- Carbono pirolítico.

**Reabsorbibles-Bioactivos:** Estimulan el crecimiento celular sobre ellos.

- a-TCP: fosfato tricálcico a.
- b-TCP: fosfato tricálcico b.
- TetCP: fosfato tetracálcico.
- DCPD: fosfato dicálcico dihidratado.
- DCPA: fosfato dicálcico anhidro.
- DCP: fosfato octacálcico.
- OHAp: Hidroxiapatita baja cristalinidad.

**Superficies Bioactivas:** Se utilizan como recubrimientos de otros materiales que estimulan el crecimiento celular.

- OHAp sinterizada.
- Vidrios bioactivos.
- Vitrocerámicos bioactivos.

### **Aplicaciones**

Utilizaciones ortopédicas de soporte de carga: Prótesis femoral y de rodilla. Alúmina ( $Al_2O_3$ ), Zirconia estabilizada ( $ZrO_2$ ), Compuestos PE-HA (Poliétileno-Hidroxiapatita).

### **4.3.3 BIOMATERIALES POLIMÉRICOS**

Generalmente se usan los de alto peso molecular en cuyas cadenas de moléculas los átomos son unidos a través de enlaces covalentes. Propiedades como la alta viscosidad del polímero fundido, la resistencia mecánica y las propiedades en un amplio rango elástico son consecuencia del tamaño y la estructura de las moléculas del mismo. Dentro de los polímeros, se encuentran muchos materiales de diversas propiedades como:

- PMMA (polimetil metacrilato).
- HDPE (polietileno de alta densidad) irradiado.
- Fotopolimerizable.
- UHMWPE.
- Biodegradables.

### **Aplicaciones**

Una de las mejores y más extendidas aplicaciones de estos materiales es en la conformación de acetábulos para cabeza femoral de una prótesis de cadera total. El UHMWPE es el material que se está utilizando más recientemente con muy buenos resultados, a pesar que se están registrando fallas por desprendimiento y excesivo desgaste. Las causas de este fenómeno son aún motivo de investigación. Algunas aplicaciones de los polímeros se mencionan en la tabla 3.

#### **4.3.4 BIOMATERIALES COMPUESTOS**

Son fabricados a partir de la combinación de varios tipos de materiales, tanto metales, cerámicos y polímeros. El desarrollo de dichos materiales está aún en proceso. De igual modo, son comunes las mezclas de materiales utilizados unos como matrices o piezas principales y otros como recubrimientos para intercaras. También existe otra gran línea de desarrollo en biomateriales y es la consecución de biocementos para la fijación de prótesis a cavidades óseas. Estas sustancias son en su mayoría de origen cerámico. Los compuestos poliméricos de fibra reforzada son los compuestos más investigados actualmente para aplicaciones médicas.

#### **4.3.5 NUEVOS AVANCES EN BIOMATERIALES**

##### *Las Nanofibras de cristal bioactivo como biomaterial de última generación*

El cristal bioactivo está considerado actualmente como el material más biocompatible en el campo de la regeneración ósea debido a su bioactividad, osteoconductividad (capacidad del material para actuar como andamiaje y soportar el acoplamiento celular y la consiguiente formación y deposición de matriz ósea) e incluso osteoinductividad (especie de andamio que ayuda a las células precursoras osteogénicas a diferenciarse entre las células óseas maduras). Sin embargo, la fórmula del cristal bioactivo se ha limitado a fibras en la escala del micrón, polvos y bulk.

Ahora, se ha fabricado, por primera vez, un cristal bioactivo en forma de nanofibras. Este material, que presenta una bioactividad excelente, podría abrir la puerta al desarrollo de nuevos materiales de regeneración ósea nanoestructurados para la medicina regenerativa y la ingeniería de tejidos.

### *La súper aleación MA 956*

Desde que hace varios años se propusiera esta superaleación como posible nuevo biomaterial, hasta nuestros días, se ha recorrido un largo camino en el que el mejoramiento de la resistencia a la corrosión frente a sueros fisiológicos se ha visto acompañada de otras magníficas propiedades, que hacen de este biomaterial el más esperanzador para el empleo convencional en aplicaciones como prótesis de cadera y rodilla e implantes dentales.

La MA 956 es una super aleación ferrítica, procesada vía pulvimetalurgia por aleado mecánico (MA) y mediante tratamientos termomecánicos. Su composición química es Fe-20Cr-4,5Al-0,5Ti-0,5Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (% en masa). Esta aleación lleva incorporada un dispersoide, la ytria, que le proporciona una fase termodinámicamente estable cuando es sometida a altas temperaturas (superiores a 1050°C) y facilita la formación de una capa superficial, de unos 5 µm, de alúmina α, fina, densa y muy bien adherida. Esta capa proporciona un excelente comportamiento frente a la oxidación, hasta el punto que resulta difícil determinarlo cuantitativamente.

Así, el umbral de pasivación está en el rango de 10<sup>-9</sup> A cm<sup>-2</sup>, lo que significa que su comportamiento frente a la corrosión es 10<sup>3</sup> veces mejor que el del titanio. Pero además, las elevadas tensiones residuales de compresión previenen la formación de grietas durante la deformación elástica, lo que favorece una buena resistencia al desgaste. De los diferentes pares ensayados, en lo que a resistencia al desgaste se refiere, el mejor es el formado por la MA956 preoxidada y el polietileno.

### *Aleaciones con memoria de forma*

El efecto memoria de forma está íntimamente relacionado con la pseudoelasticidad y se basa en la transformación termoelástica martensítica (austenita → martensita) que puede obtenerse por enfriamiento o inducirse por esfuerzos. En dicha transformación el material modifica su estructura cristalina a un sistema hexagonal compacto propio de la martensita, transformación que se produce sin difusión. Pues bien, la pseudoelasticidad se da si, una vez inducida una transformación martensítica mediante un esfuerzo, al cesar éste, la martensita producida resulta ser inestable en el rango de temperaturas en que se opera. La deformación producida durante la aplicación del esfuerzo se recupera al cesar la tensión, ya que la martensita vuelve a la fase inicial.

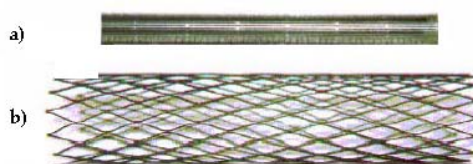
Así mismo, al aplicar un esfuerzo por debajo de la temperatura de comienzo de la transformación martensita  $\rightarrow$  austenita, el cambio producido en la forma permanece. Sin embargo, al calentar hasta la temperatura de finalización del proceso martensita  $\rightarrow$  austenita, el material recupera su forma inicial debido a la transformación producida. Así se obtiene la forma original de la fase inicial y se recupera la deformación de la fase martensítica. Esto se conoce como *efecto memoria de forma*. Bajo el término de materiales con memoria de forma existen cuatro clases diferentes, según la naturaleza, o del material en sí, o del estímulo externo al que responden.

- Aleaciones con memoria de forma (*Shape memory alloys, SMAs*).
- Cerámicas con memoria de forma (*Shape memory ceramics, SMCs*).
- Polímeros con memoria de forma (*Shape memory polymers, SMPs*).
- Aleaciones ferromagnéticas con memoria de forma (*Ferromagnetic Shape Memory Alloys, FSMAs*).

Dentro de las diferentes posibilidades estudiadas, la aleación NiTi, combina las características del efecto memoria de forma y la pseudoelasticidad con una excelente resistencia a la corrosión y al desgaste, además de buena compatibilidad, lo que hace de ella un biomaterial muy apropiado, particularmente en cirugía ortopédica y odontología.

Así, algunas posibles aplicaciones de estas aleaciones incluirían arcos de ortodoncia, clips de aneurismas intracraneales, filtros de vena cava, músculos de contracción artificial, etc. Una importante aplicación de los materiales con memoria de forma son los llamados *STENTS*, los cuales se utilizan para sostener tejidos mientras se tiene lugar procesos de cicatrización. Entre los usos comunes están, mantener estructuras con forma de tubo abiertas después de un procedimiento quirúrgico como los vasos sanguíneos, los uréteres, las venas, las arterias y conductos de drenaje de los riñones.

**Figura 3. Tubo Stent.**



a) Forma inicial del tubo.

b) Stent en forma final de trabajo

Fuente: <http://www.biomaterials.com>

**Tabla 3. Ventajas y desventajas de los biomateriales.**

	<b>MATERIALES</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>EJEMPLOS</b>
<b>METALES</b>	316, 316LS.S, Aleaciones de titanio, Aceros de bajo carbono.	Resistencia a esfuerzos de alto impacto, alta resistencia al desgaste	Baja biocompatibilidad, corrosión en medios fisiológicos, alta densidad, perdida de propiedades mecánicas con tejidos conectivos suaves.	Fijación ortopédica: tornillos, clavos, alambres, placas, barras intermedulares, implantes dentales.
<b>POLÍMEROS</b>	Silicón, Teflón, Dacrón y Nylon.	Elásticos, fáciles de fabricar, baja densidad.	Baja resistencia mecánica, degradación con el tiempo.	Suturas, arterias, venas, nariz, orejas, mandíbulas, dientes, tendones.
<b>CERÁMICOS</b>	Óxidos de Aluminio, Aluminatos de calcio, Óxidos de titanio, Carbonos.	Buena biocompatibilidad, resistencia a la corrosión, inerte.	Fractura ante esfuerzos de alto impacto, difícil fabricación, baja resistencia mecánica, inelásticos, baja densidad.	Prótesis de cadera, dientes, dispositivos transcutaneos .
<b>COMPUESTOS</b>	Cerámica, Metal-Carbón.	Buena compatibilidad, inerte, resistente a la corrosión, alta resistencia a los esfuerzos.	Carecen de resistencia en la fabricación del material.	Válvulas cardiacas, uniones óseas, marcapasos.

**Fuente: Autores.**

#### 4.4 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES METÁLICOS MÁS USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE IMPLANTES<sup>1</sup>

A continuación se mencionan las propiedades de los materiales más utilizados en aplicaciones médicas, como recubrimientos, prótesis, reconstrucciones o fijaciones transitorias de elementos, órganos y otros miembros del cuerpo humano.

##### *TITANIO*

Una de las mejores propiedades que tiene el titanio es que no genera tóxicos en contacto con el organismo de las personas, eso unido a sus cualidades mecánicas de dureza, ligereza y resistencia han hecho posible una gran cantidad de aplicaciones de gran utilidad como por ejemplo: prótesis articulares, implantes dentales, componentes para la fabricación de válvulas cardíacas y marcapasos, clavos y placas de osteosíntesis para la recuperación de fracturas óseas, y muchos otros productos a parte de los implantes como, gafas, herramienta quirúrgico tales como bisturís, tijeras, etc., y también la gran cantidad de piezas llamadas piercing (que se incrustan como adorno por diferentes zonas del cuerpo).

El titanio desde que se empezó a utilizar en el tratamiento de las fracturas y en ortopedia no se conoce a la fecha ningún caso de incompatibilidad reportado conocido.

##### *Características físicas*

Entre las características físicas del titanio se tienen las siguientes:

- Es un metal de transición.
- Ligero: Densidad o peso específico es de 4507 kg/m<sup>3</sup>.
- Tiene un punto de fusión de 1675°C (1941 K).
- El peso atómico del titanio es de 47,867 uma.
- Paramagnético.
- Reciclable.
- Forma aleaciones para mejorar las prestaciones mecánicas.

---

<sup>1</sup> Para mayor información sobre implantes o prótesis, tipos de prótesis y tipos de pares tribológicos utilizados remitirse al Anexo C.

- Muy resistente a la corrosión y oxidación.
- Refractario.
- Poca conductividad. No es muy buen conductor del calor ni de la electricidad.

### *Características mecánicas*

Entre las características mecánicas del titanio se tienen las siguientes:

- Mecanizado por arranque de viruta similar al acero inoxidable.
- Permite fresado químico.
- Maleable, permite la producción de láminas muy delgadas.
- Dúctil permite la fabricación de alambre delgada.
- Duro, escala de Mohs 6.
- Muy resistente a la tracción.
- Gran tenacidad.
- Permite la fabricación de piezas por fundición y moldeo.
- Material soldable.
- Permite varias clases de tratamientos.
- Puede mantener una alta memoria de su forma.

### *Características químicas*

- Se encuentra en forma de óxido, en la escoria de ciertos minerales y en cenizas de animales y plantas.
- Presenta dimorfismo, a temperatura ambiente tiene estructura hexagonal compacta (hcp) llamada fase alfa. Por encima de 882 °C presenta estructura física centrada en el cuerpo (bcc) se conoce como fase beta.
- Su resistencia a la corrosión se debe al fenómeno de pasivación que sufre (se forma un óxido que lo recubre). Es resistente a temperatura ambiente al ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) diluido y al ácido clorhídrico (HCl) diluido, así como a otros ácidos orgánicos; también es resistente a las bases, incluso en caliente. Sin embargo se puede disolver en ácidos en caliente. Asimismo, se disuelve bien en ácido fluorhídrico (HF), o con fluoruros en ácidos. A temperaturas elevadas puede reaccionar fácilmente con el nitrógeno, el oxígeno, el hidrógeno, el boro y otros no metales.

La aleación de titanio más empleada en este campo es  $Ti_6Al_4V$ :

Contiene aluminio y vanadio, el aluminio incrementa la temperatura de la transformación entre las fases alfa y beta, el vanadio disminuye esa temperatura. La aleación puede ser bien soldada y posee alta tenacidad.

Las razones para considerar este material ideal para implantes endo-óseos son:

- El titanio es un metal reactivo. Esto significa que en el aire, agua, o en cualquier electrólito se forma espontáneamente un óxido en la superficie del metal. Este óxido  $Ti(OH)_4$  es uno de los minerales más resistentes conocidos, formando una cubierta densa que protege al metal de ataques químicos, incluyendo los agresivos líquidos del organismo.
- El titanio es inerte, la cubierta de óxido en contacto con los tejidos es insoluble, por lo cual no se liberan iones que pudieran reaccionar con las moléculas orgánicas.
- El titanio en los tejidos vivos representa una superficie sobre la que el hueso crece y se adhiere al metal, formando un anclaje, también llamado osteointegración. Esta reacción normalmente sólo se presenta en los materiales llamados bioactivos y es la mejor base para los implantes dentales funcionales.
- Posee buenas propiedades mecánicas, su fuerza de tensión es muy semejante a la del acero inoxidable utilizado en las prótesis quirúrgicas que reciben carga. Es mucho más fuerte que la dentina o cualquier cortical ósea, permitiendo a los implantes soportar cargas pesadas.
- Este metal es suave y maleable lo cual ayuda a absorber el choque de carga.
- Puede ser mecanizado para acomodar las superficies irregulares de los huesos, como en el caso de placas para los huesos fracturados.
- El titanio puede ser tratado superficialmente para así obtener distintos colores para la fácil identificación de los implantes en procedimientos quirúrgicos.

## **ACERO INOXIDABLE**

La resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable se debe a una delgada película de óxido de cromo que se forma en la superficie del acero; como consecuencia del agregado de los elementos cromo, níquel, molibdeno, titanio, niobio y otros. A pesar de ser sumamente delgada esta película invisible fuertemente adherida al metal, lo protege contra los distintos tipos de corrosión, renovándose inmediatamente cuando es dañada por abrasión, corte, maquinado, etc. Aunque la mínima cantidad de cromo necesaria para conferir esta resistencia superior a la corrosión depende de los agentes de corrosión, el Instituto Estadounidense de Hierro y Acero ha elegido el 10 por ciento de cromo como la línea divisoria entre aceros aleados y aceros inoxidables, mientras que otros establecen ese límite entre el 10,5% y el 11%.

En la actualidad se cuenta con un gran número de tipos y grados de acero inoxidable en diversas presentaciones, y con una gran variedad de acabados, dimensiones, tratamientos, etc. Atendiendo a la estructura predominante de cada tipo, los aceros pueden ser clasificados en tres grupos:

a) Austeníticos, b) Martensíticos, c) Ferríticos.

A continuación se mencionarán los diferentes tipos de aceros inoxidables más utilizados.

### ➤ **Serie 400 - Aceros Inoxidables Martensíticos**

Son la primera rama de los aceros inoxidables, llamados simplemente al cromo y fueron los primeros desarrollados industrialmente (aplicados en cuchillería). Tienen un contenido de carbono relativamente alto de 0.2 a 1.2% y de cromo de 12 a 18%.

*Tipos más comunes*

El AISI 410, 420 y 431.

*Propiedades básicas*

Elevada dureza (se puede incrementar por tratamiento térmico) y gran facilidad de maquinado, resistencia a la corrosión moderada.

*Principales aplicaciones*

Ejes, flechas, instrumental quirúrgico y cuchillería.

### ➤ **Serie 400 - Aceros Inoxidables Ferríticos**

También se consideran simplemente al cromo, su contenido varia de 12 a 18%, pero el contenido de carbono es bajo < 0.2%.

*Tipos más comunes*

El AISI 430, 409 y 434.

*Propiedades básicas*

Buena resistencia a la corrosión. La dureza no es muy alta y no pueden incrementarla por tratamiento térmico.

*Principales aplicaciones*

Equipo y utensilios domésticos y en aplicaciones arquitectónicas y decorativas.

### ➤ **Serie 300 - Aceros Inoxidables Austeníticos**

Son los más utilizados por su amplia variedad de propiedades, se obtienen agregando níquel a la aleación, por lo que la estructura cristalina del material se transforma en austenita y de aquí adquieren el nombre. El contenido de cromo varía de 16 a 28%, el de níquel de 3.5 a 22% y el de molibdeno 1.5 a 6%.

*Tipos más comunes*

El AISI 304, 304L, 316, 316L, 310 y 317.

*Propiedades básicas*

Excelente resistencia a la corrosión, excelente factor de higiene - limpieza, fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico, se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas.

*Principales aplicaciones*

Utensilios y equipo para uso doméstico, hospitalario y en la industria alimentaria, tanques, tuberías, etc.

➤ **Acero Inoxidable AISI 316 con adición de molibdeno**

*Análisis Químico*

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
0,08	1,00	2,00	17,00	12,00	2,50

*Usos y Aplicaciones*

Resiste a la mayoría de los ácidos y agentes químicos industriales hasta 800°C además de agua salada. Para industrias químicas, alimenticia, y vitivinícola, petróleo, laboratorios, construcciones navales y aeronáuticas. La adición de molibdeno mejora la resistencia a la corrosión en ciertos medios. Alta resistencia al ataque de ácidos orgánicos e inorgánicos.

*Tratamientos Térmicos*

Templado: 1100°C enfriamiento en agua o aire.

➤ **Acero Inoxidable AISI 410 Martensítico**

*Análisis Químico*

C	Cr	Mn	S
0,10	13,00	1,00	1,00

*Usos y Aplicaciones*

Resiste la oxidación del agua dulce, agentes naturales de la intemperie y ácidos diluidos. Empleado para álabes de turbinas, ejes de bombas, pistones de motores marinos, válvulas y piezas para petróleo.

*Tratamientos Térmicos*

Forjado: 1150-750°C

Recocido: 850°C. R = 55 Kg/mm<sup>2</sup>

Templado: 975-1000°C enfriar en aceite

Revenido: 600°C. R = 85 Kg/mm<sup>2</sup> 750°C. R = 65 Kg/mm<sup>2</sup>.

➤ **Acero Inoxidable AISI 420 Martensítico**

*Análisis Químico*

C	Cr	Mn	Si
0,28	13,00	1,00 máx.	1,00 máx.

*Usos y aplicaciones*

Resiste la oxidación del agua dulce, agentes naturales de la intemperie y ácidos diluidos. Empleado para moldes para vidrios y plásticos, instrumentos de medición, válvulas, pistones, piezas para hornos con temperatura hasta 700°C. No apto para soldar.

*Tratamientos Térmicos*

Forjado: 1100-850°C

Recocido: 850°C. R = 65 Kg/mm<sup>2</sup>

Templado: 975-1000°C al aceite

Revenido: 600°C. R = 100 Kg/mm<sup>2</sup> 750°C. R = 70 Kg/mm<sup>2</sup>.

➤ **Acero Inoxidable AISI 310**

*Análisis Químico*

C	Cr	Ni	Si
0,15	25,00	20,00	2,00

*Usos y Aplicaciones*

Acero Austenítico, resistente a altas temperaturas, hasta 1200°C, se emplea a temperaturas superiores de 900°C. Utilizado en la construcción de hornos industriales, calderas, fabricación de vidrios, porcelanas, industria del esmalte, cemento, cerámica, etc.

*Tratamientos Térmicos*

Templado: 1100-1150°C, enfriado en agua.

➤ **Acero Inoxidable AISI 304 antimagnético tipo 18/8**

*Análisis químico*

T	Mn	Si	Cr	Ni
0,06	2,00 máx.	1,00	19,00	10,00

### *Usos y Aplicaciones*

Resiste la mayoría de los ácidos y agentes químicos industriales hasta 800°C aproximadamente, además de la acción atmosférica y agua salada. Todo tipo de empleo en la industria química, alimenticia y vitivinícola, petróleo, laboratorios. Construcciones navales y aeronáuticas no soldadas.

### *Tratamientos Térmicos*

Templado: 1100°C enfriamiento en agua o aire. Se obtiene R = 52 Kg/mm<sup>2</sup>.

## **4.5 FRICCIÓN Y DESGASTE EN LA BIOTRIBOLOGÍA**

La tribología se centra en el estudio de tres fenómenos:

- 1) La fricción entre dos cuerpos en movimiento.
- 2) El desgaste como efecto natural de este fenómeno.
- 3) La lubricación como un medio para evitar el desgaste.

### *Fricción*

La fricción se define como la resistencia al movimiento durante el deslizamiento o rodamiento que experimenta un cuerpo sólido al moverse sobre otro con el cual está en contacto. Esta resistencia al movimiento depende de las características de las superficies. Una teoría explica la resistencia por la interacción entre puntos de contacto y la penetración de las asperezas<sup>1</sup>. La fricción depende de:

- La interacción molecular (adhesión) de las superficies.
- La interacción mecánica entre las partes.

La fuerza de resistencia que actúa en una dirección opuesta a la dirección del movimiento se conoce como fuerza de fricción. Existen dos tipos principales de fricción: fricción estática y fricción dinámica. La fricción no es una propiedad del material, es una respuesta integral del sistema.

---

<sup>1</sup> Francisco Martínez Pérez. La tribología Ciencia y técnica para el mantenimiento. Editorial Limusa. México. 1997. 54 p.

## *Desgaste*

El desgaste es el daño de la superficie por remoción de material de una o ambas superficies sólidas en movimiento relativo. Es un proceso en el cual las capas superficiales de un sólido se rompen o se desprenden de la superficie. Al igual que la fricción, el desgaste no es solamente una propiedad del material, es una respuesta integral del sistema.

Los análisis de los sistemas han demostrado que 75% de las fallas mecánicas se deben al desgaste de las superficies en rozamiento. Se deduce fácilmente que para aumentar la vida útil de un equipo se debe disminuir el desgaste al mínimo posible. En la figura 4 se puede observar el desgaste en los dientes de un engranaje.

Entre los diferentes tipos de desgaste se tienen:

- **Desgaste por fatiga:** Surge por concentración de tensiones mayores a las que puede soportar el material, incluye las dislocaciones, formación de cavidades y grietas.
- **Desgaste abrasivo:** Es el daño por la acción de partículas sólidas presentes en la zona del rozamiento.
- **Desgaste por erosión:** Es producido por una corriente de partículas abrasivas, muy común en turbinas de gas, tubos de escape y de motores.
- **Desgaste por corrosión:** Originado por la influencia del medio ambiente, principalmente la humedad, seguido de la eliminación por abrasión, fatiga o erosión, de la capa del compuesto formado. A este grupo pertenece el Desgaste por oxidación. Ocasionado principalmente por la acción del oxígeno atmosférico o disuelto en el lubricante, sobre las superficies en movimiento.
- **Desgaste por frotación:** Aquí se conjugan las cuatro formas de desgaste, en este caso los cuerpos en movimiento tienen movimientos de oscilación de una amplitud menos de 100  $\mu\text{m}$ . Generalmente se da en sistemas ensamblados.

- **Desgaste adhesivo:** Es el proceso por el cual se transfiere material de una a otra superficie durante su movimiento relativo, como resultado de soldado en frío en puntos de interacción de asperezas, en algunos casos parte del material desprendido regresa a su superficie original o se libera en forma de virutas o rebaba.

**Figura 4. Desgaste en los dientes de un engranaje debido a la fricción.**



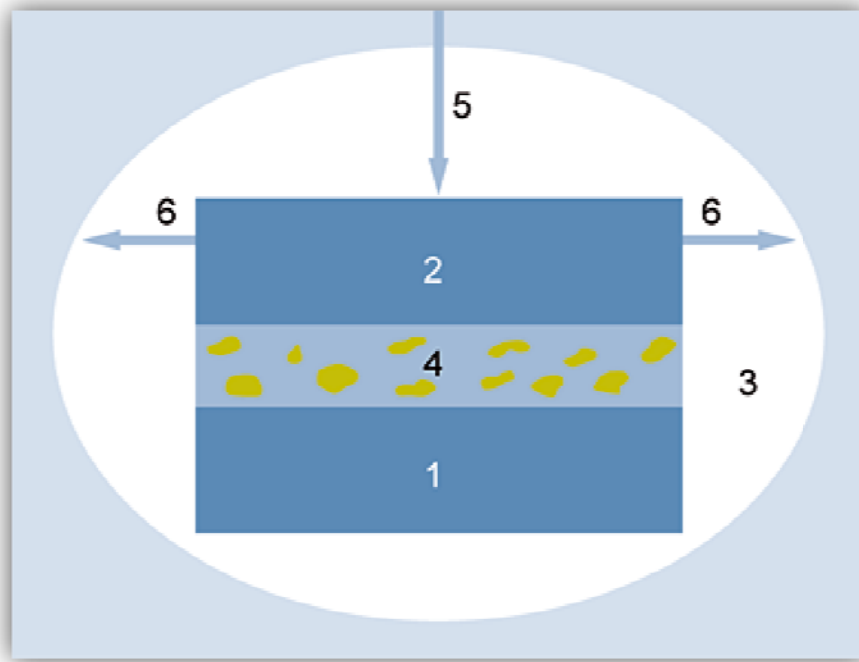
**Fuente:** <http://wikipedia.org/desgaste>.

### *Lubricación*

El deslizamiento entre superficies sólidas se caracteriza generalmente por un alto coeficiente de fricción y un gran desgaste debido a las propiedades específicas de las superficies. La lubricación consiste en la introducción de una capa intermedia de un material ajeno entre las superficies en movimiento. Estos materiales intermedios se denominan lubricantes y su función es disminuir la fricción y el desgaste. El término lubricante es muy general, y puede estar en cualquier estado material: líquido, sólido, gaseoso e incluso y semisólido o pastoso.

Todos estos factores están involucrados en un sistema tribológico, el cual consta de las superficies de dos componentes que están en contacto móvil entre sí y su entorno. El tipo, progreso y extensión del desgaste se determina por los materiales y acabados de los componentes, cualquier material intermedio, las influencias del entorno y las condiciones de funcionamiento.

**Figura 5. Sistema tribológico.**



**Fuente: Autores**

Sistema tribológico

1. Objeto base.
2. Cuerpo opuesto.
3. Influencias del entorno: Temperatura, humedad relativa, presión.
4. Material intermedio: Aceite, grasa, agua, partículas, contaminantes
5. Carga.
6. Movimiento.

## **4.6 GENERALIDADES SOBRE EL DESGASTE**

El desgaste es un proceso en el cual las capas superficiales de un sólido se rompen como resultado de la acción mecánica o química de otro cuerpo o medio. Al igual que la fricción, el desgaste no es solamente una propiedad del material, es una respuesta integral del sistema. Los análisis de los sistemas han demostrado que 75% de las fallas mecánicas se deben al desgaste de las superficies en rozamiento. Así el elevar la resistencia al desgaste de los elementos constitutivos de las máquinas es uno de los factores fundamentales para aumentar su vida útil.

Por lo tanto para el diseño y estudio de los diferentes materiales que pueden servir como reemplazos en el cuerpo humano hay que tener en cuenta las características físico mecánicas de los materiales y las condiciones de operación en los sistemas deslizantes, como la velocidad, la carga, las condiciones de las superficies de fricción, la lubricación y el medio ambiente.

A continuación se mencionan las diferentes formas de degradación superficial que intervienen en un sistema.

### **4.6.1 MECANISMOS PRINCIPALES DE DEGRADACIÓN SUPERFICIAL**

A pesar de que existen muchas clasificaciones para los mecanismos de degradación superficial por parte de los autores y las normas, éstos se pueden resumir en cuatro categorías básicas:

- Desgaste por adhesión.
- Desgaste por abrasión.
- Desgaste por fatiga superficial.
- Desgaste por reacción triboquímica.

A continuación se describen las características más relevantes de cada uno de estos mecanismos.

#### 4.6.1.1 Desgaste por adherencia

La adhesión es la forma más común de desgaste que se presenta cuando cualquier material sólido desliza contra otra superficie, causando desprendimiento y transferencia de partículas de uno de los materiales en contacto al otro, o de ambos entre sí. En el mecanismo de adhesión se debe tener en cuenta si los materiales en contacto son químicamente similares o no, debido a la naturaleza de los enlaces y la cohesión en los mismos. Las consecuencias son soldadura en frío, rayas y rotura de la pieza.

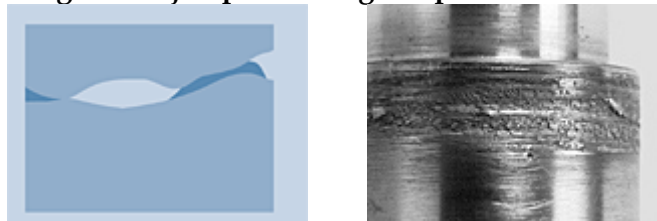
##### *Unión entre materiales disímiles pero con el mismo enlace*

En los procesos de deslizamiento comunes, los pares tribológicos son disímiles, es decir, el cuerpo y el contra cuerpo son de diferentes materiales. Por ejemplo, un bronce deslizando contra acero, sin capas presentes absorbidas, debe presentar una unión de acuerdo con las reglas de enlace metálico. Todos los metales limpios pueden ser unidos en vacío, pegándolos bajo altos esfuerzos, siendo posible que la solubilidad de un metal en el otro pueda propiciar la adhesión y por consiguiente, influenciar la fricción y el desgaste.

##### *Unión entre materiales con enlaces diferentes*

Esta unión tiene que ver con el contacto que se da entre un sistema covalente y uno iónico o entre un sistema iónico y uno metálico. Para dar un ejemplo, cuando un polietileno desliza contra un cerámico o contra un metal una película de polímero queda en el metal o el polímero, indicando que la unión entre la película de polímero - metal o polímero - polímero, es tan fuerte como la cohesiva dentro del mismo polímero. En general, este tipo de sistemas podrían unirse adecuadamente debido a que las superficies de todos los materiales tienen diferentes estructuras y estados energéticos en el interior de los mismos. Por esto, si existen redes colocadas adecuadamente puede presentarse una unión fuerte.

**Figura 6. Ejemplo de desgaste por adherencia.**



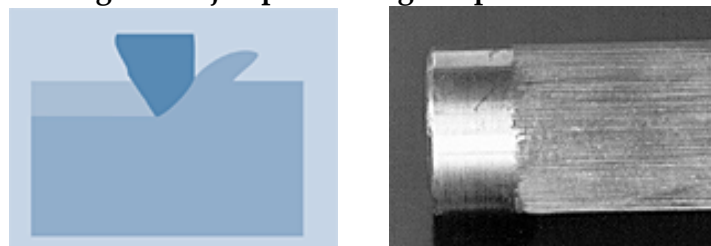
Fuente: <http://www.images.google.com.co>.

#### 4.6.1.2 Desgaste por abrasión

Este mecanismo de desgaste se produce cuando una superficie dura y rugosa desliza contra otra más suave y penetra en ella provocando rayas o surcos. El material que originalmente se encontraba en los surcos normalmente es removido como pequeños fragmentos que se alojan cerca de la ralladura o se desprenden del cuerpo del que hacían parte. Las consecuencias son rayas, surcos, micro virutas, cambios dimensionales y puntos brillantes en herramientas con superficie texturizada. El desgaste abrasivo puede producirse en dos situaciones:

Donde una partícula dura y abrasiva se introduce entre las superficies deslizantes y deteriora ambos materiales, y otra donde la partícula abrasiva pertenece a una de las dos superficies de modo permanente. Estas dos formas de desgaste reciben el nombre de desgaste abrasivo de dos y tres cuerpos, según el número de elementos que intervienen en el fenómeno abrasivo. El desgaste abrasivo de dos cuerpos no se presenta cuando la superficie dura implicada en el deslizamiento es dúctil. Similarmente, el desgaste abrasivo de tres cuerpos no ocurre cuando las partículas alojadas en la intercara son más pequeñas o más dúctiles que los materiales deslizantes. Debido a lo anterior, resulta común que las intercargas de un sistema deslizante estén inicialmente libres de desgaste abrasivo, sin embargo, una vez comenzado el deslizamiento, las partículas en la intercara o *debris* (partículas) tienden a acumularse y a endurecerse por oxidación debido al proceso abrasivo mismo. En otros casos, contaminantes provenientes del ambiente circundante al sistema se alojan en la intercara produciendo abrasión. El desgaste abrasivo es muy usado para operaciones de acabado superficial. El mecanismo de dos cuerpos es muy usado para producir cuchillas, papeles, paños, y ruedas abrasivas, mientras que el de tres cuerpos es usado en operaciones de lapeado.

**Figura 7. Ejemplo de desgaste por Abrasión.**



Fuente: <http://www.images.google.com.co>.

#### 4.6.1.3 Desgaste por fatiga superficial

La degradación de la superficie debido a fatiga superficial se puede detectar por la formación de grietas y descamación en el material, fenómenos que son causados por cargas cíclicas alternantes en la superficie. La rodadura y el contacto deslizante de sólidos, o el impacto generado en el contacto de sólidos y/o líquidos, pueden provocar esfuerzos superficiales de carácter cíclico que promuevan la fatiga superficial.

El fenómeno de fatiga localizada puede ocurrir a escala microscópica debido al contacto deslizante repetido de las asperezas en las superficies de los sólidos en movimiento relativo, ocasionando daños en contactos lubricados bajo régimen hidrodinámico y en superficies planas deslizantes. La fatiga puede darse por secuencias de deformaciones plásticas o elásticas, endurecimiento en frío, iniciación de grietas y propagación de las mismas (las grietas pueden originarse bajo la superficie). Las grietas se originan en regiones con elevados niveles de tensiones, debidas a la presencia de inclusiones, defectos superficiales, marcas de arado de partículas abrasivas, entre otros. Estas grietas pueden iniciarse tanto en la superficie como en la sub-superficie y su crecimiento está influenciado por las interacciones químicas y mecánicas entre las superficies en contacto o del elemento deslizante con una sustancia interfacial (lubricante, impurezas o debris). La fatiga superficial puede desempeñar un papel importante en el contacto deslizante entre sólidos, cuando está relacionada con mecanismos de adhesión o abrasión, ya que el daño superficial es resultado de la acción simultánea de dos o más fenómenos involucrados. Es decir que la carga cíclica de la superficie esforzada es producto de la fricción y la fuerza normal en el área de contacto, y éstas se incrementan debido a la adhesión y/o la abrasión entre las asperezas superficiales, provocando la falla por fatiga.

**Figura 8. Ejemplo de desgaste por Fatiga Superficial.**



Fuente: <http://www.images.google.com.co>.

#### 4.6.1.4 Desgaste por corrosión

Este tipo de desgaste ocurre en situaciones en las cuales el ambiente de los alrededores interactúa químicamente con las superficies deslizantes. El fenómeno de desgaste corrosivo es complejo y amerita un estudio de la naturaleza de la reacción química, sin embargo se puede analizar de modo cualitativo los procesos que se dan en el tiempo y cómo estos influyen en la tasa de desgaste.

*El primer escenario del desgaste triboquímico es el ataque corrosivo de la superficie*

Este escenario del proceso es idéntico al que se presenta en la corrosión ordinaria cuando una superficie limpia, por ejemplo un metal, es expuesta a un ambiente reactivo. Esta reacción se da rápidamente al principio, pero va disminuyendo con el tiempo. Asociado con esta disminución se presenta la formación de una capa coherente (no necesariamente uniforme) en la superficie, la cual separa el metal del medio reactivo.

Para algunas combinaciones de materiales y medios (por ejemplo Al en aire atmosférico), la reacción química cesa completamente cuando la capa alcanza cierto espesor ( $2 \times 10^{-6}$  cm para el Al).

En algunos casos la reacción química sigue indefinidamente según la tasa inicial, debido a que no se ha formado una capa protectora (por la presencia de un líquido o un gas disuelto en el ambiente) o a que la capa es porosa o frágil. Bajo estas circunstancias, la pérdida de material de la superficie ocurre a una tasa esencialmente independiente de cualquier deslizamiento que pueda ocurrir, pero está determinada por las características del proceso de corrosión presente.

*El segundo escenario del desgaste corrosivo consiste en el desgaste de la capa como consecuencia del deslizamiento*

Cuando esto ocurre, la capa superficial es expuesta de nuevo al medio corrosivo, y el ataque continúa. En muchos casos los productos de la corrosión son más duros y frágiles que la superficie de la cual se formaron, lo que introduce un componente abrasivo al sistema deslizante. Cuando se forma una capa extensa y delgada razonablemente resistente al desgaste, ésta puede ser removida por la acción del deslizamiento, luego de alcanzado

cierto espesor crítico. Si el desgaste se presenta en una etapa temprana antes de alcanzar este espesor crítico, el fenómeno que prima en el proceso de desgaste es el deslizamiento. Cuando la capa es frágil se puede asumir que el espesor total de la misma se desprenderá completamente de la superficie en forma de hojuelas en un tiempo dado.

En los pocos casos donde las capas producto de la reacción son más dúctiles y suaves que las superficies en la cuales se formaron, existe una alta probabilidad de que sólo una parte de la capa será removida. La cantidad total de desgaste será más pequeña en este caso, asumiendo que la tasa de formación de la capa producto de la reacción y la probabilidad de que sea removida permanecen iguales.

La forma más general del desgaste corrosivo, la corrosión ordinaria, es vista en la "acción ácida" de un automóvil, en la cual, cuando un motor está frío, los ácidos sulfúricos y sulfurosos formados por la combustión de impurezas contenidas en la gasolina, reaccionan con la fundición de hierro que constituye las paredes de los cilindros del motor. (Cuando la máquina está caliente, los ácidos no se condensan en las paredes de los cilindros, pero en el tubo de escape sí, ocurriendo la corrosión en estos componentes).

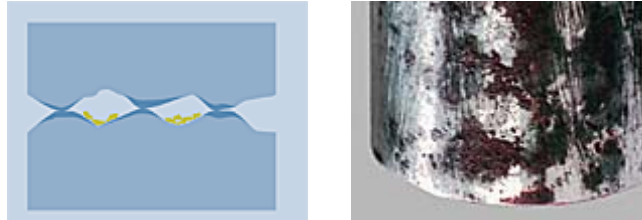
Muchos casos de esta forma de corrosión, en los cuales la pérdida de material se ve afectada de modo pequeño por la acción del deslizamiento, se pueden ver en sistemas deslizantes con aire en alta temperatura.

Otra forma de corrosión involucra la formación de capas quebradizas adheridas. Estas capas producto de la reacción química, se observan en muchas formaciones de óxidos en metales deslizando en aire, dado que la mayor parte de estos óxidos son duros y quebradizos. La tasa de desgaste corrosivo tiende a ser alta sólo a altas temperaturas, siempre y cuando, a bajas temperaturas no haya ocurrido la reacción química en exceso, y el óxido sea delgado, haciendo menos probable que se desprenda por la acción del deslizamiento.

El desgaste corrosivo también lo generan los productos de corrosión no quebradizos en superficies metálicas. Estas capas consisten principalmente en cloruros, sulfuros y fosfatos. Siendo muchos de estos componentes más suaves que la base metálica en la que se formaron. Ácidos grasos o sales forman típicamente este desgaste corrosivo. Una baja reacción de corrosión puede proporcionar bajas tasas de desgaste, proporcionando características

lubricantes a la capa (baja fricción, buen acabado) Un ejemplo de esto son los lubricantes para corte de metales.

**Figura 9. Ejemplo de desgaste por Corrosión.**



Fuente: <http://www.images.google.com.co>.

**Figura 10. Ejemplo de corrosión en un metal bajo condiciones ambientales.**



Fuente: <http://www.wikipedia.org/wiki/imagen:corrosión.jpg>

## 4.7 MÉTODOS DE ENSAYOS AL DESGASTE

Los ensayos para determinar el desgaste pueden realizarse en condiciones de explotación de máquinas y en condiciones de laboratorio.

*Los ensayos de piezas en la misma máquina en condiciones de explotación son la verificación más segura de que es correcta la selección de material o los métodos de su elaboración, conforme a una determinada pieza de la máquina. Este método se utiliza con frecuencia, pero tiene dificultades prácticas como son la duración de los ensayos, necesidad de desarmar la máquina para determinar el desgaste de la pieza, dificultad para una determinación exacta de la magnitud del desgaste y otros.*

En este caso la magnitud de los ensayos para determinar el desgaste se determina por:

- La variación de las propiedades de la máquina como la reducción de la precisión de la pieza elaborada.
- Por los criterios o rasgos indirectos como por ejemplo, el aumento de la fuga entre un émbolo y un cilindro.
- Directamente por la variación de las dimensiones de la masa de las piezas.

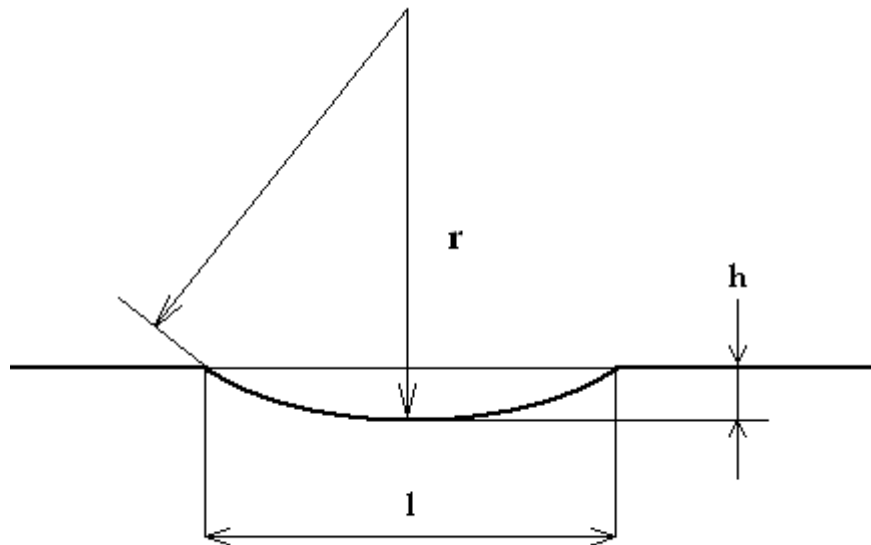
La determinación del desgaste de piezas mediante la medición de éstas con la ayuda de herramientas micrométricas, antes y después de los ensayos ha obtenido la mayor difusión. Para determinar el desgaste de las piezas de máquinas se utilizan los siguientes métodos:

### 4.7.1 Método de bases artificiales

Se utiliza para determinar el desgaste local. El ensayo consiste en que sobre la superficie de fricción de la pieza se hace una cavidad de una forma geométrica determinada con una cuchilla de diamante (figura 11). Al medir la longitud de la muesca  $l$  en la superficie se determina la distancia desde la superficie hasta el fondo de la cavidad  $h = 12/8r$ , donde  $r$  es el radio de la muesca. De acuerdo al grado de desgaste de la superficie esta distancia va a reducirse, pero su variación va a ser igual al desgaste lineal de la superficie en un lugar dado. Por este método con ayuda de un equipamiento especial,

puede calcularse con exactitud la magnitud del desgaste en la superficie de las piezas o las muescas, además la superficie debe estar elaborada muy exactamente, y la magnitud de desgaste no debe superar 0,1 mm.

**Figura 11. Esquema para determinar el desgaste por el método de las bases artificiales.**



**Fuente: Autores**

#### **4.7.2 Método para determinar la cantidad de material de desgaste en aceite.**

Se puede determinar el desgaste por la cantidad de material metálico que cae en forma de productos del desgaste en el aceite de lubricación al cual contamina.

La cantidad de material metálico en este caso se determina por el análisis químico de la ceniza después de combustionar la muestra de aceite. La ventaja de este método es la posibilidad de valorar el desgaste sin desarmar el mecanismo o la máquina, y la determinación del desgaste total en toda la superficie de fricción de varias piezas. La desventaja es la imposibilidad de determinar la distribución de la magnitud del desgaste en la superficie de la pieza.

### **4.7.3 Método radioactivo**

Consiste en que al material de la pieza se le trasmite radioactividad, introduciendo isótopos radioactivos de algunos elementos en la aleación durante la fundición, y entonces los productos del desgaste, que cae en el aceite, también serán radioactivos. Por la intensidad de la radiación de éstos en la muestra de aceite se puede hacer una valoración sobre la cantidad de sustancia radiactiva, que cae en el aceite después de un determinado periodo de tiempo, y sobre la velocidad de desgaste de la pieza.

La ventaja de este método consiste en que los datos obtenidos sobre el desgaste están relacionados no con todas las piezas en contacto, desde las cuales los productos del desgaste caen en el aceite como en el caso del método de materiales metálicos en aceite, sino solamente con una pieza estudiada. La sensibilidad del método radioactivo es muy elevada y la observación de la marcha del desgaste o monitoreo de la marcha del proceso pueden realizarse ininterrumpidamente.

Entre las desventajas del método radioactivo se tiene la necesidad de fabricación o elaboración especial de piezas, necesidad de utilizar equipos especiales y tomar las medidas pertinentes para proteger al personal del efecto de radiación.

### **4.7.4 Método de laboratorio**

Los ensayos para determinar el desgaste pueden también realizarse en condiciones de laboratorio; en este caso es necesario reproducir las mismas condiciones en la superficie de medición, las cuales se observan durante la utilización de la pieza en la máquina, y así de esta forma garantizar para un material semejante el mismo proceso de desgaste.

El más difundido es el desgaste abrasivo. La esencia del método consiste en que se produce la fricción de las muestras a ensayar y el patrón sobre la superficie con partículas abrasivas fijadas a un papel con una carga estática y con ausencia de calentamiento, luego los resultados obtenidos se comparan.



Sobre el eje vertical (1) en el cono se asienta un disco metálico rotatorio con una frecuencia de 60 rev/min, sobre la parte plana del cual se pone una tela o papel abrasivo. La muestra cilíndrica con un diámetro de 1 mm se aprieta en un mandril (3) del soporte (5), que se desplaza libremente en las vías de cabezal del vástago. El extremo de la muestra hace contacto con la banda abrasiva.

La carga (6) y el peso correspondiente del soporte, conforman la carga sobre la muestra. El eje (1) se pone movimiento por medio de la transmisión principal desde el eje (14) con la polea (13) en el extremo. El eje (14) con ayuda de otra transmisión principal pone en movimiento el eje intermedio (12) y las ruedas dentadas (11) y (9).

La rueda a (9) está asentada en la tuerca (10), mediante la rotación de la cual en ella se enrosca o a partir de ella se desenrosca la sección roscada (8) del pasador (7).

De este modo, mediante la rotación del disco del cabezal (4) del pasador, la muestra realiza un desplazamiento radial. Para evitar la influencia de las variaciones de la capacidad abrasiva de las diferentes láminas del papel abrasivo, al mismo tiempo se realizan los ensayos al material patrón.

Como resultado de los ensayos se determina la resistencia relativa al desgaste (en relación con el material patrón) de los diferentes metales durante el tipo desgaste abrasivo.

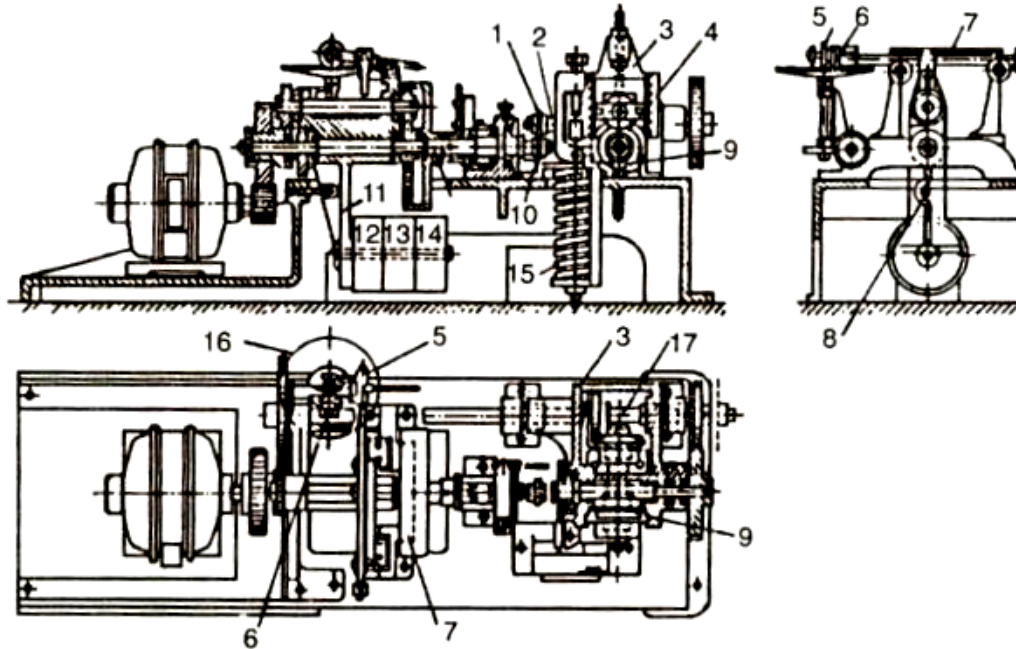
La validación de los resultados de los ensayos en estas máquinas depende de en qué grado de exactitud las condiciones de los ensayos se corresponden con las de trabajo normal de un determinado equipo.

## **Máquinas de tipo Universal**

*La máquina para el desgaste tipo MI* (figura 13) está diseñada para realizar ensayos a la fricción por deslizamiento, fricción por rodamiento, fricción por deslizamiento tanto en aceite como sin este.

Sobre los extremos de los ejes 2 y 11 están situadas las muestras 1 y 10 en forma de arandelas (rodillo); esta combinación de las muestras corresponde a los ensayos de rodadura simple o rodadura con deslizamiento. El diámetro de las arandelas puede ser de 30 a 50 mm (aproximadamente 40 mm).

Figura 13. Máquina universal para los ensayos a la fricción y el desgaste.



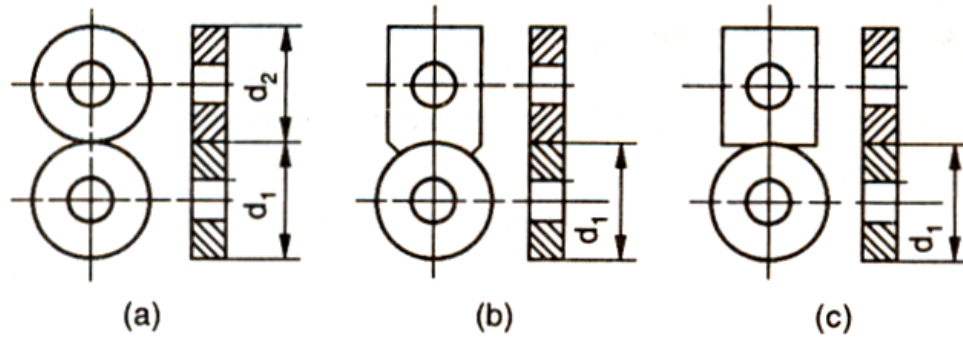
Fuente: Martínez F. La tribología Ciencia y técnica para el mantenimiento. Ensayos de fricción. Cuba: editorial Limusa, 1997. 192 p.

Las muestras giran junto con los ejes hacia diferentes partes con una frecuencia del eje inferior a 200 rpm, y el superior de 180 rpm. Esto crea condiciones para un deslizamiento, igual al 10% en muestras del mismo diámetro. Al variar la proporción de los diámetros de las muestras, se puede alterar el porcentaje de deslizamiento.

El resorte 15 crea una carga de 245 a 1962 N entre las muestras. El eje 11 se pone en movimiento desde el motor a través de la transmisión planetaria por engranaje, que permite con ayuda del péndulo 8 y las cargas 12, 13, 14 equilibrar el momento de fricción, la magnitud del cual puede determinarse en la escala 7.

Las muestras para los ensayos aparecen representadas en la figura 14.

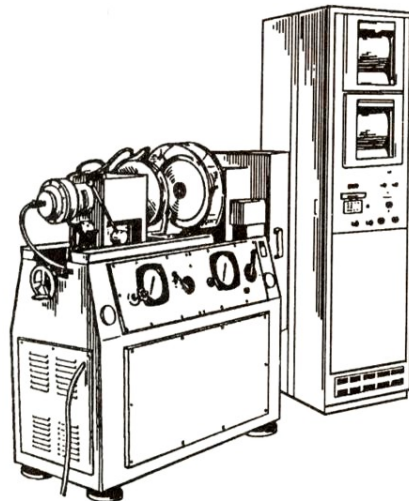
Figura 14. Muestras para el ensayo al desgaste de una maquina universal.  
a) Con rodadura simple y durante el rodamiento con deslizamiento, b) Con deslizamiento según el esquema de ensayo "con corte", c) Con deslizamiento.



Fuente: Martínez F. La tribología Ciencia y técnica para el mantenimiento. Equipamientos para los ensayos de desgaste. Cuba: editorial Limusa, 1997. 193 p.

La máquina universal UTM-1 (figura 15) también está destinada para los ensayos de metales y plásticos a la fricción y al desgaste en un amplio rango de cargas y velocidades de deslizamiento en diferentes esquemas de ensayos, que corresponden a los bloques de fricción más difundidos (disco-bulón, aro-a-ro, eje-buje con movimiento de rodadura regresivo).

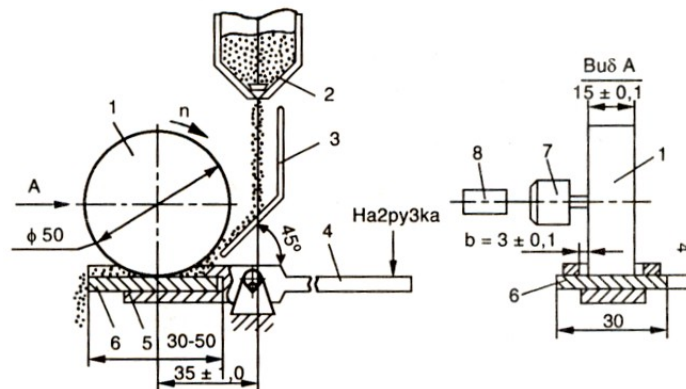
Figura 15. Máquina universal UMT-1.



Fuente: Martínez F. La tribología Ciencia y técnica para el mantenimiento. Equipamientos para los ensayos de desgaste. Cuba: editorial Limusa, 1997. 193 p.

Las máquinas universales se emplean tanto para investigar el fenómeno desgaste, como para valorar el comportamiento de los materiales conforme a determinadas condiciones para su explotación. En una serie de casos es conveniente utilizar máquinas para los ensayos en condiciones particulares de fricción. En la figura 16 aparece el esquema de la instalación de ensayo, que tiene el accionamiento (7), la cual garantiza la rotación alrededor del eje horizontal del rodillo de goma (1), el porta muestra (5), la palanca (4), que comprime la muestra (6) contra el rodillo, la instalación (2), que dosifica la entrada de las partículas abrasivas a la zona de fricción por la canal guía (3), la instalación (8) para el control de la calidad total de revoluciones del rodillo en el proceso de ensayo. El diámetro del rodillo debe estar en un rango de 48-50 mm, y el ancho del rodillo ( $15 \pm 0,1$  mm). El ángulo de inclinación de la canal guía es de  $45^\circ \pm 2^\circ$ .

**Figura 16. Esquema de la instalación para los ensayos de materiales a la resistencia al desgaste durante la fricción sobre partículas abrasivas suavemente fijadas o sueltas.**



**Fuente: Martínez F. La tribología Ciencia y técnica para el mantenimiento. Equipamientos para los ensayos de desgaste. Cuba: editorial Limusa, 1997. 194 p.**

El material abrasivo es el electrocorindón con una granulometría n° 16-p utilizado para una valoración comparativa general de la resistencia al desgaste. Para valorar la resistencia al desgaste en condiciones concretas de desgaste se admite la utilización de un material abrasivo, que corresponda al material, que interactúa durante la explotación, pero con una dimensión de los granos no mayor de 1 mm. El desgaste de las muestras investigadas y de los patrones se determina mediante el pesaje antes y después de los ensayos con un error no mayor de 0,1 mg. las pérdidas de masa de la muestra producto del desgaste durante los ensayos debe ser menor de cinco mg.

## 4.9 NATURALEZA ELECTROQUÍMICA DE LA CORROSIÓN

La corrosión es un proceso de naturaleza electroquímica que cumple con las características fundamentales de una pila o batería. Para que se forme una celda electroquímica, o celda de corrosión, se requiere la presencia de un material que cede electrones en contacto con otro que los acepta, y de un medio conductor de iones. El material que pierde electrones se conoce como ánodo y es el que experimenta la reacción de oxidación, mientras que el material que acepta los electrones se reduce y se le llama cátodo; el medio en el que se encuentran el ánodo y el cátodo y que permite el flujo de iones se conoce como electrolito. La oxidación, a pesar de la etimología de la palabra, no necesariamente involucra el oxígeno; la definición química es una pérdida de electrones<sup>1</sup>.

El mecanismo de la corrosión puede ilustrarse a través de un material metálico inmerso en una solución de HCl -ácido clorhídrico-. En el caso del zinc, los átomos metálicos Zn ceden electrones convirtiéndose en cationes ( $Zn^{++}$ ) mientras que los iones  $H^+$  aceptan estos electrones formando moléculas de  $H_2$  (figura 17). Las reacciones involucradas son la disolución del zinc para formar  $ZnCl_2$  y la producción de gas  $H_2$ .

Reacción anódica:  $Zn \rightarrow Zn^{++} + 2e^-$

Reacción catódica:  $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$

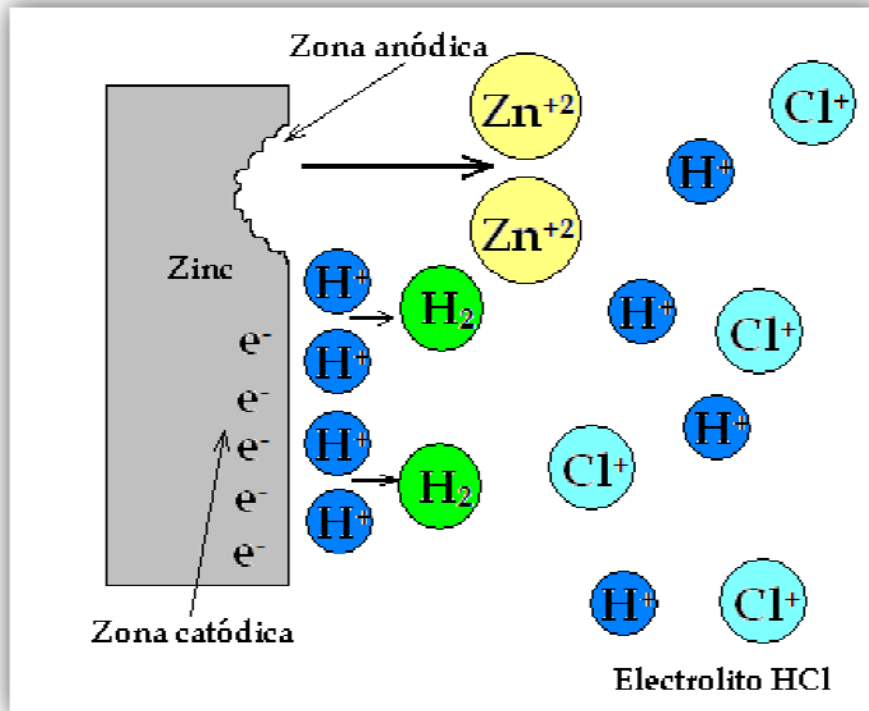
Reacción neta:  $Zn + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2$

Todos los metales presentan una tendencia a perder electrones (oxidarse) cuantificada a través de su potencial de oxidación. Entre más alto sea este potencial se dice que el metal es más noble (se oxida con mayor dificultad). La tabulación de la resistencia de los materiales metálicos a la corrosión se conoce como serie galvánica. Las series galvánicas son particulares al medio corrosivo, por ejemplo: hay series galvánicas en solución salina, en solución ácida, etc. y son de gran utilidad a la hora de seleccionar un material para una aplicación específica.

---

<sup>1</sup> Fondo de cultura económica .Más allá de la herrumbre. Segunda reimpresión. México. 1996. 23 p.

Figura 17. Esquema de la corrosión de un metal que se oxida.



Fuente: Autores

La corrosión se suele clasificar de acuerdo a la forma en que se manifiesta, es decir, a la apariencia del material corroído.

*La corrosión uniforme* es la más común y la que genera mayores pérdidas de material. Sin embargo, al ser de tipo superficial es también la más fácil de controlar y por tanto la que menos accidentes provoca.

*La corrosión por picaduras* es un fenómeno localizado que se manifiesta por anomalías que crecen rápidamente hacia el interior del material y que pueden generar daños catastróficos.

*La corrosión galvánica* se presenta por el contacto entre dos metales con potenciales de oxidación diferentes. El material menos noble (con menor

potencial de oxidación) tenderá a corroerse. Esto se ve muy a menudo en algunos tornillos que remachan estructuras bastante más nobles que ellos.

*La corrosión intergranular* está directamente relacionada con la microestructura del material. Los metales o aleaciones están formados por granos; en este tipo de corrosión se presenta un ataque localizado en las fronteras de grano y está generalmente asociado a impurezas que tienden a acumularse en dichas fronteras.

Cuando ocurre el proceso de oxido-reducción, el metal asume un potencial que depende tanto de él, como de la solución donde se encuentra inmerso. Este potencial de circuito abierto es normalmente conocido como *Potencial de Corrosión* ( $E_{OC}$ ) y es uno de los elementos principales para caracterizar una interfase metal-solución y analizar cómo es su resistencia a la corrosión. Si el metal se encuentra en un potencial igual a  $E_{OC}$ , la oxidación y la reducción están ocurriendo a la misma razón, por lo cual las corrientes de oxidación ( $I_{OX}$ ) y de reducción ( $I_{RE}$ ) tienen igual magnitud y sentido opuesto lo que conlleva a que la corriente total ( $I_{TOT}$ ) sea igual a cero.

$$I_{TOT} = I_{OX} - I_{RE} = 0 \text{ Si } E = V \quad (1)$$

El potencial de corrosión representa la estabilidad del sistema, y se mantendrá así a menos que sea aplicado un voltaje externo que produzca una descompensación de las corrientes descritas en (1).

Uno de los factores más importantes a tener en cuenta en los fenómenos de la corrosión es la *PASIVACIÓN*. A continuación se describen los procesos que se llevan a cabo en la generación de este fenómeno.

#### 4.10 PASIVACIÓN

La pasivación se refiere a la formación de una película relativamente inerte, sobre la superficie de un material (frecuentemente un metal), que lo enmascara en contra de la acción de agentes externos. Aunque la reacción entre el metal y el agente externo sea termodinámicamente factible a nivel macroscópico, la capa o película pasivante no permite que éstos puedan interactuar, de tal manera que la reacción química o electroquímica se ve reducida o completamente impedida.

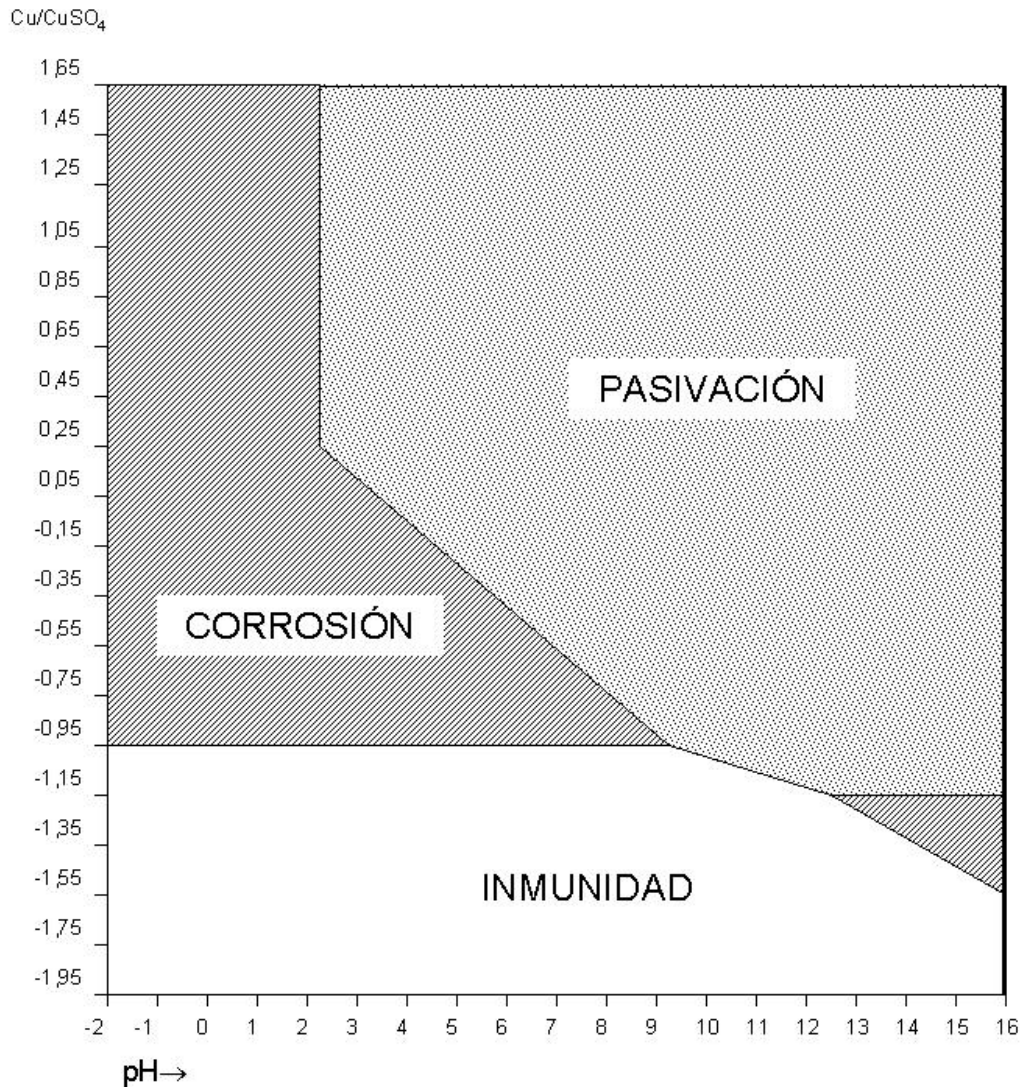
La pasivación no debe ser confundida con la inmunidad, en la cual el metal base es por sí mismo resistente a la acción de los medios corrosivos, por ejemplo el oro y el platino, que no se oxidan fácilmente y por eso se les llama metales nobles. En muchos casos, la formación de esta película pasivante es espontánea cuando el metal entra en contacto con el agente externo. Un ejemplo clásico es el aluminio. Cuando una superficie de este metal entra en contacto con el aire ambiental, la parte más externa del objeto se oxida espontáneamente para formar una capa transparente e impermeable de alúmina  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tipo cerámica, muy congruente y adherente. Por esta razón, aunque el aluminio es termodinámicamente muy reactivo, la capa pasivante lo protege de manera muy efectiva en contra de la corrosión a condiciones ordinarias. Para lograr la corrosión de este metal se requieren ácidos minerales o un determinado sobrepotencial electroquímico. Otro caso típico es el acero inoxidable. Como resultado de sus contenidos de cromo, esta aleación forma naturalmente una capa de óxido de algunos Angstrom de espesor y de esta forma queda protegido contra muchos agentes corrosivos, encontrando amplio uso en la industria y la vida diaria<sup>1</sup>.

Una buena aproximación para el estudio del comportamiento de los distintos materiales en medio acuoso lo constituyen los *Diagramas de Potencial de Reducción* (Eh) contra Acidez (pH), o también llamados de *Pourbaix*. En éstos, se observan distintas zonas de estabilidad, entre las que cabe distinguir las de INMUNIDAD, de CORROSIÓN ACTIVA y de PASIVIDAD (Figura 18).

---

<sup>1</sup> Conforti N. Leighton B. Requiz R. Laboratorio de estabilidad de materiales. Pasividad de los metales: Universidad Simón Bolívar. 2003. 28 p.

**Figura 18. Diagrama de Pourbaix mostrando zonas de corrosión, pasivación e inmunidad del hierro frente a potenciales respecto un electrodo de Cu/CuSO<sub>4</sub>.**



Fuente: <http://www.wearandcorrosion.com>.

- La zona de inmunidad, o zona de predominio de las reacciones de reducción, corresponde a la zona donde el material se encuentra en condiciones estables.
- La zona de corrosión activa se caracteriza por el predominio de las reacciones de oxidación, que causan la destrucción por combinación o disolución continuada del material. El límite entre la zona de inmunidad y la de corrosión activa es gradual, al igual que con la de pasividad.

- La zona de pasivación, corresponde a una zona de corrosión, donde la fase formada constituye una película protectora, que evita el avance del proceso de corrosión. La formación de imperfecciones en la misma (pasivación imperfecta) conlleva, a la aparición de corrosión local (por ejemplo, de picaduras).

Pueden estudiarse para todos los metales las zonas de inmunidad, de corrosión activa, y de pasivación, para determinar, para cada caso, el comportamiento del material a condiciones de Eh-pH, lo que ayudará en cada caso concreto a diseñar estrategias adecuadas de lucha contra la corrosión.

En especial, se debe hacer hincapié en el diagrama Eh-pH para el hierro y el acero, por ser el material más usado para construcciones mecánicas. Éste muestra una zona de inmunidad para pH inferiores a 11, a partir de un potencial estándar de -0,53 V con respecto al electrodo normal de hidrógeno, o -0,85 V con respecto a la pila de cobre/sulfato de cobre, que constituye el fundamento de la protección catódica de aplicación industrial.

## 4.11 ENSAYOS PARA DETERMINAR EL DESGASTE-CORROSIÓN

La cirugía traumática a nivel nacional e internacional ha centrado su interés en encontrar materiales o características en los materiales que cumplan las exigencias tanto mecánicas como químicas en un material, y últimamente, que tenga excelentes propiedades tribológicas obtenidas por diferentes técnicas de ingeniería de superficies.

Por lo tanto desde un punto de vista práctico, es interesante conocer *a priori* la resistencia al desgaste-corrosión de un determinado metal o aleación en un medio ambiente específico. Sobre la base de ensayos en el laboratorio, se pueden llegar a establecer las condiciones ambientales más fielmente parecidas a la realidad y, por tanto, estudiar el comportamiento de un metal o varios metales en este medio.

De una manera muy general, y en función del objetivo perseguido (estudios de la resistencia al desgaste-corrosión o bien del mecanismo de la corrosión, etc.), los ensayos de desgaste-corrosión se pueden enmarcar en dos grandes categorías:

- a) Ensayos acelerados realizados en el laboratorio.
- b) Ensayos de larga duración efectuados en los medios naturales (In Situ).

Por lo tanto medir la velocidad de corrosión es uno de los principales objetivos que se tiene al momento de realizar pruebas electroquímicas ya que permite determinar que materiales presentan una mayor resistencia al deterioro en los ambientes corrosivos.

### 4.11.1 VELOCIDAD DE CORROSIÓN

Es casi intuitivo pensar que este concepto está relacionado con el tiempo en el cual ocurre el deterioro de un material a causa de la corrosión. Esta variación está definida como la cantidad de material que se pierde (corroe) por unidad de tiempo, típicamente se expresa en *mpy* (*mili pulgadas por año*), *mdd* (*mili decímetros por año*) o en *mm/año* (*milímetros año*).

#### 4.11.2 TÉCNICAS UTILIZADAS PARA MEDIR LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN

Existen varias técnicas utilizadas para la medición de la velocidad de corrosión entre las cuales se destacan:

##### **Método de la pérdida de peso**

Este es el método utilizado tradicionalmente, consiste en determinar la pérdida de peso que ha experimentado un metal en contacto con un medio corrosivo. Por ejemplo, si para una aplicación dada se puede evaluar, mediante varios ensayos, la pérdida de peso de dos o más metales en un medio corrosivo, es posible tener una idea de cuál de estos materiales dará mayores garantías al momento de realizar alguna implementación.

La medida de la velocidad de corrosión por este método asume que la corrosión es uniforme y generalizada en todo el material. Existe el caso que la corrosión es localizada lo cual supone una pérdida mínima del material, pero en cambio altera drásticamente sus propiedades mecánicas. Para cuantificar este método se recurre al siguiente método.

##### **Método de la variación de las propiedades mecánicas**

Este método consiste en un control de las propiedades mecánicas del material en el ambiente corrosivo lo cual puede poner en manifiesto algunos problemas que no son observados con el anterior método. Por ejemplo un ensayo de tracción permitirá determinar la resistencia del metal atacado en comparación con una muestra del mismo material que no haya sido sometida a las condiciones del medio agresivo. Otra prueba comúnmente realizada es el uso de microscopios electrónicos para visualizar la superficie del metal y de esta forma observar si este ha sido atacado por la corrosión.

##### **Método electroquímico**

La naturaleza electroquímica de los procesos de corrosión especialmente de los que tienen lugar a temperatura ambiente (corrosión atmosférica) o a temperaturas inferiores a los 100 °C (frecuentemente en la mayoría de los procesos industriales) ha permitido la aplicación de métodos electroquímicos modernos, al estudio de la corrosión de los metales y en consecuencia, a la medición de la velocidad de corrosión. Entre las ventajas que posee este método se encuentran:

- Proporciona velocidad de corrosión instantánea.
- No se necesitan instrumentos muy sofisticados, pues solo se necesita un potenciostato, y en consecuencia es una técnica muy económica.
- A diferencia del método de la pérdida de peso, por medio de este método es posible evaluar la corrosión localizada.

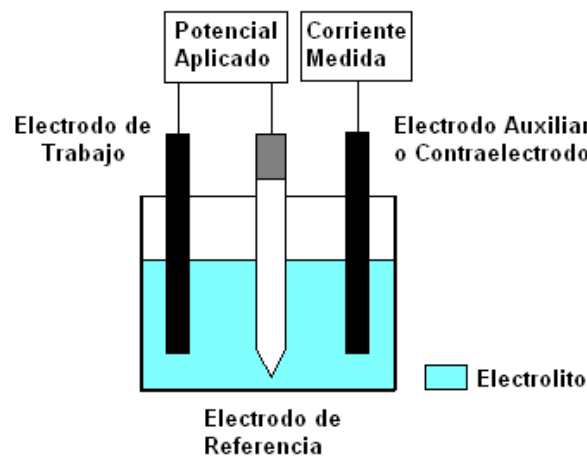
Por lo tanto *el Método electroquímico* es el que mejor se adapta a las necesidades estipuladas en los ensayos de Desgaste-Corrosión.

#### 4.12 CELDA ELECTROQUÍMICA

Debido a la necesidad de caracterizar el comportamiento de los materiales ante los efectos de la corrosión se hizo necesario desarrollar elementos prácticos con este fin, entre ellos se destaca la *Celda Electroquímica*. Este sistema se usa comúnmente en las pruebas de corrosión que serán descritas posteriormente. Una celda electroquímica es un sistema que consta de tres electrodos inmersos en una solución que actúa como electrolito y en la cual ocurre un proceso de oxido-reducción capaz de generar corriente eléctrica. Los tres electrodos que hacen parte de la celda son:

- 1) Electrodo de trabajo,
- 2) Electrodo Auxiliar o Contra electrodo y
- 3) Electrodo de Referencia.

Figura 19. Esquema de una celda electroquímica.



Fuente: Autores.

**Electrodo de Trabajo:** En las mediciones electroquímicas, este electrodo está compuesto por el metal que se está analizando. Es importante anotar que dicho electrodo debe ser reemplazado continuamente, pues se va desgastando debido a que gran parte de las pruebas de corrosión son destructivas.

**Electrodo de referencia:** Debido a que el potencial de corrosión no puede ser medido de forma directa, es necesario utilizar un electrodo que actúe como referencia de voltaje para el electrodo de trabajo. Los materiales que se utilizan para los electrodos de referencia son bastante particulares, pues deben contar con un potencial electroquímico constante, entre estos se destacan los de *Calomel Saturado* (SCE), y los de *Plata/Cloruro de Plata* (Ag/AgCl).

**Electrodo Auxiliar o Contra electrodo:** Este elemento permite cerrar el circuito de la celda, para esto se recurre a conductores inertes hechos de platino o grafito.

**Electrolito:** Solución o sustancia pura que contiene iones de modo que se pueda producir una reacción electroquímica. La conductividad del electrolito es un aspecto fundamental al momento de analizar el fenómeno de corrosión ya que si la solución es eléctricamente conductora, permitirá el paso de corriente desde el electrodo de trabajo hasta el electrodo de referencia lo que producirá un aumento en el deterioro del metal. Es importante destacar que la cantidad de metal que se disuelve en el electrolito es directamente proporcional a la cantidad de corriente que fluye por la celda electroquímica.

Entre la sustancias más conocidas por ser causantes de corrosión se cuentan los gases disueltos en agua como el oxígeno, el dióxido de carbono y también el ácido Sulfhídrico

Todas las técnicas electroquímicas modernas están basadas prácticamente en el desarrollo de unos aparatos que se conocen con el nombre de potencióstato - galvanostato.

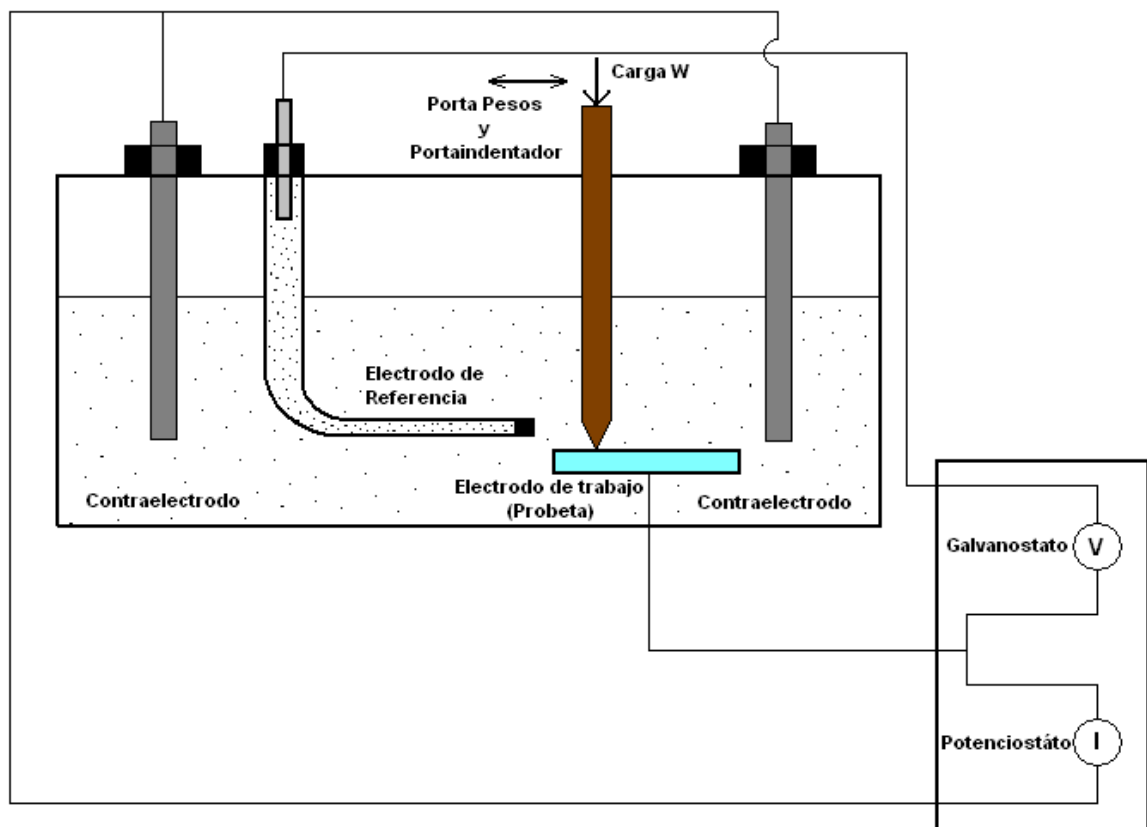
En la Figura 20 se puede observar un montaje de un sistema de celda electroquímica junto con un potencióstato-galvanostato (Método Electroquímico) con el cual se cuantifican los fenómenos de Desgaste-Corrosión.

#### 4.13 POTENCIOSTATO-GALVANOSTATO

La instrumentación electrónica ha diseñado dos dispositivos muy utilizados en las pruebas de corrosión: el potencióstato y el galvanostato (Figura 21 y 22). Dichos sistemas permiten aplicar y controlar señales de tensión y de corriente sobre una celda electroquímica para medir el comportamiento de los materiales ante los efectos de la corrosión.

A continuación se describirán brevemente las funciones y características fundamentales de cada uno de estos dispositivos.

Figura 20. Celda Electroquímica con potencióstato y galvanostato.



Fuente: Autores.

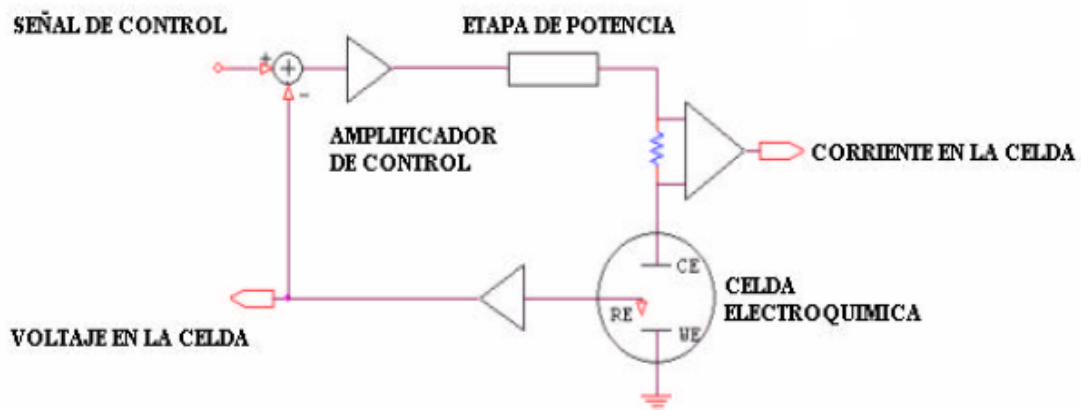
### 4.13.1 POTENCIOSTATO

El potencioestado es un instrumento electrónico que permite imponer a una muestra metálica colocada en un medio líquido y conductor, un potencial constante o variable, positivo o negativo, con respecto a un electrodo de referencia. Es vital que dicha tensión se pueda mantener o controlar sin importar que ocurran variaciones en la corriente del sistema, la temperatura y otros factores externos.

El potencioestado, además de aplicar una tensión controlada, debe medir la corriente electrolítica que pasa a través de la celda y de ésta forma caracterizar el comportamiento del metal ante la corrosión, la resistencia al desgaste-corrosión y la velocidad con la cual ocurre dicho fenómeno.

El funcionamiento general de un potencioestado se describe en el esquema de la Figura 21. En general, consiste en aplicar el potencial deseado al circuito interno de este dispositivo como una señal de control, la cual se compara con el potencial existente entre el electrodo de trabajo y electrodo de referencia. Ahora bien, la señal de error o diferencia entre los potenciales anteriormente descritos se retroalimenta mediante un amplificador de control el cual permite controlar cuánta corriente es necesaria para mantener el potencial igual a la señal de control.

Figura 21. Esquema ilustrativo de un Potencioestado.



Fuente: Autores.

Es importante destacar que más de 85% de las mediciones de corrosión utilizan el control de potencial para ser llevadas a cabo. Estos experimentos son denominados *pruebas Potenciostáticas*. Sin embargo, en ciertas aplicaciones es pertinente realizar un control de corriente de la celda, la cual es realizada por un galvanostato; este elemento se describe a continuación.

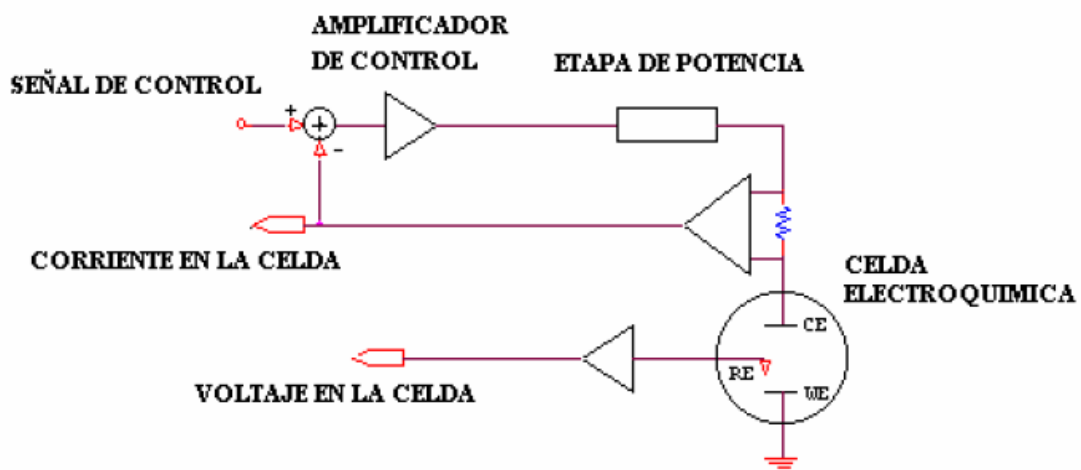
#### 4.13.2 GALVANOSTATO

Este es un dispositivo cuya función es controlar la corriente que se aplica a la celda de prueba y sensar el voltaje entre electrodo de trabajo y el de referencia.

Un galvanostato comúnmente se utiliza en experimentos que requieren la medición de velocidades de pasividad y para la evaluación de protecciones catódicas o anódicas en los metales. Estas pruebas son conocidas comúnmente como pruebas galvanostáticas.

La figura 22 ilustra el funcionamiento de un galvanostato. Es evidente la gran similitud existente con el potenciostato descrito anteriormente con la diferencia que la señal de error entregada al amplificador de control se produce por la resta algebraica de la corriente de control y la corriente de la celda.

Figura 22. Esquema ilustrativo de un Galvanostato.



Fuente: Autores.

Es importante destacar que la mayoría de dispositivos diseñados actualmente para pruebas de corrosión cuentan con un potencióstato y un galvanostato, lo que ha llevado a que estos términos no indiquen elementos diferentes sino modos de operación de un solo equipo.

Los Voltajes inducidos a la celda electroquímica del tribómetro para Degaste-Corrosión, serán impuestos por un dispositivo denominado *POTENCIOSTATO-GALVANOSTATO PRINCETON modelo 363 (P363)*, que junto con un sistema de adquisición de datos llamado sistema *SCAP363*<sup>1</sup>, permiten la obtención del valor de la velocidad de corrosión de los diferentes materiales metálicos a analizar. Estos equipos hacen parte del laboratorio de *TRIBOLOGÍA Y SUPERFICIES (GTUIS) de la escuela de Ingeniería Metalúrgica*.

**Figura 23. Potencióstato-Galvanostato Princeton modelo 363 y sistema de adquisición de datos SCAP363.**



**Fuente: Autores**

---

<sup>1</sup> Para mayor información sobre el funcionamiento del Potencióstato-Galvanostato Princeton (P363) y del sistema de adquisición de datos SCAP363 remitirse al Anexo Q.

## 4.14 PRUEBAS ELECTROQUÍMICAS PARA LA CORROSIÓN

Las pruebas electroquímicas abarcan una gran cantidad de experimentos que permiten caracterizar el comportamiento de un material ante fenómenos de corrosión. En esta sección se van a describir solamente las pruebas que implementa el potencióstato-galvanostato Princeton 363, las cuales fueron diseñadas con los requerimientos de los expertos de la escuela de Ingeniería Metalúrgica.

### 4.14.1 VELOCIDAD DE CORROSIÓN

El objetivo general de realizar pruebas electroquímicas es cuantificar el valor de la velocidad de corrosión. La siguiente ecuación permite calcular este parámetro.

$$\text{Velocidad de corrosión} = \frac{0.13 * I_{\text{corr}} * E.W}{A * D}$$

Donde E.W es el peso equivalente (g/eq), A es el área en cm<sup>2</sup>, D es la densidad de la muestra (g/cm<sup>3</sup>), I<sub>corr</sub> es la corriente de corrosión y 0.13 es un factor de escala.

Para un material dado, todos los anteriores parámetros son conocidos, exceptuando la corriente (I<sub>corr</sub>), la cual es calculada de los resultados de las pruebas de corrosión.

La relación que permite determinar el valor de la corriente de corrosión es:

$$I_{\text{corr}} = \frac{\beta A * \beta c}{2.303 * R_p * (\beta A + \beta c)}$$

Para encontrar el valor de la corriente de corrosión se deben encontrar primero las pendientes de TAFEL anódica y catódica ( $\beta_A$  y  $\beta_B$ ) de los procesos de oxidación y reducción respectivos, junto con el valor de la resistencia a la polarización ( $R_p$ ). Por lo tanto a continuación se describe el procedimiento a llevar a cabo para la obtención de estos valores.

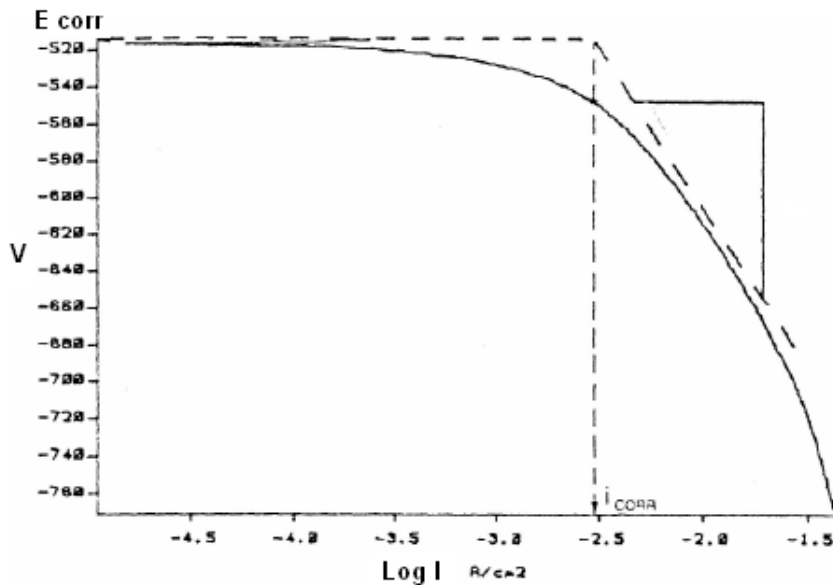
#### 4.14.2 CURVAS TAFEL

Esta técnica tiene el propósito de medir la corriente de corrosión ( $I_{CORR}$ ) que permite calcular la velocidad de corrosión. Con una curva TAFEL se puede inferir directamente el valor de la corriente de corrosión o permitir calcular las constantes de TAFEL ( $\beta_A$  y  $\beta_B$ ) al calcular las pendientes de estas rectas.

Para generar una curva Tafel es necesario generar una rampa partiendo de  $E_{corr}$  y finalizando en  $E_{EO} = -250$  mV, (TAFEL CATÓDICA) o en  $E_{corr} = +250$  mV (TAFEL ANÓDICA). También es muy utilizado realizar la prueba partiendo de  $E_{EO} = -250$  mV hasta llegar a  $E_{EO} = +250$  mV, esta prueba es conocida como (TAFEL COMPLETA). Es importante destacar que cuando se lleva a cabo esta última se puede presentar una degradación del espécimen en la región catódica que afecta las mediciones en la región anódica.

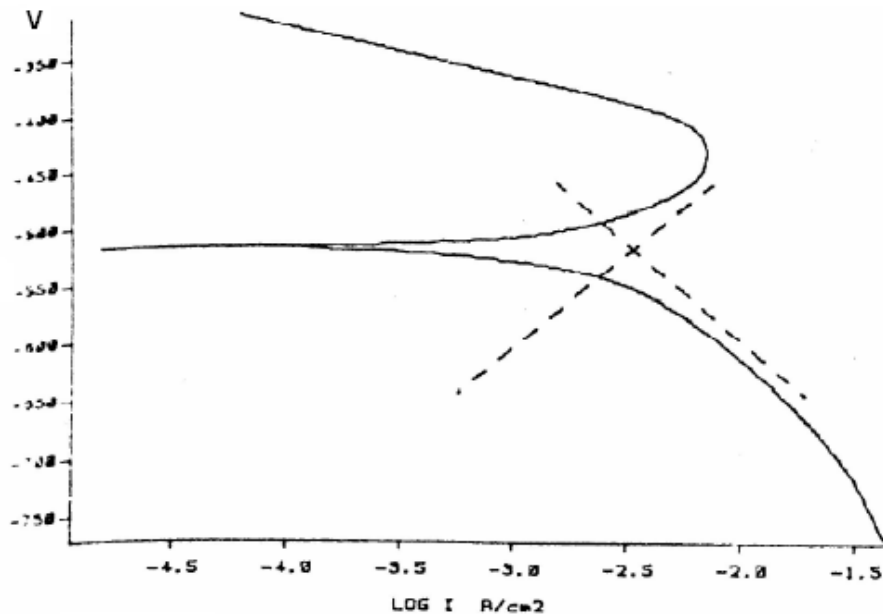
En condiciones ideales, las curvas TAFEL presentan una característica lineal sobre un rango de voltaje determinado. Para la curva anódica se presenta desde  $E_{OC} = +50$  mV, hasta  $E_{OC} = +250$  mV, a su vez para la catódica ocurre en el rango de  $E_{OC} = -50$  mV, hasta  $E_{OC} = -250$  mV. En las figuras 24 y 25 se muestran ejemplos de curvas TAFEL de una celda electroquímica con acero inoxidable 430.

Figura 24. Curva Tafel Catódica para el Acero Inoxidable 430.



Fuente: Autores

Figura 25. Curva Tafel completa Acero inoxidable 430.



Fuente: Autores.

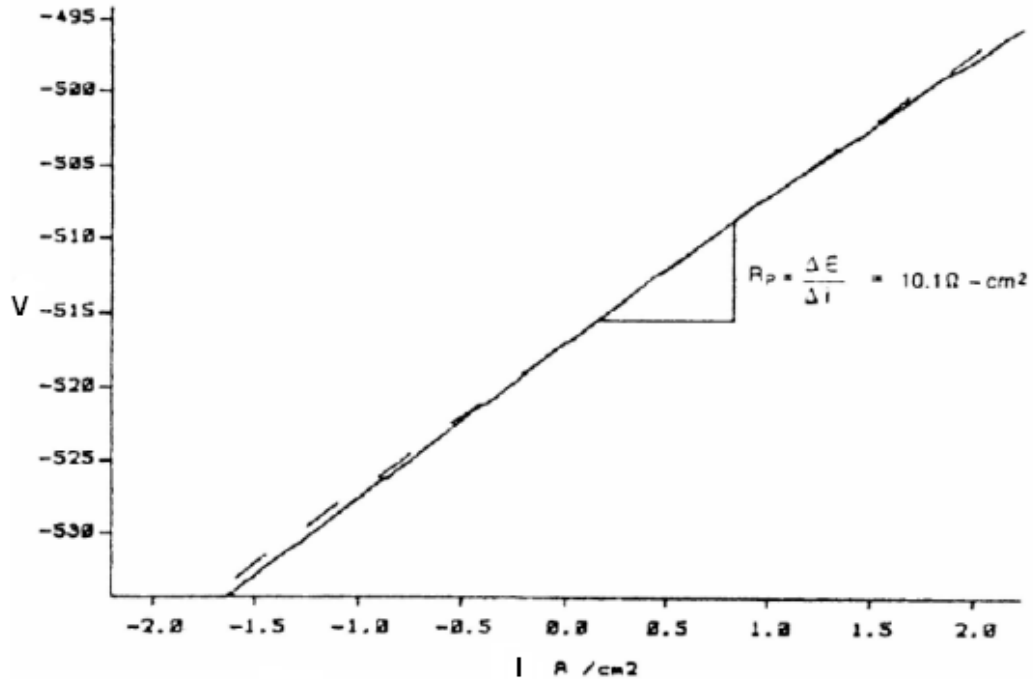
#### 4.14.3 CURVAS DE RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN

La resistencia de polarización  $R_p$  es definida como la resistencia del espécimen a la oxidación durante la aplicación de un potencial externo. La velocidad de corrosión está directamente ligada con el valor de  $R_p$  y puede ser calculada a partir de éste.

Este procedimiento experimental consiste en aplicar una rampa de voltaje desde  $E_{OC} = -20$  mV hasta  $E_{OC} = +20$  mV. Típicamente se realiza con pendientes de 0.1 mV/s. Determinando la relación voltaje de celda sobre corriente de celda se obtiene el valor de  $R_p$ .

En la figura 26 se puede observar una curva de resistencia de polarización de un acero inoxidable 430.

Figura 26. Curva de Resistencia de Polarización de acero Inox 430.



Fuente: Autores.

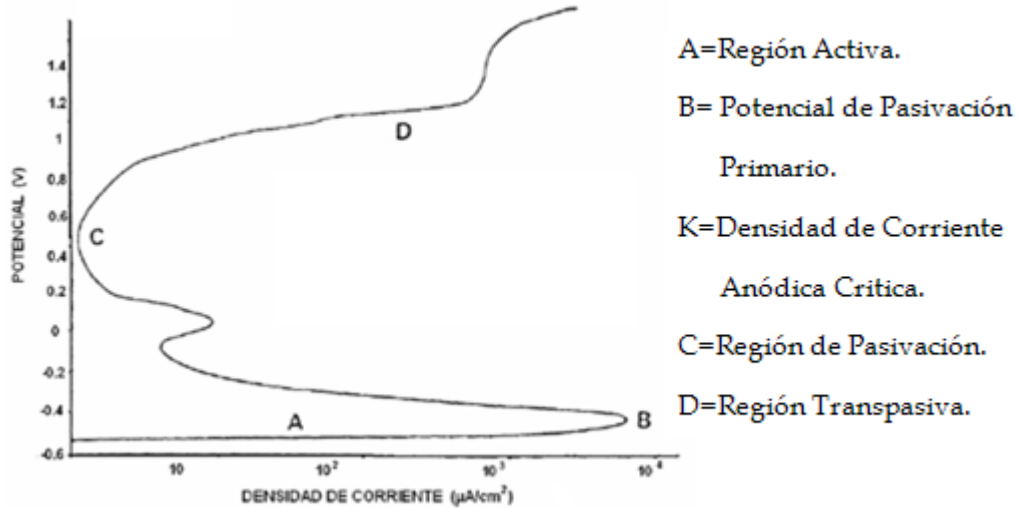
#### 4.14.4 POLARIZACIÓN ANÓDICA POTENCIODINÁMICA

El propósito de esta prueba es determinar las características de la región Activa/Pasiva de una celda electroquímica.

El procedimiento consiste en aplicar una rampa de voltaje partiendo de  $E_{OC}$  y siguiendo una pendiente positiva hasta que el potencial sea suficiente para oxidar la solución de prueba. La pendiente típica para ejecutar esta prueba es 0.1 mV/s.

