



SEP

SES

TecNM

---

---

## INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA

“DISEÑO DE SONDA PARA RECOLECCIÓN DE  
SEDIMENTO”

TITULACIÓN INTEGRAL  
TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

P R E S E N T A:  
JUAN MANUEL RODRÍGUEZ MONTOYA  
No. CONTROL:  
12280787

ASESOR:  
ING. JUAN JOSÉ LUNA TORRES

COASESORA:  
DRA. MARÍA DEL CARMEN CARREÑO DE LEÓN



**SEP**

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de

**RECIBIDO**

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

04 MAR 2019

ANEXO III

Formato de liberación del proyecto para la titulación integral

HORA

OFICINA DE APOYO A LA TITULACION

Metepec, Méx., 04/marzo/2019

ASUNTO: Liberación de Proyecto para Titulación integral

ING. MIGUEL ANGEL TERRAZAS MAGAÑA  
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES.  
PRESENTE.

Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación integral.

a) Nombre del Egresado	JUAN MANUEL RODRÍGUEZ MONTOYA
b) Carrera:	ELECTROMECAICA
c) No. de Control	1228087
d) Nombre del proyecto	"DISEÑO DE SONDA PARA RECOLECCIÓN DE SEDIMENTO"
e