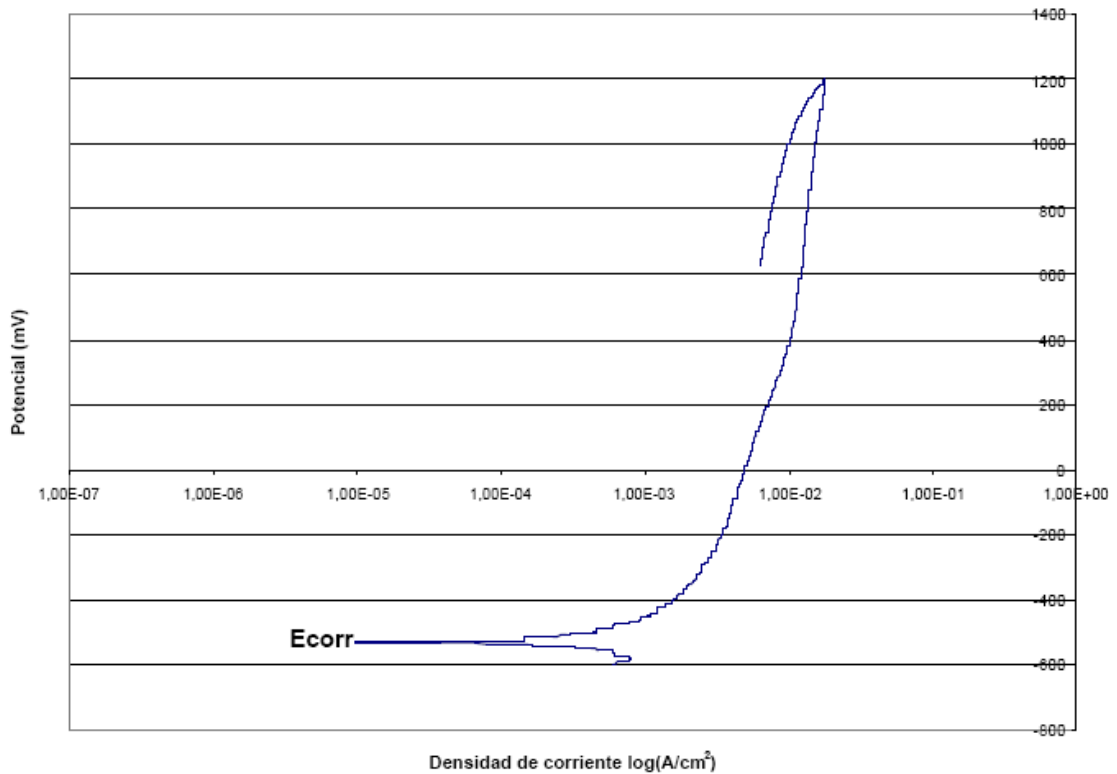
Es recomendable utilizar rampas de voltaje con pendientes muy pequeñas para evitar problemas con la pasivación del metal. En esta prueba se pueden cuantificar los parámetros críticos para corriente y voltaje de un material. En la figura 27 se observa una típica curva anódica potenciodinámica, donde se evidencian la región activa, pasiva y transpasiva; así como el punto donde la corriente es máxima y en la figura 28 se observa un ejemplo de una curva anódico - potenciodinámica para una muestra de Ti6Al4V.

Figura 27. Curva Anódica Potenciodinámica.



Fuente: Zurilla A, Hospadaruk V. Sae congreso y exposition. Paper N°780187. 1978.

Figura 28. Curva de polarización para el AISI Ti6Al4V en suero bovino con una concentración de proteínas de 0.03 g/ml a 37°C. Barrido de 1mV/s.



Fuente: Autores.

## 5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El interés del gobierno nacional por aumentar los niveles de cobertura en salud para las poblaciones de menos recursos ha hecho que este tenga que hacer grandes apropiaciones presupuestales con destino a sufragar los gastos de tratamientos médicos.

La concentración del poder de compra de los implantes ortopédicos, considerados como de alto costo se trasladó en los últimos años a las empresas promotoras de salud (EPS), a las administradoras del régimen subsidiado (ARS) y a las administradoras de los riesgos profesionales (ARP) a las cuales, por cada usuario del sistema la ley le ordena al estado pagarles una suma que cubra la totalidad de los costos de la atención desde la básica hasta la catastrófica de todos los pacientes que llegasen a tener cualquier enfermedad. Dichas sumas de acuerdo con lo manifestado por los gremios de hospitales, Clínicas y empresas promotoras de salud son bajas.

Por lo tanto la política de compras de estas compañías en lo referente a implantes de alto costo ha tendido a la búsqueda del producto genérico de bajo precio. Sin embargo esto no ha sido posible para los productos protésicos que en su totalidad son importados. Dichos productos en su valor final tienen un alto componente del costo representado en tratamientos superficiales, lo que les hace merecedores de un precio alto en el mercado, sustentado en su alta especialidad, especificidad y biocompatibilidad duradera en el largo plazo.

La situación es similar a nivel internacional, ya que la demanda por este tipo de productos es cada vez mayor, la presencia de competidores en el mercado es cada vez mayor y la reducción de los costos en la compra de servicios es una necesidad latente. Además un alto porcentaje de las compañías que venden producto terminado con tratamiento superficial subcontratan el servicio, de otra parte las pocas que prestan servicio de recubrimiento se encuentran en Europa y Norte América, las cuales suministran partes al resto del mundo; por lo tanto se presentan dos escenarios para la generación de divisas para el país uno en la exportación de un producto terminado y otro en la prestación de servicios a terceros. Es así que cualquier solución tecnológica que el propio mercado nacional pueda ofrecer a sus necesidades se verá reflejada en un menor costo del producto final.

Como ya se sabe, el uso de materiales metálicos en la fabricación de implantes en medios acuosos como lo es el cuerpo humano, da lugar a la aparición de fenómenos corrosivos, llamados procesos electroquímicos. La liberación de productos de corrosión y de iones metálicos producida por la corrosión electroquímica, y en especial por la retirada mecánica de la capa de pasivación y la corrosión galvánica, es causa de preocupación en las aplicaciones de los metales como biomateriales debido a sus posibles efectos citotóxicos. Por lo tanto en vista de estos problemas, el principal objetivo de esta propuesta de investigación es construir un dispositivo, con el cual se puedan llevar a cabo pruebas de laboratorio para así poder mejorar electroquímicamente las propiedades de resistencia a la corrosión, resistencia al desgaste y la biocompatibilidad, (anclaje, bioactividad, citocompatibilidad y bioconducción de tejido biológico), de materiales usados en cirugía traumática, como el titanio, el  $Ti_6Al_4V$ , el acero inoxidable 316L, el 304 y materiales porosos de estas mismas aleaciones fabricados por una técnica pulvimetalúrgica, con los cuales se pretende mejorar su osteointegración reduciendo así los tiempos de cura en los tratamientos, mayor durabilidad del implante dentro del organismo durante la vida del paciente y disminución de tiempos improductivos por incapacidades laborales.

Mediante la utilización de este dispositivo (Tribómetro) se pueden desarrollar técnicas electroquímicas en ingeniería de superficies sobre materiales metálicos estándar, aproximándose tanto al desarrollo de materiales equivalentes (alta resistencia electroquímica, propiedades mecánicas comparables con el hueso, bioconductores y bioactivos), como a la generación de equivalentes comerciales en el marco de las regulaciones y normas internacionales, lo cual permitirá un gran avance en la investigación y desarrollo en el área de la ciencia de materiales asociada a la bioingeniería de materiales osteointegrables y su modificación y caracterización in vitro de patrones de reparación en traumatología clínica para beneficio de pacientes con requerimientos de cirugía traumática, de gran impacto psicosocial y económico en Colombia. Además la reducción del gasto en las cirugías consideradas como de "alto costo" por la ley 100 de seguridad social en salud y por los ingresos en divisas que generaría la explotación comercial de estas técnicas.

## 5.1 DESCRIPCIÓN DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE CONSTRUCCIÓN DEL TRIBÓMETRO

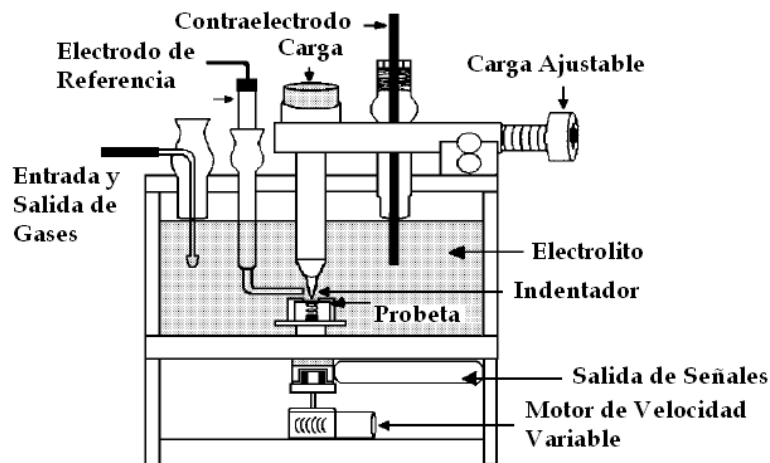
Teniendo en cuenta que la alternativa final para la construcción de la máquina para ensayos de Desgaste-corrosión debe permitir encontrar el valor de la velocidad de corrosión en materiales metálicos por medios electroquímicos, y además de provocar un desgaste por rayado circular, a continuación se enumeran diferentes alternativas de construcción.

### Alternativa 1

Este tipo de dispositivo consta de un sistema de celda electroquímica compuesto por un electrodo de referencia de vidrio, un contraelectrodo de grafito, una entrada y salida para gases, un sistema de carga pivotante ajustable, el cual permite regular la carga que será impuesta en una determinada prueba y un sistema de potencia motriz encargado de brindar una amplia gama de velocidades, ver figura 29.

Este dispositivo al igual que todos los basados en métodos electroquímicos, necesitan de un *Potenciostato-Galvanostato* para la cuantificación de la velocidad de corrosión.

Figura 29. Representación esquemática de la primera propuesta de construcción para la máquina de pruebas de desgaste-Corrosión.



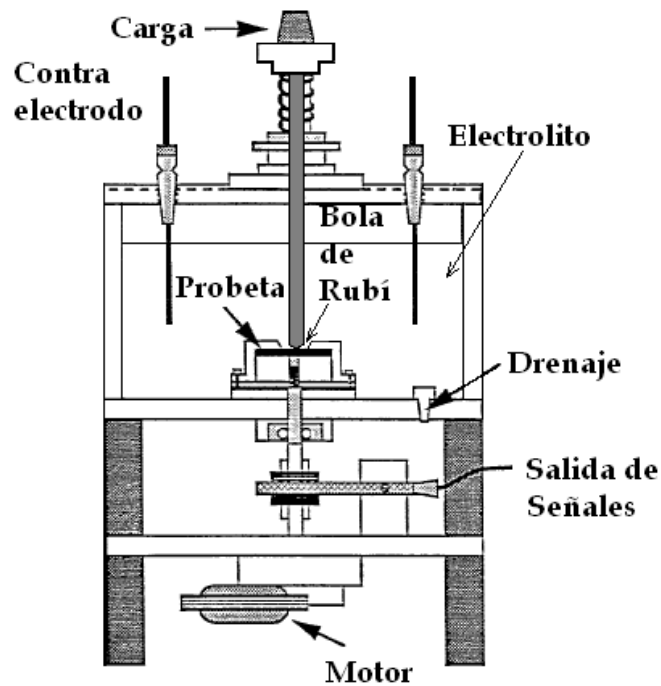
Fuente: N Latona, P. Fetherson, A.Sridharan, R. A. Dodd. Wear-Corrosión Comparisons of Passivating vs Nonpassivating Alloys in Aerated 3.5 % Aqueous Solutions of Sodium Chloride.Nace International. 2001.

## Alternativa 2

Este sistema similar al anterior, posee un sistema de carga axial, en el cual un conjunto de pesos son colocados verticalmente sobre un soporte para así aplicar una fuerza determinada sobre la probeta. Este sistema consta de un eje, el cual en su parte superior lleva un sistema porta pesas, el cual es reposicionado por medio de un resorte para así anular la carga misma del soporte, en el extremo inferior de dicho eje se encuentra un indentador, el cual es el encargado de rayar la superficie de la probeta, la cual gira por medio de un motorreductor, creando un rayado circular en la probeta.

En la parte superior del depósito que contiene la solución electrolítica, se encuentra un sistema encargado de desplazar todo el conjunto de Portapesos-indentador, con el fin de aumentar o disminuir el radio ( $R$ ) de trayectoria, para así aprovechar al máximo el área de la probeta. El sistema consta de un electrodo de trabajo, el cual es la probeta como tal, dos contraelectrodos y un electrodo de referencia.

Figura 29. Representación esquemática de la segunda propuesta de construcción para la máquina de pruebas de desgaste-Corrosión.

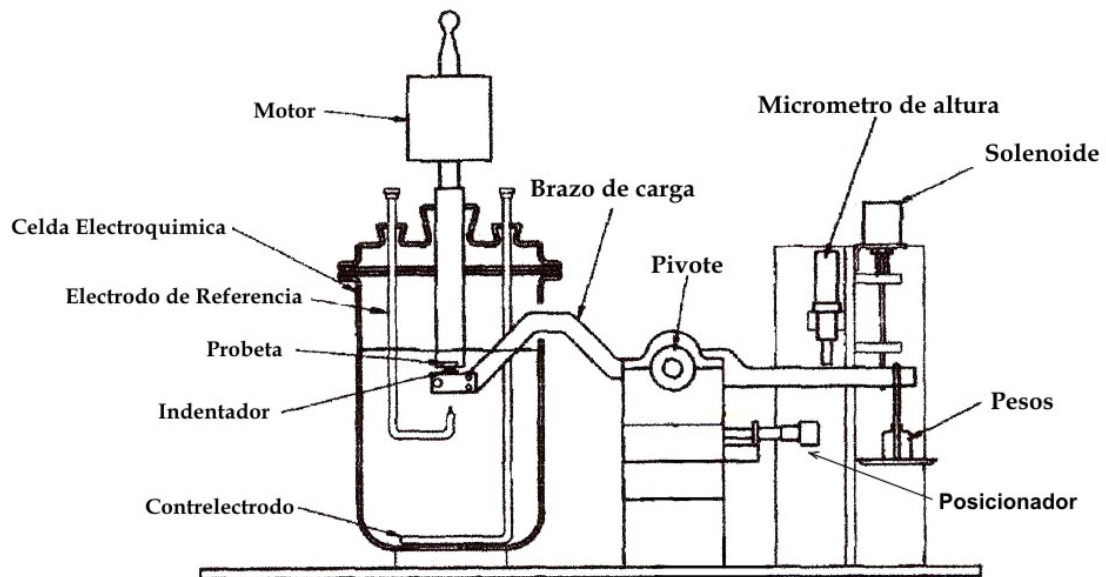


Fuente: M.B. Abuzriba, R.A. Dodd, F.J. Worzala, and J.R. Conrad. Separation of the Components of Corrosion and Wear. Science 2003.

### Alternativa 3

Al igual que las anteriores esta propuesta posee los componentes de una celda electroquímica (electrodo de trabajo, electrodo de referencia, contraelectrodo, electrolito). En este caso la probeta es rayada en su cara inferior por un indentador, el cual está soportado en uno de los extremos por un brazo pivotado, el cual posee en su extremo opuesto un sistema de pesos que infieren la carga necesaria sobre la probeta. El sistema de potencia está localizado en la parte superior de la celda, permitiendo la rotación de la probeta, que se encuentra alojada en el mismo eje de transmisión. El sistema además posee un posicionador que permite variar la longitud del brazo pivote-indentador, permitiendo de esta forma variar el radio  $R$  de recorrido del indentador, para así realizar varias pruebas en una misma probeta. La desventaja de este dispositivo es la poca visibilidad que se tiene en cuanto al avance del rayado debido a la posición invertida de la muestra.

**Figura 30. Representación esquemática de la tercera propuesta de construcción para la máquina de pruebas de desgaste-Corrosión.**

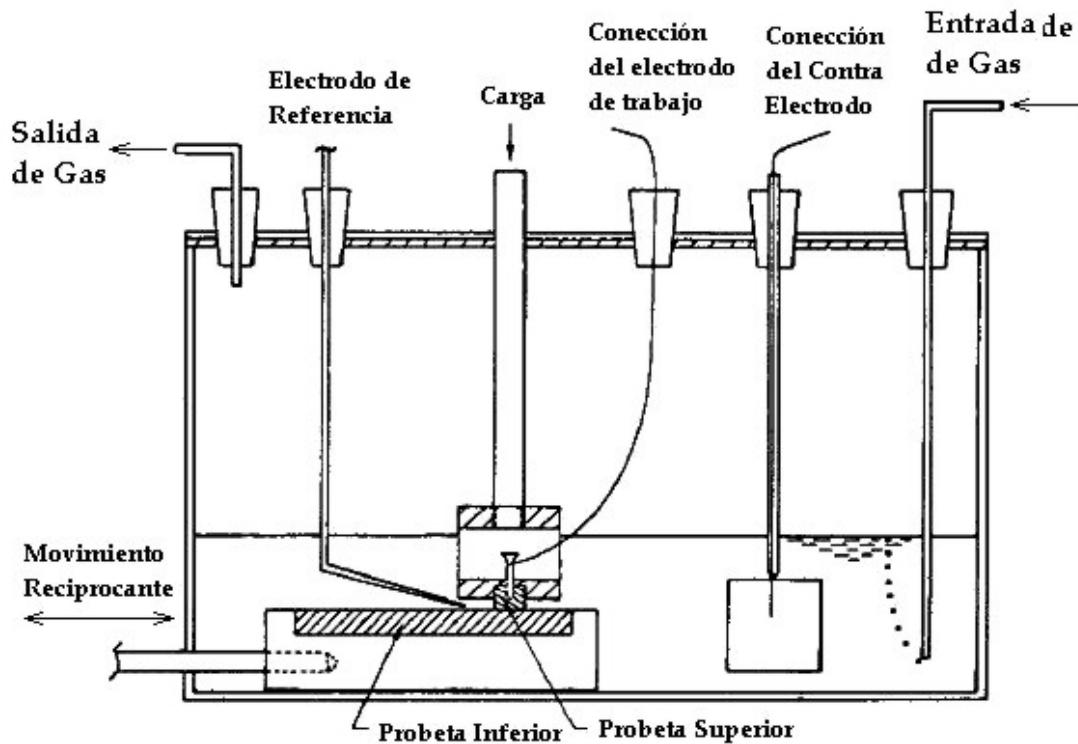


**Fuente: T. A. Adler, R. P. Walters. Apparatus for measuring the wear and corrosion of materials. Corrosion Science. P 1855.**

#### Alternativa 4

Este tipo de dispositivo posee al igual que los anteriores, una celda electroquímica, su diferencia radica en que el movimiento relativo entre las superficies en contacto que permiten el rayado de la probeta no es circular sino rectilíneo, gracias al movimiento recíprocante de un mecanismo de barras. El sistema de carga es impuesto verticalmente.

Figura 31. Representación esquemática de la cuarta propuesta de construcción para la máquina de pruebas de desgaste-Corrosión.

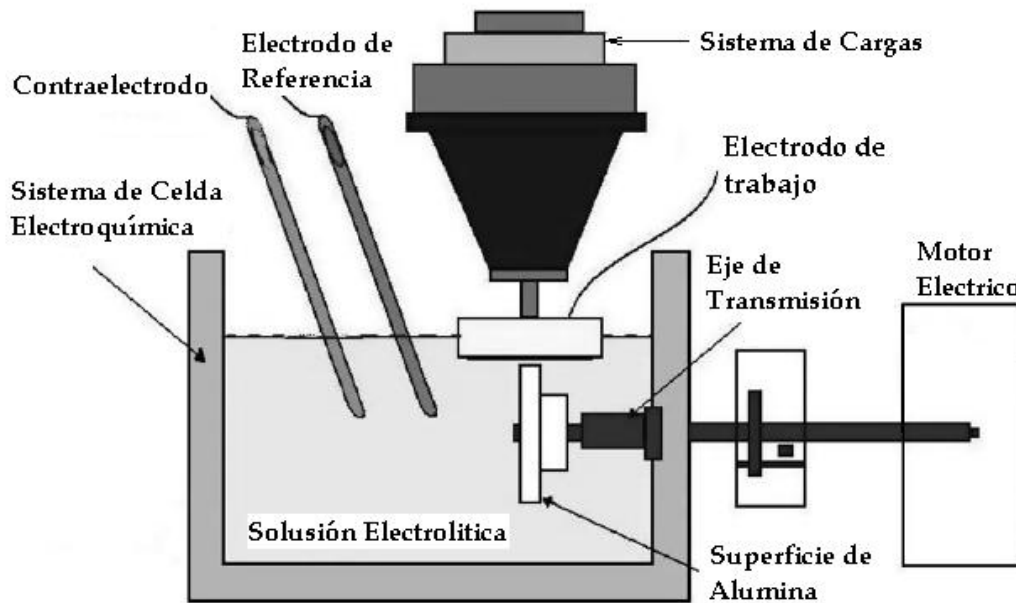


Fuente: A. Hedayat, J. Postlethwaite, S. Yannacopoulos. Conjoint Action of CO<sub>2</sub> Corrosion and Reciprocating Sliding Wear on Plain Carbon Steel. Corrosion Vol. 48, No. 12. 1992.

## Alternativa 5

Este dispositivo está compuesto por un sistema de cargas, el cual posee un disco en la parte inferior donde se coloca la muestra a evaluar (electrodo de trabajo), esta parte del dispositivo se encuentra fija a la estructura de la máquina, mientras un disco recubierta de un material abrasivo gira perpendicularmente al plano de la probeta imprimiéndole un desgaste. Este disco abrasivo gira debido a la transmisión de potencia impuesta por un motor eléctrico.

Figura 32. Representación esquemática de la quinta propuesta de construcción para la máquina de pruebas de desgaste-Corrosión.



Fuente: Maria Lekka, Niki Kouloumbi ,Mauro Gajo, Pier Luigi Bonora. Corrosion and wear resistant electrodeposited composite coatings. Elsevier.

## 5.2 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS APROPIADA

Teniendo en cuenta que por medio de las técnicas electroquímicas se permite contar con una amplia variedad de opciones de evaluación de un material para implante, según su aplicación, ya sea analizando su velocidad de deterioro, su mecanismo de corrosión o monitoreando su capacidad para pasivarse y repasivarse en un medio fisiológico, es necesario construir un dispositivo en el cual puedan llevarse a cabo estos tipos de ensayos.

Por medio de los resultados obtenidos con este dispositivo se puede ayudar a las empresas fabricantes de implantes a seleccionar materiales y procesos de pasivación superficial, y que junto con otras pruebas de biocompatibilidad o de aceptación en el cuerpo humano, permitan contar con los elementos de evaluación necesarios y especializados para asegurar el desarrollo de nuevos biomateriales.

Es por esto que esta máquina debe permitir la utilización de diferentes tipos de probetas metálicas, las cuales puedan ubicarse fácilmente, al mismo tiempo que dichas pruebas puedan realizarse a diferentes velocidades de rotación con el fin de simular el desgaste abrasivo al cual es sometido un implante y poder así acelerar el proceso. Además, la máquina debe poseer un sistema de colocación de cargas que simulen el peso corporal sobre el implante, debe poseer un depósito en el cual estén introducidos los componentes de la celda electroquímica (el electrodo de trabajo, el electrodo de referencia, los contra electrodos, la solución electrolítica y un par de orificios para entrada y salida de gases) para evaluar el desempeño de los implantes usados en las cirugías de trauma óseo y así asegurar su éxito a largo plazo.

Teniendo en cuenta estas características, la alternativa de construcción que más se acomoda a estas necesidades es la número 2, ya que su sistema de carga es más flexible y no necesita de mecanismos pivotantes, además de la versatilidad del modelo que disminuye en gran medida su costo final.

## 6 DISEÑO CONCEPTUAL DE LA MÁQUINA<sup>1</sup> PARA ENSAYOS DE DESGASTE-CORROSIÓN EN BIOMATERIALES

En el transcurso de este capítulo se seleccionarán y diseñarán las partes constitutivas de cada uno de los sistemas de la máquina, teniendo en cuenta que algunos de estos dispositivos deben construirse bajo los requerimientos y prestaciones que requieran las diferentes pruebas y normas<sup>2</sup> bajo las cuales funcionará el equipo, además de especificaciones técnicas de los operarios del grupo de tribología y superficies *GTUIS*. A continuación se hace una descripción general del equipo, donde se observará su funcionamiento y operación.

### 6.1 DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN GENERAL

Como se ha recalcado anteriormente, el grupo de tribología y superficies *UIS* adjunto a la escuela de Ingeniería Metalúrgica está llevando a cabo estudios detallados sobre el comportamiento de ciertos materiales metálicos utilizados como implantes intracorporales, los cuales se ven deteriorados por agentes tales como el desgaste abrasivo y la corrosión, en donde estos estudios permitirán mejorar electroquímicamente las propiedades de resistencia a la corrosión, resistencia al desgaste y la biocompatibilidad de materiales usados en cirugía traumática.

Para poder monitorear el comportamiento de ciertos materiales y simular las condiciones de deterioro de los mismos dentro del cuerpo humano se encamino este proyecto construyendo una máquina que permita realizar ensayos de desgaste-corrosión sobre probetas metálicas circulares. En este dispositivo el desgaste abrasivo es efectuado por medio del movimiento relativo existente entre un indentador o pin estático y la probeta que gira gracias al movimiento rotacional dado por un motorreductor. El indentador es cargado por medio de un sistema de pesos, permitiendo así imponer una determinada carga a la probeta. De esta manera se produce el rayado circular de la misma. A su vez por medio de un sistema de desplazamiento se puede variar el radio de rayado, permitiendo así aprovechar el área total de la

---

<sup>1</sup> Los dispositivos o máquinas usados para realizar pruebas tribológicas son denominados TRIBÓMETROS.

<sup>2</sup> Standard test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disc Apparatus. Norma ASTM G99-95a (2000).

probeta. Un motor de velocidad variable (10 – 100 rpm) será el encargado de imponer una velocidad constante para cada una de las pruebas a realizar, este debe colocarse de tal manera que sus vibraciones no afecten las pruebas. El control de la velocidad del motor se realiza mediante un variador de frecuencia que se encuentra alojado en el panel de control.

Todo este sistema debe estar sumergido dentro de un tanque, el cual permite contener líquidos que simulan el entorno corrosivo al cual está sometido el implante (saliva para implantes dentales y sangre para implantes intracorporales), además de contener todos los componentes de la celda electroquímica, sistema de desagüe y sistema de entrada y salida de gases que permiten simular al máximo las condiciones ambientales en que se encuentra el implante.

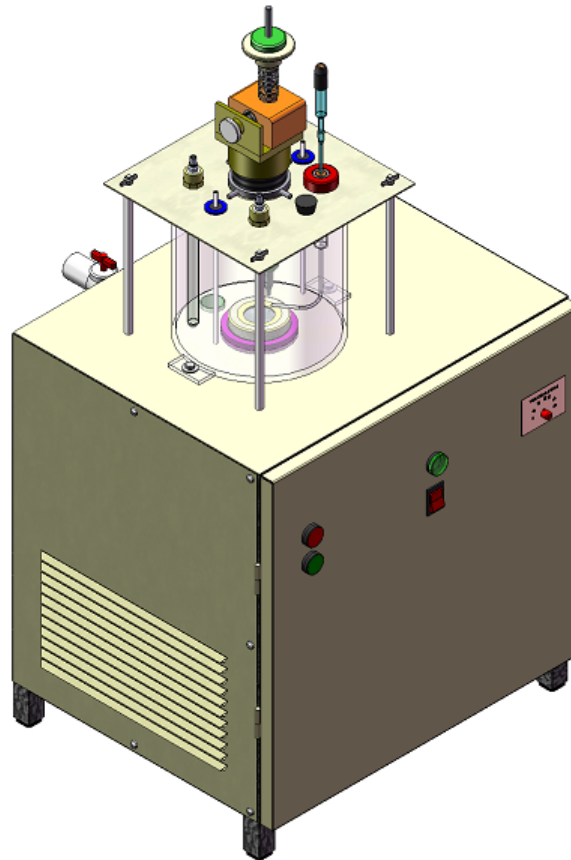
La máquina posee un sistema eléctrico mediante el cual es posible imponer potenciales variables o constantes provenientes de un equipo denominado potencióstato-galvanostato Princeton 363 (P363)<sup>1</sup>, permitiendo de esta forma observar la variación de la corriente que se da por la pérdida de masa de la probeta debida al desgaste, a su vez el potencióstato-galvanostato es conectado a un sistema llamado SCAP363 el cual es un equipo diseñado para el control del P363, así como la adquisición de los datos generados por este equipo.

El SCAP363 permite ejecutar varios tipos de pruebas electroquímicas para el análisis de los fenómenos de corrosión. Entre las pruebas se destacan la Tafel Anódica, Tafel Catódica, Tafel Completa, Resistencia de polarización y Polarización anódica potenciodinámica. El sistema cuenta con una interfaz de comunicación USB que permite transmitir los datos obtenidos en las pruebas hacia un PC, lo cual posibilita realizar gráficas de los resultados para llevar a cabo el cálculo de los parámetros requeridos y el análisis de los mismos. En la figura 34 se puede observar una representación de la máquina para ensayos de desgaste-corrosión.

---

<sup>1</sup> Para mayor información sobre descripción y operación del potencióstato-galvanostato Princeton P363 y del sistema de control y adquisición de datos SCAP363, remitirse al Anexo B.

**Figura 34. Representación de la máquina para ensayos de desgaste-corrosión.**



**Fuente: Autores.**

## **6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTITUTIVOS DE LA MÁQUINA**

La máquina para pruebas de desgaste-corrosión cuenta con diferentes sistemas que permiten lograr los propósitos planteados en el estudio de las propiedades de los biomateriales. Estos sistemas son:

- Sistema Estructural.
- Sistema de Carga y Posición.
- Sistema de la Celda Electroquímica.
- Sistema Eléctrico y de Potencia.

En la figura 35 se ilustran los diferentes tipos de sistemas que conforman la máquina para ensayos de desgaste-corrosión.

**Figura 35. Sistemas constitutivos de la máquina para pruebas de Desgaste-Corrosión.**



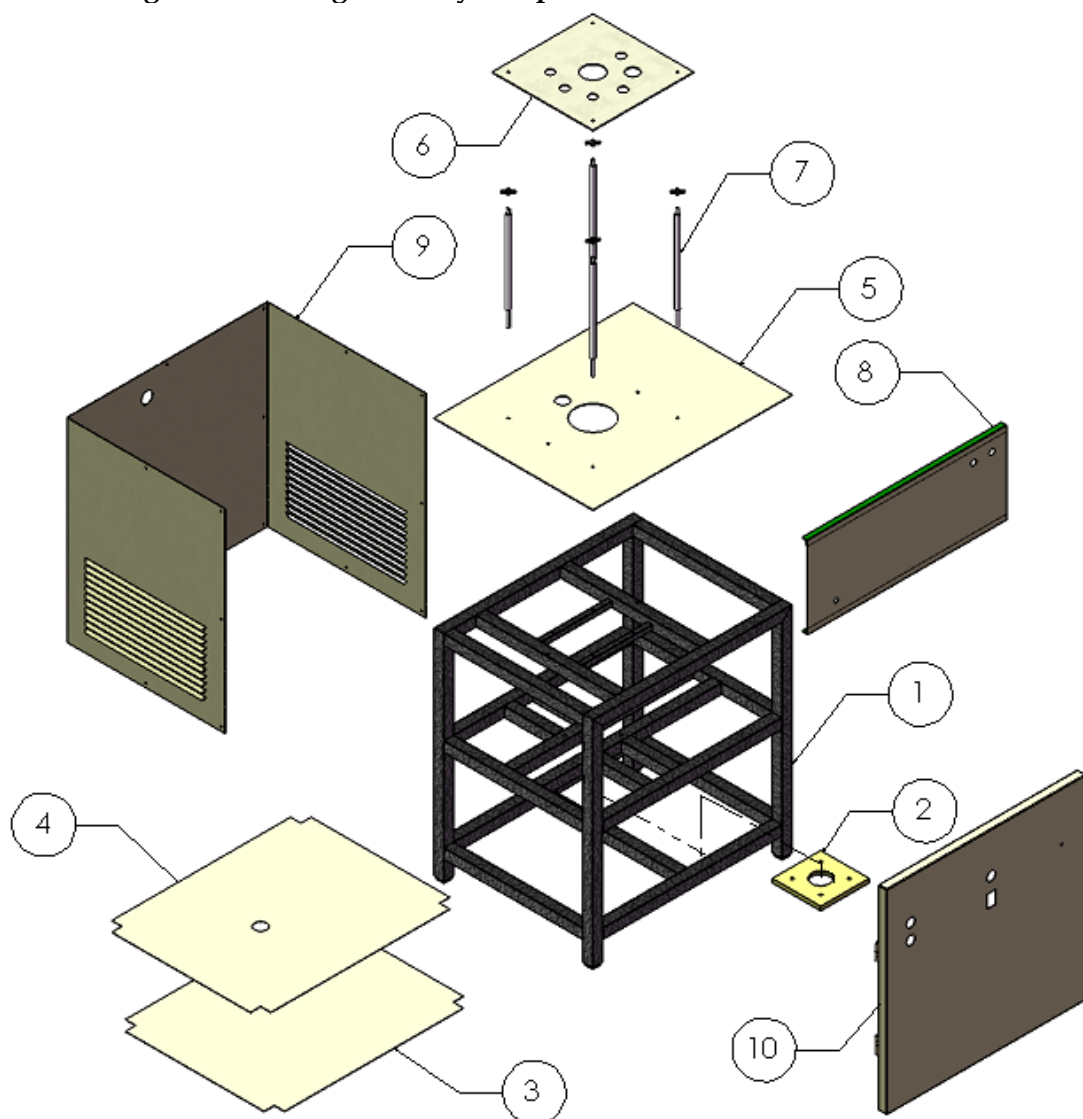
**Fuente: Autores**

A continuación se hace una descripción de los sistemas y partes constitutivas que la integran.

## 6.2.1 SISTEMA ESTRUCTURAL

Es el encargado de dar soporte a todos los componentes de la máquina, su componente más importante es la estructura tubular, esta es la encargada de absorber las cargas de todos los elementos. Entre los elementos que mayor carga y vibración imponen a la estructura esta el motorreductor, aunque este solo posee una masa de 7 Kg. En el siguiente gráfico se identifican los distintos componentes del sistema estructural.

Figura 36. Configuración y componentes del Sistema Estructural.



Fuente: Autores

- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| 1. Estructura Tubular.            | 6. Lámina de soporte del sistema porta pesos. |
| 2. Platina de fijación del motor. | 7. barras de soporte.                         |
| 3. Lámina de soporte del nivel 1. | 8. Lámina Porta Instrumentos.                 |
| 4. Lámina de soporte del nivel 2. | 9. Lámina Lateral.                            |
| 5. Lámina de soporte del nivel 3. | 10. Puerta.                                   |

## 6.2.2 SISTEMA DE CARGA Y POSICIÓN

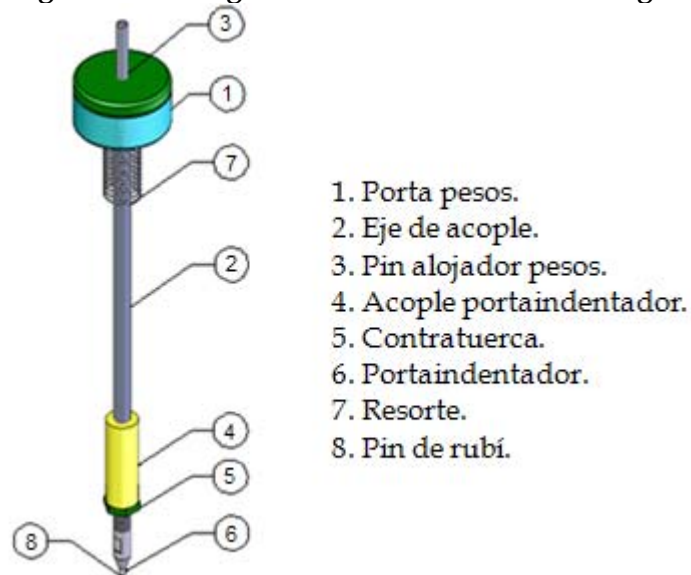
Este sistema está dividido en 2 subsistemas:

- Subsistema de carga.
- Subsistema de Posición.

### Subsistema de Carga

Este subsistema es el encargado de imponer una carga estática a la probeta por medio de un sistema porta-pesos localizado en su parte superior, este elemento debe poseer un resorte reposicionador que elimine el peso del mismo sistema para de esta forma poder iniciar las pruebas desde cero gramos. Este elemento posee una puntera intercambiable que se ajusta por medio de una contratuerca. A su vez la puntera aloja en su parte inferior al indentador, que es un pin de Rubí. Ver figura 37.

**Figura 37. Configuración del subsistema de carga.**

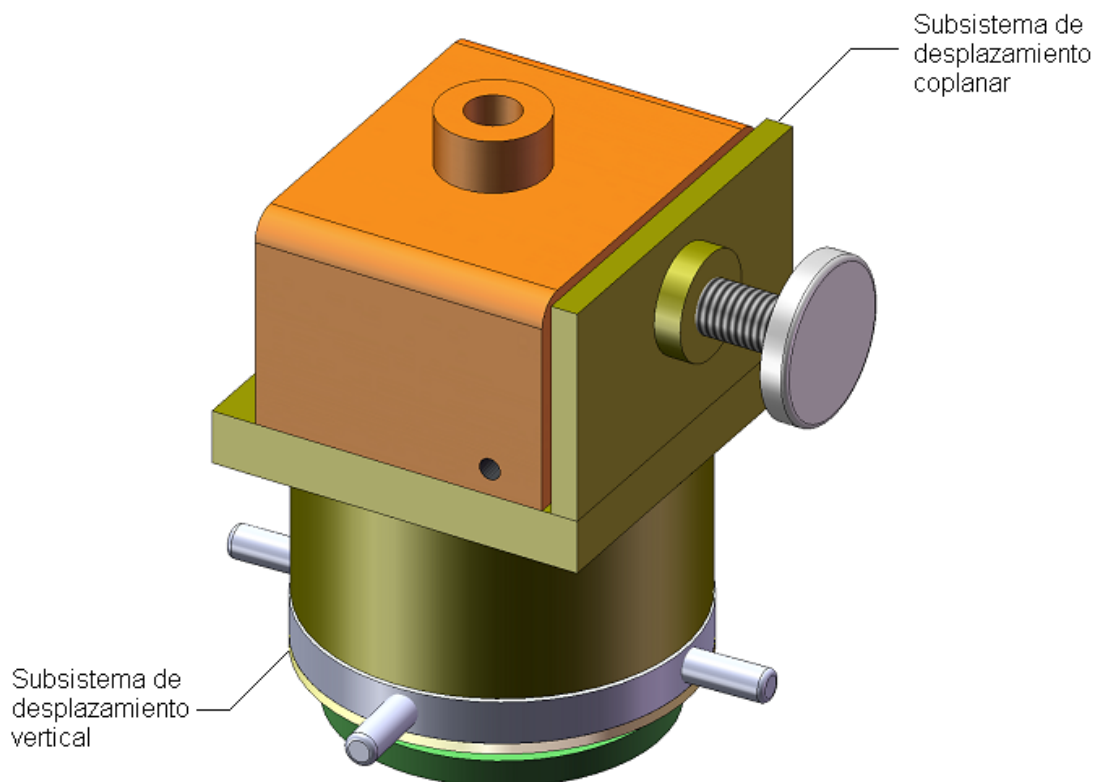


**Fuente: Autores.**

## Subsistema de Posición

Este es el encargado de variar el radio de rayado del pin, mediante un desplazamiento del sistema de carga en el plano de la probeta, por medio de una corredera que es deslizada por medio de una perilla, la corredera a su vez es asegurada por medio de un tornillo prisionero que se localiza en la parte inferior derecha de la cara frontal de la corredera. Este subsistema también se encarga de posicionar verticalmente la punta del indentador, por medio del giro de un dispositivo tornillo-tuerca, permitiendo que esta quede en contacto con la superficie de la probeta cuando aún no se han colocado cargas sobre el porta pesos y la punta no se encuentra tocando la probeta. La figura 48 nos permite observar un esquema general de este subsistema.

**Figura 38. Configuración del Subsistema de Posición.**

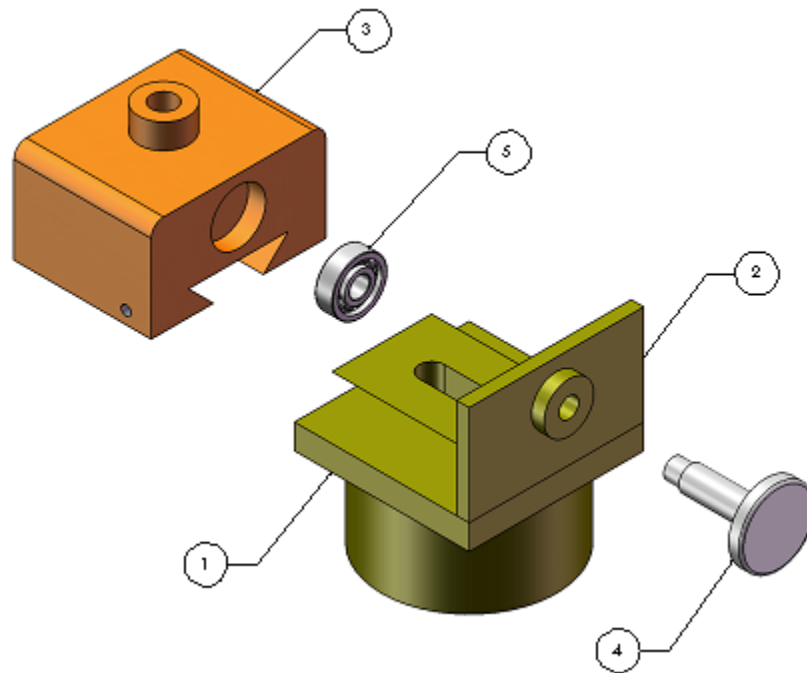


**Fuente: Autores.**

Como ya se menciono anteriormente este subsistema se divide en dos. A continuación en las figuras 39 y 40 se observan los componentes de cada uno de ellos.

- Subsistema de Desplazamiento Coplanar.

**Figura 39. Componentes del Subsistema de Desplazamiento Coplanar.**

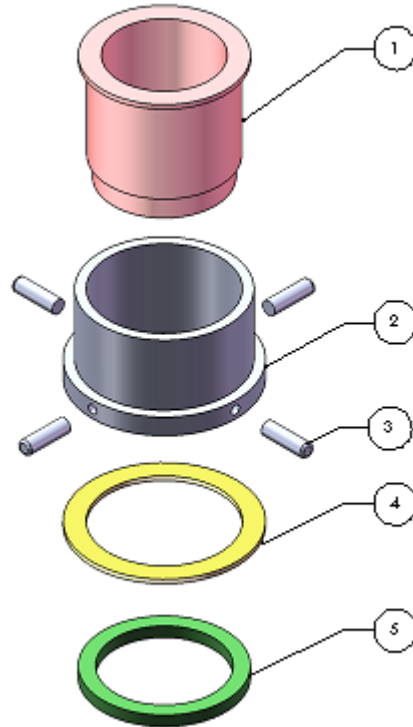


**Fuente: Autores.**

1. Soporte de la Corredera.
2. Soporte Lateral Corredera Inferior.
3. Corredera.
4. Tornillo deslizante de la Corredera.
5. Rodamiento Radial de Bolas.

➤ Subsistema de Desplazamiento Vertical.

**Figura 40. Componentes del Subsistema de Desplazamiento Vertical.**



**Fuente: Autores.**

1. Buje fijo.
2. Tuerca de Altura.
3. Pines de Giro.
4. Base de fricción.
5. Tuerca de Apriete.

### 6.2.3 SISTEMA DE LA CELDA ELECTROQUÍMICA

La función primordial de este sistema es el de recibir y enviar diferentes tipos de señales provenientes del potencióstato-galvanostato para un posterior análisis.

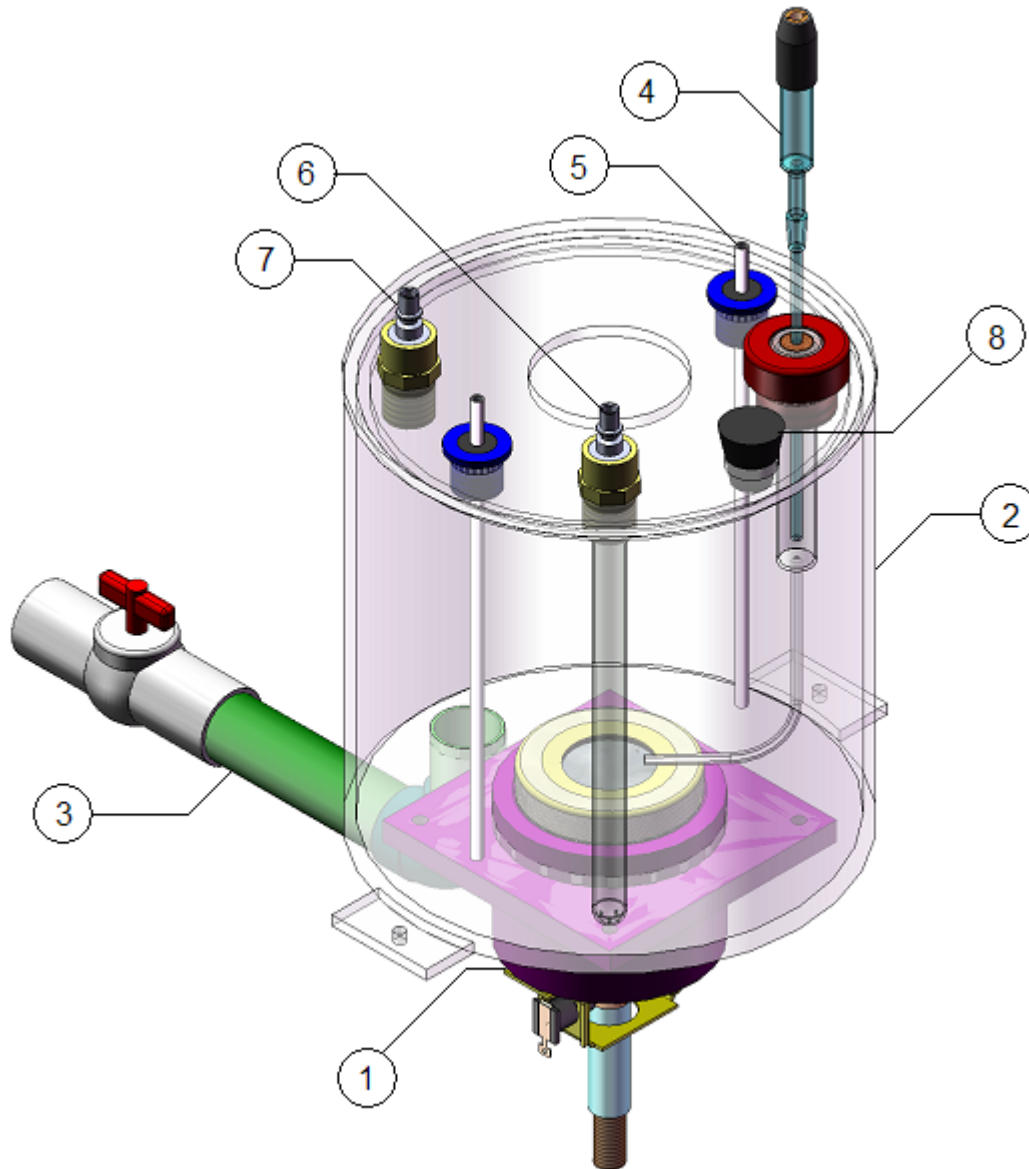
En el sistema de celda electroquímica se lleva a cabo un proceso de oxidoreducción, donde la probeta metálica actúa como ánodo y es la que experimenta la reacción de oxidación, esta asume un potencial que depende tanto de él, como de la solución donde se encuentra inmersa. Este potencial es conocido como potencial de corrosión ( $E_{OC}$ ). Como ya se había mencionado anteriormente, si la probeta metálica se encuentra en un potencial igual a  $E_{OC}$ , la oxidación y la reducción ocurren a la misma razón, por lo cual las corrientes de oxidación ( $I_{OX}$ ) y de reducción ( $I_{RE}$ ) tienen igual magnitud, y por lo tanto la corriente total ( $I_{TOT}$ ) es igual a cero.

Este sistema consta de tres tipos de electrodos: Electrodo de trabajo (Probeta), Electrodo de Referencia y Electrodo Auxiliar o Contraelectrodo, los cuales se encuentran inmersos en una solución que actúa como electrolito y en la cual ocurre el proceso de oxidoreducción capaz de generar una corriente eléctrica. Por medio del potencióstato-galvanostato se impone a la probeta metálica un potencial con respecto al electrodo de referencia, además este debe medir la corriente electrolítica que pasa a través de la celda y de esta forma poder caracterizar el comportamiento del metal ante la corrosión, la función del electrodo auxiliar o contraelectrodo es la permitir cerrar el circuito de la celda.

En la figura 41 se puede observar un esquema general con las partes más importantes del sistema de la celda electroquímica.

Uno de los componentes más importantes de este sistema es el conjunto porta probeta, ya que este es el encargado de brindar soporte a la probeta, a su vez que debe garantizar la conexión eléctrica entre el potencióstato-galvanostato y la probeta misma. Puesto que este componente debe estar en movimiento rotacional constantemente para garantizar el rayado circular de la probeta impuesto por el pin indentador, se debe asegurar la conexión eléctrica de estos elementos mediante un sistema de porta escobillas, el cual se encuentra en contacto eléctrico con un buje de fricción del eje conductor, donde dicho eje es el encargado de acoplar el porta probeta y el eje del motorreductor.

Figura 41. Configuración del sistema de Celda Electroquímica.

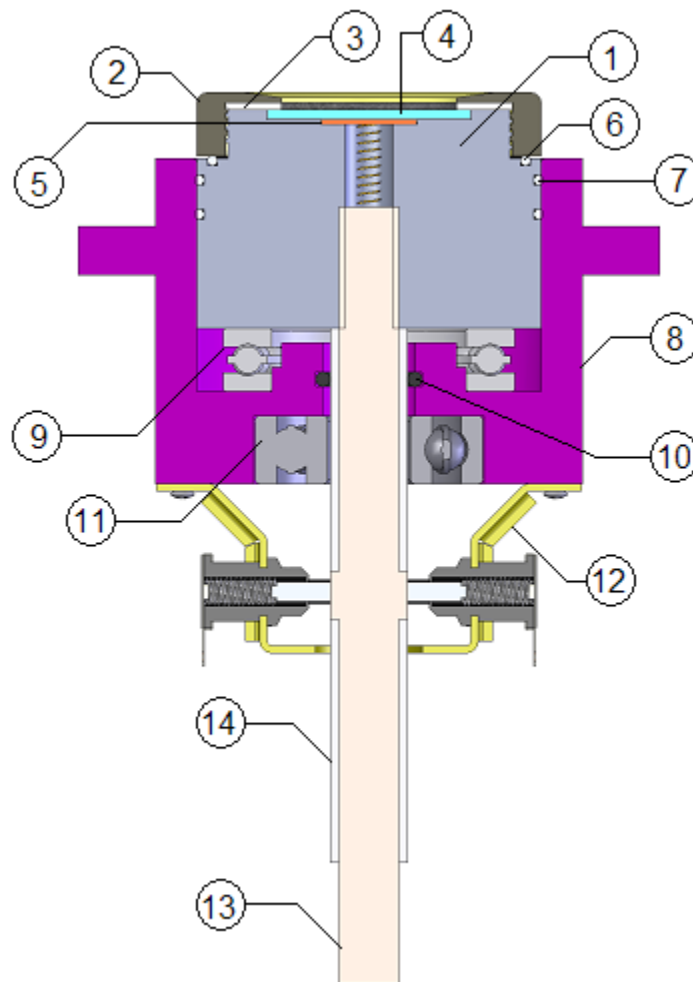


Fuente: Autores.

- |                              |                         |
|------------------------------|-------------------------|
| 1. Subsistema Porta probeta. | 5. Contraelectrodo.     |
| 2. Tanque.                   | 6. Entrada de gases.    |
| 3. Desagüe.                  | 7. Salida de gases.     |
| 4. Electrodo de referencia.  | 8. Entrada de líquidos. |

Todo el conjunto porta probeta descansa sobre la superficie interna de la Brida, la cual va unida a la estructura en el nivel 3. Para eliminar la fricción existente entre la superficie inferior del porta probeta que se encuentra en movimiento rotacional y la brida fija a la estructura, se coloca un rodamiento axial de bolas de simple efecto entre estos dos elementos. Unos de los elementos críticos en este conjunto son los O-ring localizados en la superficie lateral superior del porta probeta, quienes junto con la aplicación de una grasa de alta temperatura impiden la filtración de los fluidos corrosivos al interior del porta probeta, frenando así el deterioro de los rodamientos y la posible corrosión del buje de fricción del eje conductor. En la figura 42 se pueden observar las partes que componen el subconjunto Porta probeta.

**Figura 42. Componentes del subconjunto Porta probeta-Brida.**



**Fuente: Autores.**

- |                                  |   |
|----------------------------------|---|
| 1. Porta probeta.                | 9. Rodamiento axial de bolas de simple efecto.    |
| 2. Tapa rosca del porta probeta. | 10. O-ring Brida-eje                              |
| 3. Empaque superior.             | 11. Rodamiento radial de bolas.                   |
| 4. Probeta.                      | 12. Porta Escobillas.                             |
| 5. Contactor metálico-Resorte.   | 13. Eje conductor de potencia motriz y eléctrica. |
| 6. O-ring Porta probeta-Tapa.    | 14. Cubierta dieléctrica del eje.                 |
| 7. O-ring Porta probeta-Brida.   |   |
| 8. Brida.                        |   |

#### 6.2.4 SISTEMA ELÉCTRICO Y DE POTENCIA

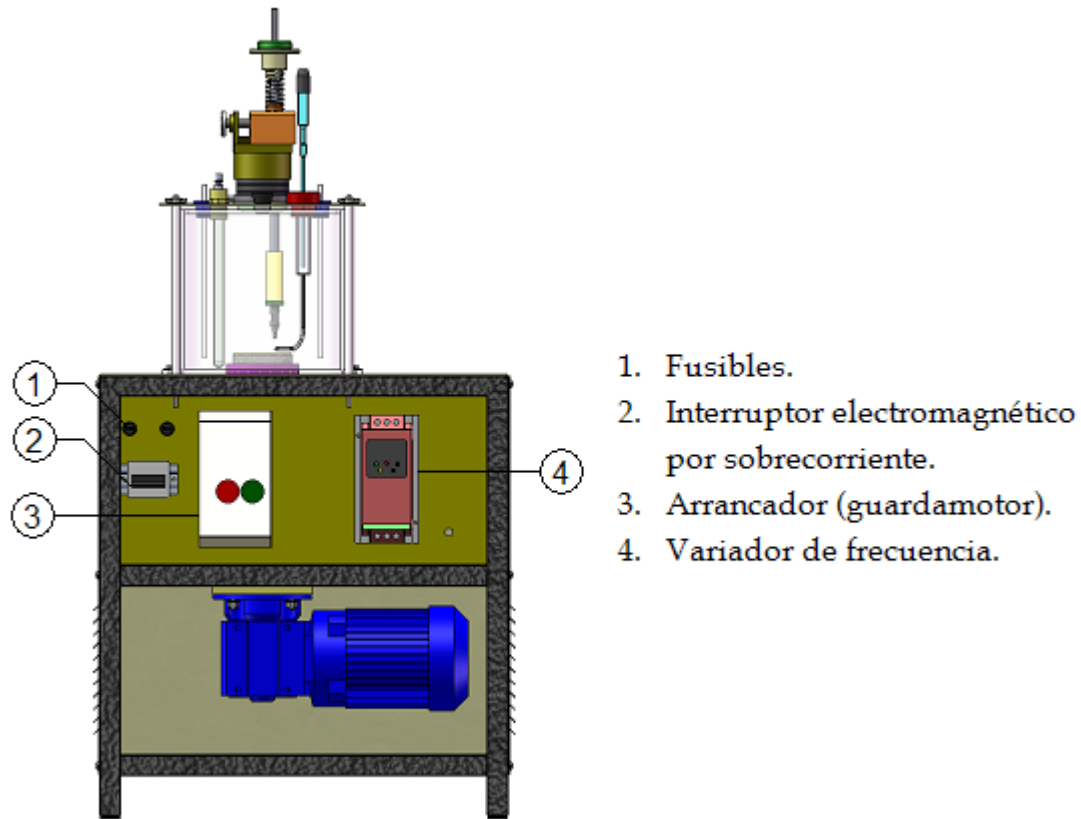
Las pruebas que se llevarán a cabo mediante el tribómetro<sup>1</sup> exigen que la velocidad rotacional a la que se mueve la probeta pueda ser variada en un rango de 0 a 100 rpm. En vista de esto la máquina dispone de un sistema que consta de un motorreductor a velocidad constante, en el cual su velocidad de salida es controlada por medio de un variador de frecuencia, que permite cambiar la velocidad de salida, dependiendo de la prueba a realizar. Estos elementos están conectados a un arrancador y aun interruptor electromagnético, los cuales permiten el encendido y apagado del sistema de potencia, además de protegerlo de posibles aumentos en los valores de tensión y de corriente.

Tanto el variador de frecuencia como el arrancador se encuentran fijos a una lámina porta instrumentos, que está ubicada en el segundo nivel de la estructura (ver figura 43). En el panel frontal de la puerta de la máquina se encuentran los diferentes controles que permiten encender y apagar el equipo, además de un selector que permite escoger las velocidades de operación (ver figura 44). Para poder imponer los diferentes potenciales al electrodo de trabajo (probeta), y censar las corrientes electrolíticas que pasan a través de la celda, se dispone de una serie de conexiones eléctricas que se originan en cada uno de los electrodos (Electrodo de trabajo, Electrodo de referencia y contra electrodos) y de allí a unas borneras localizadas en el panel frontal del potencióstato-galvanostato. En la figura 45 se observa un esquema de esta configuración.

---

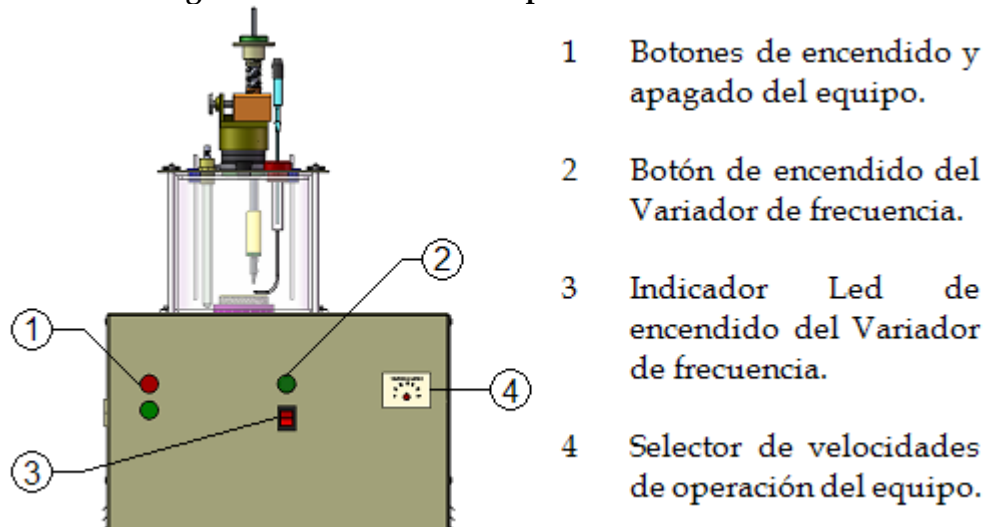
<sup>1</sup> Tribómetro es el nombre correspondiente para dispositivos usados en pruebas de desgaste-corrosión.

Figura 43. Ubicación de los componentes eléctricos.



Fuente: Autores.

Figura 44. Distribución del panel frontal de control.



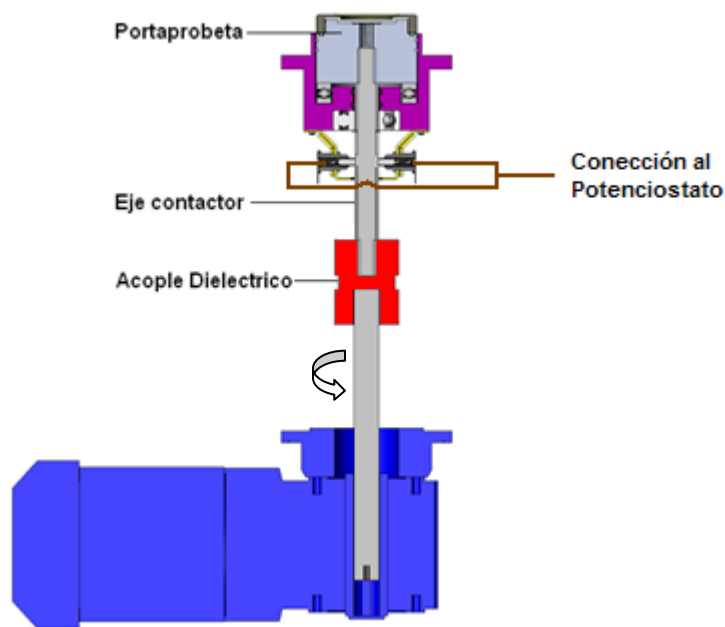
Fuente: Autores.



El eje contactor porta escobillas debe permitir la conducción eléctrica entre el potencióstato-galvanostato y la probeta solo en el área de contacto entre los carbones del porta escobillas y el eje contactor, por lo tanto el excedente de área del eje contactor es recubierto con un material aislante que además impide el contacto de este eje con la atmosfera, permitiendo de esta forma que solo la corrosión ocurrida en la probeta por la solución electrolítica y no otra proveniente de la corrosión atmosférica sea la censada por los instrumentos.

La figura 47 muestra este tipo de configuración.

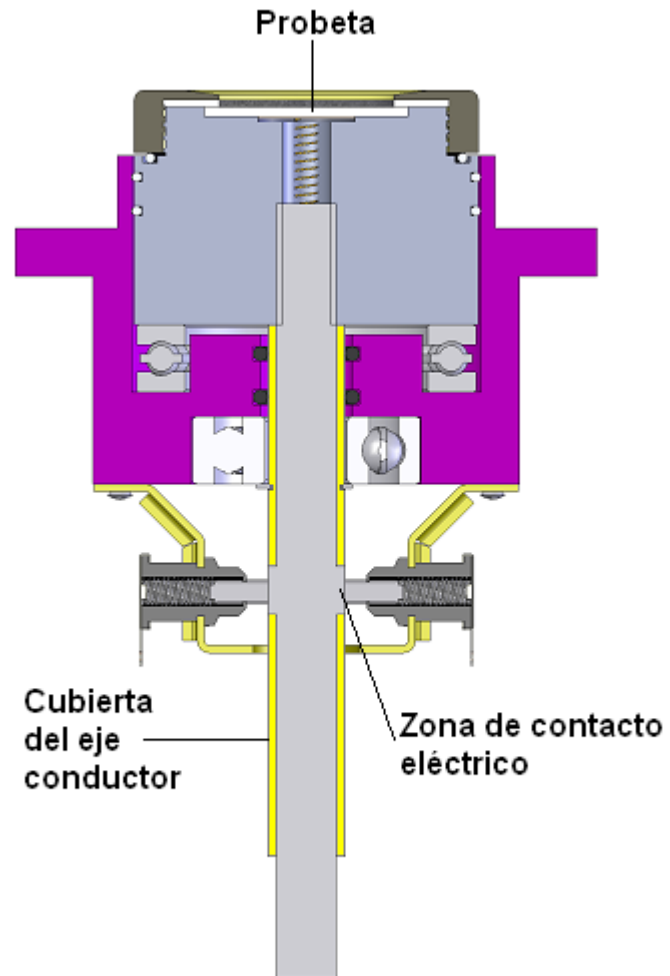
**Figura 46. Método de transmisión del movimiento rotacional y aislamiento eléctrico.**



**Fuente: Autores.**

Tanto el porta probeta como la tapa del porta probeta son construidas en materiales dieléctricos para permitir la optima conducción eléctrica entre la probeta y el potencióstato-galvanostato mediante el resorte-contacto metálico, el eje contactor y el porta escobillas.

Figura 47. Configuración del Eje contactor Porta escobillas.



Fuente: Autores.

## 6.3 DISEÑO Y SELECCIÓN

Con base en las anteriores descripciones y requerimientos de construcción, además teniendo en cuenta algunas especificaciones técnicas de construcción mencionadas en la norma ASTM G 99- 95<sup>a</sup> (2000) (ver anexo D) se procede a diseñar y seleccionar cada una de las partes que integran cada sistema. Para el análisis de diseño que se llevará a cabo, se utilizará como herramienta computacional el paquete CAD-CAE Solid Works-Cosmos Works.

### 6.3.1 ESTRUCTURA TUBULAR

La estructura debe satisfacer la necesidad de mantener en su lugar los sistemas que integran la máquina a pesar de los diferenciales de fuerza que se crean cuando la maquina está en funcionamiento.

La estructura cuenta con tres diferentes niveles, los cuales dan soporte a los siguientes sistemas:

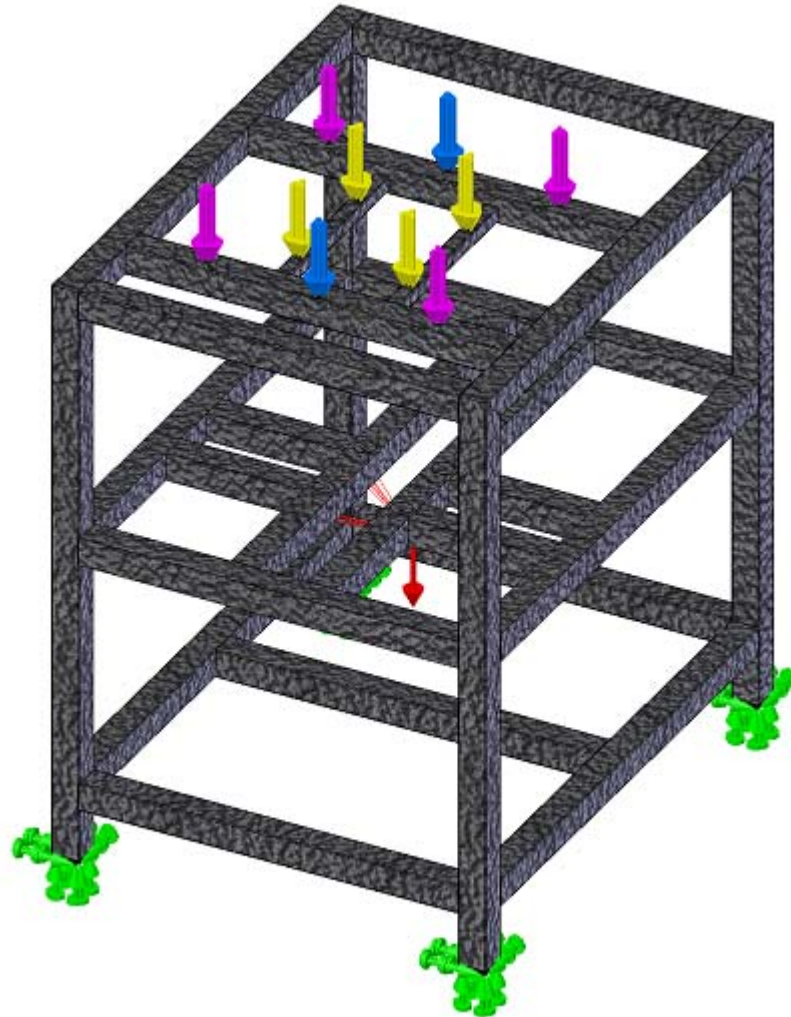
- Nivel 1: Este no soporta ningún tipo de carga, su función junto con el nivel 2 es la de servir de recinto para el motorreductor y con los demás niveles permitir la colocación de la puerta, láminas de ventilación laterales y lámina posterior.
- Nivel 2: Aunque la carga que soporta es baja, esta es la de mayor magnitud y corresponde al peso del motorreductor. Para anclar rígidamente el motorreductor se utiliza una platina, que va soldada a la estructura, de esta forma el motorreductor es fijado a este par de piezas por media de 4 pernos.
- Nivel 3: Los perfiles tubulares que componen este nivel soportan la carga impuesta por todo el peso del sistema de la celda electroquímica: El tanque con fluido, el sistema porta pesos, el sistema de posición del pin y el conjunto porta probeta.

Teniendo en cuenta la magnitud de las cargas impuestas por estos elementos, un perfil cuadrado de 1 pulgada calibre 1 mm AISI 1020 junto con un perfil cuadrado de media pulgada calibre 1 mm AISI 1020 usado para el soporte del sistema porta probeta, localizado en el nivel 3, brindan la resistencia y rigidez suficiente para garantizar una excelente integridad estructural.

En cuanto a las uniones soldadas, estas son realizadas utilizando soldadura tipo Tig 6013 bajo atmosfera de argón con un aporte inoxidable tipo 308.

A continuación en la figura 48 se muestra el modelo en CAD junto con la distribución de las cargas sobre la estructura.

**Figura 48. Distribución de las cargas sobre la estructura tubular.**



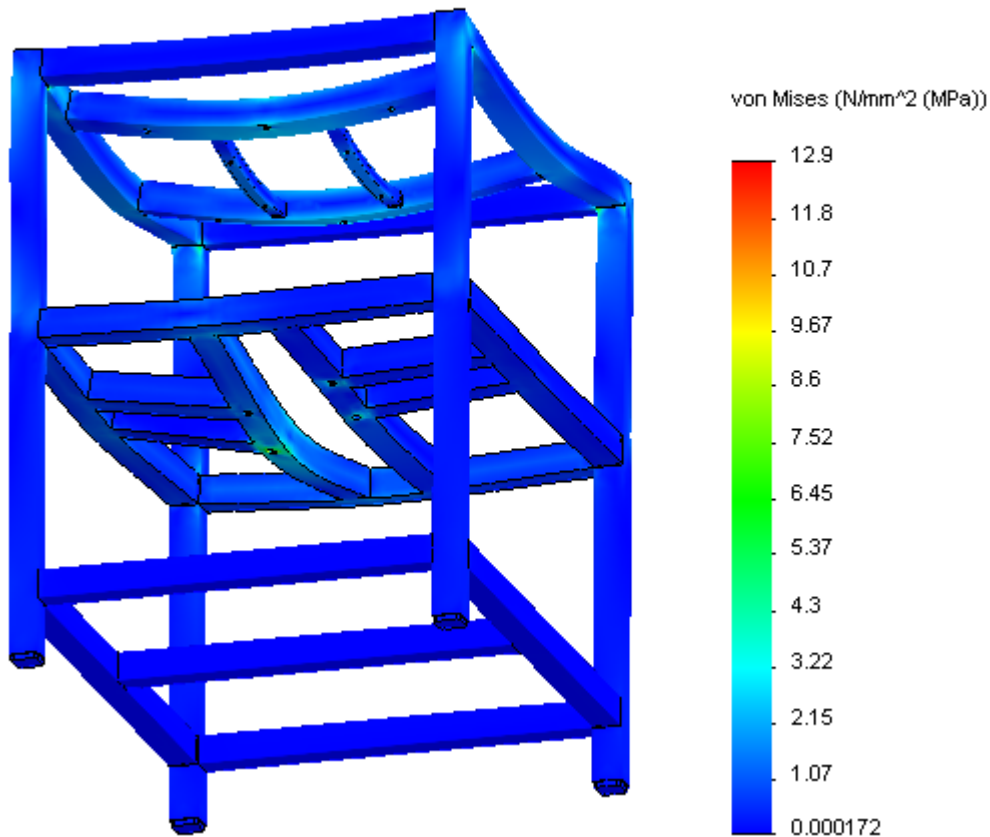
- Carga impuesta por el Tanque lleno de líquido: 10 lb.
- Carga impuesta por el sistema porta pesos: 12 lb.
- Carga impuesta por el sistema porta probeta: 10 lb.
- Carga impuesta por el Motorreductor: 18 lb.
- Reacciones en los soportes .

**Fuente: Autores.**

En seguida se procede a realizar el análisis de esfuerzos teniendo en cuenta que el material usado en la estructura es dúctil, y además la misma se encuentra bajo cargas estáticas, por lo tanto la teoría de la distorsión de la energía o teoría de VON MISES<sup>1</sup> es la que prevé con mayor precisión las fallas inminentes. Como se había mencionado anteriormente se utiliza el programa Cosmos Works 2007 por su facilidad y confiabilidad en cuanto a sus resultados arrojados. En la figura 49 se observa el grafico de resultados del análisis de esfuerzos.

**Figura 49. Grafica de análisis de esfuerzos de la estructura.**

Nombre de modelo: Analisis Estatico Estructura  
Nombre de estudio: Analisis Estatico  
Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1  
Escala de deformación: 1947.43



**Fuente: Autores.**

---

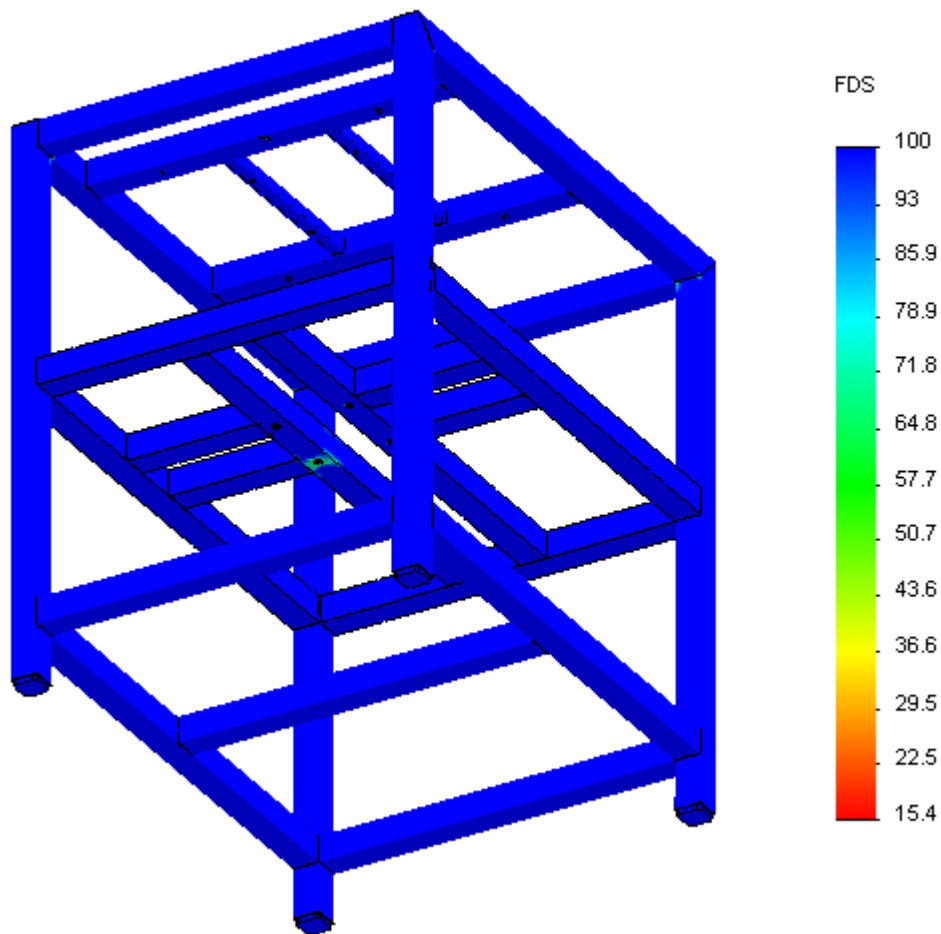
<sup>1</sup> Teoría de von Mises o teoría Mises Hencky, ofrece una proyección muy precisa de fallas en materiales dúctiles que se someten a la acción de cargas estáticas, tensiones combinadas, tensiones por esfuerzo de corte, o bien tensiones normales inversas por completo.

Como se observa en la grafica de análisis de esfuerzos, el esfuerzo máximo se presenta donde se acopla el Motorreductor y presenta un valor de 12,9 Mpa el cual está muy por debajo del límite de fluencia del acero AISI 1020, el cual es de 351,571 Mpa, por lo tanto se concluye que la estructura es segura.

A continuación en la figura 50 se observa la distribución del factor de seguridad sobre la estructura.

**Figura 50. Distribución del factor de seguridad sobre la estructura.**

Nombre de modelo: Analisis Estatico Estructura  
Nombre de estudio: Analisis Estatico  
Tipo de resultado: Verificación de diseño Verificación de diseño1  
Criterio: Tensiones von Mises máx.  
Distribución de factor de seguridad: FDS mín. = 15



Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta las propiedades mecánicas del Acero AISI 1020 y algunos valores arrojados por el software, podemos utilizar la ecuación N° (1) para encontrar el factor de seguridad.

$S_y$ : 351,571 Mpa.

$\sigma'$ : 22,81 Mpa<sup>1</sup>.

Según la teoría de diseño escogida el factor de seguridad se encuentra a partir de:

$$N = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (1)$$

Donde  $\sigma'$  = Tensión de VON MISES, la cual se encuentra utilizando el círculo de Mohr para determinar las dos tensiones principales.

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - (\sigma_1 * \sigma_2))}$$

Entonces tenemos:

$$N = \frac{351,571 \text{ Mpa}}{22,81 \text{ Mpa}}$$

$$N = 15,413$$

De acuerdo a las recomendaciones tomadas en el libro de Mott en cuanto al factor de seguridad para estructuras estáticas construidas con materiales dúctiles con alto grado de confianza en el conocimiento de las propiedades del material, magnitud de las cargas y grado en que resulta el análisis de tensión, se utiliza  $N = 2$ . Por lo tanto ya que el factor de seguridad arrojado en el análisis es de 15, la estructura es segura.

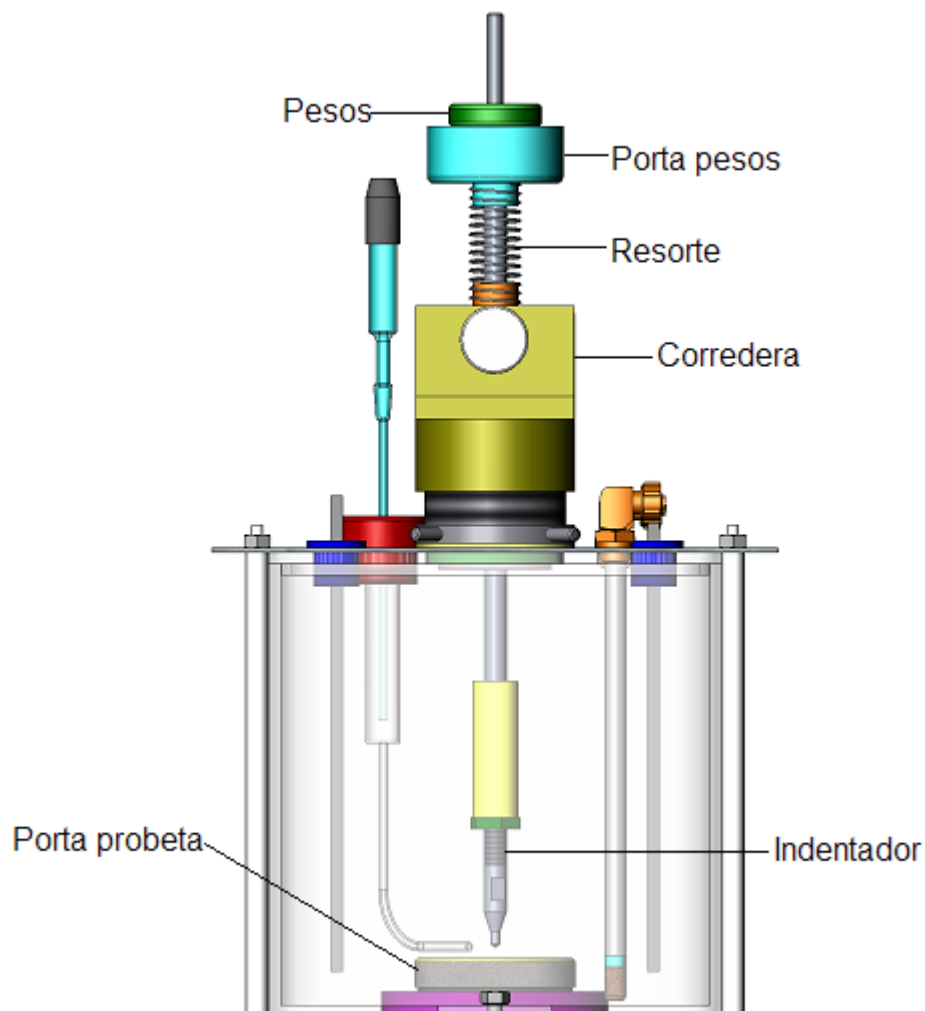
---

<sup>1</sup> Valor de la tensión de VON MISES arrojado por Cosmos Works 2007.

### 6.3.2 RESORTE REPOSICIONADOR DEL SISTEMA DE CARGA

La función primordial de este resorte es contrarrestar el peso mismo del sistema de carga, con el fin de permitir que la superficie de la probeta no esté cargada inicialmente, y de esta forma garantizar que la carga aplicada a la probeta provenga solamente de los pesos que se colocan y no de la carga adicional originada por el peso mismo del porta pesos. En la figura 51 se observa la ubicación de este resorte entre el sistema porta pesos y la corredera de posicionamiento coplanar.

Figura 51. Ubicación del resorte reposicionador del sistema de carga.



Fuente: Autores.

Para la selección de este resorte se tienen en cuenta los siguientes parámetros geométricos.

- Diámetro interior: Este debe tener como mínimo 20 mm, ya que es el diámetro exterior del collar de alojamiento del resorte que posee tanto la corredera en su parte superior, como el porta pesos en su parte inferior.
- La punta del indentador debe quedar a una distancia de 20 mm de la superficie de la probeta cuando no se tiene carga, permitiendo así la maniobrabilidad en el intercambio de probetas. De esta forma de acuerdo a los requerimientos geométricos del sistema porta pesos, la longitud de operación del resorte debe ser aproximadamente de 50 mm.

### Consideraciones y datos de diseño

- La carga de operación es debida al peso total del sistema porta pesos y a una carga máxima de prueba de 100 grs.  
 $F_o = 1.030,32 \text{ grs} \approx 2,267 \text{ Lb}$ .
- Debido a que la magnitud de la carga de operación es baja y el tamaño del resorte es pequeño el material utilizado para su fabricación es alambre para instrumentos musicales ASTM A228.
- $D_m$  (Diámetro medio) = 23 mm  $\approx 0,9055$  pulg.
- Teniendo en cuenta la lista de calibres presentada en la tabla del anexo E, y a su disposición en el mercado, se selecciona un alambre calibre 15 con un  $D_w$  (Diámetro de la espira) = 0,072 pulg  $\approx 1,8288$  mm.
- Tipo de tratamiento en los extremos: Debido a su simplicidad se elige Extremos en bruto lijados.
- $N_t$  (Número total de bobinas) = 12.

### Cálculos

Las notaciones para diámetros, longitudes y fuerzas en resortes se muestran en el anexo F.

- $S_{ut}$ : Resistencia mínima a la tensión.

$$S_{ut} = \frac{A}{D_w^2}$$

Para evaluar las constantes A y m se remite a la tabla del anexo G (tabla de constantes para calcular resistencias de tensión mínimas de los aceros comunes para resortes) y tenemos:

$$A = 186.000 \text{ psi.}$$

$$M = 0,163.$$

$$\text{Reemplazando tenemos: } S_{ut} = \frac{186.000}{0,0625^{0,163}}$$

$$S_{ut} = 292.270,1762 \text{ psi.}$$

➤  $\tau_{adm}$ : Esfuerzo torsional máximo permisible para aplicaciones estáticas.

$$\tau_{adm} = 0,45 * S_{ut}$$

$$\tau_{adm} = 0,45 * 292.270,1762$$

$$\tau_{adm} = 131.521,5793 \text{ psi.}$$

➤  $k$ : Razón del resorte.

$$k = \frac{D_w^4 * G}{8 * D_m^3 * N_a}$$

G = modulo de elasticidad de alambre para resortes. De acuerdo a la tabla mostrada en el anexo H, el valor de G del Alambre para instrumentos musicales ASTM A228 es de:  $11,85 \times 10^6$  psi.

$N_a$  = Número de espiras activas. Teniendo en cuenta que el tratamiento que se le realiza a los extremos del resorte es extremos en bruto lijados, el número de espiras activas es:

$$N_a = N_t - 1 = 12 - 1 = 11$$

Reemplazando estos valores tenemos.

$$k = \frac{0,072^4 * 11,85 \times 10^6}{8 * 0,9055^3 * 11}$$

$$k = 4,8742 \text{ Lb/pulg.}$$

➤ C: Índice del resorte.

$$C = \frac{D_m}{D_w}$$

$$C = \frac{0,9055}{0,072}$$

$$C = 12,5764$$

Se recomienda que el valor de C sea mayor de 5, por lo tanto este valor es adecuado.

➤ K: Factor de Wahl.

$$K = \frac{4 * C - 1}{4 * C - 4} + \frac{0,615}{C}$$

$$K = \frac{(4 * 12,5764) - 1}{(4 * 12,5764) - 4} + \frac{0,615}{12,5764}$$

$$K = 1,1137$$

Con estos valores se procede a calcular el esfuerzo o tensión del resorte bajo la carga de operación, que como se mencionó anteriormente es la carga impuesta por el sistema porta pesos y un peso de 100 gramos.

➤  $\tau_o$ : Esfuerzo de operación.

$$\tau_o = \frac{8 * K * F_o * C}{\pi * D_w^2}$$

$$\tau_o = \frac{8 * 1,1137 * 2,267 * 12,57}{\pi * 0,072^2}$$

$$\tau_o = 15.589,4265 \text{ psi.}$$

Puesto que el esfuerzo de operación está muy por debajo del esfuerzo torsional máximo permisible para aplicaciones estáticas, el resorte es seguro en cuanto a resistencia. A continuación se calcula el valor de la deflexión del resorte bajo la carga de operación.

Si:  $F_o = k * (L_f - L_o) = k * \Delta y$  ; Donde  $\Delta y$  es la deflexión, se tiene:

$$\Delta y = \frac{F_o}{k}$$

$$\Delta y = \frac{2,2667}{4,8742}$$

$$\Delta y = 0,4650 \text{ pulg} = 11,8120 \text{ mm} \approx 12 \text{ mm.}$$

De acuerdo con las consideraciones y datos de diseño, la longitud de operación debe ser de:

$$L_o = 50 \text{ mm}$$

De esta forma el valor de la longitud libre del resorte corresponde a:

$$L_f = L_o + \Delta y$$

$$L_f = 50 + 12$$

$$L_f = 62 \text{ mm} = 2,4409 \text{ pulg.}$$

A continuación se halla la longitud comprimida para calcular la fuerza máxima que se observa en el resorte, y luego con este valor encontrar la tensión o esfuerzo en longitud comprimido.

- $L_s$ : longitud totalmente comprimido
- $F_s$ : Fuerza máxima presente en longitud comprimida.
- $\tau_s$ : Esfuerzo o tensión en longitud comprimida.

$$L_s = D_w * N_t$$

$$L_s = 0,072 * 12$$

$$L_s = 0,864 \text{ pulg} = 21,9456 \text{ mm.}$$

$$F_s = k * (L_f - L_s)$$

$$F_s = 4,8742 * (2,4409 - 0,864)$$

$$F_s = 7,6861 \text{ Lb.}$$

$$\tau_s = \frac{8 * K * F_s * C}{\pi * D_w^2}$$

$$\tau_s = \frac{8 * 1,1137 * 7,6861 * 12,5764}{\pi * 0,072^2}$$

$$\tau_s = 52.881,7372 \text{ psi.}$$

Puesto que el esfuerzo que se presenta en la longitud solida es menor que el esfuerzo torsional máximo permisible para aplicaciones estáticas, el resorte es seguro cuando se da la fuerza máxima.

De acuerdo a los valores obtenidos la geometría del resorte queda definida de la siguiente manera:

$D_m$ : diámetro medio

$D_i$ : diámetro interno

$D_o$ : diámetro externo

$$D_m = 23 \text{ mm} \approx 0,9055 \text{ pulg.}$$

$$D_i = D_m - D_w = 0,9055 - 0,072 = 0,8335 \text{ pulg} \approx 21,1709 \text{ mm.}$$

$$D_o = D_m + D_w = 0,9055 + 0,072 = 0,9775 \text{ pulg} \approx 24,8285 \text{ mm.}$$

### 6.3.3 CONJUNTO BRIDA PORTA PROBETA

Como se había mencionado en capítulos anteriores el porta probeta es el elemento que alberga la muestra metálica que experimentara el fenómeno de desgaste-corrosión, luego para generarse la trayectoria de rayado sobre la probeta por parte del indentador el porta probeta debe girar sobre el elemento que lo contiene, que en este caso es la brida. Por lo tanto debido al movimiento relativo existente entre estas piezas, es necesario garantizar un margen para su ajuste.

En cuanto a los materiales de construcción de estas piezas, estos son seleccionados de acuerdo a la función y localización de los mismos en la celda electroquímica de la siguiente manera:

- BRIDA: Debido a que la parte superior de esta se encuentra en contacto directo con el fluido corrosivo, y además las posibles filtraciones internas entre las dos piezas, exigen que el acero inoxidable AISI 304 sea el más adecuado para su construcción.
- PORTA PROBETA: El material de construcción de este elemento no debe reaccionar químicamente ante la solución corrosiva, permitiendo de esta forma, que solo la superficie superior de la probeta sea la única que experimente el fenómeno de la oxidación, a su vez debe también poseer propiedades dieléctricas que permitan la optima conducción eléctrica entre el potencióstato - galvanostato y la probeta.

Puesto que debe existir una separación o claro para realizar el ajuste entre estas dos piezas, la designación de ajuste de separación estándar del *standard ANSI B4.1* para piezas que deben moverse juntas (Anexo I), es el ajuste para deslizamiento o corrimiento (RC).

Teniendo en cuenta que el equipo funcionará durante largos periodos de tiempo y además deben evitarse al máximo las filtraciones entre estas dos piezas, un *ajuste para deslizamiento o corrimiento medio (RC7)* en el cual existe un movimiento relativo confiable bajo variaciones amplias de temperatura, resultará satisfactorio para esta aplicación.

Utilizando como diámetro nominal  $D_{nom} : 71 \text{ mm} = 2,8 \text{ pulg}$ , y a partir de la tabla del Anexo I (ajustes de holgura) utilizando el sistema básico para orificios, los límites de tolerancia para la brida (orificio) son:

$$2,8 + 0,0018 = 2,8018 \text{ pulg. (Agujero máximo)}$$

$$2,8 + 0,0000 = 2,8 \text{ pulg. (Agujero mínimo)}$$

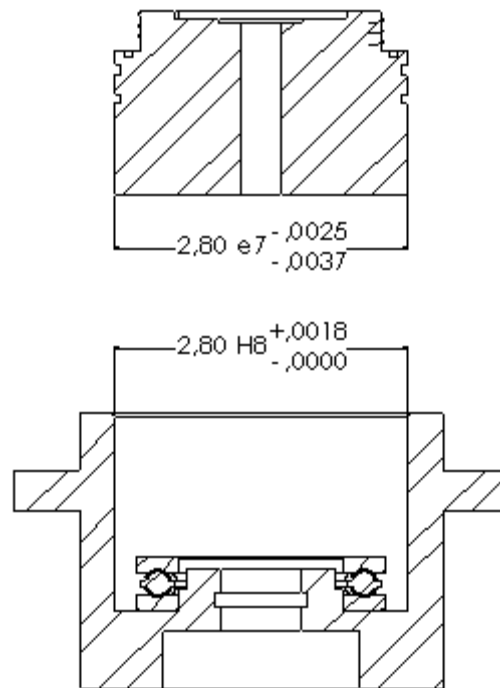
Los límites de tolerancia para el porta probeta (eje) son:

$$2,8 - 0,0025 = 2,7975 \text{ pulg. (Eje máximo)}$$

$$2,8 - 0,0037 = 2,7963 \text{ pulg. (Eje mínimo)}$$

La figura 52 ilustra estos resultados.

**Figura 52. Límites de tolerancia para el porta probeta y para la brida.**



**Fuente: Autores.**

Los valores de las holguras corresponden a:

$$\text{Holguras} \begin{cases} \text{Máxima: } 2,8018 - 2,7963 = 0,0055 \text{ pulg.} \\ \text{Mínima: } 2,8 - 2,7975 = 0,0025 \text{ pulg.} \end{cases}$$

Estos valores coinciden con los límites de holgura dados en la tabla del anexo I.

### 6.3.4 CALCULO Y SELECCIÓN DEL MOTORREDUCTOR

Para la selección de la fuente de potencia motriz se deben tener en cuenta diversos parámetros tales como la velocidad, el torque de trabajo, la posición de montaje del motor, tiempo de trabajo y oferta comercial local.

#### *Velocidad del Motor*

En el inciso 5.2 de la norma ASTM G 99-95a 2000 (ver anexo D) se recomienda utilizar un motor de velocidad variable, el cual permita la selección de velocidades en un rango de 3 a 30 rpm, pero en vista que la máquina para pruebas de desgaste-corrosión es operada en condiciones diferentes a las máquinas tipo pin sobre disco, y además para ampliar el nivel de utilización de este dispositivo, el rango de velocidad que se utilizara es de 0 a 100 rpm.

Por lo tanto la velocidad máxima crítica de operación es de:

$$V_{\text{operación}} = 100 \text{ rpm}$$

#### *Torque de Trabajo*

En lo referente al torque total de trabajo, este es generado por el torque que realizan las cargas más el torque inercial del sistema.

$$T_{\text{Total}} = T_w + T_I$$

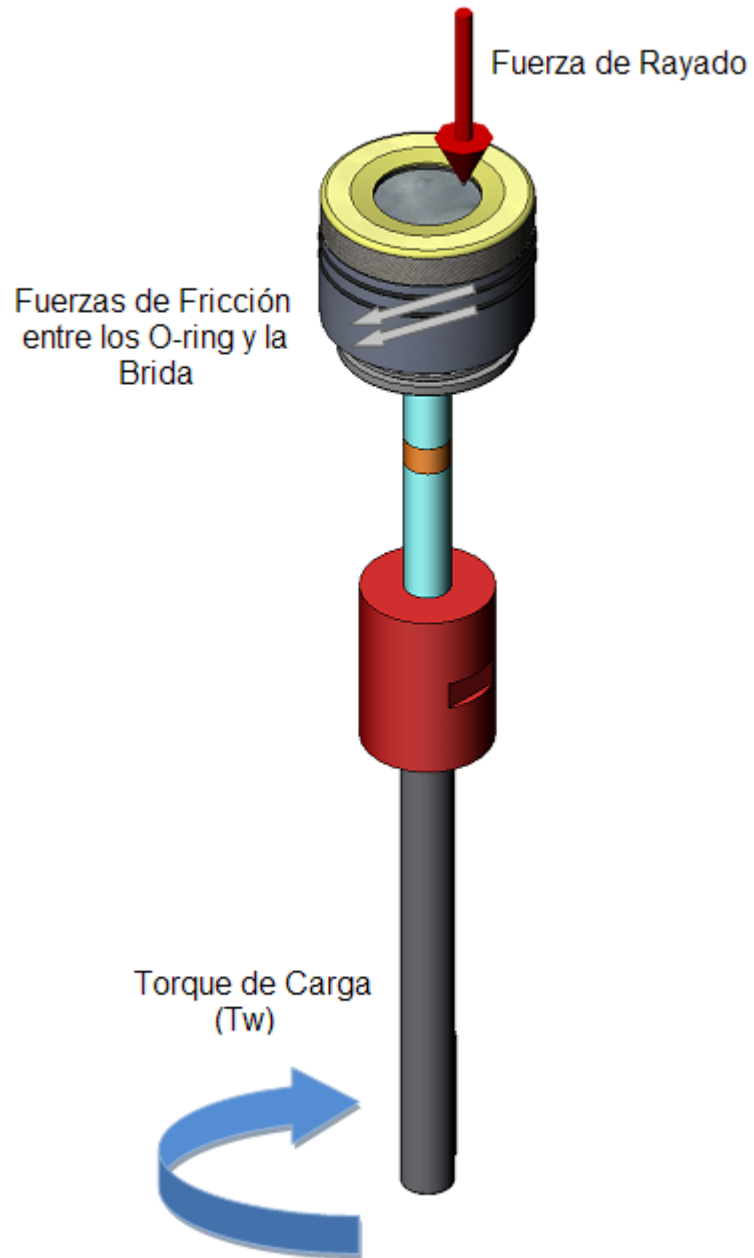
El torque de carga es generado por diferentes fuerzas así:

- La fuerza de rayado entre el indentador y la superficie de la probeta.
- La fuerza de fricción generada entre los O-ring del porta probeta y la superficie interna de la brida.

En la figura 53 se observa la distribución de las fuerzas que generan el torque total de trabajo.

El torque inercial es generado por la inercia del sistema porta probeta.

Figura 53. Distribución de las fuerzas que generan el Torque de carga.



Fuente: Autores.

De acuerdo con las especificaciones anteriores a continuación se procede a calcular el torque de carga ( $T_w$ ).

$$T_w = T_1 + T_2$$

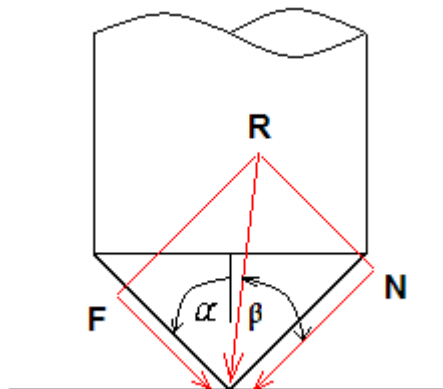
- $T_1$  = Torque producido por las fuerzas de rayado en la superficie de la probeta.

Puesto que el sistema de fuerzas impuesto por el indentador sobre la superficie de la probeta obedece al modelo de corte ortogonal<sup>1</sup>, se pueden definir varias fuerzas que actúan en el proceso de rayado tal como:

- Fuerza de fricción (F): Es la fuerza de fricción entre la herramienta y la viruta que resiste el flujo de la viruta a lo largo de la cara inclinada de la herramienta.
- Fuerza normal a la fricción (N): Es la fuerza perpendicular a la fuerza de fricción.
- Fuerza resultante (R) :Resultante vectorial entre la fuerza de fricción y la fuerza normal, la cual se orienta en un ángulo  $\beta$ .

La figura 54 muestra este tipo de fuerzas.

**Figura 54. Fuerzas que intervienen en el proceso de rayado de la probeta.**



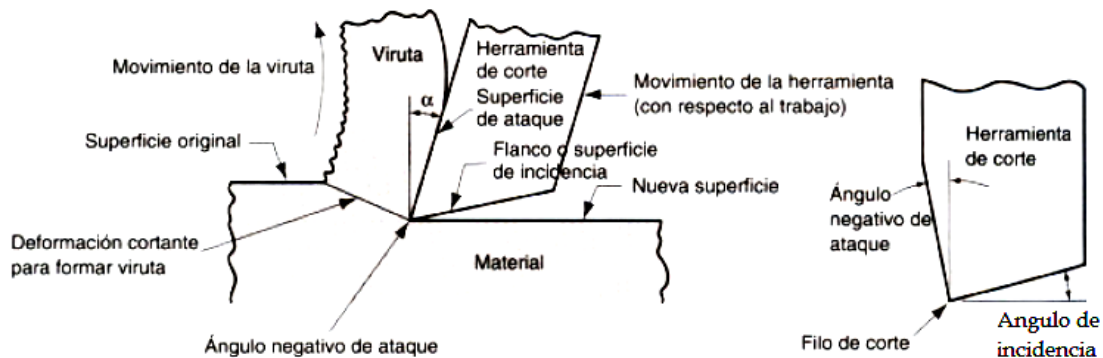
**Fuente: Autores.**

---

<sup>1</sup> El modelo de corte ortogonal es un modelo simplificado en el que se describe la geometría de la mayoría de las operaciones de maquinado y en el cual se detalla la mecánica de estos procesos con buena precisión.

Además de estas fuerzas, existen otras características de la geometría del indentador que serán de ayuda a la hora de encontrar la magnitud de dichas cargas. En la figura 55 se observa una herramienta de corte con sus respectivas notaciones geométricas.

**Figura 55. Sección transversal del proceso de maquinado con sus partes geométricas.**

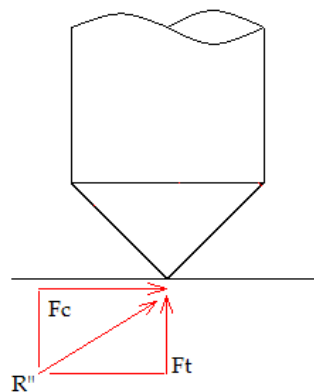


**Fuente: Groover M. Fundamentos de manufactura moderna: Teoría de maquinado de metales. Mexico: Prentice-Hall Hispanoamericana;1997. P 544.**

De acuerdo a las notaciones geométricas dadas en la figura 54, y ya que el indentador es un cilindro afilado en forma de cono, se tiene que el ángulo de ataque es:  $\alpha = 45^\circ$ .

Además de las fuerzas mencionadas anteriormente existe otro tipo de fuerzas que actúan sobre el indentador y se muestran en la figura 56.

**Figura 56. Fuerzas que actúan sobre la herramienta.**



**Fuente: Autores.**

- Fuerza de corte ( $F_c$ ): Es la fuerza que va en dirección del corte, la misma dirección de la velocidad de corte ( $v$ ).
- Fuerza de empuje ( $F_t$ ): Es perpendicular a la fuerza de corte.

De acuerdo a la figura 56, la fuerza de empuje tiene el valor de la carga máxima aplicada en las pruebas, por lo tanto se tiene que:

$$F_t = 50 \text{ grs} \approx 0,05 \text{ Kgs} \approx 0,11023 \text{ lb}_f.$$

Para el cálculo de la fuerza de corte se debe tener en cuenta la siguiente ecuación:

$$h_{pu} = \frac{h_{pc}}{MRR}$$

$h_{pu}$  = Potencia por unidad de volumen de corte del metal o potencia unitaria dada en  $\text{hp}/\frac{\text{pulg}^3}{\text{min}}$ .

$h_{pc}$  = Potencia de corte en caballos de fuerza.

Donde:

$$h_{pc} = \frac{F_c * V}{33.000}$$

$$MRR = Vfd$$

MRR: Velocidad de remoción de material en  $\text{pulg}^3/\text{min}$ .

V: Velocidad de corte en  $\text{pies}/\text{min}$ .

f: Avance en  $\text{pulg}$ .

d: Penetración de la herramienta de corte dentro de la superficie original o profundidad de corte en  $\text{pulg}$ .

Reemplazando en la ecuación de potencia unitaria se tiene:

$$h_{pu} = \frac{F_c * V}{33.000 * V * f * d}$$

$$h_{pu} = \frac{F_c}{33.000 * f * d}$$

$$F_c = 33.000 * f * d * h_{pu}$$

Asumiendo los valores de f y d:

Ya que el desgaste generado a la probeta es tan bajo se asume que  $f=d$  y tienen un valor de:

$$f=d= 0,01 \text{ mm} \approx 0,00039 \text{ pulg.}$$

Ahora utilizando la tabla de valores de potencia unitaria para materiales seleccionados del Anexo J y asumiendo que el material de la probeta es un acero inoxidable se tiene:

$$h_{pu} = 1 \text{ hp} / \frac{\text{pulg}^3}{\text{min}}$$

Reemplazando estos valores en la ecuación para la fuerza de corte se tiene:

$$F_c = 33.000 * 0,00039 * 0,00039 * 1$$
$$F_c = 0,005 \text{ lb}_f.$$

De acuerdo con el método de obtención de las fuerzas de corte en metales tomado de Groover<sup>1</sup>, reemplazando los valores de  $F_t$ ,  $F_c$  y  $\alpha$  en las siguientes ecuaciones se obtienen las magnitudes de las fuerzas F y N así:

$$F = F_c \text{ sen } \alpha + F_t \text{ cos } \alpha$$
$$F = 0,005 * \text{sen} (45) + 0,11023 * \text{cos} (45)$$
$$F = 0,08148 \text{ lb}_f$$

$$N = F_c \text{ cos } \alpha - F_t \text{ sen } \alpha$$
$$N = 0,11023 * \text{cos} (45) - 0,005 * \text{sen}(45)$$
$$N = 0,07441 \text{ lb}_f$$

Con estos valores se halla el valor resultante de la fuerza R que actúa sobre la probeta:

$$R = \sqrt{0,08148^2 + 0,07441^2}$$

$$R = 0.11034 \text{ lb}_f$$

---

<sup>1</sup> Groover P. Fundamentos de manufactura moderna: Teoría del maquinado de metales. Relaciones de fuerza y la ecuación de Merchant. Fuerzas en corte de metales. México: Prentice-Hall Hispanoamericana; 1997. P 554.

De acuerdo a la figura 54 el ángulo de dirección que forma la fuerza R con el plano de la probeta es:

$$\theta = \text{Tan}^{-1} (0,08148/0,07441) + 45^\circ$$

$$\theta = 92,597^\circ$$

Ya que la dirección de la Fuerza R es aproximadamente  $90^\circ$ , y en vista que la magnitud de la misma es tan baja se considera que el torque  $T_1$  producido por la fuerza R es despreciable.

- $T_2$  = Torque producido por la fricción existente entre los O-ring del porta probeta y la superficie interna de la brida-fija.

Como se menciono anteriormente para impedir las filtraciones de fluido entre la brida y el porta probeta se ajustan un par de anillos O-ring SKF alrededor del porta probeta, pero gracias a este ajuste se genera un torque de fricción que debe ser calculado.

El material de construcción de estos anillos es caucho de acrilonitrilo-butadieno, este material tiene buenas propiedades mecánicas y es el material de obturación "universal". Muestra una buena resistencia a los siguientes medios:

- La mayoría de los aceites minerales y grasas con aceite base mineral.
- combustibles normales: gasolina, diesel y petróleos para calefactores ligeros.
- aceites y grasas animales y vegetales, y agua caliente.

El margen de temperaturas de funcionamiento es de  $-50$  a  $+100$  °C . Durante breves periodos de tiempo se pueden tolerar temperaturas de hasta  $+120$  °C. A temperaturas más altas, el material se endurece.

En el Anexo K se muestra una tabla de temperaturas de funcionamiento ofrecida por el fabricante permitidas para los materiales del O-ring, de acuerdo al medio en que se encuentra.

Ya que el O-ring se encuentra sumergido en una solución salina la temperatura máxima de operación es:

$$\text{Temperatura}_{(\text{permisible})} = 90^\circ \text{ C.}$$

Además otro factor importante en la selección de estos anillos es la velocidad de rotación permisible de acuerdo al material en que están contruidos. Los valores orientativos para las velocidades periféricas y de giro permisibles para los diferentes tipos de O\_ring se encuentran en el Anexo L, en el cual se observa que la velocidad permisible es de:

$$V_{perm} = 2.500 \text{ rpm}$$

Velocidad que es muy superior a la velocidad de operación del equipo de 100 rpm.

Teniendo en cuenta la velocidad máxima del equipo, y remitiéndose a la tabla ofrecida por el fabricante en el Anexo M, se puede obtener el valor de las perdidas por rozamiento. Estas corresponden a:

$$\text{Perdidas por Rozamiento} = 15 \text{ Watts.}$$

Entonces el torque de fricción correspondiente a esta potencia es:

$$P [\text{Watts}] = \frac{T_2 [\text{N} - \text{m}] * N [\text{rpm}]}{9,55}$$

$$T_2 = \frac{9,55 * P}{N} = \frac{9,55 * 15}{100}$$

$$T_2 = 1,4325 \text{ N-m.}$$

Puesto que son 2 anillos O-ring los que se encuentran en contacto con la superficie interna de la brida se tiene:

$$T_2 = (1,4325 \text{ N-m}) * (2)$$

$$T_2 = 2,865 \text{ N-m.}$$

Por lo tanto el valor del torque de carga es:

$$T_w = 2,865 \text{ N-m.}$$

- $T_I$ : Torque inercial= El valor de este torque esta dado por la siguiente expresión.

$$T_I \text{ [N-m]} = I \text{ [Kg-m}^2\text{]} \times \alpha \text{ [rad/seg}^2\text{]}$$

I: Es el momento de inercia de todo el conjunto movido por el motorreductor.

$\alpha$ : Es el valor de la aceleración angular.

- El valor de la inercia del conjunto es dado por la herramienta CAD Solid Works y es de:

$$I_{yy} = 326.439,49 \text{ gr-mm}^2 \approx 0,00032643949 \text{ Kg-m}^2$$

- Para el cálculo de la aceleración angular, se debe tener en cuenta que al iniciar una prueba y al encender el sistema de potencia motriz, este debe garantizar que la velocidad de régimen escogida se alcance al transcurrir unos 8 segundos, pues la velocidad máxima no puede ser alcanzada abruptamente, ya que el indentador experimentaría un golpeteo a saltos sobre la superficie de la probeta. Por lo tanto el valor de la aceleración angular corresponde a:

$$\alpha \text{ [rad/seg}^2\text{]} = \frac{w \text{ [rad/seg]}}{t \text{ [seg]}}$$

Si:

$$w = \pi * N / 30 ; \quad w = \frac{\pi * 100}{30} = 10,47198 \text{ rad/s}^2$$

t: Rampa de aceleración = 8 s

$$\alpha = \frac{10,47198 \text{ rad/s}^2}{8 \text{ s}}$$

$$\alpha = 1,309 \text{ rad/s}^2$$

Entonces el torque inercial corresponde a:

$$T_I = 0,00032643949 \text{ Kg-m}^2 \times 1,309 \text{ rad/s}^2$$

$$T_I = 0,00043 \text{ N-m}$$

Por lo tanto el Torque total de trabajo es igual a:

$$T_{\text{Total}} = T_w + T_I = T_1 + T_2 + T_I = T_2 + T_I$$

$$T_{\text{Total}} = (2,865 \text{ N-m}) + (0,00043 \text{ N-m})$$

$$T_{\text{Total}} = 2,8654 \text{ N-m}$$

Que corresponde a una potencia de:

$$P [\text{Watts}] = T[\text{N-m}] \times \omega[\text{rad/sg}^2]$$

$$P = 2,8654 \times 10,47198$$

$$P = 30,0067 \text{ Watts} \approx 31 \text{ Watts.}$$

Teniendo en cuenta los requerimientos de potencia y de velocidad se procede a seleccionar un motor que cubra estas necesidades.

Puesto que el motor debe cubrir un rango de velocidades de 0 a 100 rpm y además debe ser un equipo modular, practico a la hora de su instalación, montaje y mantenimiento, un motorreductor llenaría dichas expectativas.

En cuanto a la variación de la velocidad, un sistema variador de frecuencia conectado al reductor permitiría la selección de una determinada velocidad para cada una de las pruebas a realizar. De esta manera se debe seleccionar un motorreductor con una velocidad nominal de salida inferior a la máxima, para así por medio del variador de frecuencia poder aumentar hasta la velocidad máxima o disminuir a la velocidad mínima de operación.

Por lo tanto de acuerdo con estos aspectos y además teniendo en cuenta la oferta comercial local se concluye que el fabricante SEW EURODRIVE dispone de este tipo de motorreductores, los cuales son ampliamente difundidos en el ámbito nacional y actualmente sus productos están posicionados como uno de los mejores a nivel mundial.

Esta empresa distribuye una amplia gama de motorreductores de acuerdo a las necesidades que se tengan, entre los que tenemos:

- Línea R: Motorreductores Coaxiales.
- Línea S: Motorreductores Sin Fin-Corona.
- Línea K: Motorreductores Cónicos.
- Línea F: Motorreductores de ejes Paralelos.
- Línea W: Motorreductores Spiroplan.
- Línea PS: Reductores Planetarios.
- Variadores Mecánicos.

De acuerdo a las prestaciones de cada uno de estos motorreductores el que se acerca más a las necesidades de funcionamiento que tenemos, es la línea W Spiroplan. A continuación se mencionan las características más importantes de este tipo de motorreductor.

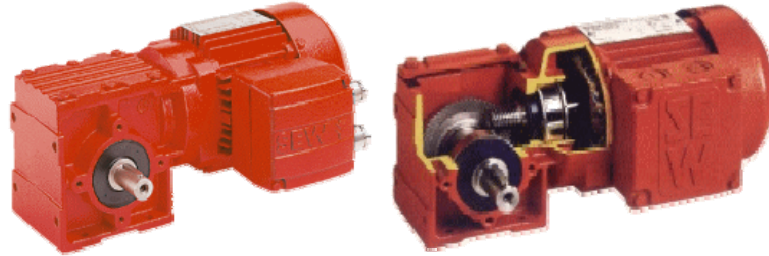
Principales ventajas:

- Silencioso.
- Rentable.
- Lubricado permanentemente.
- Compacto y liviano.
- Montaje en cualquier posición.
- Velocidad de salida: Desde 8 Hasta 329 rpm.
- Rango de potencia motores: Desde 0.12 - 1.1 Kw.

Los motorreductores SPIROPLAN son motorreductores de ejes perpendiculares, de una etapa y con engranaje spiroplan. La diferencia con respecto a los reductores de tornillo sin fin está en la combinación de materiales del engranaje acero-acero, que permite unas relaciones de engranaje especiales, y la carcasa de aluminio. Gracias a ello, estos motorreductores resultan muy silenciosos, ligeros y no sufren desgaste. Gracias a su diseño especialmente corto y a la carcasa de aluminio, pueden realizarse soluciones de accionamiento muy compactas y ligeras. El engranaje libre de desgaste y la lubricación permanente permiten un funcionamiento prolongado y sin mantenimiento.

Gracias al llenado de aceite independiente del diseño, estos motorreductores se pueden utilizar en todas las posiciones de montaje sin necesidad de variar la cantidad de aceite. En la figura 57 se puede observar una imagen de este tipo de motorreductor.

**Figura 57. Motorreductor Spiroplan**



**Fuente:** [www.sew-eurodrive.com.co/productos/motorreductores/Spiroplan](http://www.sew-eurodrive.com.co/productos/motorreductores/Spiroplan).

El motorreductor debe poseer las siguientes características de instalación:

- Brida de fijación (F)\* : Para su sujeción a la estructura.
- Eje hueco (A)\* : Para comodidad y versatilidad en el ensamble.
- Posición de montaje : (M6) Las diferentes posiciones de montaje se observan en el Anexo N.
- Posición de la caja de bornes: 270°
- Tipo de motor: Trifásico.

Por lo tanto de acuerdo a las anteriores especificaciones, a la velocidad nominal y a la potencia de trabajo, nos remitimos al catalogo del fabricante para motorreductores Spiroplan que se encuentra en el Anexo Ñ y se selecciona el siguiente motorreductor:

- Tipo: WAF20DR63S4.
- Potencia: 0,12 Kw.
- Velocidad del Motor: 1750 rpm.
- Relación de reducción: 27,5
- Velocidad de salida: 63 rpm.
- Torque de salida: 12 N-m.

Para más detalles de este motorreductor remitirse a la ficha técnica que se encuentra en el Anexo O.

---

\* Designaciones del modelo y tipos de versión según catalogo del motorreductor.

### 6.3.5 ACOUPLE DE UNIÓN PARA EL EJE CONDUCTOR DE SEÑALES Y EL EJE DEL MOTORREDUCTOR

Como se mencionó en capítulos anteriores, por medio del potencióstátogalvanostátog se impondrán potenciales que ingresan a la celda electroquímica por medio del porta escobillas, y de allí son conducidos a la probeta por el eje conductor de señales. Por lo tanto se debe garantizar que la ruta eléctrica sea esta y evitar que sea desviada por la colocación de otros dispositivos metálicos. Pero ya que debe existir un mecanismo de acople que permita la transmisión del movimiento rotacional a la probeta, se debe garantizar que este elemento no interactúe eléctricamente con el eje conductor de señal y el eje del motorreductor, para así aislar el sistema de la celda electroquímica y garantizar que otras señales eléctricas provenientes del motorreductor alteren los valores inducidos o medidos.

Entre los materiales dieléctricos disponibles en el mercado local se encuentra el Duralón, el cual es un nylon del tipo 6-6. Este material posee una resistencia del orden de los 83 Mpa, que es adecuada puesto que el torque que se transmite no sobrepasa los 2 N-m.

Teniendo en cuenta estas características y ya que tanto el material del eje del motorreductor como el de la cuña es acero AISI 1020, se procede a calcular una cuña que permita la transmisión de potencia entre estos elementos. Puesto que el material con menor resistencia de estas piezas es el Nylon 6-6 correspondiente al acople, se procede a calcular la longitud del asiento de la cuña en el acople para seguidamente verificar si este material es idóneo para la transmisión de potencia. En la figura 58 se describe la configuración de este sistema.

Basándose en la tabla para tamaños de cuñas que se encuentra en el Anexo P, la cual proporciona las dimensiones que se prefieren para cuñas paralelas como función del diámetro del eje se tiene:

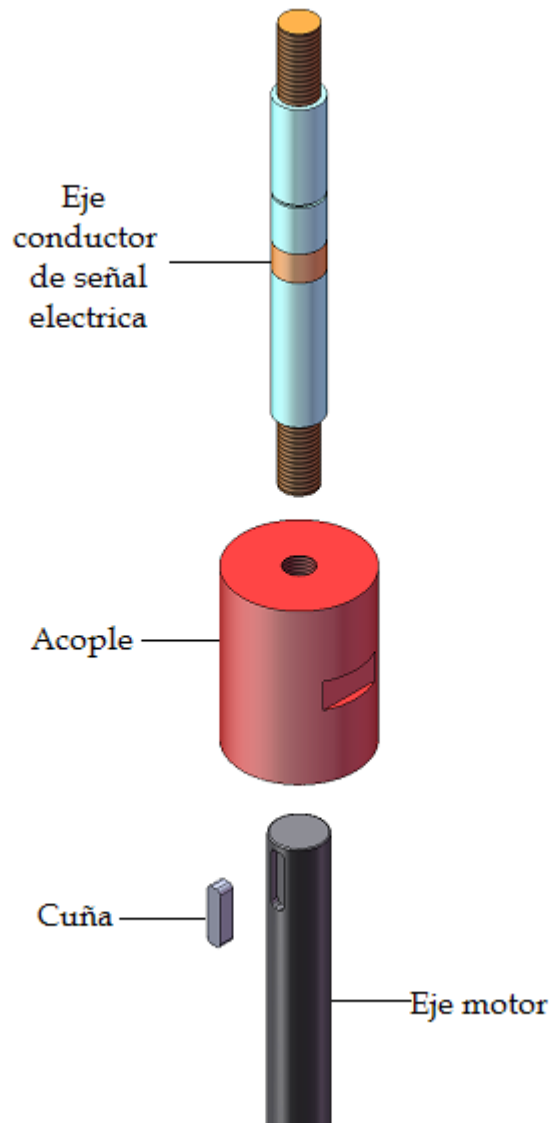
- Diámetro nominal del eje del motorreductor: 18 mm  $\approx$  0,7086 pulg.

Este diámetro se encuentra en el rango de 9/16 " a 7/8 " y puesto que es una cuña cuadrada, el valor correspondiente al espesor es:

- $W = 3/16 \text{ " } = 0,1875 \text{ pulg } = 4,7625 \text{ mm } \approx 5 \text{ mm.}$

La notación para las dimensiones de los cuñeros paralelos se encuentra en el Anexo Q.

**Figura 58. Conjunto Eje transmisor-Acople-cuña-eje del motor.**



**Fuente: Autores.**

Teniendo en cuenta el valor de  $(W)$ , las dimensiones para el asiento de la cuña en el acople y en el eje del motorreductor son:

$$Y = \frac{D - \sqrt{D^2 - W^2}}{2}$$

$$Y = \frac{\sqrt{18^2 - 5^2}}{2}$$

$$Y = 0,3542 \text{ mm}$$

Si  $W=H$ ; y  $C = 0,005 \text{ pulg} = 0,127 \text{ mm}$  de espaciamento para cuñas cuadradas se tiene:

- Para el cuñero del eje:

$$S = D - Y - H/2 = 18 - 0,3542 - 5/2$$

$$S = 15,1458 \text{ mm.}$$

- Para el cuñero del acople:

$$T = D - Y + H/2 + C = 18 - 0,3542 + 5/2 + 0,127$$

$$T = 20,2728 \text{ mm.}$$

A continuación se realiza un análisis de resistencia para determinar la longitud de la cuña de unión que a su vez es la misma longitud del asiento del cuñero del eje del motorreductor y del acople. En la figura 59 se observan las fuerzas que intervienen o actúan sobre la cuña y en la tabla 4 se observan los materiales utilizados con sus respectivas resistencias.

**Tabla 4. Resistencia al punto cedente para los materiales del eje del motorreductor, acople y cuña<sup>1</sup>.**

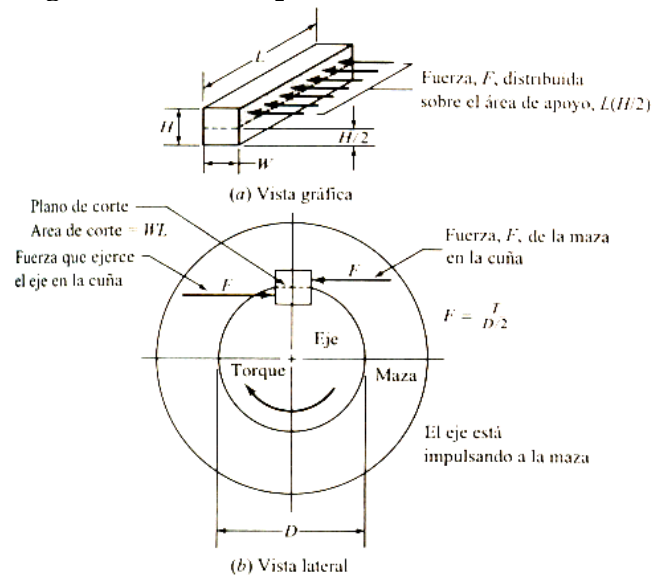
PIEZA	MATERIAL	RESISTENCIA AL PUNTO CEDENTE $S_Y$ (MPA)
EJE	Acero AISI 1020 extruido en frio	352
ACOPLE	Nylon 6-6	83
CUÑA	Acero AISI 1020 extruido en frio	352

**Fuente: Autores.**

<sup>1</sup> Datos tomados de : Mott R. Diseño de elementos de máquinas: Apéndice A14, Apéndice A22. 2 ed. México: Prentice Hall; 1992.

Puesto que el fallo en las cuñas puede presentarse por corte a lo largo de la interface entre el eje y masa o falla por compresión debida a la acción de apoyo entre los lados de la cuña y el material del eje o de la masa, se deben especificar las resistencias de estos materiales con el fin de determinar cuál de ellos posee la resistencia más baja, y así utilizar el criterio de fallo correspondiente para calcular la longitud mínima que se requiere para la cuña.

**Figura 59. Fuerzas que interactúan sobre la cuña.**



**Fuente: Mott R. Diseño de elementos de máquinas: Cuñas de unión, coples y sellos o empaques. 2 ed. México: Prentice Hall; 1992. P.339.**

De acuerdo a la tabla 6 el nylon 6-6 es el material con menor resistencia al punto cedente, por lo tanto el acople es el elemento que podría presentar fallo. Por lo tanto la longitud mínima de la cuña es:

$$L = \frac{4 * T * N}{D * W * S_Y}$$

Donde  $N$  = Factor de seguridad; el cual para aplicaciones industriales típicas es igual a 3, y utilizando el torque máximo del motorreductor.

$$L = \frac{4 * (12 \text{ N - m}) * (3)}{(0,018 \text{ m}) * (0,005) * (83 \times 10^6)}$$

$$L_c = L_a = 0,01928 \text{ m} = 19,28 \text{ mm} \approx 25 \text{ mm.}$$

### 6.3.6 SELECCIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA Y DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA CONTROL Y DE POTENCIA

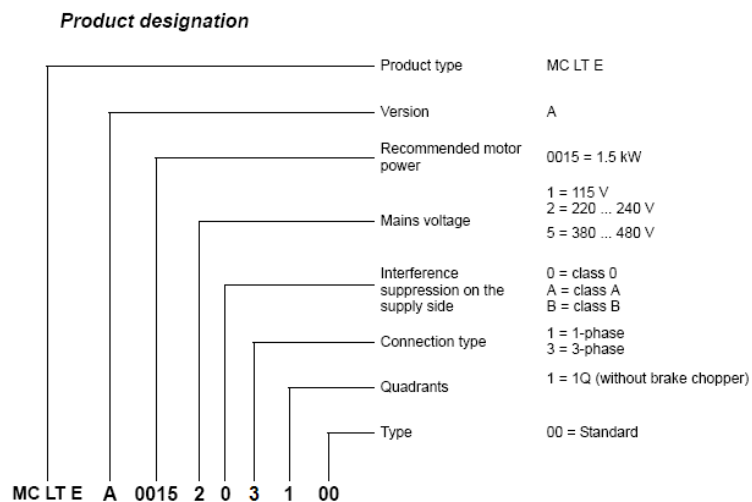
➤ *Selección del variador de frecuencia*

Entre los parámetros más importantes a tener en cuenta a la hora de seleccionar el variador de frecuencia están:

- Potencia del motor: 12 Kw.
- Voltaje: 220 voltios.
- Numero de fases del motor: Trifásico.

De acuerdo a estas características es posible utilizar un variador de frecuencia MOVITRAC modelo MC LTE comercializado por SEW-EURODRIVE. En la figura 60 se detalla la designación de este producto y en el Anexo R y S se encuentran una imagen con sus partes más importantes y la ficha técnica de este dispositivo.

**Figura 60. Designación para la selección del variador de frecuencia.**



**Fuente:** [www.sew-eurodrive/canada/products/movitrac lte/operating instrucciones/pag 5](http://www.sew-eurodrive/canada/products/movitrac%20lte/operating%20instruccions/pag%205).

Este variador consta de un panel de navegación, en el cual se visualizan parámetros como frecuencia de operación, corriente de trabajo y configuración de cada uno de los 14 parámetros<sup>1</sup> de operación tales como:

<sup>1</sup> Para mayor información y detalles de la configuración de los parámetros de operación del variador de frecuencia remitirse al manual de funcionamiento del equipo Anexo A.

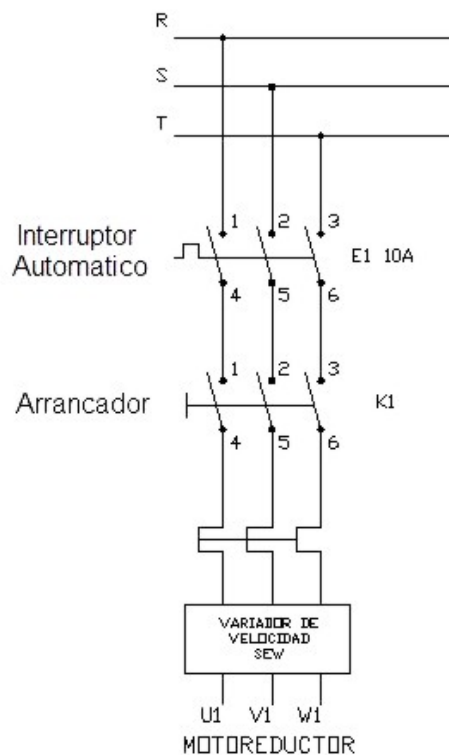
- Velocidad máxima (P-01).
- Velocidad mínima (P-02).
- Rampa de aceleración (P-03).
- Rampa de desaceleración (P-04).

Además para una fácil operación del rango de velocidades del motorreductor, el variador es posible operarlo por medio de un selector (potenciómetro).

➤ *Sistema de Control y de Potencia*

Este sistema está conformado por un dispositivo de protección por sobre corriente (Breaker) de 10 amperios, un arrancador *Telemecanique* modelo LE1D09, 2 fusibles de 2 Amperios c/u, un pulsador normalmente abierto, un pulsador normalmente cerrado, un variador de frecuencia y el motorreductor. A continuación en la figura 61 se identifica el diagrama de potencia para el accionamiento del tribómetro.

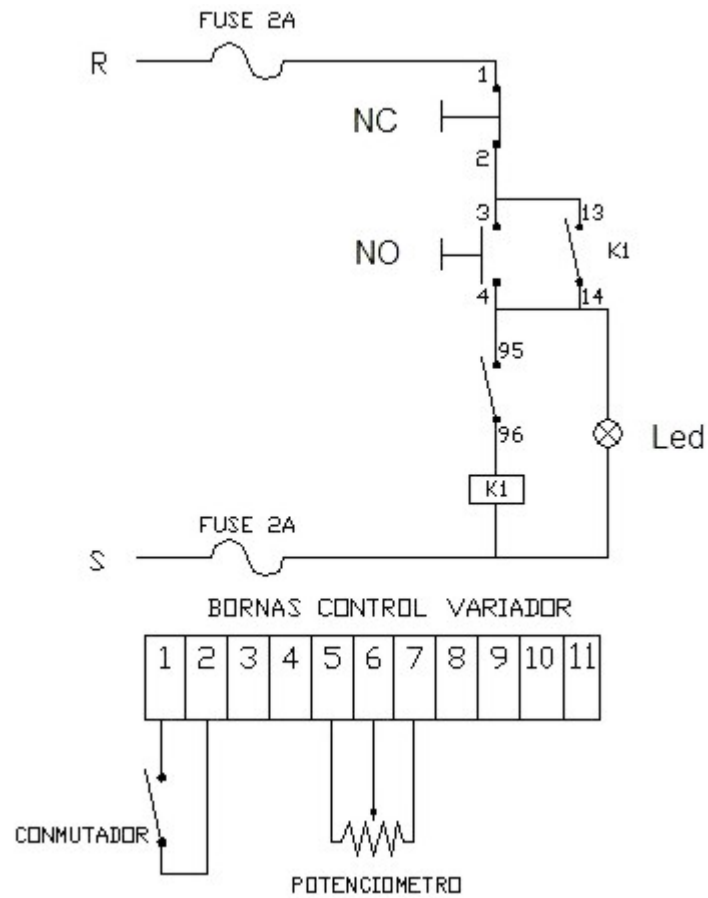
**Figura 61. Diagrama eléctrico del Sistema de Potencia.**



**Fuente: Autores.**

En la figura 62 se observa el diagrama de control del sistema conformado por el arrancador, dos pulsadores y un indicador Led, junto con el sistema de bornes de control del variador de frecuencia.

**Figura 62. Diagrama de control y bornes de conexión del variador.**



**Fuente: Autores.**

## **7. FABRICACIÓN Y MONTAJE**

En el transcurso de este capítulo se expondrán los procesos de manufactura que se llevan a cabo para la fabricación de cada una de las partes constitutivas de la máquina y seguidamente se describirá el proceso de montaje de cada una de ellas en los respectivos sistemas que componen conjuntamente la máquina para pruebas de Desgaste-Corrosión.

### **7.1 PROCESO DE FABRICACIÓN**

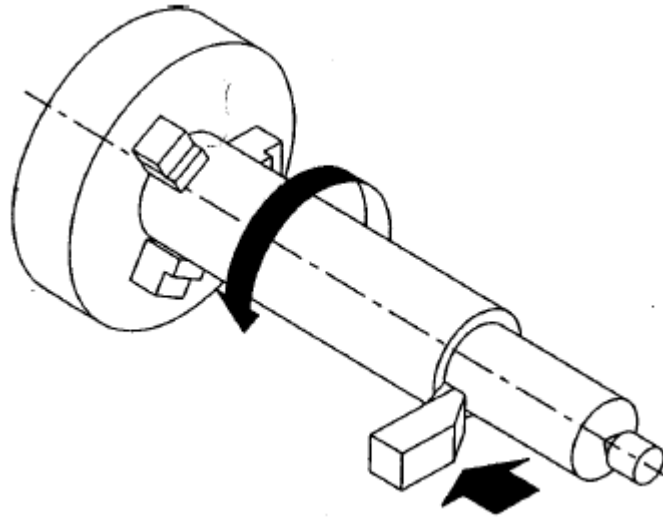
El fin primordial de la realización de un plano es el contener toda la información necesaria para definir una pieza determinada, y entre esta información debe estar la necesaria para poder fabricar la pieza. Aunque no es el objeto de este proyecto, consideramos necesario describir los distintos procesos de fabricación que deben ser utilizados para la construcción de las distintas piezas, ya que éstos deben tenerse en cuenta en la realización de los planos técnicos de un proyecto, tanto desde el punto de vista de diseñar elementos "construibles" o fabricables, como desde el punto de vista de diseñar elementos con procesos de fabricación económicamente viables.

A continuación se describen brevemente los distintos tipos de mecanizado que se llevan a cabo en la fabricación de las distintas piezas constitutivas de esta máquina.

#### **7.1.1 Torneado**

El torneado se utiliza para la fabricación de piezas de revolución, la máquina que realiza la operación de torneado y sus variantes se llama torno. Permite pequeñas tolerancias y acabados superficiales buenos. Árboles, ejes, casquillos, mangos, etc., son piezas que normalmente se obtienen por torneado. El torneado consiste en arrancar viruta por medio de un filo o herramienta que avanza longitudinalmente mientras la pieza que se va a mecanizar gira accionada por el torno.

**Figura 63. Proceso de torneado.**

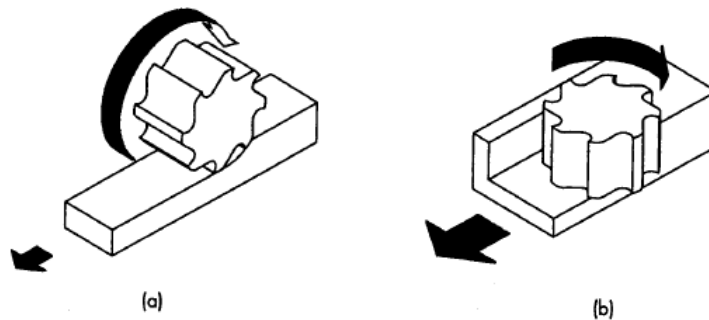


**Fuente: Autores.**

### **7.1.2 Fresado**

En este proceso una herramienta rotatoria con múltiples filos cortantes se mueve lentamente sobre el material para generar un plano o superficie recta. La dirección del movimiento de avance es perpendicular al eje de rotación. El movimiento de velocidad lo proporciona la fresa rotatoria. Hay varias formas de fresado siendo las dos básicas el fresado periférico y el fresado de frente como se indica en la figura 64.

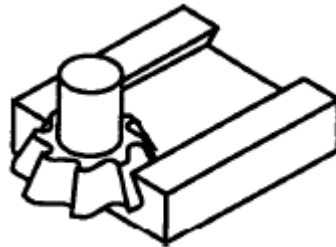
**Figura 64. Proceso de fresado.**



**Fuente: Autores.**

Hay una gran variedad de fresas, lo cual permite un amplio rango de trabajos. Existe prácticamente una fresa para cada aplicación. En la figura 65 se muestra una fresa utilizada para construir colas de milano.

**Figura 65. Fresa cónica.**



Fuente: Autores.

### 7.1.3 Roscado

Las piezas roscadas son muy frecuentes en el mundo industrial. La rosca puede ser interior o exterior y cumplir funciones de fijación (caso de un tornillo) o de movimiento (como en un husillo).

Las roscas se pueden fabricar en un torno, o mediante machos de roscar y terrajas. Los machos de roscar son parecidos a las brocas de taladrar, pero su filo tiene forma de hélice.

**Figura 66. Macho de roscar.**



Fuente: Autores.

### 7.1.4 Taladrado

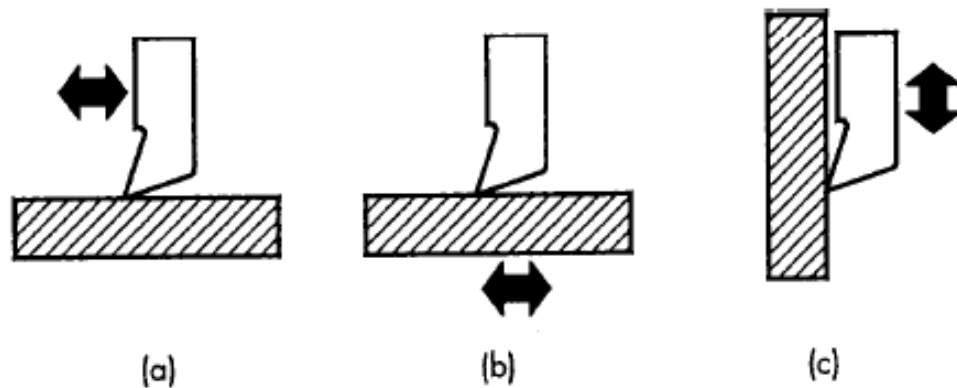
Por medio del taladro se pueden realizar agujeros pasantes o ciegos en las piezas. Éstos sirven como base para la sujeción de tornillos, roscas, remaches o para facilitar el engrase, etc. Como herramienta se emplean útiles de uno o varios filos llamados brocas.



### 7.1.6 Cepillado y mortajado.

El cepillado y el mortajado de piezas es un procedimiento muy adecuado para obtener piezas prismáticas. En ambas se utiliza una herramienta de un solo filo cuyo movimiento es discontinuo. Según quién tenga el movimiento de avance se denomina mortajado (la herramienta se desplaza, figuras 69.a y 69.c) o cepillado (la pieza es la que se mueve, figura 69.b).

Figura 69. Proceso de Mortajado y Cepillado.



Fuente: Autores.

## 7.2 PLANIFICACIÓN DEL PROCESO

El resultado que se obtiene con el diseño detallado son los planos de fabricación y montaje. Con base a estos planos se procede a realizar una planificación de producción.

A continuación en la tabla 5 se enumeran cada uno de los procesos de manufactura que se le realizan a cada una de las piezas constitutivas de la máquina. A cada una de las piezas le fue asignado un código de identificación de acuerdo al sistema que compone, en donde para su respectiva visualización se debe remitir a los planos de construcción que se encuentran en el Anexo T.

Todas las piezas roscadas son hechas en sentido de giro derecho y hechas de acuerdo a la norma WHITWORTH que utiliza ángulo entre filete de 55°. El paso se detalla en el número de hilos por pulgada, los diámetros y la longitud de las roscas están dados en pulgadas.

Tabla 5. Planificación del proceso de manufactura.

CÓDIGO	MECANIZADO					METALISTERÍA					PIEZA ESTÁNDAR	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
GTE001				X	X	X			X	X		X
GTE002				X	X	X				X		X
GTE003				X	X	X				X		X
GTE004				X	X	X				X		X
GTE005				X	X	X				X		X
GTE006				X		X	X			X		
GTE007				X	X	X	X		X	X		
GTE008				X		X				X		
GTE009				X	X	X	X			X		
GTE010				X		X				X		
GTE011				X		X				X		
GTE012				X		X				X		
GTE013	X			X	X	X				X		
GTE014	X		X			X				X		
GTE015	X	X	X			X						
GTCPC01	X		X							X		
GTCPC02	X		X									
GTCPC03	X		X									
GTCPC04	X		X									
GTCPC05		X	X									
GTCPC06	X	X	X	X								
GTCPC07												X
GTCPPH01	X	X	X	X					X			
GTCPPH02	X	X		X					X			
GTCPPH03	X	X		X								
GTCPPH04	X		X									
GTCPPH05	X		X									X
GTCPPV01	X		X									
GTCPPV02	X		X									
GTCPPV03	X		X									
GTCPPV04	X		X									
GTCPPV05	X		X									
GTCEP01	X		X	X								
GTCEP02												X
GTCEP03	X		X									
GTCEP04	X		X			X						
GTCEP05						X						
GTCEP06	X					X						
GTCEP07												X



### 7.3 CARTAS DE FABRICACIÓN

Para la fabricación de las piezas que conforman el diseño, es necesario tener la información en detalle de los materiales a utilizar, la cual se presentara a continuación, indicando la sección y el material.

Teniendo claro los procesos de mecanizado y metalistería que se deben realizar en cada pieza, se procede a realizar una tabla que contenga una información de los diferentes materiales utilizados. Dicha tabla se muestra a continuación.

**Tabla 6. Carta de fabricación.**

CÓDIGO	SECCIÓN							MATERIAL							DIMENSIÓN	CANT.	PIEZA ESTÁNDAR
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
GTE001							X	X							1"x1" calibre 18	1	X
GTE002							X	X							1"x1" calibre 18	6	X
GTE003							X	X							1"x1" calibre 18	9	X
GTE004							X	X							1"x1" calibre 18	4	X
GTE005							X	X							1/2"x1/2" calibre 18	2	X
GTE006		X						X							393x483mm calibre 18	1	
GTE007		X						X							495x483mm calibre 18	1	
GTE008		X						X							495x200mm calibre 18	1	
GTE009				X				X							1"x1"x1"calibre 18	2	
GTE010		X								X					395x495mm calibre 18	1	
GTE011		X								X					395x495mm calibre 18	1	
GTE012		X								X					395x495mm calibre 18	1	
GTE013		X								X					250x250mm calibre 18	1	
GTE014					X					X					L. 257x Di.10mm rosca 3/8"x16h	4	
GTE015			X							X					120mmx120mm	1	
GTCPC01					X					X					Di.60xAlt.35mm rosca3/8"x16h	1	
GTCPC02					X				X						L. 250xDi.10mmrosca3/8"x16h	1	
GTCPC03					X			X							L. 60xDi.5mm rosca 1/4"x20h	1	
GTCPC04					X				X						Alt.60xDi.20mm 2 roscas 3/8"	1	
GTCPC05	X								X						20mmx20mm rosca de 3/8"	1	
GTCPC06					X				X						Alt.75xDi.10mm rosca 3/8 16h	1	
GTCPC07															L. libre 62mm calibre 15	1	X
GTCPPH01	X				X					X					70x52x70mm rosca 62mm	1	
GTCPPH02	X									X					40mmx70mmx10mm	1	
GTCPPH03	X									X					70mmx50mmx55mm	1	
GTCPPH04					X			X							Alt.42xDi.30mm rosca1/4" 20h	1	
GTCPPH05																1	
GTCPPV01					X				X						Alt.52xDi.60mm rosca 62mm	1	

GTCPV02				X			X							Alt.38xDi.70.5mm rosca 62	1	
GTCPV03				X			X							Diametro60mmxAltura5mm	1	
GTCPV04				X			X							Alt.20xDi.6mm rosca 1/4" 20h	1	
GTCPV05				X			X							Di. Ext 70.5xDi. interno 54.5mm	1	
GTCEP01				X			X							Alt.65.5mmxDia.120mm	1	
GTCEP02														76.89mm x 35mm	1	X
GTCEP03				X						X				Alt.45xDi. 68mm	1	
GTCEP04				X						X				Di. Ext 71xDi. Inter. 36mm alt .13	1	
GTCEP05				X						X				Di. Ext 58 x Di. Inter. 44mm	1	
GTCEP06	X			X			X							Diametro 44mm	1	
GTCEP07		X		X							X			Alt. 17.5mm Dia. 20mm	1	
GTCEP08				X							X			Al.160xDi.16mm rosca 1/2"13h	1	
GTCEP09					X									Di. Ext 16 x Di. Int. 12.3mm Al. 50	2	
GTCEP10										X				Di. Ext 65 x Di. Inter. 58mm	1	X
GTCEP11										X				Diametro 22mm cal. 3mm	1	X
GTCEP12															1	X
GTCEP13															1	X
GTCE01	X			X							X			Alt.200xDiam.200mm cal.5	1	
GTCE02	X			X							X			Diametro 200mm cal. 5	1	
GTCE03	X			X							X			25mmx50mmx5mm R100mm	2	
GTCE04				X										PVC 1" Altura 37.5mm	1	X
GTCE05				X										PVC 1"	1	X
GTCE06				X										PVC 1" Altura 120mm	1	X
GTCE07														PVC 1"	1	X
GTCE08				X										Alt.192mm Dia.Ext. 20mm	1	X
GTCE09				X							X			Alt.30mm Di.ext.40 Di.int21	X	
GTCE10															1	X
GTCE11										X				Alt.20mm Dia.Ex15xDia.in. 5	1	X
GTCE12							X							Altura 210mm Diametro 5mm	1	
GTCE13								X						Alt.35mm Di.ext16xDi. Int. 14	2	X
GTCE14								X						Alt.37mm Di.ext21xDi. Int. 16	2	X
GTCE15					X									Alt.200mm Di.ext13xDi. Int. 11	1	X
GTCE16				X			X							Largo 205mmx Diam18mm	1	
GTCE17	X						X							20mm x 5mm x5mm	1	
GTCE18	X						X							50mm x 5mm x5mm	1	
GTCE19				X						X				Alt.60mm Diam. 45mm	1	
GTCE20														SEW spioplan WAF 20 DR 63S4	1	X
GTCE21														Arrancador, variador	1	X

TIPO DE MATERIAL		
SECCIÓN	1	CUADRADO
	2	LAMINA
	3	PLATINA
	4	ANGULO
	5	REDONDO
	6	TUBO
	7	TUBO CUADRADO
MATERIAL	8	AC. ESTRUCTURAL COLD ROLLED
	9	AC. INOXIDABLE 304
	10	AISI SAE 1020
	11	NYLON
	12	CAUCHO
	13	COBRE

**Fuente: Autores.**

A continuación en las siguientes figuras se observa el acabado de cada una de las piezas antes de pasar al proceso de pulido y pintura.

**Figura 70. Estructura.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 71. Estructura y láminas.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 72. Vista interior de la estructura.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 73. Conjunto Tanque.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 74. Tanque y tapa del tanque.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 75. Conjunto Porta probeta-Brida.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 76. Brida.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 77. Porta probeta-Eje.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 78. Porta probeta y Tapa.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 79. Eje.**



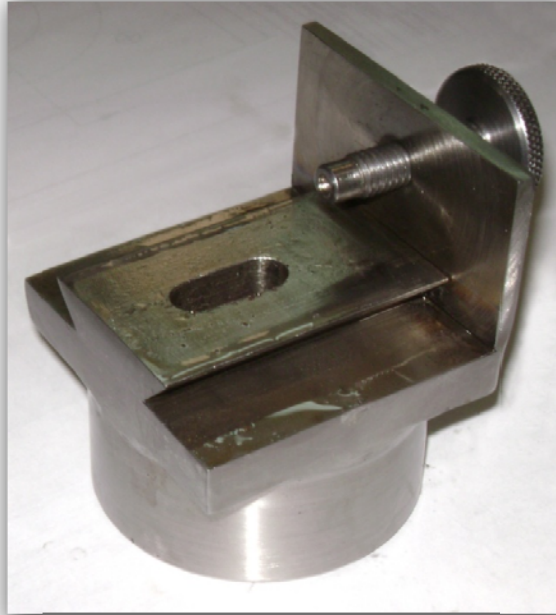
**Fuente: Autores.**

**Figura 80. Sistema de Posicionamiento del Pin.**



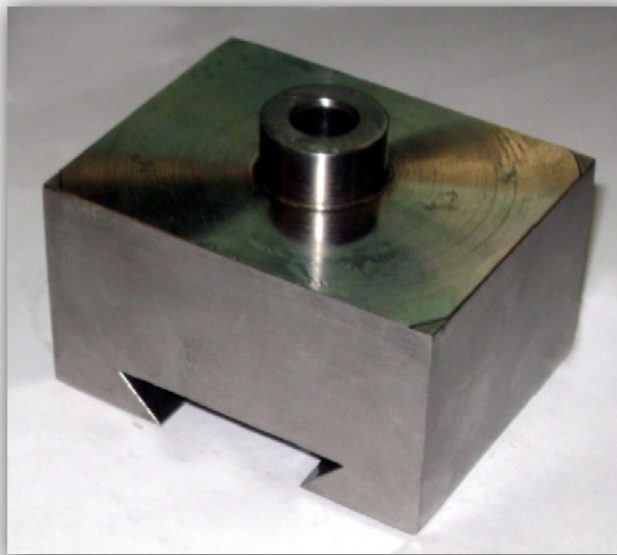
**Fuente: Autores.**

**Figura 81. Soporte de la Corredera**



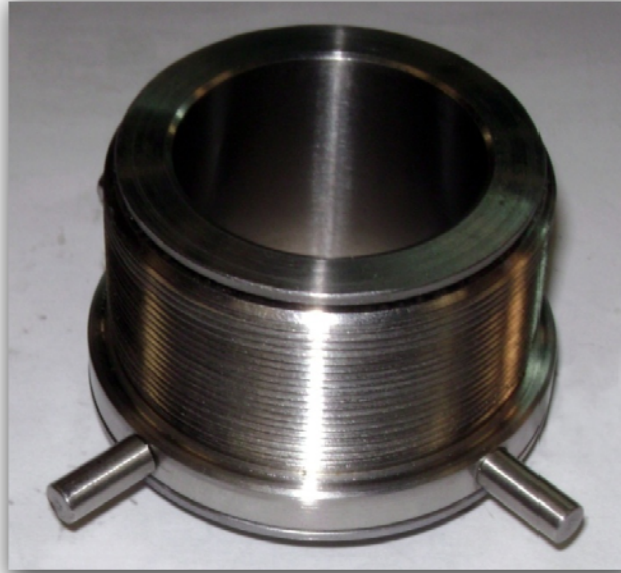
**Fuente: Autores.**

**Figura 82. Corredera.**



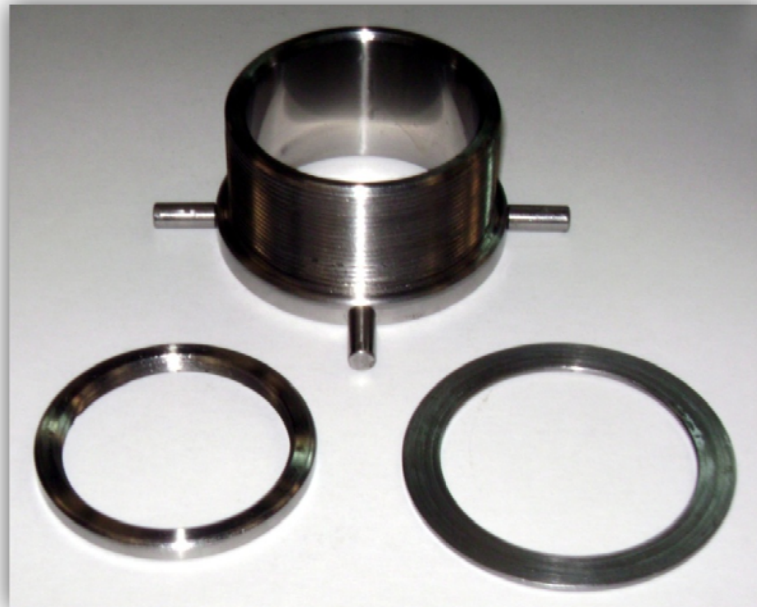
**Fuente: Autores.**

**Figura 83. Sistema de Posicionamiento Vertical.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 84. Husillo, Rosca de fijación inferior, Base de fricción.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 85. Buje de Soporte para el Husillo.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 86. Sistema de carga.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 87. Acoplamiento del indentador tipo inserto a la puntera 2.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 88. Electrodo de Referencia y Contraelectrodo.**



**Fuente: Autores.**

## 7.4 MONTAJE

Disponiendo de las piezas maquinadas en su forma definitiva y teniendo en cuenta los diferentes mecanismos de sujeción o de unión entre las piezas como: Ensamble a presión, Tornillos, Remaches, Soldadura, Adhesivos etc, pueden general alteraciones en las dimensiones finales de las piezas, se procede a realizar un ensamble general preliminar del tribómetro, para de esta forma verificar si los rangos de tolerancias existentes son aceptables, y así poder corregir fallas de construcción y posteriormente realizar el ensamble definitivo.

El montaje a realizar debe realizarse de la siguiente manera:

1. Estando ensamblada la estructura tubular, se atornilla la platina que sujetará el motorreductor.
2. Ubicar y atornillar las láminas del nivel 1, 2 y lámina porta instrumentos.
3. Montar el motorreductor.
4. Insertar las cuñas al eje motor para su inserción en el motorreductor y posterior colocación del acople.
5. Roscar el eje de cobre en el acople (este debe tener ya insertadas las camisas que lo mantendrán aislado de la atmósfera). Insertar un tornillo en la rosca que se encuentra en parte superior del eje de cobre, el cual permitirá la sujeción de un conector que garantiza la conexión eléctrica entre este eje y la probeta.
6. Insertar los rodamientos SKF 51108 y 6303 en los alojamientos respectivos de la brida y acoplarle el porta escobillas, para luego fijar este conjunto a la estructura por medio de tornillos sobre el nivel 3.
7. Fijar la lámina 3 sobre la superficie de la estructura, al igual que la lámina lateral y la puerta.
8. Roscar el porta probeta en la parte superior del eje de cobre hasta que asiente sobre el rodamiento axial SKF 51108 que se encuentra en el fondo de la brida (el porta probeta debe llevar insertos los O-ring).
9. Colocar la probeta con sus respectivos sellos y roscar la tapa sobre el porta probeta.
10. Montar y sujetar con tornillos el tanque de acrílico junto con el sistema de desagüe sobre la lámina del nivel 3.

11. Ubicar y fijar las 4 barras de sustentación sobre la estructura y colocar la lámina de soporte porta pesos que sujeta los elementos de la celda electroquímica (previamente debe roscarse y asegurarse el husillo del sistema de posicionamiento vertical a la lámina de soporte porta pesos por medio de una tuerca)
12. Roscar el sistema de carga y posición a él husillo y por ultimo ubicar los componentes de la celda electroquímica (electrodo de referencia, contra electrodos y dispositivos de entrada y salida de gases) en sus respectivos alojamientos.
13. Realizar el cableado eléctrico entre cada uno de los elementos de control.

Realizando este procedimiento y comprobando el buen funcionamiento de la máquina, se desarma nuevamente y se prosigue con la etapa de acabado y pintura.

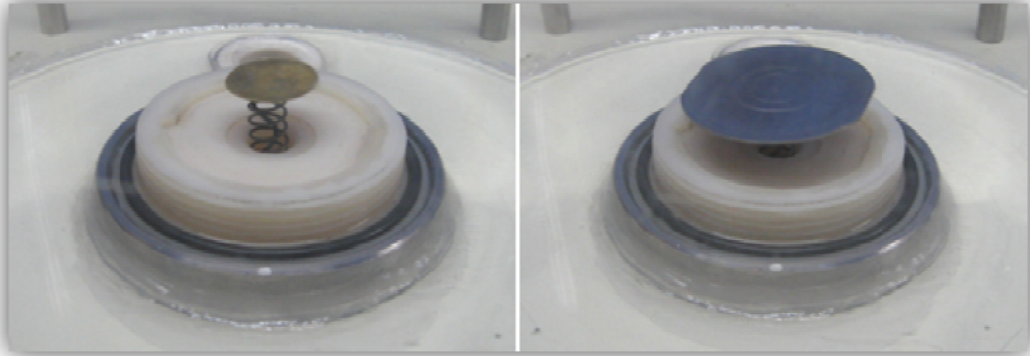
## 7.5 ACABADO

Puesto que las salmueras y los ácidos hacen parte de los fluidos de trabajo que se utilizan en las diferentes pruebas, cada una de las partes que componen el tribómetro deben estar protegidas contra la corrosión y al deterioro de el tiempo (a excepción de la piezas construidas en acero inoxidable), por lo tanto en esta etapa se proceden a aplican diversos productos que ayuden a frenar estos fenómenos y a la vez brinden aspectos decorativos.

Gracias a su duración y excelente acabado la pintura tipo Electrostática es la más adecuada para esta aplicación, para aplicar esta pintura primero se deben preparar las piezas a pintar, para ello se deben someter a una serie de baños con ácidos y otros químicos para eliminar cualquier partícula de polvo, grasa, mugre, etc. El principio es el siguiente, la pieza a pintar se carga eléctricamente positiva o negativamente y la pintura se carga con el polo opuesto, al lanzar el polvo este se va a adherir electrostáticamente a la pieza. Después de esto, la pieza se debe introducir en un horno para realizar el curado final de la pintura.

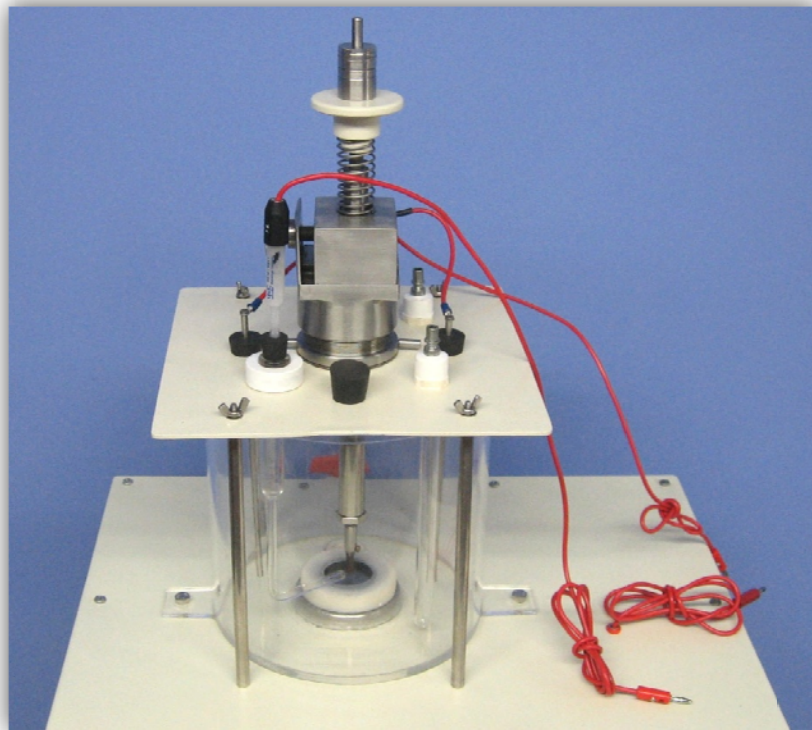
A continuación en las siguientes figuras se muestra el acabado final de las piezas al igual que el ensamble final de la máquina para ensayos de Desgaste-Corrosión en biomateriales metálicos.

**Figura 89. Montaje de la probeta sobre el portaprobeta.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 90. Montaje final del sistema de la celda electroquímica.**



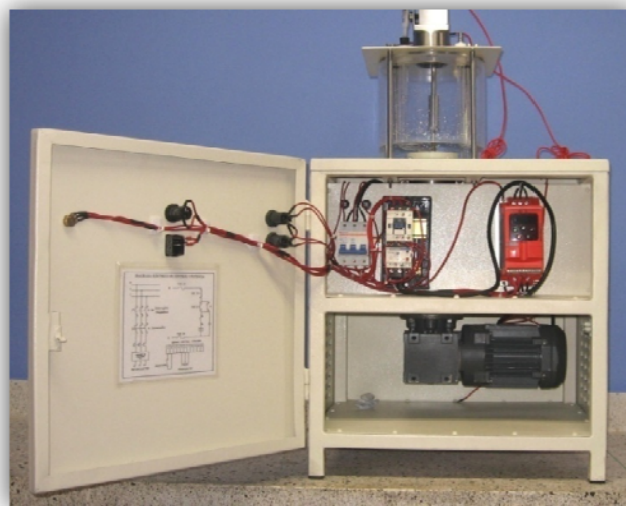
**Fuente: Autores.**

**Figura 91. Montaje final del tribómetro.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 92. Vista interna del tribómetro.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 93. Vista posterior del Tribómetro.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 94. Conexión entre el Tribómetro, potencióstato y Scap363.**



**Fuente: Autores.**

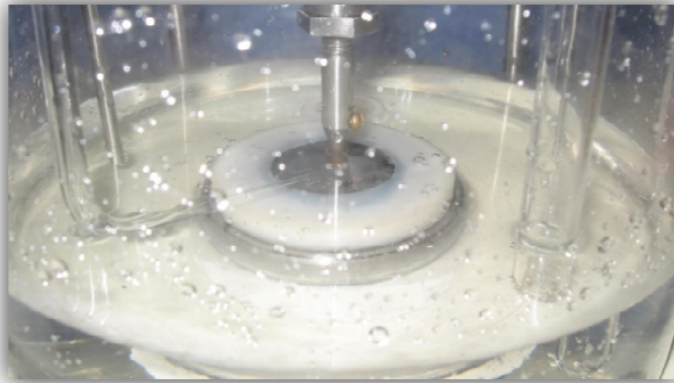
## 8. PRUEBAS ELECTROQUÍMICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN UNA MUESTRA DE TI6AL4V Y ACERO INOXIDABLE ASTM 304.

Para validar el funcionamiento del equipo bajo condiciones de operación se realizaron tres pruebas electroquímicas tafel<sup>1</sup> utilizando dos tipos de probetas, una de acero inoxidable 304 y otra de Ti6Al4V inmersas en una solución acuosa al 3,5% en peso de NaCl, haciendo un barrido de +/- 250 mV desde el potencial de circuito abierto, por medio de un potenciostato princeton modelo 363 y el sistema de control de adquisición de datos SCAP363<sup>2</sup>.

Las condiciones de las pruebas Tafel completas fueron:

- Tafel experimentando corrosión solamente.
- Tafel con 100 gramos de carga.
- Tafel con 100 gramos de carga y a una velocidad de 10 rpm.

**Figura 95. Montaje de la celda electroquímica en la solución de NaCl.**



**Fuente: Autores.**

---

<sup>1</sup> Para mayor información acerca de las diferentes pruebas electroquímicas para la corrosión remitirse al capítulo 4.14.

<sup>2</sup> Para más información sobre el manejo del P363 y SCAP363 remítase al anexo B (descripción y operación del potenciostato-galvanostato princeton p363 y del sistema de control y adquisición de datos scap363).

### Preparación de las probetas

Las probetas<sup>1</sup> antes de cada prueba fueron preparadas superficialmente utilizando papel esmeril grado 360, 400, 600 hasta 1200, se enjuagaron con agua desionizada y luego con alcohol, finalmente se secaron.

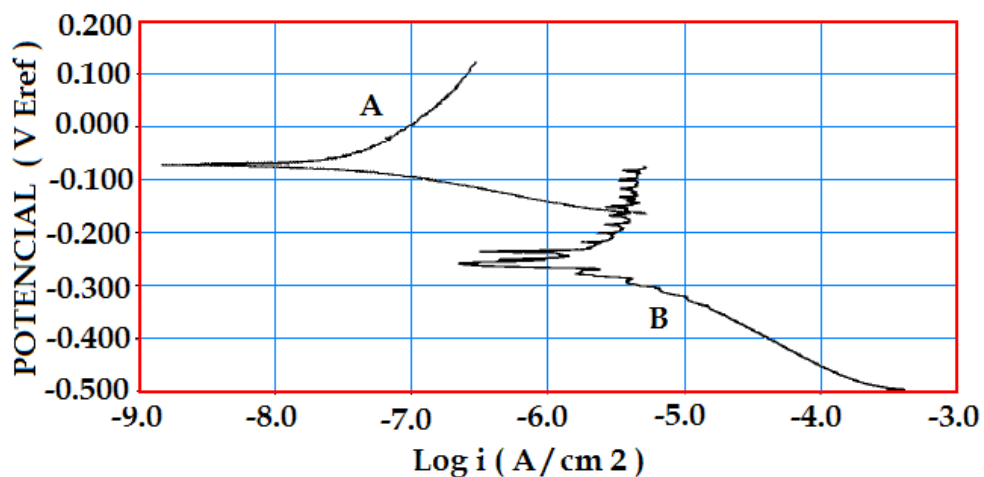
### Preparación de la solución

La solución fue preparada con agua desionizada y cloruro de sodio, NaCl al 3.5% en peso, con un pH entre 6.49 y 6.06. Dicha solución se preparo con agua desionizada para mantener un mejor control de los iones presentes y evitar la posible formación de productos de corrosión diferentes a los producidos por la interacción con la mezcla.

### Resultados de las Pruebas

En la figura 96 y 97 se presentan las curvas de polarización anódica y catódica de las muestras de acero AISI 304 y de aleación de Ti6Al4V.

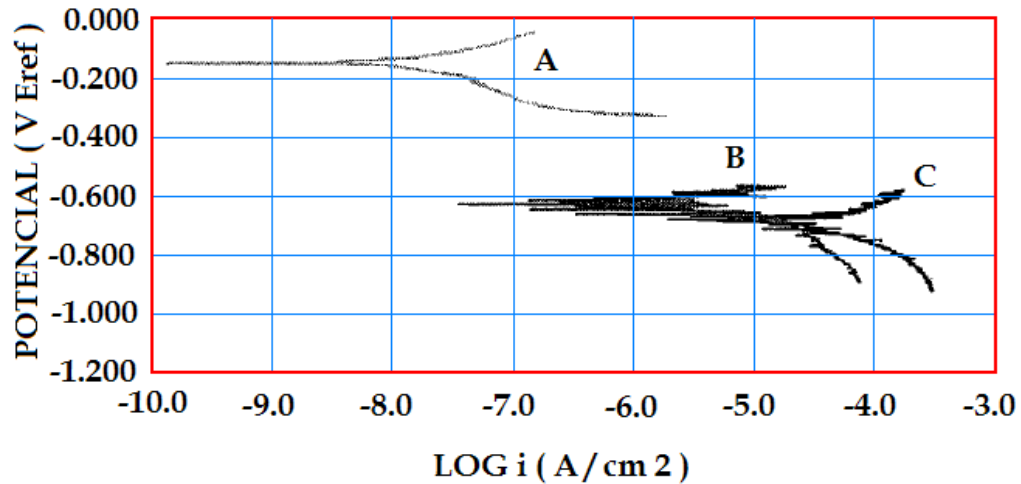
Figura 96. Curva de polarización para el Acero AISI 304.



Fuente: Autores.

<sup>1</sup> Para mayor información sobre las dimensiones requeridas de la probeta remitirse al anexo T Planos (plano 70).

Figura 97. Curva de polarización para la aleación de Ti6Al4V.



Fuente: Autores.

En estas gráficas se observó que existe un desplazamiento hacia abajo y hacia la derecha de las curvas B y C obtenidas para los ensayos expuestos a carga y rotación con respecto a la curva A expuesta solo a corrosión, indicando de esta forma que las curvas tipo A presentan menor potencial de corrosión y una densidad de corriente menor, y por lo tanto una menor velocidad de corrosión.

Cuando se aumenta la carga al material se pasa de un control por activación a un control mixto de activación y transferencia de masa, siendo analizado a una misma velocidad de rotación en el cual la huella de rayado tiene una baja tendencia a repasivarse, por el efecto de la velocidad. Se presentan potenciales más negativos debido al aumento del carácter activo del control de la corrosión, con lo que efectivamente se ocasiona un aumento en la densidad de corriente por el efecto sinérgico entre el desgaste del material y el efecto activo de la corrosión.

## 9 CONCLUSIONES

- Se diseñó y fabricó una máquina para ensayos de desgaste-corrosión basados en la norma ASTM G99-90 (2000), con la cual se obtuvo resultados confiables y además, puede ser utilizada como herramienta de aprendizaje y de prestación de servicios a la industria.
- Se determinó la densidad de corriente de corrosión del acero inoxidable AISI-304 y del Ti6Al4V, obteniéndose resultados dentro de los parámetros establecidos en la literatura. Además se observó que es posible realizar ensayos de repasivación en materiales biomédicos.
- El desarrollo de este tipo de proyectos demuestra el gran potencial para fabricar equipos de alta relevancia para el campo investigativo, además afianza el gran vínculo y relación que existe en las diferentes disciplinas como la Ingeniería Mecánica, Metalúrgica y la ciencia médica.
- Por medio de los estudios desarrollados en este equipo se plantearán soluciones que ayudarán a reducir costos en las áreas de mantenimiento del sector industrial y médico, además, contribuirá con el fortalecimiento de la docencia en la escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales en especial del grupo de tribología y superficies GTUIS.

## 10. RECOMENDACIONES

Aunque los elementos y materiales utilizados en la construcción de este equipo cumplen satisfactoriamente los requerimientos establecidos, es posible mejorar el desempeño del mismo. Como ejemplo puede citarse el sistema de posición, en el cual por medio del mecanismo de desplazamiento vertical se lleva la punta del indentador hasta la superficie de la probeta, proceso que se realiza manual y visualmente y que conllevaría a incrementar la carga al iniciar una prueba. Este problema podría ser solucionado con la utilización de un sensor de contacto el cual detectaría el instante en el cual el indentador toca la superficie de la probeta y así poder aplicar cada uno de los pesos correspondientes al ensayo.

## BIBLIOGRAFÍA

**A. L. Casillas.** Máquinas cálculos de taller. 36 ed. España: Enco; 1997. p 271.

**Groover M.** Fundamentos de manufactura moderna: Teoría de maquinado de metales. Mexico: Prentice-Hall Hispanoamericana; 1997. P 544.

**M.B. Abuzriba, R.A. Dodd, F.J. Worzala, and J.R. Conrad.** Wear corrosion: Separation of the components of corrosion and wear. Science 1992; 48 (1): 2- 4.

**Martínez F.** La tribología Ciencia y técnica para el mantenimiento. Editorial Limusa. México 1997.

**Mott R.** Diseño de elementos de máquinas. 2 ed. México: Prentice Hall; 1992. 787 p.

**N Latona, PFetherston, A Chen, K Sridharan, R Dodd.** Wear-Corrosion comparisons of passivating vs nonpassivating alloys in aerated 3.5% aqueous solutions of sodium chloride. Science 2001; 57 (10): 884-888.

**SARKAR A.D.** Desgaste de Metales. Editorial Limusa. México 1995.

**Sew-Eurodrive.** Manual de Funcionamiento para reductores Spiroplan W [Sitio en Internet]. Disponible en <http://sew-eurodrive.com.co/Productos/Motorreductores/LíneawMotorreductoresSpiroplan/InformaciónTécnica>. Acceso el 15 de octubre 2007.

**Shigley J, Mischke C.** Diseño en ingeniería mecánica. 5 ed. México: Mcgraw-hill; 1990. 892 p.

**SKF.** Catalogo 4007/I sp. Dinamarca; 1997. 197 p.

**SKF.** Catalogo interactivo de ingeniería [Sitio en Internet]. Disponible en [http://skf.com/productos/catalogo\\_interactivo\\_de\\_ingeniería/hydraulics\\_seals/o-rings](http://skf.com/productos/catalogo_interactivo_de_ingeniería/hydraulics_seals/o-rings). Acceso el 10 de octubre 2007.

**Uribe Acevedo J, Wilches Peña L.** Corrosión–Desgaste en materiales usados para la construcción de implantes de juntas articulares [Trabajo de grado

Ingeniero Mecánico] Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de minas, escuela de ingeniería mecánica y eléctrica; 2004. p 21-51.

## **ANEXOS**

## **ANEXO A**

### **MANUAL DE FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DEL TRIBÓMETRO PARA PRUEBAS DE DESGASTE-CORROSIÓN EN BIOMATERIALES METÁLICOS**

# MANUAL DEL OPERARIO

## Importante

Antes de poner en funcionamiento la máquina, lea atentamente y cumpla todas las normas de seguridad e instrucciones de funcionamiento dadas en este manual. Sólo debe permitirse utilizar la máquina a personal debidamente formado y autorizado.

## Contenido

	<b>pág.</b>
<b>1. Manual de Funcionamiento.</b>	182
1.1 Inspección previa al manejo de la máquina.	182
1.2 Instalación.	183
1.3 Operación del Tribómetro.	186
1.4 Configuración de los parámetros de operación del variador de frecuencia.	187
<b>2. Manual de mantenimiento.</b>	189
2.1 Mantenimiento para el tribómetro.	190
2.2 Procedimientos de mantenimiento.	191
2.3 Ficha técnica del tribómetro.	200
2.4 Diagnostico de estado de maquinaria.	201
2.5 Ficha de conclusiones.	202
2.6 Control de piezas cambiadas.	203
2.7 Hoja de vida del equipo.	204

# 1. MANUAL DE FUNCIONAMIENTO

## 1.1 Inspección previa al manejo de la Máquina



### **No utilice el equipo a menos que:**

Conozca y aplique los principios de seguridad, de funcionamiento detallados en este manual del operario.

1. Evite situaciones de riesgo.
2. Inspeccione siempre el equipo antes de comenzar cualquier trabajo. Antes de pasar a la siguiente sección, asegúrese de haber leído y comprendido el apartado sobre la inspección previa al manejo de la máquina.
3. Antes de utilizar el equipo, compruebe que todas sus funciones operen correctamente.
4. Inspeccione el lugar de trabajo.
5. Utilice el equipo solamente con el fin para el que fue diseñado.

#### ➤ **Riesgos derivados del uso Incorrecto**

Nunca deje el equipo desatendido. El uso del mismo por personal no autorizado puede causar graves lesiones al operario como deterioro o daño de las partes internas del equipo.

#### ➤ **Riesgo de electrocución**

Este equipo no está aislado eléctricamente en su totalidad, evite introducir los dedos en las conexiones del interruptor automático y en los tornillos de conexión eléctrica tanto de los pulsadores como del led. No manipule los fluidos contenidos en el interior del tanque sin apagar previamente el equipo. Si la estructura presenta descarga eléctrica, asegúrese de accionar el interruptor magnético a la posición (Off) revisar el motor o verifique que no existan cables sueltos, en caso contrario utilice el plano del circuito eléctrico que se encuentra en el respaldo de la puerta.

### ➤ Principios básicos

La inspección previa al manejo del equipo se trata de una inspección visual que el operario debe realizar antes de cada prueba de laboratorio con el objetivo de detectar cualquier posible daño. Consulte la lista de instalación y compruebe cada uno de los elementos.

## 1.2 Instalación

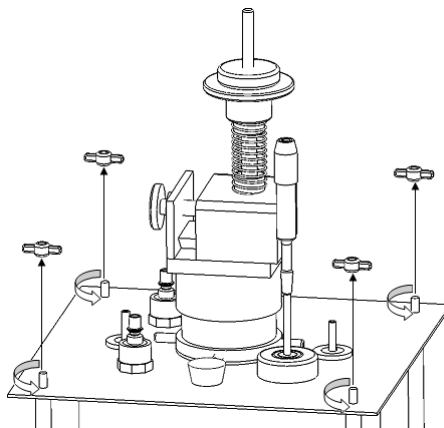
A continuación se indican los procedimientos que deben realizarse para la puesta a punto del equipo, que junto con la conexión del Potenciostato - Galvanostato P363 y el sistema de adquisición de datos Scap363 permitirán el inicio de los ensayos.

### Inserción de las probetas

Teniendo en cuenta que cada probeta metálica debe cumplir con las dimensiones estipuladas en Anexo T plano 70, se procede a ubicarla en el alojamiento del porta probeta de la siguiente manera:

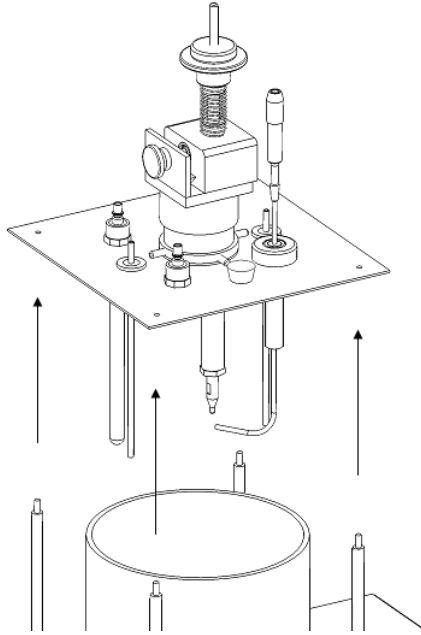
1. Desenrosque las tuercas mariposa que aseguran la lámina de soporte de los elementos de la celda, retire el electrodo de referencia, el tubo de entrada de gas y por último todo el conjunto superior. Ver figura 1 y 2.

**Figura 1. Retirada de las mariposas.**



**Fuente: Autores.**

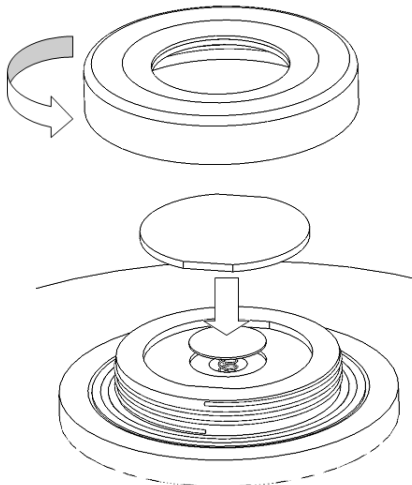
**Figura 2. Retirada del conjunto superior.**



**Fuente: Autores.**

2. Desenrosque la tapa del porta-probeta e inserte la probeta en su alojamiento comprimiéndola contra el resorte contactor que se encuentra alojado allí, vuelva a roscar la tapa asegurándola fuertemente para impedir filtraciones (verifíquese que en el interior de la tapa se encuentre el respectivo empaque).

**Figura 3. Colocación de la probeta.**



**Fuente: Autores.**

3. Ingrese el fluido de trabajo (solución Hank o Ringer) dentro del tanque verificando que la llave de paso del sistema de desagüe este cerrada y vuelva a colocar el conjunto superior, el electrodo de referencia, tubo de entrada de gas y asegure la lámina con las mariposas.
4. A continuación se realiza la conexión eléctrica entre la celda electroquímica del tribómetro y el potenciostato P363 de acuerdo con las siguientes indicaciones<sup>1</sup>:

El cable de conexión del P363 (Cell) viene dotado de 4 conectores que deben ser acoplados a los elementos de la celda de acuerdo al siguiente código de colores.

- Terminal Rojo: Se conecta a los contra-electrodos de la celda.
  - Terminal verde: Se conecta al electrodo de trabajo de la celda, por medio de un borne ubicado en la superficie del nivel 3, este cuenta con un cable que lo comunica con el porta escobillas, garantizando así el envío de la señal eléctrica al eje conductor y por medio de él a la probeta.
  - Terminal blanco: Se conecta al electrodo de referencia.
  - Terminal negro: Disponible como una fuente de tierra de potencial (no es requerido conectarlo para ninguno de los modos de operación).
5. Luego de este proceso se procede a conectar el sistema de adquisición de datos SCAP363 al potenciostato-galvanostato por medio del cable DB15 que viene suministrado en este equipo (para mayor información remitirse al anexo B-B2). Seguidamente se accionan los controles de encendido del Tribómetro para iniciar la prueba conjuntamente con los del Potenciostato363 y del SCAP363.

---

<sup>1</sup> para mayor información sobre la descripción y operación del potenciostato-galvanostato princeton (p363) y del sistema de control y adquisición de datos scap363 remítase al anexo B

## 1.3 Operación del Tribómetro

A continuación se enumeran los pasos que deben realizarse para el encendido del Tribómetro.

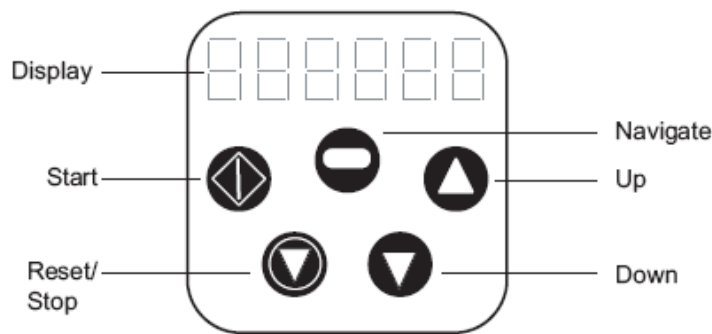
1. Conecte el equipo a una línea de alimentación trifásica 3 x 120 Voltios.
2. Lleve a la posición de encendido (On) el interruptor magnético (Breaker) y verifique que los fusibles de 2 amp estén en sus respectivos porta fusibles al igual que se encuentren en buen estado.
3. Oprima el pulsador verde, ubicado en la parte frontal de la puerta del tribómetro para activar el arrancador (guardamotor). Para asegurarse que este se encuentra encendido, el indicador luminoso (Led) debe estar activado.
4. Accione el interruptor de encendido del variador de frecuencia, que se ubica junto al indicador luminoso.
5. Mediante el sistema de posicionamiento del pin del tribómetro, lleve la punta del indentador hasta la superficie de la probeta y ajuste el radio de rayado en la probeta, por medio del tornillo deslizante de la corredera.
6. Inserte en el porta pesos del tribómetro la carga de prueba.
7. De la orden de encendido al P363 mediante el interruptor ON/OFF y configure el sistema SCAP363.
8. Utilizando el selector de velocidades (potenciómetro), ajuste la velocidad deseada para el ensayo.
9. Luego que el motorreductor llega a la velocidad de régimen, se inicia la prueba desde el sistema SCAP363.
10. Después de terminar la prueba, reduzca la velocidad progresivamente hasta cero por medio del selector de velocidades.
11. Mediante el sistema de posicionamiento del tribómetro, levante el indentador aproximadamente unos 20 mm.
12. Apague el variador de frecuencia llevando el interruptor a la posición (OFF).
13. Apague el equipo utilizando el pulsador color rojo.
14. Lleve a la posición (OFF) el interruptor magnético.
15. Desconecte el equipo de la línea de alimentación.
16. Retire el fluido del tanque girando la perilla del sistema de drenaje y depositándolo en un recipiente.
17. Por medio del sistema SCAP363 descargue a un PC los valores almacenados en el mismo, para su posterior análisis.

## 1.4 Configuración de los parámetros de operación del variador de frecuencia

La configuración interna del variador de frecuencia está formada por 14 parámetros estándar y 26 parámetros extendidos, aunque en esta aplicación solo se utilizarán los primeros.

A continuación se mencionarán los parámetros más relevantes para el funcionamiento óptimo del equipo, si se desea mayor información sobre los demás parámetros debe remitirse a la guía de usuario - Movitrac LTE que brinda el fabricante. En la figura 4 se muestra la distribución del panel frontal del variador.

**Figura 4. Panel de navegación del variador de frecuencia.**



**Fuente: Manual de usuario-Movitrac LTE/operación del panel de navegación.**

- Para acceder al conjunto de parámetros estándar se debe presionar el botón de navegación por un tiempo mayor a 1 segundo, y seguidamente por medio de los botones arriba y abajo se escoge el parámetro a modificar (P-01 ~ P-14).
- Se presiona nuevamente el botón de navegación para ingresar al parámetro escogido y edite su valor por medio de los botones arriba-abajo.
- Para retornar a la lista de parámetros se presiona el botón de navegación.
- Para almacenar y o salir del modo de edición se presiona el botón de navegación por un tiempo mayor a 1 segundo o no se presiona ningún botón durante 20 segundos.

A continuación se describen los parámetros más relevantes en el manejo del variador de frecuencia, recordando que en la parte superior del mismo se encuentra inserta una tarjeta de ayuda con las especificaciones de los 14 parámetros estándar.

➤ Parámetro 1 (P-01): Máxima Velocidad.

Este valor corresponde al límite superior de velocidad a la cual operara el equipo, que para este caso es de 50 rpm.

➤ Parámetro 2 (P-02): Mínima Velocidad.

Este corresponde al límite inferior del operación del equipo, que en este caso debe ser de 0 rpm.

➤ Parámetro 3 y 4 (P-03, P-04): Rampa de aceleración.

La modificación de este parámetro se realiza con el fin de obtener una rampa de aceleración y una rampa de desaceleración al iniciar y finalizar las pruebas. Mediante la configuración de este parámetro, se brinda un tiempo en el cual se alcanza la velocidad de régimen que se haya escogido en P-01 y de igual manera brindar un margen de tiempo para obtener la mínima velocidad que se escogió en P-02, y de esta manera evitar que el indentador genere saltos intempestivos sobre la probeta debidos al encendido y apagado repentino del motorreductor. En este caso la rampa de aceleración y desaceleración será de 8 segundos.

Un aspecto a tener en cuenta en la programación de este equipo es que en la pantalla de visualización es mostrada la frecuencia en Hertz a la cual gira el eje del reductor, por lo tanto se deben realizar las conversiones correspondientes para poder obtener la velocidad en rpm a la cual gira el eje.

➤ Parámetro 5 (P-05): Modo de parada.

P-05 = 0 Cuando se utilizan rampas de aceleración y desaceleración.

P-05 = 1 Se utiliza cuando el motor es desacelerado naturalmente debido a la fricción o mediante un embrague mecánico.

➤ Parámetro 6 (P-06): Tipo de torque.

Por medio de este parámetro se especifica qué tipo de cargas son las que se manejan.

P-06 = 0 Se utiliza para aplicaciones con torque constante.

P-06 = 1 Ventiladores, Bombas y equipos de aire acondicionado.

## **2. MANUAL DE MANTENIMIENTO**

El mantenimiento es fundamental y estratégico cuando se aspira garantizar el buen funcionamiento de los equipos. Una vez aplicadas las estrategias de mantenimiento, se ven los resultados en cuanto a eficiencia, reduciendo costos y duración del equipo.

### **POLÍTICA DEL MANTENIMIENTO.**

La política del mantenimiento es garantizar la eficiencia y disponibilidad de los equipos, asegurando la vida útil de los mismos y minimizando los costos que acarrea el mantenimiento.

#### **Objetivos del mantenimiento**

- Aumentar la vida útil de la máquina y atender las fallas o averías en el menor tiempo posible, permitiendo el normal funcionamiento de la misma.
- Reducir los costos ocasionados por mantenimiento y disminuir las fallas imprevistas mediante el manejo de un correcto inventario, evitando así interrupciones prolongadas debido a la espera de adquisición de implementos.

### **CONCEPTOS DE MANTENIMIENTO**

Es la combinación de actividades por medio de las cuales una máquina se mantiene o se restablece a su estado normal de funcionamiento. El mantenimiento es un factor importante en cuanto a calidad y estrategia se trata para una competencia exitosa.

Una mala operación en el equipo ocasionaría resultados defectuosos, por ello las máquinas deben operar dentro de las especificaciones, las cuales son alcanzadas con un alto control de mantenimiento.

Existen diferentes tipos de mantenimiento, para el tribómetro se considera como estrategia de disponibilidad y operatividad el mantenimiento preventivo.

## **Mantenimiento Preventivo**

Mantenimiento basado fundamentalmente en detectar una falla antes de que suceda, para dar tiempo a corregirla sin perjuicios al servicio, ni detención de la operación. Estos controles pueden llevarse a cabo de forma periódica o continua, en función de tipos de equipo y el sistema productivo. Para ello, se usan instrumentos de diagnóstico, aparatos y pruebas no destructivas, como análisis de lubricantes, comprobaciones de temperatura de equipos eléctricos etc.

### **Ventajas del Mantenimiento Preventivo**

- Reduce tiempos de parada.
- Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.
- Mediante la verificación del estado de la maquina, tanto realizada de forma periódica como de forma accidental, permite confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico.
- Conocer con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto.

## **2.1 MANTENIMIENTO PARA EL TRIBÓMETRO**

### **Plan de mantenimiento**

La elaboración del plan de mantenimiento preventivo para el tribómetro está relacionada con la responsabilidad de mantener en buenas condiciones, la máquina, el equipo de trabajo, lo cual permite un mejor desenvolvimiento y seguridad, logrando alcanzar un mayor grado de confiabilidad.

El proceso de diseño del plan de mantenimiento se inicia con el procedimiento del mantenimiento, la elaboración de la ficha técnica, diagnóstico del estado de la ficha de conclusiones, control de piezas cambiadas o reparadas y hoja de vida.

## Recopilación de la información

La información se obtiene directamente de los planos de fabricación y montaje; las recomendaciones en cuanto a operaciones y periodicidad de los mantenimientos son suministradas por los fabricantes de los componentes (motorreductor, variador, etc.).

## 2.2 PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO

A continuación se mencionan las posibles fallas junto a las causas que las producen y la posible solución de ellas a cada uno de los elementos críticos del equipo.

### ➤ Sistema de potencia

- **Motorreductor:** Es apropiado para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente. Este es el encargado de transmitir el torque al eje que hace girar la probeta.

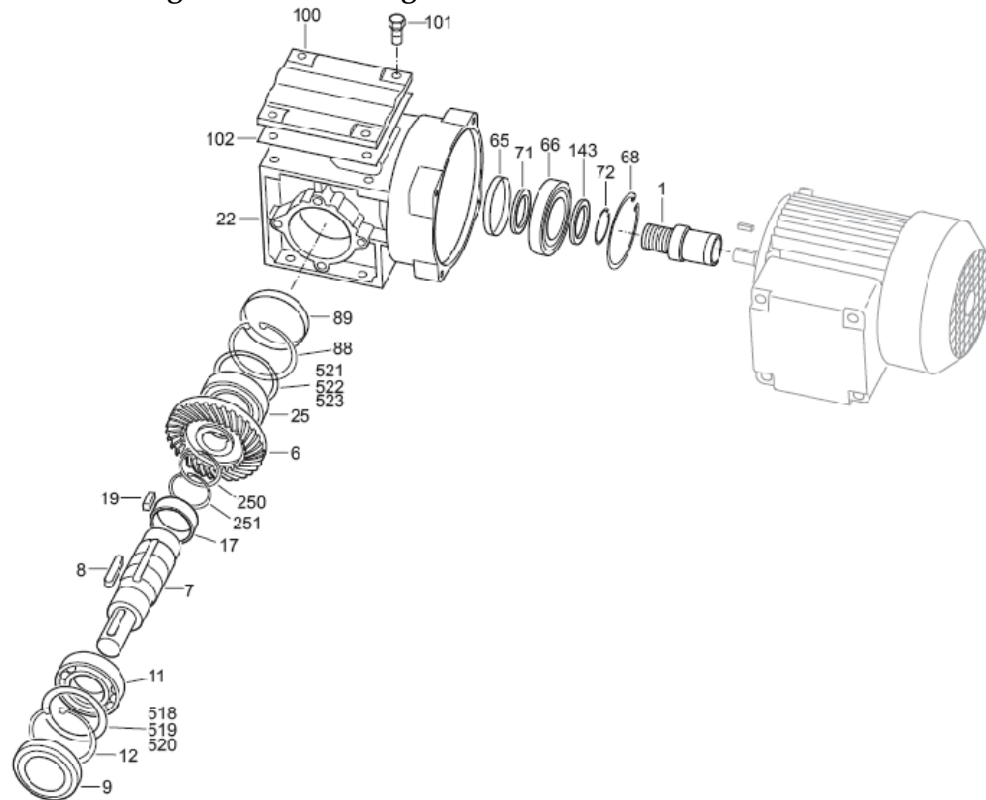
Puesto que uno de los elementos críticos en el funcionamiento del tribómetro es el motorreductor, a continuación en la figura 5 se indica la estructura general de los reductores Spiroplan. Puesto que uno de los aspectos más importantes en el funcionamiento óptimo de un reductor es la lubricación, los reductores Spiroplan están lubricados de por vida, y por tanto no precisan mantenimiento.

**Tabla 1. Lista de partes constitutivas del reductor SPIROPLAN.**

1	Piñón	19	Chaveta	88	Circlip	251	Circlip
6	Rueda	22	Carcasa	89	Capuchón	518	Arandela de ajuste
7	Eje de salida	25	Rodamiento	100	Tapa del reductor	519	Arandela de ajuste
8	Chaveta	65	Retén	101	Tornillo de cabeza hexagonal	520	Arandela de ajuste
9	Retén	66	Rodamiento	102	Junta	521	Arandela de ajuste
11	Rodamiento	71	Arandela de apoyo	132	Circlip	522	Arandela de ajuste
12	Circlip	72	Circlip	183	Retén	523	Arandela de ajuste
17	Distanciador	143	Arandela de apoyo	250	Circlip		

**Fuente: Autores.**

**Figura 5 Estructura general del reductor SPIROPLAN.**



**Fuente: Sew-Eurodrive: Manual de instrucciones de funcionamiento. p 11.**

**Posibles fallas**

SITUACIÓN	El motorreductor se pone lento o se detiene.
CAUSA	SOLUCIÓN
Baja tensión. Esto puede ocurrir cuando el valor de tensión este por debajo del 5% de la tensión nominal. También cuando el calibre del conductor es muy bajo.	Inspeccionar la tensión de alimentación, la cual debe registrar un valor de 220 V.
Falta de fase	Realizar las respectivas mediciones en cada una de las fases, midiendo la existencia de voltaje entre la fase y el neutro.
Terminales sulfatados u oxidados.	Limpiar las terminales de los cables de potencia.

SITUACIÓN	El motorreductor produce ruido.
CAUSA	SOLUCIÓN
Desgaste en los engranajes	Lubricación de los mismos con la grasa adecuada referida por el fabricante.
Daño en los dientes de los engranajes	Escuchar con un estetoscopio mecánico el ruido de los engranes, y si es excesivo cambiarlos.

SITUACIÓN	El motorreductor se calienta excesivamente.
CAUSA	SOLUCIÓN
El equipo puede estar sobrecargado.	Medir la absorción de corriente con y sin carga y compararla con la nominal como se establece en la placa.
La tensión que llega es muy alta.	Controlar los cables de conexión en las tres fases.
Enfriamiento insuficiente debido a contaminación.	Verificar el funcionamiento del ventilador y limpieza de la rejilla.

➤ **Sistema de celda electroquímica**

- **Porta probeta:** como su nombre lo indica, es el encargado de alojar la probeta y gracias a su geometría la mantiene sujeta.

**Posibles fallas**

SITUACIÓN	Desgaste de Porta probeta
CAUSA	SOLUCIÓN
Deterioro de la parte lateral externa.	Mantener siempre lubricadas estas superficies con grasa para garantizar el deslizamiento existente con la brida y así evitar dicho desgaste.
Incrustación de partículas	Limpiar bien el porta probeta antes de montar la probeta.
Desgaste de los o-ring debido al tiempo de uso.	Cambiarlos por unos nuevos.

- **Brida:** Pieza encargada de alojar el conjunto porta probeta.

### Posibles fallas

SITUACIÓN	Desgaste de la brida
CAUSA	SOLUCIÓN
Deterioro en la pared interna de la brida por abrasión y corrosión.	Mantenerla siempre lubricada con grasa y así garantizar un deslizamiento sin desgaste.

SITUACIÓN	Desgaste de los empaques
CAUSA	SOLUCIÓN
Después de cierto tiempo, debido a la composición de la sustancia salina que se utiliza para las pruebas, esto desgastará los empaques que impiden la filtración del líquido.	Cambiarlos cuando se comiencen a presentar principios de fugas por desgaste.

SITUACIÓN	Desgaste de los rodamientos
CAUSA	SOLUCIÓN
El rodamiento axial puede estar en contacto con los fluidos empleados en los ensayos debido al desgaste de los anillos O-ring.	Sustituir los O-ring por unos nuevos.

- **Eje conductor:** Es una barra de cobre, encargada de conducir la señal eléctrica que se transmite por el porta escobillas y luego a través de él, para llegar a la probeta. Por medio de un resorte y una pequeña lámina se mantiene el contacto con la probeta.

### Posibles fallas

SITUACIÓN	La señal censada no es la real.
CAUSA	SOLUCIÓN
El eje no está totalmente aislado del contacto con el aire, debido a daños en las camisas de nylon 6-6.	Revisar detalladamente el tubo, en caso de encontrar algún tipo de grieta, cambiarlo y garantizar la protección del eje. Es claro recordar que la parte que no se encuentra protegida es en la mitad del eje por el contacto que debe existir con los carbones de las escobillas.

- Porta escobillas:** El funcionamiento óptimo de este conjunto es de vital importancia ya que su función es la de albergar el juego de escobillas que permiten transmitir los potenciales impuestos por el Potenciostáto-Galvanostáto hasta la probeta. Ya que el material de construcción de las escobillas es carbón y gracias a un resorte que las comprime contra el exterior del eje conductor sufren un desgaste acelerado, teniéndose que verificar el estado de las mismas antes de la realización de los ensayos, con el fin de reemplazarlas si es necesario. La óptima conducción eléctrica entre la probeta y el borne de conexión localizado en la superficie de la lámina del nivel 3 (borne para la conexión del electrodo de trabajo) deben chequearse por medio un óhmetro para garantizar así la continuidad eléctrica.

### Posibles fallas

SITUACIÓN	No existe el contacto suficiente para transmitir las señales eléctricas.
CAUSA	SOLUCIÓN
Las piezas de carbón están desgastadas.	Cambiar dichas piezas por otras en buen estado.
Los resortes no están realizando su función de forma adecuada.	Chequear que estos resortes se encuentren sujetos a las láminas de contacto, de no ser así se deben soldar a la lámina. Revisar si los resortes han perdido elasticidad. En su defecto deben ser reemplazados por nuevos.
Los cables que transmiten la señal al exterior estén sueltos.	Soldarlos a sus respectivas láminas de contacto.

- **Tanque:** Es el recipiente donde se almacenará la sustancia salina y permitirá que entren en contacto los electrodos, el indentador y la probeta. Gracias a las propiedades de su material el proceso de las pruebas se podrá visualizar.

SITUACIÓN	Fuga de liquido
CAUSA	SOLUCIÓN
Al producirse una fuga de la sustancia concentrada en el tanque, se corre el riesgo de que en algunas piezas se produzca corrosión y los resultados obtenidos no serían los ideales.	Revisar que el juego de O-ring se encuentre en su sitio, en caso contrario se ubica en su verdadera posición. Si se llega a encontrar deteriorado, se cambia por uno nuevo. Aplicar sellantes sintéticos en los sitios de fugas.

SITUACIÓN	Existencia de sustancias o partículas diferentes a las utilizadas en las pruebas.
CAUSA	SOLUCIÓN
Deterioraría el sistema porta probeta y el tanque, además alteraría los resultados de las pruebas.	Vaciar totalmente el tanque, lavarlo y secarlo.

- **Racores:** Son utilizados para la entrada y salida de gases, simulando diferentes atmósferas o niveles de presión.

#### Posible fallas

SITUACIÓN	Inconvenientes en el paso de los gases
CAUSA	SOLUCIÓN
Cuando se quiera liberar la presión existente en el tanque no pueda salir con facilidad, ocasionando daños externos, debido a la gran acumulación de presión dentro del recinto.	Soplar constantemente los racores y en caso de encontrarse obstaculizando el gas, destaparlo con una aguja.

➤ **Sistema de carga y posición**

- **Conjunto soporte corredera y corredera:** Gracias a este conjunto el rayado de la probeta se puede realizar en diferentes radios, con el fin de aprovechar al máximo su superficie. Con el soporte corredera fijo, se puede desplazar fácilmente de forma horizontal la corredera para lograr dicho objetivo.

**Posibles fallas**

SITUACIÓN	Dificultad para su desplazamiento.
CAUSA	SOLUCIÓN
Filtración de partículas en la zona de contacto entre las dos piezas produciendo un rayado al acabado.	Hacer una limpieza permanente a esta zona de contacto y en caso que se presente alguna ralladura, pulir al espejo la parte afectada. Lubricar el tornillo desplazante.

- **Husillo:** Pieza encargada de permitirle un movimiento vertical al conjunto de la corredera y a su vez al portaindentador, cuya finalidad es la de garantizar un contacto exacto entre el indentador y la superficie de la probeta antes de ser aplicadas las diferentes cargas de prueba.

**Posibles fallas**

SITUACIÓN	Desgaste de los dientes de la tuerca del husillo.
CAUSA	SOLUCIÓN
Cuando se filtran partículas, en el momento que se desplaza el conjunto de la corredera, estas producen rayados que desgastan los dientes de la misma. Esto hace que el desplazamiento sea a saltos, que pueden dañar la punta del indentador	Mantener siempre limpios y lubricados los dientes de la tuerca del husillo.

- **Base de fricción:** Es usada como material de sacrificio para garantizar que la lámina de soporte porta pesos no sea rayada al girar la tuerca de altura.

<b>SITUACIÓN</b>	Desgaste de la pieza
<b>CAUSA</b>	<b>SOLUCIÓN</b>
Por ser una pieza de sacrificio está sometida a desgaste por ralladura.	Cambiarla.

- **Conjunto posicionador del indentador:** Este conjunto junto con la ayuda de la adición de pesos en la parte superior logran garantizar que la punta del indentador realice el respectivo rayado sobre la probeta. El resorte es el encargado de absorber el peso de todo el conjunto para lograr que la fuerza de rayado sea igual al peso que se le adiciona a dicho conjunto.

#### Posibles fallas

<b>SITUACIÓN</b>	Mal rayado en la probeta
<b>CAUSA</b>	<b>SOLUCIÓN</b>
Desgaste en la punta de rubí.	Soltar la contratuerca, para liberar el acople entre el eje y el porta indentador y luego poder cambiar la punta de rubí.
<b>SITUACIÓN</b>	Fluctuaciones excesivas en el conjunto.

<b>CAUSA</b>	<b>SOLUCIÓN</b>
La superficie de la probeta tendría porosidades debidas a una mala preparación de la misma.	Revisar el resorte, para realizarle un tratamiento térmico o en su defecto cambiarlo. Pulir al espejo la superficie de la probeta.

<b>SITUACIÓN</b>	Desajuste del acople puntera-soporte del indentador.
<b>CAUSA</b>	<b>SOLUCIÓN</b>
Cuando se le hace una fuerza excesiva al apriete entre el acople y la contra tuerca, hace que los dientes se dañen, ocasionando un desajuste en las piezas.	Apretar las piezas de forma adecuada sin forzarlas.

De igual manera como se mencionó en la sección de funcionamiento, la descripción detallada a todos los sistemas tratados en este capítulo se puede obtener en el capítulo 6 diseño conceptual de la máquina para ensayos de desgaste-corrosión en biomateriales metálicos.

## 2.3 FICHA TÉCNICA DEL TRIBÓMETRO

Este es el documento que identifica y describe completamente la máquina. Esta ficha contiene la mayor información técnica del equipo. Aunque la ficha técnica es un documento en el cual la variación de sus datos es casi constante, es recomendable realizar una actualización de estos datos, además de la corroboración de los existentes y llenar los faltantes a medida que se vaya conociendo la información.

FICHA TÉCNICA TRIBÓMETRO		
Código: GTE000	Nombre de la maquina: TRIBÓMETRO	
Modelo:	Marca: GT	Año:2007
Ubicación:	Serie:	País: COLOMBIA

DATOS DEL MOTORREDUCTOR	
Marca: SEW spioplan 90 grados	Tipo: WAF 20 DR 63S4
Potencia: 0.12 Kw	RPM: 61
Voltios: 220/440 V AC	Reducción(i): 27.5
Frecuencia: 60 Hz	Peso(Kg): 7
Lubricante: Shell Omala 460	Posición de montaje: M6-270°

DATOS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA	
Tipo: MOVITRAC LTE	Ref: MCLTEA0004-201-1-00
Potencia: 0.5 hp	Tensión: 220 voltios

DATOS DEL ARRANCADOR	
Tipo: Telemecanique	Ref: LE1D09M7
Tensión: 220 V AC	Amperaje: 9 A
Frecuencia: 50/60 Hz	

EQUIPOS ADICIONALES	
NOMBRE	DESCRIPCIÓN
POTENCIOSTATO	PRINCETON modelo 363 (P363).
SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	SCAP363.

## 2.4 DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DE LA MAQUINARIA

Este formato debe llenarse cada vez que se haga una intervención de mantenimiento programado a una maquina, esta permite conocer el estado real y actual de la maquina en el momento de la inspección, además de servir como control e historial de las actividades de reparación y mantenimiento del equipo.

<b>DIAGNÓSTICO DE ESTADO DE LA MÁQUINA</b>				
<b>FECHA</b>			<b>CÓDIGO DE LA MÁQUINA</b>	<b>SOLICITUD DE MANTENIMIENTO</b>
<b>DÍA</b>	<b>MES</b>	<b>AÑO</b>		

<b>NOMBRE DEL OPERARIO:</b>
-----------------------------

<b>Nº</b>	<b>NOMBRE DE LA PARTE</b>	<b>DIAGNÓSTICO</b>	<b>SOLUCIÓN</b>

<b>REGISTRO DE DAÑOS</b>
--------------------------

<b>Nº</b>	<b>CAUSAS DE FALLA</b>	<b>EXPLICACIÓN</b>

<b>Nº</b>	<b>OPERACIONES DE REPARACIÓN O MANTENIMIENTO</b>	<b>FECHA : INICIO/ FIN</b>

----- <b>ELABORADO</b>	----- <b>REVISADO</b>	----- <b>RECIBIDO</b>
---------------------------	--------------------------	--------------------------

## 2.5 FICHA DE CONCLUSIONES

En este formato deben registrarse los resultados de la inspección de mantenimiento, este formato es de vital importancia por que en él se resumen varios aspectos a tener en cuenta posteriormente o que van a formar parte del registro de la historia del equipo. Este formato debe llenarse cada vez que se haga una inspección programada o cuando haya una inspección de mantenimiento correctivo (correspondiente a un daño imprevisto).

FICHA DE CONCLUSIONES						
FECHA			PARADA PROGRAMADA		CÓDIGO DE LA MÁQUINA	SOLICITUD DE MANTENIMIENTO
DIA	MES	AÑO	SI	NO		

PUEDE SEGUIR TRABAJANDO		NECESITA REPARACIÓN O MANTENIMIENTO	
-------------------------	--	-------------------------------------	--

No	CONTROL DE PARTES DE LA MÁQUINA (POSIBLE A FALLAR)	FECHA PRÓXIMA REVISIÓN

No	OBSERVACIONES

No	SUGERENCIAS (COMO SE PUEDE EVITAR QUE SE REPITA LA FALLA O COMO MEJORAR EL FUNCIONAMIENTO )

_____	_____	_____
<b>ELABORADO</b>	<b>REVISADO</b>	<b>RECIBIDO</b>





## ANEXO B

### DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN DEL POTENCIOSTATO- GALVANOSTATO PRINCETON (P363) Y DEL SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS SCAP363



El SCAP363 es un equipo diseñado para el control del *Potenciostato-Galvanostato Princeton 3631 (P363)*, así como la adquisición de los datos generados por este equipo. Es de vital importancia conocer el funcionamiento del P363 pues durante este manual se hace constante mención de este equipo.

El SCAP363 permite ejecutar varios tipos de pruebas electroquímicas para el análisis de los fenómenos de corrosión. Entre las pruebas se destacan la Tafel Anódica, Tafel Catódica, Tafel Completa, Resistencia de Polarización y Polarización Anódica Potenciodinámica.

El sistema cuenta con una interfaz de comunicación USB que permite transmitir los datos obtenidos en las pruebas hacia un PC, lo cual posibilita realizar gráficas de los resultados para llevar a cabo el cálculo de los parámetros requeridos y el análisis de los mismos. En el presente manual se describe la forma de operación del sistema, así como recomendaciones para un manejo adecuado. Para mayor información remitirse a la tesis de grado<sup>1</sup>: *Repotenciación y actualización de un Potenciostato-Galvanostato Princeton 363 para el Laboratorio de Corrosión de la Escuela de ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales*.

## **B.1 POTENCIOSTATO-GALVANOSTATO PRINCETON MODELO 363 (P363)**

A continuación se muestra una breve descripción centrada en las especificaciones técnicas y en la interfaz con el usuario.

### **➤ ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

En la tabla 5 se muestran las características técnicas más importantes del equipo, así como las condiciones necesarias para obtenerlas.

---

<sup>1</sup> Monroy Jácome D, Zabala Vargas S. Repotenciación y actualización de un potenciostato galvanostato princeton modelo 363 para el laboratorio de corrosión de la escuela de ingeniería metalúrgica y ciencia de materiales [Trabajo de grado] Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones; 2005.

Tabla 1. Especificaciones técnicas del P363.

PARÁMETRO	MIN	MAX	UNID	CONDICIONES
Salida de voltaje del Amplificador de control	-30	30	V	Carga aterrizada de 30
Salida de corriente	0	1	A	Con una carga de 10
Tiempo de Ascenso	-	10	μs	De 10% a90% con paso de 1V
Variación con la Temperatura	-	30	μV/°C	-
Voltaje de Rizado	-	20	μVrms	Desde 1 Hz a 3 KHz
Voltaje de Entrada	-10	10	V	-
Corriente de Entrada	0.1	2	nA	-
Resistencia de entrada	20	-	GO	-
Precisión (Medición de corriente)	-	0.4	%	Valor referenciado a la escala completa.

Fuente: Autores.

➤ **CONVENCIONES DE POLARIDAD**

**Corriente:** la corriente positiva es anódica (oxidación en el electrodo de trabajo); la corriente negativa es catódica (reducción en el electrodo de trabajo).

**Potencial:** un potencial positivo con respecto al potencial de equilibrio produce un crecimiento de la corriente positiva. Un potencial negativo produce un crecimiento de la corriente negativa.

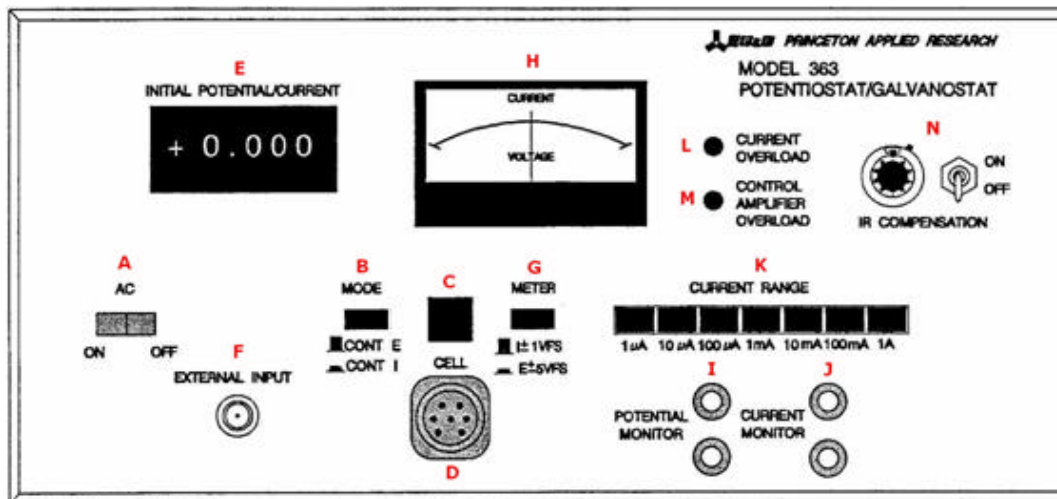
➤ **TAMAÑO Y PESO**

Ancho: 43.2 Cm, Alto: 19 cm, Profundidad: 38.1 cm.  
Peso: 8.2 Kg.

➤ **INTERFAZ CON EL USUARIO**

La Figura 33 muestra el panel frontal del P363 con varios elementos que permiten configurar el modo de operación del equipo, seleccionar el rango de corriente, visualizar las mediciones realizadas, etc.

Figura 1. Panel frontal del Potenciostato-Galvanostato Princeton 363.



Fuente: Autores

Haciendo referencia a la Figura 1, cada uno de los elementos que componen el panel frontal del P363 se describen a continuación:

1. **Interruptor On/Off:** Permite controlar la alimentación del sistema con el fin de encender y apagar el P363.
2. **Modo:** Este permite seleccionar la operación del P363 entre modo potenciostato y modo galvanostato. En modo Potenciostato (control E) el sistema tiene un rango de control desde -9.999 V hasta + 9.999 V que puede ser suministrado por un generador externo o por el mismo P363. A su vez en el modo galvanostato (control I) la corriente suministrada a la celda está dada por el producto por los valores dados en los indicadores. *Rango de corriente y Potencial/Corriente inicial.*
3. **Celda:** Este interruptor controla el paso de señal hacia la celda electroquímica.
4. **Conector de la celda:** Este elemento permite conectar el P363 con la celda electroquímica por medio de un cable de celda, el cual cuenta en el otro extremo con cuatro terminales identificados por medio de un código de colores como se muestra a continuación.

- Terminal rojo: Se conecta al contra electrodo de la celda.
  - Terminal verde: Se conecta al electrodo de trabajo de la celda.
  - Terminal blanco: Se conecta al electrodo de referencia de la celda.
  - Terminal negro: Disponible como una fuente de tierra de potencial.
5. **Potencial/Corriente inicial:** En este indicador se puede ajustar un valor de potencial o de corriente que será suministrado a la celda. Esta señal se suma algebraicamente a la señal de la entrada externa y típicamente se ajusta al potencial de corrosión ( $E_{oc}$ ).
  6. **Entrada externa:** Esta entrada permite aplicar una señal de control externa que al ser adicionada a la señal del literal E, es suministrada a la celda para la ejecución de las pruebas.
  7. **Interruptor del medidor:** Este permite seleccionar la señal, ya sea de voltaje o corriente de la celda, para ser mostrada en el Medidor de Aguja. Si se selecciona voltaje (E) la deflexión a fondo escala tiene un valor de  $\pm 5V$ , mientras que en el caso de la corriente (I) la deflexión corresponde a un valor igual al seleccionado en el Rango de Corriente.
  8. **Medidor de aguja:** Este permite visualizar las señales descritas en el literal anterior. En el modo (E) indica el voltaje entre el electrodo de trabajo y el de referencia, mientras que en el modo (I) muestra la corriente que pasa por el electrodo de trabajo.
  9. **Monitor de potencial:** Consta de dos borneras donde se puede medir el potencial entre el electrodo de referencia con respecto al electrodo de trabajo.
  10. **Monitor de corriente:** En ambos modos, el potencial provisto por la salida varía directamente con la corriente. La polaridad es la misma que la mostrada por el medidor de aguja.
  11. **Rango de corriente:** Este conjunto de siete botones establece el rango de corriente en ambos modos; sin embargo su significado difiere de un modo al otro. Para el modo Control E, éstos dan al operador la capacidad de hacer mediciones de corriente con mayor precisión que

se extiende desde un fondo de escala de 1  $\mu$ A hasta un fondo de escala de 1 A. Para más precisión se debe seleccionar el rango de corriente que provee la indicación mayor. De forma similar, en el modo Control I, estos botones tienen dos funciones. La primera consiste en determinar la magnitud de la corriente controlada multiplicando el valor de la escala señalada con el valor indicado por Potencial/Corriente Inicial. La segunda consiste en determinar la sensibilidad de medida de forma similar descrita para el modo anterior.

**12. Sobrecarga de corriente:** Este indicador se activa cuando la corriente del electrodo de trabajo es más grande que dos veces el valor seleccionado en el rango de corriente. Cuando esta advertencia se activa es necesario aumentar el valor de la escala del rango de corriente para poder continuar con la prueba. Es importante aclarar que esto es válido para todas las escalas excepto para la de 1 A pues este es el valor límite que soporta el P363.

**13. Sobrecarga del Amplificador de Control:** Cuando este indicador se activa indica que el lazo está fuera de control, es decir que el potencial del electrodo de trabajo con respecto al electrodo de referencia no es el programado. Esto se puede deber a una conexión errónea, un problema en el electrodo o a una resistencia del electrolito demasiado alta. Otra circunstancia en la cual este se activa es cuando la corriente por el electrodo de trabajo supera 1 A.

**14. Compensación IR:** Estos controles son usados en el modo Control E para aplicar realimentación positiva al amplificador de control. La señal de realimentación es un voltaje producido por una corriente I en la resistencia entre el electrodo de trabajo y el de referencia R. El lazo de control del instrumento compensa automáticamente para la celda el valor de la resistencia entre el contra-electrodo y el electrodo de referencia.

Es muy importante destacar que el P363 recibe señales de voltaje de entrada de +/- 10 V. Para el caso de las pruebas electroquímicas implementadas en el SCAP363 se maneja un rango de +/- 2,5 V, lo que permite aumentar la resolución en la adquisición de los datos.

## B.2 SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL P363 SCAP363

Figura 2. Imagen del Scap363.



Fuente: Autores.

A continuación en las tablas 2 y 3 se presentan las principales especificaciones eléctricas del SCAP363, así como los elementos adicionales con los que cuenta el sistema.

TABLA 2. PRINCIPALES CARACTERISTICAS ELECTRICAS

PARÁMETRO	MIN	MAX	UNID.	CONDICIONES
Rango de voltaje generado	-2.5	2.5	V	Aplicado en la entrada del P363.
Rango de corriente generado	-1	1	A	Generando un voltaje proporcional de $\pm 1V$ .
Voltaje de alimentación	4.9	5.1	V	-
Corriente de entrada	43.98	54.48	mA	-
Voltaje de referencia	2.498	2.502	V	Regulador de band-gap del SCAP363.
Capacidad de memoria por prueba	-	16374	Datos	Valor de voltaje o corriente según modo de operación.
Máxima tasa de transmisión (USB)	-	125000	Bauds	

TABLA 3. PRUEBAS CONFIGURADAS EN EL SCAP363

PRUEBAS	PARAMETROS DE ENTRADA	RANGO DE VOLTAJE [mV]
Tafel Catódica	Velocidad [mV/s]	$E_{OC} \rightarrow E_{OC}-250$
Tafel Anódica	Velocidad [mV/s]	$E_{OC} \rightarrow E_{OC}+250$
Tafel Completa	Velocidad [mV/s]	$E_{OC}-250 \rightarrow E_{OC}+250$
Rp	-	$E_{OC}-20 \rightarrow E_{OC}+20$
Polarización Anódica	Velocidad [mV/s]	$E_{OC} \rightarrow E_{FINAL}$
Potenciodinámica	Voltaje final [V]	

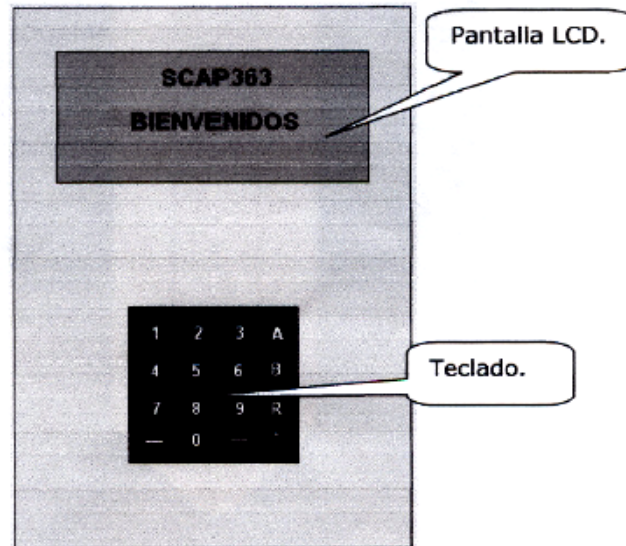
## INSTRUCCIONES PARA EL MANEJO DEL SCAP363

- *Encendiendo El Scap363*

En esta sección, se describe de forma sencilla el modo de operación y uso del SCAP363. Para familiarizarse con el dispositivo en sí y el software implementado, a continuación se presentan una serie de figuras que ilustran los procesos que se desarrollan dentro de su interfaz. En las Figuras 3 y 4, se presenta un esquema del SCAP363 donde se pueden identificar claramente los elementos externos con los que este equipo cuenta.

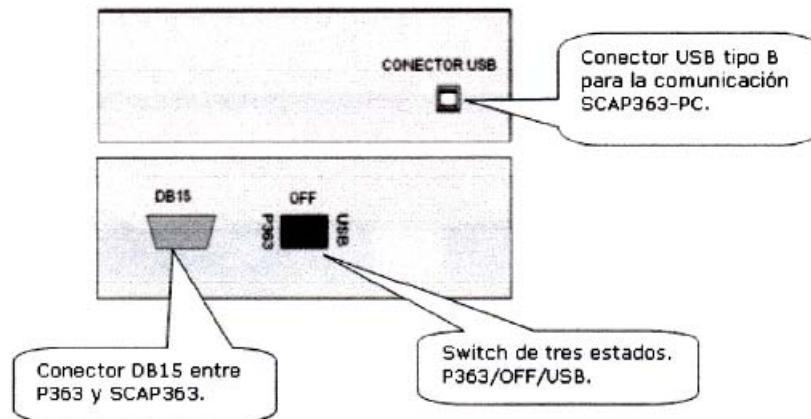
Inicialmente es necesario advertir que el sistema presenta una serie de menús sencillos para la selección y almacenamiento de las pruebas, los cuales son visualizados en la *Pantalla LCD* y manipulados utilizando el *Teclado*.

Figura 3. Vista frontal del SCAP363.



Fuente: Autores

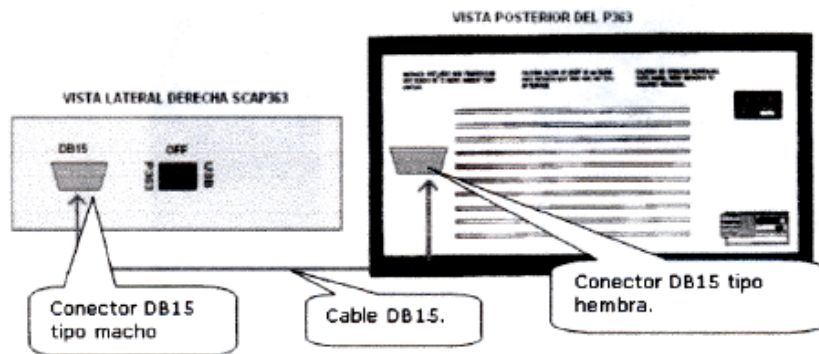
Figura 4. Vistas laterales del SCAP363.



Fuente: Autores.

El primer paso consiste en elegir si se desea *ejecutar prueba* o *descargar datos a PC*. Para la primera opción es necesario conectar el SCAP363 al P363 utilizando el cable con el conector DB15. Ver Figura 5.

**Figura 5. Conexión SCAP 363-P363.**



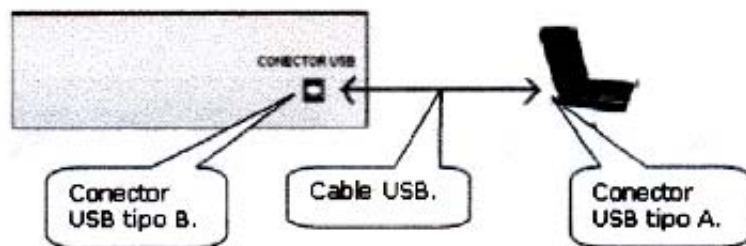
**Fuente: Autores.**

Para encender el equipo, es necesario activar el *switch de tres estados* hacia la posición *P363*.

NOTA: Es necesario encender primero el P363 y luego el SCAP363.

Para la opción de *descargar prueba*, se debe conectar el SCAP363 al PC por medio de un cable USB. En este caso el SCAP363 recibe la alimentación del PC.

**Figura 6. Conexión SCAP363-PC.**



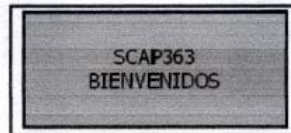
**Fuente: Autores.**

Ahora, para encender el equipo, es necesario activar el *switch de tres estados*, pero en este caso se debe llevar a la posición *USB*.

- *Trabajando Con El Scap 363*

Después de encender el equipo, se presenta una pantalla de bienvenida al usuario con la presentación del equipo. Ver Figura 7.

**Figura 7. Pantalla de Bienvenida.**



**Fuente: Autores.**

A continuación, se muestra el menú principal donde se puede seleccionar entre alguna de las opciones mostradas en la Figura 8, las cuales se serán explicadas en breve.

**Figura 8. Menú Principal.**



**Fuente: Autores.**

**A. MODO DE PRUEBA:** Permite Ingresar a los menús donde se ejecutarán las pruebas electroquímicas.

**B. DESCARGA DE DATOS:** Esta opción permite transmitir los datos desde el P363 hacia el computador. Acto seguido se describen cada una de las opciones anteriores:

- *Modo De Prueba.* Se presenta a continuación una pantalla para escoger la memoria en la cual se va a almacenar los resultados. Ver Figuras 9 y 10.

**Figura 9. Menú para la selección de la memoria.**



**Fuente: Autores.**

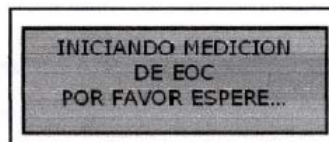
**Figura 10. Presentación de la memoria elegida.**



**Fuente: Autores.**

Después que el usuario seleccione la memoria, el sistema inicia la medición del potencial de corrosión Eoc.

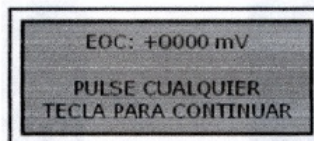
**Figura 11. Advertencia de inicio de medición de Eoc**



**Fuente: Autores.**

Las Figuras 12 y 13 presentan la medición del Eoc utilizando dos criterios de parada: el primero de estos consisten en un algoritmo de "estabilidad relativa"<sup>1</sup>, el cual determina cuando las variaciones de dicho potencial son menores a 0.1 mV; el segundo criterio de parada ocurre cuando el usuario oprime una tecla del teclado.

**Figura 12. Medición de Eoc.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 13. Medición de Eoc.**



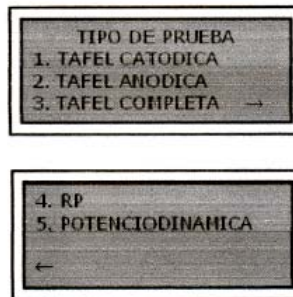
**Fuente: Autores.**

---

<sup>1</sup> Monroy Jácome D, Zabala Vargas S. Repotenciación y actualización de un potencióstato galvanostato princeton modelo 363 para el laboratorio de corrosión de la escuela de ingeniería metalúrgica y ciencia de materiales [Trabajo de grado] Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones; 2005.

En la Figura 12 el valor está constantemente variando, lo que indica que se está llevando a cabo la medición. A su vez, en la Figura 13 el valor aparece estático lo que indica que es el valor definitivo. En la Figura 14 se presentan dos pantallas con las pruebas electroquímicas. Para avanzar entre páginas se utilizan las teclas ← y →.

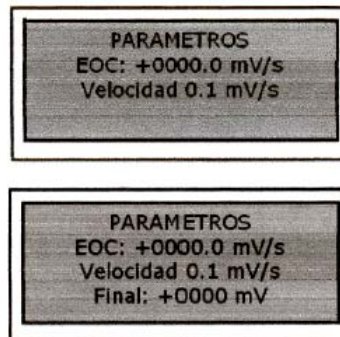
**Figura 14. Pruebas Electroquímicas.**



**Fuente: Autores.**

En la Figura 15 se muestra la siguiente pantalla, en la cual se presenta el valor del Eoc medido, así como los parámetros de entrada para la prueba. Para las primeras cuatro pruebas se solicita al usuario el ingreso de la velocidad de la rampa de voltaje [mV/s], para la *curva potenciodinámica* se requiere también el valor del potencial final  $E_{final}$ .

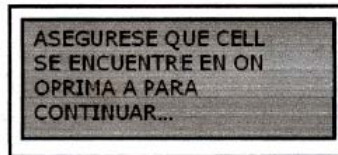
**Figura 15. Parámetros de entrada.**



**Fuente: Autores.**

En este paso se presenta una advertencia para que el usuario active la tecla Cell-ON del potencioestado. Luego debe presionar la tecla A.

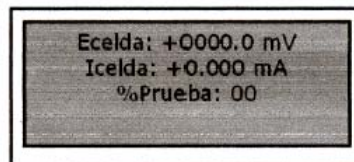
**Figura 16. Advertencia para iniciar la prueba.**



**Fuente: Autores.**

El siguiente paso es la ejecución de la prueba, en la cual se presenta el voltaje y la corriente de la celda. En esta pantalla se presenta también el porcentaje que ha transcurrido la prueba. Es importante destacar que a medida que se ejecuta la prueba, esta se va almacenando en la memoria elegida por el usuario.

**Figura 17. Presentación mientras transcurre la prueba.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 18. Finalización de la prueba.**



**Fuente: Autores.**

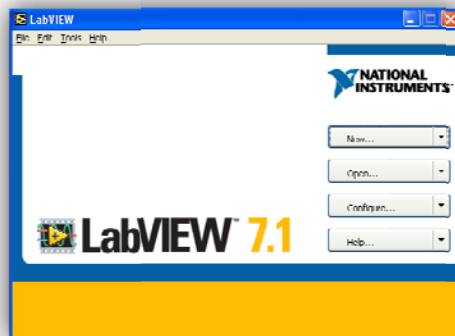
En este punto, el sistema reinicia y queda a la espera de la ejecución de una nueva prueba. Es necesario oprimir la tecla CELL para reiniciar una nueva prueba.

- *Modo de descarga de datos.*

A continuación se describen los pasos necesarios para la descarga de los datos provenientes del sistema SCAP363 al PC para su posterior análisis. Todos los procedimientos aquí descritos hacen referencia al potenciostato-galvanostato 363, y al equipo de cómputo que hacen parte del laboratorio de corrosión de la escuela de ingeniería metalúrgica.

1. Conectar el cable USB del SCAP363 al puerto USB del PC.
2. Encender el SCAP363 pasando el pulsador a la posición USB.
3. Ejecutar el programa Labview ingresando al PC por el modo de administrador (National Instruments Labview 7.1).

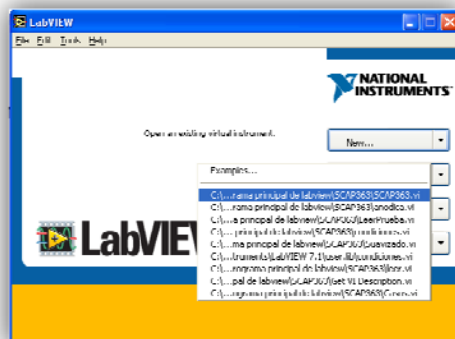
**Figura 19. Interfaz del programa LabView 7.1.**



**Fuente: Autores.**

4. Seleccionar la pestaña open y escoger la aplicación: c:\rama principal de labview\SCAP363\SCAP363.vi.

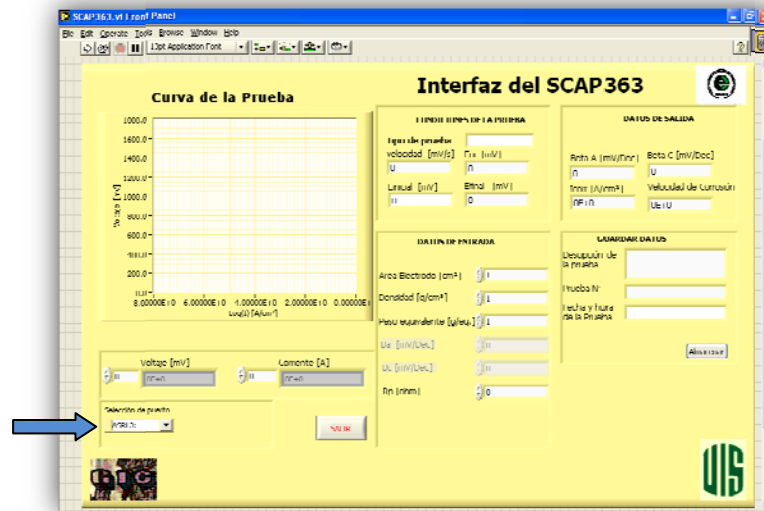
**Figura 20. Ejecución del programa SCAP363.**



**Fuente: Autores.**

- En este paso se carga y visualiza la interfaz del SCAP363 como indica la figura 21.

**Figura 21. Interfaz del SCAP363.**



**Fuente: Autores.**

En este momento se debe seleccionar el tipo de puerto utilizado para las descargas, que en este caso es el ASRL3.

- Se hace clic en el icono (Run) localizado en la parte superior izquierda de la interfaz, para iniciar la descarga de datos desde el SCAP363.

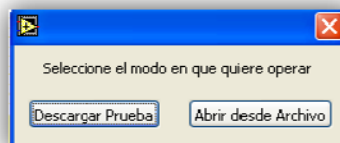
**Figura 22. Selección del botón de arranque del programa.**



**Fuente: Autores**

- A continuación se visualiza una ventana en la cual se debe escoger el modo de descarga (pero aún no se ejecuta).

**Figura 23. Selección del modo de descarga de datos.**



**Fuente: Autores.**

8. Por medio del panel de visualización del SCAP363 se escoge el modo (B. Descarga a PC) oprimiendo la tecla B.
9. Se selecciona el número de la memoria en la cual fue almacenada la prueba que se desea descargar.

**Figura 24. Selección de la memoria a descargar.**



**Fuente: Autores.**

10. Ahora se selecciona descargar prueba en la ventana descrita en el paso 7.
11. A continuación emerge una ventana que pide que se asegure que el SCAP363 esté conectado al PC. (por el momento no se debe ejecutar).

**Figura 25. Verificación de la conexión del SCAP363 con el P363.**



**Fuente: Autores.**

12. Posteriormente se presenta la pantalla mostrada en la figura 26, la cual espera que el usuario oprima una tecla para iniciar la descarga y luego se selecciona la opción OK mencionada en el paso 11

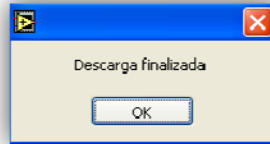
**Figura 26. Inicio de descarga.**



**Fuente: Autores.**

Se esperan unos segundos y aparece una ventana que indica que la descarga ha finalizado y se presiona OK.

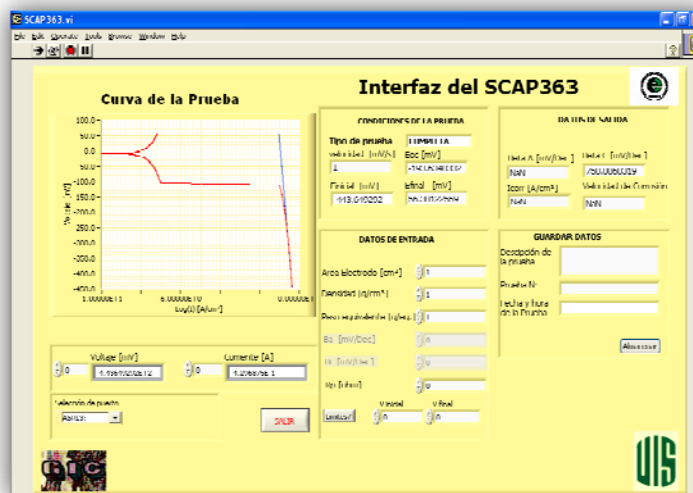
Figura 27. Indicación de descarga finalizada.



Fuente: Autores.

13. A continuación se cargan los valores de la prueba junto con las graficas seleccionadas en la interfaz del SCAP363, luego se deben guardar dichos valores por medio del botón almacenar.

Figura 28. Datos cargados en la interfaz del SCAP363.



Fuente: Autores.

14. Para descargar los datos de las demás pruebas almacenadas en las restantes memorias del SCAP363 se debe presionar el botón Stop localizado en la parte superior izquierda de la interfaz.

Figura 29. Parada del programa.



Fuente: Autores.

15. A partir de de este punto se repite el procedimiento desde el paso 6.

## ANEXO C

### C.1 PRÓTESIS

Son dispositivos mecánicos diseñados para reproducir la forma y/o la función de un miembro (o parte de él) ausente. Hay dos grandes tipos: endoprótesis y exoprótesis. Las primeras se implantan mediante cirugía, se anclan al hueso y sirven para sustituir una articulación dañada por artrosis, artritis, traumatismo u otras enfermedades. Las exoprótesis sirven para sustituir un miembro amputado.

Las endoprótesis con buen resultado clínico son las de cadera, rodilla, hombro y codo. Se componen de una articulación artificial que es similar a la articulación natural. Los materiales empleados buscan obtener una articulación de muy bajo coeficiente de fricción; se utilizan metales muy pulidos (acero inoxidable especial, aleación de cromo-cobalto-molibdeno o aleación de titanio) y un polímero plástico (polietileno) de muy alta densidad. Se anclan al hueso mediante cemento óseo (polimetilmetacrilato) o por integración de las superficies metálicas en el hueso.

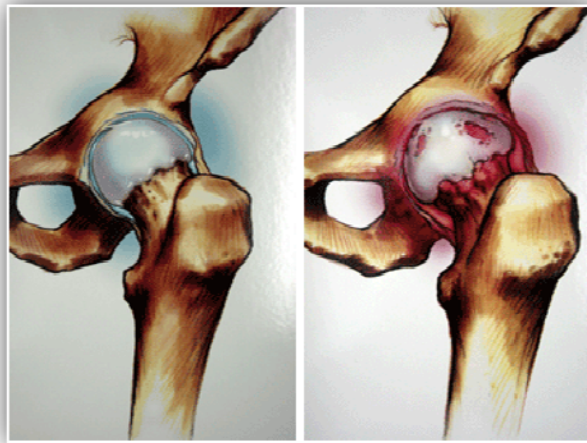
Una de las indicaciones más frecuente en Cirugía Ortopédica de la artroplastia o implantación de una prótesis es la artrosis.

*La artrosis* la cual es una alteración patológica de las articulaciones, de carácter degenerativo y no inflamatorio. Suele producir deformaciones muy visibles de la articulación a que afecta, y entonces recibe el nombre de *artrosis deformante*. Esta es una enfermedad que afecta el cartílago articular, que es un tejido especializado que recubre las superficies de las articulaciones del cuerpo y permiten que estas realicen los movimientos propios de cada articulación sin casi presentar fricción, lo que permite que estas se deslicen una sobre otra sin dolor y con un movimiento suave, continuo y uniforme.

Cuando el cartílago articular se enferma, pierde sus características normales y los movimientos de las articulaciones se vuelven dolorosos y pierden amplitud. Específicamente cuando esto pasa en la cadera los pacientes presentan dolor en la ingle que se puede extender hasta la rodilla, cojera, diferencia de longitud en los miembros inferiores, debilidad muscular y disminución en la amplitud de los arcos de movimiento de la cadera. Por lo tanto es casos como este, cuando la enfermedad está bastante avanzada, se recurre a la implantación de una *prótesis*.

En la figura 1 se pueden observar dos tipos de artrosis.

**Figura 1. Artrosis de Cadera.**



**Cadera Normal**

**Cadera con Artrosis**

Fuente: <http://www.protesiscadera.cl/artrosis.htm>

## **C.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DURACIÓN DE UNA PRÓTESIS ARTICULAR**

Son diversos: la infección, por ejemplo, puede acortar la vida de una prótesis. Si la colocación de una prótesis no ha sido técnicamente correcta, a la larga puede aflojarse y su duración quedará limitada. El uso intensivo de la prótesis va en detrimento también de su duración. Por eso las personas jóvenes y activas, con una larga expectativa de vida, pueden sufrir aflojamientos de sus prótesis a largo plazo. Sin embargo, es muy difícil predecir por parte del cirujano ortopeda cuánto tiempo durará una determinada prótesis. Por regla general no se puede pronosticar con certeza la duración de un implante de estas características, pero hay casos de más de 25 años de funcionamiento de una artroplastia. Un aspecto muy importante de un implante, en cuanto a su vida útil es el recambio del mismo. Ello significa una nueva intervención quirúrgica en la que se retira la prótesis anterior y se coloca una nueva, o prótesis de revisión.

Por lo tanto sería adecuado contar con materiales que brinden al implante una duración similar a la de la persona que lo porta.

### C.3 MECANISMOS DE SUJECIÓN DE UNA PRÓTESIS EN EL ORGANISMO

Existen dos métodos de sujeción. Uno es natural, la llamada osteointegración, en que la prótesis recubierta por un material de hidroxapatita (*HA*) hará que el hueso crezca y se integre con este material, al que quedará fijado sólidamente.

La (*HA*) es el material que se emplea con más frecuencia para la reparación y/o sustitución de hueso; su obtención se logra por varios métodos: a través de reacciones químicas por métodos húmedos con hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y una solución de ácido fosfórico  $\text{H}_3\text{PO}_4$  o bien a través de métodos de sol-gel, que producen la (*HA*) en polvo de la cual se parte para conseguir tabletas o bloques compactos si así se requiere.

El otro sistema de fijación es el uso de una sustancia denominada “cemento”, que a modo de “pegamento”, fija la prótesis al hueso.

Actualmente, cada vez se utiliza más el sistema de osteointegración, siempre que la calidad del hueso del paciente permita su implantación. Dicho de otra forma: la presencia de osteoporosis implica que se tenga que usar cemento.

**Figura 2. Implantes osteointegrables (hidroxapatita) de fémur y de cótilo (cavidad de la pelvis)**



Fuente: <http://www.BiometEuropeJointReplacement.mht>.

## C.4 TIPOS DE PRÓTESIS

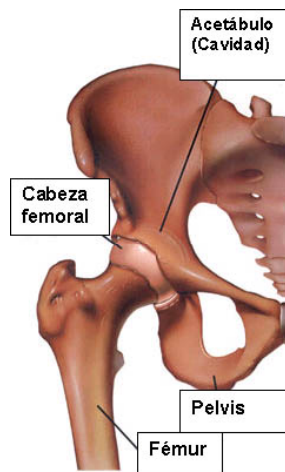
Existen muchos tipos de implantes que se insertan en el organismo, éstos van desde válvulas cardíacas, platinas para fijación de huesos, extensores para arterias, tornillos de fijación, dientes, hasta articulaciones completas. Aunque los materiales de los implantes mencionados anteriormente deben tener buena compatibilidad con el cuerpo, son los reemplazos articulares los que presentan una exigencia más alta, debido a sus características de funcionamiento.

Los materiales que reemplazan una junta articular, además de soportar altas cargas y el ataque biológico deben ser resistentes al desgaste, debido a que involucran un desplazamiento relativo entre superficies propio del movimiento de la articulación específica. En los implantes que se han realizado últimamente se han presentado limitaciones en lo referente a la reacción de los tejidos, la fijación de los implantes, la corrosión y los cambios en la superficie que afectan las características tribológicas.

Los tipos de prótesis articulares que se encuentran en la actualidad para reemplazo de las articulaciones son:

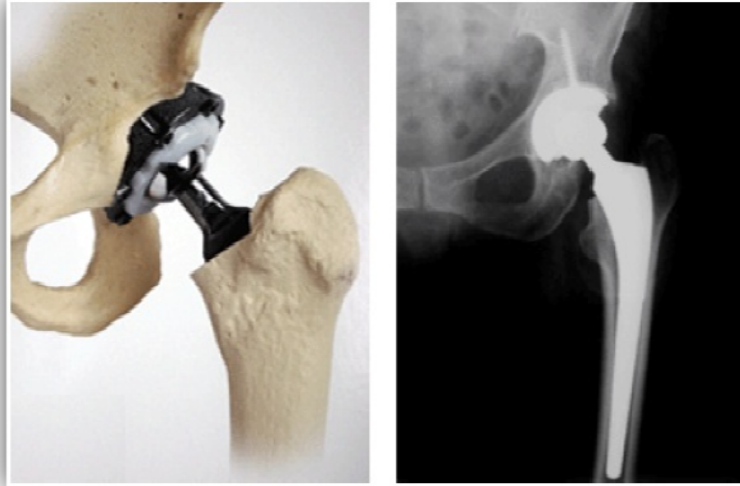
**Prótesis total de cadera:** Consiste en dos componentes, uno que se implanta en la pelvis, en la cavidad anatómica llamada acetábulo y otro que se implanta en el fémur, previa extirpación de la cabeza y parte del cuello del fémur.

**Figura 3. Componentes de la cadera.**



**Fuente: Autores.**

**Figura 4. Prótesis total de cadera.**



**Fuente:** <http://www.BiometEuropeJointReplacement.mht>.

**Prótesis parcial de cadera:** Es una variante de la anterior. Se aplica cuando una de las partes de la cadera (acetábulo o fémur) está en buen estado y únicamente se sustituye el componente deteriorado.

**Prótesis de superficie:** también se implantan dos componentes: el acetabular, en el que no se aplica cemento óseo, y el componente femoral, que es una cúpula que recubre la cabeza del fémur (evitando, por tanto, el tener que cortar la cabeza y el cuello femoral) y que se aplica con cemento óseo.

**Figura 5. Aspecto y radiografía de una prótesis de superficie de cadera tipo Conserve Plus**



**Fuente:** <http://www.BiometEuropeJointReplacement.mht>.

***Prótesis total de rodilla:*** Comprende todo el conjunto articular de la rodilla y está conformado por cabeza de la tibia, el fémur distal y la rótula.

***Prótesis parcial de rodilla:*** consiste en el reemplazo de cualquiera de las dos partes del conjunto.

**Figura 6. Prótesis total “Medial Pívor” de rodilla**



**Fuente:** <http://www.BiometEuropeJointReplacement.mht>.

**Figura 7. Visión frontal y lateral de una radiografía de prótesis “Medial Pívor” de rodilla**



**Fuente:** <http://www.BiometEuropeJointReplacement.mht>.

**Prótesis parcial y total de hombro:** No es tan común, pero al igual que la cadera y la rodilla se usan como reemplazo de la articulación.

Sus principales indicaciones se hallan en la artrosis o artrosis de hombro, que puede ir acompañada de una rotura completa del manguito de los rotadores, que son unos tendones que activan las rotaciones del hombro y sustentan la cabeza del húmero, evitando que “suba hacia arriba” y contacte con la escápula.

En estos casos se puede implantar una prótesis denominada “invertida” y que evita la migración de la prótesis hacia la escápula.

**Figura 8. Artrosis de hombro con rotura completa de los tendones rotadores.**



Fuente: <http://www.BiometEuropeJointReplacement.mht>.

**Figura 9. Radiografía de una prótesis de hombro tipo invertida para artrosis y rotura del manguito.**



Fuente: <http://www.BiometEuropeJointReplacement.mht>.

## C.5 TIPOS DE PARES TRIBOLÓGICOS EN JUNTAS IMPLANTADAS

Se especifican principalmente por el tipo de contacto, es decir el par tribológico formado por los materiales involucrados. Se destacan las prótesis acrílicas [*Hermanos Judet*] y las prótesis de Co-Cr [*Moore Austin*]. A continuación se mencionan los pares más conocidos y sus características principales.

**Juntas metal - metal:** Dentro de las características del uso de este tipo de juntas se encuentran:

- Mucha penetración del hueso de la pelvis.
- Probabilidad de cáncer en el hueso.
- Poca fricción y poco desgaste.
- Se debe evitar la corrosión electroquímica.
- Chirrido en el movimiento de la junta.

**Juntas metal - polímero:** Sus características más representativas son:

- Reduce la fricción torsional.
- Disminuye el chirrido en los pares usados.  
El par metal-polímero tiene muy buenos resultados desde el punto de vista de baja fricción, pero algunas veces su desempeño en desgaste resulta muy pobre dependiendo del polímero utilizado. La duración de estas juntas varía de 2 a 3 años hasta 10 o 15 años. [*ASTM Handbook Vol. 18 1992*].
- El material polimérico utilizado es el Politetrafluoroetileno (PTFE) o teflón (Cancerígeno). Recientemente se ha generalizado el uso del polietileno de ultra alto peso molecular UHMWPE como reemplazo del teflón.

Las alternativas de metales usadas para establecer el par tribológico con los polímeros son: Aceros inoxidables (AISI 316L, AISI 316 LVM), aleaciones Co-Cr-Mo (Co-28Cr-6Mo), titanio y aleaciones de titanio.

**Juntas metal - Cerámico:** Se destacan principalmente porque:

- Presentan fragilidad y menor resistencia a la fatiga que otras juntas.
- Tienen excelentes propiedades de resistencia al desgaste en uniones cerámico-cerámico.
- La alúmina es bioinerte y tiene buenas propiedades de resistencia al desgaste, pero debe tener acabados con rugosidades muy pequeñas (muy finos), lo que representa altos costos de fabricación.

## **ANEXO D**

### **NORMA ASTM G 99-95a (2000) PARA LA EXPERIMENTACIÓN DE DESGASTE CON APARATOS TIPO PIN SOBRE DISCO**



## Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation G 99; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

<sup>ε1</sup> NOTE—Editorial corrections were made throughout in May 2000.

### 1. Scope

1.1 This test method describes a laboratory procedure for determining the wear of materials during sliding using a pin-on-disk apparatus. Materials are tested in pairs under nominally non-abrasive conditions. The principal areas of experimental attention in using this type of apparatus to measure wear are described. The coefficient of friction may also be determined.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process<sup>2</sup>

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods<sup>2</sup>

E 178 Practice for Dealing with Outlying Observations<sup>2</sup>

G 40 Terminology Relating to Wear and Erosion<sup>3</sup>

#### 2.2 Other Standard:<sup>4</sup>

DIN-50324 Testing of Friction and Wear

### 3. Summary of Test Method

3.1 For the pin-on-disk wear test, two specimens are required. One, a pin with a radiused tip, is positioned perpendicular to the other, usually a flat circular disk. A ball, rigidly held, is often used as the pin specimen. The test machine causes either the disk specimen or the pin specimen to revolve about the disk center. In either case, the sliding path is a circle on the disk surface. The plane of the disk may be oriented

either horizontally or vertically.

NOTE 1—Wear results may differ for different orientations.

3.1.1 The pin specimen is pressed against the disk at a specified load usually by means of an arm or lever and attached weights. Other loading methods have been used, such as, hydraulic or pneumatic.

NOTE 2—Wear results may differ for different loading methods.

3.2 Wear results are reported as volume loss in cubic millimetres for the pin and the disk separately. When two different materials are tested, it is recommended that each material be tested in both the pin and disk positions.

3.3 The amount of wear is determined by measuring appropriate linear dimensions of both specimens before and after the test, or by weighing both specimens before and after the test. If linear measures of wear are used, the length change or shape change of the pin, and the depth or shape change of the disk wear track (in millimetres) are determined by any suitable metrological technique, such as electronic distance gaging or stylus profiling. Linear measures of wear are converted to wear volume (in cubic millimetres) by using appropriate geometric relations. Linear measures of wear are used frequently in practice since mass loss is often too small to measure precisely. If loss of mass is measured, the mass loss value is converted to volume loss (in cubic millimetres) using an appropriate value for the specimen density.

3.4 Wear results are usually obtained by conducting a test for a selected sliding distance and for selected values of load and speed. One set of test conditions that was used in an interlaboratory measurement series is given in Table 1 and Table 2 as a guide. Other test conditions may be selected depending on the purpose of the test.

3.5 Wear results may in some cases be reported as plots of wear volume versus sliding distance using different specimens for different distances. Such plots may display non-linear relationships between wear volume and distance over certain portions of the total sliding distance, and linear relationships over other portions. Causes for such differing relationships include initial "break-in" processes, transitions between regions of different dominant wear mechanisms, etc. The extent of such non-linear periods depends on the details of the test system, materials, and test conditions.

3.6 It is not recommended that continuous wear depth data

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee G02 on Wear and Erosion and is the direct responsibility of Subcommittee G02.40 on Non-Abrasive Wear.

Current edition approved Nov. 10, 1995. Published January 1996. Originally published as G 99-90. Last previous edition G 99-95.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.02.

<sup>4</sup> Available from Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstrasse 6, 1000 Berlin 30, Germany.

TABLE 1 Characteristics of the Interlaboratory Wear Test Specimens

NOTE 1—See Note 4 in 10.4 for information.

	Composition (weight% )	Microstructure	Hardness (HV 10)	Roughness <sup>A</sup>	
				$R_z$ (mean) (μm)	$R_a$ (mean) (μm)
Steel ball (100 Cr6) (AISI 52 100) <sup>B</sup> Diameter 10 mm	1.35 to 1.65 Cr ← 0.95 to 1.10 C 0.15 to 0.35 Si 0.25 to 0.45 Mn	martensitic with minor carbides and austenite	838 ± 21	0.100	0.010
Steel disc (100 Cr6) (AISI 52 100) <sup>C</sup> Diameter 40 mm	← <0.030 P <0.030 S	martensitic with minor carbides and austenite	852 ± 14	0.952	0.113
Alumina ball, diameter = 10 mm <sup>D</sup>	← 95 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (with addi- tives of TiO <sub>2</sub> , MgO and ZnO)	equi-granular alpha alumina with very minor secondary phases	1610 ± 101 (HV 0.2)	1.369	0.123
Alumina disc, diameter = 40.6 mm <sup>D</sup>	←		1599 ± 144 (HV 0.2)	0.968	0.041

<sup>A</sup> Measured by stylus profilometry.  $R_z$  is maximum peak-to-valley roughness.  $R_a$  is arithmetic average roughness.

<sup>B</sup> Standard ball-bearing balls (SKF).

<sup>C</sup> Standard spacers for thrust bearings (INA).

<sup>D</sup> Manufactured by Compagnie Industrielle des Ceramiques Electroniques, France.

TABLE 2 Results of the Interlaboratory Tests<sup>A</sup>

NOTE 1— See Note 4 in 10.4.

NOTE 2—Numbers in parentheses refer to all data received in the tests. In accordance with Practice E 178, outlier data values were identified in some cases and discarded, resulting in the numbers without parentheses. The differences are seen to be small.

NOTE 3—Values preceded by ± are one standard deviation.

NOTE 4—Between eleven and twenty laboratories provided these data.

NOTE 5—Calculated quantities (for example, wear volume) are given as mean values only.

NOTE 6—Values labeled “NM” were found to be smaller than the reproducible limit of measurement.

NOTE 7—A similar compilation of test data is given in DIN-50324.

Results (ball) (disk)	Specimen Pairs			
	Steel-steel	Alumina-steel	Steel-alumina	Alumina-alumina
Ball wear scar diameter (mm)	2.11 ± 0.27 (2.11 ± 0.27)	NM	2.08 ± 0.35 (2.03 ± 0.41)	0.3 ± 0.06 (0.3 ± 0.06)
Ball wear volume (10 <sup>-3</sup> mm <sup>3</sup> )	198 (198)	...	186 (169)	0.08 (0.08)
Number of values	102 (102)	...	60 (64)	56 (59)
Disk wear scar width (mm)	NM	0.64 ± 0.12 (0.64 ± 0.12)	NM	NM
Disk wear volume (10 <sup>-3</sup> mm <sup>3</sup> )	...	480 (480)	...	...
Number of values	...	60 (60)	...	...
Friction coefficient	0.60 ± 0.11	0.76 ± 0.14	0.60 ± 0.12	0.41 ± 0.08
Number of values	109	75	64	76

<sup>A</sup> Test conditions:  $F = 10\text{ N}$ ;  $v = 0.1\text{ ms}^{-1}$ ,  $T = 23^\circ\text{C}$ ; relative humidity range 12 to 78 %; laboratory air; sliding distance 1000 m; wear track (nominal) diameter = 32 mm; materials: steel = AISI 52 100; and alumina =  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

obtained from position-sensing gages be used because of the complicated effects of wear debris and transfer films present in the contact gap, and interferences from thermal expansion or contraction.

4. Significance and Use

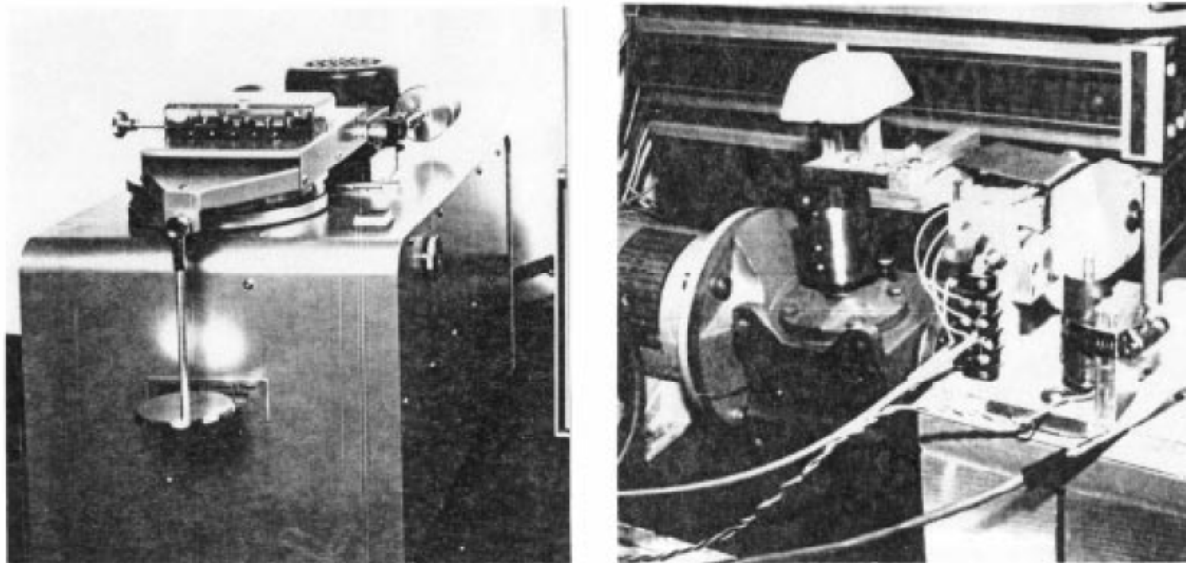
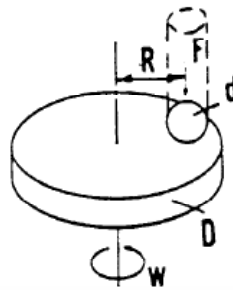
4.1 The amount of wear in any system will, in general, depend upon the number of system factors such as the applied load, machine characteristics, sliding speed, sliding distance, the environment, and the material properties. The value of any wear test method lies in predicting the relative ranking of material combinations. Since the pin-on-disk test method does not attempt to duplicate all the conditions that may be experienced in service (for example; lubrication, load, pressure, contact geometry, removal of wear debris, and presence of corrosive environment), there is no assurance that the test will predict the wear rate of a given material under conditions differing from those in the test.

5. Apparatus

5.1 General Description—Fig. 1 shows a schematic drawing of a typical pin-on-disk wear test system, and photographs of two differently designed apparatuses.<sup>5</sup> One type of typical system consists of a driven spindle and chuck for holding the revolving disk, a lever-arm device to hold the pin, and attachments to allow the pin specimen to be forced against the revolving disk specimen with a controlled load. Another type of system loads a pin revolving about the disk center against a stationary disk. In any case the wear track on the disk is a

<sup>5</sup> A number of other reported designs for pin-on-disk systems are given in “A Catalog of Friction and Wear Devices,” American Society of Lubrication Engineers (1973). The sole source of supply of commercially built machines known to the committee at this time is Falex Corp., 1020 Airpark Dr., Sugar Grove, IL 60554. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, <sup>1</sup> which you may attend.

ANSI G 99



NOTE 1— $F$  is the normal force on the pin,  $d$  is the pin or ball diameter,  $D$  is the disk diameter,  $R$  is the wear track radius, and  $w$  is the rotation velocity of the disk.

FIG. 1 (a) Schematic of pin-on-disk wear test system. (b) Photographs of two different designs.

circle, involving multiple wear passes on the same track. The system may have a friction force measuring system, for example, a load cell, that allows the coefficient of friction to be determined.

5.2 *Motor Drive*—A variable speed motor, capable of maintaining constant speed ( $\pm 1\%$  of rated full load motor speed) under load is required. The motor should be mounted in such a manner that its vibration does not affect the test. Rotating speeds are typically in the range 0.3 to 3 rad/s (60 to 600 r/min).

5.3 *Revolution Counter*—The machine shall be equipped with a revolution counter or its equivalent that will record the number of disk revolutions, and preferably have the ability to shut off the machine after a pre-selected number of revolutions.

5.4 *Pin Specimen Holder and Lever Arm*—In one typical system, the stationary specimen holder is attached to a lever arm that has a pivot. Adding weights, as one option of loading, produces a test force proportional to the mass of the weights applied. Ideally, the pivot of the arm should be located in the plane of the wearing contact to avoid extraneous loading forces

due to the sliding friction. The pin holder and arm must be of substantial construction to reduce vibrational motion during the test.

5.5 *Wear Measuring Systems*—Instruments to obtain linear measures of wear should have a sensitivity of 2.5  $\mu\text{m}$  or better. Any balance used to measure the mass loss of the test specimen shall have a sensitivity of 0.1 mg or better; in low wear situations greater sensitivity may be needed.

## 6. Test Specimens and Sample Preparation

6.1 *Materials*—This test method may be applied to a variety of materials. The only requirement is that specimens having the specified dimensions can be prepared and that they will withstand the stresses imposed during the test without failure or excessive flexure. The materials being tested shall be described by dimensions, surface finish, material type, form, composition, microstructure, processing treatments, and indentation hardness (if appropriate).

6.2 *Test Specimens*—The typical pin specimen is cylindrical or spherical in shape. Typical cylindrical or spherical pin

specimen diameters range from 2 to 10 mm. The typical disk specimen diameters range from 30 to 100 mm and have a thickness in the range of 2 to 10 mm. Specimen dimensions used in an interlaboratory test with pin-on-disk systems are given in Table 1.

6.3 *Surface Finish*—A ground surface roughness of 0.8 μm (32 μin.) arithmetic average or less is usually recommended.

NOTE 3—Rough surfaces make wear scar measurement difficult.

6.3.1 Care must be taken in surface preparation to avoid subsurface damage that alters the material significantly. Special surface preparation may be appropriate for some test programs. State the type of surface and surface preparation in the report.

7. Test Parameters

7.1 *Load*—Values of the force in Newtons at the wearing contact.

7.2 *Speed*—The relative sliding speed between the contacting surfaces in metres per second.

7.3 *Distance*—The accumulated sliding distance in meters.

7.4 *Temperature*—The temperature of one or both specimens at locations close to the wearing contact.

7.5 *Atmosphere*—The atmosphere (laboratory air, relative humidity, argon, lubricant, etc.) surrounding the wearing contact.

8. Procedure

8.1 Immediately prior to testing, and prior to measuring or weighing, clean and dry the specimens. Take care to remove all dirt and foreign matter from the specimens. Use non-chlorinated, non-film-forming cleaning agents and solvents. Dry materials with open grains to remove all traces of the cleaning fluids that may be entrapped in the material. Steel (ferromagnetic) specimens having residual magnetism should be demagnetized. Report the methods used for cleaning.

8.2 Measure appropriate specimen dimensions to the nearest 2.5 μm or weigh the specimens to the nearest 0.0001 g.

8.3 Insert the disk securely in the holding device so that the disk is fixed perpendicular (±1°) to the axis of the resolution.

8.4 Insert the pin specimen securely in its holder and, if necessary, adjust so that the specimen is perpendicular (±1°) to the disk surface when in contact, in order to maintain the necessary contact conditions.

8.5 Add the proper mass to the system lever or bale to develop the selected force pressing the pin against the disk.

8.6 Start the motor and adjust the speed to the desired value while holding the pin specimen out of contact with the disk. Stop the motor.

8.7 Set the revolution counter (or equivalent) to the desired number of revolutions.

8.8 Begin the test with the specimens in contact under load. The test is stopped when the desired number of revolutions is achieved. Tests should not be interrupted or restarted.

8.9 Remove the specimens and clean off any loose wear debris. Note the existence of features on or near the wear scar such as: protrusions, displaced metal, discoloration, microcracking, or spotting.

8.10 Remeasure the specimen dimensions to the nearest 2.5 μm or reweigh the specimens to the nearest 0.0001 g, as appropriate.

8.11 Repeat the test with additional specimens to obtain sufficient data for statistically significant results.

9. Calculation and Reporting

9.1 The wear measurements should be reported as the volume loss in cubic millimetres for the pin and disk, separately.

9.1.1 Use the following equations for calculating volume losses when the pin has initially a spherical end shape of radius *R* and the disk is initially flat, under the conditions that only one of the two members wears significantly:

$$\text{pin (spherical end) volume loss, mm}^3 = \frac{\pi (\text{wear scar diameter, mm})^4}{64 (\text{sphere radius, mm})} \tag{1}$$

assuming that there is *no significant disk wear*. This is an approximate geometric relation that is correct to 1 % for (wear scar diameter/sphere radius) < 0.3, and is correct to 5 % for (wear scar diameter/sphere radius) < 0.7. The exact equation is given in Appendix X1.

$$\text{disk volume loss, mm}^3 = \frac{\pi (\text{wear track radius, mm})(\text{track width, mm})^3}{6 (\text{sphere radius, mm})} \tag{2}$$

assuming that there is *no significant pin wear*. This is an approximate geometric relation that is correct to 1 % for (wear track width/sphere radius) < 0.3, and is correct to 5 % for (wear track width/sphere radius) < 0.8. The exact equation is given in Appendix X1.

9.1.2 Calculation of wear volumes for pin shapes of other geometries use the appropriate geometric relations, recognizing that assumptions regarding wear of each member may be required to justify the assumed final geometry.

9.1.3 Wear scar measurements should be done at least at two representative locations on the pin surfaces and disk surfaces, and the final results averaged.

9.1.4 In situations where both the pin and the disk wear significantly, it will be necessary to measure the wear depth profile on both members. A suitable method uses stylus profiling. Profiling is the only approach to determine the exact final shape of the wear surfaces and thereby to calculate the volume of material lost due to wear. In the case of disk wear, the average wear track profile can be integrated to obtain the track cross-section area, and multiplied by the average track length to obtain disk wear volume. In the case of pin wear, the wear scar profile can be measured in two orthogonal directions, the profile results averaged, and used in a figure-of-revolution calculated for pin wear volume.

9.1.5 While mass loss results may be used internally in laboratories to compare materials of equivalent densities, this test method reports wear as volume loss so that there is no confusion caused by variations in density. Take care to use and report the best available density value for the materials tested when calculating volume loss from measured mass loss.

9.1.6 Use the following equation for conversion of mass loss to volume loss.

$$\text{volume loss, mm}^3 = \frac{\text{mass loss, g}}{\text{density, g/cm}^3} \times 1000. \tag{3}$$

9.2 If the materials being tested exhibit considerable transfer between specimens without loss from the system, volume loss may not adequately reflect the actual amount or severity of wear. In these cases, this test method for reporting wear should not be used.

9.3 Friction coefficient (defined in Terminology G 40) should be reported when available. Describe the conditions associated with the friction measurements, for example, initial, steady-state, etc.

9.4 Adequate specification of the materials tested is important. As a minimum, the report should specify material type, form, processing treatments, surface finish, and specimen preparation procedures. If appropriate, indentation hardness should be reported.

## 10. Precision and Bias <sup>6</sup>

10.1 The precision and bias of the measurements obtained with this test method will depend upon the test parameters chosen.

10.2 The reproducibility of repeated tests on the same material will depend upon material homogeneity, machine and material interaction, and careful adherence to the specified procedure by the machine operator.

10.3 Normal variations in the procedure will tend to reduce the accuracy of the test method as compared to the accuracy of such material property tests as hardness, density, or thermal expansion rate. Properly conducted tests should, however, maintain a within-laboratory coefficient of variation of 20 % or less for wear loss values. Table 2 contains wear data obtained

from interlaboratory tests (see Note 4). Standard deviation values are given for the measured quantities. Limits of 95 % repeatability can be obtained by multiplying those standard deviation values by the factor 2.8 ×. Reproducibility limits (between laboratories) are not available but are estimated to be twice as large as the repeatability limits.

10.4 No bias can be assigned to these results since there are no absolute accepted values for wear.

NOTE 4—The interlaboratory data given in Table 1 and Table 2 resulted through the cooperation of thirty one institutions in seven countries with the help of national representatives within the Versailles Advanced Materials and Standards (VAMAS) working party on wear test methods.<sup>7</sup>

10.5 In any test series, all data must be considered in the calculation, including outliers (data exceeding the obvious range); they are treated according to Practice E 178.

10.6 While two or more laboratories may develop test data that is within the acceptable coefficient of variation for their own individual test apparatus, the actual data of each laboratory may be relatively far apart. The selection of sample size and the test method for establishing the significance of the difference in averages shall be agreed upon between laboratories and shall be based on established statistical methods of Practice E 122, Practice E 177, and STP 15D.<sup>8</sup>

## 11. Keywords

11.1 ceramic wear; friction; metal wear; non-abrasive; pin-on-disk; wear

<sup>6</sup> Additional data are available at ASTM Headquarters.

<sup>7</sup> Czichos, H., Becker, S., and Lexow, J., *Wear*, Vol 114, 1987, pp 109-130 and *Wear*, Vol 118, 1987, pp 379-380.

<sup>8</sup> Manual on Quality Control of Materials, ASTM STP 15D, ASTM, 1951.

## APPENDIX

### (Nonmandatory Information)

#### XI. EQUATIONS

X1.1 Exact equations for determining wear volume loss are as follows for:

X1.1.1 A spherical ended pin:

$$\text{pin volume loss} = (\pi h/6)[3d^2/4 + h^2] \quad (\text{X1.1})$$

where:

$$h = r - [r^2 - d^2/4]^{1/2}$$

$d$  = wear scar diameter, and

$r$  = pin end radius.

Assuming no significant disk wear.

X1.1.2 A disk:

$$\text{disk volume loss} = 2\pi R [r^2 \sin^{-1}(d/2r) - (d/4)(4r^2 - d^2)^{1/2}] \quad (\text{X1.2})$$

where:

$R$  = wear track radius, and

$d$  = wear track width.

Assuming no significant pin wear.

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

## ANEXO E

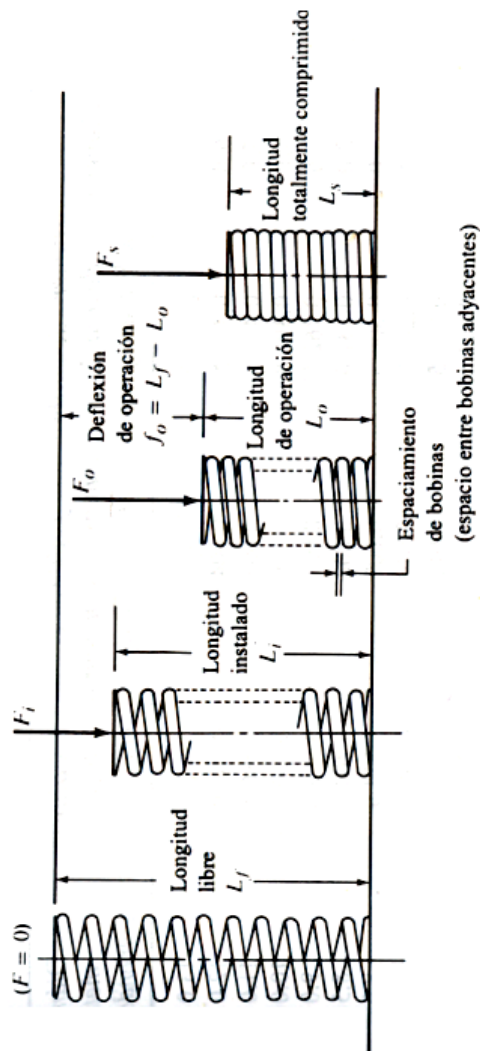
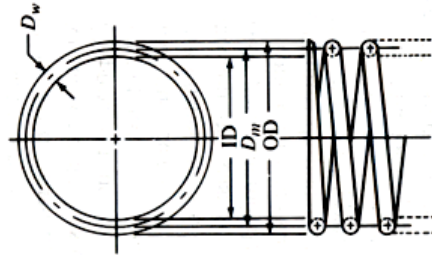
### CALIBRES DE ALAMBRE Y DIÁMETROS PARA RESORTES

<i>Número de calibre de calibre</i>	<i>Número de calibre de alambre U. S. Steel (pulg)<sup>a</sup></i>	<i>Calibre de alambre instrumentos musicales (pulg)<sup>b</sup></i>	<i>Calibre Brown &amp; Sharpe (pulg)<sup>c</sup></i>	<i>Diámetros métricos recomendables (mm)</i>
7/0	0.490 0	—	—	13.0
6/0	0.461 5	0.004	0.580 0	12.0
5/0	0.430 5	0.005	0.516 5	11.0
4/0	0.393 8	0.006	0.460 0	10.0
3/0	0.362 5	0.007	0.409 6	9.0
2/0	0.331 0	0.008	0.364 8	8.5
0	0.306 5	0.009	0.324 9	8.0
1	0.283 0	0.010	0.289 3	7.0
2	0.262 5	0.011	0.257 6	6.5
3	0.243 7	0.012	0.229 4	6.0
4	0.225 3	0.013	0.204 3	5.5
5	0.207 0	0.014	0.181 9	5.0
6	0.192 0	0.016	0.162 0	4.8
7	0.177 0	0.018	0.144 3	4.5
8	0.162 0	0.020	0.128 5	4.0
9	0.148 3	0.022	0.114 4	3.8
10	0.135 0	0.024	0.101 9	3.5
11	0.120 5	0.026	0.090 7	3.0
12	0.105 5	0.029	0.080 8	2.8
13	0.091 5	0.031	0.072 0	2.5
14	0.080 0	0.033	0.064 1	2.0
15	0.072 0	0.035	0.057 1	1.8
16	0.062 5	0.037	0.050 8	1.6
17	0.054 0	0.039	0.045 3	1.4
18	0.047 5	0.041	0.040 3	1.2
19	0.041 0	0.043	0.035 9	1.0
20	0.034 8	0.045	0.032 0	0.90
21	0.031 7	0.047	0.028 5	0.80
22	0.028 6	0.049	0.025 3	0.70

Fuente: Mott R. Diseño de elementos de máquinas: Resortes. 2 ed. México: Prentice Hall; 1992. P.212.

## ANEXO F

### NOTACIÓN PARA DIÁMETROS, LONGITUDES Y FUERZAS EN RESORTES.



Fuente: Mott R. Diseño de elementos de máquinas: Resortes. 2 ed. México: Prentice Hall; 1992. P.210, 211.

**ANEXO G**  
**CONSTANTES PARA CALCULAR RESISTENCIAS DE TENSIÓN**  
**MÍNIMAS DE LOS ACEROS COMUNES PARA RESORTES**

MATERIAL	ASTM Núm.	EXPONENTE <i>m</i>	INTERCEPCIÓN	
			A, kpsi	A, MPa
Alambre para cuerda musical <sup>a</sup>	A228	0.163	186	2060
Alambre revenido en aceite <sup>b</sup>	A229	0.193	146	1610
Alambre estirado duro <sup>c</sup>	A227	0.201	137	1510
Al cromo-vanadio <sup>d</sup>	A232	0.155	173	1790
Al cromo-silicio <sup>e</sup>	A401	0.091	218	1960

<sup>a</sup>La superficie es lisa, no tiene defectos y posee brillante acabado lustroso.

<sup>b</sup>Tiene una ligera capa de escoria proveniente del tratamiento térmico, la que debe quitarse antes de aplicar recubrimiento.

<sup>c</sup>La superficie es lisa y brillante, sin marcas visibles.

<sup>d</sup>Alambre revenido de calidad para aviones; también puede obtenerse recocado.

<sup>e</sup>Revenido a Rockwell C49, pero también puede obtenerse sin revenir.

Fuente: Shigley J, Mischke C. Diseño en ingeniería mecánica: Resortes mecánicos. 5 ed. México: Mcgraw-hill; 1990. P. 478.

**ANEXO H**  
**MODULO DE ELASTICIDAD DE ALAMBRE PARA RESORTES EN**  
**CORTE (G) Y TENSIÓN (E)**

Material y número ASTM	Módulo de elasticidad, <i>G</i>		Módulo de tensión, <i>E</i>	
	(psi)	(GPa)	(psi)	(GPa)
Acero duro extruido: A227	$11.5 \times 10^6$	79.3	$28.6 \times 10^6$	197
Alambre para instrumentos musicales: A228	$11.85 \times 10^6$	81.7	$29.0 \times 10^6$	200
Templado en aceite: A229	$11.2 \times 10^6$	77.2	$28.5 \times 10^6$	196
Cromo y vanadio: A231	$11.2 \times 10^6$	77.2	$28.5 \times 10^6$	196
Cromo y silicio: A401	$11.2 \times 10^6$	77.2	$29.5 \times 10^6$	203
Aceros inoxidables: A313				
Tipos 302, 304, 316	$10.0 \times 10^6$	69.0	$28.0 \times 10^6$	193
Tipo 17-7 PH	$10.5 \times 10^6$	72.4	$29.5 \times 10^6$	203
Latón para resortes: B134	$5.0 \times 10^6$	34.5	$15.0 \times 10^6$	103
Bronce con fósforo: B159	$6.0 \times 10^6$	41.4	$15.0 \times 10^6$	103
Cobre con berilio: B197	$7.0 \times 10^6$	48.3	$17.0 \times 10^6$	117
Monel y K-Monel	$9.5 \times 10^6$	65.5	$26.0 \times 10^6$	179
Inconel e Inconel X	$10.5 \times 10^6$	72.4	$31.0 \times 10^6$	214

Nota: Los datos son valores promedios. Se pueden presentar variaciones pequeñas en el tamaño de alambre y el tratamiento.

Fuente: Mott R. Diseño de elementos de máquinas: Resortes. 2 ed. México: Prentice Hall; 1992. Apéndice A-48.

## ANEXO I

### EXTRACTO DEL ESTANDAR ANSI B4.1 PARA AJUSTES DE HOLGURA TIPO (RC)

Rango de tamaño nominal (") Hasta	RC1-RC2-RC3 Clase RC2			RC4-RC5-RC6-RC7 Clase RC5			RC8-RC9 Clase RC8			Rango de tamaño nominal (") Hasta
	Límites de holgura	Límites estándar		Límites de holgura	Límites estándar		Límites de holgura	Límites estándar		
		Orificio	Eje		Orificio	Eje		Orificio	Eje	
0-0.12	0.1 0.55	+0.25 0	-0.1 -0.3	0.6 1.6	+0.6 -0	-0.6 -1.0	2.5 5.1	+1.6 0	-2.5 -3.5	0-0.12
0.12-0.24	0.15 0.65	+0.3 0	-0.15 -0.35	0.8 2.0	+0.7 -0	-0.8 -1.3	2.8 5.8	+1.8 0	-2.8 -4.0	0.12-0.24
0.24-0.40	0.2 0.85	+0.4 0	-0.2 -0.45	1.0 2.5	+0.9 -0	-1.0 -1.6	3.0 6.6	+2.2 0	-3.0 -4.4	0.24-0.40
0.40-0.71	0.25 0.95	+0.4 0	-0.25 -0.55	1.2 2.9	+1.0 -0	-1.2 -1.9	3.5 7.9	+2.8 0	-3.5 -5.1	0.40-0.71
0.71-1.19	0.3 1.2	+0.5 0	-0.3 -0.7	1.6 3.6	+1.2 -0	-1.6 -2.4	4.5 10.0	+3.5 0	-4.5 -6.5	0.71-1.19
1.19-1.97	0.4 1.4	+0.6 0	-0.4 -0.8	2.0 4.6	+1.6 -0	-2.0 -3.0	5.0 11.5	+4.0 0	-5.0 -7.5	1.19-1.97
1.97-3.15	0.4 1.6	+0.7 0	-0.4 -0.9	2.5 5.5	+1.8 -0	-2.5 -3.7	6.0 13.5	+4.5 0	-6.0 -9.0	1.97-3.15
3.15-4.73	0.5 2.0	+0.9 0	-0.5 -1.1	3.0 6.6	+2.2 -0	-3.0 -4.4	7.0 15.5	+5.0 0	-7.0 -10.5	3.15-4.73
4.73-7.09	0.6 2.3	+1.0 0	-0.6 -1.3	3.5 7.6	+2.5 -0	-3.5 -5.1	8.0 18.0	+6.0 0	-8.0 -12.0	4.73-7.09
7.09-9.85	0.6 2.6	+1.2 0	-0.6 -1.4	4.0 8.6	+2.8 -0	-4.0 -5.8	10.0 21.5	+7.0 0	-10.0 -14.5	7.09-9.85
9.85-12.41	0.7 2.8	+1.2 0	-0.7 -1.6	5.0 10.0	+3.0 0	-5.0 -7.0	12.0 25.0	+8.0 0	-12.0 -17.0	9.85-12.41

Nota: los límites se dan en milésimas de pulgada.

Fuente: ANSI Standard B4.1—1967 (revisión 1979), *Preferred Limits and Fits for Cylindrical Parts* (American Society of Mechanical Engineers, Nueva York).

Fuente: Mott R. Diseño de elementos de máquinas: Tolerancias y ajustes. 2 ed. México: Prentice Hall; 1992. P.267

## ANEXO J

### VALORES DE POTENCIA UNITARIA EN hp Y ENERGÍA ESPECÍFICA PARA MATERIALES SELECCIONADOS USANDO HERRAMIENTAS DE CORTE

Material	Dureza Brinell	Potencia	Energía específica <i>U</i>	
		unitaria en hp <sub>u</sub> hp/(pulg <sup>3</sup> /min)	pulg-lb/pulg <sup>3</sup>	(N-m/mm <sup>3</sup> )
Acero al carbono	150–200	0.6	240 000	(1.6)
	201–250	0.8	320 000	(2.2)
	251–300	1.0	400 000	(2.8)
Aceros aleados	200–250	0.8	320 000	(2.2)
	251–300	1.0	400 000	(2.8)
	301–350	1.3	520 000	(3.6)
	351–400	1.6	640 000	(4.4)
Hierros fundidos	125–175	0.4	160 000	(1.1)
	175–250	0.6	240 000	(1.6)
Acero inoxidable	150–250	1.0	400 000	(2.8)
Aluminio	50–100	0.25	100 000	(0.7)
Aleaciones de aluminio	100–150	0.3	120 000	(0.8)
Cobre (puro)		0.7	280 000	(1.9)
Latón	100–150	0.8	320 000	(2.2)
Bronce	100–150	0.8	320 000	(2.2)
Aleaciones de magnesio	50–100	0.15	60 000	(0.4)

Fuente: Groover M. Fundamentos de manufactura moderna: Teoría de maquinado de metales. Mexico: Prentice-Hall Hispanoamericana;1997. P 560.

## ANEXO K

### TEMPERATURAS DE FUNCIONAMIENTO PERMITIDAS PARA LOS MATERIALES DEL O-RING

Medio a obturar	Temperaturas de funcionamiento permitidas (continuas) para los materiales del labio de las obturaciones SKF <sup>1)</sup>			
	R (NBR)	P (ACM)	S <sup>1)</sup> (MVQ)	V (FPM)
-	°C			
<b>Lubricantes basados en aceites minerales</b>				
Aceites de motor	100	130	150	170
Aceites para engranajes	80	120	130	150
Aceites para engranajes hipoides	80	120	x	150
Líquidos para transmisiones automáticas (aceites ATF)	100	130	o	170
Grasas	90	o	o	o
<b>Fluidos hidráulicos</b>	120	o	150	
<b>Fluidos hidráulicos resistentes al fuego</b>				
Aceite en emulsiones en agua y soluciones acuosas de polímeros	70	x	60	o
Fluidos anhidros	x	x	x	150
<b>Otros medios</b>				
Fuel-oils EL y L	90	o	x	o
Agua	90	x	x	100
Soluciones de lavado alcalinas	90	x	x	100
<b>Margen de temperaturas permitidas para el labio de obturación</b>				
mín:	-30	-40	-60	-40
máx:	+110	+150	+160	+200

1) R = caucho de nitrilo

P = elastómero de poliacrilato

S = caucho de silicona

V = caucho de flúor

2) Sólo es posible utilizar obturaciones de caucho de silicona cuando el oxígeno puede llegar a la obturación

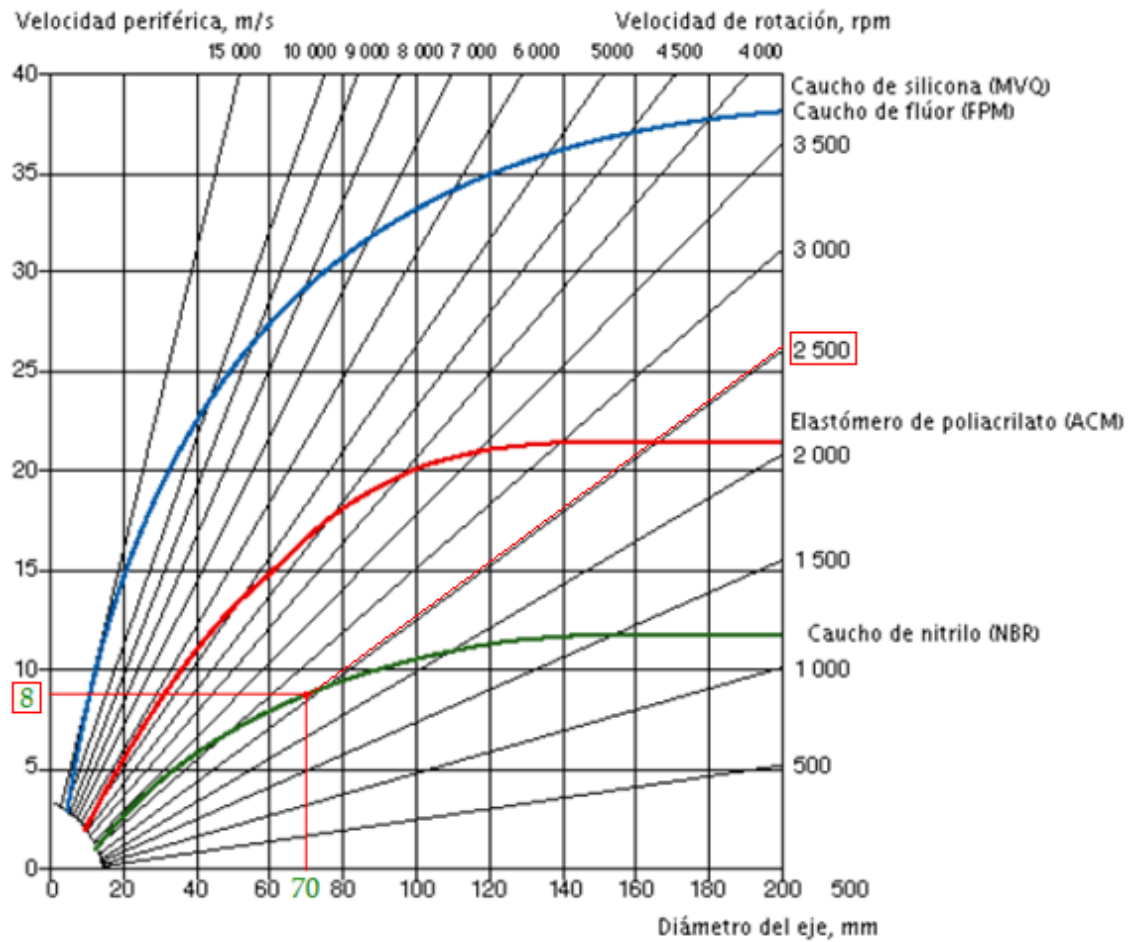
x El material del labio no es resistente

o El material del labio no es resistente a algunos de los medios presentes en las aplicaciones de este grupo

**Fuente: [www.skf.com/productos/catalogo](http://www.skf.com/productos/catalogo) interactivo de ingeniería/hydraulics seals/o-rings/resistencia química y térmica/Tabla 9.**

## ANEXO L

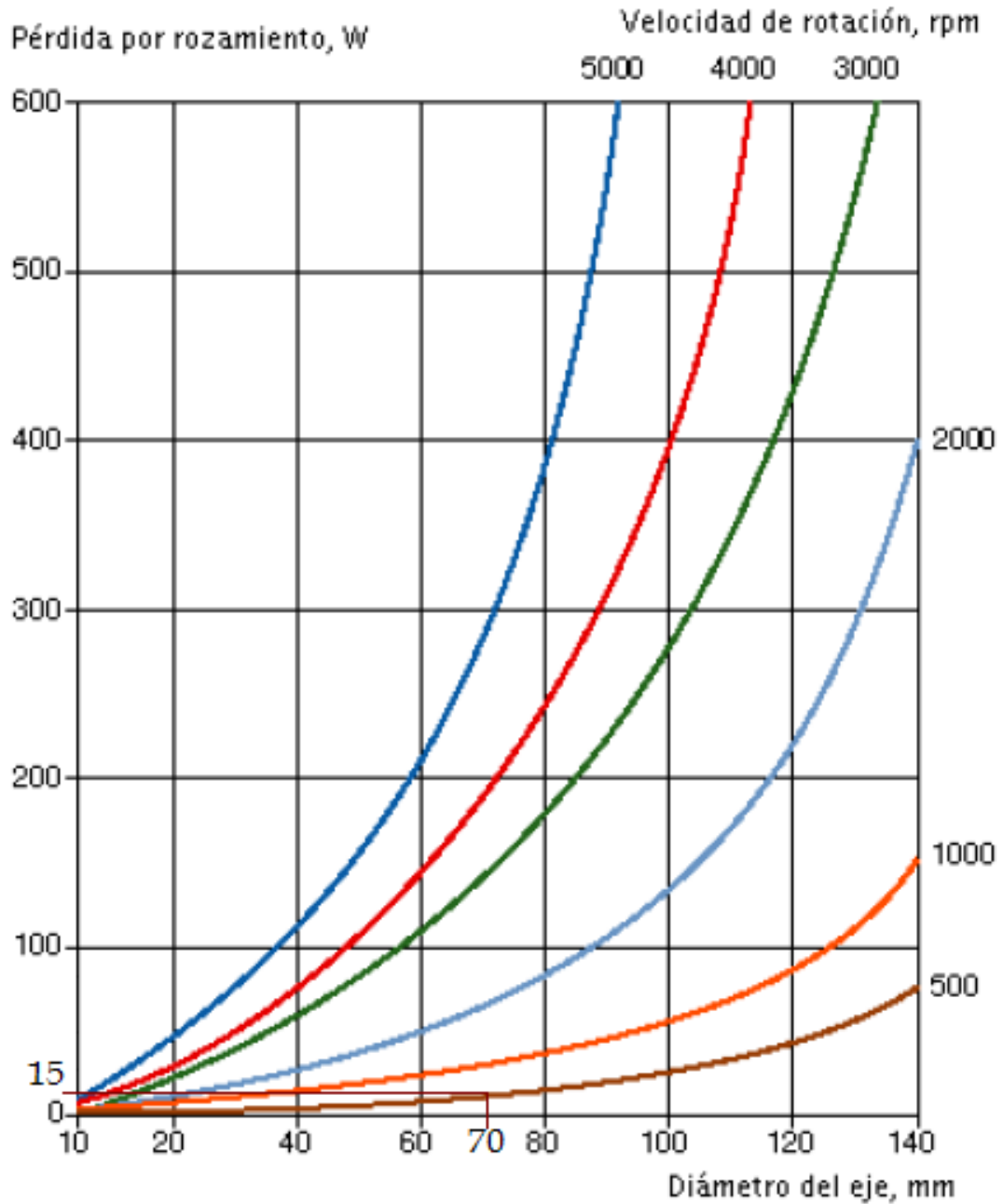
### VELOCIDADES ADMISIBLES PARA O-RINGS



Fuente: [www.skf.com/productos/catalogo interactivo de ingeniería/hydraulics seals/o-rings/diagrama 6](http://www.skf.com/productos/catalogo_interactivo_de_ingenieria/hydraulics_seals/o-rings/diagrama_6).

## ANEXO M

### PERDIDAS POR ROZAMIENTO DE LOS ANILLOS EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN Y DEL DIÁMETRO DEL EJE



Fuente: [www.skf.com/productos/catalogo interactivo de ingeniería/hydraulics seals/o-rings/fricción/diagrama 7](http://www.skf.com/productos/catalogo_interactivo_de_ingenieria/hydraulics_seals/o-rings/friccion/diagrama_7).

## ANEXO N

### POSICIONES DE MONTAJE DEL MOTORREDUCTOR SPIROPLAN

#### 8 Posiciones de montaje

##### 8.1 Observaciones generales sobre las posiciones de montaje

###### Denominación de las posiciones de montaje

Para los reductores, SEW distingue entre las seis posiciones de montaje M1 ... M6. La siguiente representación muestra la distribución espacial del motorreductor para las posiciones de montaje de M1 ... M6.

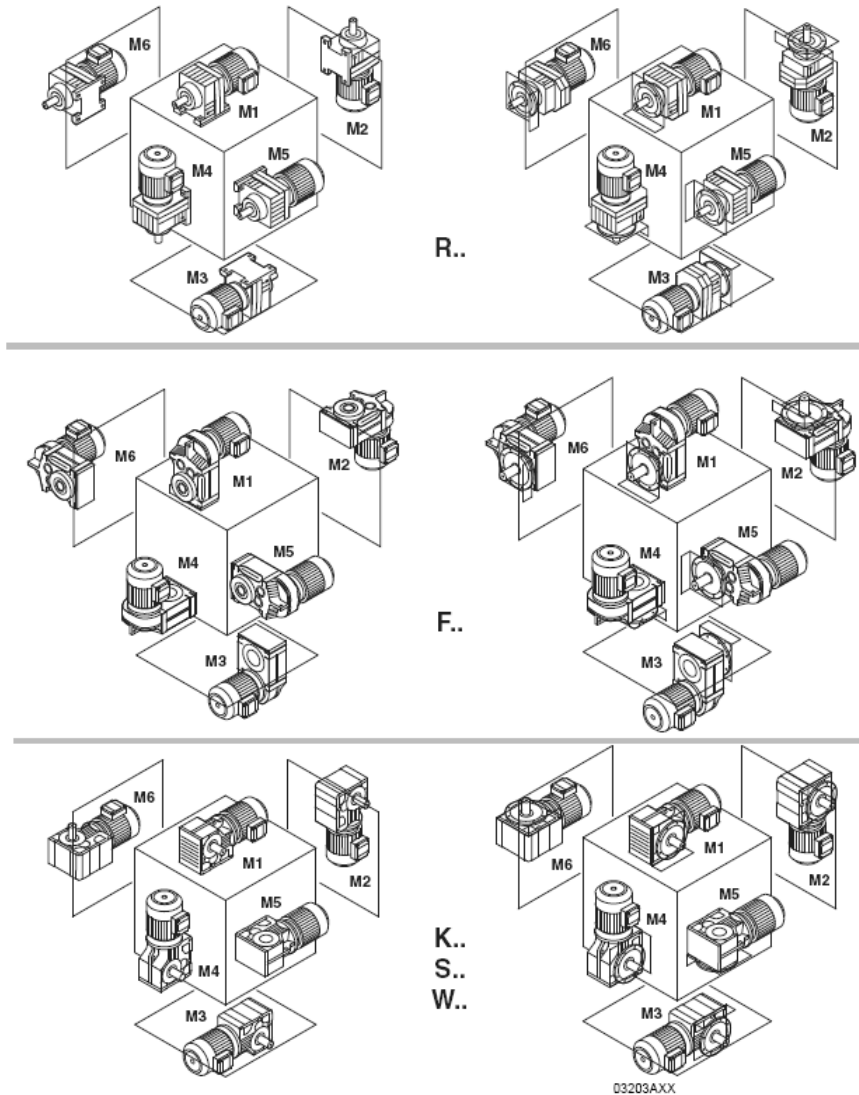


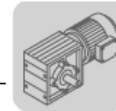
Fig. 88: Representación de las posiciones de montaje M1 ... M6

Fuente: Manual de instrucciones de funcionamiento para reductores SEW EURODRIVE: Cap 8. P 34.

## ANEXO Ñ



### EXTRACTO DEL CATALOGO DE SELECCIÓN PARA MOTORREDUCTORES SPIROPLAN

W..DR/DT  
W..D.. [kW]



**11**

#### 11.3 W..D.. [kW]

$P_m$ [kW]	$n_a$ [1/min]	$M_a$ [Nm]	$i$	$F_{Rg}^{(1)}$ [N]	SEW $f_B$		$m$ [kg]		
0.12	12	40	75.00*	3000	1.75	W 30	DR 63M6	9.1	503
	15	38	60.00*	3000	1.85	WF 30	DR 63M6	9.4	504
	28	25	32.50*	3000	2.8	WA 30	DR 63M6	8.8	505
	33	24	27.50*	3000	3.0	WAF 30	DR 63M6	9.1	504
	18	28	75.00*	3000	2.5	W 30	DR 63S4	9.1	503
	23	26	60.00*	3000	2.7	WF 30	DR 63S4	9.4	504
	29	23	48.00*	3000	3.1	WA 30	DR 63S4	8.8	505
	35	21	39.00*	3000	3.4	WAF 30	DR 63S4	9.1	504
	42	17	32.50*	3000	4.1				
	12	36	75.00*	2200	1.10	W 20	DR 63M6	6.6	500
	15	32	60.00*	2200	1.25	WF 20	DR 63M6	6.8	501
	28	27	32.50*	2200	1.50	WA 20	DR 63M6	6.3	502
33	22	27.50*	2200	1.80	WAF 20	DR 63M6	6.3	501	
18	25	75.00*	2200	1.60					
23	22	60.00*	2200	1.80					
29	20	48.00*	2200	1.95					
35	19	39.00*	2200	2.2					
42	18	32.50*	2200	2.2					
50	15	27.50*	2200	2.6	W 20	DR 63S4	6.6	500	
56	14	24.50*	2200	2.9	WF 20	DR 63S4	6.8	501	
71	12	19.50*	2200	2.9	WA 20	DR 63S4	6.3	502	
84	10	16.50*	2200	2.9	WAF 20	DR 63S4	6.3	501	
96	9.5	14.33	2200	3.2					
135	7.2	10.25*	2140	3.5					
168	5.9	8.20*	1990	3.4					
210	4.9	6.57	1890	4.1					
17	27	75.00*	1800	0.95					
22	23	60.00*	1800	1.05					
27	21	48.00*	1800	1.15					
33	20	39.00*	1800	1.30					
40	18	32.50*	1800	1.40					
47	16	27.50*	1800	1.55	W 10	DT 56L4	5.3	497	
53	15	24.50*	1800	1.70	WF 10	DT 56L4	5.5	498	
67	13	19.50*	1800	2.0	WA 10	DT 56L4	5.3	499	
79	11	16.50*	1800	1.80	WAF 10	DT 56L4	5.5	498	
91	10	14.33	1800	2.2					
127	7.7	10.25*	1800	1.70					
159	6.3	8.20*	1800	1.90					
198	5.3	6.57	1800	2.3					
0.18	12	62	75.00*	3000	1.15	W 30	DR 63L6	9.8	503
	15	58	60.00*	3000	1.20	WF 30	DR 63L6	10	504
	27	39	32.50*	3000	1.80	WA 30	DR 63L6	9.5	505
	32	37	27.50*	3000	1.90	WAF 30	DR 63L6	9.8	504

Fuente: [www.sew-eurodrive.com.co/](http://www.sew-eurodrive.com.co/) información técnica/manual de selección.

## ANEXO O

### FICHA TÉCNICA DEL MOTORREDUCTOR

**SEW**  
**EURODRIVE**

#### FICHA TECNICA

Tipo	WAF20DR63S4
Descripción	Motorreductor Espiroplano
No. de Fabricación	58710OS1245.1.1
Potencia [Kw]	0.12
Voltaje del motor [V]	220/440
Voltaje de Freno [V]	
Amperaje [A]	0.7/0.4
Frecuencia [A]	60
Velocidad del motor [r.p.m]	1750
Relación de Reducción [ ]	27.5
Velocidad de Salida [r.p.m]	61
Torque de Salida [Nm]	12
Factor de Servicio [ ]	3.3
Protección [ ]	IP55
Aislamiento [ ]	Clase F
Posición de Montaje [ ]	M6A CONEX 270°
Lubricante [ ]	SHELL OMALA HD460
Peso [Kg]	7
Plano No. [ ]	28251196/8406393

1. Los motores y motorreductores SEW, únicamente salen de fábrica después de pasar por un estricto control de sus características técnicas.
2. Hasta su puesta en servicio debe ser almacenado en lugar seco y en la posición de montaje prevista.
3. Su buen funcionamiento se garantiza si se ha cumplido adecuadamente con las instrucciones de utilización.

Calle 22 No. 132-60 Bodega 6 Manzana B Urbanización Industrial Los Urapanes  
PBX.: (091) 5475050 Fax.: (091) 5475044 Bogotá, D.C.

Fuente: [www.seweurodrive.com.co](http://www.seweurodrive.com.co)

## ANEXO P

### TAMAÑO DE CUÑAS CONTRA TAMAÑO DE FECHA

#### Tamaño de cuña contra tamaño de flecha

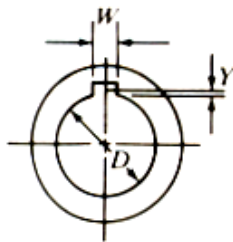
<i>Diámetro nominal de la flecha</i>			<i>Tamaño nominal de la cuña</i>	
			<i>Altura, H</i>	
<i>Más de</i>	<i>Hasta (incluso)</i>	<i>Espesor, W</i>	<i>Cuadrada</i>	<i>Rectangular</i>
$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{1}{32}$	
$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{32}$
$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{8}$
$\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{16}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{4}$
$1\frac{3}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$
$1\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$
$2\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{16}$
$2\frac{3}{4}$	$3\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$
$3\frac{1}{4}$	$3\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{8}$
$3\frac{3}{4}$	$4\frac{1}{2}$	1	1	$\frac{1}{4}$
$4\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{7}{8}$
$5\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	1
$6\frac{1}{2}$	$7\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	$1\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{2}$
$7\frac{1}{2}$	9	2	2	$1\frac{1}{2}$
9	11	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{4}$
11	13	3	3	2
13	15	$3\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$
15	18	4		3
18	22	5		$3\frac{1}{2}$
22	26	6		4
26	30	7		5

Nota: Se recomiendan los valores que no aparecen en las áreas sombreadas. Las medidas están en Pulg.  
Fuente: ANSI Standard B17.1-1967, *Keys and Keyseats* (ASME)

Fuente: Mott R. Diseño de elementos de máquinas: Cuñas de unión, coples y sellos o empaques. 2 ed. México: Prentice Hall; 1992. P.334.

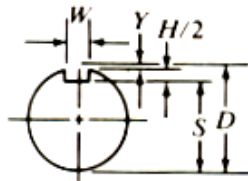
## ANEXO Q

### DIMENSIONES PARA CUÑEROS PARALELOS



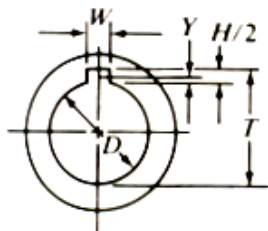
(a) Altura de la cuerda

$$Y = \frac{D - \sqrt{D^2 - W^2}}{2}$$



(b) Profundidad del cuñero del eje

$$S = D - Y - \frac{H}{2} = \frac{D - H + \sqrt{D^2 - W^2}}{2}$$



(c) Profundidad del cuñero de la maza

$$T = D - Y + \frac{H}{2} + C = \frac{D + H + \sqrt{D^2 - W^2}}{2} + C$$

**Simbolos**

$C$  = Tolerancia

+0.005" de espaciamento para cuñas paralelas

-0.020" de interferencia para cuñas ahusadas

$D$  = Diámetro nominal del eje o interior, pulg

$H$  = Altura nominal de la cuña, pulg

$W$  = Ancho o espesor nominal de la cuña, pulg

$Y$  = Altura de la cuerda, pulg

Fuente: Mott R. Diseño de elementos de máquinas: Cuñas de unión, coples y sellos o empaques. 2 ed. México: Prentice Hall; 1992. P.335.

## ANEXO R

### PARTES DEL VARIADOR DE FRECUENCIA MOVITRAC LTE




Fuente: Autores.

## ANEXO S

### DATOS TÉCNICOS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

Datos técnicos: MOVITRAC® LT



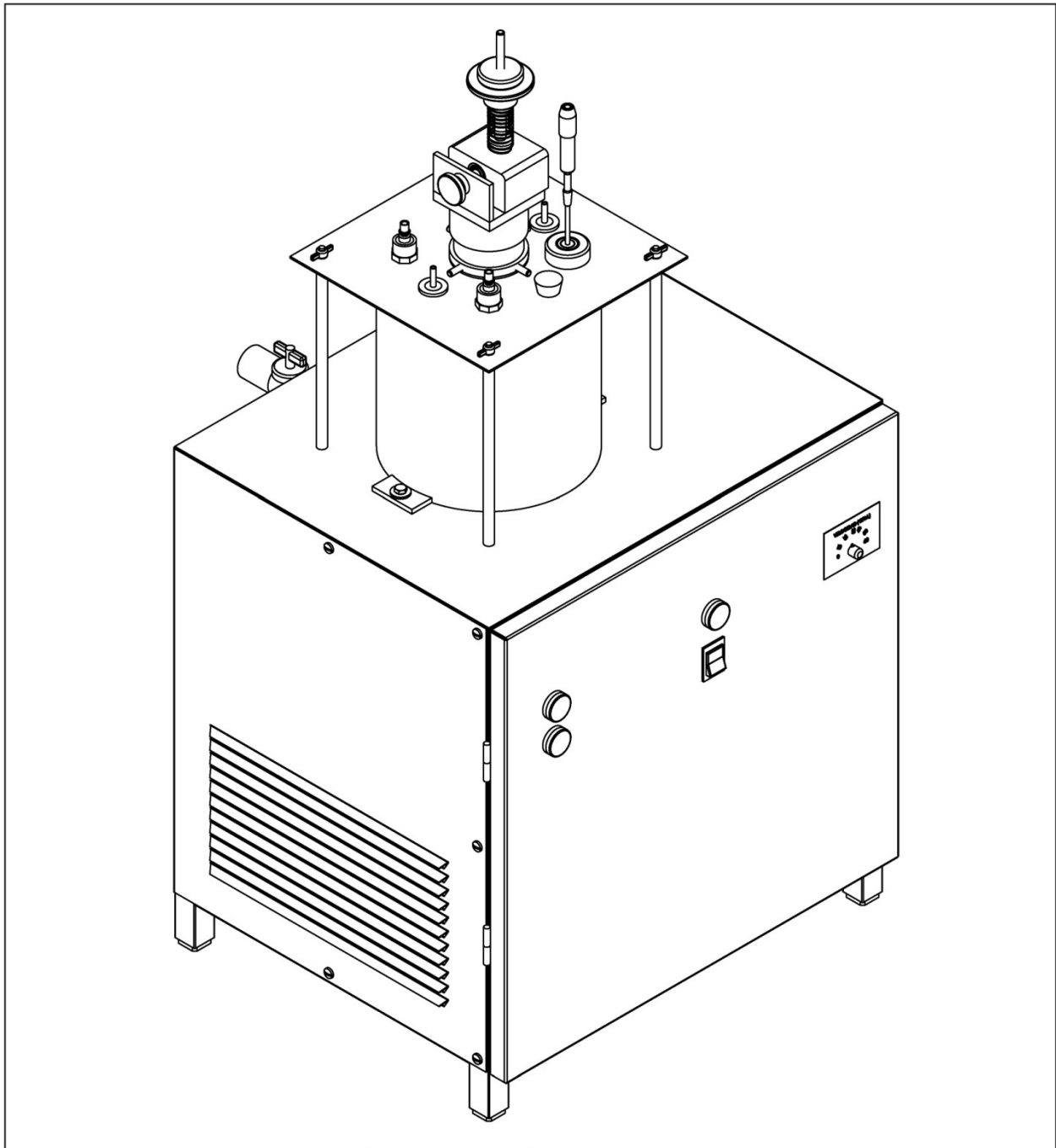
Monofásicos 220..240 V <sub>CA</sub> / 0.37 ... 2.2 kW								
MOVITRAC® LT Tipo	MC L T E A 0004 201 1-00	MC L T E A 0008 201 1-00	MC L T E A 0015 201 1-00	MC L T E A 0022 201 1-00	MC L T E A 0004 2B1 1-00	MC L T E A 0008 2B1 1-00	MC L T E A 0015 2B1 1-00	MC L T E A 0022 2B1 1-00
Número de parte	828 360 5	828 361 3	828 362 1	828 364 8	828 365 6	8282 3664	8282 367 2	828 368 0
Alimentación [V]	1 x 220 ... 240 ± 10 %; 50/60 Hz ± 10 %							
Potencia motor [kW]	0.37	0.75	1.5	2.2	0.37	0.75	1.5	2.2
[Hp]	0.5	1.0	2.0	3.0	0.5	1.0	2.0	3.0
Corriente nominal de salida [A]	2.3	4.3	7.0	10.5	2.3	4.3	7.0	10.5
Medidas EMC EN 61000-3	0				B (filtro EMC integrado)			
Diámetro cable Cu 75C [mm <sup>2</sup> ]	1.0		1.5		1.0		1.5	
Longitud máx. de cable [m]	50		150		50		150	
Temperatura ambiente máx. [°C]	50		50		50		50	
[°C] 8 kHz	50		40		50		40	
[°C] 16 kHz	50		30		50		30	
[°C] 32 kHz	50		30		50		30	
Dimensiones [mm] W x H x D	80 x 155 x 130		100 x 260 x 175		80 x 155 x 130		100 x 260 x 175	
Tamaño	1		2		1		2	

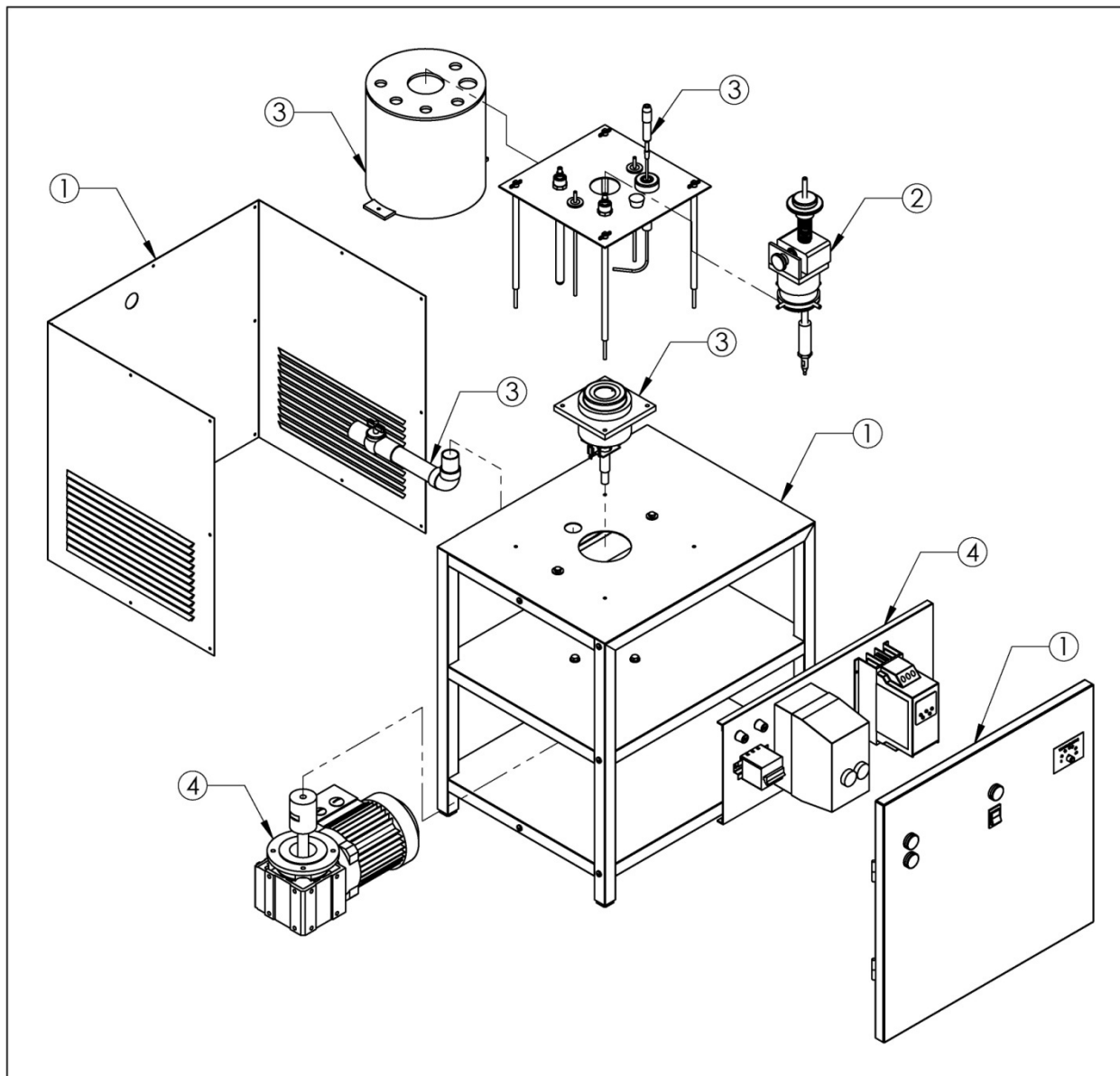
Trifásicos 380..480 V <sub>CA</sub> / 0.75 ... 4.0 kW								
MOVITRAC® LT Tipo	MC L T E A 0008 503 1-00	MC L T E A 0015 503 1-00	MC L T E A 0022 503 1-00	MC L T E A 0040 503 1-00	MC L T E A 0008 5A3 1-00	MC L T E A 0015 5A3 1-00	MC L T E A 0022 5A3 1-00	MC L T E A 0040 5A3 1-00
Número de parte	828 369 9	828 370 2	828 371 0	828 372 9	828 373 7	828 374 5	828 375 3	828 376 1
Alimentación [V]	3 x 380 ... 480 ± 10 %; 50/60 Hz ± 10 %							
Potencia motor [kW]	0.75	1.5	2.2	4.0	0.75	1.5	2.2	4.0
[Hp]	1.0	2.2	3.0	6.0	1.0	2.0	3.0	6.0
Corriente nominal de salida [A]	2.2	4.1	5.8	9.5	2.2	4.1	5.8	9.5
Medidas EMC EN 61000-3	0				A (filtro EMC integrado)			
Diámetro cable Cu 75C [mm <sup>2</sup> ]	1.0		1.5		1.0		1.5	
Longitud máx. de cable [m]	15		150		15		150	
Temperatura ambiente máx. [°C]					50			
[°C] 8 kHz					40			
[°C] 16 kHz					30			
[°C] 32 kHz					30			
Dimensiones [mm] W x H x D	80 x 155 x 130		100 x 260 x 175		80 x 155 x 130		100 x 260 x 175	
Tamaño	1		2		1		2	

Fuente: Manual de funcionamiento del variador de frecuencia Movitrc LTE Sew-Eurodrive.

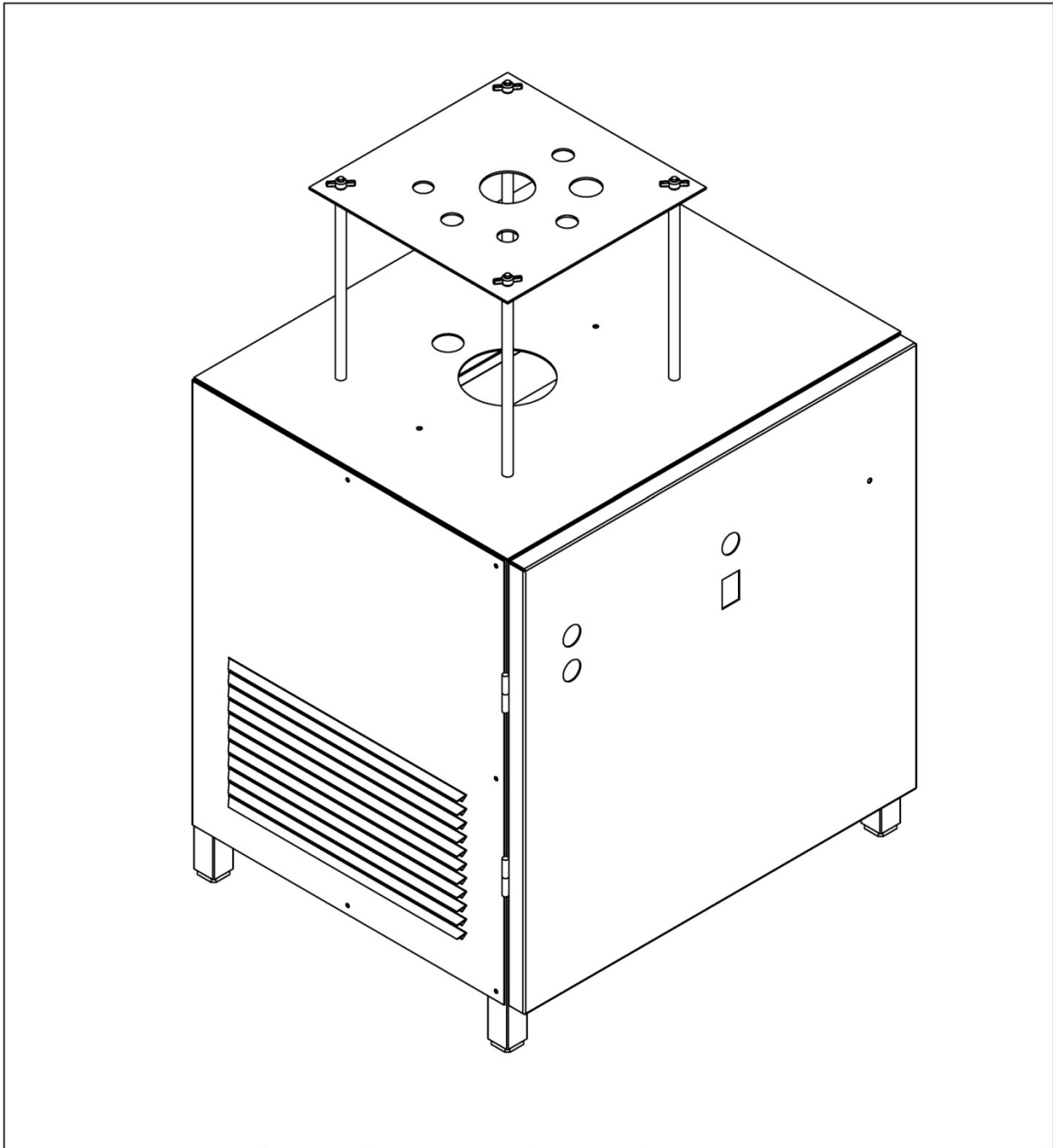
**ANEXO T**  
**PLANOS**



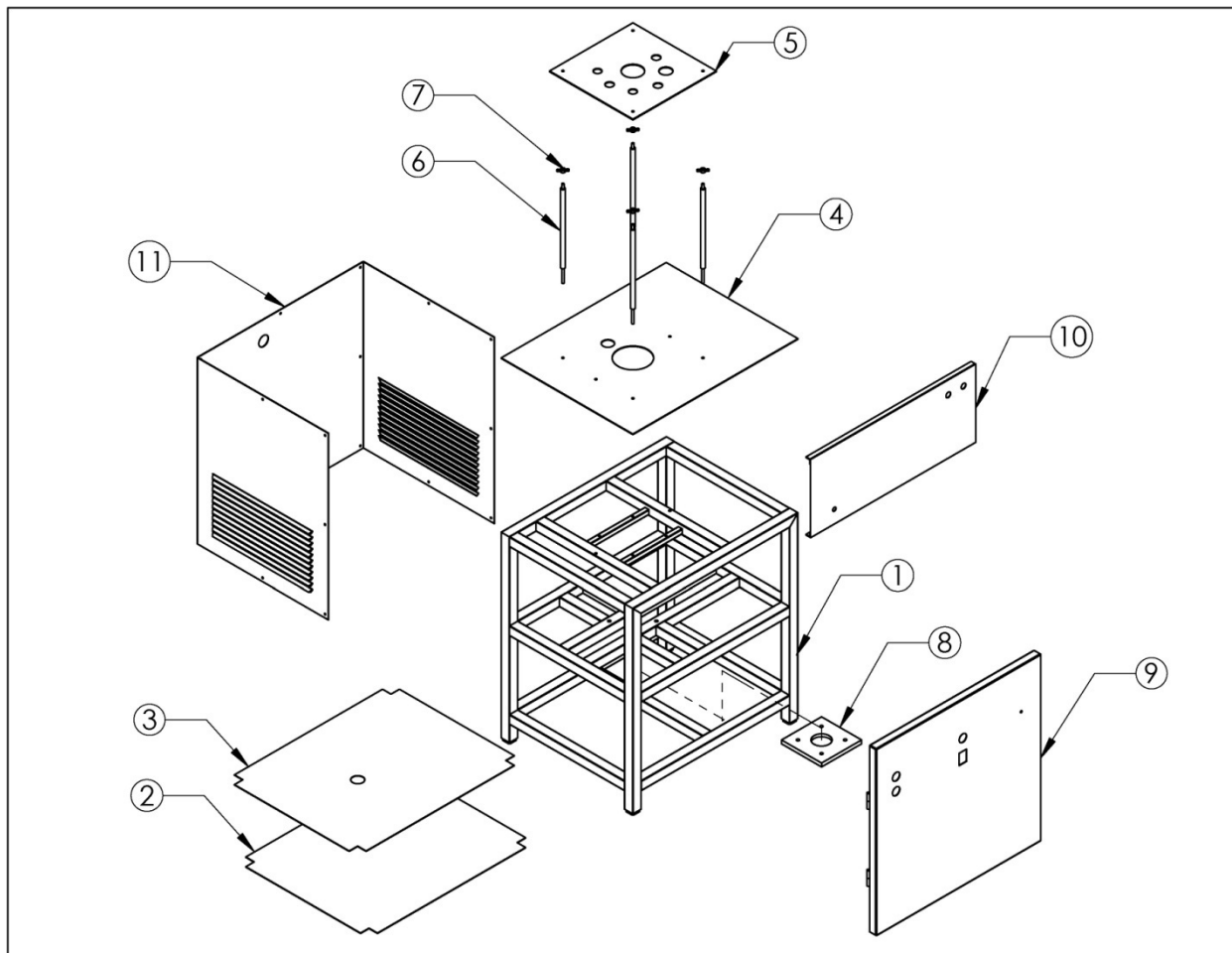
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>G. Ramírez</i>	<i>02-09-2007</i>	<i>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</i>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>H. Navarro</i>	<i>02-09-2007</i>		
	<i>Aprobado 1</i>	<i>R. Niño</i>	<i>15-10-2007</i>	<b>Sección:</b> Tribometro para Desgaste-Corrosión	
	<i>Aprobado 2</i>	<i>D. Peña</i>	<i>15-10-2007</i>		
					<b>Plano:</b> Isométrica
				<b>Código:</b> GTE000	<b>Formato:</b> A4
				<b>Material:</b>	<b>Cantidad:</b> 1
				<b>Escala:</b> 1:5	<b>Peso:</b>
					<b>Plano:</b> 1 de 104



4	Sistema Eléctrico y de Potencia				
3	Sistema de la Celda Electroquímica				
2	Sistema de Carga y Posición				
1	Sistema Estructural				
Ref	Descripción	Cant	Material	Especificaciones	Observaciones
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
		Dibujado:	G. Ramírez		<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>
		Dibujado:	H. Navarro		
		Aprobado 1	R. Niño		
		Aprobado 2	D. Peña		<b>Sección: Sistemas constitutivos del Tribómetro</b>
	<b>Nota:</b>			<b>Plano: Explosión</b>	
				<b>Código: GTE000</b>	<b>Formato: A4</b>
				<b>Material:</b>	<b>Cantidad:</b>
				<b>Escala: 1:10</b>	<b>Peso:</b>
					<b>Plano: 2 de 10</b>

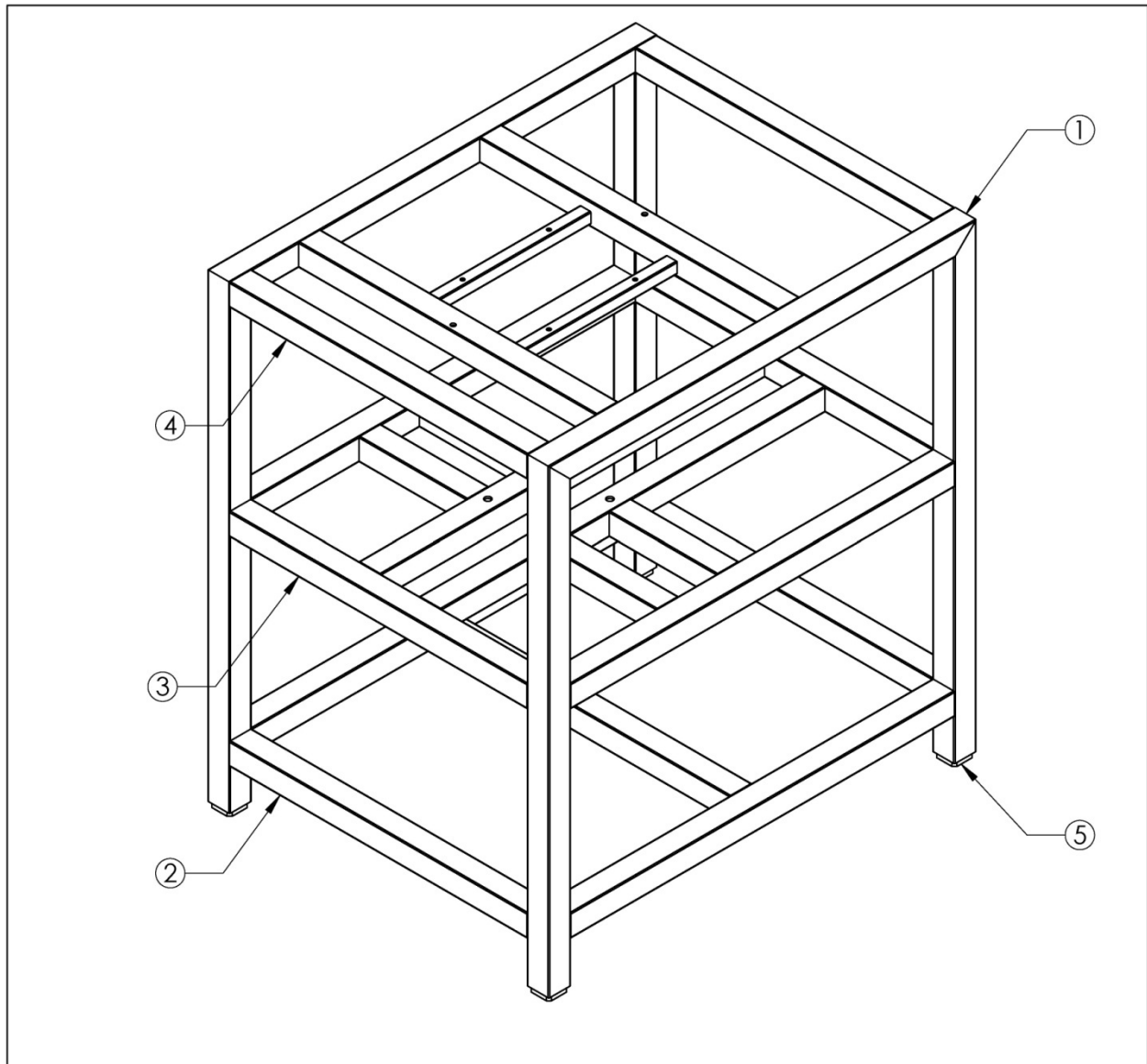


		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>G. Ramírez</i>	<i>02-09-2007</i>	<i>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</i>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>H. Navarro</i>	<i>02-09-2007</i>		
	<i>Aprobado 1</i>	<i>R. Niño</i>	<i>15-10-2007</i>	<b>Sección:</b> Sistema Estructural	
	<i>Aprobado 2</i>	<i>D. Peña</i>	<i>15-10-2007</i>		
				<b>Plano:</b> Isometrica	
				<b>Código:</b> GTE000	<b>Formato:</b> A4
				<b>Material:</b>	<b>Cantidad:</b>
				<b>Escala:</b> 1:5	<b>Peso:</b>
					<b>Plano:</b> 3 de 104

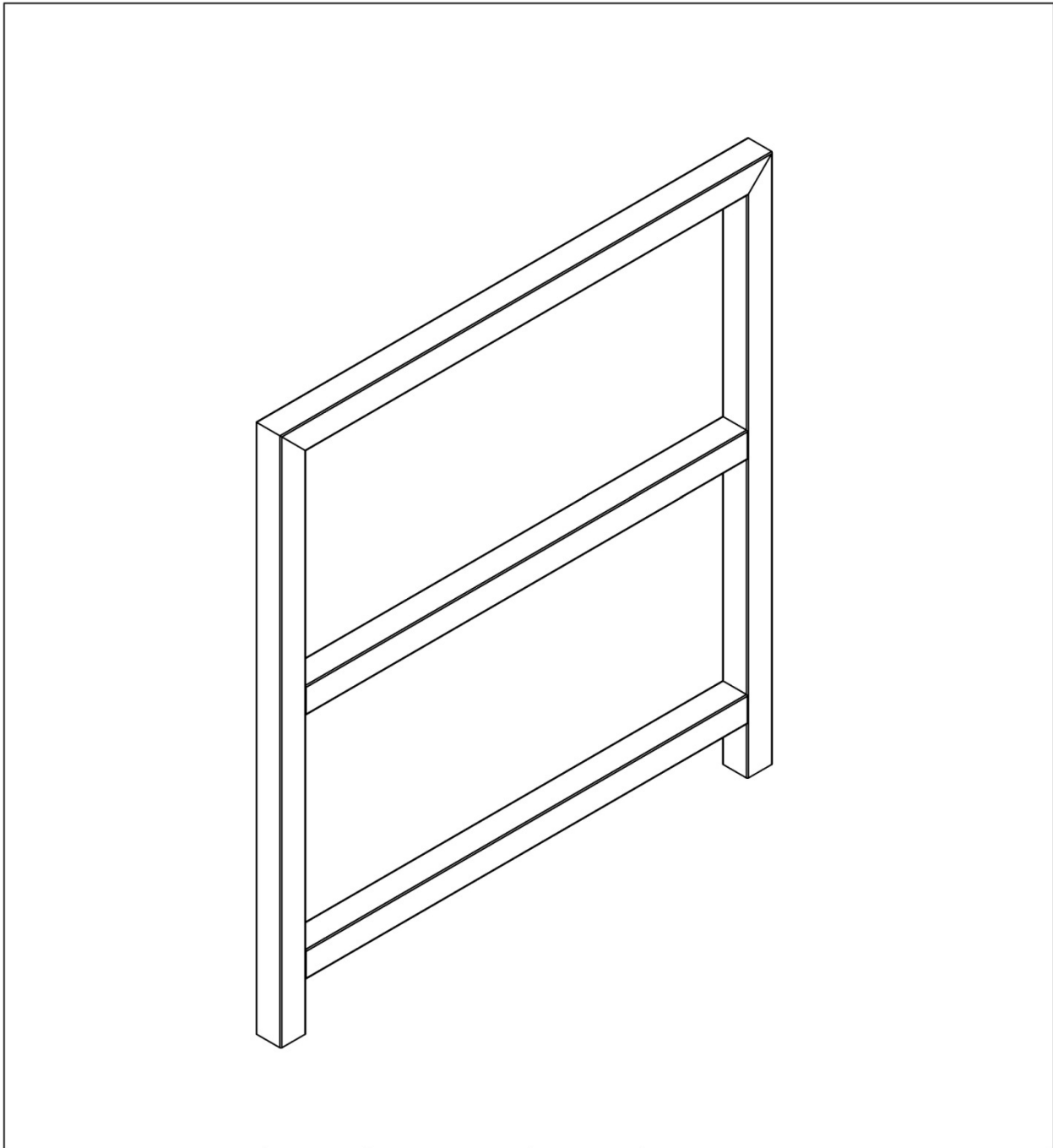



11	Lámina Lateral	1	Acero Aisi 1020		
10	Lámina de soporte de los elementos de control	1	Acero Aisi 1020		
9	Puerta	1	Acero Aisi 1020		
8	Platina de fijación del Motorreductor	1	Acero Aisi 1020		
7	Mariposa de sujeción de la lámina Portapesos	4	Acero Aisi 1020		
6	Barras de soporte de la Lámina Portapesos	4	Acero Aisi 1020		
5	Lamina de Soporte Portapesos	1	Acero Aisi 1020		
4	Lamina Nivel 3	1	Acero Aisi 1020		
3	Lámina Nivel 2	1	Acero Aisi 1020		
2	Lamina Nivel 1	1	Acero Aisi 1020		
1	Estructura Tubular	1	Acero AISI A36		

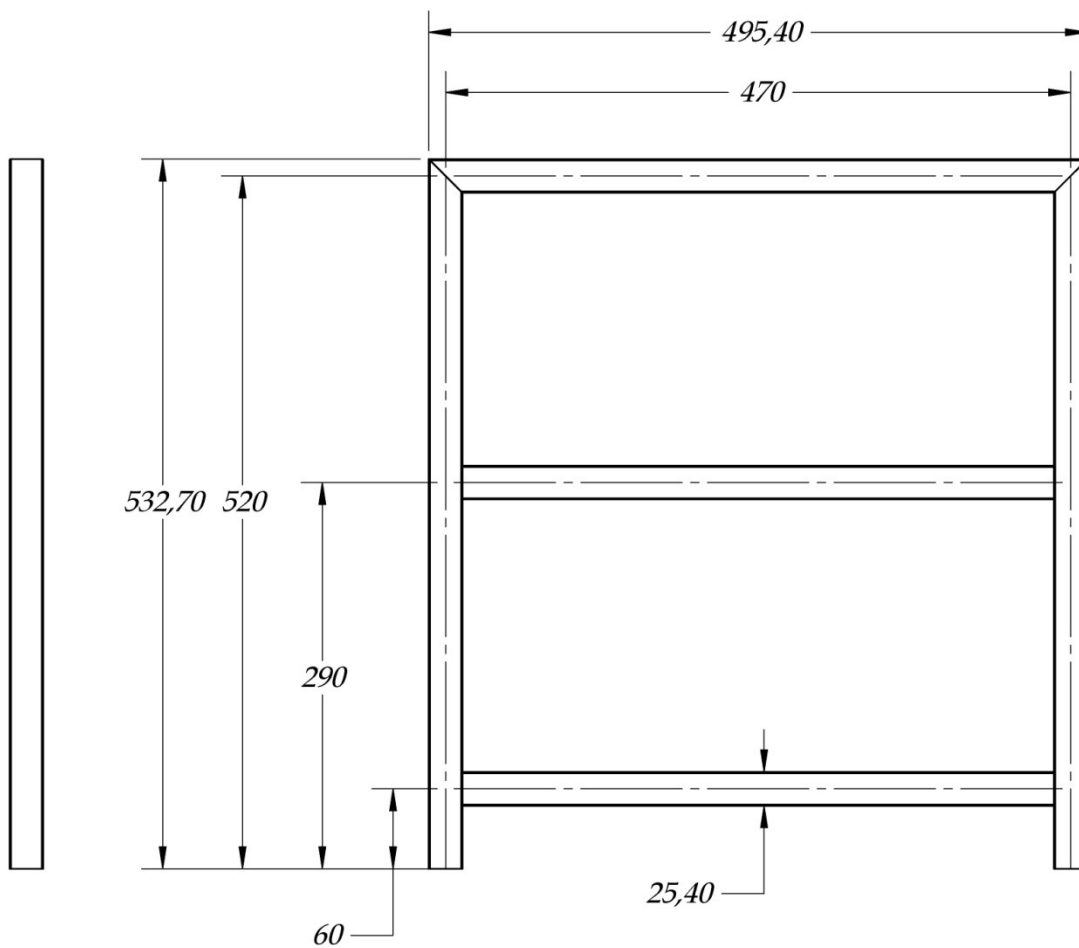
Ref	Descripción	Cant	Material	Especificaciones	Observaciones	
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>		
		Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
		Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
		Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007		
		Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007	<b>Sección: Sistema Estructural</b>	
	<b>Nota:</b> Cotas en mm.			<b>Plano: Explosión</b>		
				<b>Código:</b> GTE000	<b>Formato:</b> A4	
				<b>Material:</b>	<b>Cantidad:</b>	
			<b>Escala:</b> 1:14	<b>Peso:</b>	<b>Plano:</b> 4 de 104	



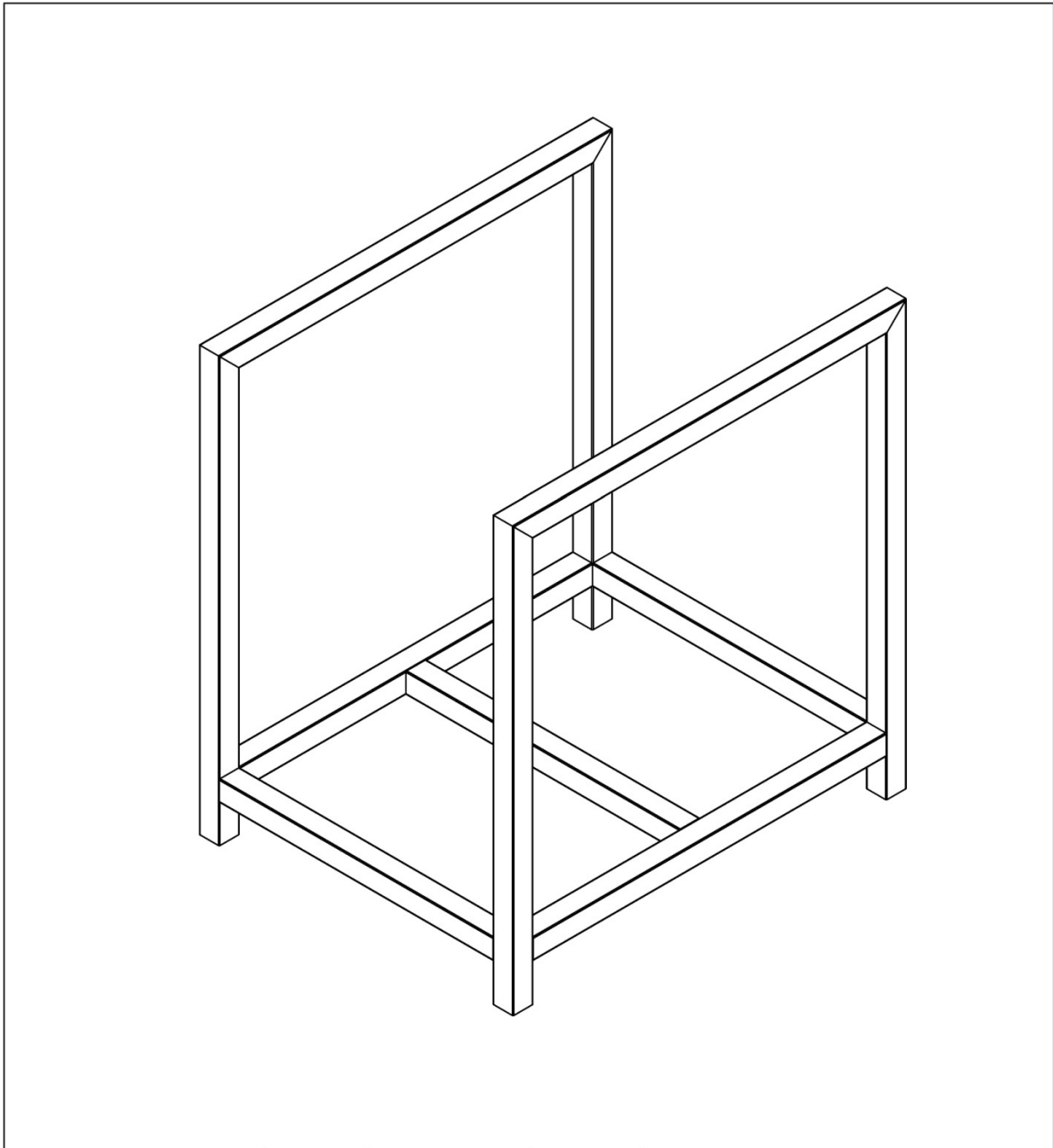
5	Tapas	4	Plastico			
4	Marco Tercer Nivel	1	Acero AISI A36	Perfil Cuadrado de 1"y 1/2"		
3	Marco Segundo Nivel	1	Acero AISI A36	Perfil Cuadrado de 1"		
2	Marco Primer Nivel	1	Acero AISI A36	Perfil Cuadrado de 1"		
1	Marco Frontal y Posterior	2	Acero AISI A36	Perfil Cuadrado de 1"		
Ref	Descripción	Cant	Material	Especificaciones	Observaciones	
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>		
		Dibujado:	G. Ramirez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
		Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
		Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	<b>Sección: Sistema Estructural</b>	
		Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
				<b>Plano: Isométrica Estructura</b>		
				<b>Código: GTE000</b>	<b>Formato: A4</b>	
				<b>Material:</b> <small>Tubo Cuadrado de Acero AISI 1020</small>	<b>Cantidad: 1</b>	
				<b>Escala: 1:5</b>	<b>Peso:</b>	
					<b>Plano: 5 de 104</b>	




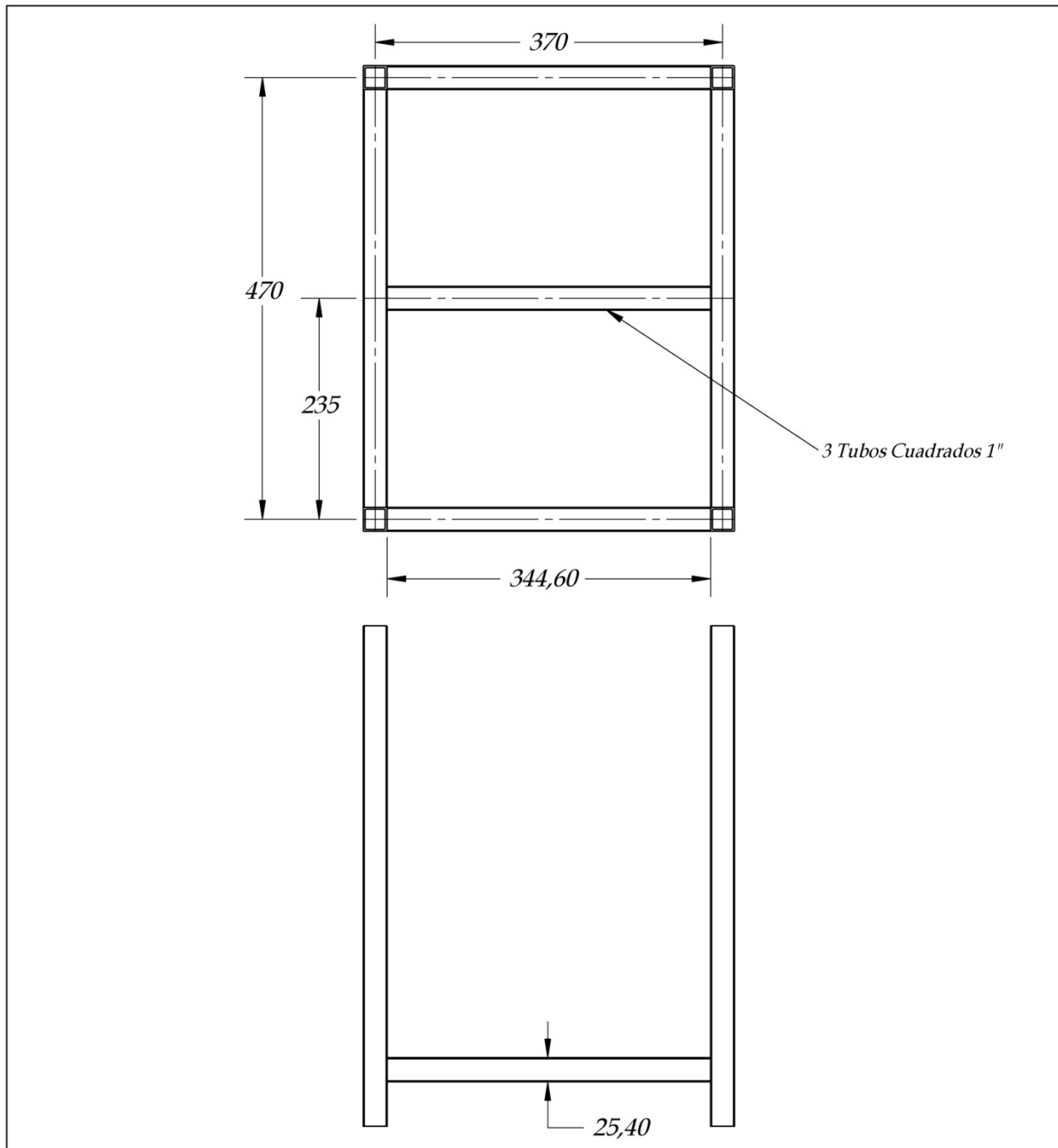
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>G. Ramírez</i>	<i>02-09-2007</i>	<i>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</i>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>H. Navarro</i>	<i>02-09-2007</i>		
	<i>Aprobado 1</i>	<i>R. Niño</i>	<i>15-10-2007</i>	<b>Sección:</b> <i>Sistema Estructural</i>	
	<i>Aprobado 2</i>	<i>D. Peña</i>	<i>15-10-2007</i>		
				<b>Plano:</b> <i>Marco Frontal y Posterior de la Estructura</i>	
				<b>Código:</b> <i>GTE001</i>	<b>Formato:</b> <i>A4</i>
				<b>Material:</b> <i>Acero AISI 1020</i>	<b>Cantidad:</b> <i>2</i>
				<b>Escala:</b> <i>1:4</i>	<b>Peso:</b> <i>Plano:6 de 104</i>



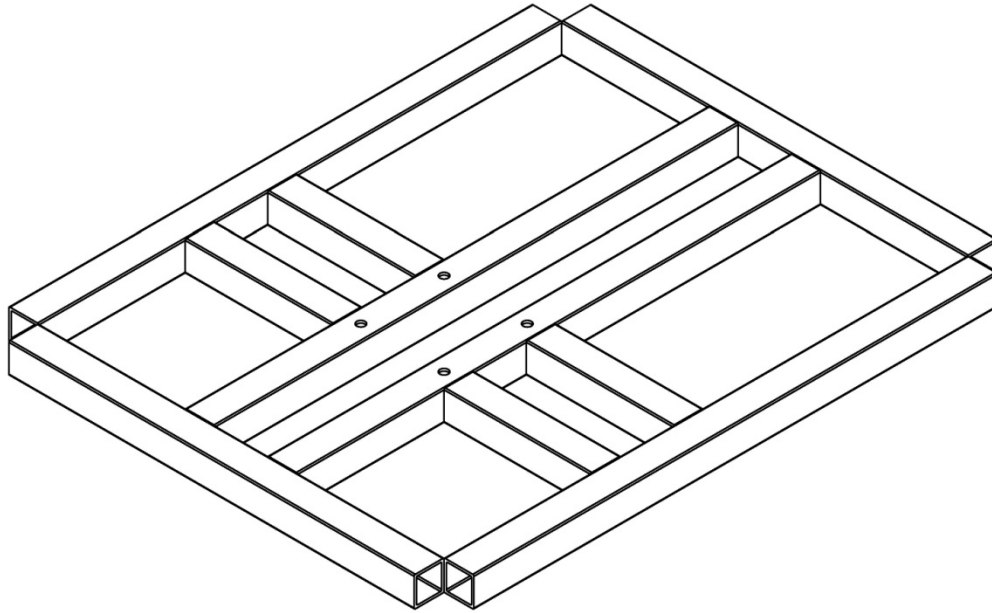
	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
Dibujado:	<b>G. Ramírez</b>	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
Dibujado:	<b>H. Navarro</b>	02-09-2007		
Aprobado 1	<b>R. Niño</b>	15-10-2007	<b>Sección: Sistema Estructural</b>	
Aprobado 2	<b>D. Peña</b>	15-10-2007		
NOTA: 1. Cotas en mm. 2. Perfil cuadrado de 1 pulg.			<b>Plano: Marco Frontal y Posterior de la Estructura</b>	
			<b>Código: GTE001</b>	<b>Formato:</b>
			<b>Material: Acero AISI 1020</b>	<b>Cantidad: 2</b>
			<b>Escala: 1:5</b>	<b>Peso:</b>
				<b>Plano: 7 de 104</b>



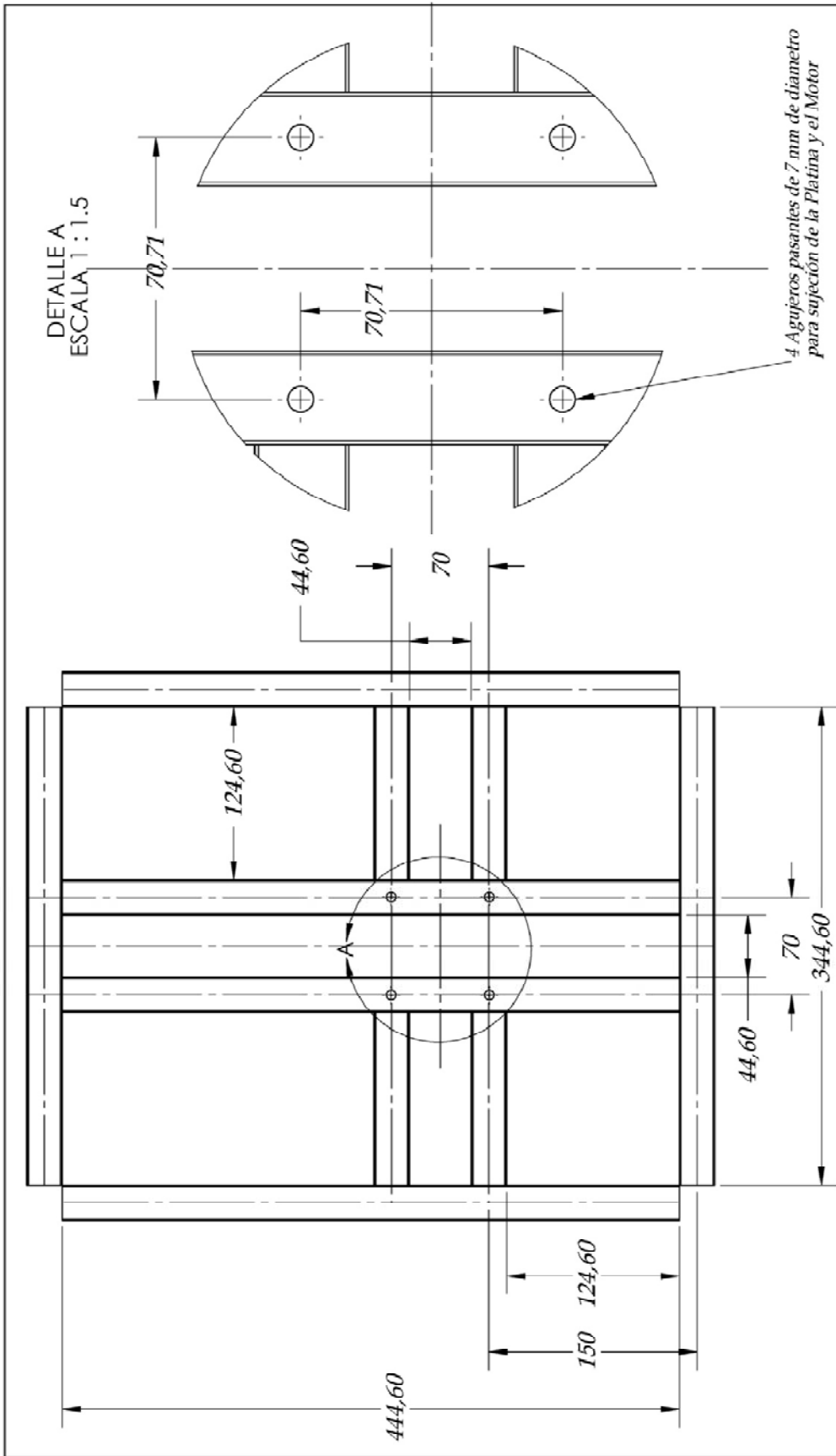
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>G. Ramírez</i>	<i>02-09-2007</i>	<i>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</i>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>H. Navarro</i>	<i>02-09-2007</i>		
	<i>Aprobado 1</i>	<i>R. Niño</i>	<i>15-10-2007</i>	<b>Sección: Sistema Estructural</b>	
	<i>Aprobado 2</i>	<i>D. Peña</i>	<i>15-10-2007</i>		
				<b>Plano:</b> <i>Isometrica Marco nivel 1</i>	
				<b>Código:</b> <i>GTE002</i>	<b>Formato:</b> <i>A4</i>
				<b>Material:</b> <i>Acero AISI 1020</i>	<b>Cantidad:</b> <i>1</i>
				<b>Escala:</b> <i>1:5</i>	<b>Peso:</b>
					<b>Plano:</b> <i>8 de 104</i>



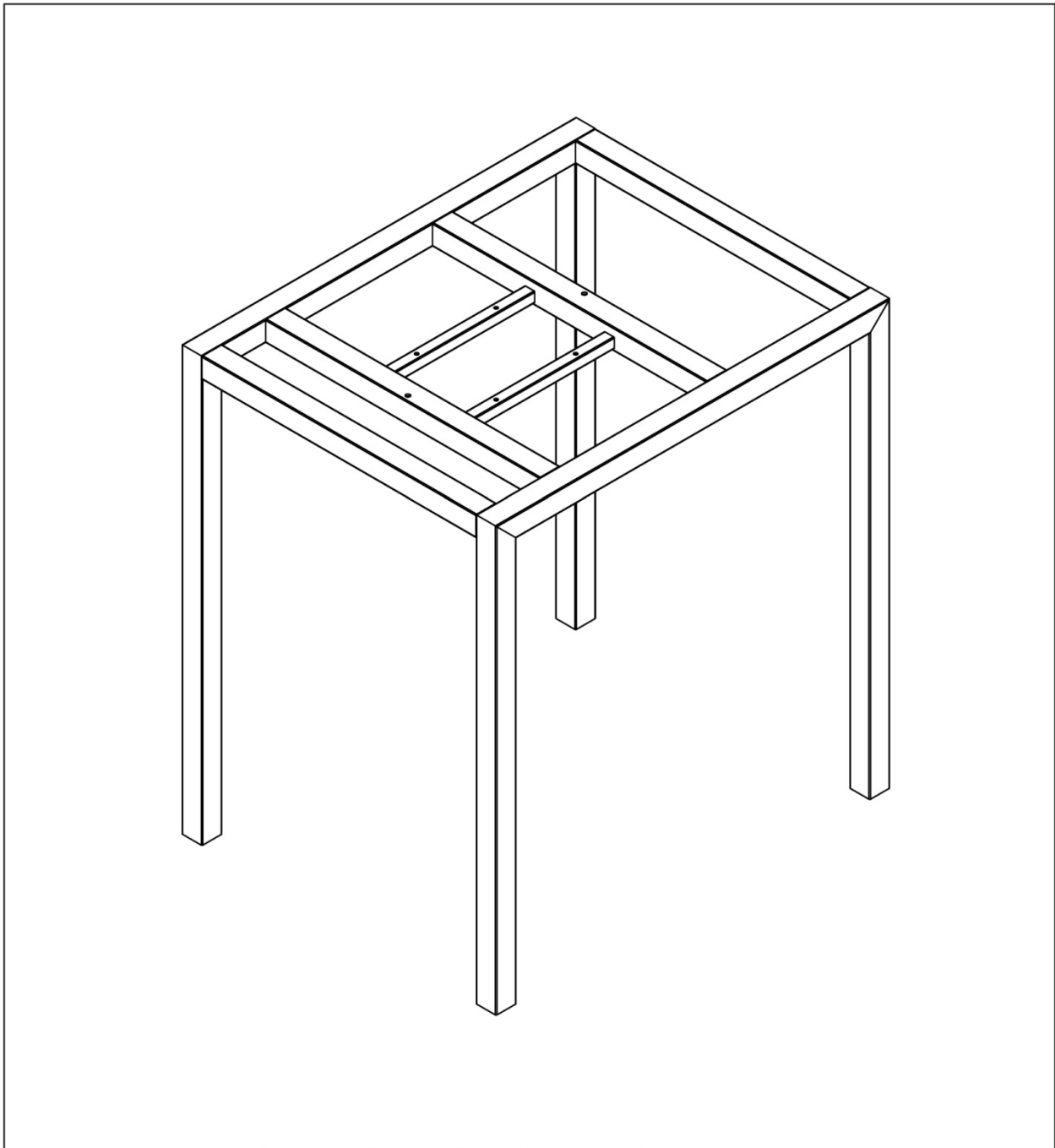
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
	Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
	Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	<b>Sección: Sistema Estructural</b>	
	Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
					<b>Plano: Marco Nivel 1 Vistas Superior y Lateral</b>
				<b>Código: GTE002</b>	<b>Formato:</b>
				<b>Material: Acero AISI 1020</b>	<b>Cantidad: 1</b>
				<b>Escala: 1:6</b>	<b>Peso:</b>
					<b>Plano: 9 de 104</b>



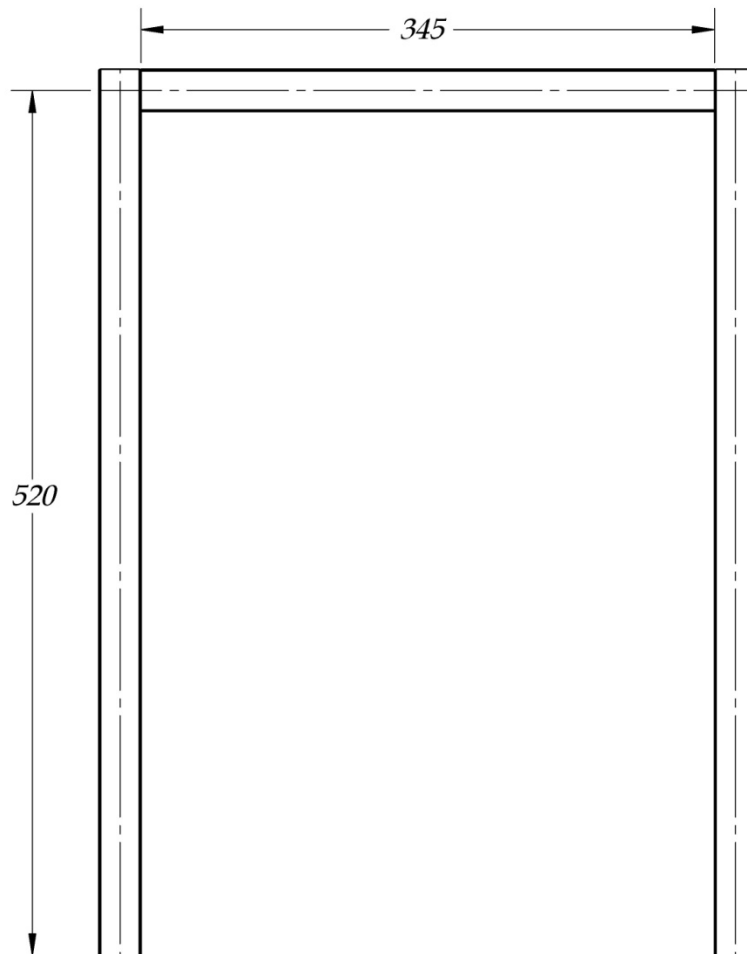
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>G. Ramírez</i>	<i>02-09-2007</i>	<i>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</i>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>H. Navarro</i>	<i>02-09-2007</i>		
	<i>Aprobado 1</i>	<i>R. Niño</i>	<i>15-10-2007</i>	<b>Sección:</b> Sistema Estructural	
	<i>Aprobado 2</i>	<i>D. Peña</i>	<i>15-10-2007</i>		
				<b>Plano:</b> Marco Nivel 2 Isométrica	
				<b>Código:</b> GTE004	<b>Formato:</b>
				<b>Material:</b> Acero AISI 1020	<b>Cantidad:</b> 1
				<b>Escala:</b> 1:4	<b>Peso:</b>
					<b>Plano:</b> 10 de 104




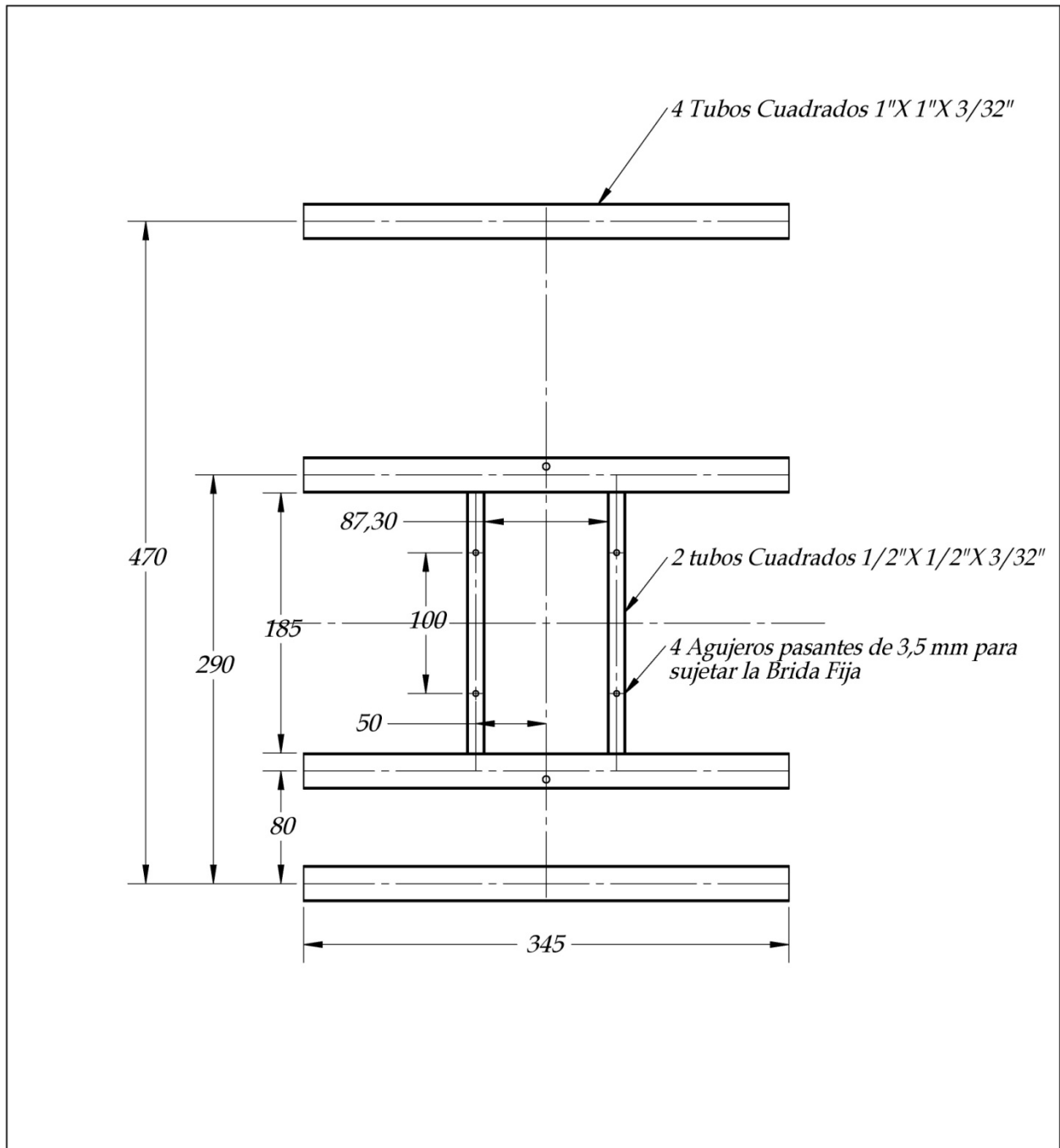
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>
Dibujado:	G. Ramirez	02-09-2007		
Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
Aprobado 1	R. Nino	15-10-2007		
Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
			<b>Sección:</b> Sistema Estructural	
			<b>Plano:</b> Marco Nivel 2 Vista Superior	
			<b>Código:</b> GIE004	
			<b>Formato:</b> A4	
			<b>Cantidad:</b>	
			<b>Material:</b> Acero AISI 1020	
			<b>Escala:</b> 1:4	
			<b>Peso:</b>	
			<b>Plano:</b> 11 de 106	



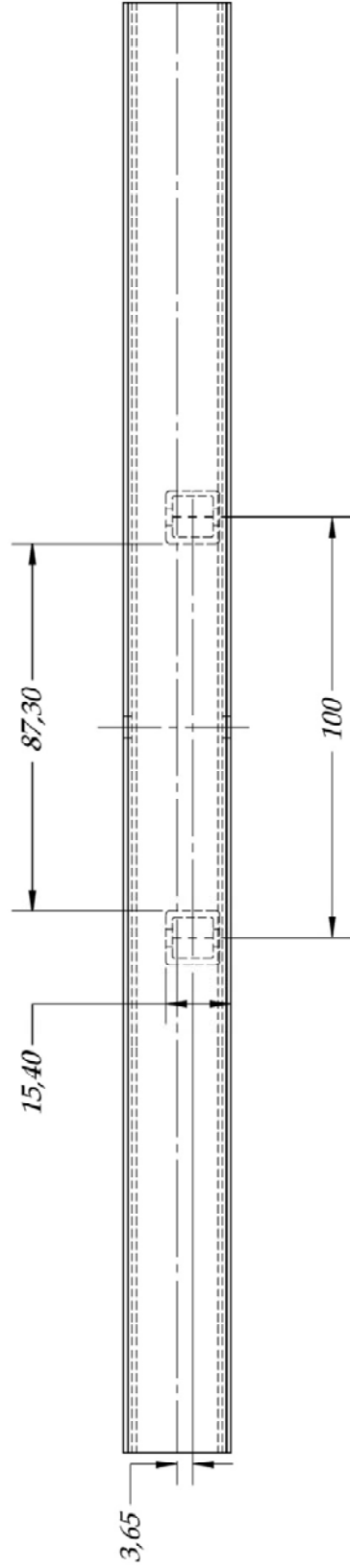
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>G. Ramírez</i>	<i>02-09-2007</i>	<i>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</i>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>H. Navarro</i>	<i>02-09-2007</i>		
	<i>Aprobado 1</i>	<i>R. Niño</i>	<i>15-10-2007</i>	<b>Sección:</b> Sistema Estructural	
	<i>Aprobado 2</i>	<i>D. Peña</i>	<i>15-10-2007</i>		
	<b>Nota:</b>			<b>Plano:</b> Isometrica Marco Nivel 3	
			<b>Código:</b> GTE003	<b>Formato:</b> A4	
			<b>Material:</b> Acero AISI 1020	<b>Cantidad:</b> 1	
			<b>Escala:</b> 1:5	<b>Peso:</b>	<b>Plano:</b> 12 de 104



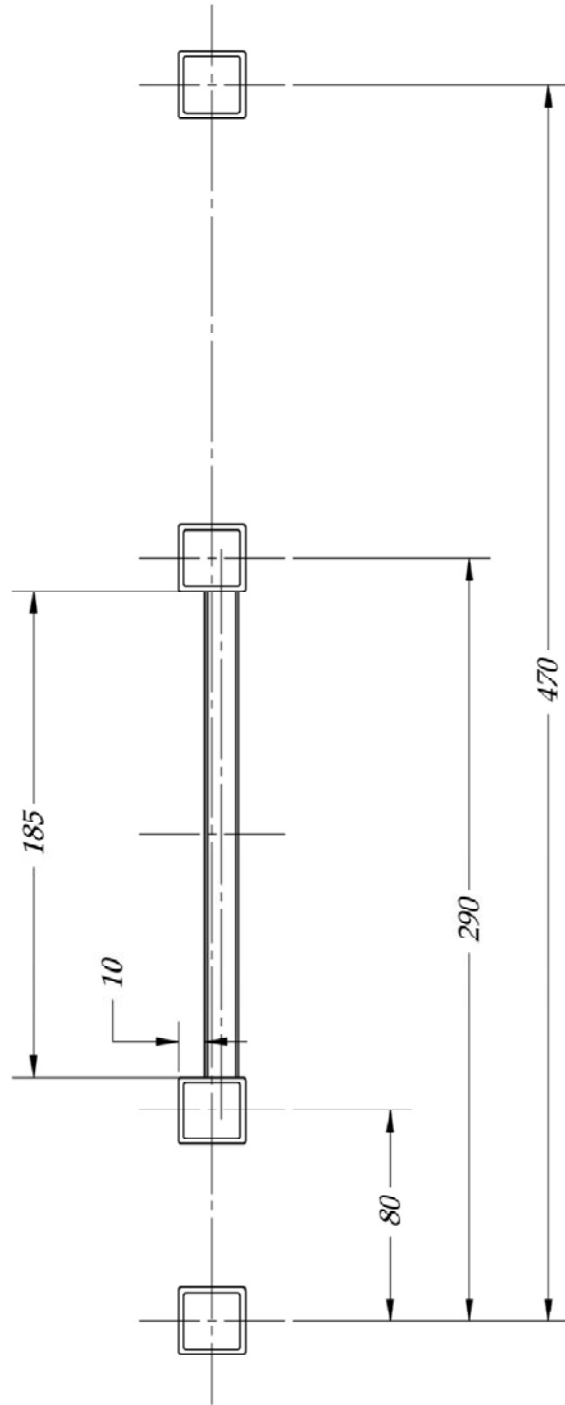
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
	Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
	Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	<b>Sección: Sistema Estructural</b>	
	Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
				<b>Plano:</b> Marco Nivel 3 Vista Lateral	
				<b>Código:</b> GTE003	<b>Formato:</b>
				<b>Material:</b> Acero AISI 1020	<b>Cantidad:</b> 1
				<b>Escala:</b> 1:4	<b>Peso:</b>
					<b>Plano:</b> 13 de 104



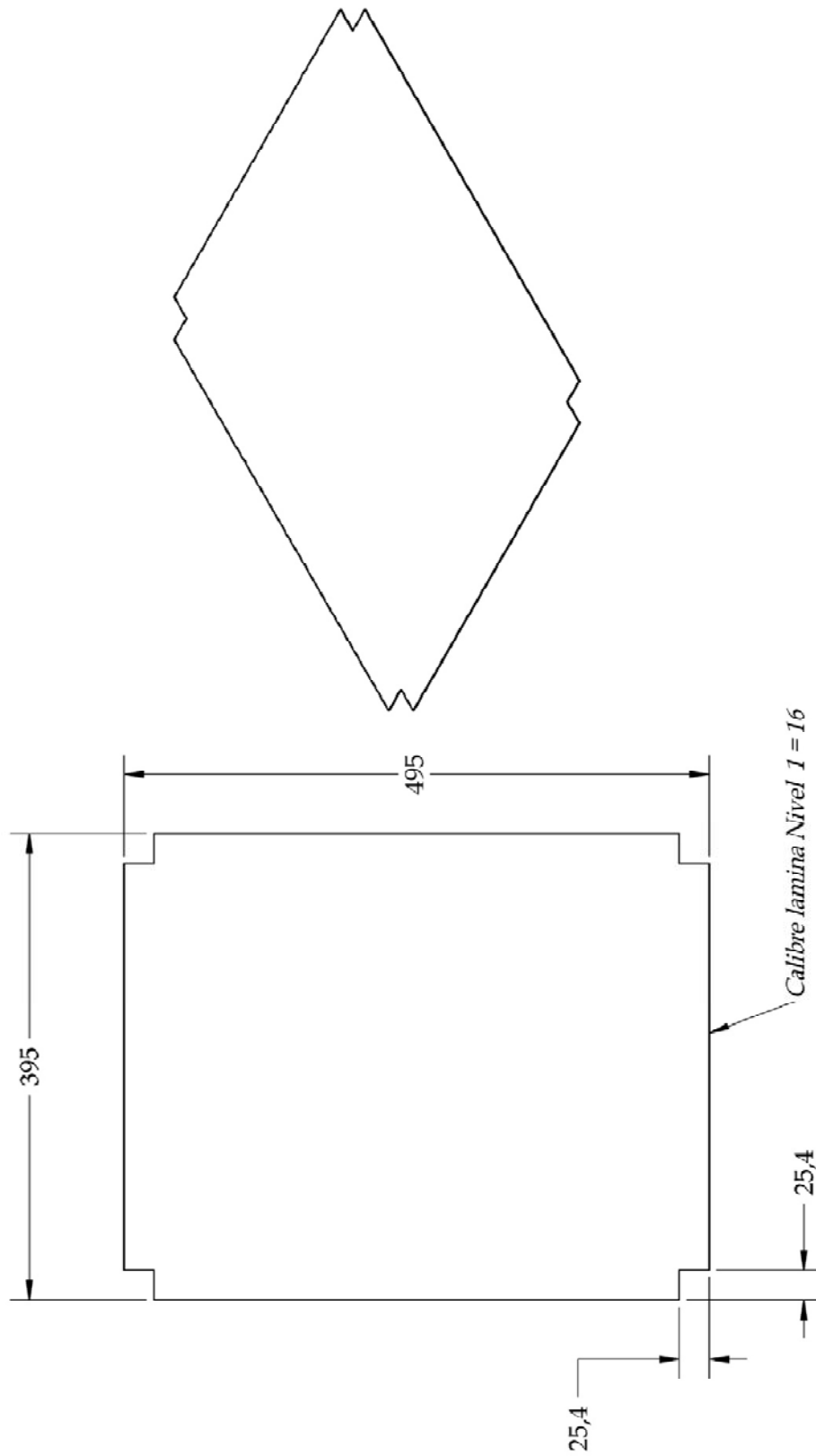
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
	Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
	Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	<b>Sección: Sistema Estructural</b>	
	Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
					<b>Plano: Marco Nivel 3 Vista Superior</b>
				<b>Código: GTE005</b>	<b>Formato:</b>
				<b>Material: Acero AISI 1020</b>	<b>Cantidad: 1</b>
				<b>Escala: 1:4</b>	<b>Peso:</b>
					<b>Plano: 14 de 104</b>




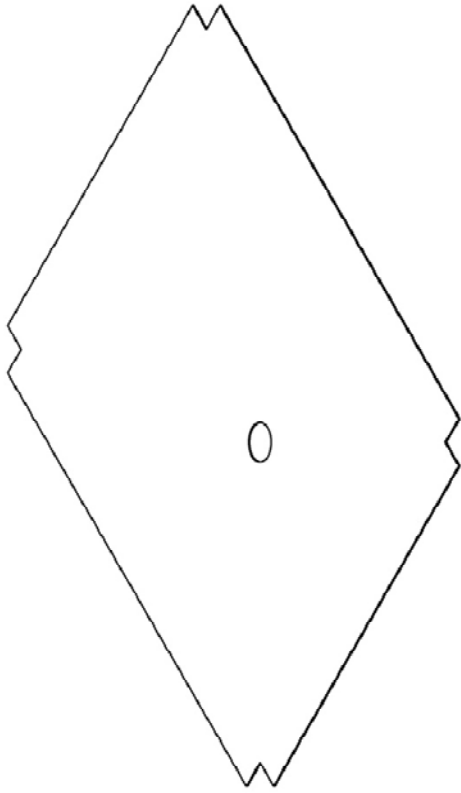
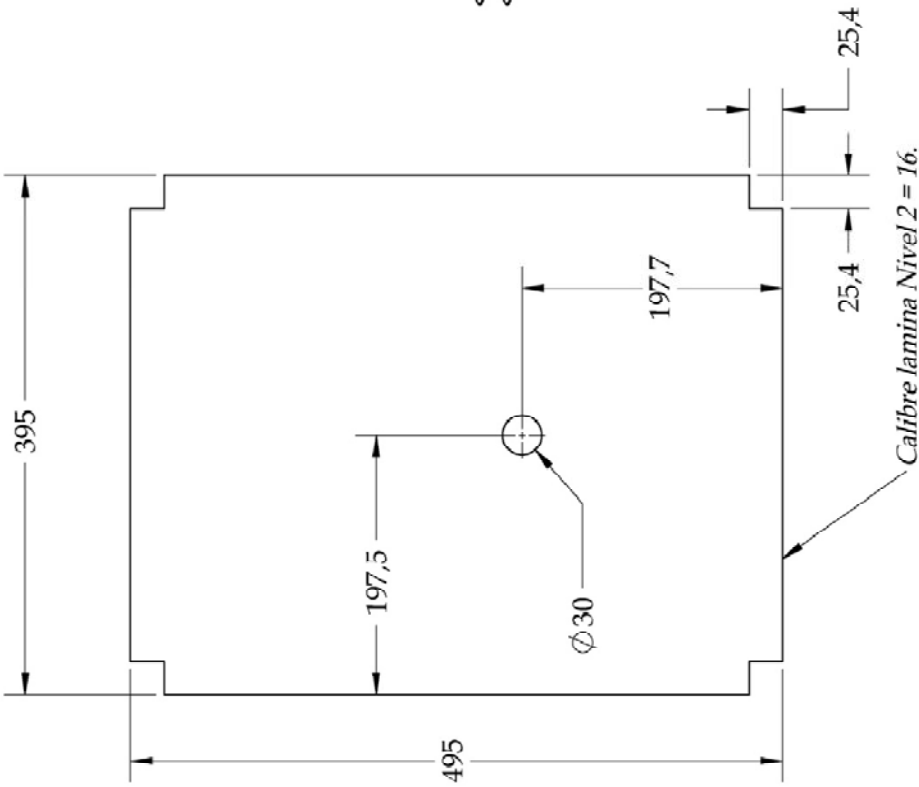
		<b>Dibujado:</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>  <b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>  <b>Sección: Sistema Estructural</b> <b>Plano: Marco Nivel 3 Vista Lateral Izquierda</b> <b>Código: GTE005</b> <b>Material: Acero A36</b> <b>Escala: 1:1,5</b> <b>Peso:</b>
		<b>Dibujado:</b>	G. Ramirez	02-09-2007	
		<b>Aprobado 1</b>	H. Navarro	02-09-2007	
		<b>Aprobado 2</b>	R. Niño	15-10-2007	
					<b>Formato: A4</b> <b>Cantidad: 1</b> <b>Plano: 15 de 106</b>



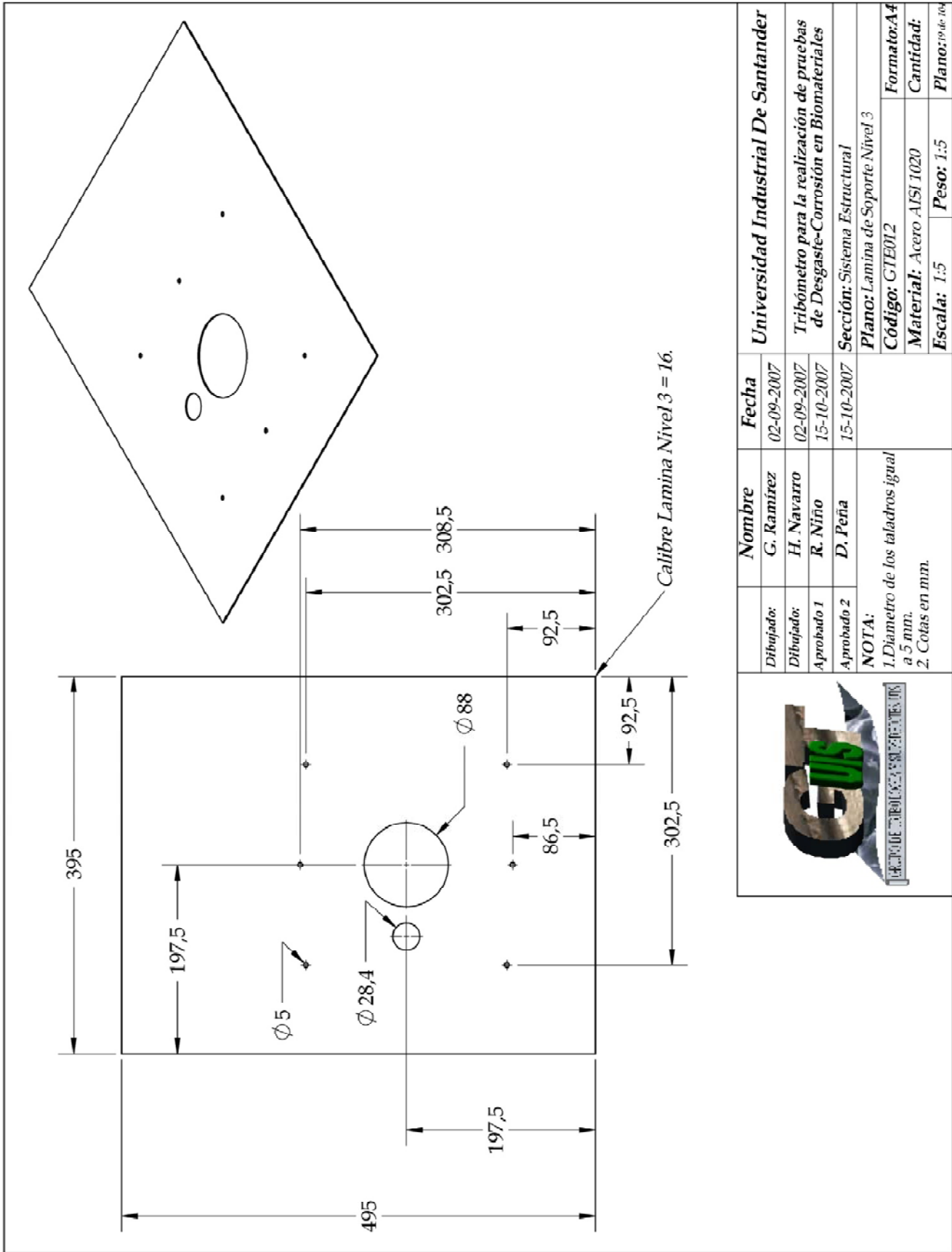
		<b>Dibujado:</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b> <b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b> <b>Sección: Sistema Estructural</b> <b>Plano: Marco Nivel 3 Vista Frontal</b> <b>Código: GIE005</b> <b>Material: Acero A36</b> <b>Escala: 1:2,5</b> <b>Peso:</b>
		<b>Dibujado:</b>	<b>H. Navarro</b>	<b>02-09-2007</b>	
		<b>Aprobado 1</b>	<b>R. Niño</b>	<b>15-10-2007</b>	
		<b>Aprobado 2</b>	<b>D. Peña</b>	<b>15-10-2007</b>	
					<b>Formato: A4</b> <b>Cantidad: 1</b> <b>Plano: 16 de 104</b>




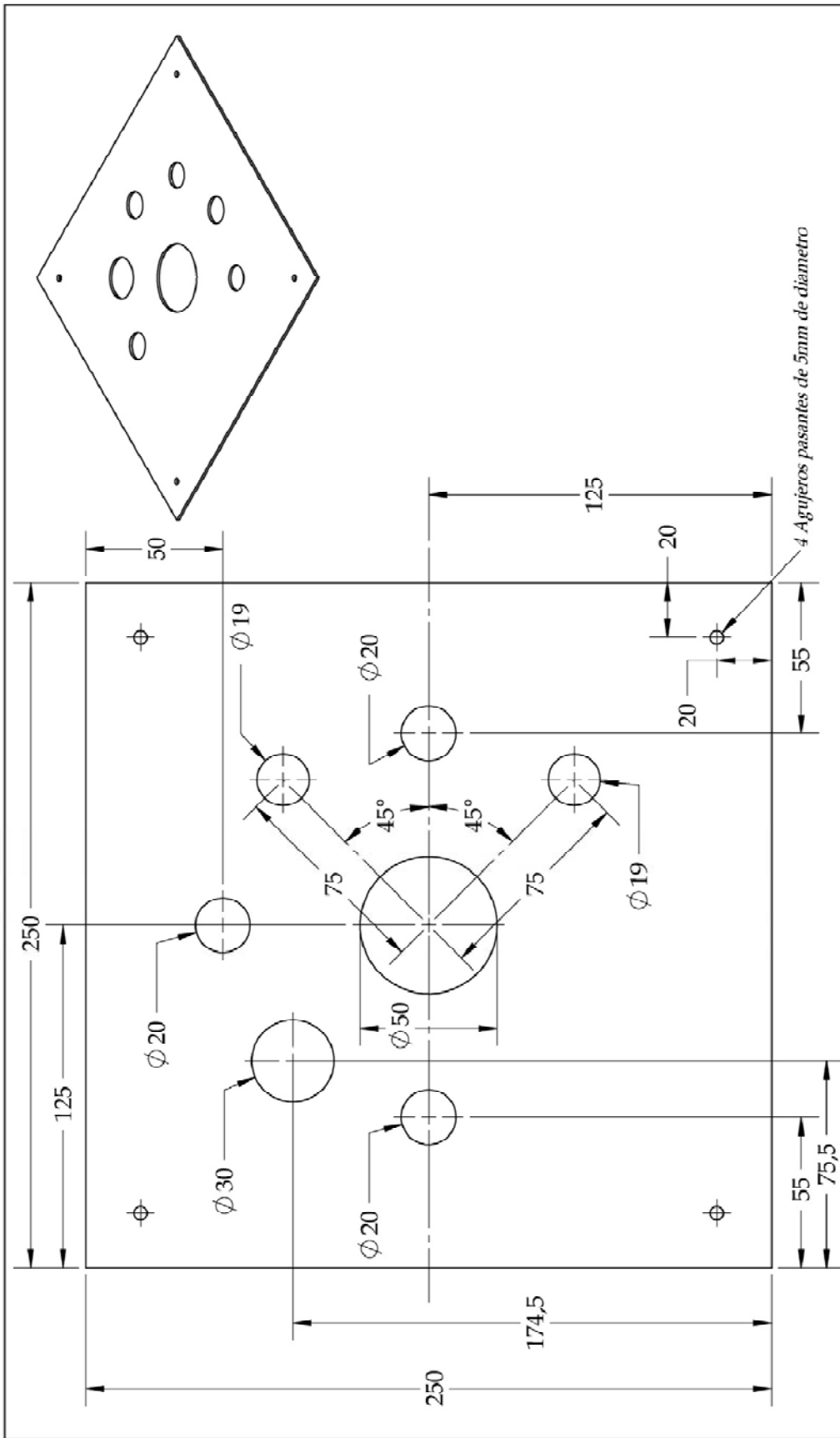
Dibujado:	Nombre	Fecha
Dibujado:	G. Ramirez	02-09-2007
Aprobado 1	H. Navarro	02-09-2007
Aprobado 2	R. Nino	15-10-2007
	D. Peña	15-10-2007
NOTA:		
		
<b>Universidad Industrial De Santander</b>		
<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>		
<b>Sección: Sistema Estructural</b>		
<b>Plano: Lamina de Soporte Nivel 1</b>		
<b>Código: GTE010</b>		<b>Formato: A4</b>
<b>Material: Acero Aisi 1020</b>		<b>Cantidad:</b>
<b>Escala: 1:5</b>		<b>Peso:</b>
<b>Plano: 17 de 106</b>		



Dibujado:	Nombre	Fecha	Universidad Industrial De Santander
G. Ramirez	G. Ramirez	02-09-2007	Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales
H. Navarro	H. Navarro	02-09-2007	
R. Nino	R. Nino	15-10-2007	
D. Peña	D. Peña	15-10-2007	
Aprobado 2			Sección: Sistema Estructural
NOTA:			Formato: A4
I. Cotas en mm			Plano: Lamina de Soporte Nivel 2
			Código: GTEOH
			Material: Acero AISI 1020
			Escala: 1:5
			Peso:
			Cantidad:
			Plano: 18 de 104

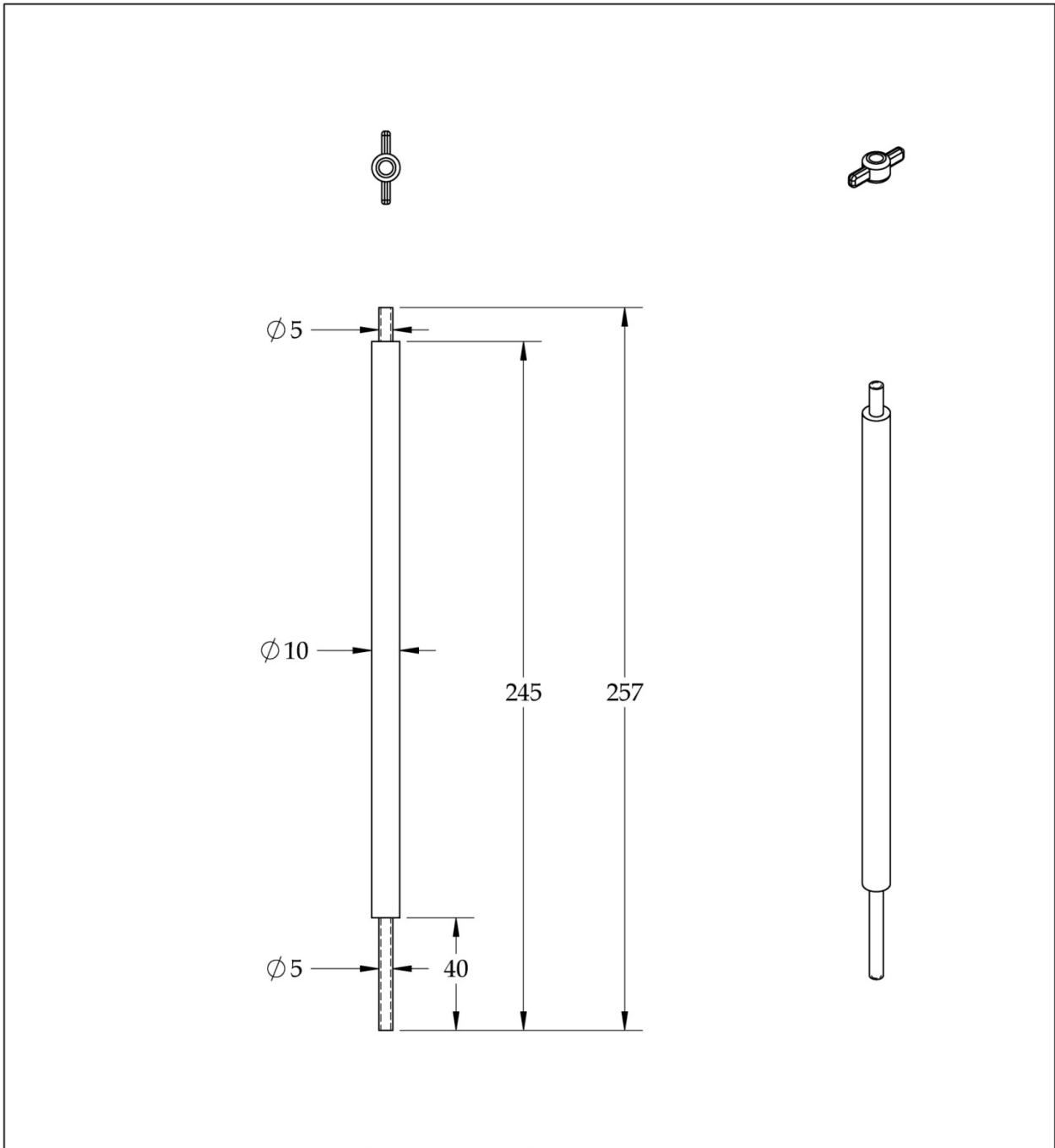



Dibujado:		Nombre	Fecha
Dibujado:		G. Ramirez	02-09-2007
Aprobado 1		H. Navarro	02-09-2007
Aprobado 2		R. Nino	15-10-2007
NOTA:		D. Peña	15-10-2007
1. Diametro de los taladros igual a 5 mm.		Sección: Sistema Estructural	
2. Cotas en mm.		Plano: Lamina de Soporte Nivel 3	
		Universidad Industrial De Santander	
		Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales	
		Formato: A4	Cantidad:
		Material: Acero AISI 1020	Peso: 1:5
		Escala: 1:5	Plano: 19 de 106

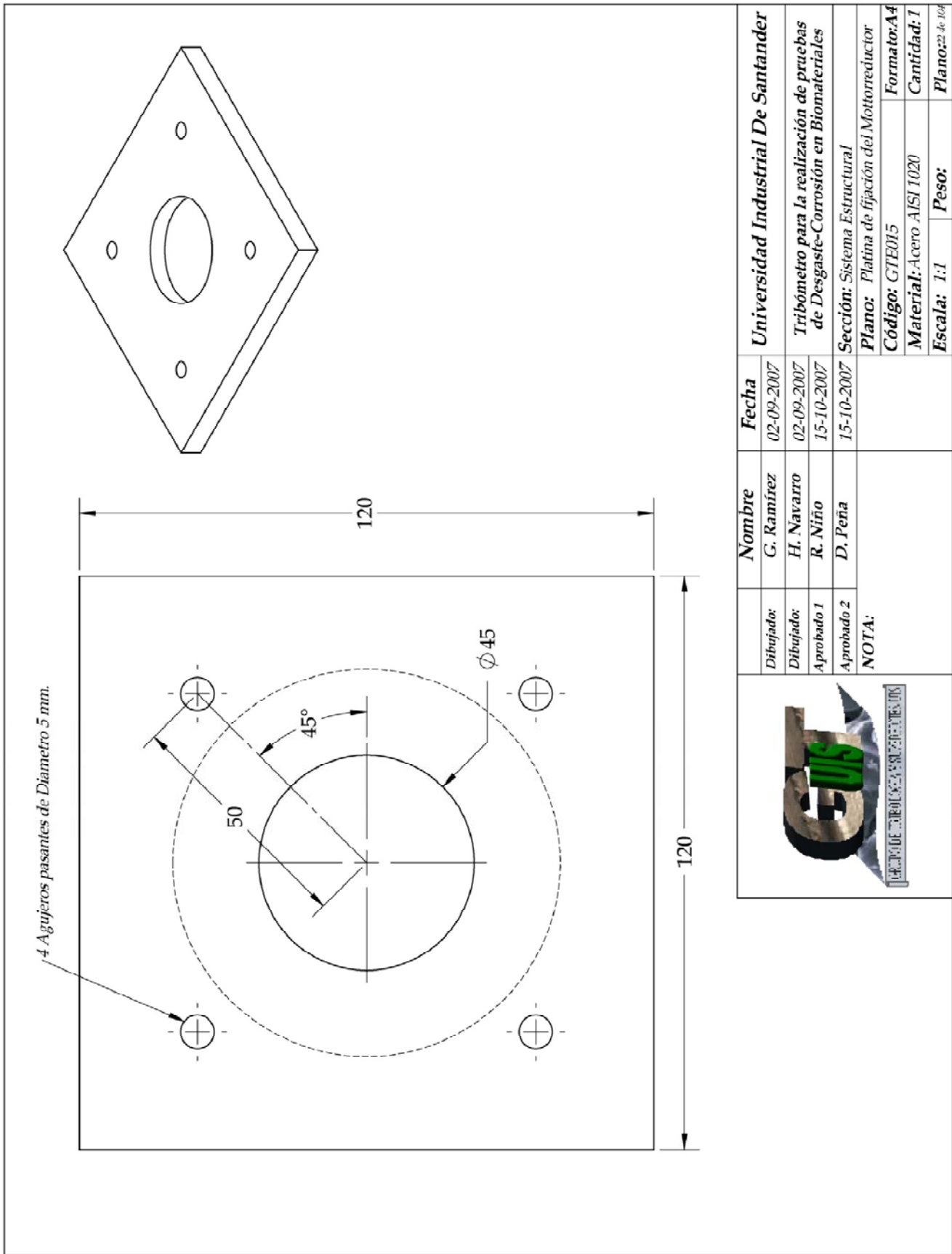


Nombre		Fecha	
Dibujado:	G. Ramirez	02-09-2007	
Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007	
Aprobado 1	R. Nino	15-10-2007	
Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007	
<b>NOTA:</b> 1. Calibre de la lámina = 15			
<b>Universidad Industrial De Santander</b>		<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
<b>Sección: Sistema Estructural</b>		<b>Plano: Lamina de Soporte Portapesos</b>	
<b>Código: GTE013</b>		<b>Formato: A4</b>	
<b>Material: Acero AISI 1020</b>		<b>Cantidad: 1</b>	
<b>Escala: 1:2</b>		<b>Peso:</b>	

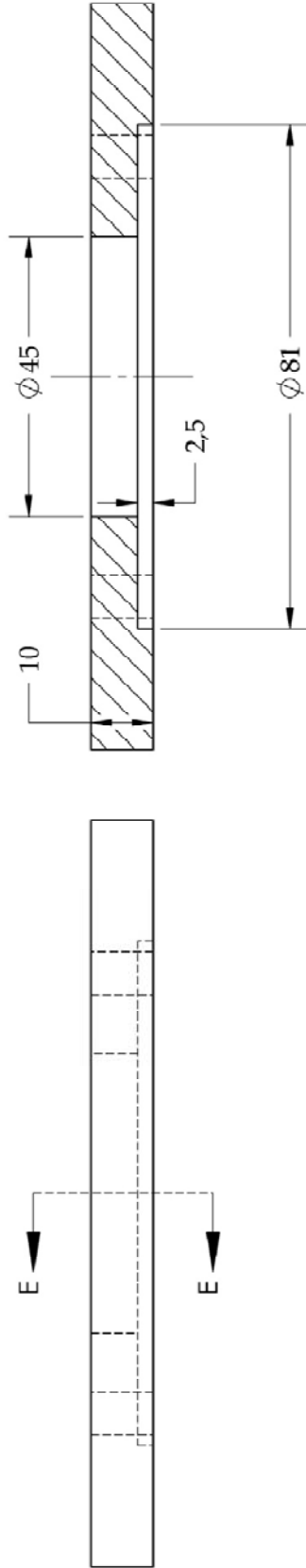




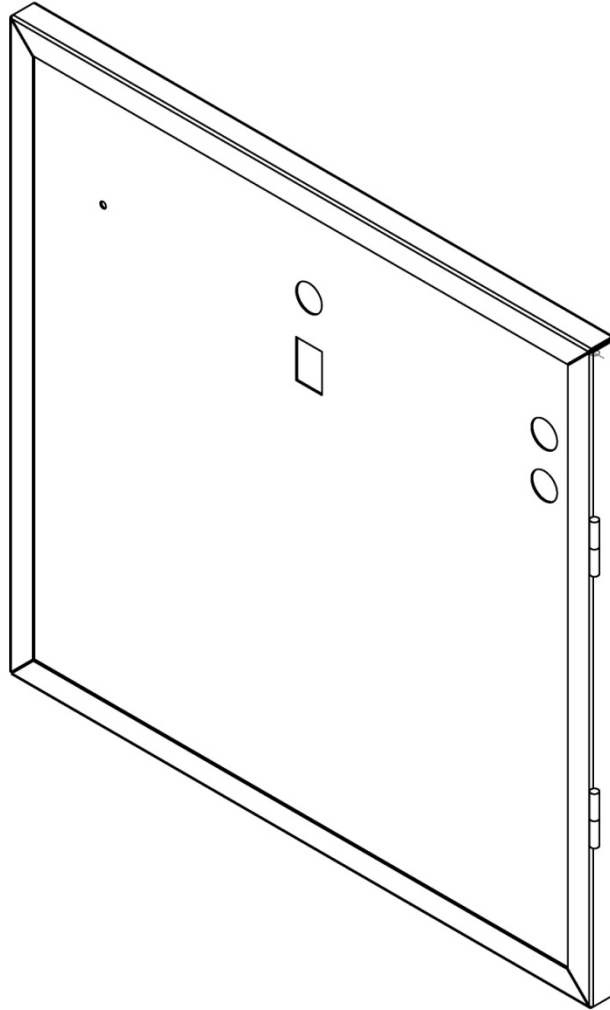
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<b>G. Ramírez</b>	<b>02-09-2007</b>	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<b>H. Navarro</b>	<b>02-09-2007</b>		
	<i>Aprobado 1</i>	<b>R. Niño</b>	<b>15-10-2007</b>	<b>Sección: Sistema Estructural</b>	
	<i>Aprobado 2</i>	<b>D. Peña</b>	<b>15-10-2007</b>		
	<b>Nota:</b>			<b>Plano:</b> Barra de soporte de la Lámina Portapesos y Mariposas de ajuste	
				<b>Código:</b> GTE014	<b>Formato:</b> A4
			<b>Material:</b> Acero AISI 1020	<b>Cantidad:</b> 4	
			<b>Escala:</b> 1:2	<b>Peso:</b>	<b>Plano:</b> 21 de 104



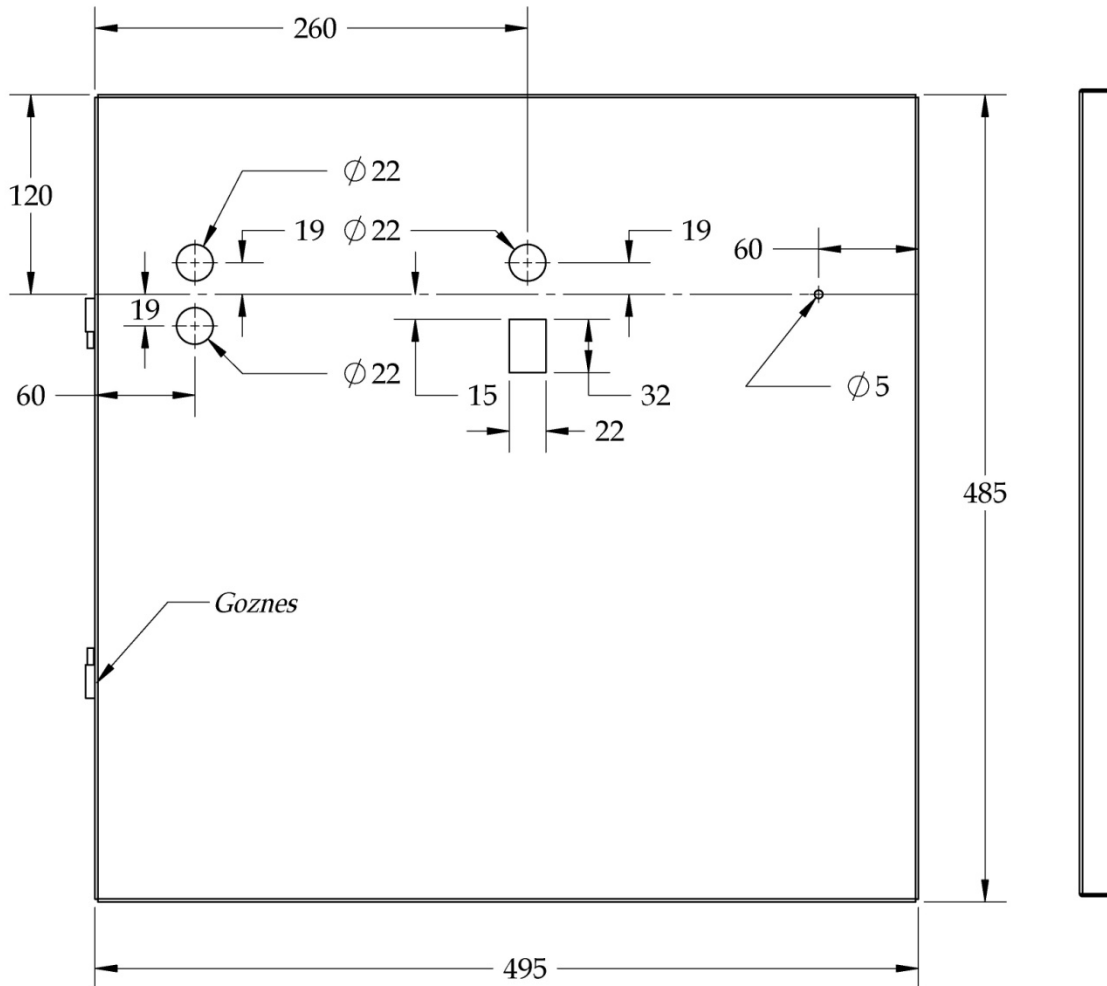
SECCIÓN E-E  
ESCALA 1 : 1



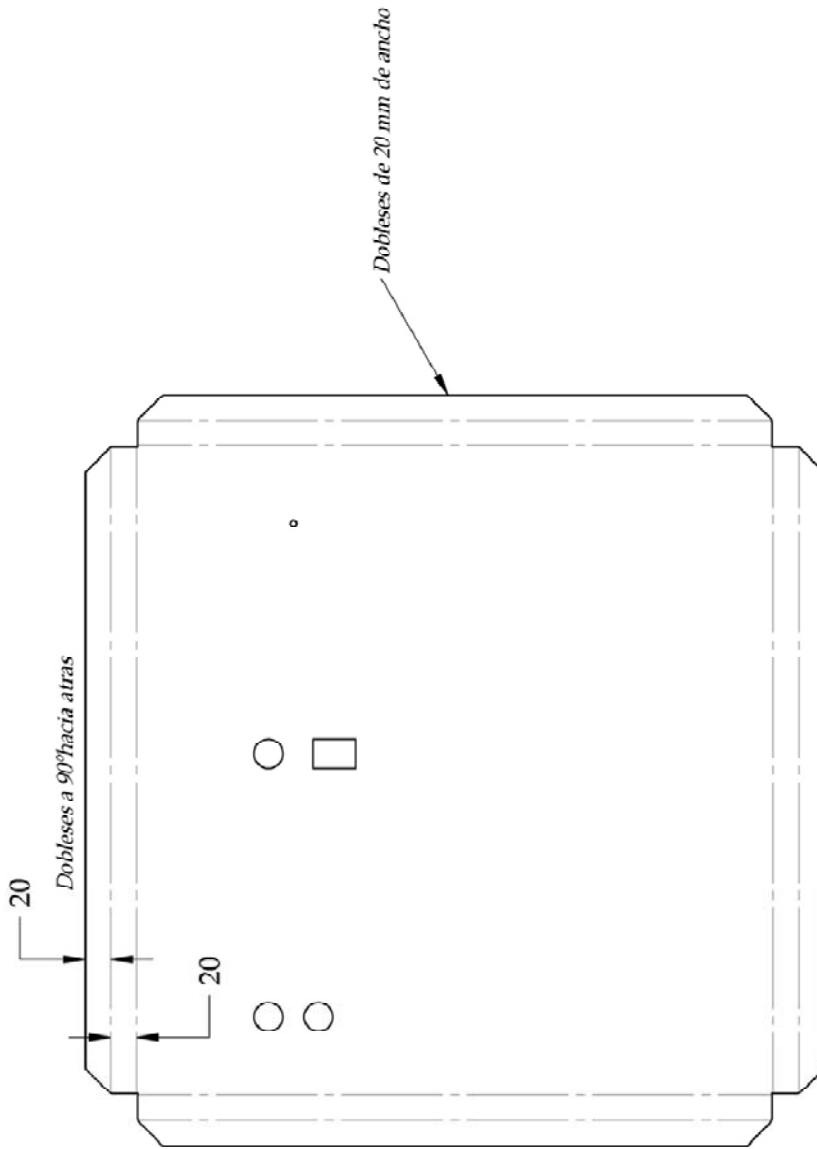
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>
		Dibujado:	02-09-2007	
		Dibujado:	02-09-2007	Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales
		Aprobado 1	15-10-2007	
Aprobado 2	15-10-2007	Sección: Sistema Estructural		
NOTA:				
Plano: Platina de fijación del Motorreductor				
Código: GTE015 Formatos: A4				
Material: Acero AISI 1020 Cantidad: 1				
Escala: 1:1 Peso: Plano: 23 de 109				




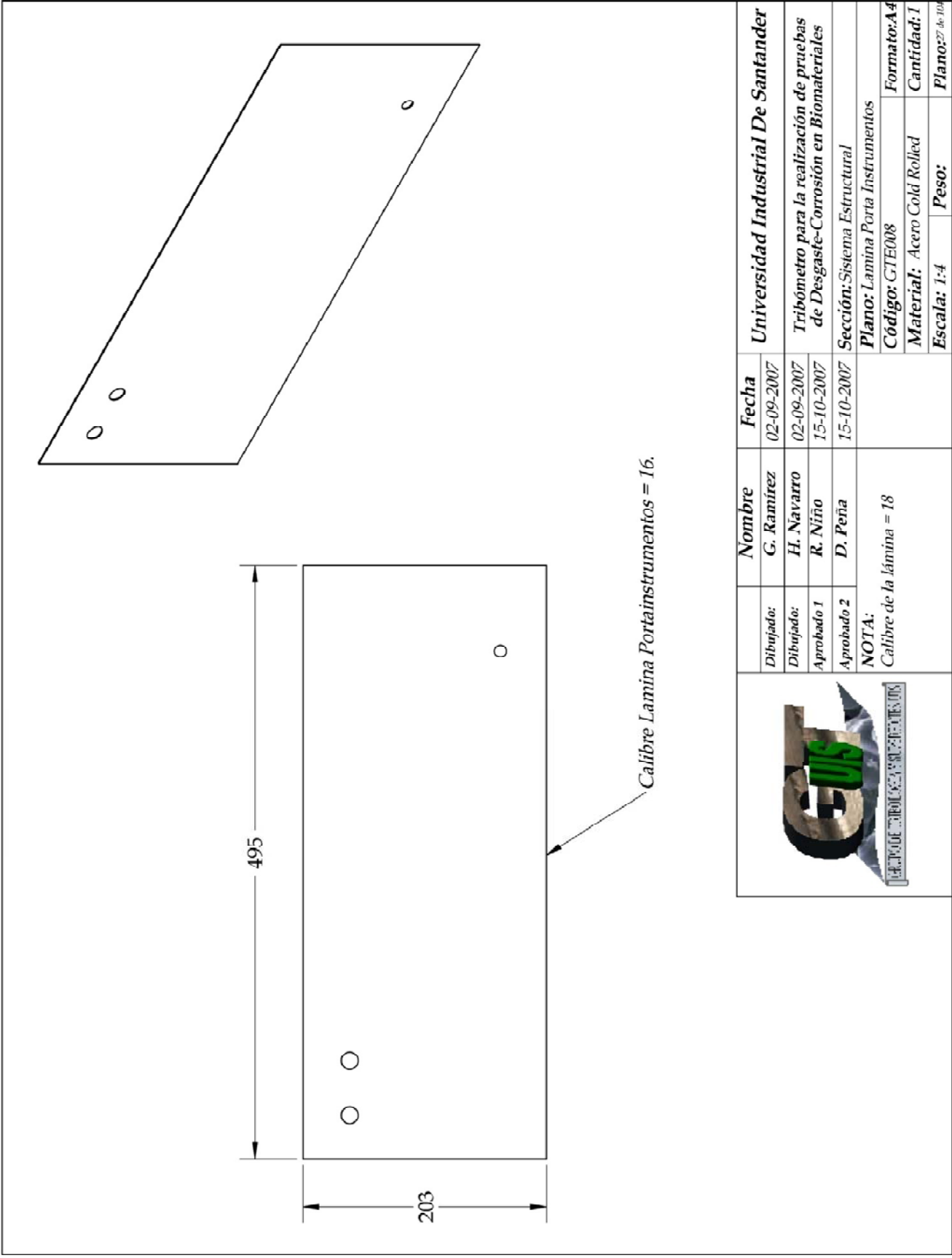
	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
<b>Dibujado:</b>	<b>G. Ramírez</b>	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
<b>Dibujado:</b>	<b>H. Navarro</b>	02-09-2007		
<b>Aprobado 1</b>	<b>R. Niño</b>	15-10-2007		
<b>Aprobado 2</b>	<b>D. Peña</b>	15-10-2007	<b>Sección: Sistema estructural</b>	
<b>Nota:</b>	Calibre de la lámina = 18		<b>Plano: Isometrico Puerta</b>	
			<b>Código: GTE007</b>	<b>Formato: A4</b>
			<b>Material: Lámina Cold Rolled</b>	<b>Cantidad: 1</b>
			<b>Escala: 1:4</b>	<b>Peso:</b>
				<b>Plano: 24 de 104</b>




	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
<i>Dibujado:</i>	<b>G. Ramírez</b>	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
<i>Dibujado:</i>	<b>H. Navarro</b>	02-09-2007		
<i>Aprobado 1</i>	<b>R. Niño</b>	15-10-2007		
<i>Aprobado 2</i>	<b>D. Peña</b>	15-10-2007	<b>Sección: Sistema Estructural</b>	
<b>Nota:</b>	1. La fijación de la puerta a la estructura se hace por medio de dos goznes.		<b>Plano: Puerta</b>	
			<b>Código: GTE007</b>	<b>Formato: A4</b>
			<b>Material: Lamina Cold Rolled</b>	<b>Cantidad:</b>
			<b>Escala: 1:4</b>	<b>Peso:</b>

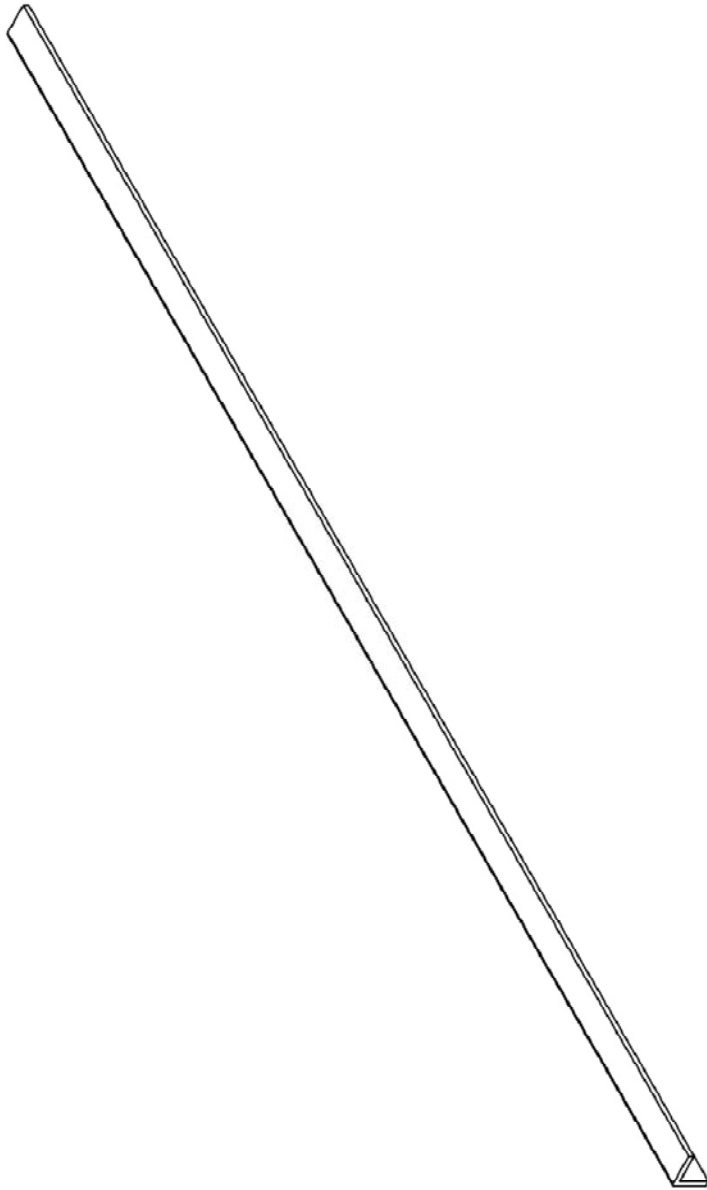


		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>
		Dibujado:	02-09-2007	
		Dibujado:	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>
		Aprobado 1	15-10-2007	<b>Sección: Sistema Estructural</b>
Aprobado 2	15-10-2007	<b>Plano: Puerta</b>		
		<b>Código: GTE007</b>	<b>Formato: A4</b>	
		<b>Material: Lámina Cold Rolled</b>	<b>Cantidad: 1</b>	
		<b>Escala: 1:5</b>	<b>Peso:</b>	<b>Plano: 28 de 106</b>

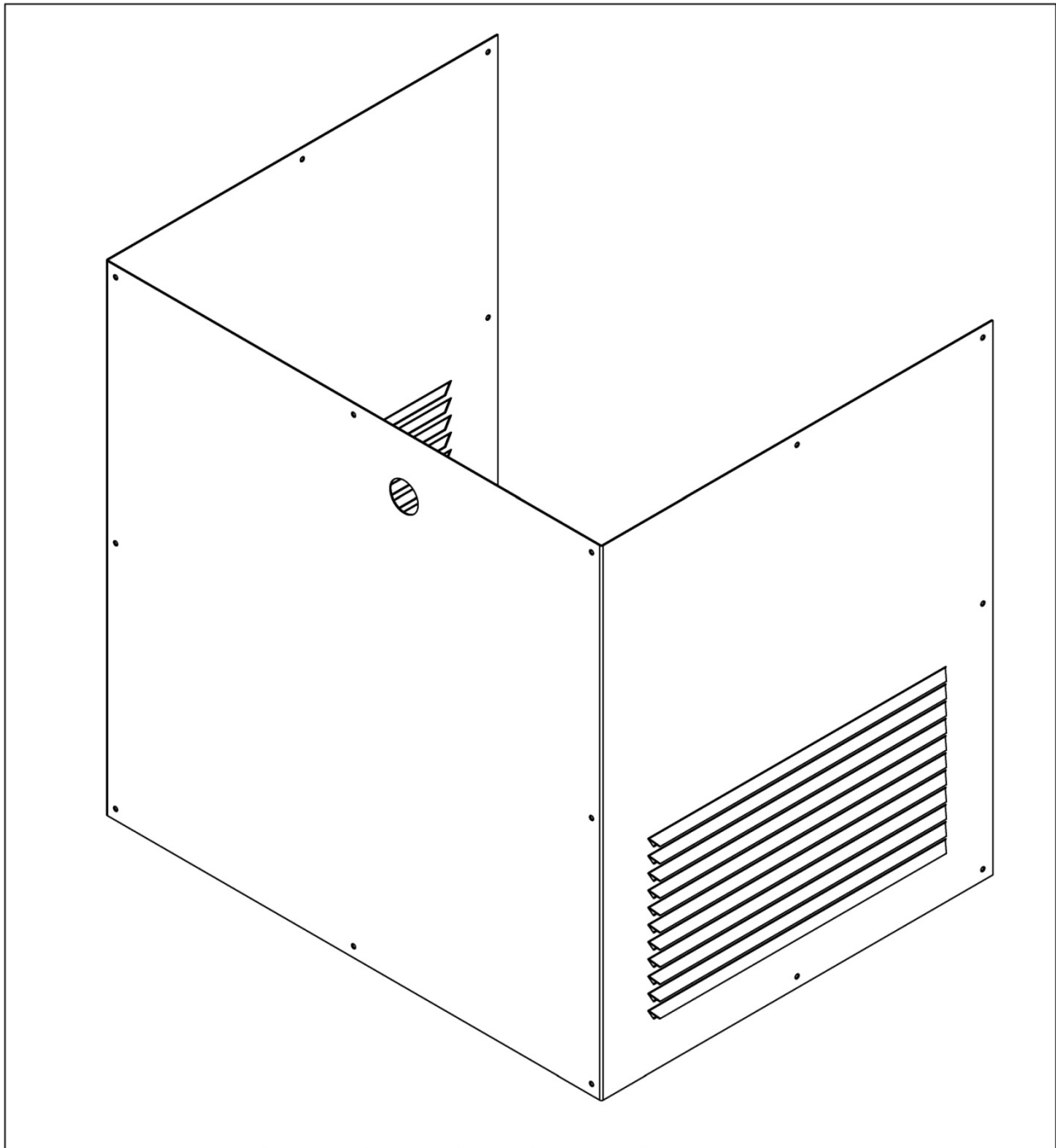


Calibre Lamina Portainstrumentos = 16.

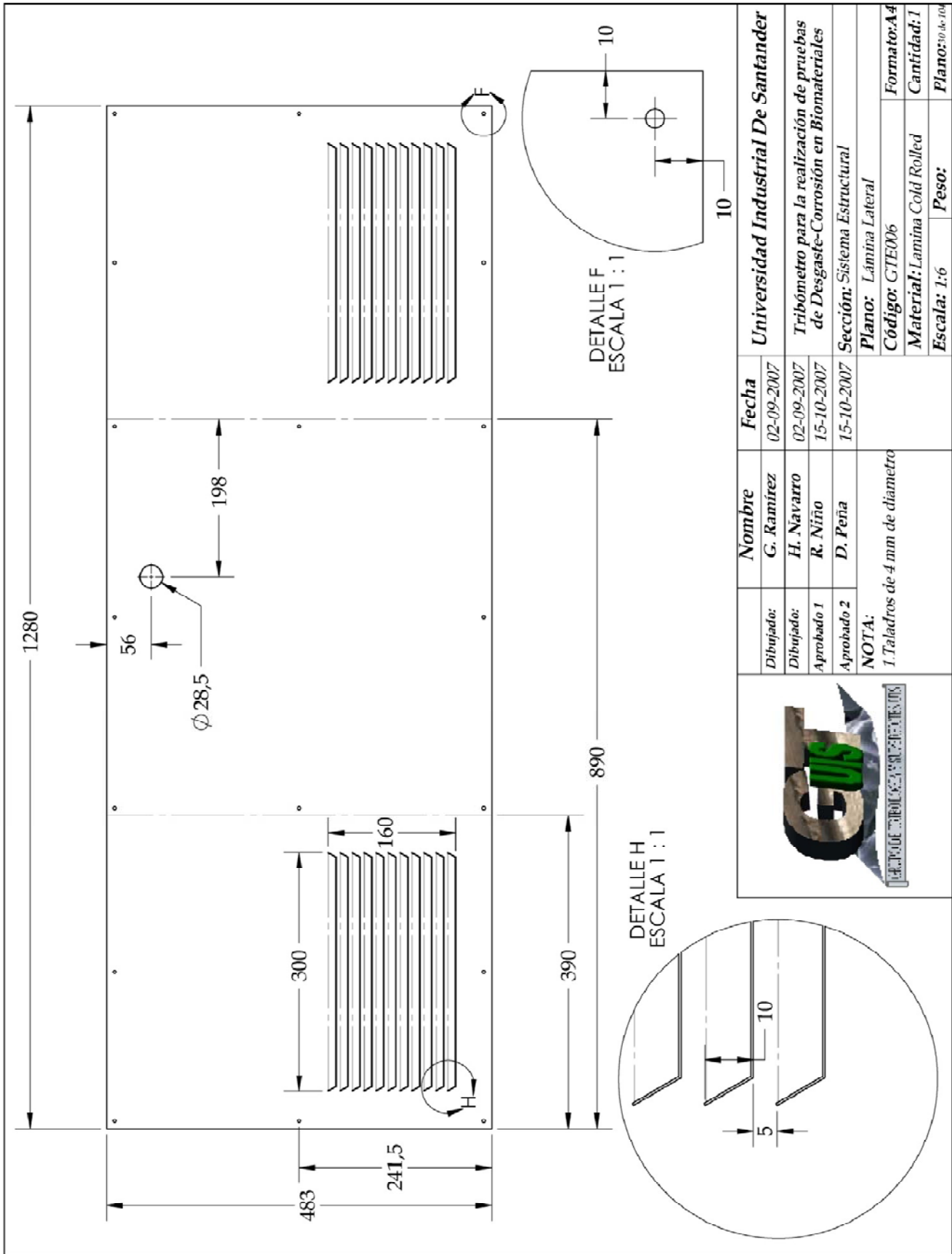
	<b>Dibujado:</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b> <b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b> <b>Sección: Sistema Estructural</b> <b>Plano: Lamina Porta Instrumentos</b> <b>Código: GTE008</b> <b>Material: Acero Cold Rolled</b> <b>Escala: 1:4</b> <b>Peso:</b>
	<b>Dibujado:</b>	<b>G. Ramirez</b>	02-09-2007	
	<b>Aprobado 1</b>	<b>H. Navarro</b>	02-09-2007	
	<b>Aprobado 2</b>	<b>R. Niño</b>	15-10-2007	
<b>NOTA:</b> Calibre de la lámina = 18		<b>D. Peña</b>	15-10-2007	<b>Formato: A4</b> <b>Cantidad: 1</b> <b>Plano: 27 de 108</b>

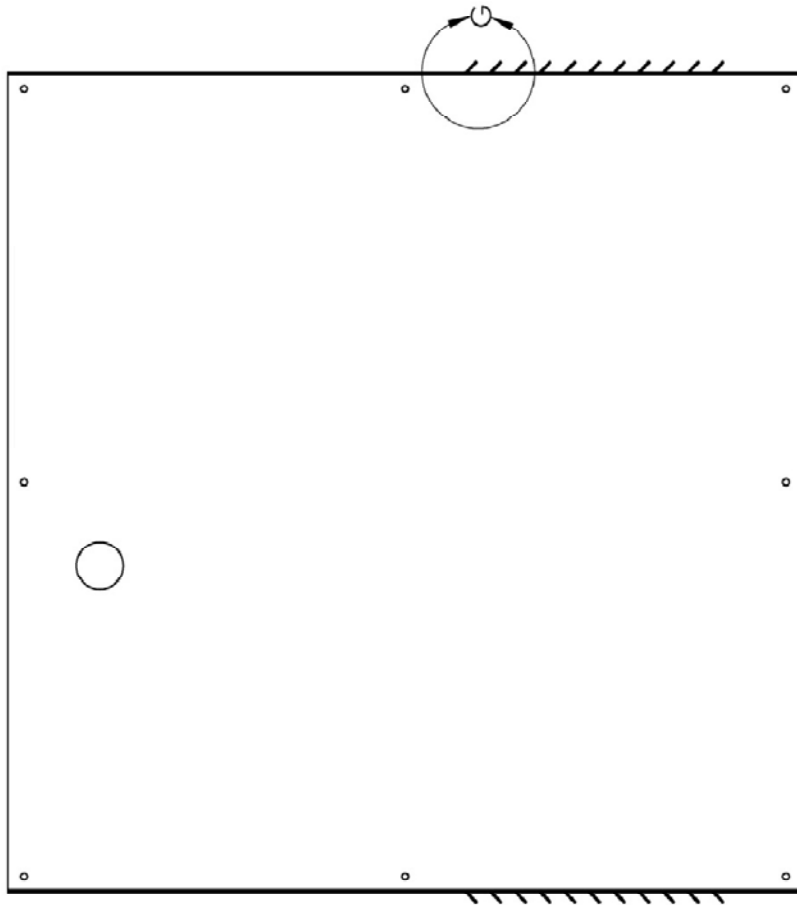


		<b>Dibujado:</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b> <b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b> <b>Sección: Sistema Estructural</b> <b>Plano: Perfil de Soplete Lamina Portainstrumentos</b> <b>Código: GIE009</b> <b>Material: Cold Rolled</b> <b>Escala: 1: 2.5</b> <b>Peso:</b>
		<b>Dibujado:</b>	G. Ramirez	02-09-2007	
		<b>Aprobado 1</b>	H. Navarro	02-09-2007	
		<b>Aprobado 2</b>	R. Niño	15-10-2007	
<b>NOTA:</b> 1. Perfil en L = 1/2" x 1/2" x 16					<b>Formato: A4</b> <b>Cantidad: 2</b> <b>Plano: 28 de 106</b>

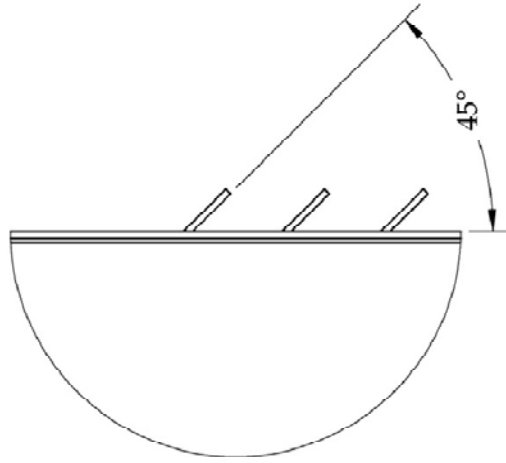



		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<b>G. Ramírez</b>	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<b>H. Navarro</b>	02-09-2007		
	<i>Aprobado 1</i>	<b>R. Niño</b>	15-10-2007	<b>Sección: Sistema Estructural</b>	
	<i>Aprobado 2</i>	<b>D. Peña</b>	15-10-2007		
<b>Nota:</b> Calibre de la lámina = 18				<b>Plano:</b> Lámina Lateral	
				<b>Código:</b> GTE006	<b>Formato:</b> A4
				<b>Material:</b> Lámina Acero Cold Rolled	<b>Cantidad:</b> 1
				<b>Escala:</b> 1:4	<b>Peso:</b>
					<b>Plano:</b> 29 de 104

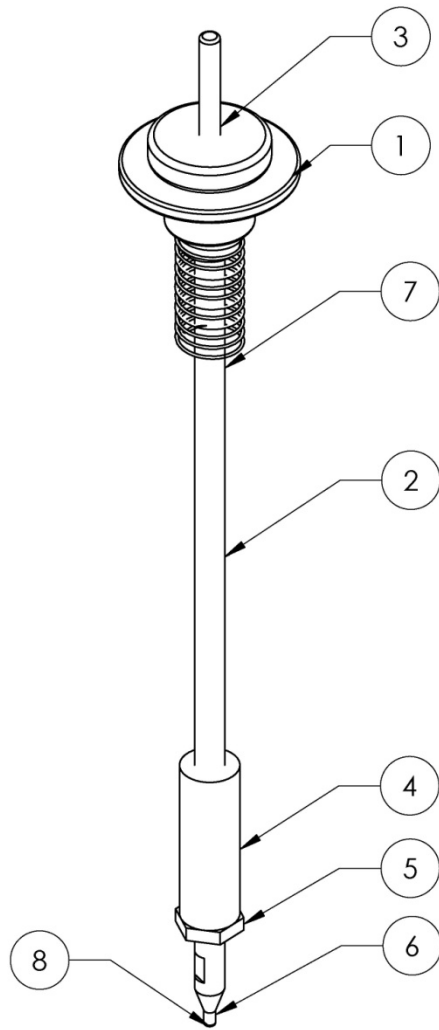




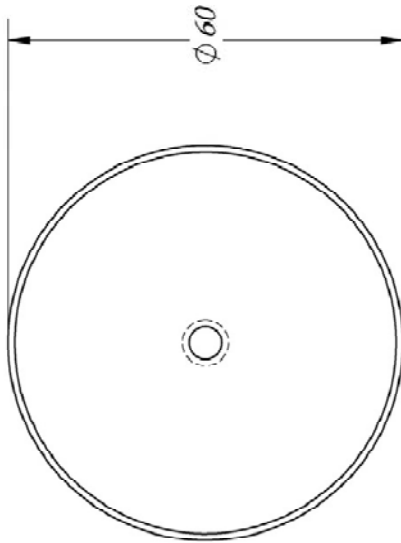
DETALLE G  
ESCALA 1:1



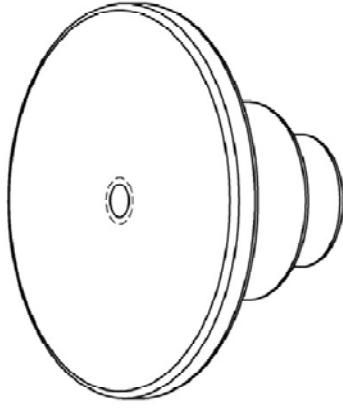
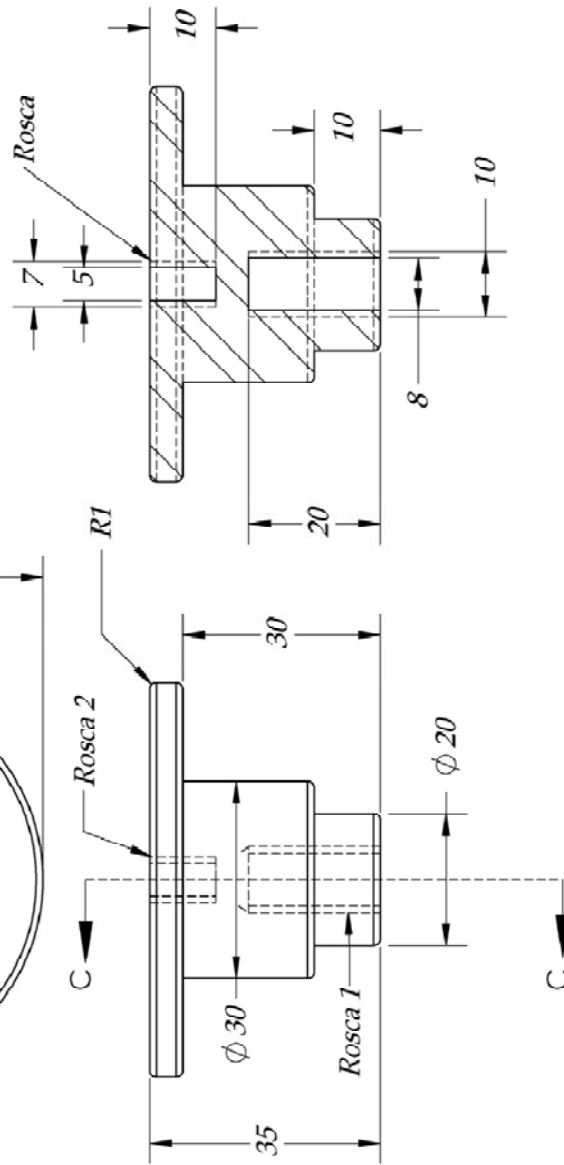
	<b>Dibujado:</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>  <b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>  <b>Sección: Sistema Estructural</b> <b>Plano: Detalle de las ventillas</b> <b>Código: GTE006</b> <b>Material: Lámina Cold Rolled</b> <b>Escala: 1:4</b> <b>Peso:</b> <b>Formato: A4</b> <b>Cantidad: 1</b> <b>Plano: 17 de 108</b>
	<b>Dibujado:</b>	<b>H. Navarro</b>	02-09-2007	
	<b>Aprobado 1</b>	<b>R. Niño</b>	15-10-2007	
	<b>Aprobado 2</b>	<b>D. Peña</b>	15-10-2007	
<b>NOTA:</b>				



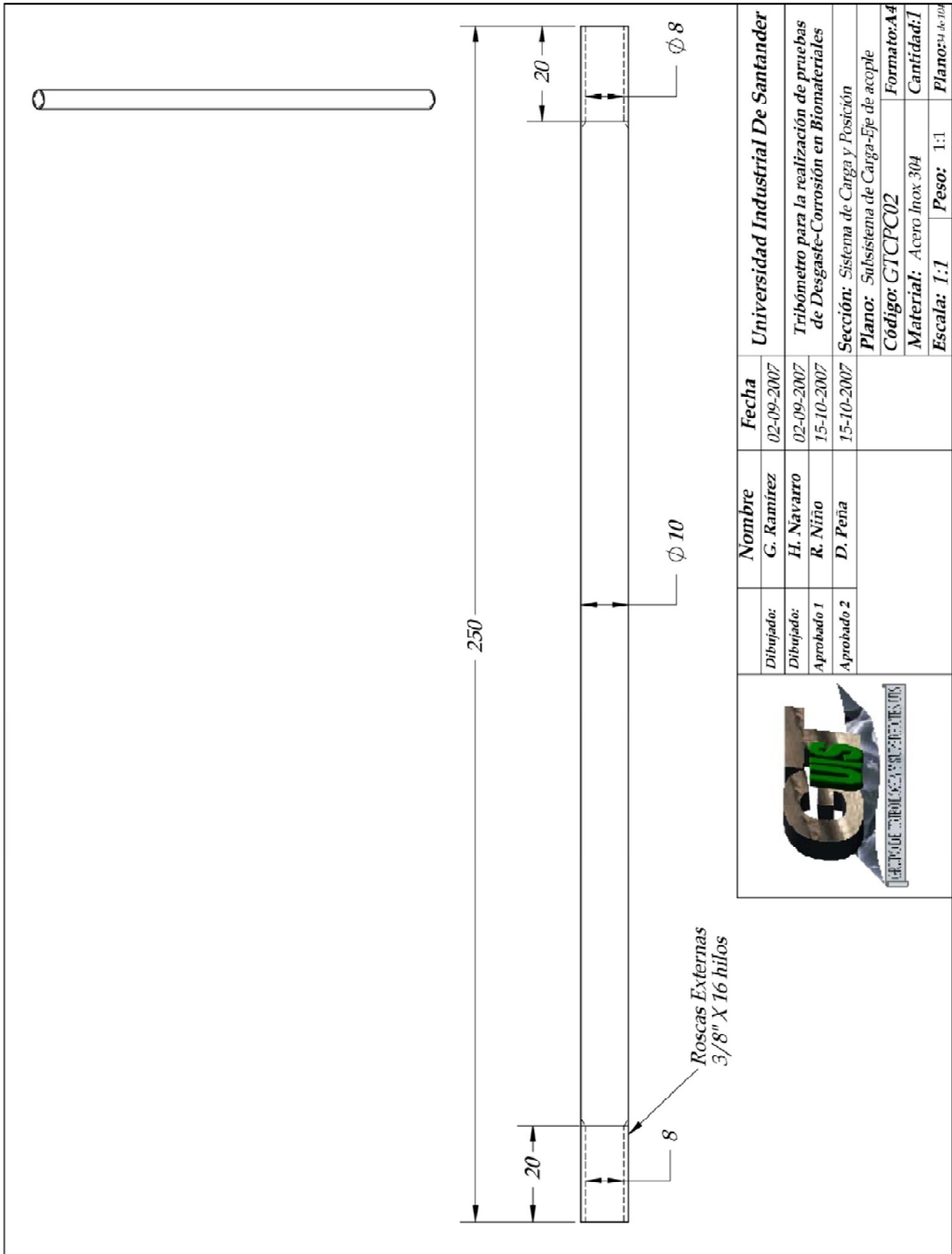
07	Resorte	1	Alambre para instrumentos musicales ASTM 228			
06	Porta Indentador	1	Acero Inox 304			
05	Contratuerca	1	Acero Inox 304			
04	Acople Portaindentador	1	Acero Inox 304			
03	Pin Alojador Pesos	1	Acero Inox 304			
02	Eje de acople	1	Acero Cold Rolled			
01	Portapesos	1	Acero Cold Rolled			
Ref	Descripción	Cant	Material	Especificaciones	Observaciones	
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>		
		Dibujado:	G. Ramirez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
		Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
		Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de Carga y Posición</b>	
		Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007	<b>Plano: Subsistema de Carga</b>	
				<b>Código: GTCPC00</b>	<b>Formato: A4</b>	
				<b>Material:</b>	<b>Cantidad:</b>	
				<b>Escala: 1.2</b>	<b>Peso:</b>	
					<b>Plano: 32 de 104</b>	

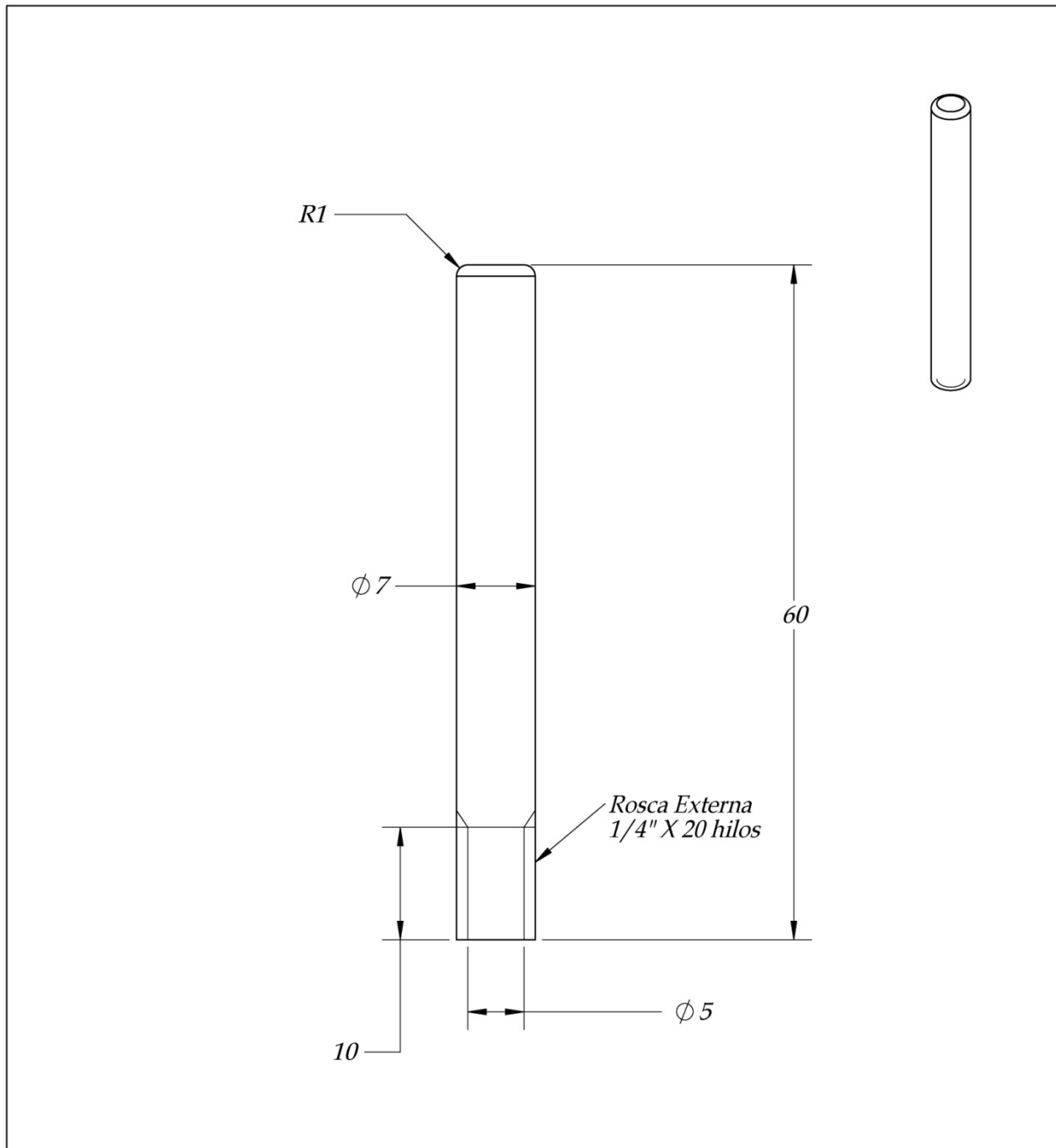



SECCIÓN C-C  
ESCALA 1:1



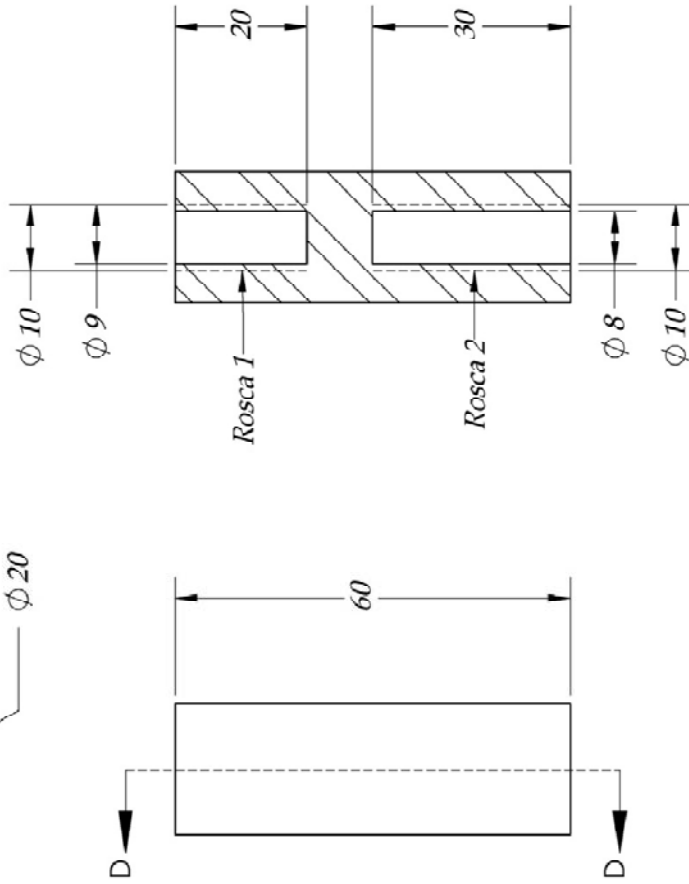
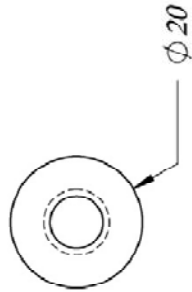
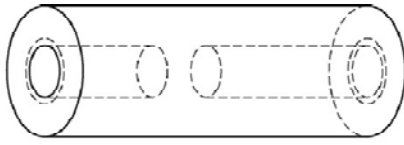
		<b>Dibujado:</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>
		<b>Dibujado:</b>	G. Ramirez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>  <b>Plano: Subistema de Carga y Posición</b>
		<b>Aprobado 1</b>	H. Navarro	02-09-2007	
		<b>Aprobado 2</b>	R. Niño	15-10-2007	
<b>Nota:</b> Cotas en milímetros. R = 1 mm Rosca 1 : 3/8" x 16 Hilos Rosca 2 : 1/4" x 20 Hilos					<b>Código: GTCPC01</b> <b>Formato: A4</b> <b>Material: Acero AISI 1020</b> <b>Cantidad: 1</b> <b>Escala: 1:1</b> <b>Peso:</b>



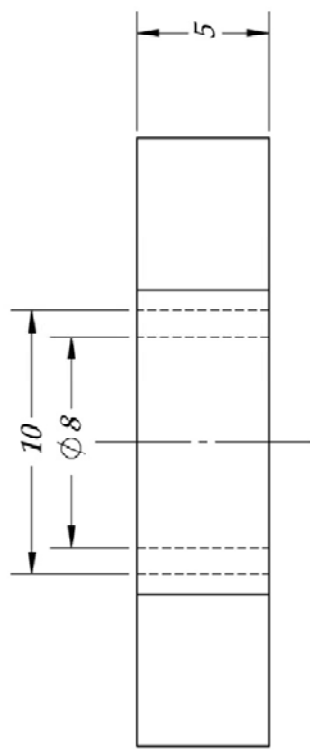
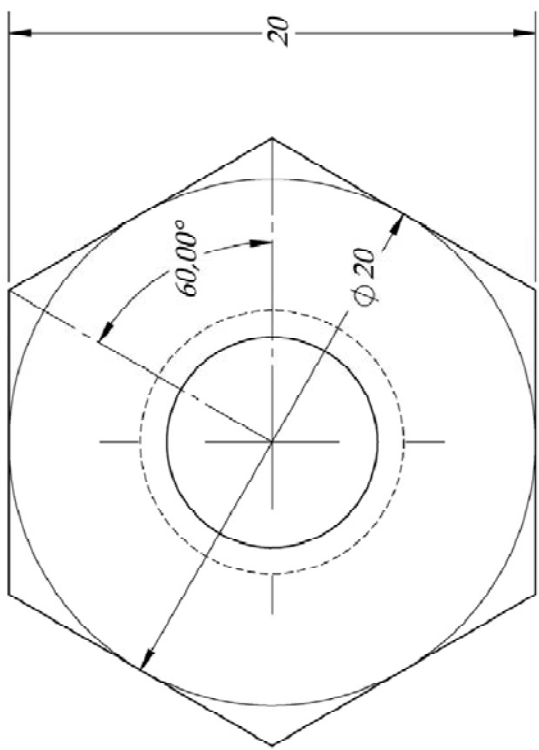
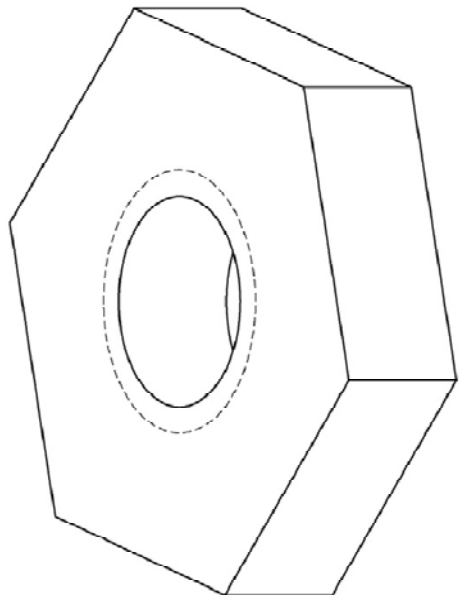



		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
	Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
	Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de Carga y Posición</b>	
	Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
	Nota:			<b>Plano: Subsistema de Carga-Pin alojador pesos</b>	
			<b>Código: GTCPC03</b>	<b>Formato: A4</b>	
			<b>Material: Acero AISI 1020</b>	<b>Cantidad: 1</b>	
			<b>Escala: 2:1</b>	<b>Peso:</b>	<b>Plano: 35 de 104</b>

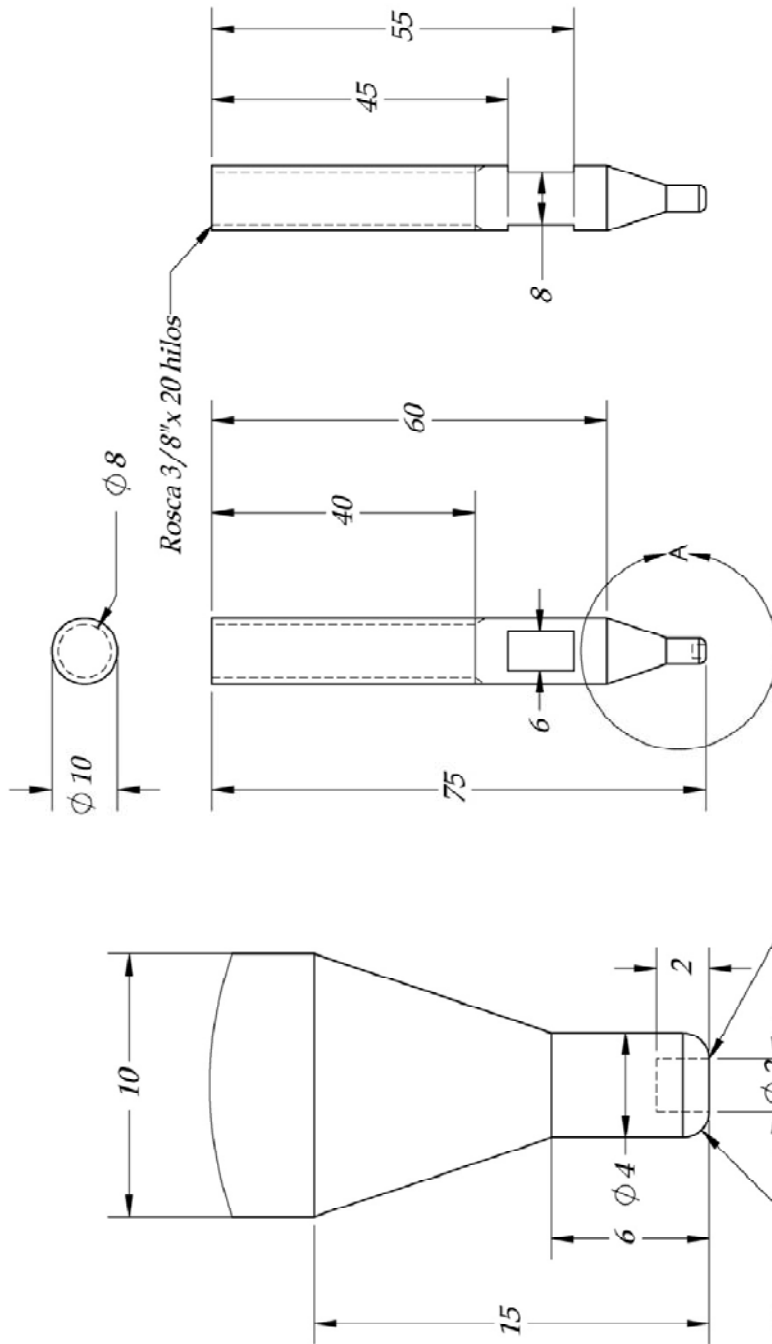
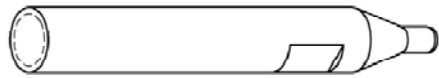
SECCIÓN D-D  
ESCALA 1:1



		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
		Dibujado:	G. Ramirez	02-09-2007	
		Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>
		Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de Carga y Posición</b>
Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007	<b>Plano: Subistema de Carga-Acople Eje Porta Incidentador</b>		
<b>NOTA</b>				<b>Código: GTCPC04</b>	
Rosca 1: 3/8" x 16 hilos				<b>Formato: A4</b>	
Rosca 2: 3/8" x 16 hilos				<b>Material: Acero Inox 304</b>	
				<b>Cantidad: 1</b>	
				<b>Escala: 1:1</b>	
				<b>Peso: 16,46 g</b>	

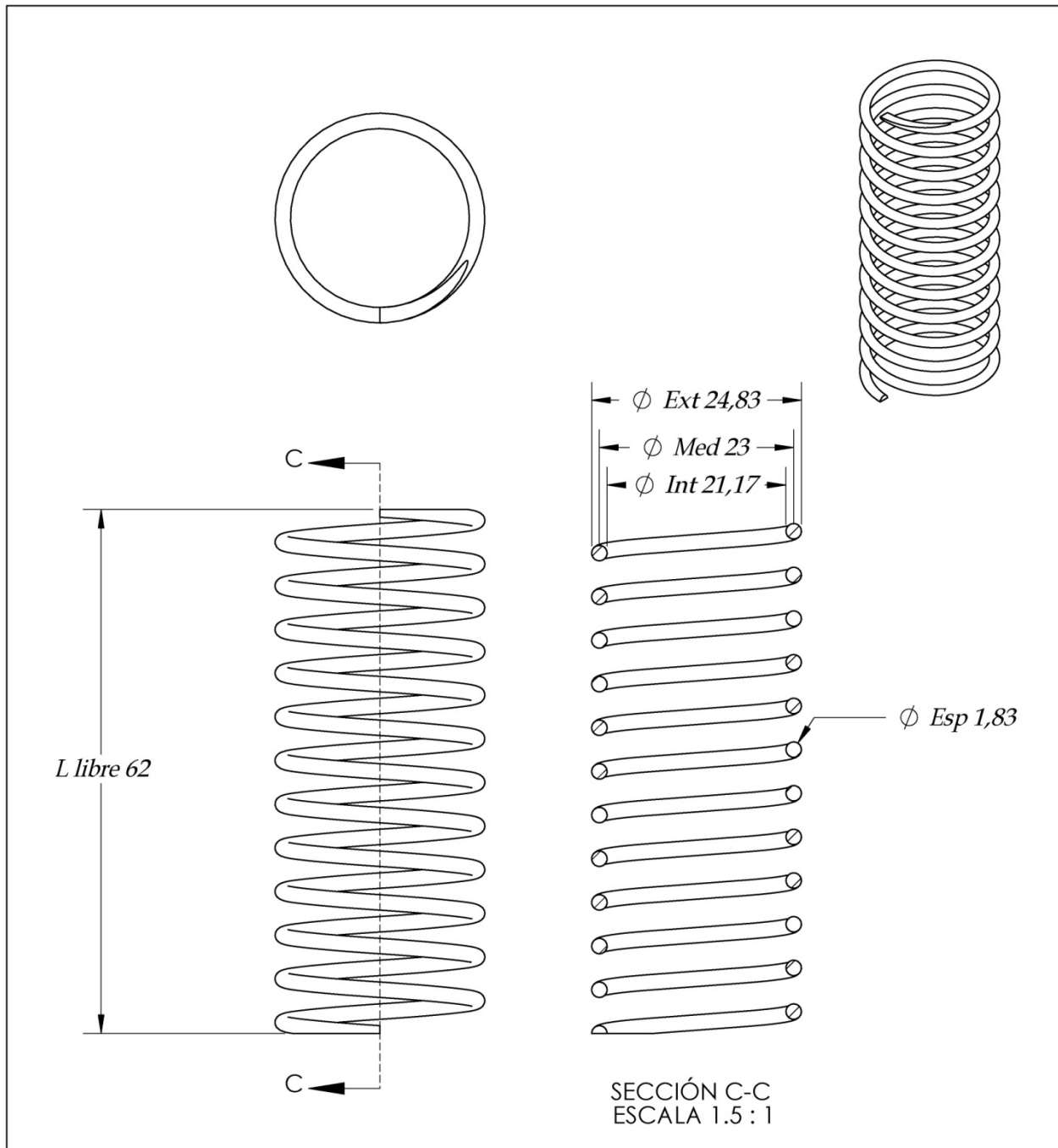


	<b>Dibujado:</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>  <b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>  <b>Sección: Sistema de Carga y Posición</b> <b>Plano: Subistema de Carga-Contratuera</b> <b>Código: GTCPC05</b> <b>Material: Acero Inox 304</b> <b>Escala: 4:1</b> <b>Peso:</b>
	<b>Dibujado:</b>	<b>G. Ramirez</b>	02-09-2007	
	<b>Aprobado 1</b>	<b>H. Navarro</b>	02-09-2007	
	<b>Aprobado 2</b>	<b>R. Niño</b>	15-10-2007	
<b>NOTA</b> Rosca 3/8" x 5 hilos		<b>D. Peña</b>	15-10-2007	<b>Formato: A4</b> <b>Cantidad: 1</b> <b>Plano: 17 de 106</b>

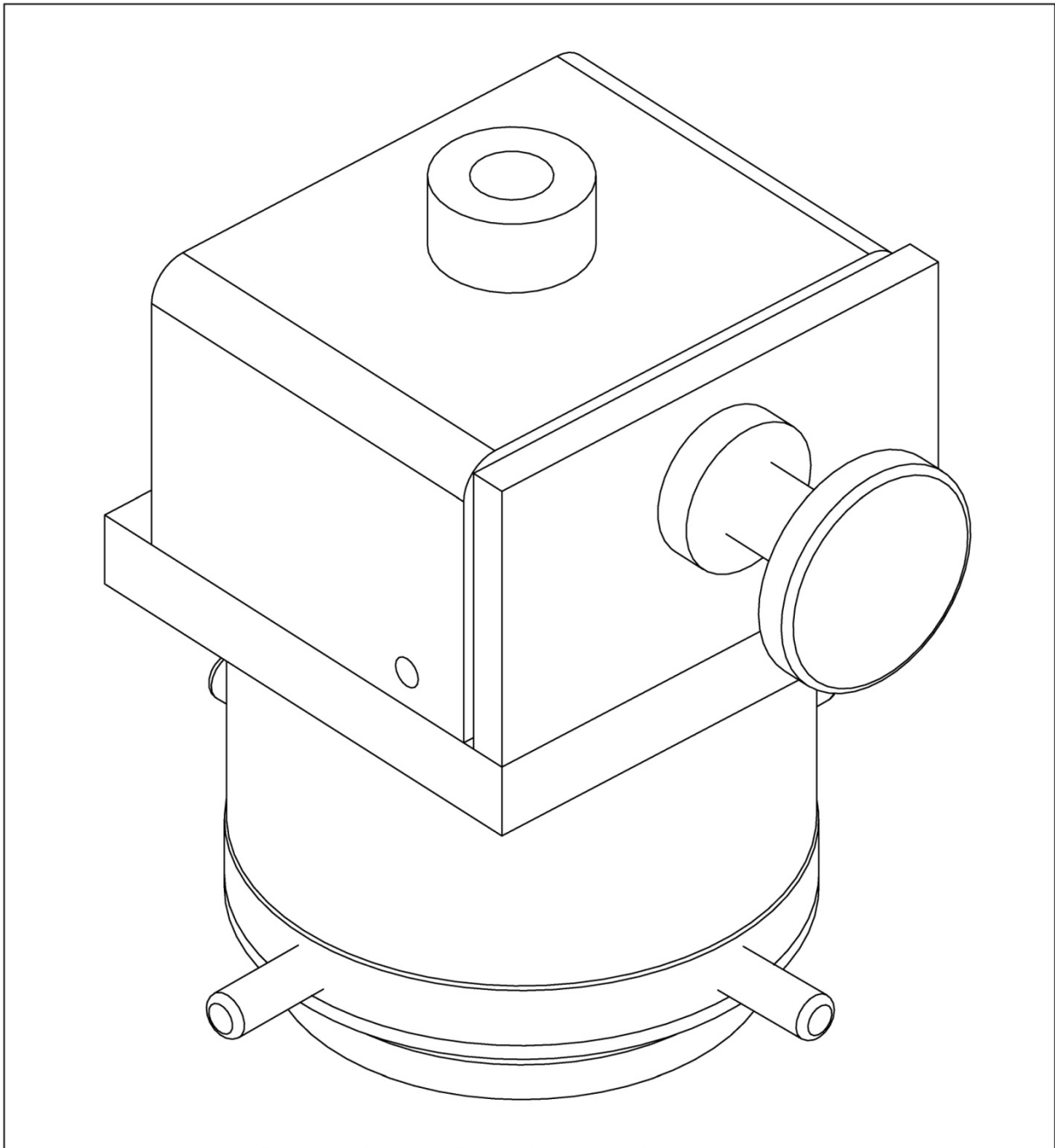


DETALLE A  
ESCALA 4 : 1

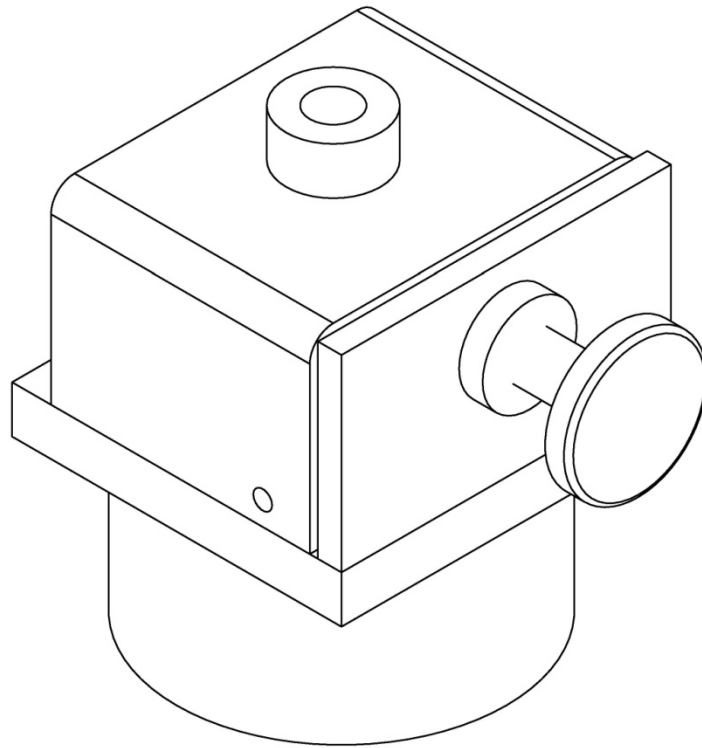
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>
		Dibujado:	02-09-2007	
		Dibujado:	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>
		Aprobado 1	15-10-2007	
Aprobado 2	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de Carga y Posición</b>		
R = 1 mm.		<b>Plano: Subistema de Carga-Porta Indentador</b>		
		<b>Código: GTCPC06</b>	<b>Formato: A4</b>	
		<b>Material: Acero Incox 304</b>	<b>Cantidad: 1</b>	
		<b>Escala: 1:1</b>	<b>Peso:</b>	<b>Plano: 18 de 106</b>




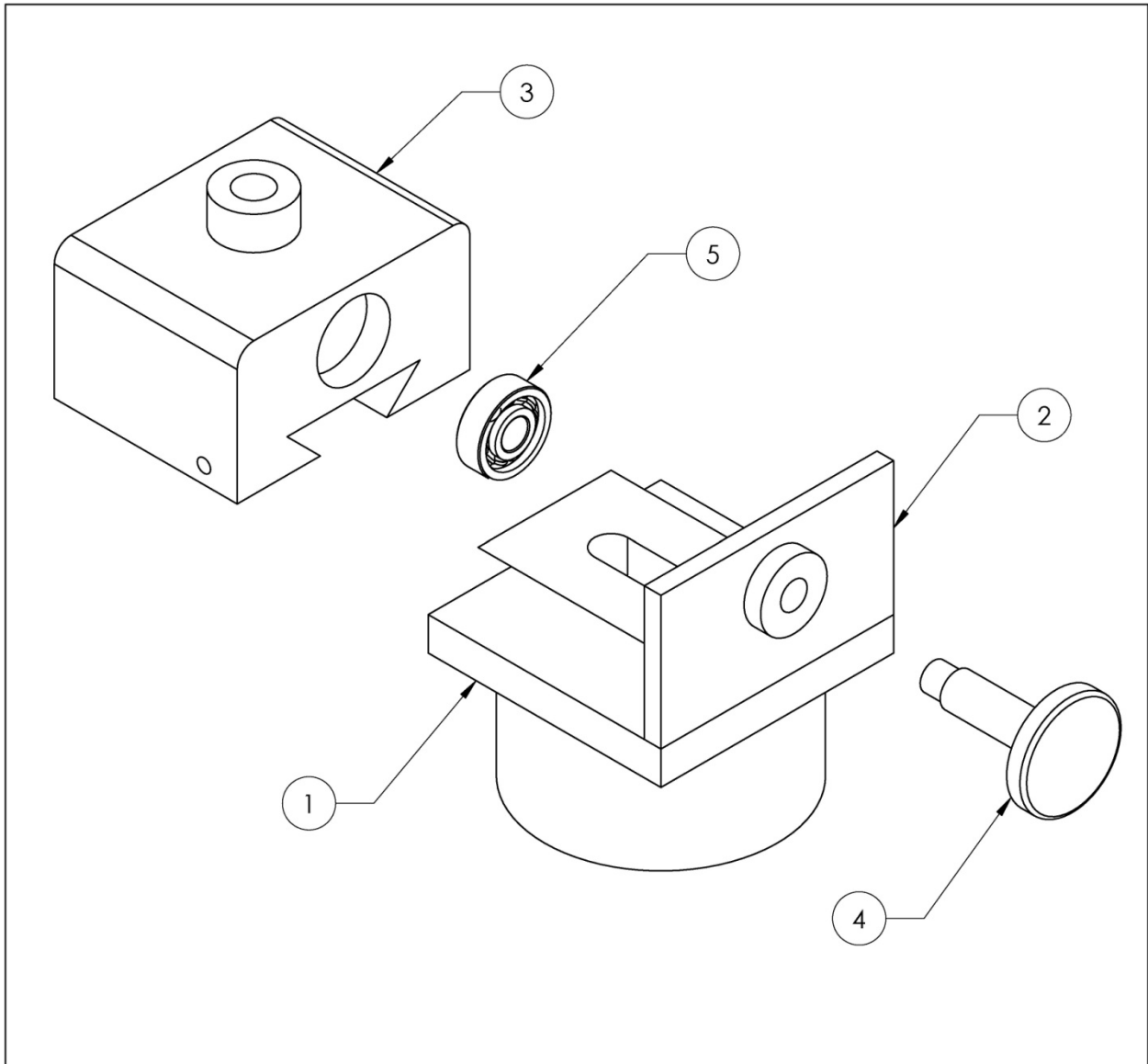
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
	Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
	Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de Carga y Posición</b>	
	Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
Calibre del alambre=15 ; Diametro espira=0,072 pulg =1,8288 mm k=4,8742 lb/pulg Llibre=62 mm Loperación=50 mm Deflexión=12 mm Carga ofresida por el portaprobeta = 1.030 grs=2,267 lb N total de espiras=12 ;Extremos en bruto lijados			<b>Plano:</b> Subsistema de Carga-Resorte Reposicionador del eje	<b>Código:</b> GTCPC07	<b>Formato:</b> A4
			<b>Material:</b> Alambre para instrumentos musicales ASTM 228	<b>Cantidad:</b> 1	
			<b>Escala:</b> 1,5:1	<b>Peso:</b>	<b>Plano:</b> 39 de 104



		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<b>G. Ramírez</b>	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<b>H. Navarro</b>	02-09-2007		
	<i>Aprobado 1</i>	<b>R. Niño</b>	15-10-2007	<b>Sección:</b> Sistema de Carga y Posición-Subsistema de Posición	
	<i>Aprobado 2</i>	<b>D. Peña</b>	15-10-2007		
	<b>Nota:</b>			<b>Plano:</b> Ensamble Subsistemas de Posición	
			<b>Código:</b> GTCPP00	<b>Formato:</b> A4	
			<b>Material:</b>	<b>Cantidad:</b> 1	
			<b>Escala:</b> 1,5:1	<b>Peso:</b>	<b>Plano:</b> 40 de 104

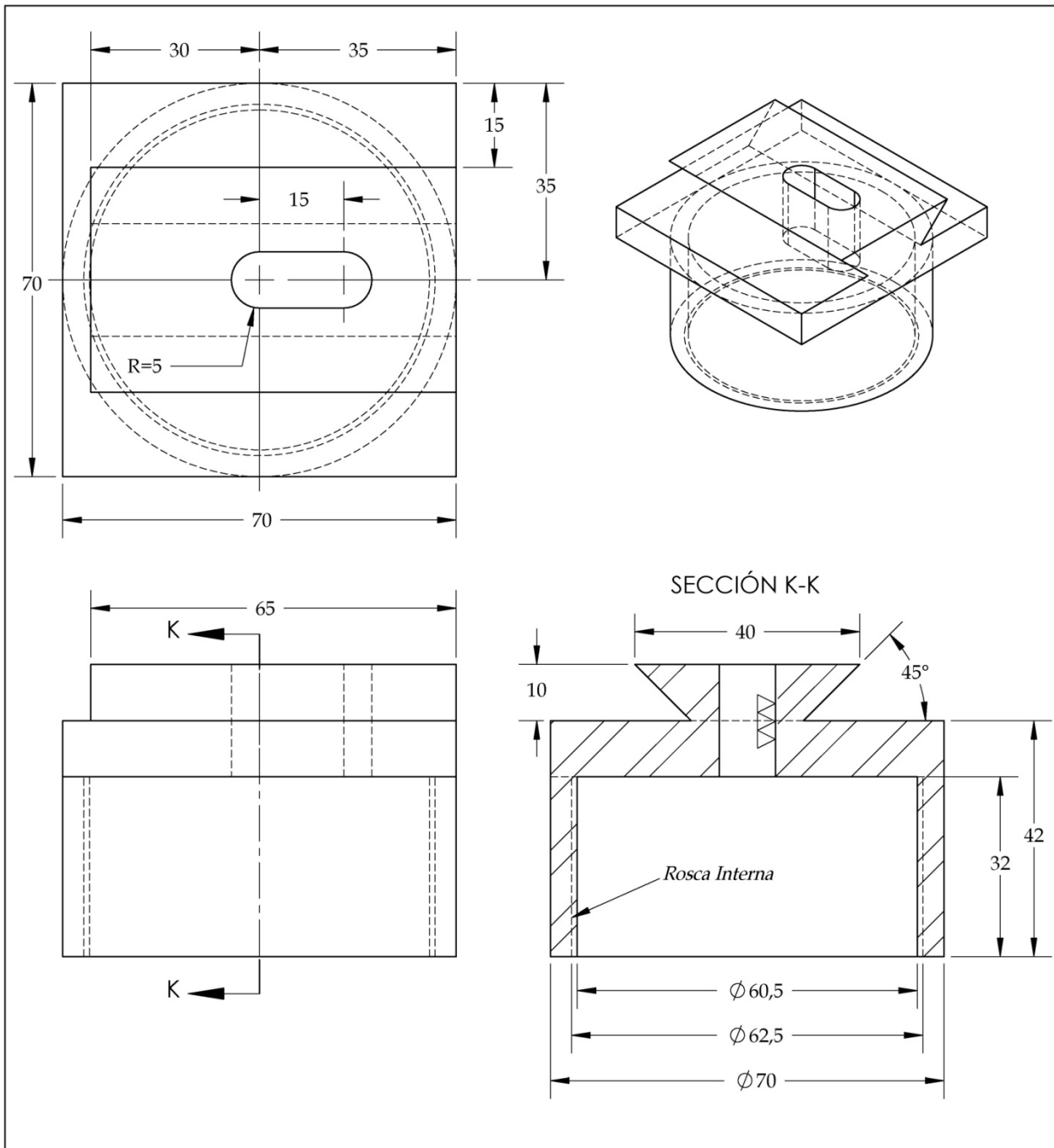


		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>G. Ramírez</i>	<i>02-09-2007</i>	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>H. Navarro</i>	<i>02-09-2007</i>		
	<i>Aprobado 1</i>	<i>R. Niño</i>	<i>15-10-2007</i>	<b>Sección:</b> Sistema de Carga y Posición-Subsistema de Posición	
	<i>Aprobado 2</i>	<i>D. Peña</i>	<i>15-10-2007</i>		
<b>Nota:</b>			<b>Plano:</b> Isometrica Conjunto Soporte-Corredera		
			<b>Código:</b> GTCPPH00	<b>Formato:</b> A4	
			<b>Material:</b>	<b>Cantidad:</b> 1	
		<b>Escala:</b> 1:1	<b>Peso:</b>	<b>Plano:</b> 41 de 104	

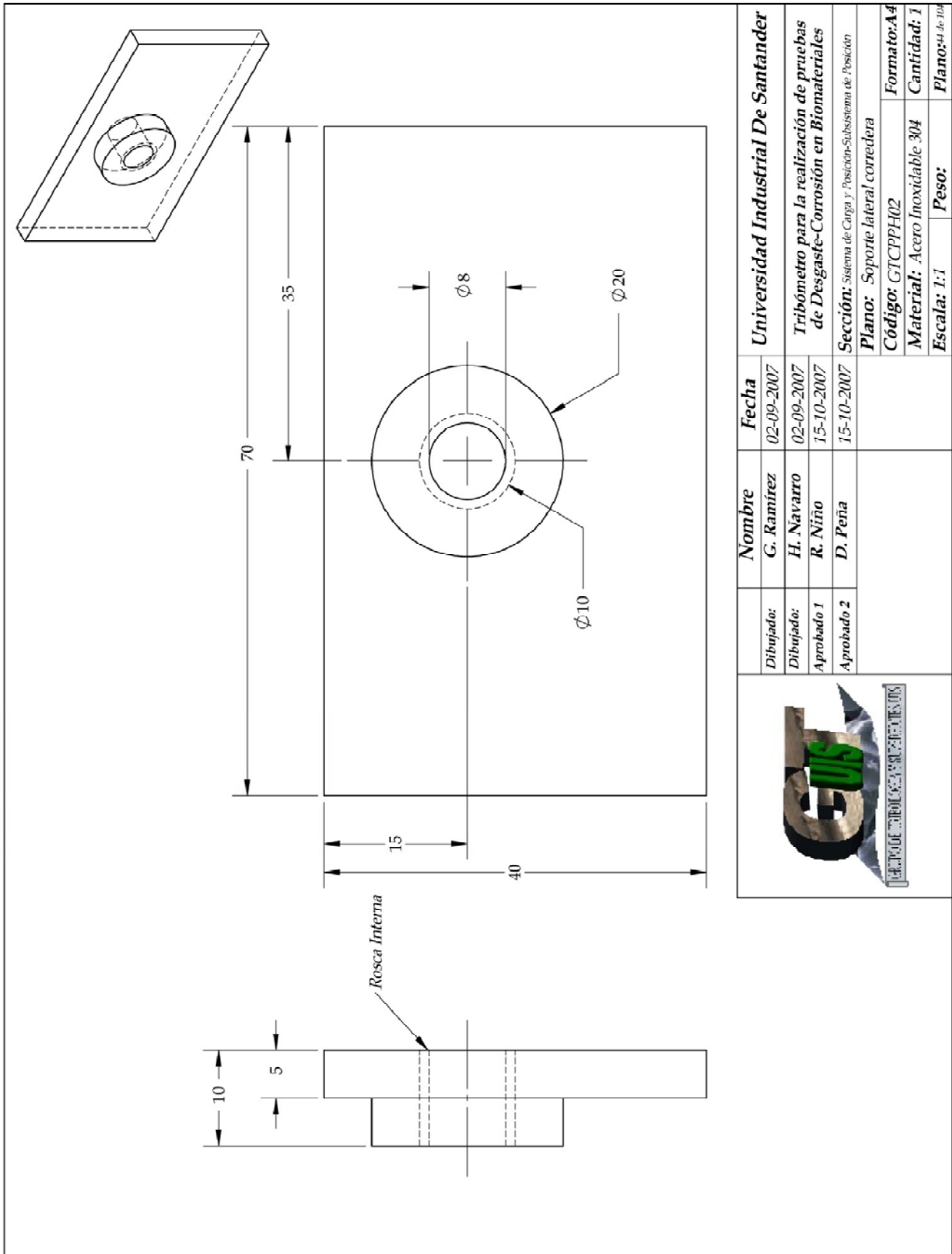


5	Rodamiento	1		Radial de Bolas SKF 608	
4	Tornillo Desplazante Corredera	1	Acero Cold Rolled		
3	Corredera	1	Acero Cold Rolled		
2	Soporte Lateral Corredera inferior	1	Acero Cold Rolled		
1	Soporte Corredera	1	Acero Cold Rolled		

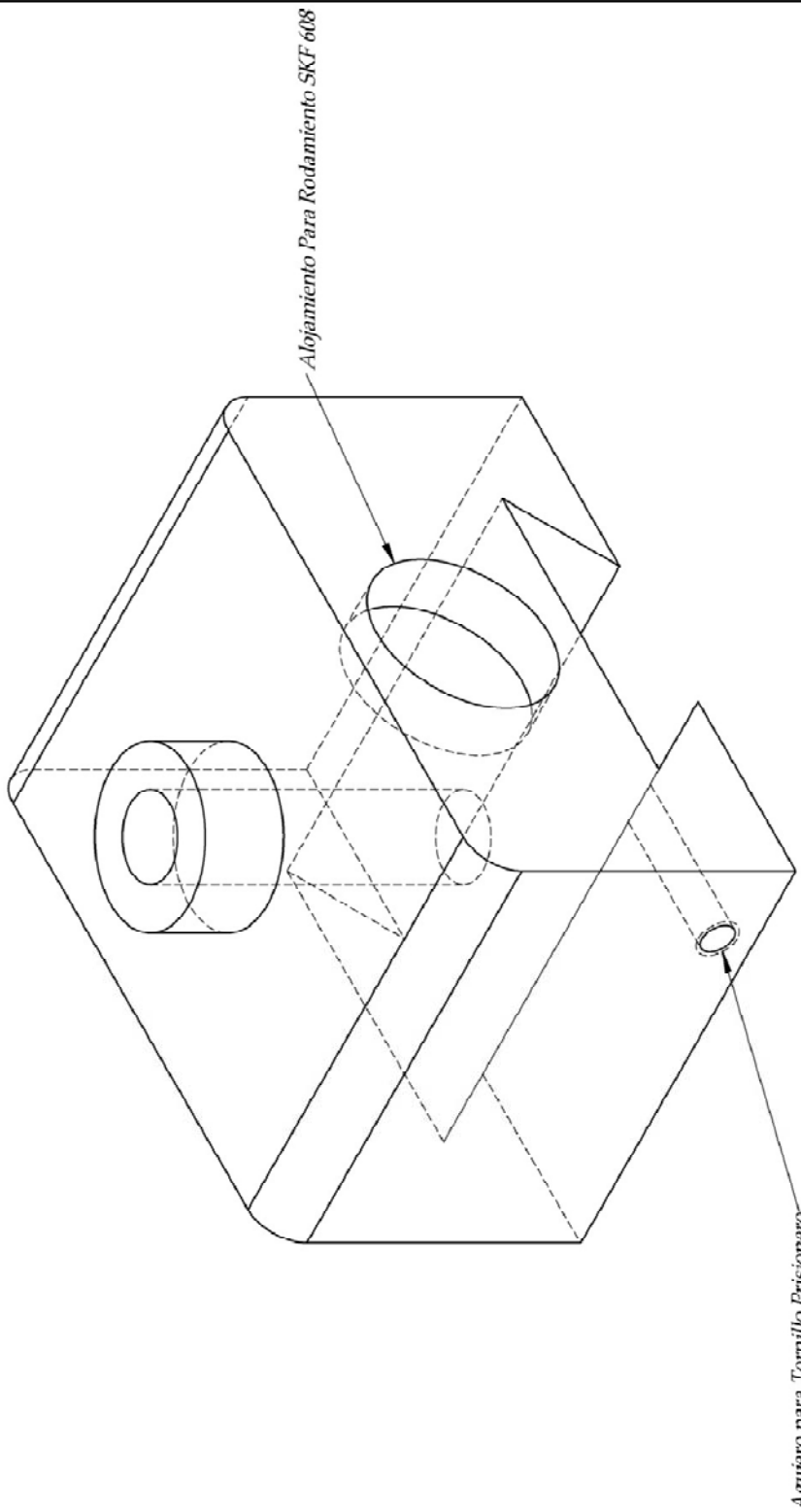
Ref	Descripción	Cant	Material	Especificaciones	Observaciones	
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>		
		Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
		Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
		Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de Carga y Posición-Subsistema de Posición</b>	
		Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
				<b>Plano: Conjunto Soporte-Corredera</b>		
				<b>Código: GTCPPH00</b>	<b>Formato: A4</b>	
				<b>Material:</b>	<b>Cantidad: 1</b>	
				<b>Escala:</b>	<b>Peso:</b>	
					<b>Plano: 42 de 104</b>	



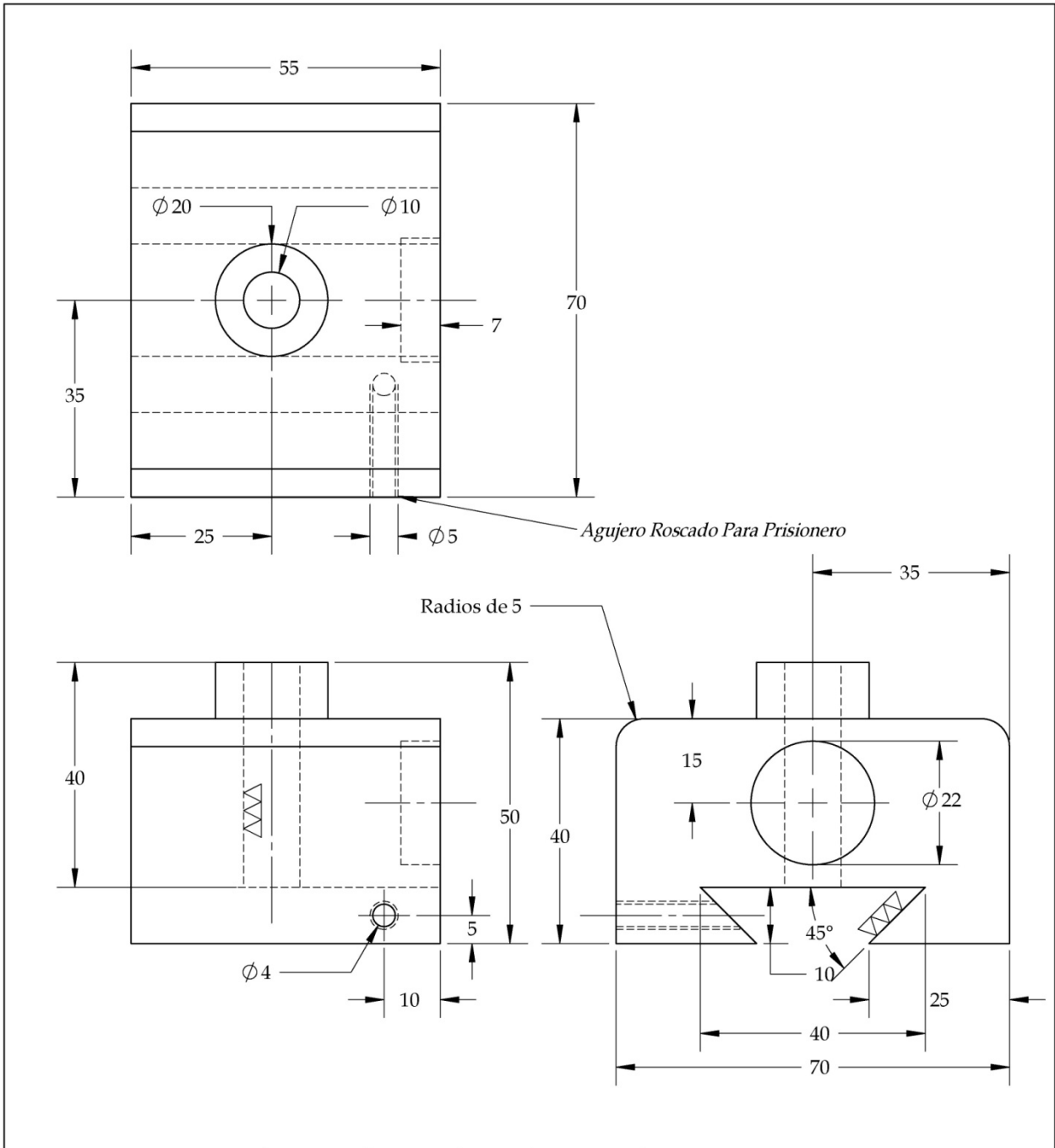
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
	Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
	Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	<b>Sección:</b> Sistema de Carga y Posición-Subsistema de Posición	
	Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
					<b>Plano:</b> Soporte-Corredera
				<b>Código:</b> GTCPPH01	<b>Formato:</b> A4
				<b>Material:</b> Acero Inox 304	<b>Cantidad:</b> 1
				<b>Escala:</b> 1:1	<b>Peso:</b>
					<b>Plano:</b> 43 de 104



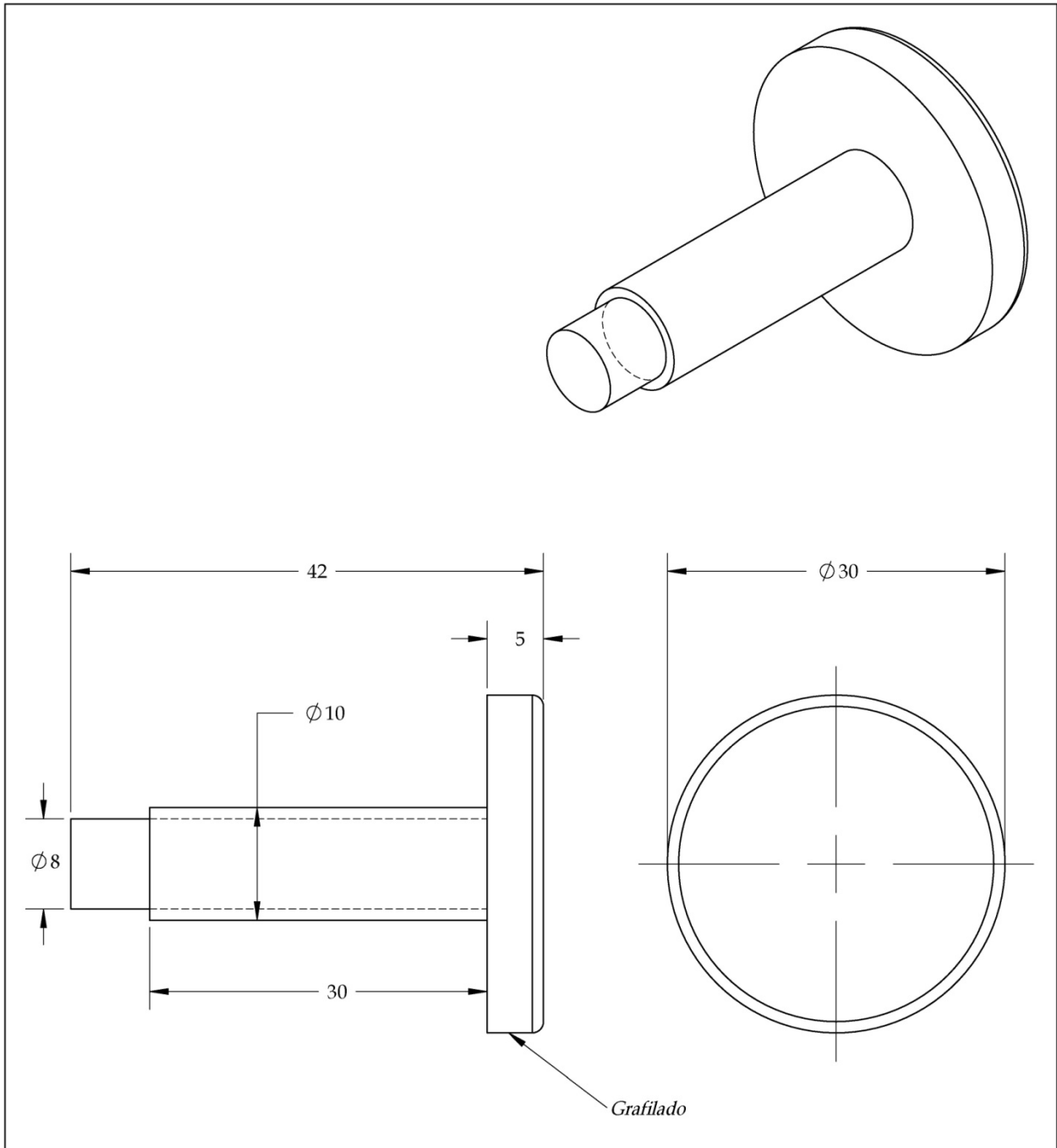
Nombre		Fecha	Universidad Industrial De Santander	
Dibujado:	G. Ramirez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b> Sección: Sistema de Carga y Posición-Subsistema de Posición Plano: Soporte lateral corredera Código: GTCPPH02 Material: Acero Inoxidable 304 Escala: 1:1 <b>Peso:</b>	
Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007		
Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
			Formato: A4	
			Cantidad: 1	
			Plano: 4 de 106	



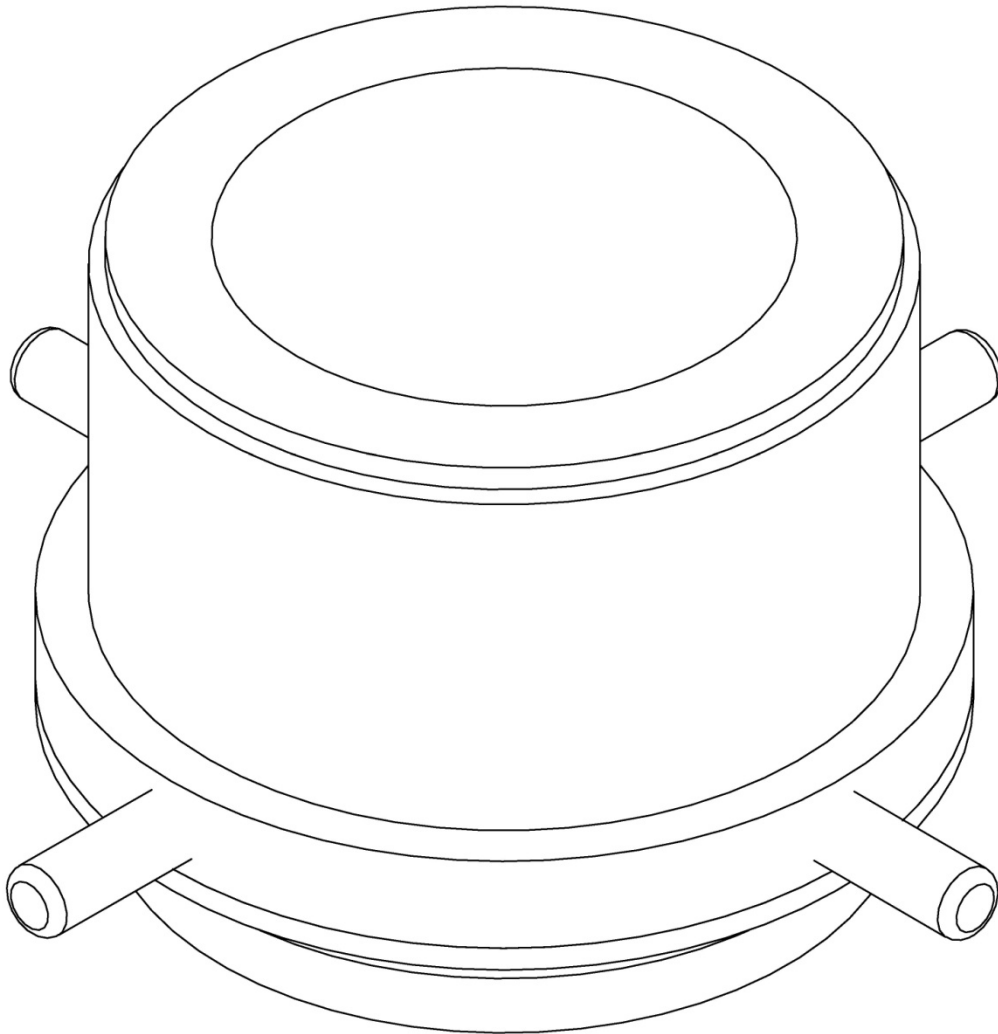
		<b>Dibujado:</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>  <b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>  <b>Sección: Sistema de Carga y Posición-Subsistema de Posición</b> <b>Plano: Corredera</b> <b>Código: GICPPH03</b> <b>Material: Acero Inox 304</b> <b>Escala:                      Peso:</b>
		<b>Dibujado:</b>	<b>H. Navarro</b>	<b>02-09-2007</b>	
		<b>Aprobado 1</b>	<b>R. Niño</b>	<b>15-10-2007</b>	
		<b>Aprobado 2</b>	<b>D. Peña</b>	<b>15-10-2007</b>	
					<b>Formato: A4</b> <b>Cantidad: 1</b> <b>Plano: 15 de 104</b>



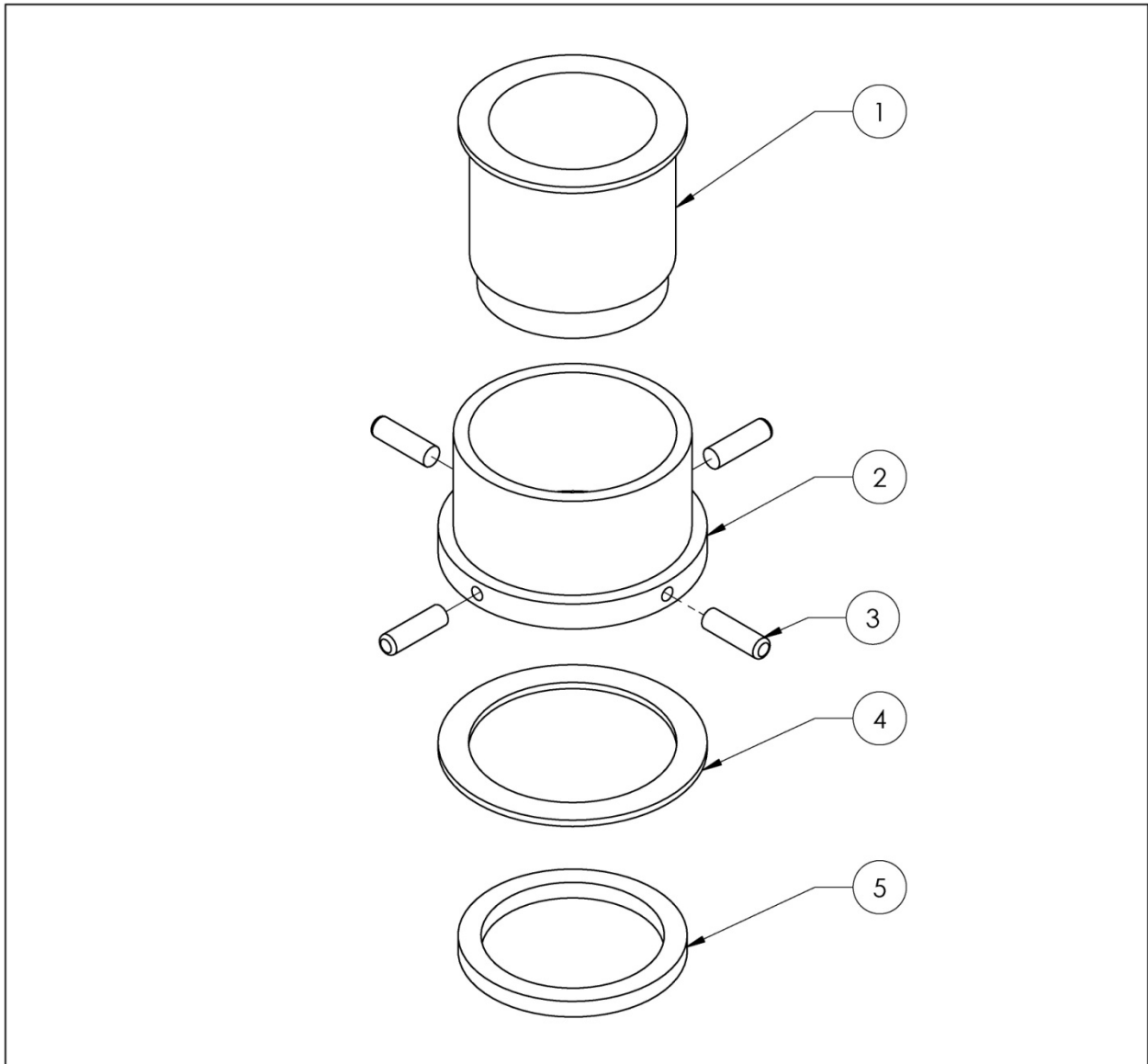
	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
<i>Dibujado:</i>	<b>G. Ramírez</b>	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
<i>Dibujado:</i>	<b>H. Navarro</b>	02-09-2007		
<i>Aprobado 1</i>	<b>R. Niño</b>	15-10-2007		
<i>Aprobado 2</i>	<b>D. Peña</b>	15-10-2007	<b>Sección:</b> Sistema de Carga y Posición-Subsistema de Posición	
			<b>Plano:</b> Corredera	
			<b>Código:</b> GTCPPH03	<b>Formato:</b> A4
			<b>Material:</b> Acero Inox 304	<b>Cantidad:</b> 1
			<b>Escala:</b> 1:1	<b>Peso:</b>
				<b>Plano:</b> 46 de 104



		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<b>G. Ramírez</b>	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<b>H. Navarro</b>	02-09-2007		
	<i>Aprobado 1</i>	<b>R. Niño</b>	15-10-2007	<b>Sección:</b> Sistema de Carga y Posición-Subsistema de Posición	
	<i>Aprobado 2</i>	<b>D. Peña</b>	15-10-2007		
				<b>Plano:</b> Tornillo Desplazante Corredera	
				<b>Código:</b> GTCPPH04	<b>Formato:</b> A4
				<b>Material:</b> Acero Cold Rolled	<b>Cantidad:</b> 1
				<b>Escala:</b> 2:1	<b>Peso:</b>
					<b>Plano:</b> 47 de 104

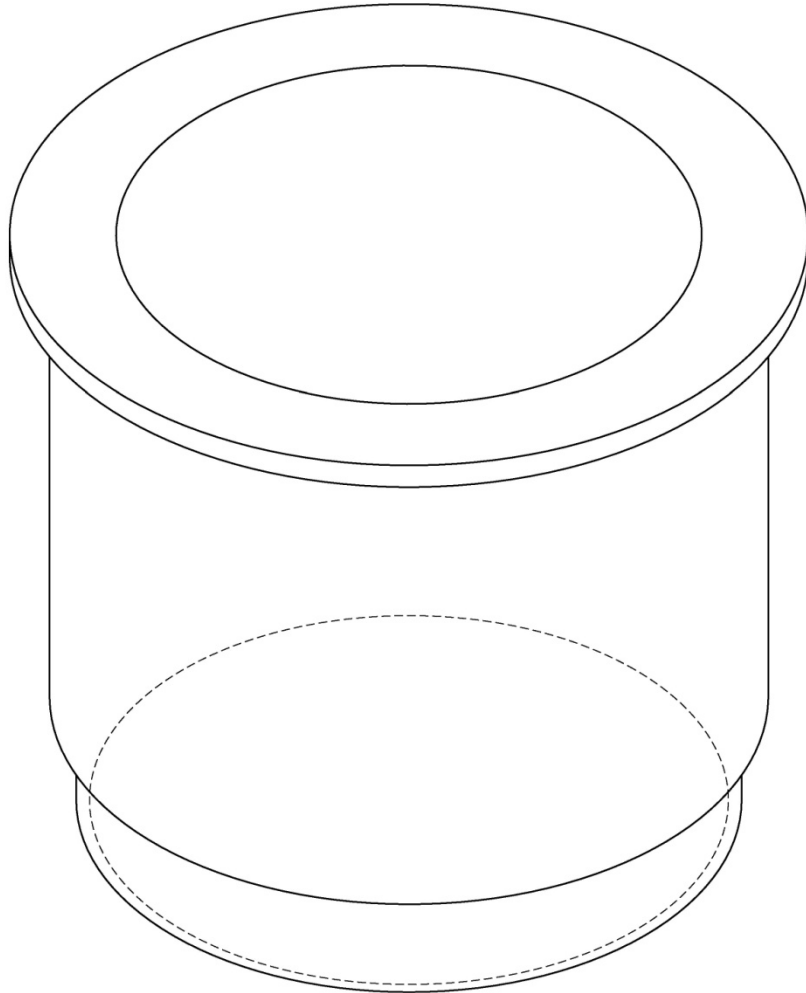


	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
<i>Dibujado:</i>	<b>G. Ramírez</b>	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
<i>Dibujado:</i>	<b>H. Navarro</b>	02-09-2007		
<i>Aprobado 1</i>	<b>R. Niño</b>	15-10-2007		
<i>Aprobado 2</i>	<b>D. Peña</b>	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de Carga Y Posición</b>	
			<b>Plano: Ensamble buje fijo tuerca de altura</b>	
			<b>Código: GTCPPV00</b>	<b>Formato: A4</b>
			<b>Material:</b>	<b>Cantidad:</b>
			<b>Escala:</b>	<b>Peso:</b>
				<b>Plano: 48 de 104</b>



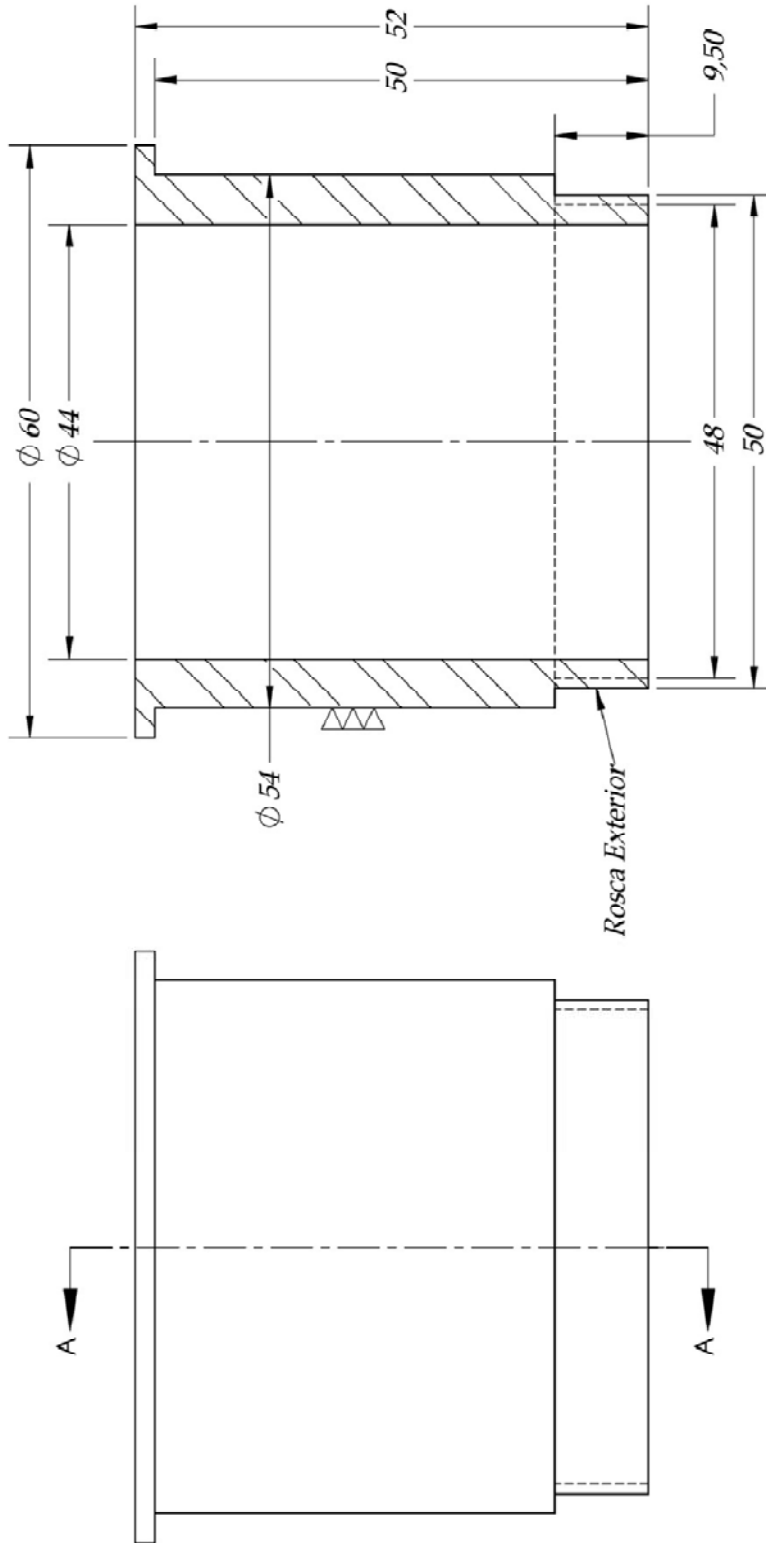
5	Tuerca de Apriete	1	Acero Cold Rolled		
4	Base de Fricción	1	Acero Cold Rolled		
3	Pin de Giro	1	Acero Cold Rolled		
2	Tuerca de Altura	1	Acero inox 304		
1	Buje Fijo	1	Acero Inox 304		


Ref	Descripción	Cant	Material	Especificaciones	Observaciones	
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>		
		Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
		Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
		Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de Carga y Posición</b>	
		Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
				<b>Plano: Posicionador Vertical</b>		
				<b>Código: GTCPPV00</b>	<b>Formato: A 4</b>	
				<b>Material:</b>	<b>Cantidad: 1</b>	
				<b>Escala:</b>	<b>Peso:</b>	
					<b>Plano: 49 de 104</b>	

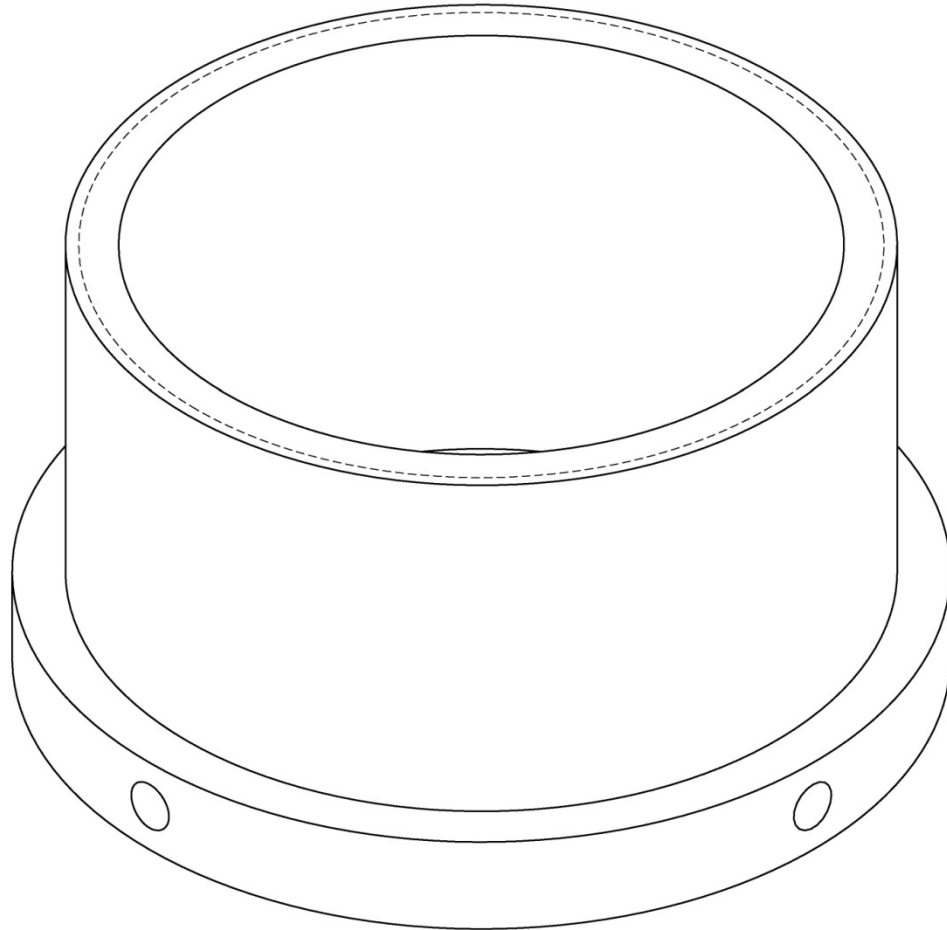


	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
<i>Dibujado:</i>	<b>G. Ramírez</b>	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
<i>Dibujado:</i>	<b>H. Navarro</b>	02-09-2007		
<i>Aprobado 1</i>	<b>R. Niño</b>	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de Carga y Posición</b>	
<i>Aprobado 2</i>	<b>D. Peña</b>	15-10-2007		
			<b>Plano: Isometrica Buje Fijo</b>	
			<b>Código: GTCPPV01</b>	<b>Formato: A4</b>
			<b>Material: Acero Inox 304</b>	<b>Cantidad: 1</b>
			<b>Escala: 2:1</b>	<b>Peso:</b>
				<b>Plano: 50 de 104</b>

SECCIÓN A-A  
ESCALA 1,5 : 1

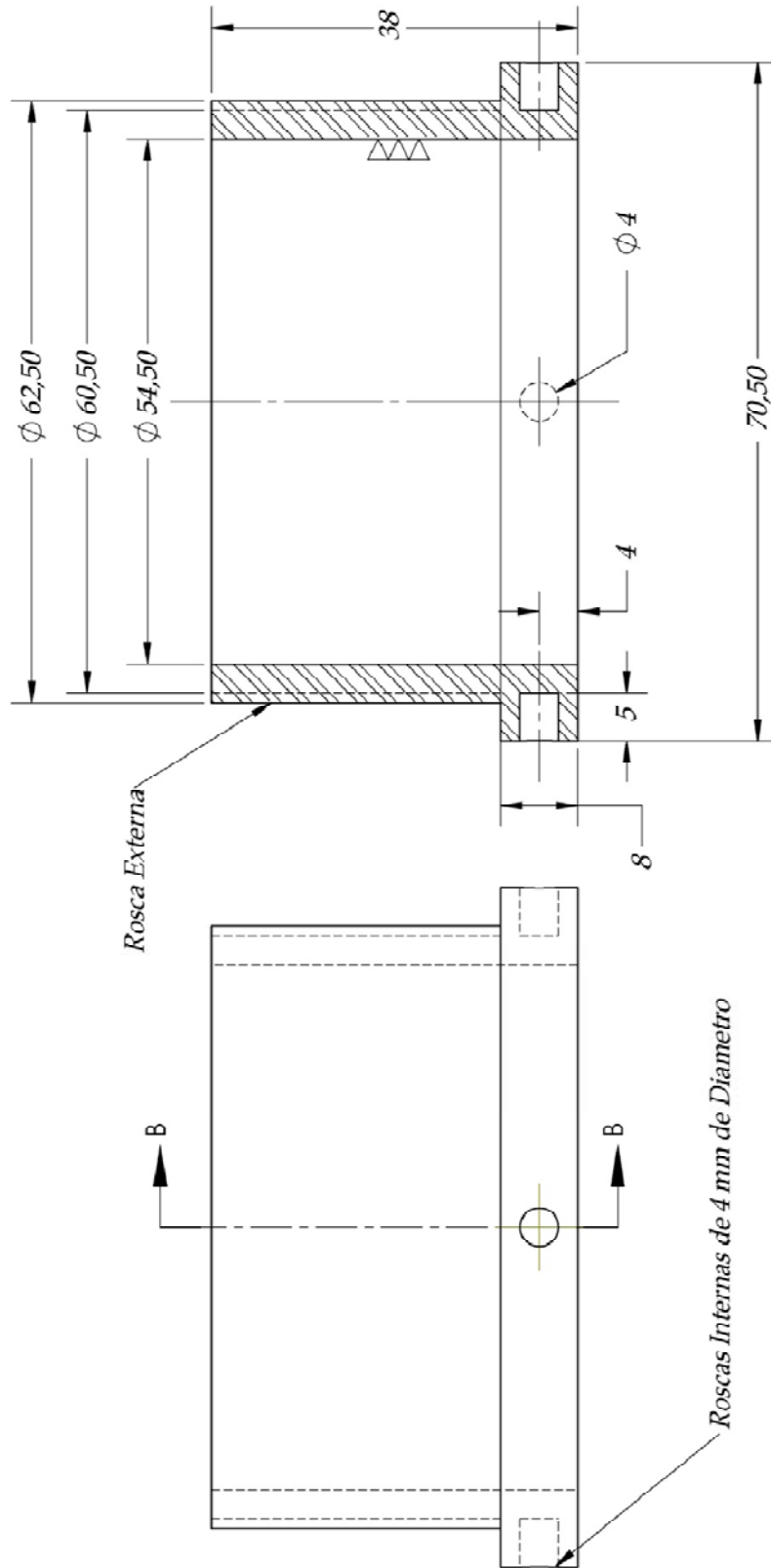


		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>
		Dibujado:	02-09-2007	Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales  Plano: Sistema de Carga y Posición Plano: Buje Fijo
		Dibujado:	02-09-2007	
		Aprobado 1	15-10-2007	
Aprobado 2	15-10-2007			Código: GTCPPV01 Material: Acero Inox 304 Escala: 1,5:1 Formato: A4 Cantidad: 1 Plano: 51 de 104 Peso:

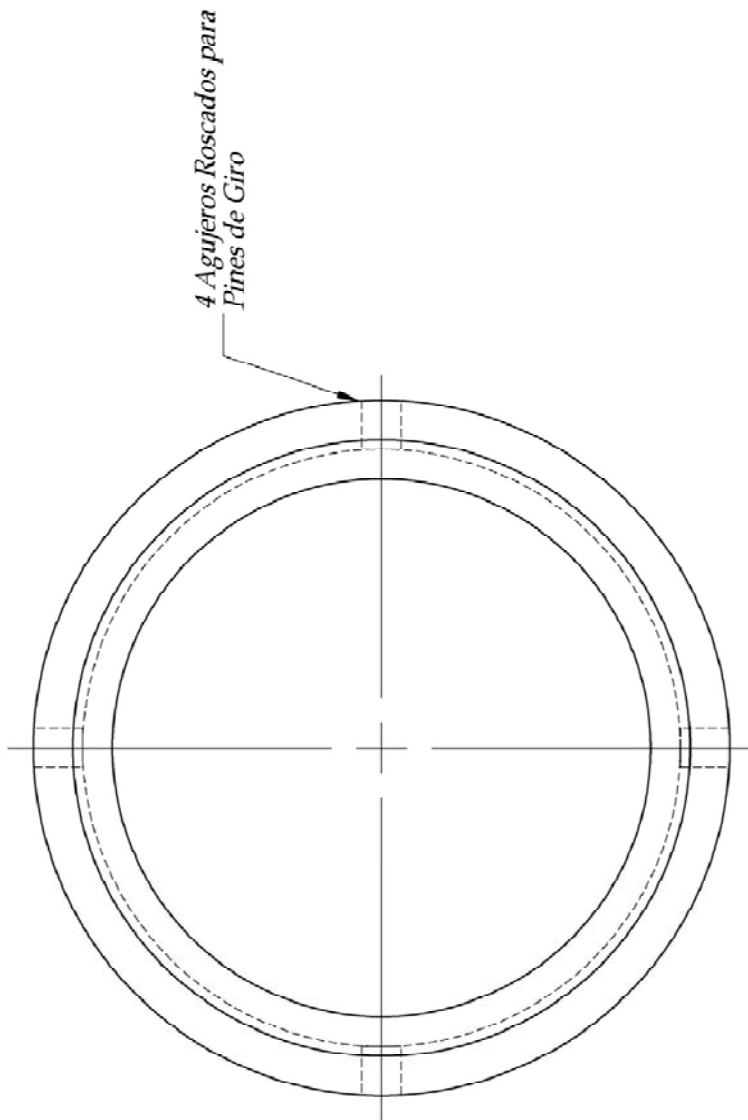


	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
<i>Dibujado:</i>	<i>G. Ramírez</i>	<i>02-09-2007</i>	<i>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</i>	
<i>Dibujado:</i>	<i>H. Navarro</i>	<i>02-09-2007</i>		
<i>Aprobado 1</i>	<i>R. Niño</i>	<i>15-10-2007</i>		
<i>Aprobado 2</i>	<i>D. Peña</i>	<i>15-10-2007</i>	<i>Sección: Sistema de Carga Y Posición</i>	
			<i>Plano: Isometrica Tuerca de Altura</i>	
			<i>Código: GTCPPV02</i>	<i>Formato: A4</i>
			<i>Material: Acero Inox 304</i>	<i>Cantidad: 1</i>
			<i>Escala: 2:1</i>	<i>Peso:</i>
				<i>Plano: 52 de 104</i>

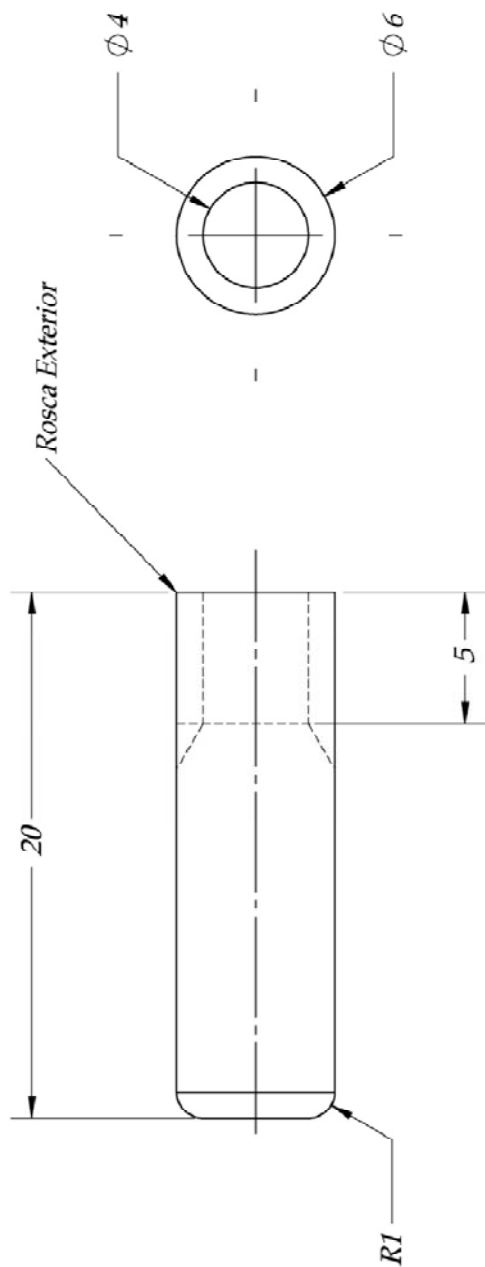
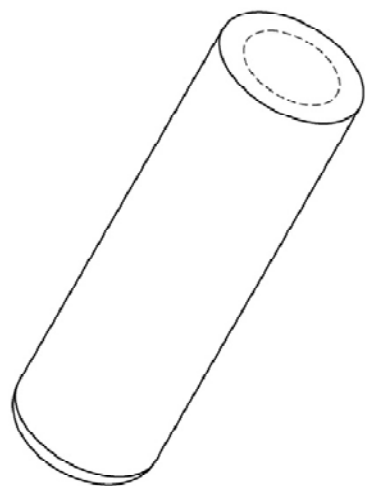
SECCIÓN B-B  
ESCALA 1,5 : 1



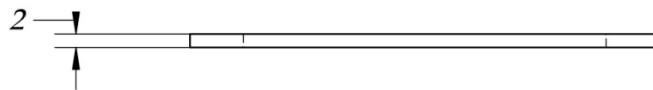
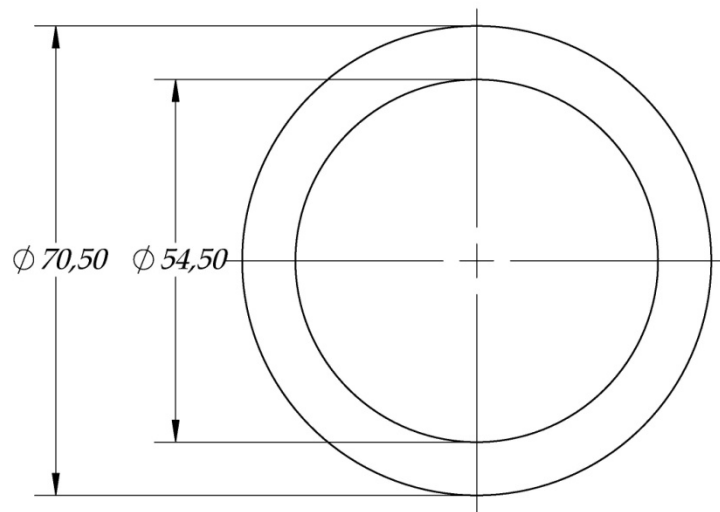
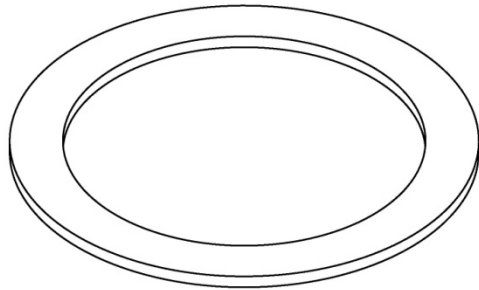
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
		Dibujado:	G. Ramirez	02-09-2007	
		Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007	Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales
		Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	Sección: Sistema de Carga Y Posición
Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007	Plano: Tuerca de Altura	Formato: A4	
				Código: GTCPPV02	
				Material: Acero Inox 304	
				Escala: 1,5:1	
				Peso:	
				Cantidad: 1	
				Plano: 53.docx	



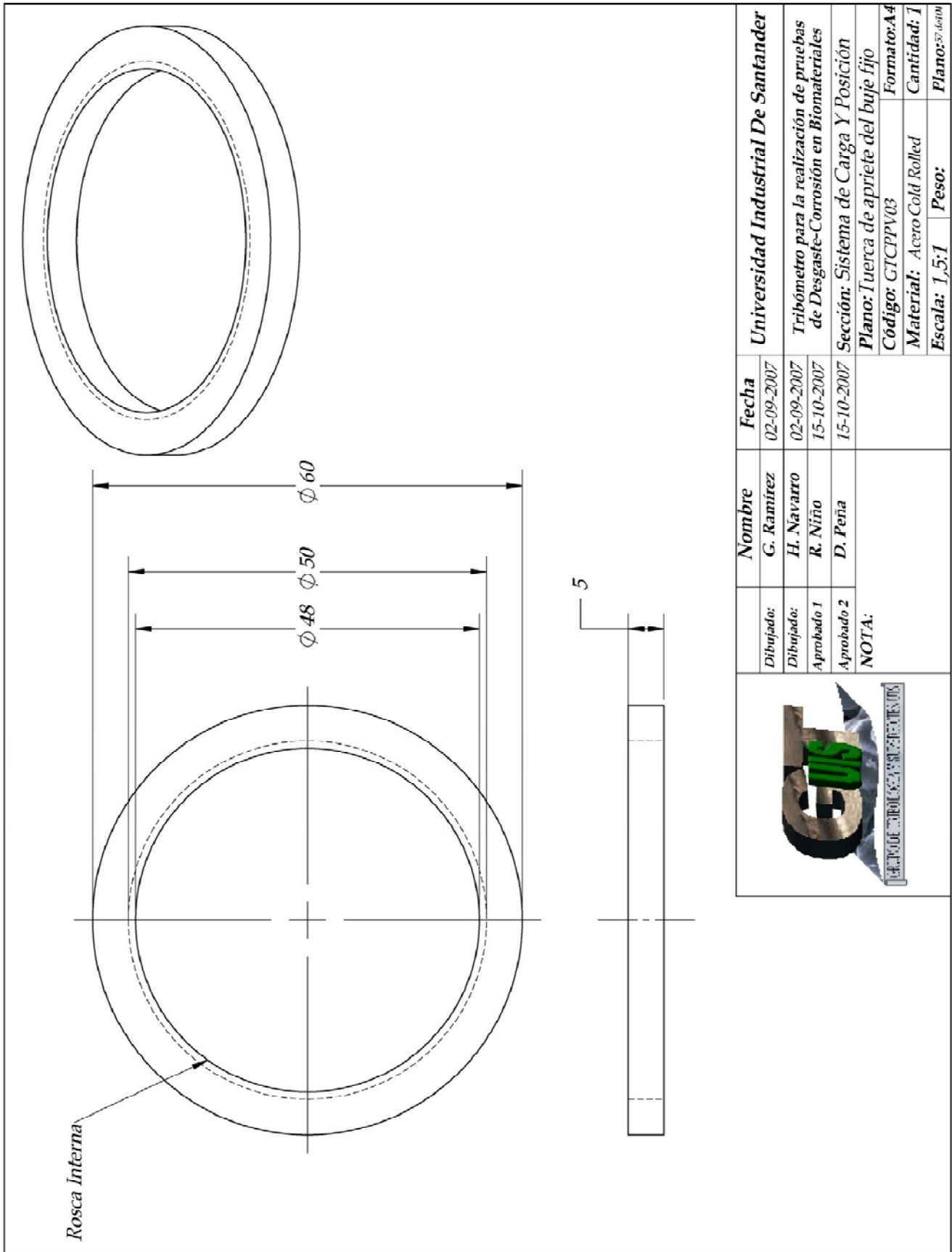
		<b>Dibujado:</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>  <b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>  <b>Sección: Sistema de Carga Y Posición</b> <b>Plano: Tuerca de altura</b> <b>Código: GTCPPV02</b> <b>Material: Acero Inox 304</b> <b>Escala: 1,5:1</b> <b>Peso:</b>
		<b>Dibujado:</b>	G. Ramirez	02-09-2007	
		<b>Aprobado 1</b>	H. Navarro	02-09-2007	
		<b>Aprobado 2</b>	R. Niño	15-10-2007	
			D. Peña	15-10-2007	<b>Formato: A4</b> <b>Cantidad: 1</b> <b>Plano: 54 de 104</b>

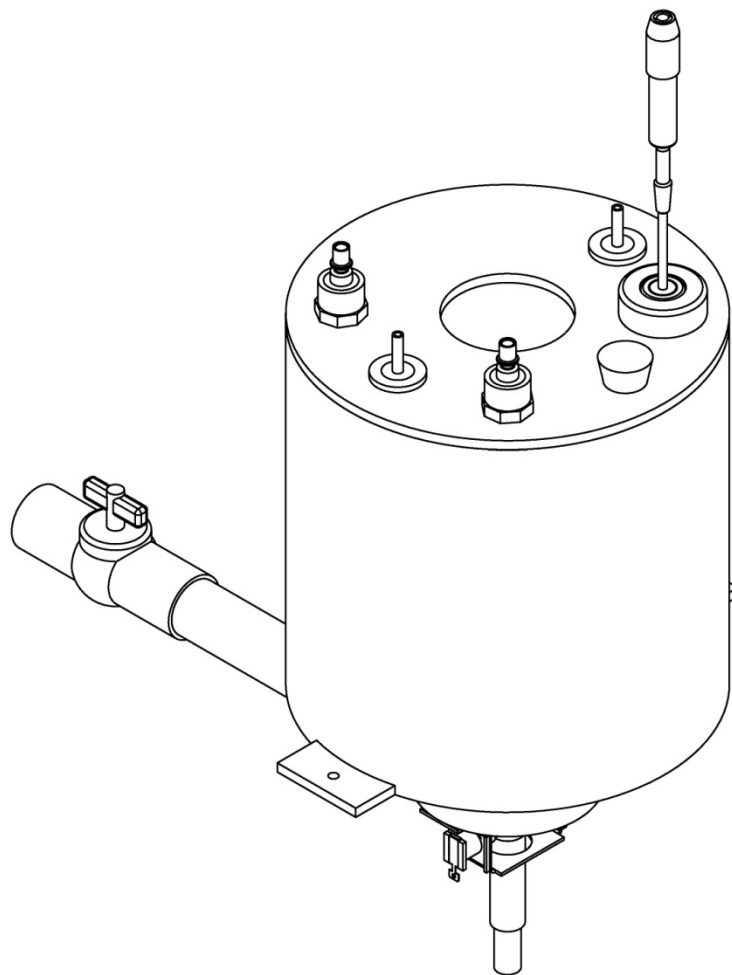


		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>
		Dibujado:	02-09-2007	
		Dibujado:	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>
		Aprobado 1	15-10-2007	
Aprobado 2	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de Carga Y Posición</b>		
		<b>Plano: Pin de giro</b>		
		<b>Código: GTCPPV04</b>		
		<b>Material: Acero Cold Rolled</b>		
		<b>Escala: 4:1</b>		
		<b>Peso:</b>		
		<b>Formato: A4</b>		
		<b>Cantidad: 4</b>		
		<b>Plano: SS de 104</b>		

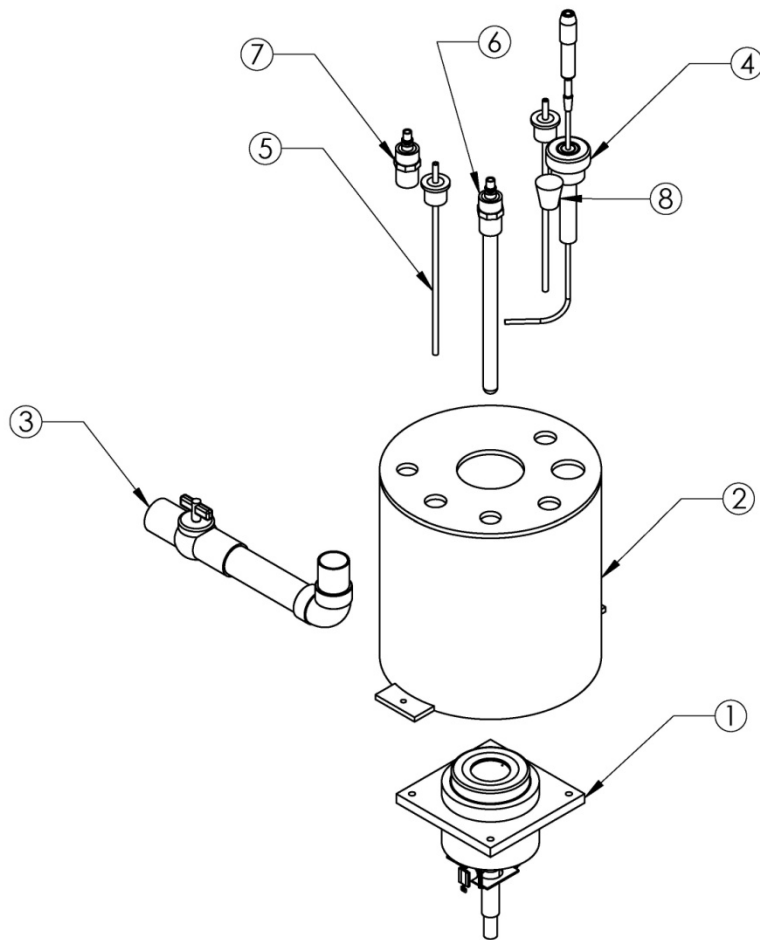


	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
<i>Dibujado:</i>	<b>G. Ramírez</b>	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
<i>Dibujado:</i>	<b>H. Navarro</b>	02-09-2007		
<i>Aprobado 1</i>	<b>R. Niño</b>	15-10-2007		
<i>Aprobado 2</i>	<b>D. Peña</b>	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de Carga Y Posición</b>	
			<b>Plano: Base de fricción</b>	
			<b>Código: GTCPPV05</b>	<b>Formato: A4</b>
			<b>Material: Acero Cold Rolled</b>	<b>Cantidad: 1</b>
			<b>Escala: 1:1</b>	<b>Peso: Plano: 56 de 104</b>



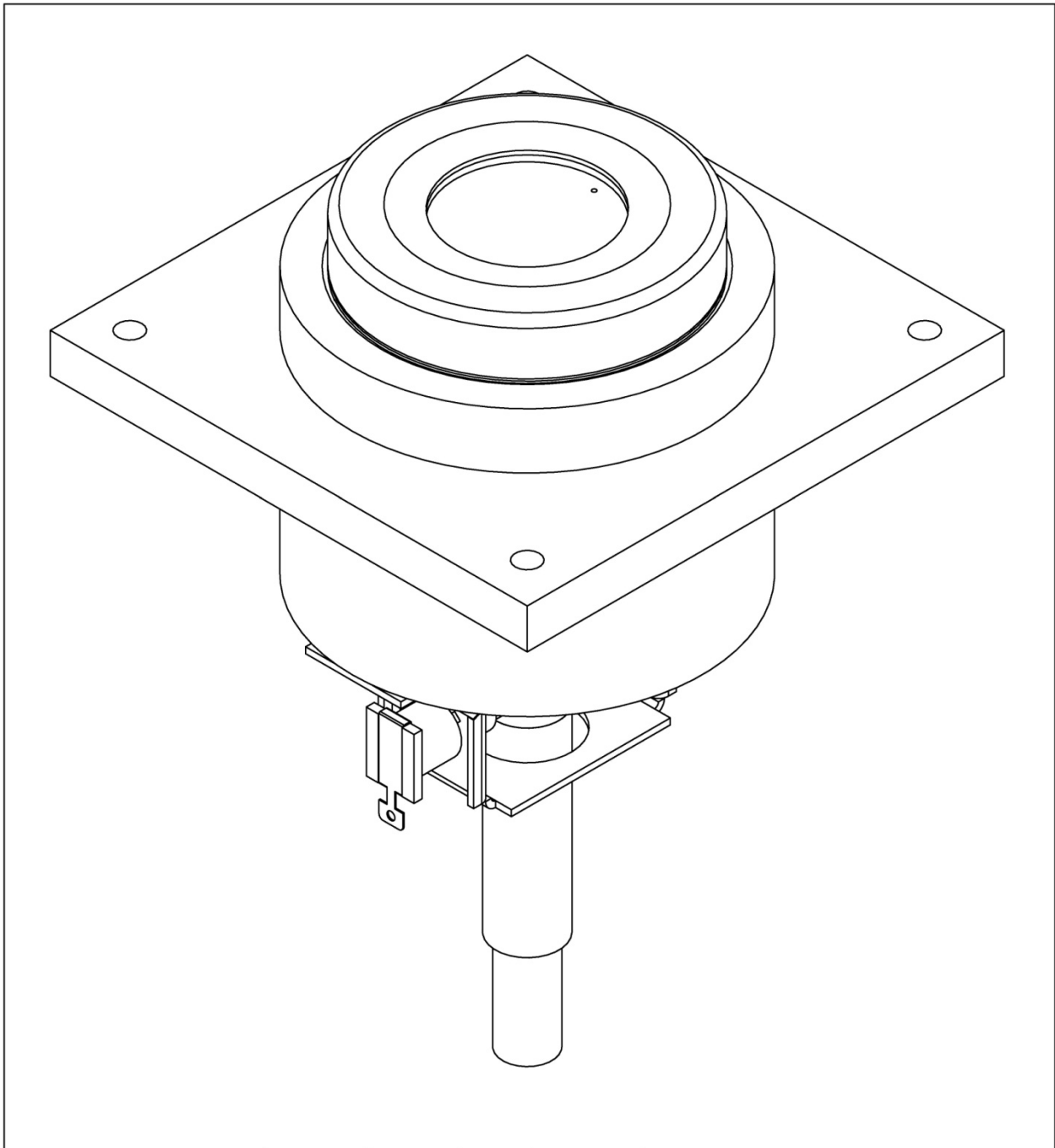


		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>G. Ramírez</i>	<i>02-09-2007</i>	<i>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</i>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>H. Navarro</i>	<i>02-09-2007</i>		
	<i>Aprobado 1</i>	<i>R. Niño</i>	<i>15-10-2007</i>	<i>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</i>	
	<i>Aprobado 2</i>	<i>D. Peña</i>	<i>15-10-2007</i>		
				<i>Plano: Isometrica</i>	
				<i>Código: GTCE000</i>	<i>Formato: A4</i>
				<i>Material:</i>	<i>Cantidad:</i>
				<i>Escala:</i>	<i>Peso:</i>
					<i>Plano: 38 de 104</i>

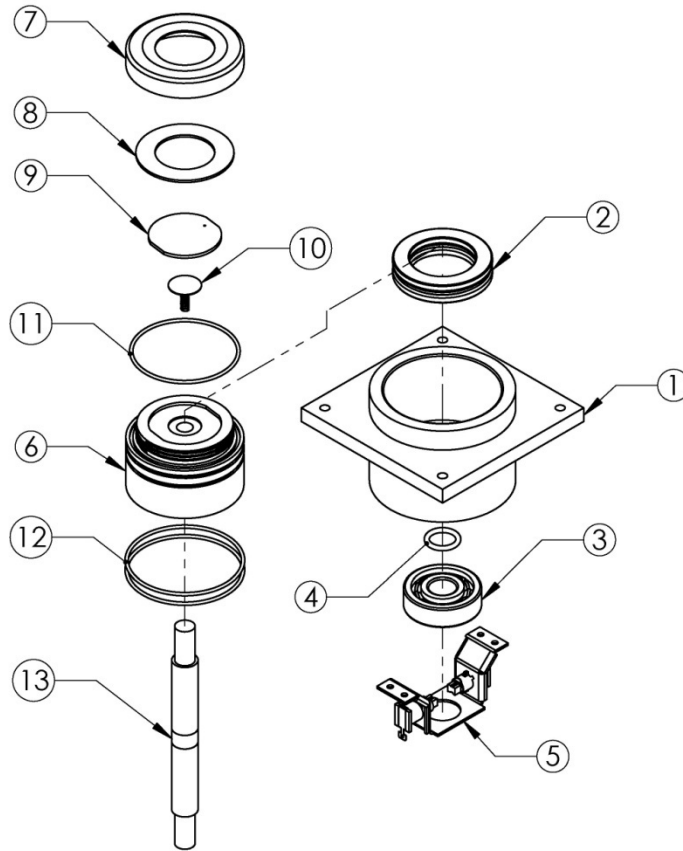



8	Tapón	1			
7	Salida de Gas	1			
6	Entrada de Gas	1			
5	Contraelectrodo	1			
4	Electrodo de Referencia	1			
3	Sistema de Desague	1			
2	Tanque	1			
1	Subsistema Portaprobeta	1			

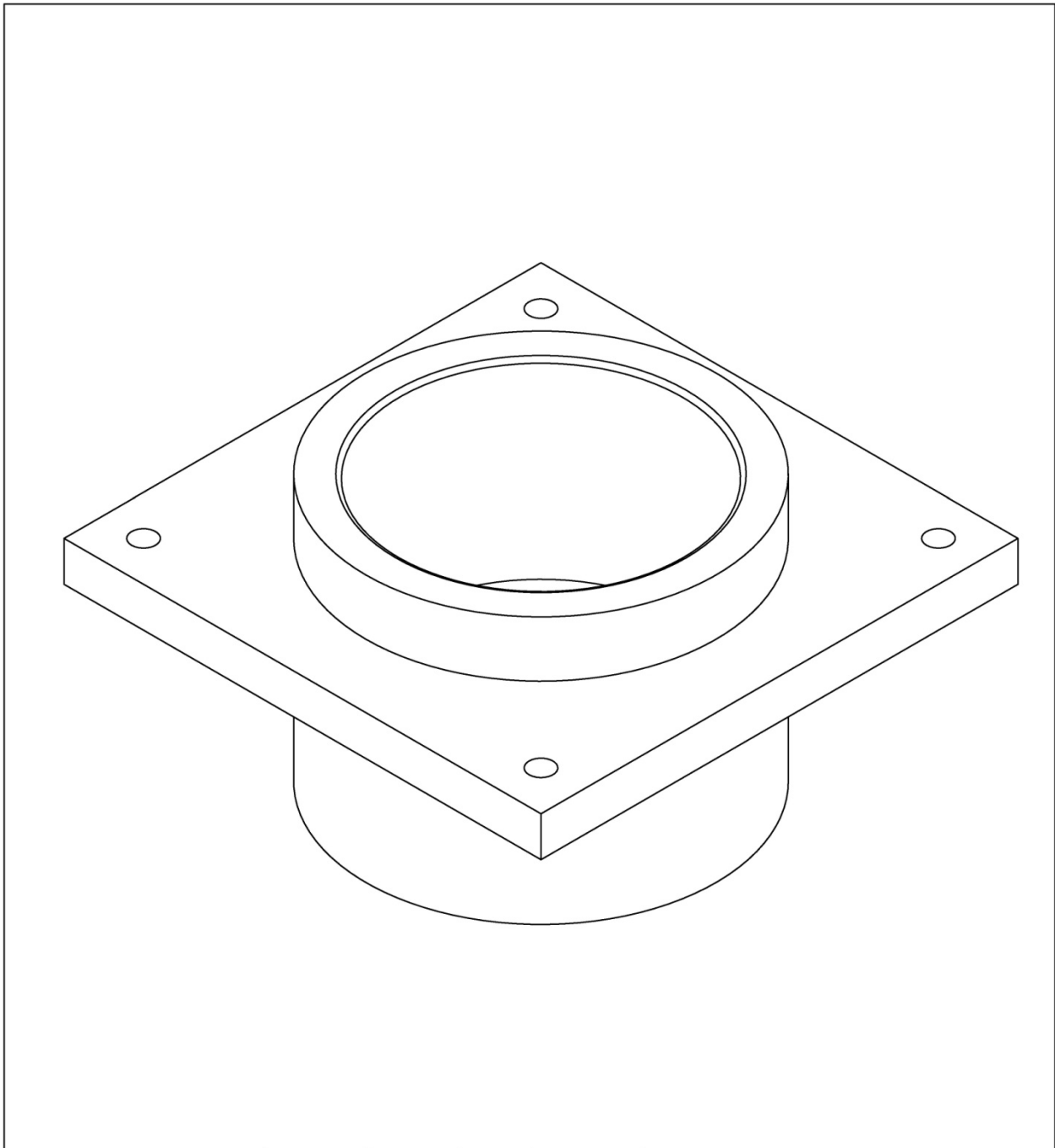
Ref	Descripción	Cant	Material	Especificaciones	Observaciones	
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>		
		Dibujado:	G. Ramirez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
		Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
		Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de la celda Electroquímica</b>	
		Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
	<b>Nota:</b>			<b>Plano: Explosión</b>		
				<b>Código: GTCE000</b>	<b>Formato: A4</b>	
				<b>Material:</b>	<b>Cantidad:</b>	
				<b>Escala:</b>	<b>Peso:</b>	
					<b>Plano: 59 de 104</b>	



		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>G. Ramírez</i>	<i>02-09-2007</i>	<i>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</i>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>H. Navarro</i>	<i>02-09-2007</i>		
	<i>Aprobado 1</i>	<i>R. Niño</i>	<i>15-10-2007</i>	<b>Sección:</b> <i>Sistema de la celda Electroquímica</i>	
	<i>Aprobado 2</i>	<i>D. Peña</i>	<i>15-10-2007</i>		
<b>Nota:</b>			<b>Plano:</b> <i>Isometrica Portaprobeta-Brida-Eje conductor</i>		
			<b>Código:</b> <i>GTCEP00</i>	<b>Formato:</b> <i>A4</i>	
			<b>Material:</b>	<b>Cantidad:</b> <i>1</i>	
			<b>Escala:</b>	<b>Peso:</b>	<b>Plano:</b> <i>60 de 104</i>

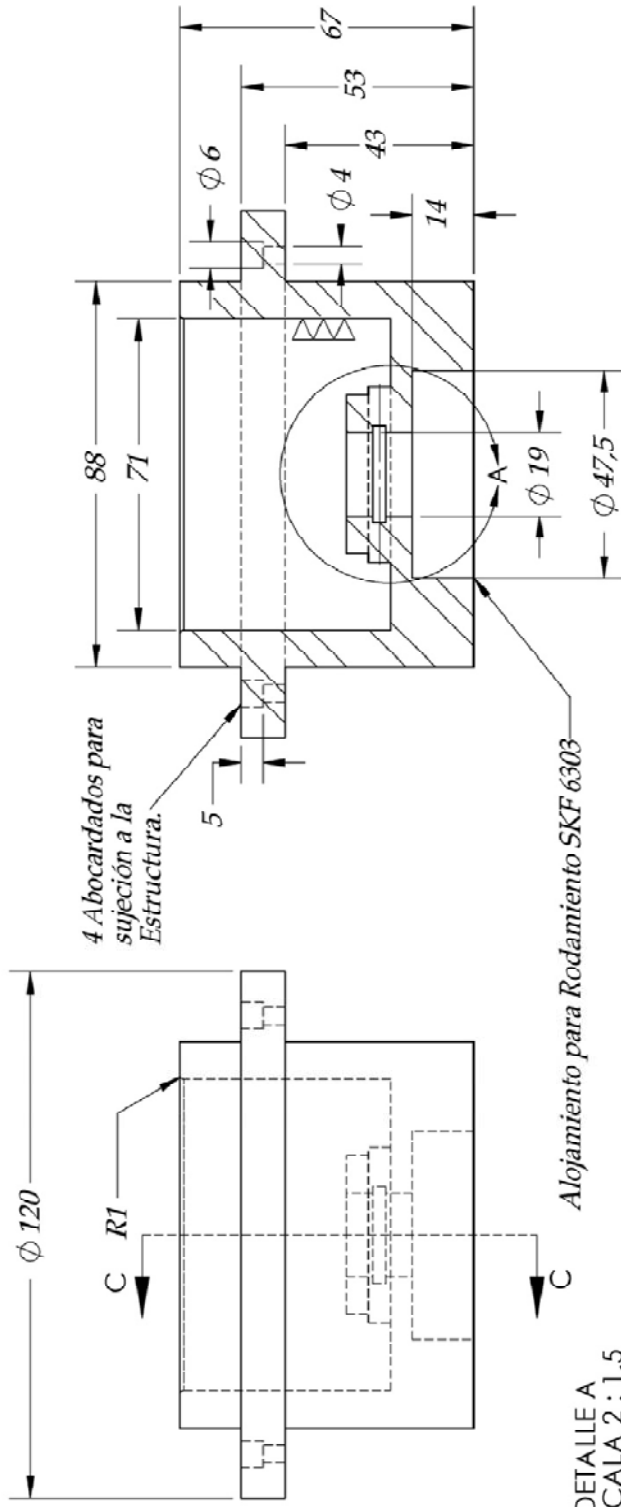


13	Eje Conductor de señales eléctricas	1	Cobre			
12	O-ring-Porta probeta	2	Caucho de Nitrilo (Acrlonitrilo-Butadieno)	SKF-CR OR 68 x 3 -N70		
11	O-ring-Tapa	1	Caucho de Nitrilo (Acrlonitrilo-Butadieno)	SKF-CR OR 62 x 3 -N70		
10	Contactador Metálico	1	Cobre			
9	Probeta	1	Materiales metálicos varios			
8	Empaque de la Tapa rosca	1	Caucho			
7	Tapa rosca	1	Nylon 6-6			
6	Porta probeta	1	Nylon 6-6			
5	Porta escobillas	1				
4	O-ring Brida	1	Caucho de Nitrilo (Acrlonitrilo-Butadieno)	SKF-CR OR 17 x 2 -N70		
3	Rodamiento rígido de bolas de una hilera	1		SKF 6303		
2	Rodamiento axial de bolas de simple efecto	1		SKF 51110		
1	Brida	1	Acero inox 304			
Ref	Descripción	Cant	Material	Especificaciones	Observaciones	
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>		
		Dibujado:	G. Ramirez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
		Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
		Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007		
		Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</b>	
	<b>Nota:</b>			<b>Plano: Explosión</b>		
				<b>Código: GTCEP00</b>	<b>Formato: A4</b>	
				<b>Material:</b>	<b>Cantidad:</b>	
				<b>Escala:</b>	<b>Peso:</b>	
					<b>Plano: 61 de 104</b>	

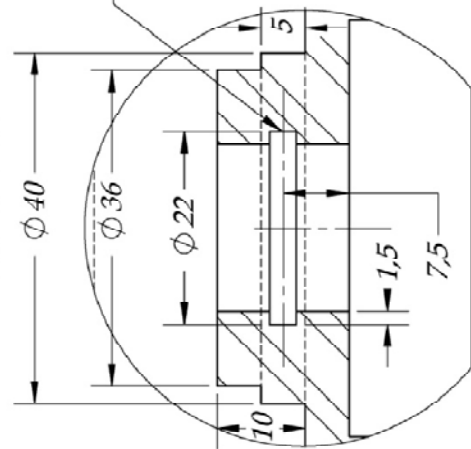


		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
	Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
	Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</b>	
	Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
				<b>Plano: Isometrica Brida Fija</b>	
				<b>Código: GTCEP01</b>	<b>Formato: A4</b>
				<b>Material: Acero Inox 304</b>	<b>Cantidad: 1</b>
				<b>Escala:</b>	<b>Peso:</b>
					<b>Plano: 62 de 104</b>

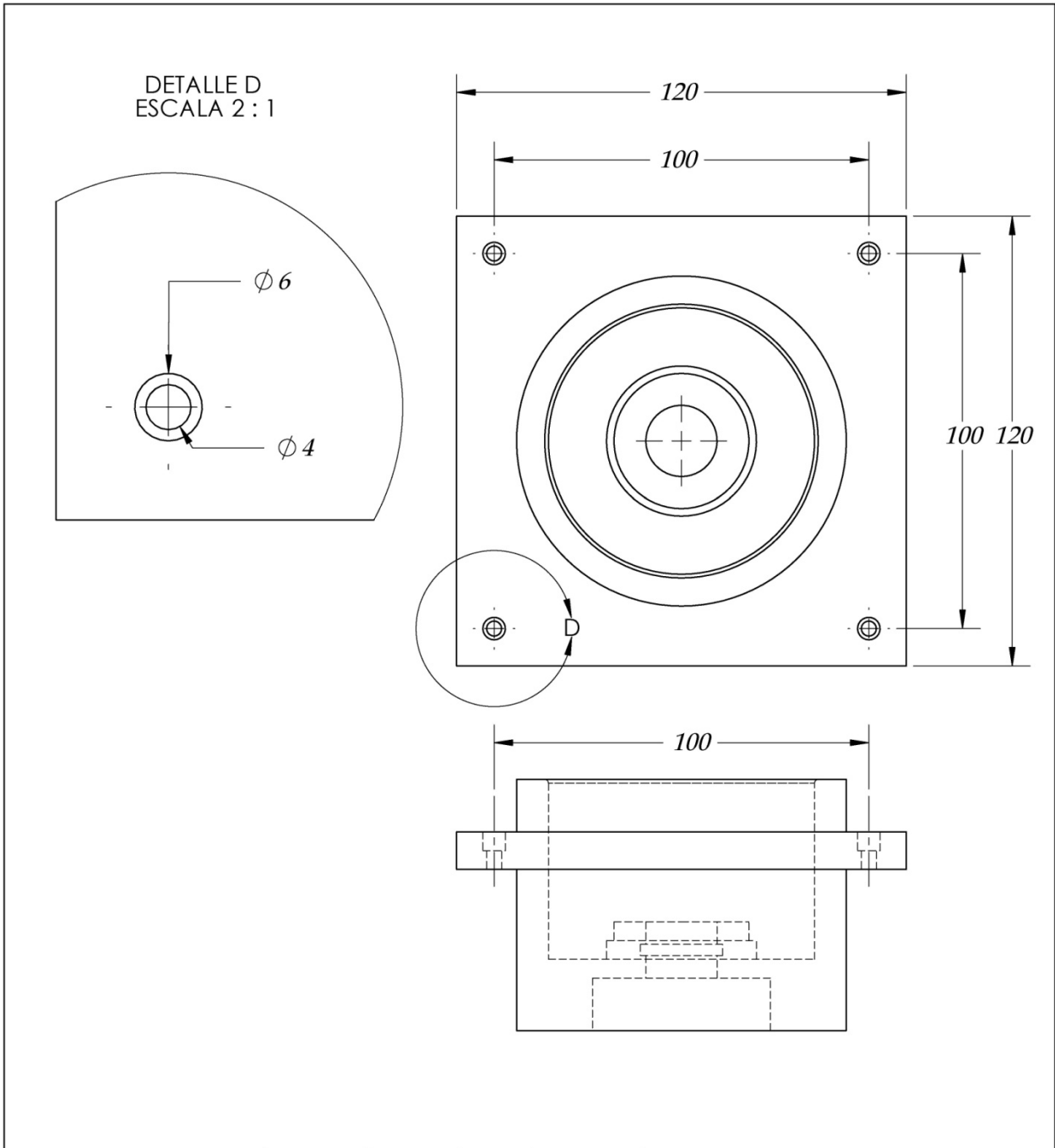
SECCIÓN C-C  
ESCALA 1 : 1.5



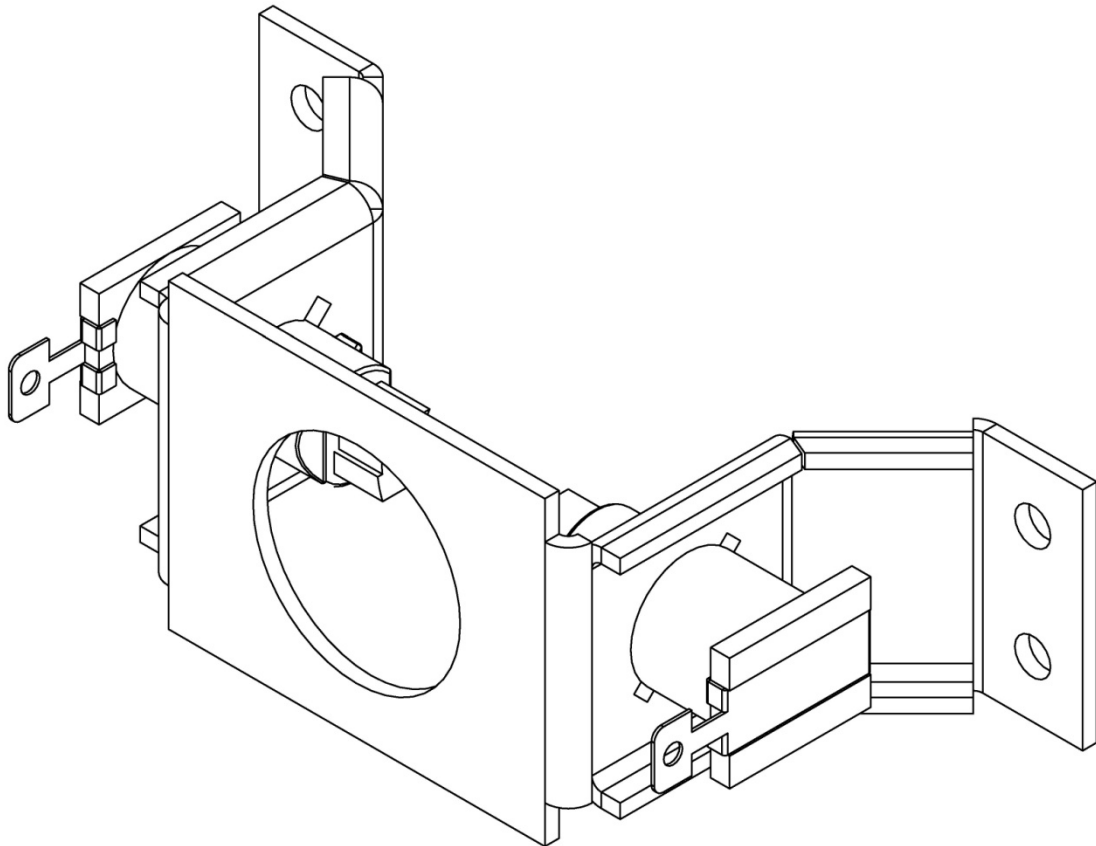
DETALLE A  
ESCALA 2 : 1.5



		<b>Nombre</b>	G. Ramirez	<b>Fecha</b>	02-09-2007	<b>Universidad Industrial De Santander</b>  <b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>  <b>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</b> <b>Plano: Brida Fija</b> <b>Código: GTCEP01</b> <b>Material: Acero Inox 304</b> <b>Escala: 1:1,5</b> <b>Peso:</b>
		<b>Dibujado:</b>	H. Navarro	<b>Fecha</b>	02-09-2007	
		<b>Aprobado 1</b>	R. Niño	<b>Fecha</b>	15-10-2007	
		<b>Aprobado 2</b>	D. Peña	<b>Fecha</b>	15-10-2007	
						<b>Formato: A4</b>
						<b>Cantidad: 1</b>
						<b>Plano: 63 de 104</b>

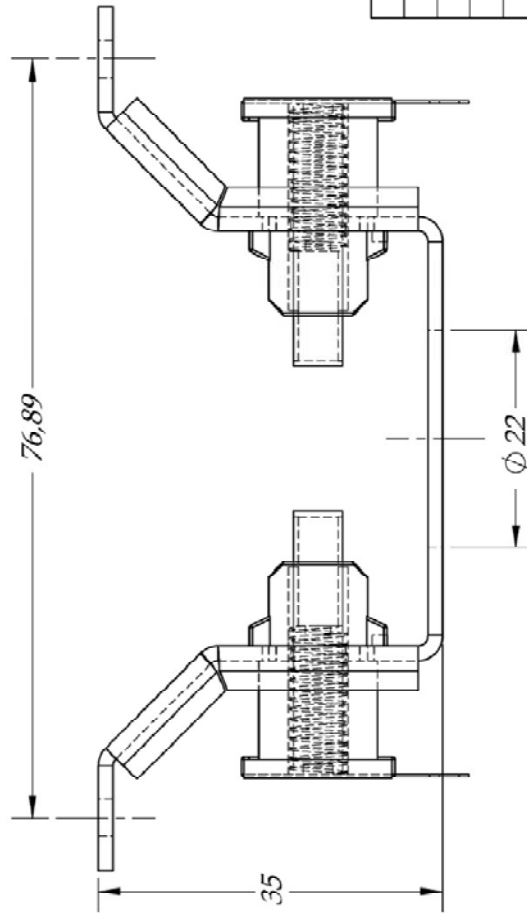
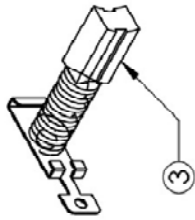
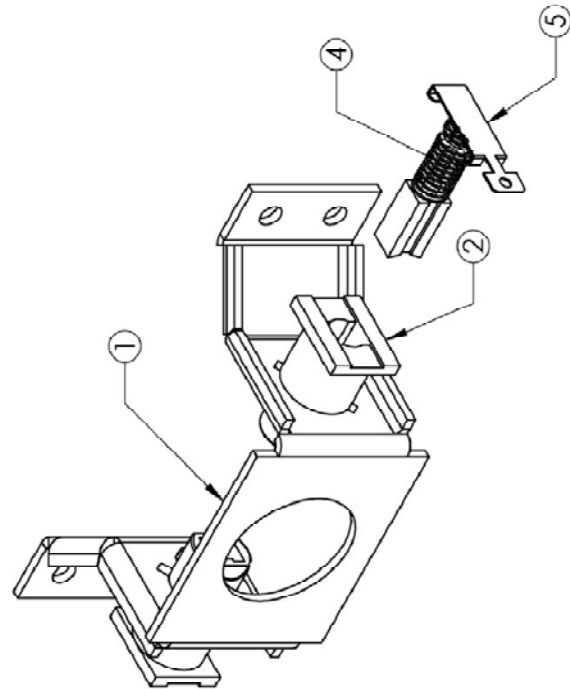


		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
	Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
	Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</b>	
	Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
					<b>Plano: Brida Fija</b>
				<b>Código: GTCEP01</b>	<b>Formato: A4</b>
				<b>Material: Acero Inox 304</b>	<b>Cantidad: 1</b>
				<b>Escala: 1:1,5</b>	<b>Peso: Plano: 64 de 104</b>



FACULTAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA

	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
<i>Dibujado:</i>	<b>G. Ramírez</b>	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
<i>Dibujado:</i>	<b>H. Navarro</b>	02-09-2007		
<i>Aprobado 1</i>	<b>R. Niño</b>	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</b>	
<i>Aprobado 2</i>	<b>D. Peña</b>	15-10-2007		
<b>Nota:</b>			<b>Plano: Isométrica Porta escobillas</b>	
			<b>Código: GTCEP02</b>	<b>Formato: A4</b>
			<b>Material:</b>	<b>Cantidad: 1</b>
			<b>Escala:</b>	<b>Peso:</b>
				<b>Plano: 05 de 104</b>



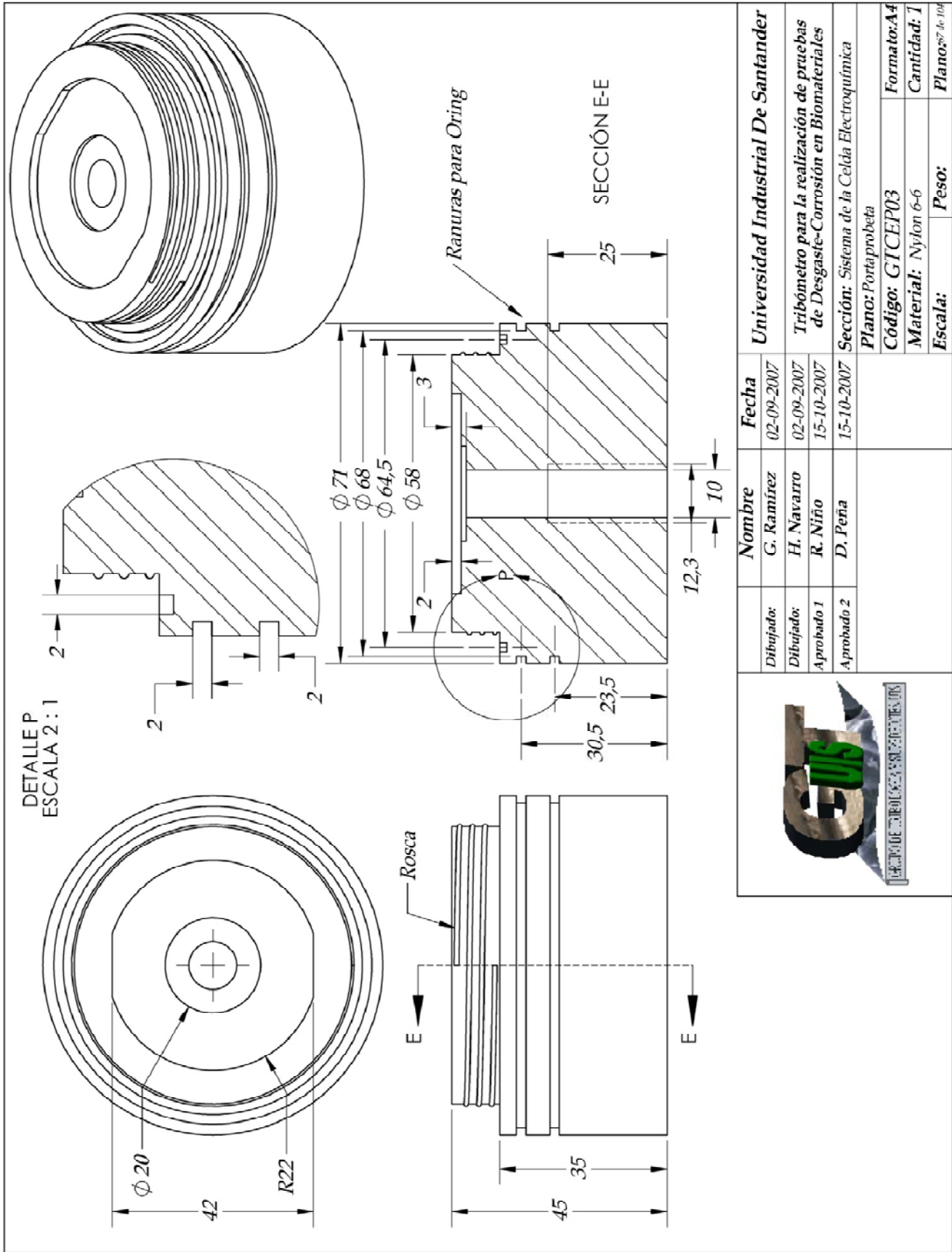
Ref	Descripción	Cant	Especificaciones
5	Contactora	2	
4	Resorte	2	
3	Escobilla	2	
2	Portaescobilla	2	
1	Estructura	1	

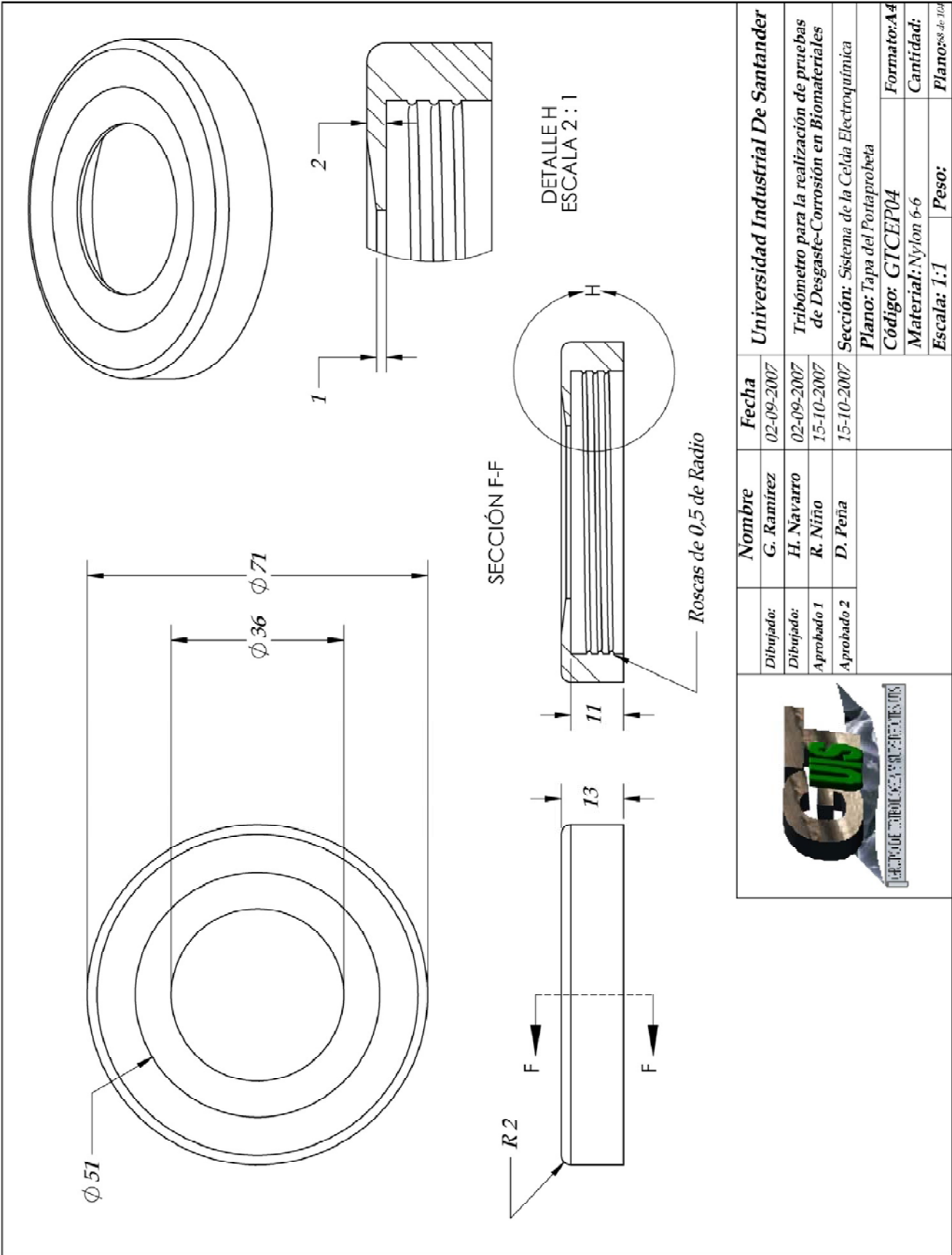
**Universidad Industrial De Santander**  
**Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales**  
**Sección: Sistema de la Celda Electroquímica**  
**Plano: Explosión Porta escobillas**  
**Código: GTCEP02**  
**Material:**  
**Escala:                      Peso:**  
**Formato: A4**  
**Cantidad:**  
**Plano: 06.d03.04**

Nombre	Fecha
G. Ramirez	02-09-2007
H. Navarro	02-09-2007
R. Nino	15-10-2007
D. Peña	15-10-2007

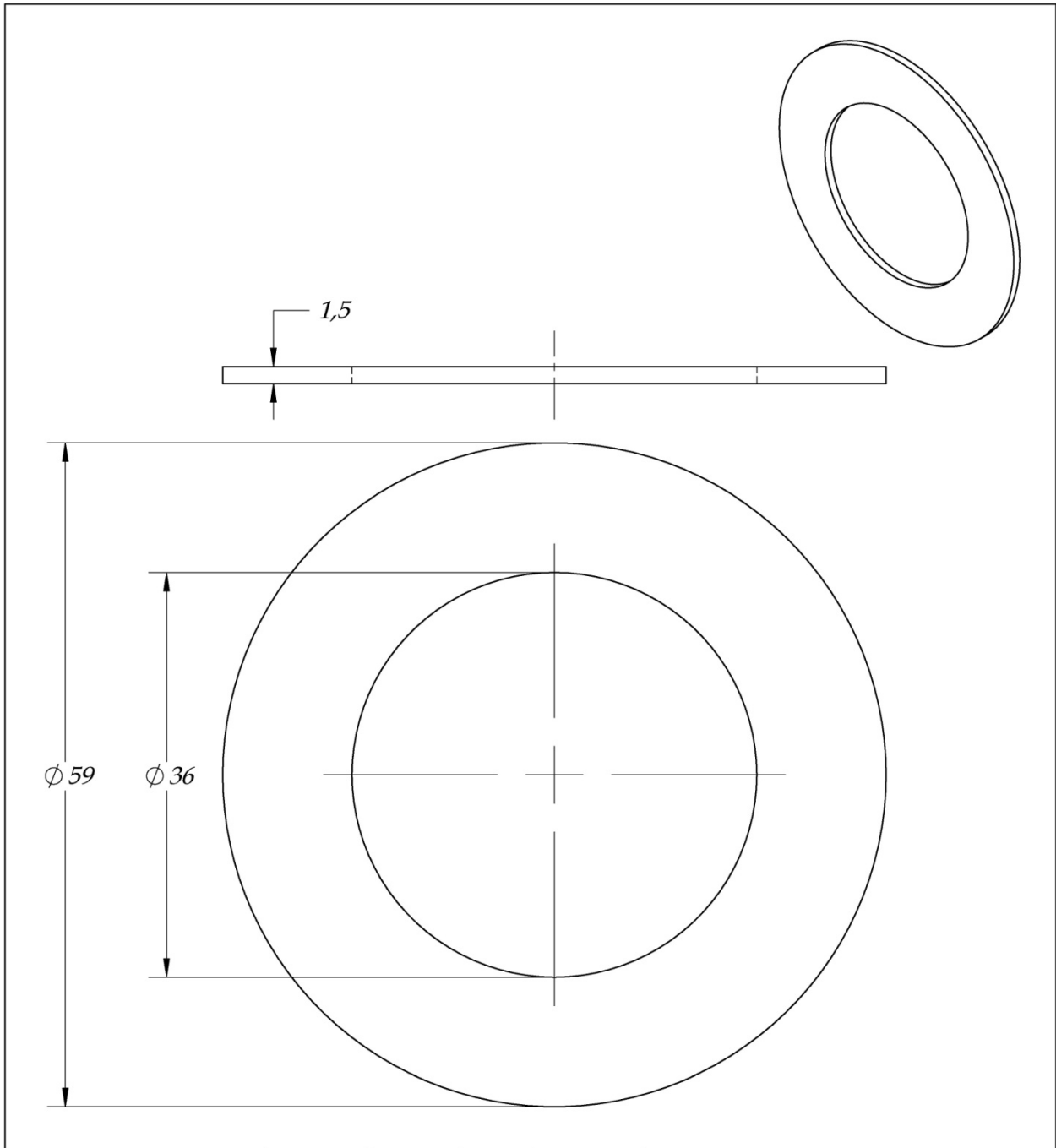


**NOTA:**  
 Dibuñado:  
 Dibuñado:  
 Aprobado 1  
 Aprobado 2

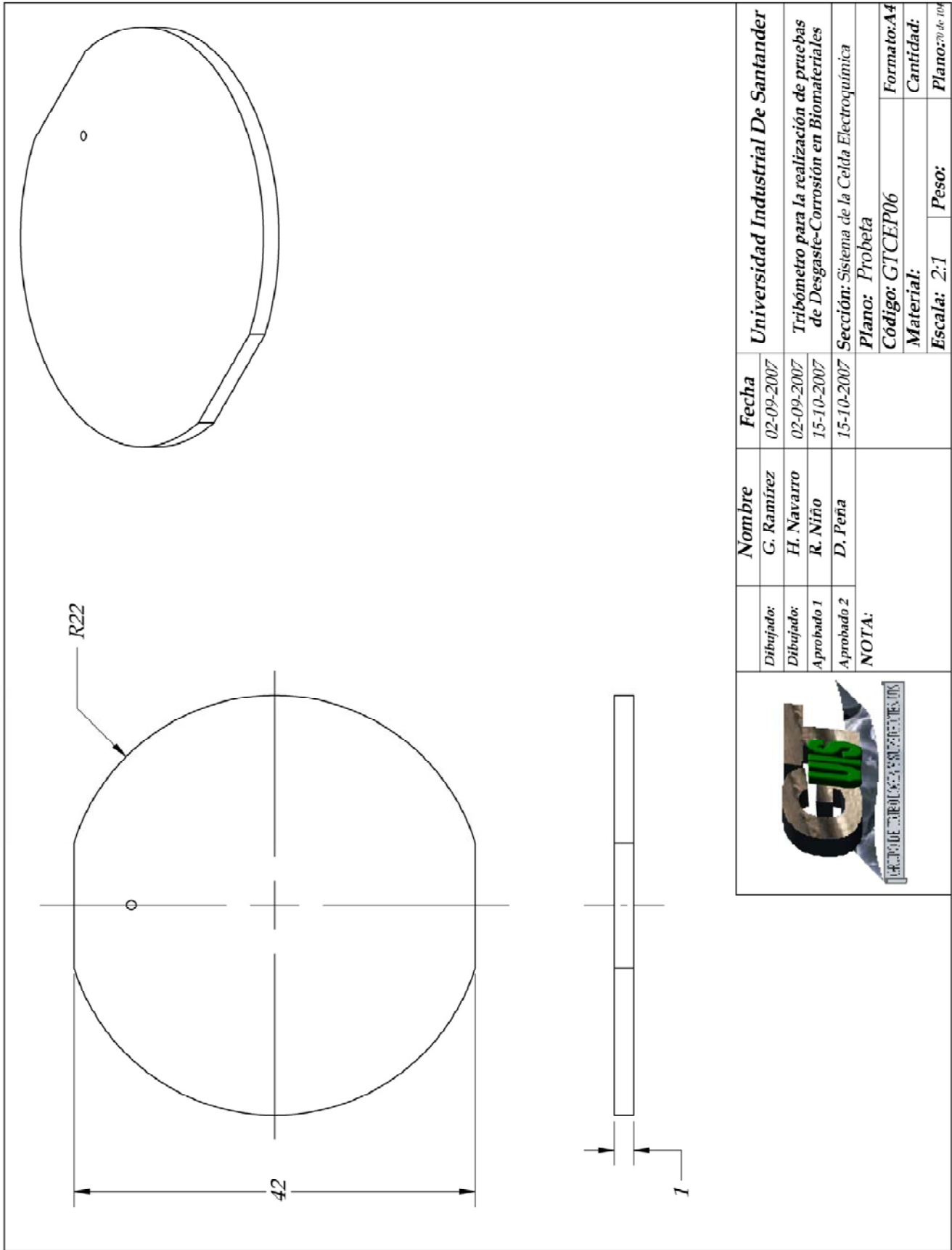




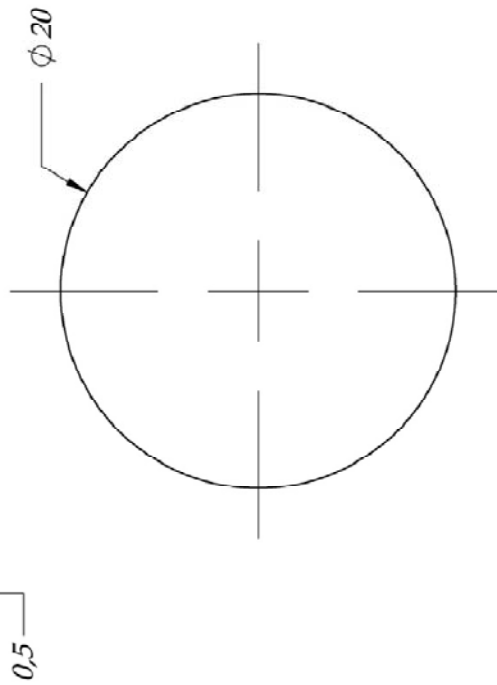
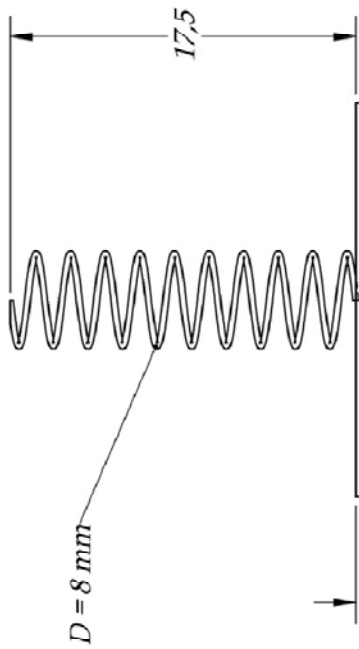
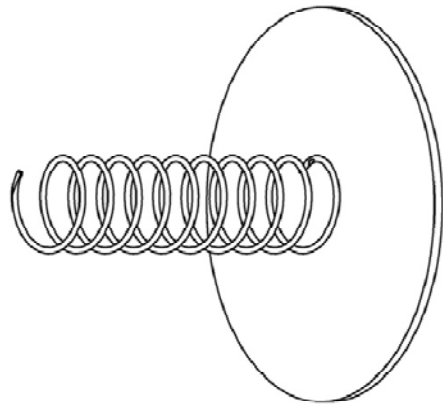
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>
		Dibujado:	02-09-2007	
		Dibujado:	02-09-2007	Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales
		Aprobado 1	15-10-2007	
Aprobado 2	15-10-2007	Sección: Sistema de la Celda Electroquímica		
Plano: Tapa del Portaprobeta				
Código: GTCEP04				
Material: Nylon 6-6				
Escala: 1:1				
Peso:				
Formato: A4				
Cantidad:				
Plano: 88 de 106				



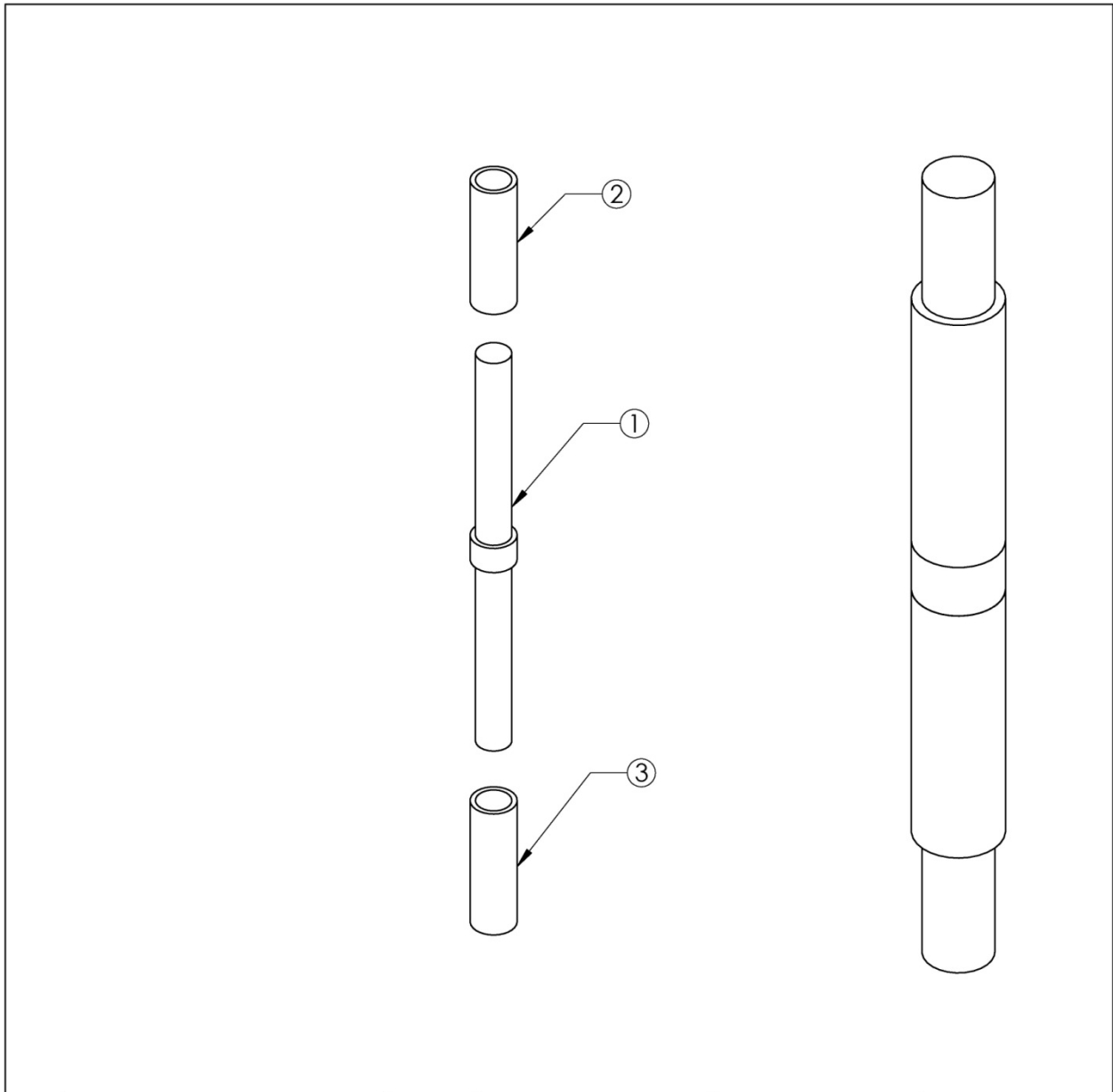
	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
<i>Dibujado:</i>	<b>G. Ramírez</b>	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
<i>Dibujado:</i>	<b>H. Navarro</b>	02-09-2007		
<i>Aprobado 1</i>	<b>R. Niño</b>	15-10-2007		
<i>Aprobado 2</i>	<b>D. Peña</b>	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</b>	
<b>Nota:</b>			<b>Plano: Empaque interno de la Tapa Rosca</b>	
			<b>Código: GTCEP05</b>	<b>Formato: A4</b>
			<b>Material: Nitrilo</b>	<b>Cantidad: 1</b>
			<b>Escala:</b>	<b>Peso:</b>
				<b>Plano: 69 de 104</b>



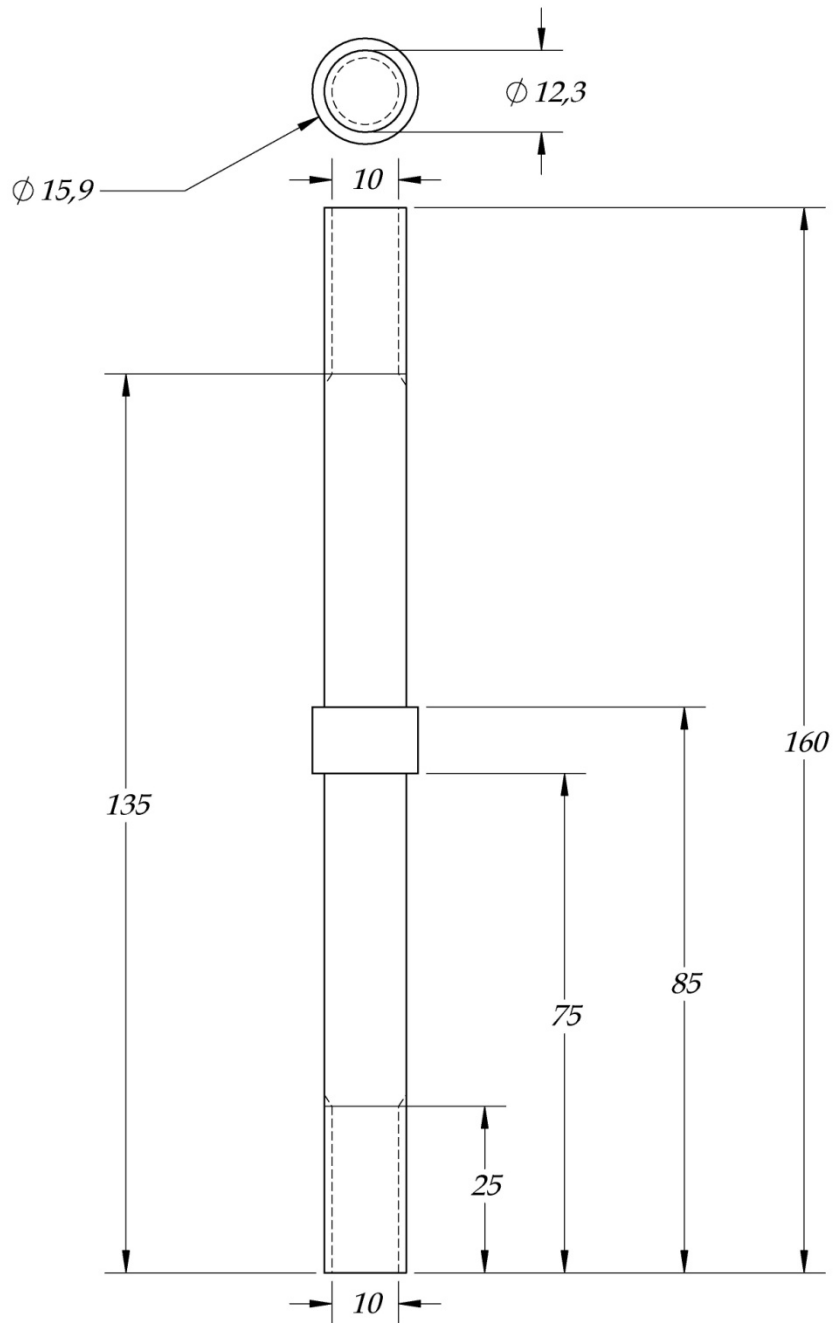
Nombre		Fecha
Dibujado:	G. Ramirez	02-09-2007
Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007
Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007
Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007
NOTA:		
<b>Universidad Industrial De Santander</b> <b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b> <b>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</b> <b>Plano: Probeta</b> <b>Código: GTCEP06</b> <b>Material:</b> <b>Escala: 2:1</b> <b>Peso:</b>		
Formato: A4		Cantidad:
Plano: 70 de 106		



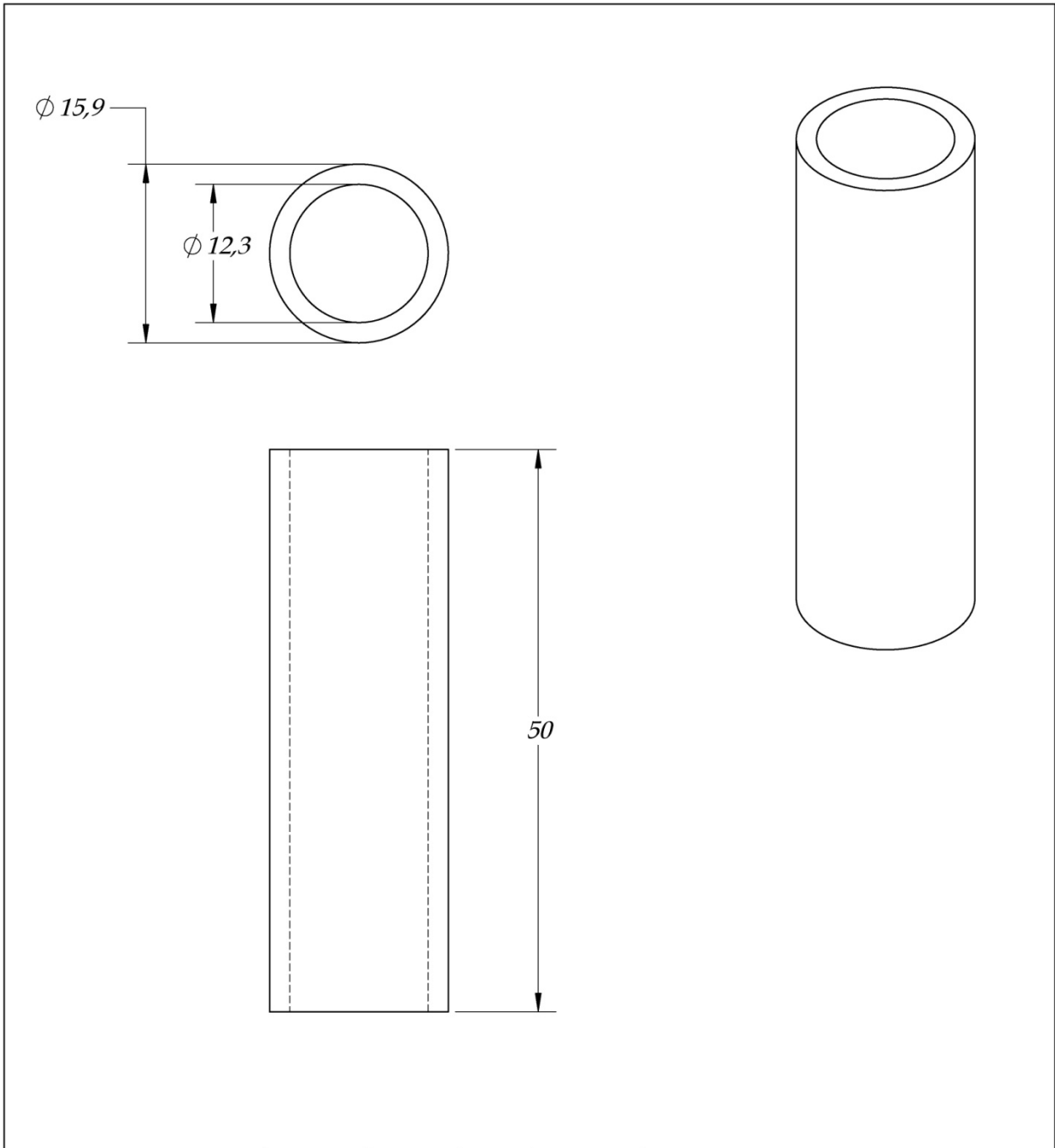
		<b>Dibujado:</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>  <b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>  <b>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</b> <b>Plano: Contactor Metálico</b> <b>Código: GTCEP07</b> <b>Material: Cobre</b> <b>Escala:                      Peso:</b>
		<b>Dibujado:</b>	G. Ramirez	02-09-2007	
		<b>Aprobado 1</b>	H. Navarro	02-09-2007	
		<b>Aprobado 2</b>	R. Niño	15-10-2007	
		<b>NOTA:</b>			<b>Formato: A4</b> <b>Cantidad: 1</b> <b>Plano: 7 de 104</b>



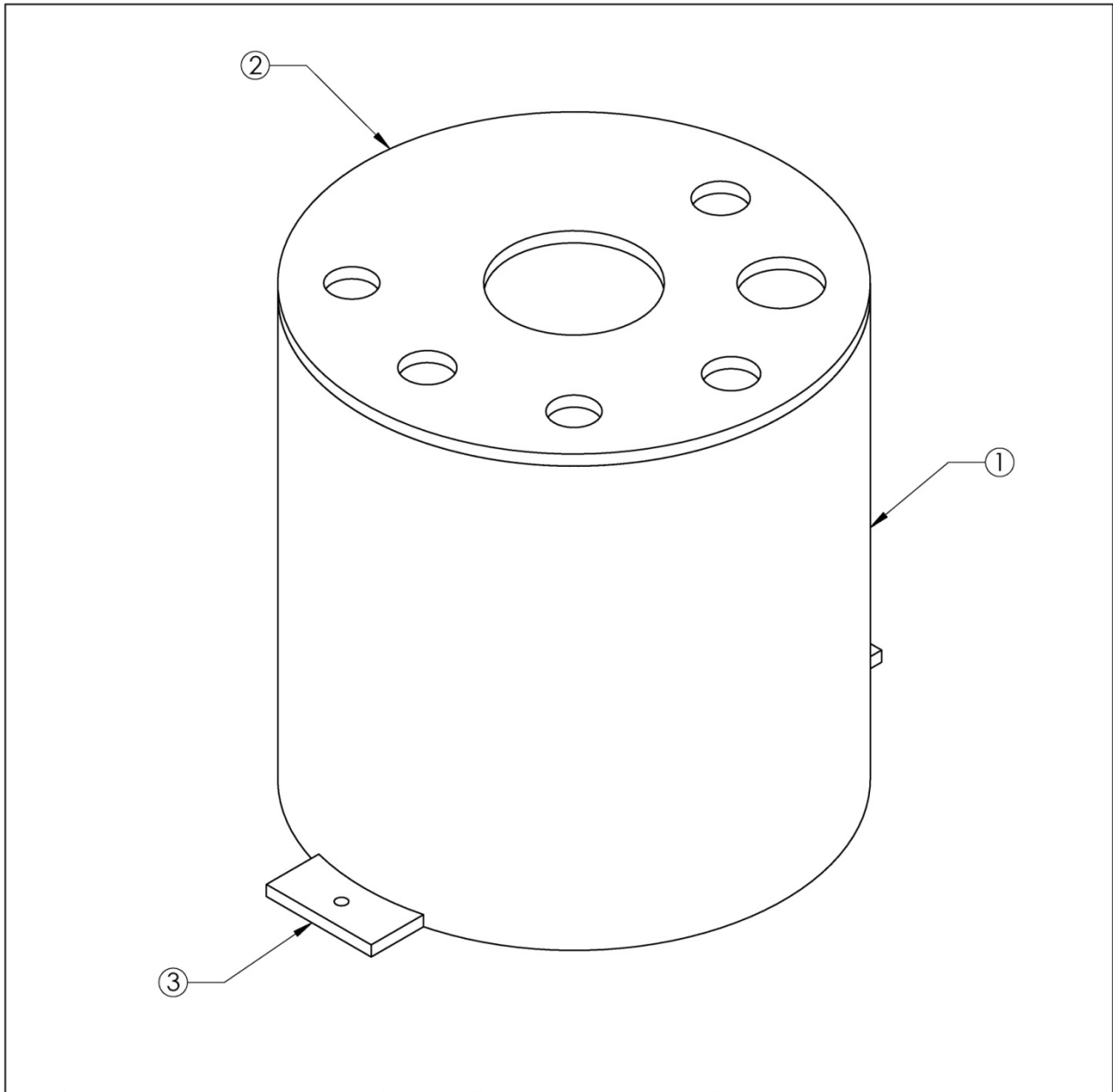
3	Camisa Inferior		1	Nylon 6-6		
2	Camisa Superior		1	Nylon 6-6		
1	Eje Conductor de Señales Eléctricas		1	Cobre		
Ref	Descripción	Cant	Material		Especificaciones	Observaciones
			<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
			Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>
			Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007	
			Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	
			Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</b>
					<b>Plano: Explosión Eje Conductor</b>	
					<b>Código:</b>	<b>Formato: A4</b>
					<b>Material:</b>	<b>Cantidad: 1</b>
					<b>Escala:</b>	<b>Peso:</b>
						<b>Plano: 2 de 104</b>



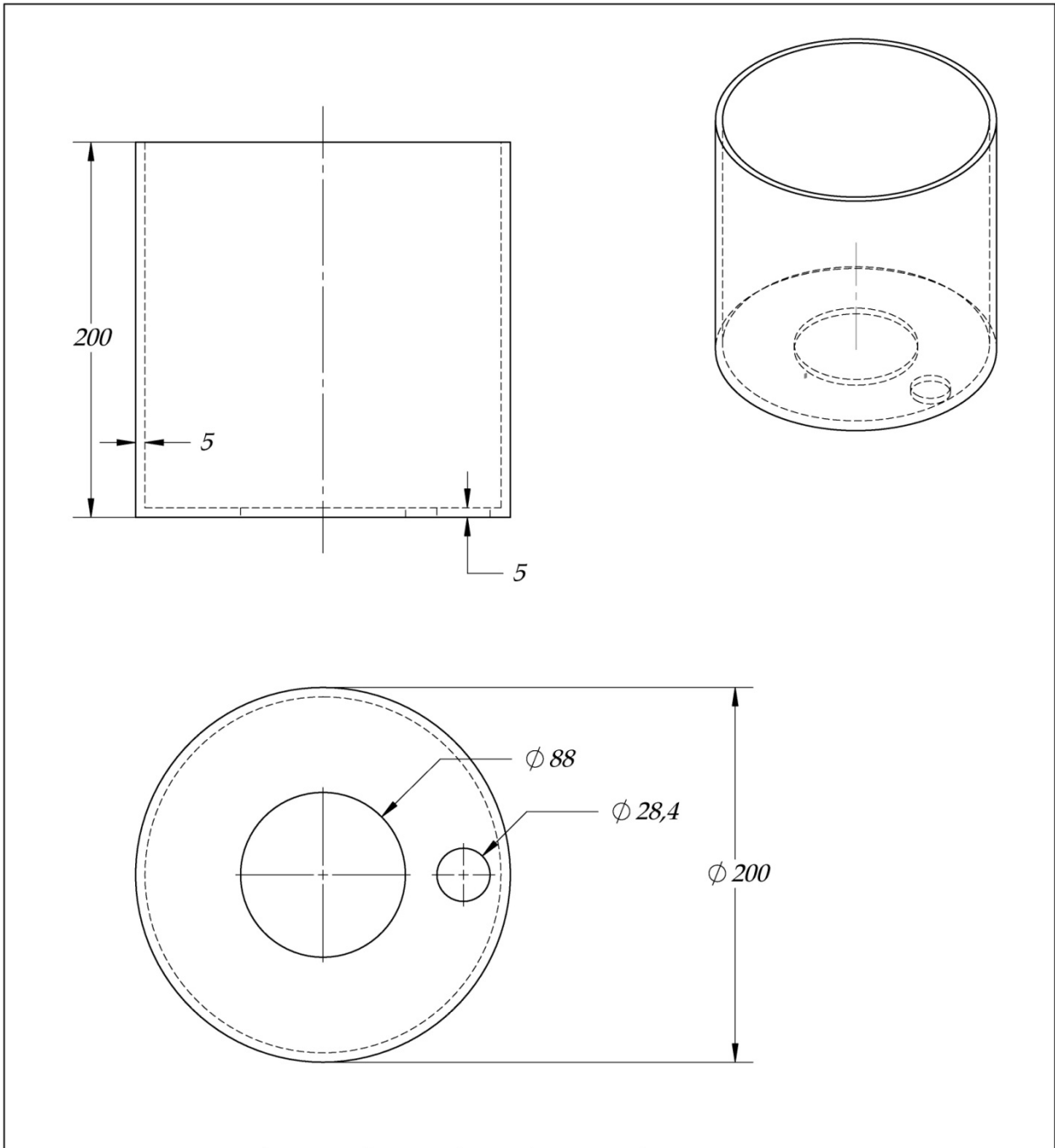
	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
<i>Dibujado:</i>	<b>G. Ramírez</b>	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
<i>Dibujado:</i>	<b>H. Navarro</b>	02-09-2007		
<i>Aprobado 1</i>	<b>R. Niño</b>	15-10-2007		
<i>Aprobado 2</i>	<b>D. Peña</b>	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</b>	
			<b>Plano: Eje Conductor</b>	
			<b>Código: GTCEP08</b>	<b>Formato: A4</b>
			<b>Material: Cobre</b>	<b>Cantidad: 1</b>
			<b>Escala: 1:1</b>	<b>Peso: Plano: 73 de 104</b>



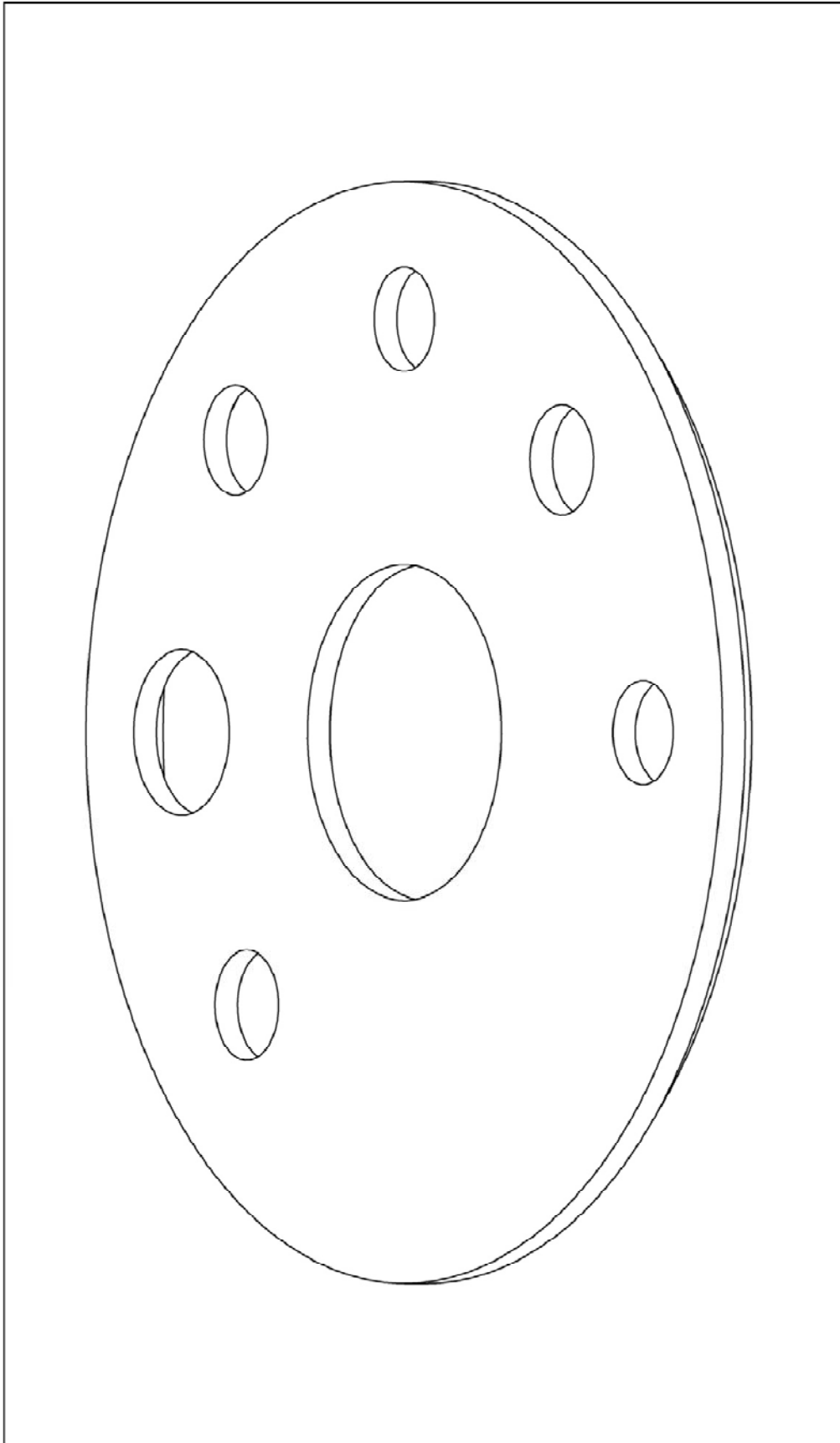
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>G. Ramírez</i>	<i>02-09-2007</i>	<i>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</i>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>H. Navarro</i>	<i>02-09-2007</i>		
	<i>Aprobado 1</i>	<i>R. Niño</i>	<i>15-10-2007</i>	<b>Sección:</b> Sistema de la Celda Electroquímica	
	<i>Aprobado 2</i>	<i>D. Peña</i>	<i>15-10-2007</i>		
<b>Nota:</b>			<b>Plano:</b> Camisas Superior e Inferior		
			<b>Código:</b> GTCEP09	<b>Formato:</b> A4	
			<b>Material:</b> Nylon 6-6	<b>Cantidad:</b> 2	
			<b>Escala:</b> 2:1	<b>Peso:</b>	<b>Plano:</b> 74 de 104




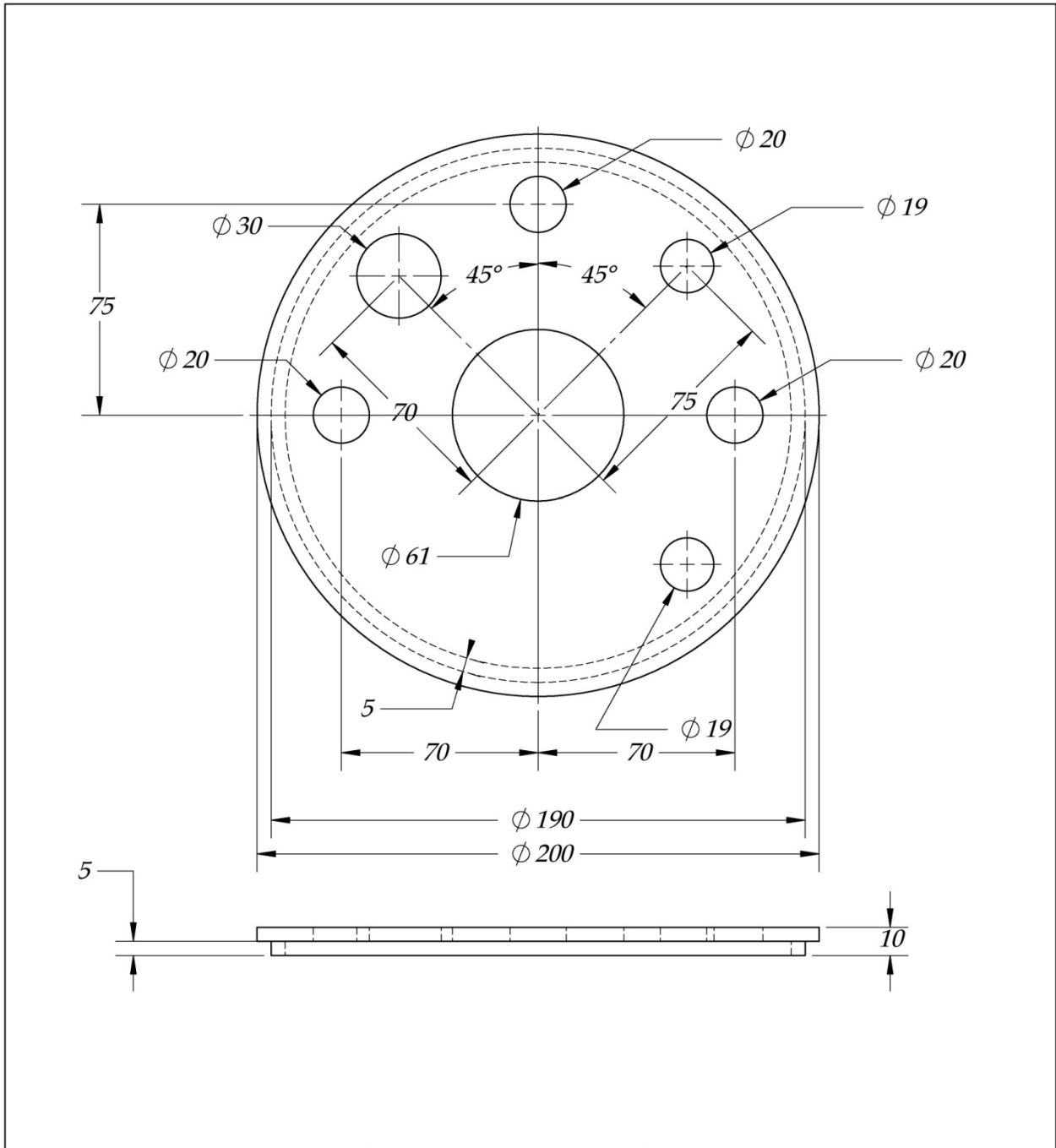
3	Soportes	2	Acrilico			
2	Tapa del Tanque	1	Acrilico			
1	Tanque	1	Acrilico			
Ref	Descripción	Cant	Material	Especificaciones	Observaciones	
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>		
		Dibujado:	G. Ramirez	02-09-2007	Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales	
		Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
		Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	Sección: Sistema de la celda Electroquímica	
		Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
				Plano: Isométrica Tanque + Tapa		
				Código: GTCET00	Formato: A 4	
				Material: Acrílico	Cantidad: 1	
				Escala: 1:2	Peso: Plano: 75 de 104	



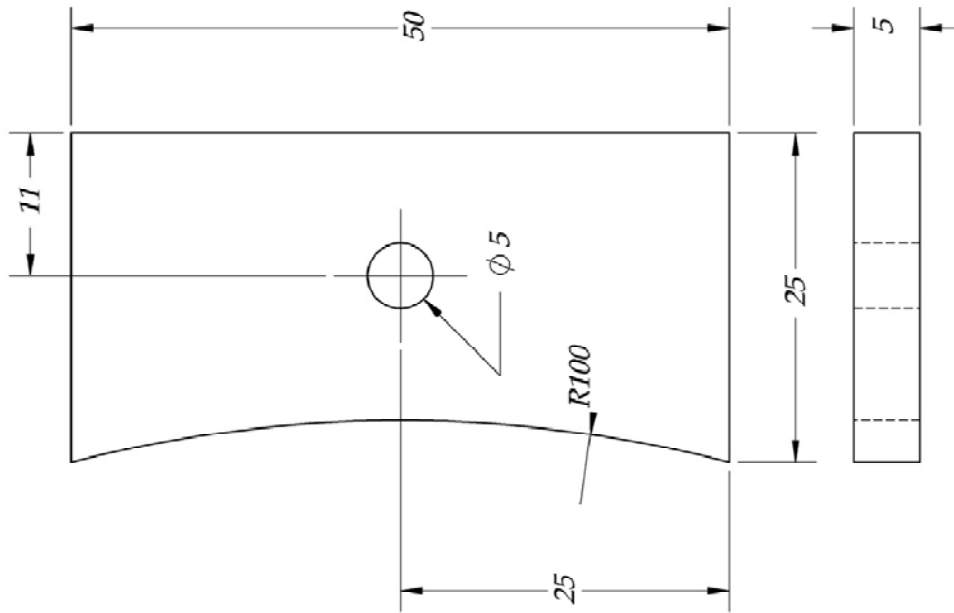
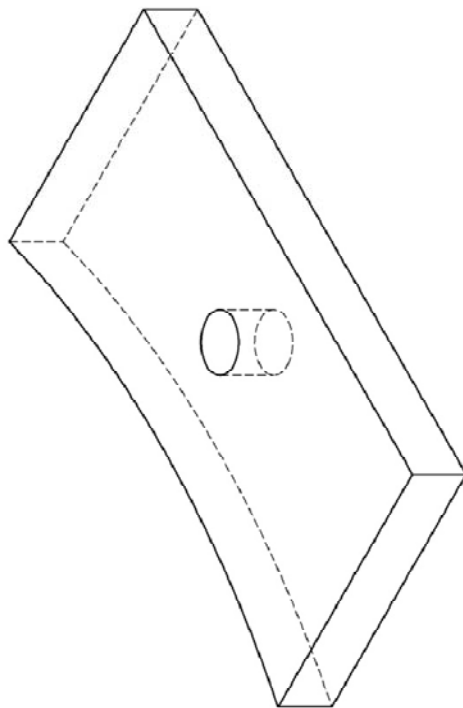
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
	Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
	Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de la celda Electroquímica</b>	
	Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
					<b>Plano: Vista Frontal e inferior del Tanque</b>
				<b>Código: GTCET01</b>	<b>Formato: A 4</b>
				<b>Material: Acrílico</b>	<b>Cantidad: 1</b>
				<b>Escala: 1:3</b>	<b>Peso:</b>
					<b>Plano: 76 de 104</b>



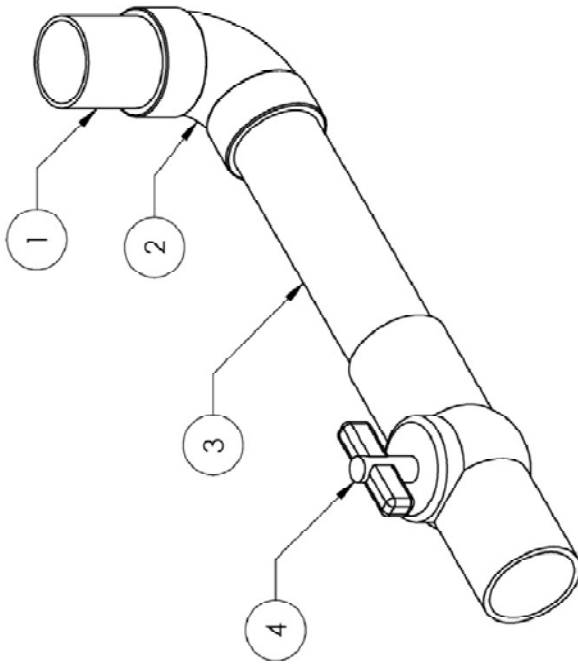
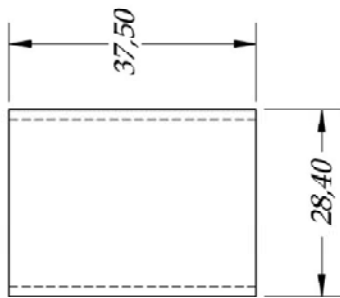
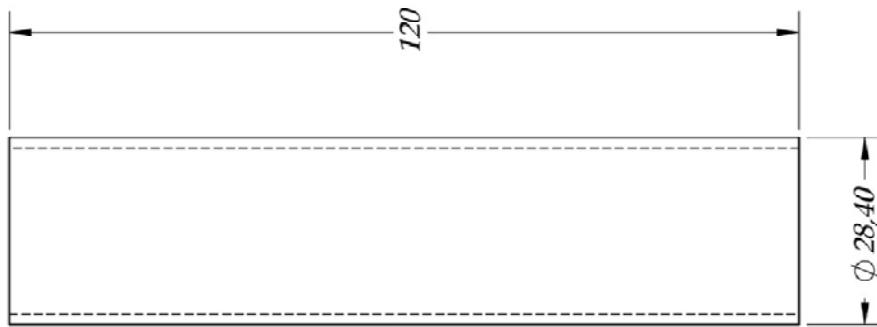
		<b>Dibujado:</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b> <b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b> <b>Sección: Sistema de la celda Electroquímica</b> <b>Plano: Isométrica Tapa del Tanque</b> <b>Código: GTCE102</b> <b>Material: Acrílico</b> <b>Escala: 1:2</b> <b>Peso:</b>
		<b>Dibujado:</b>	G. Ramirez	02-09-2007	
		<b>Aprobado 1</b>	H. Navarro	02-09-2007	
		<b>Aprobado 2</b>	R. Niño	15-10-2007	
			D. Peña	15-10-2007	<b>Formato: A4</b> <b>Cantidad: 1</b> <b>Plano: 77 de 108</b>




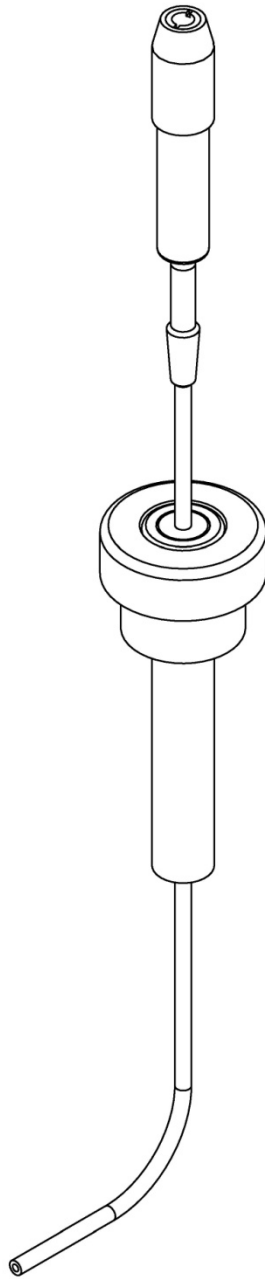
	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
<i>Dibujado:</i>	<b>G. Ramírez</b>	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
<i>Dibujado:</i>	<b>H. Navarro</b>	02-09-2007		
<i>Aprobado 1</i>	<b>R. Niño</b>	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de la celda Electroquímica</b>	
<i>Aprobado 2</i>	<b>D. Peña</b>	15-10-2007		
			<b>Plano: Vista Frontal y Superior Tapa del Tanque</b>	
			<b>Código: GTCET02</b>	<b>Formato: A 4</b>
			<b>Material: Acrílico</b>	<b>Cantidad: 1</b>
			<b>Escala: 1:2</b>	<b>Peso:</b>
				<b>Plano: 78 de 104</b>



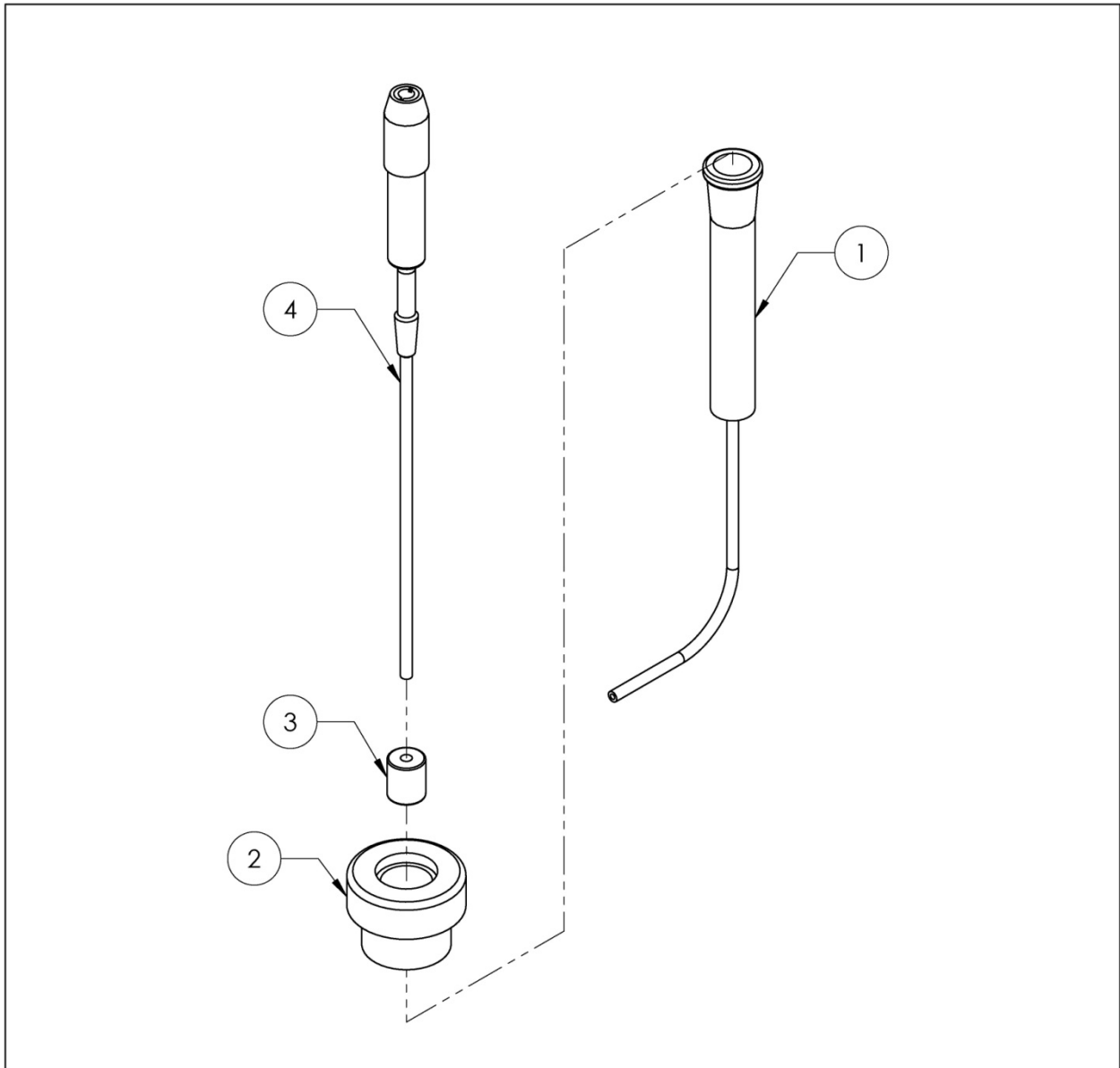
		<b>Dibujado:</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b> <b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b> <b>Sección: Sistema de la celda Electroquímica</b> <b>Plano: Pieza de anclaje a la Estructura</b> <b>Código: GTCE103</b> <b>Material: Acrílico</b> <b>Escala: 2:1</b> <b>Peso:</b> <b>Formato: A4</b> <b>Cantidad: 2</b> <b>Plano: 20 de 100</b>
		<b>Dibujado:</b>	G. Ramirez	02-09-2007	
		<b>Aprobado 1</b>	H. Navarro	02-09-2007	
		<b>Aprobado 2</b>	R. Niño	15-10-2007	
		D. Peña	15-10-2007		



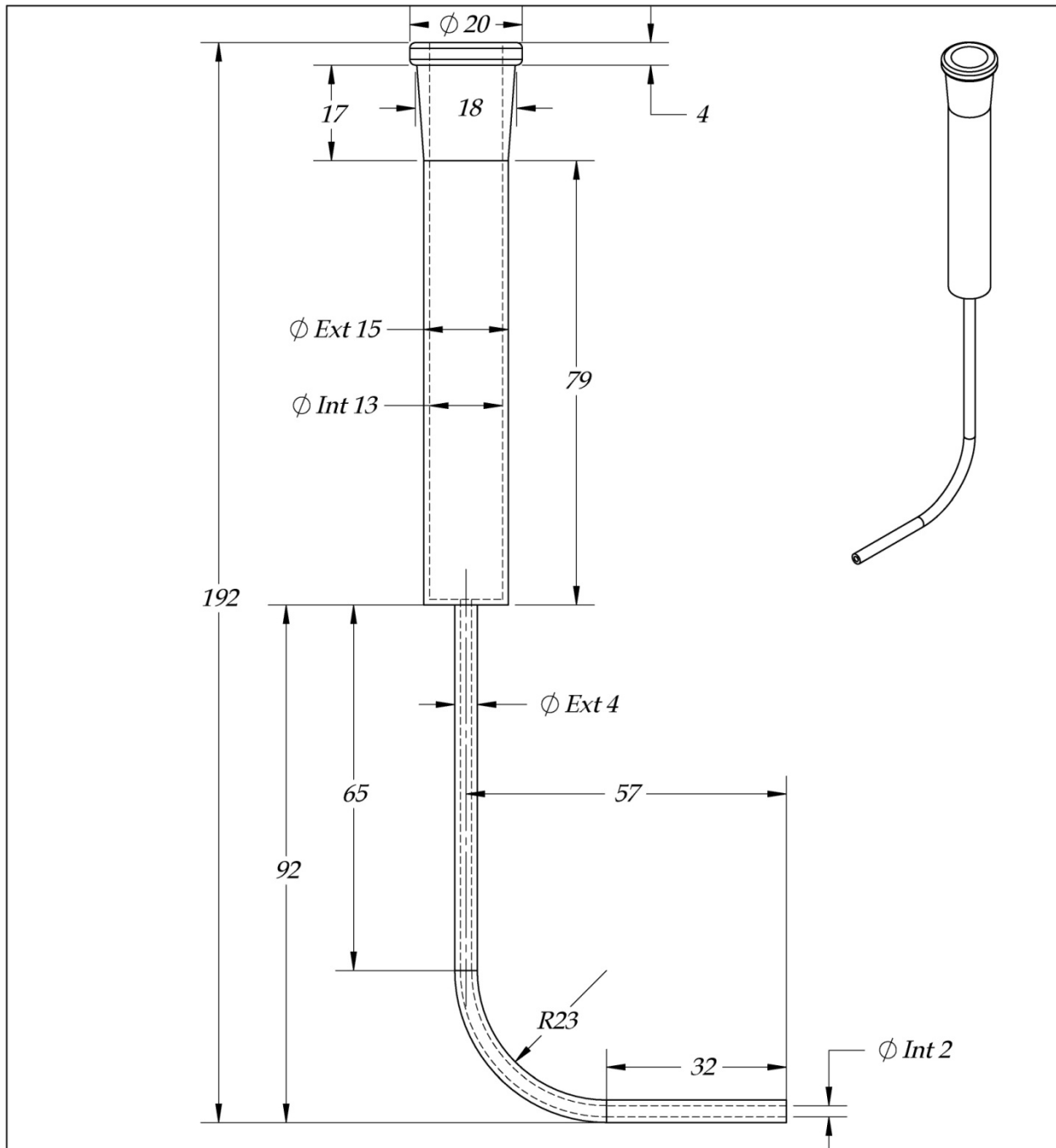
4	Válvula de Bola	1	PVC	Para tubería de 1"	GTCED04	
3	Tubo	1	PVC	1"	GTCED03	
2	Codo	1	PVC	de 90° de 1"	GTCED02	
1	Tubo	1	PVC	1"	GTCED01	
Ref	Descripción	Cant	Material	Especificaciones	Observaciones	
		Nombre	Fecha	<b>Universidad Industrial De Santander</b> Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales Sección: Sistema de la Celda Electroquímica Plano: Desague Código: GTCED00 Material: PVC Escala: 1 : 1    Peso: 80 gr. 100		
		Dibujado:	G. Ramirez			02-09-2007
		Dibujado:	H. Navarro			02-09-2007
		Aprobado 1	R. Niño			15-10-2007
		Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
		NOTA:				
					Formato: A4	
					Cantidad: 1	
					Plano: 80 gr. 100	



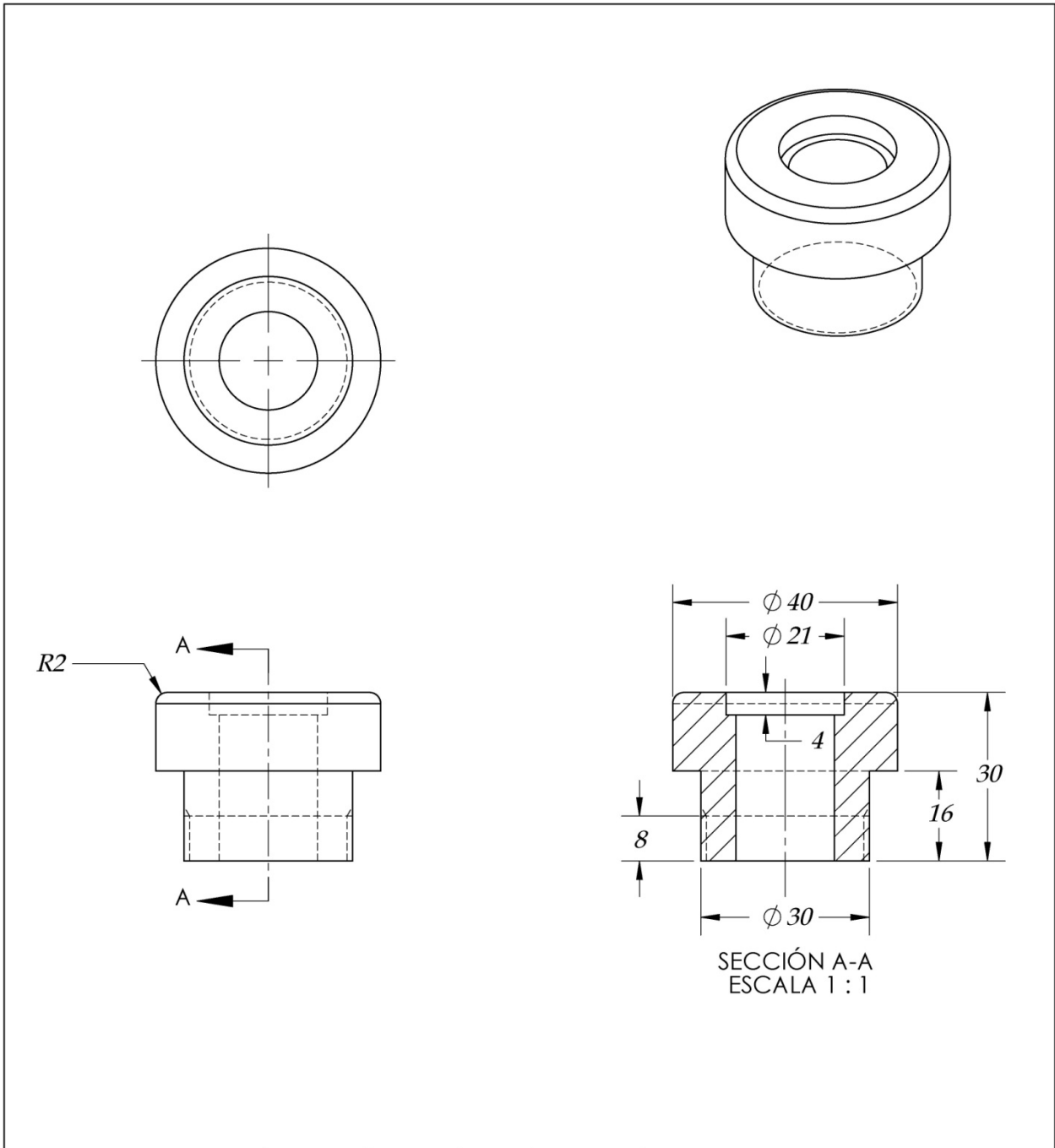
	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
<i>Dibujado:</i>	<i>G. Ramírez</i>	<i>02-09-2007</i>	<i>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</i>	
<i>Dibujado:</i>	<i>H. Navarro</i>	<i>02-09-2007</i>		
<i>Aprobado 1</i>	<i>R. Niño</i>	<i>15-10-2007</i>	<i>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</i>	
<i>Aprobado 2</i>	<i>D. Peña</i>	<i>15-10-2007</i>		
<i>Nota:</i>			<i>Plano: Conjunto Electrodo de Referencia</i>	
			<i>Código: GTCER00</i>	<i>Formato: A4</i>
			<i>Material:</i>	<i>Cantidad: 1</i>
			<i>Escala:</i>	<i>Peso:</i>
				<i>Plano: 81 de 104</i>



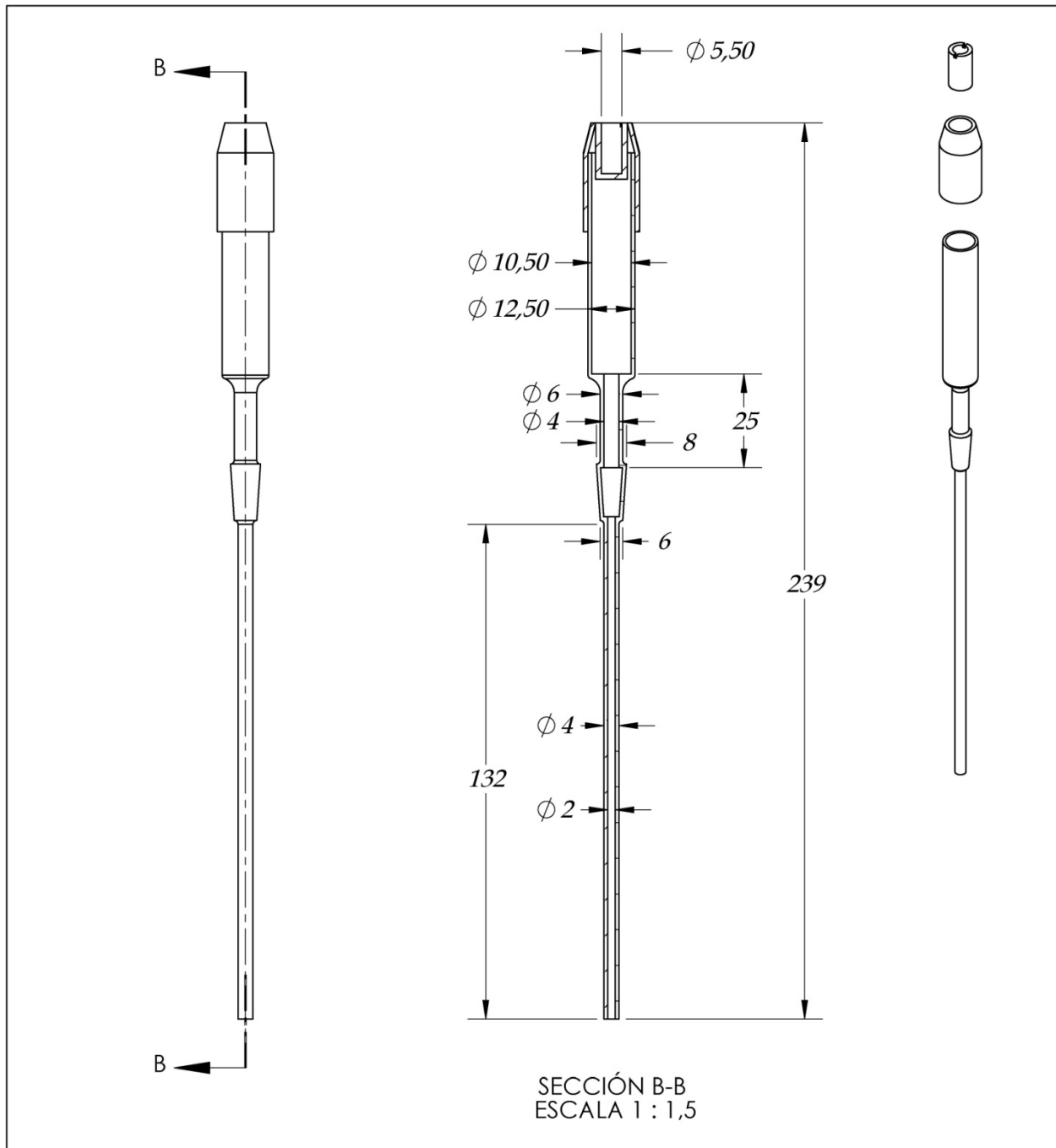
4	Caucho de anclaje del Electrodo de Referencia	1	Caucho			
3	Soporte	1	Naylon 6-6			
2	Electrodo de Referencia	1	Vidrio Pyrex	Sensortechnik Meinsberg GmbH		
1	Tuvo Externo	1	Vidrio Pyrex			
Ref	Descripción	Cant	Material	Especificaciones	Observaciones	
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>		
		Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
		Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
		Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007		
		Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</b>	
	<b>Nota:</b>			<b>Plano: Explosión Electrodo de Referencia</b>		
				<b>Código: GTCER00</b>	<b>Formato: A4</b>	
				<b>Material:</b>	<b>Cantidad: 1</b>	
			<b>Escala:</b>	<b>Peso:</b>	<b>Plano: 82 de 104</b>	



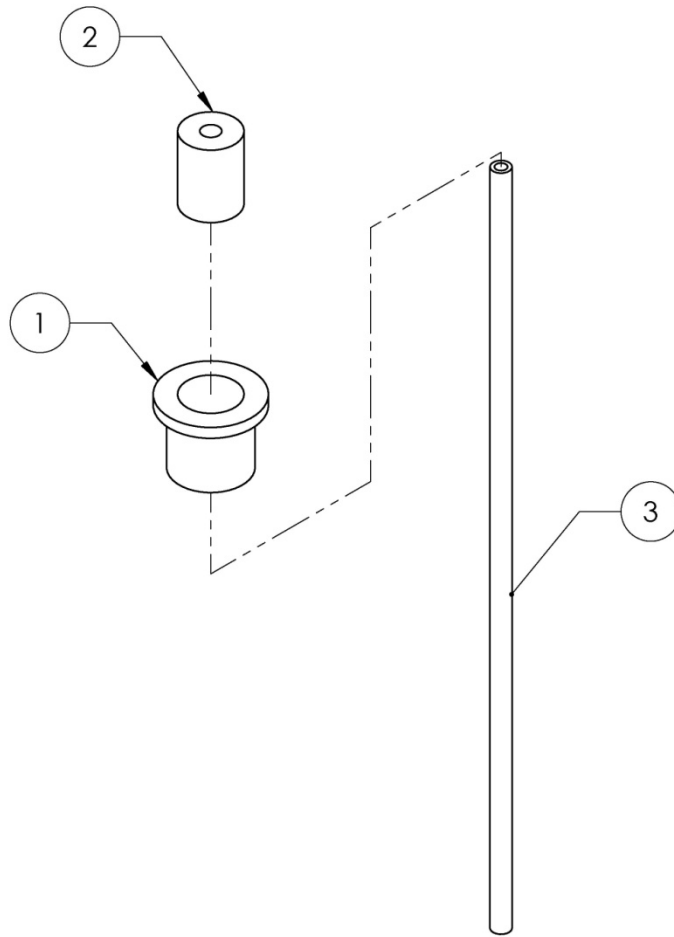
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
	Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
	Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</b>	
	Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
	Nota:			<b>Plano: Tuvo de Soporte del Electrodo</b>	
			<b>Código: GTCER01</b>	<b>Formato: A4</b>	
			<b>Material: Pyrex</b>	<b>Cantidad: 1</b>	
			<b>Escala: 1:1</b>	<b>Peso:</b>	<b>Plano: 83 de 104</b>



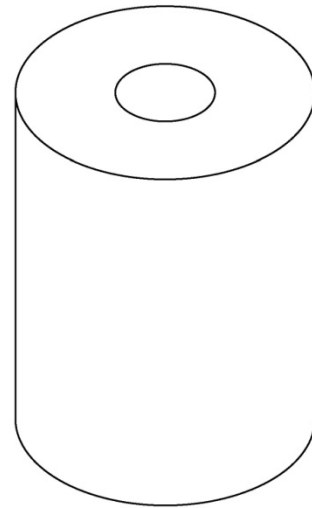
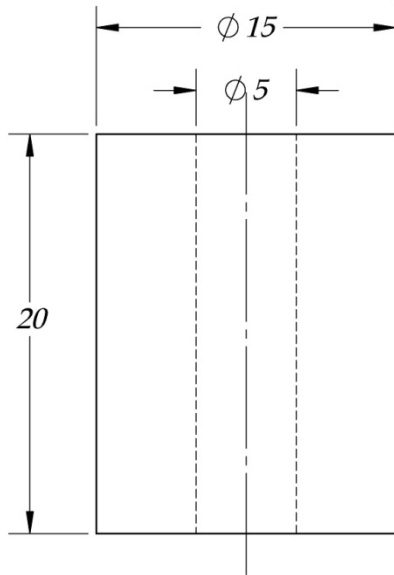
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>G. Ramírez</i>	<i>02-09-2007</i>	<i>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</i>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>H. Navarro</i>	<i>02-09-2007</i>		
	<i>Aprobado 1</i>	<i>R. Niño</i>	<i>15-10-2007</i>	<i>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</i>	
	<i>Aprobado 2</i>	<i>D. Peña</i>	<i>15-10-2007</i>		
	<i>Nota:</i>			<i>Plano: Anclaje a la Lámina</i>	
			<i>Código: GTCER02</i>	<i>Formato: A4</i>	
			<i>Material: Nylon 6-6</i>	<i>Cantidad: 1</i>	
			<i>Escala: 1:1</i>	<i>Peso:</i>	<i>Plano: 84 de 104</i>




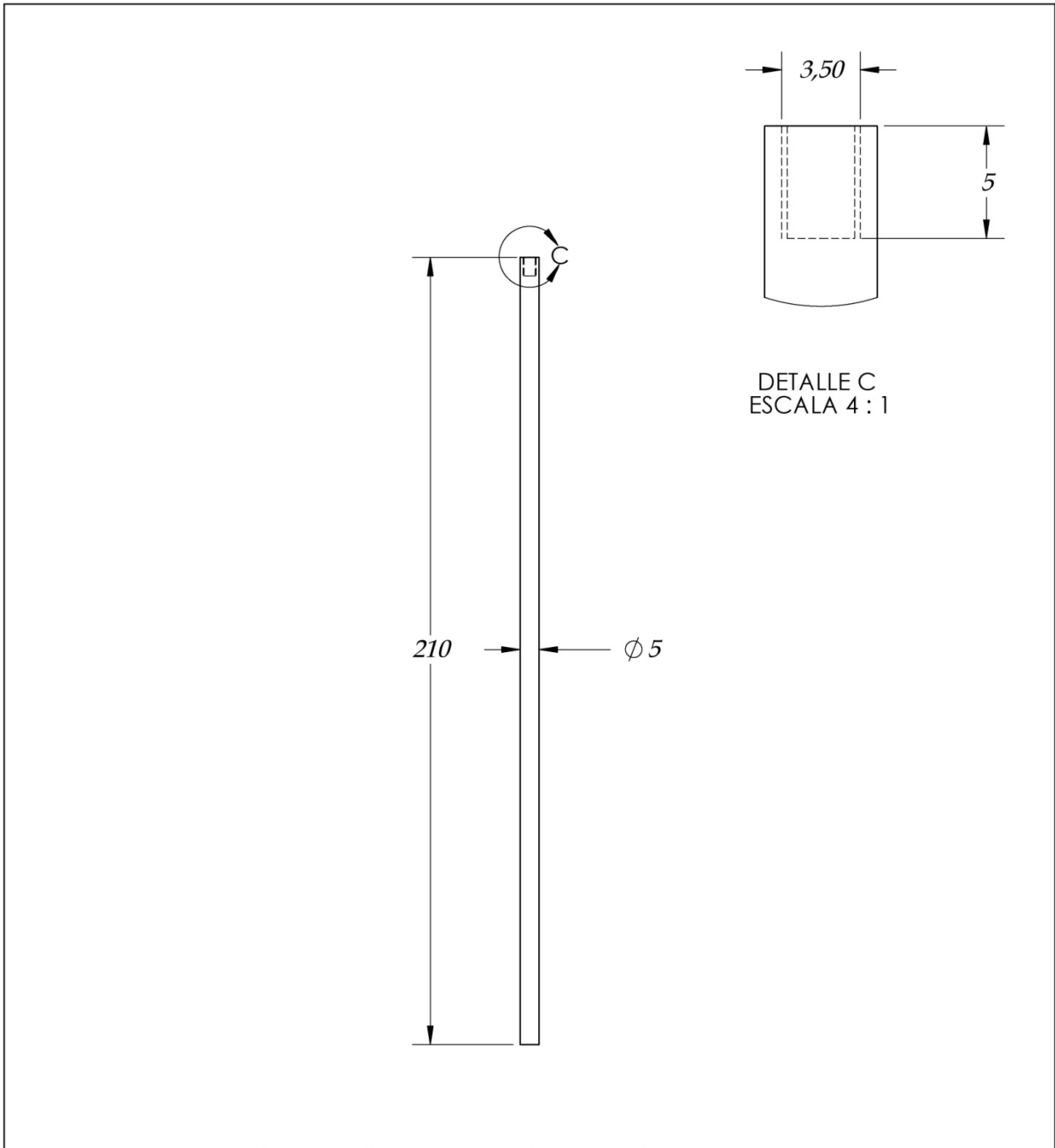
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
	Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
	Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</b>	
	Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
	Nota:			<b>Plano: Electrodo de Referencia</b>	
			<b>Código: GTCER03</b>	<b>Formato: A4</b>	
			<b>Material: Pyrex</b>	<b>Cantidad: 1</b>	
			<b>Escala: 1:1,5</b>	<b>Peso:</b>	<b>Plano: 85 de 104</b>



3	Electrodo Auxiliar o Contraelectrodo	2	Carbón o Acero Inox			
2	Caucho de Sujeción	2	Caucho			
1	Tapon de Anclaje del Electrodo	2	Nylon 6-6			
Ref	Descripción	Cant	Material	Especificaciones	Observaciones	
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>		
		Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b> <b>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</b> <b>Plano: Explosión Contra-Electrodo</b>	
		Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
		Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007		
		Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
	<b>Nota:</b>			<b>Código: GTCEC00</b>	<b>Formato: A4</b>	
				<b>Material: Acero inox 304</b>	<b>Cantidad: 2</b>	
				<b>Escala:</b>	<b>Peso:</b>	
					<b>Plano: 86 de 104</b>	

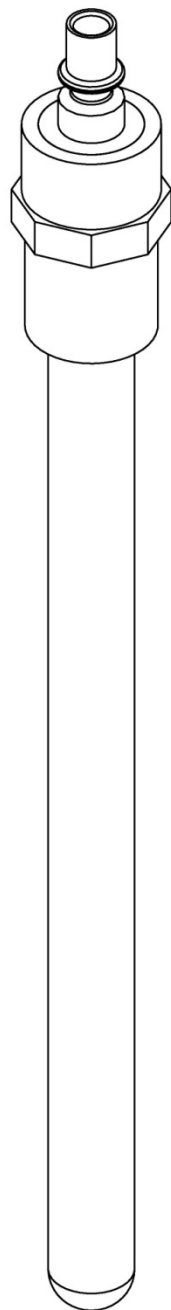



		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>G. Ramírez</i>	<i>02-09-2007</i>	<i>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</i>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>H. Navarro</i>	<i>02-09-2007</i>		
	<i>Aprobado 1</i>	<i>R. Niño</i>	<i>15-10-2007</i>	<b>Sección:</b> Sistema de la Celda Electroquímica <b>Plano:</b> Soporte de Caucho Contraelectrodo	
	<i>Aprobado 2</i>	<i>D. Peña</i>	<i>15-10-2007</i>		
	<b>Nota:</b>			<b>Código:</b> GTCEC01	<b>Formato:</b> A4
			<b>Material:</b> Caucho	<b>Cantidad:</b> 2	
			<b>Escala:</b> 1,5:1	<b>Peso:</b>	<b>Plano:</b> 87 de 104

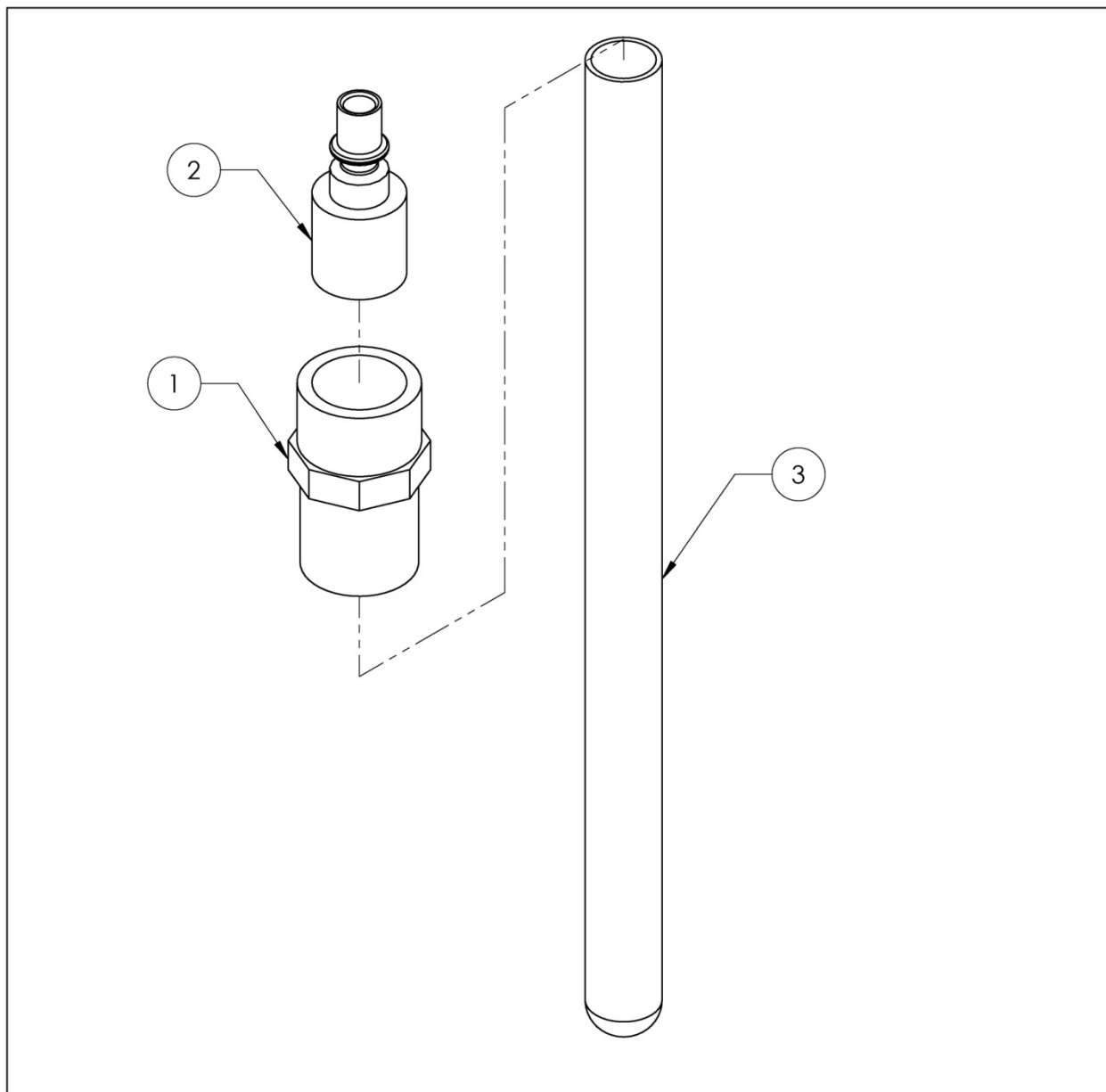


DETALLE C  
ESCALA 4 : 1

		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>G. Ramírez</i>	<i>02-09-2007</i>	<i>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</i>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>H. Navarro</i>	<i>02-09-2007</i>		
	<i>Aprobado 1</i>	<i>R. Niño</i>	<i>15-10-2007</i>	<i>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</i>	
	<i>Aprobado 2</i>	<i>D. Peña</i>	<i>15-10-2007</i>		
	<i>Nota:</i>			<i>Plano: Contraelectrodo</i>	
			<i>Código: GTCEC02</i>	<i>Formato: A4</i>	
			<i>Material: Aleación de Titanio</i>	<i>Cantidad: 2</i>	
			<i>Escala: 1:1,5</i>	<i>Peso:</i>	<i>Plano: 88 de 104</i>



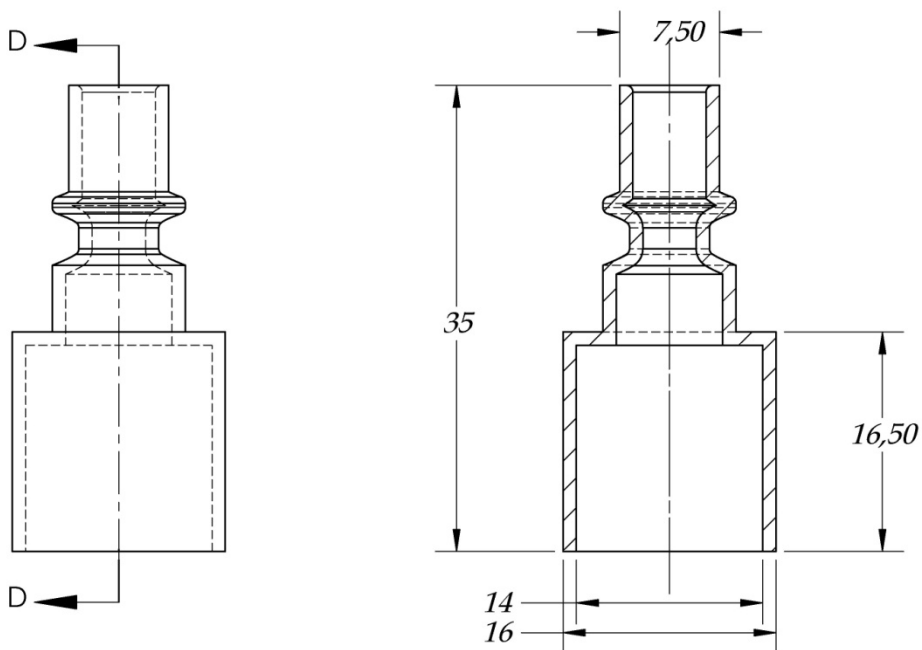
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>G. Ramírez</i>	<i>02-09-2007</i>	<i>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</i>	
	<i>Dibujado:</i>	<i>H. Navarro</i>	<i>02-09-2007</i>		
	<i>Aprobado 1</i>	<i>R. Niño</i>	<i>15-10-2007</i>	<i>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</i>	
	<i>Aprobado 2</i>	<i>D. Peña</i>	<i>15-10-2007</i>		
	<i>Nota:</i>			<i>Plano: Entrada de Gases</i>	
			<i>Código: GTCEG00</i>	<i>Formato: A4</i>	
			<i>Material:</i>	<i>Cantidad: 1</i>	
			<i>Escala:</i>	<i>Peso:</i>	<i>Plano: 89 de 104</i>



3	Tubo de burbujeo	1	Vidrio Pyrex		
2	Acople Rapido de Aire	2			
1	Union macho para tubería CPVC	2	CPVC	1/2 pulg	
Ref	Descripción	Cant	Material	Especificaciones	Observaciones

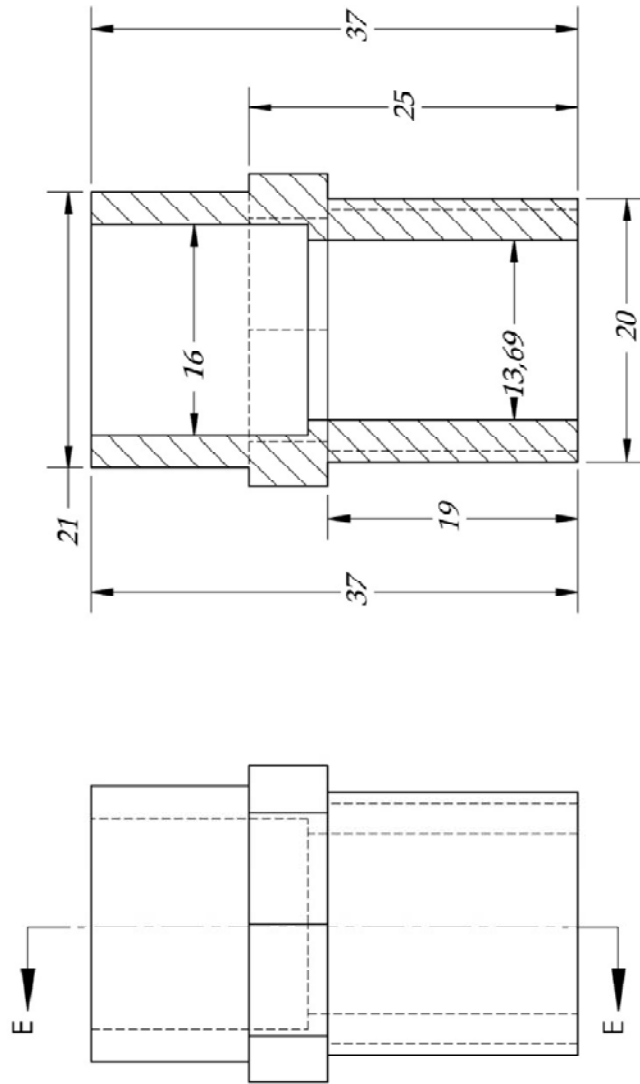
	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>
	Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007	
	Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	<b>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</b>
	Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007	
<b>Nota:</b>			<b>Plano: Explosión Entrada de Gases</b>	
1. Tanto 1 como 2 son utilizados en la entrada como en la salida de gases.			<b>Código: GTCEG00</b>	<b>Formato: A4</b>
			<b>Material:</b>	<b>Cantidad: 1</b>
			<b>Escala:</b>	<b>Peso:</b>
				<b>Plano: 90 de 104</b>

SECCIÓN D-D  
ESCALA 2 : 1

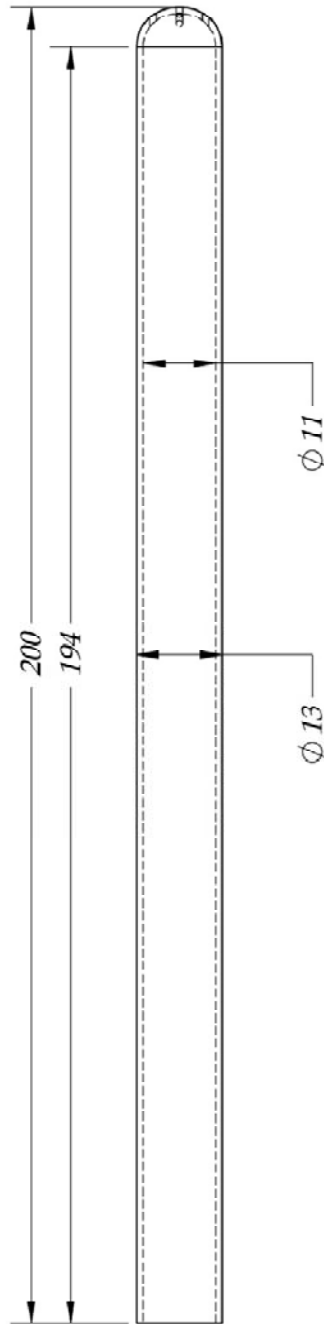
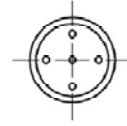


	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
<b>Dibujado:</b>	<i>G. Ramírez</i>	<i>02-09-2007</i>	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
<b>Dibujado:</b>	<i>H. Navarro</i>	<i>02-09-2007</i>		
<b>Aprobado 1</b>	<i>R. Niño</i>	<i>15-10-2007</i>		
<b>Aprobado 2</b>	<i>D. Peña</i>	<i>15-10-2007</i>	<b>Sección: Sistema de la Celda Electroquímica</b>	
<b>Nota:</b>			<b>Plano:</b> <i>Acople Rapido de aire</i>	
			<b>Código:</b> <i>GTCEG01</i>	<b>Formato:</b> <i>A4</i>
			<b>Material:</b>	<b>Cantidad:</b> <i>2</i>
			<b>Escala:</b> <i>2:1</i>	<b>Peso:</b>
				<b>Plano:</b> <i>91 de 104</i>

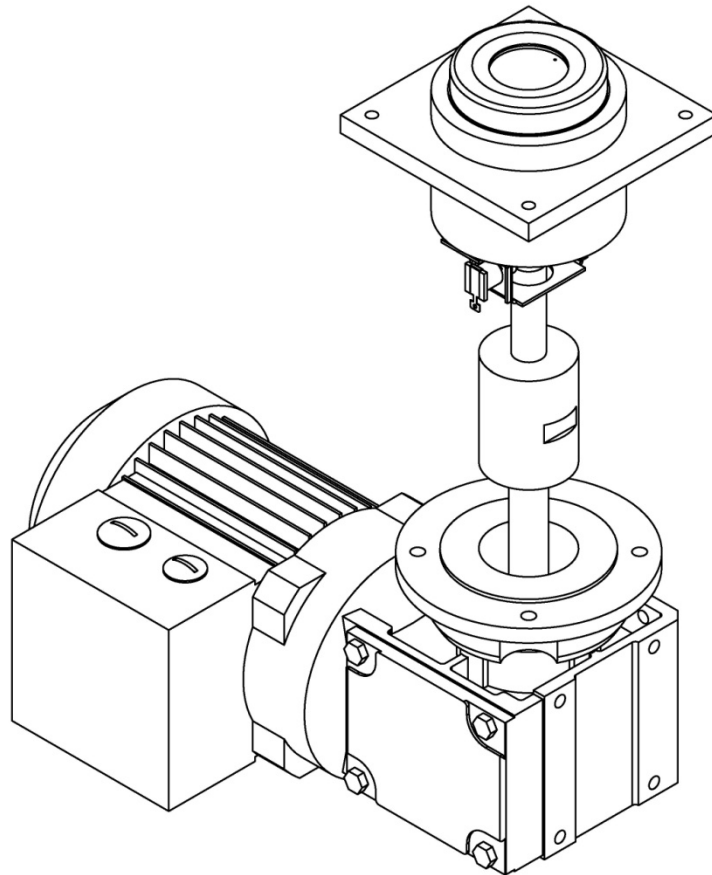
SECCIÓN E-E  
ESCALA 2:1



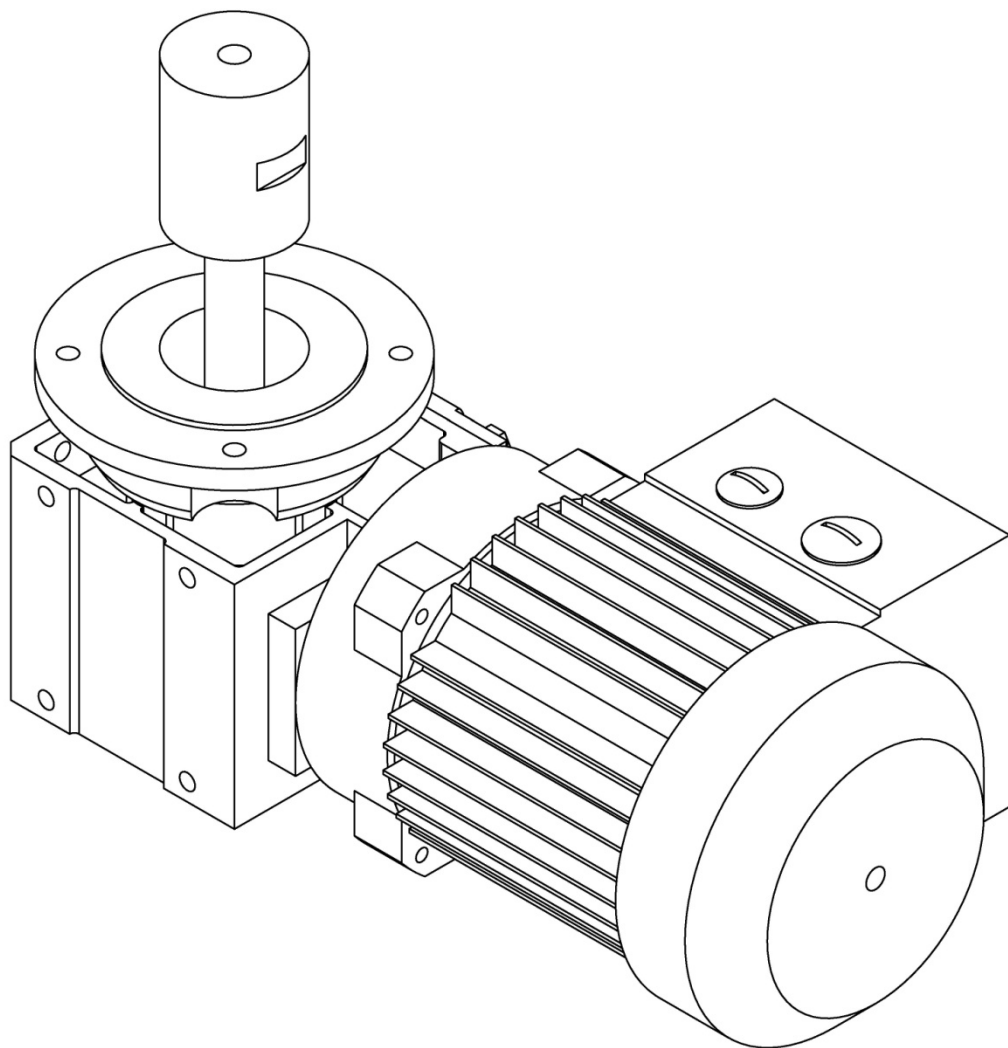
Nombre		Fecha	Universidad Industrial De Santander	
Dibujado:	G. Ramirez	02-09-2007	Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales Sección: Sistema de la Celda Electroquímica Plano: Union macho roscada CPVC Código: GTCEG02 Material: CPVC Escala: 2:1      Peso:	
Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007		
Aprobado 2	D2Bena	15-10-2007		
NOTA:				
		Formato: A4		
		Cantidad: 2		
		Plano: 02 de 104		



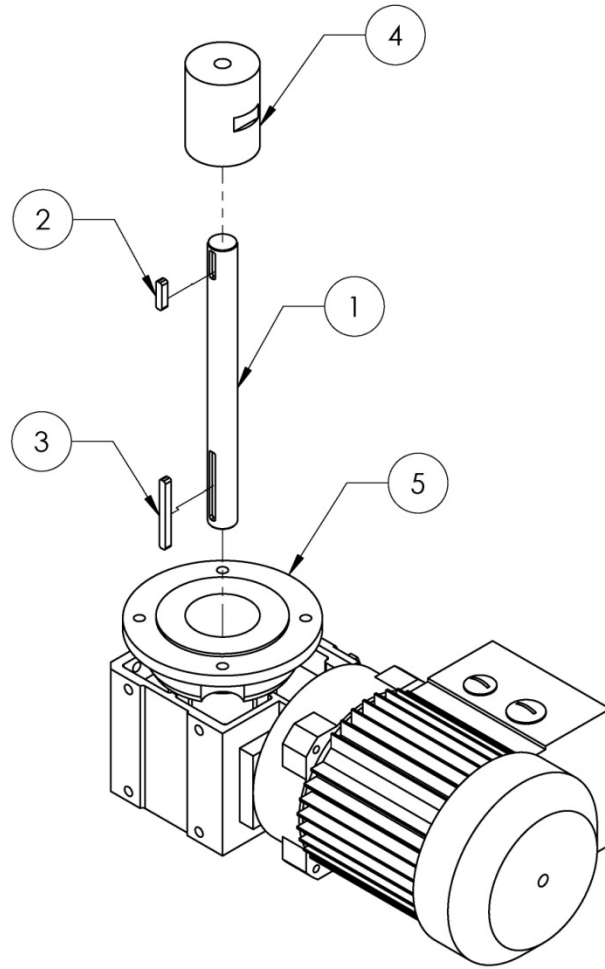
Nombre		Fecha	Universidad Industrial De Santander	
Dibujado:	G. Ramirez	02-09-2007	Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales Sección: Sistema de la Celda Electroquímica Plano: Tubo de vidrio Código: GTCEG03 Material: Pyrex Escala: 1:1      Peso:	
Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007		
Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
NOTA: La punta del tubo debe poseer agujeros para permitir la salida del gas.			Formato: A4	Cantidad: 1
			Plano: 09 de 106	



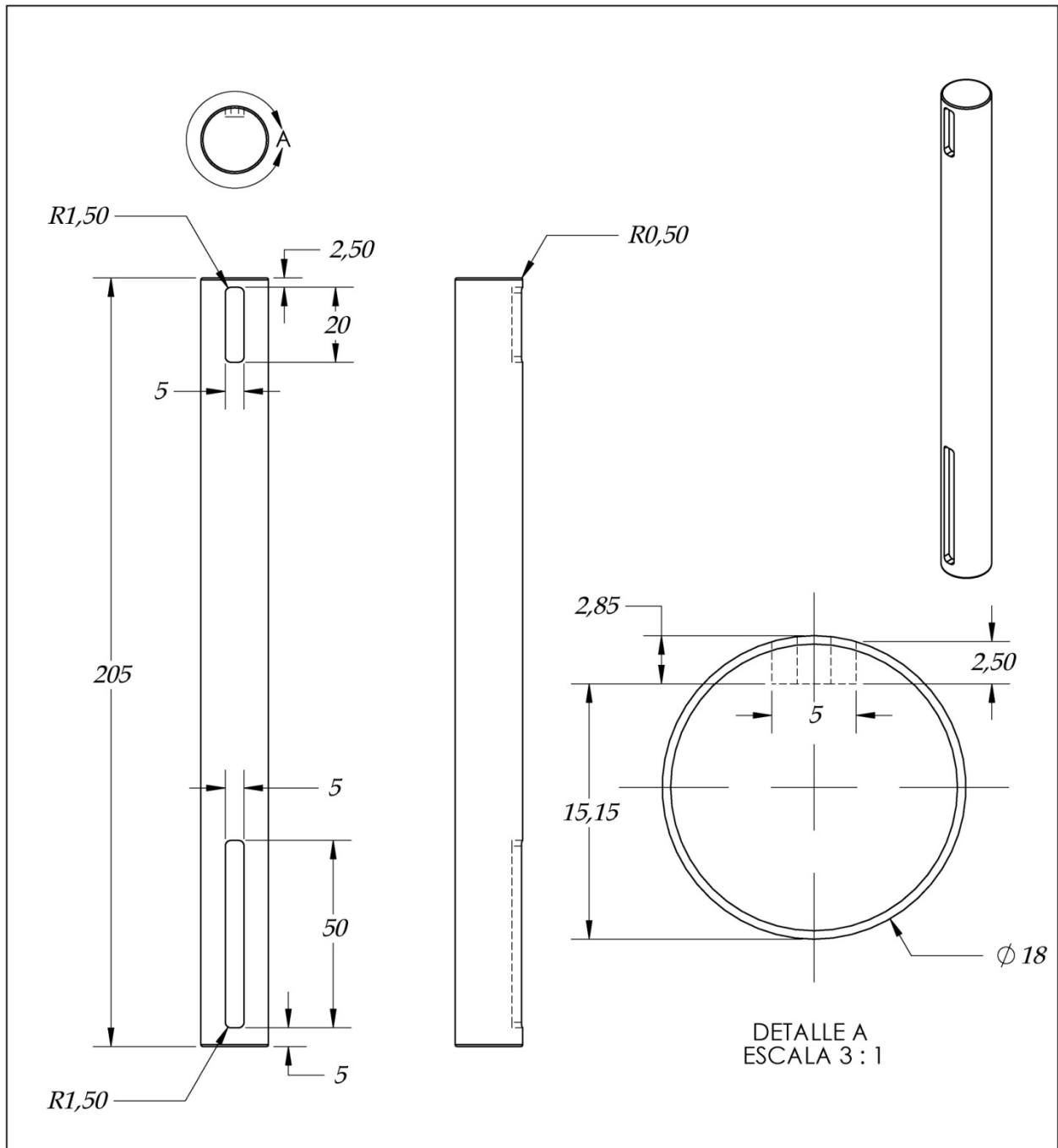
	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>
<b>Dibujado:</b>	<b>G. Ramírez</b>	<b>02-09-2007</b>	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>
<b>Dibujado:</b>	<b>H. Navarro</b>	<b>02-09-2007</b>	
<b>Aprobado 1</b>	<b>R. Niño</b>	<b>15-10-2007</b>	
<b>Aprobado 2</b>	<b>D. Peña</b>	<b>15-10-2007</b>	<b>Sección: Sistema Eléctrico y de Potencia</b>
<b>Nota:</b>			<b>Plano:</b> <i>Isometrica Portaprobeta-sistema de Potencia</i>
			<b>Código:</b> <i>GTEP00</i>
			<b>Formato:</b> <i>A4</i>
			<b>Material:</b>
			<b>Cantidad:</b> <i>1</i>
			<b>Escala:</b>
			<b>Peso:</b>
			<b>Plano:</b> <i>94 de 104</i>



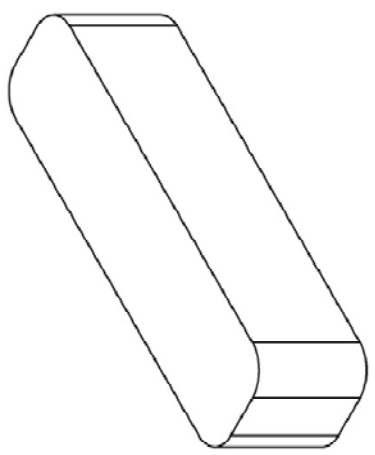
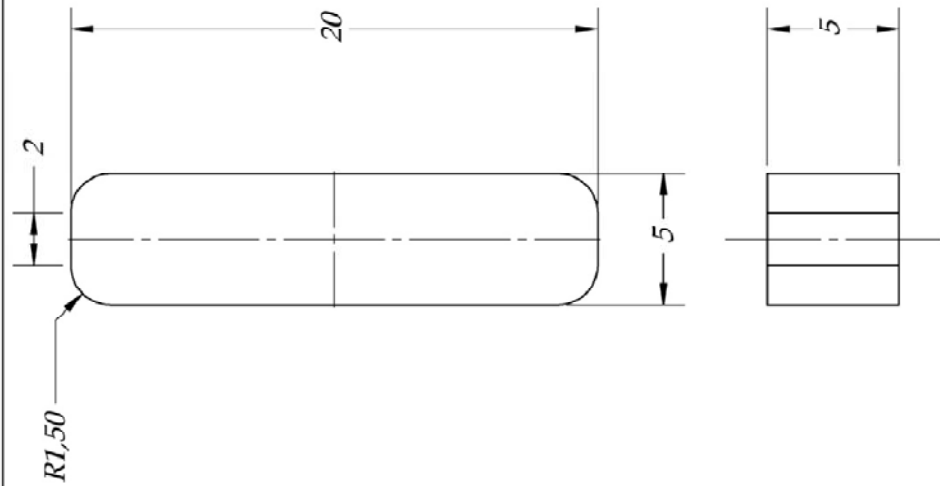
	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
<i>Dibujado:</i>	<i>G. Ramírez</i>	<i>02-09-2007</i>	<i>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</i>	
<i>Dibujado:</i>	<i>H. Navarro</i>	<i>02-09-2007</i>		
<i>Aprobado 1</i>	<i>R. Niño</i>	<i>15-10-2007</i>		
<i>Aprobado 2</i>	<i>D. Peña</i>	<i>15-10-2007</i>	<i>Sección: Sistema Eléctrico y de Potencia</i>	
<i>Nota:</i>			<i>Plano: Isometrica</i>	
			<i>Código: GTEP00</i>	<i>Formato: A4</i>
			<i>Material:</i>	<i>Cantidad: 1</i>
			<i>Escala: 1:2</i>	<i>Peso:</i>
				<i>Plano: 95 de 104</i>




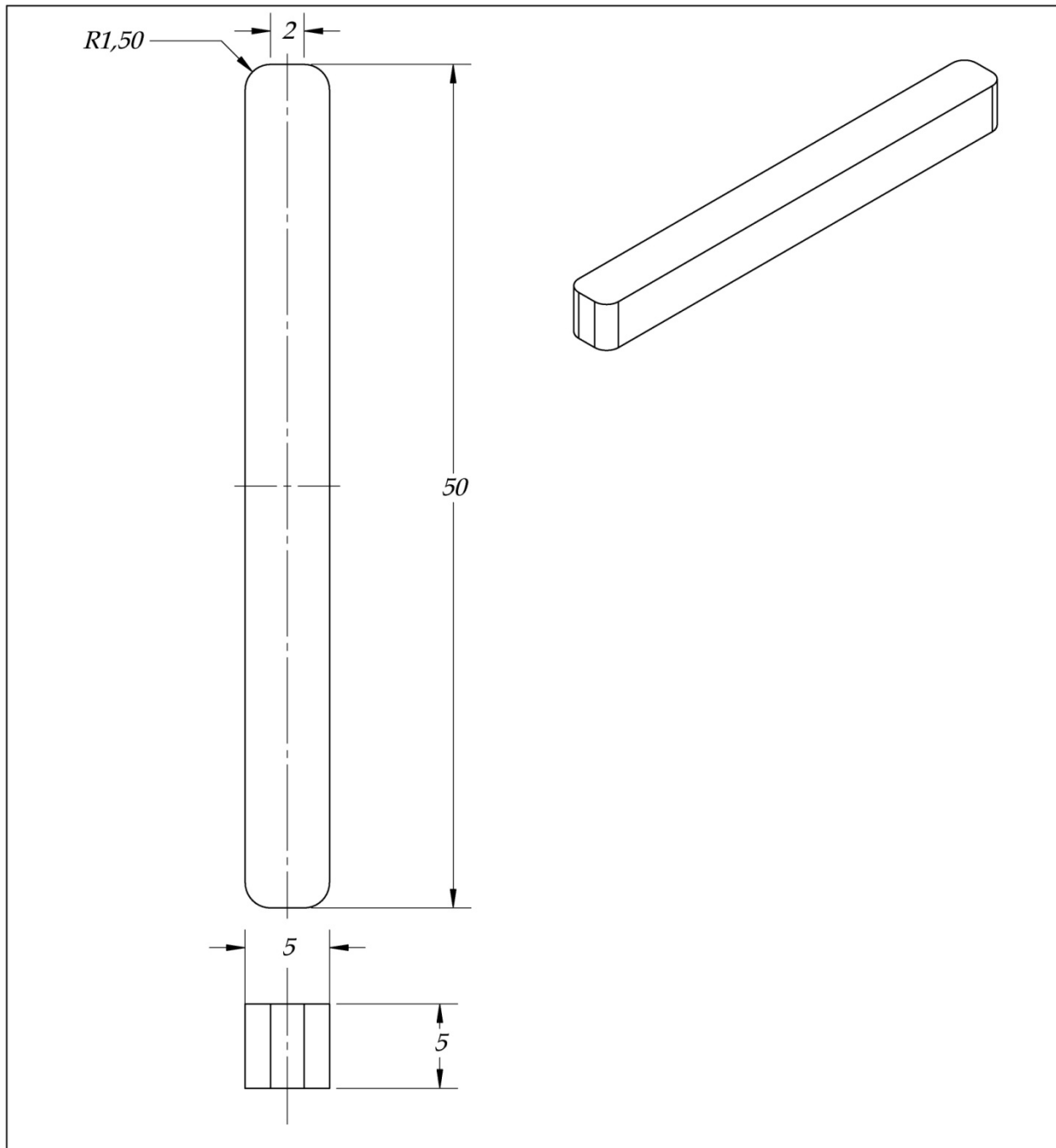
5	Motorreductor	1		SEW WAF20DR63S4		
4	Acople Dieléctrico	1	Nylon 6-6			
3	Cuña Eje-Motorreductor	1	Acero AISI 1020			
2	Cuña Eje-Acople	1	Acero AISI 1020			
1	Eje	1	Acero AISI 1020			
Ref	Descripción	Cant	Material	Especificaciones	Observaciones	
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>		
		Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
		Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
		Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007		
		Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007	<b>Sección: Sistema Eléctrico y de Potencia</b>	
	<b>Nota:</b>			<b>Plano: Explosión</b>		
				<b>Código: GTEP00</b>	<b>Formato: A4</b>	
				<b>Material:</b>	<b>Cantidad: 1</b>	
				<b>Escala:</b>	<b>Peso:</b>	
					<b>Plano: 36 de 104</b>	




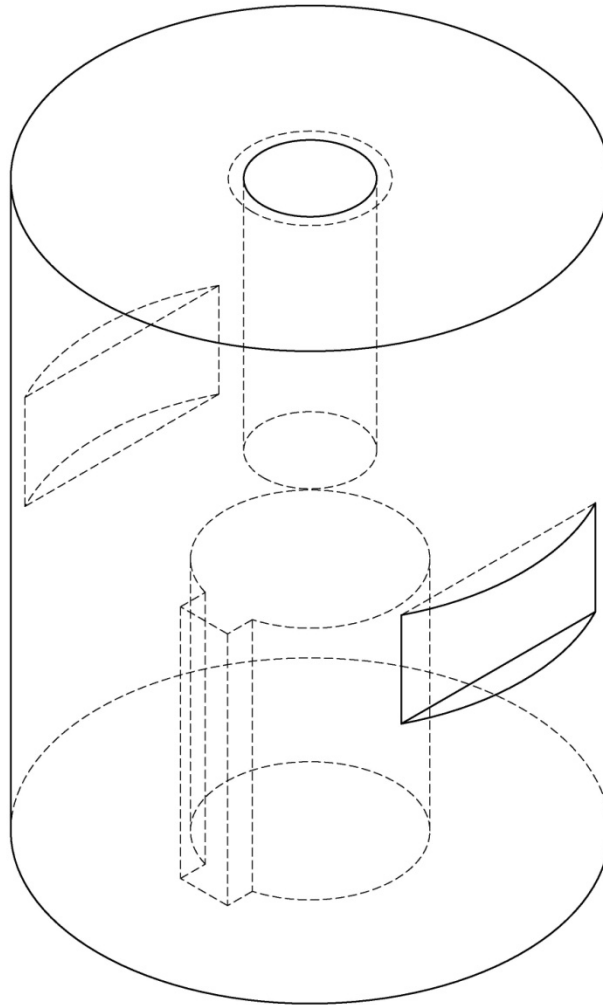
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
	Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
	Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	<b>Sección: Sistema Eléctrico y de Potencia</b>	
	Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
	Nota:				<b>Plano: Eje</b>
				<b>Código: GTEP01</b>	<b>Formato: A4</b>
				<b>Material: Acero AISI 1020</b>	<b>Cantidad: 1</b>
				<b>Escala: 1:1,5</b>	<b>Peso:</b>
					<b>Plano: 97 de 104</b>



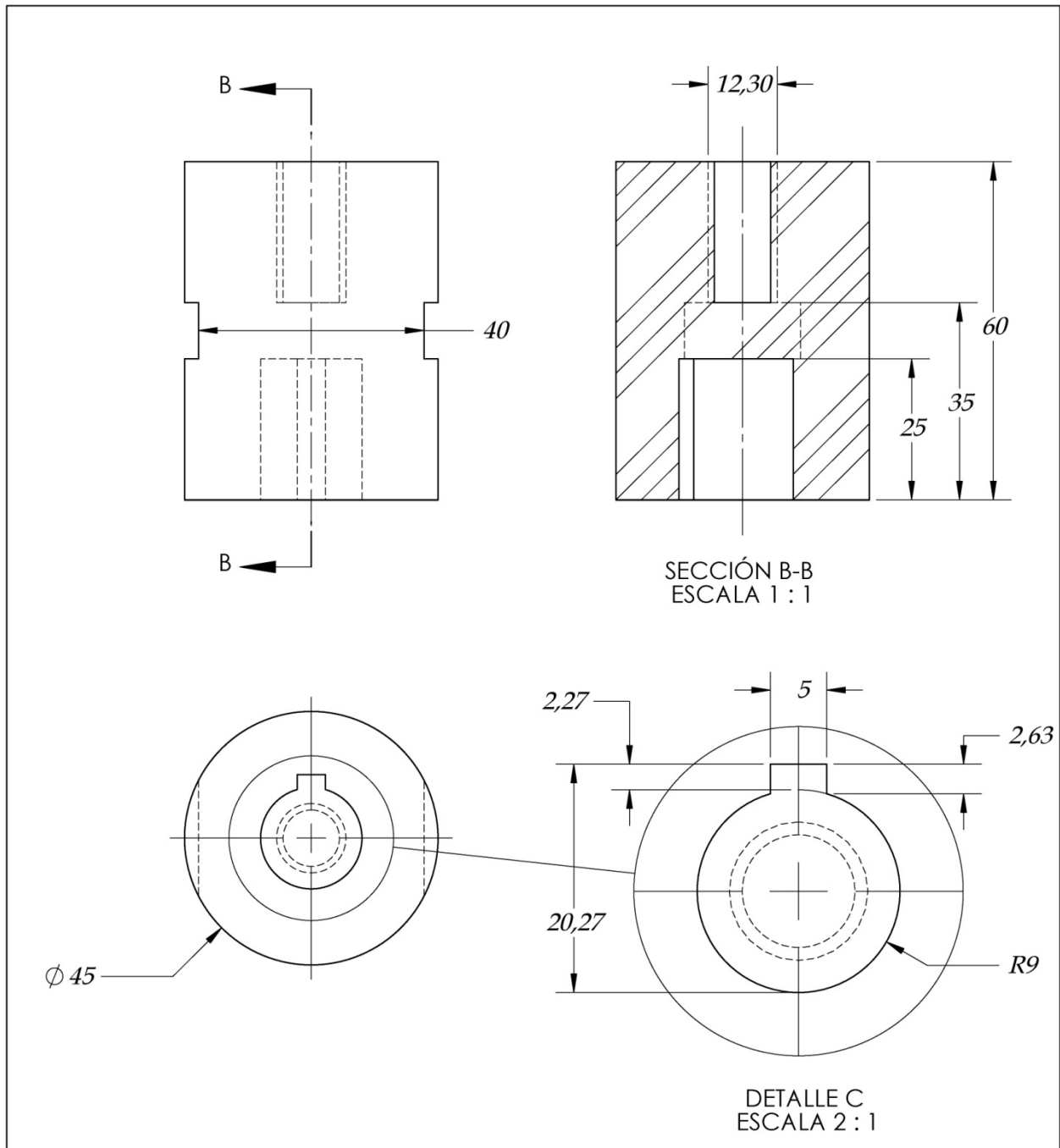
	<b>Dibujado:</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>  <b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>  <b>Sección: Sistema Eléctrico y de Potencia</b> <b>Plano: Cuña Eje-Acople</b> <b>Código: GTEP02</b> <b>Material: Acero AISI 1020</b> <b>Escala: 4:1</b>
	<b>Dibujado:</b>	<b>H. Navarro</b>	<b>02-09-2007</b>	
	<b>Aprobado 1</b>	<b>R. Niño</b>	<b>15-10-2007</b>	
	<b>Aprobado 2</b>	<b>D. Peña</b>	<b>15-10-2007</b>	
<b>NOTA:</b>				<b>Formato: A4</b> <b>Cantidad: 1</b> <b>Peso:</b>



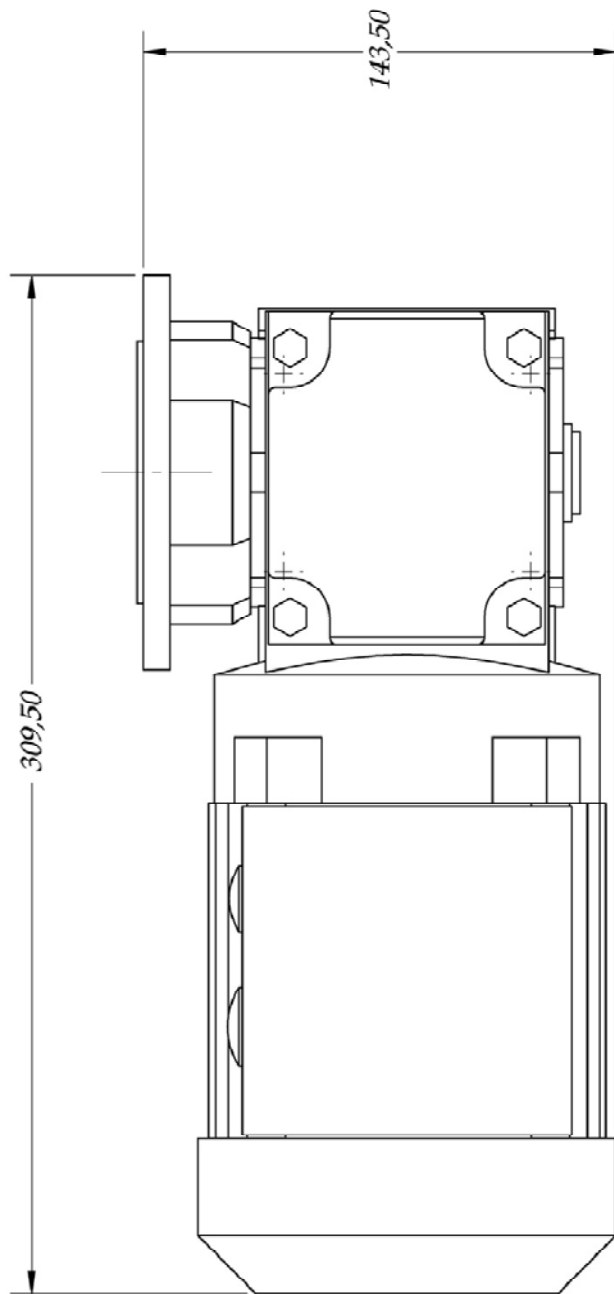
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	Dibujado:	G. Ramirez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
	Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
	Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007		
	Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007	<b>Sección: Sistema Eléctrico y de Potencia</b>	
	Nota:			<b>Plano: Cuña Eje-Motorreductor</b>	
			<b>Código: GTEP03</b>	<b>Formato: A4</b>	
			<b>Material: Acero AISI 1020</b>	<b>Cantidad: 1</b>	
			<b>Escala: 3:1</b>	<b>Peso:</b>	<b>Plano: 99 de 104</b>




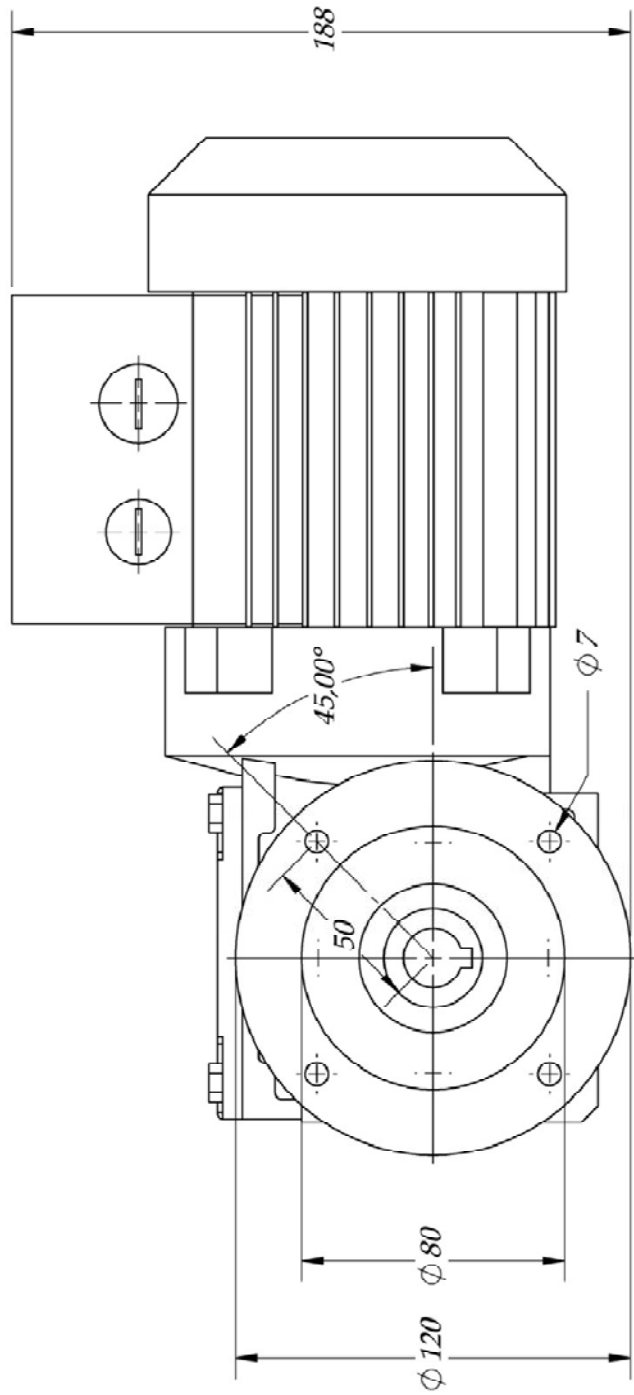
	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
<i>Dibujado:</i>	<b>G. Ramírez</b>	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
<i>Dibujado:</i>	<b>H. Navarro</b>	02-09-2007		
<i>Aprobado 1</i>	<b>R. Niño</b>	15-10-2007	<b>Sección: Sistema Eléctrico y de Potencia</b>	
<i>Aprobado 2</i>	<b>D. Peña</b>	15-10-2007		
<b>Nota:</b>			<b>Plano: Isométrica Acople Dieléctrico</b>	
			<b>Código: GTEP04</b>	<b>Formato: A4</b>
			<b>Material: Nylon 6-6</b>	<b>Cantidad: 1</b>
			<b>Escala: 2:1</b>	<b>Peso:</b>
				<b>Plano: 100 de 104</b>




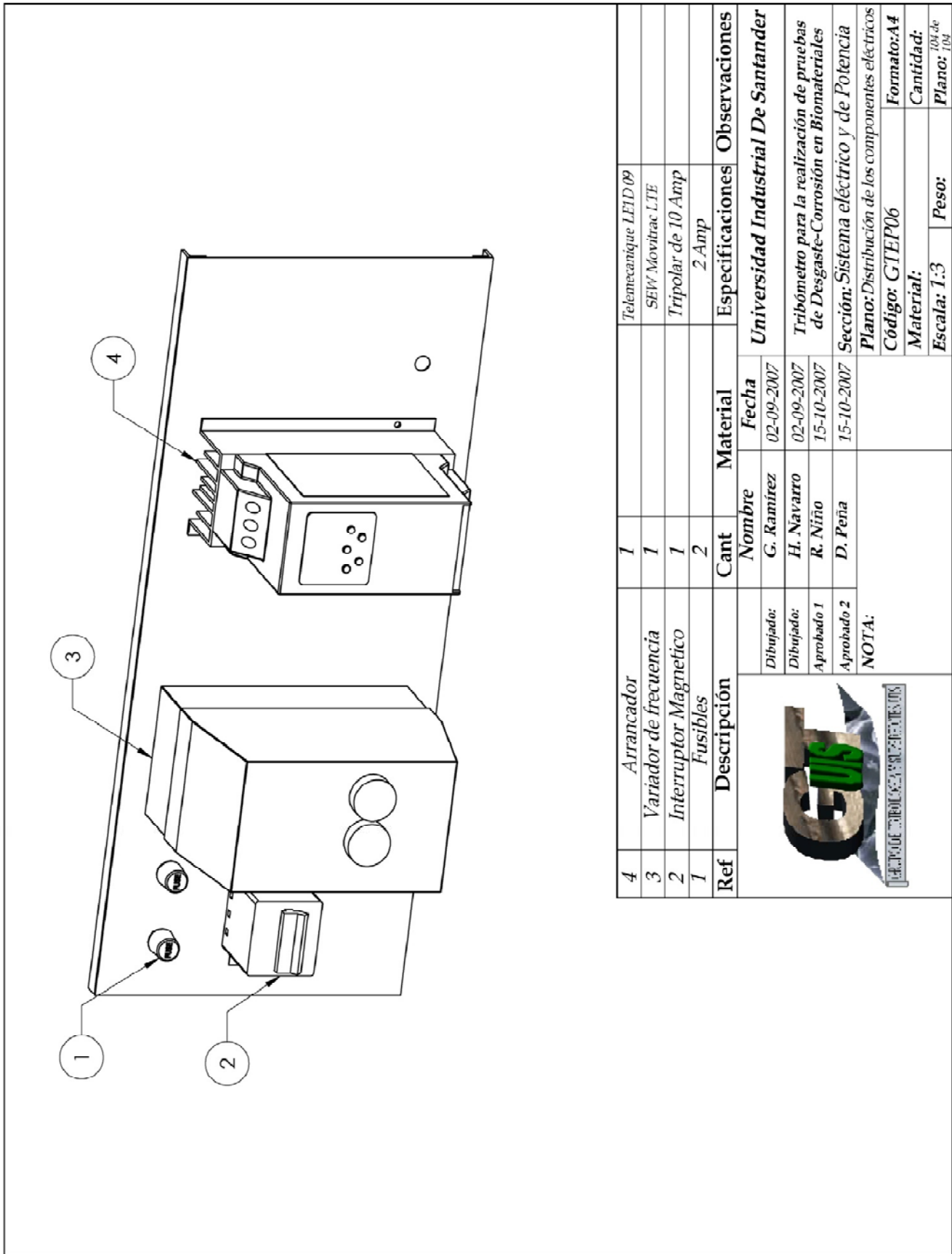
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b>	
	Dibujado:	G. Ramírez	02-09-2007	<b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b>	
	Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		
	Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007	<b>Sección: Sistema Eléctrico y de Potencia</b>	
	Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		
	Nota:				<b>Plano: Detalles Acople Dieléctrico</b>
				<b>Código: GTEP04</b>	<b>Formato: A4</b>
				<b>Material: Nylon 6-6</b>	<b>Cantidad: 1</b>
				<b>Escala:</b>	<b>Peso:</b>
					<b>Plano: 101 de 104</b>




		<b>Dibujado:</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b> <b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b> <b>Sección: Sistema Eléctrico y de Potencia</b> <b>Plano: Dimensiones Generales Motorreductor</b> <b>Código: GTEP05</b> <b>Material:</b> <b>Escala: 1:2</b> <b>Peso:</b>
		<b>Dibujado:</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	
		<b>Aprobado 1</b>	<b>H. Navarro</b>	<b>02-09-2007</b>	
		<b>Aprobado 2</b>	<b>R. Niño</b>	<b>02-09-2007</b>	
			<b>D. Peña</b>	<b>15-10-2007</b>	
		<b>NOTA:</b>			
					<b>Formato: A4</b>
					<b>Cantidad: 1</b>
					<b>Plano: 102 de 104</b>



		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Universidad Industrial De Santander</b> <b>Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales</b> <b>Sección: Sistema Eléctrico y de Potencia</b> <b>Plano: Dimensiones Generales Motorreductor</b> <b>Código: GTEP05</b> <b>Material:</b> <b>Escala: 1:2</b> <b>Peso:</b>
		Dibuñado: Dibuñado: Aprobado 1 Aprobado 2 NOTA:	G. Ramirez H. Navarro R. Niño D. Peña	
				<b>Formato: A4</b> <b>Cantidad: 1</b> <b>Plano: 108 de 104</b>



4	Arrancador	1		Telemecanique LEID 09		
3	Variador de frecuencia	1		SEW Movitrac LTE		
2	Interrupcion Magnético	1		Tripolar de 10 Amp		
1	Fusibles	2		2 Amp		
Ref	Descripción	Cant	Material	Especificaciones	Observaciones	
		<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>			
		Dibujado:	G. Ramirez	02-09-2007		<b>Universidad Industrial De Santander</b>
		Dibujado:	H. Navarro	02-09-2007		Tribómetro para la realización de pruebas de Desgaste-Corrosión en Biomateriales
		Aprobado 1	R. Niño	15-10-2007		Sección: Sistema eléctrico y de Potencia
	Aprobado 2	D. Peña	15-10-2007		Plano: Distribución de los componentes eléctricos	
	<b>NOTA:</b>				Código: GTEP06	
					Material: GTEP06	
					Formato: A4	
					Cantidad: 104 de	
					Peso: 104 de	
					Escala: 1:3	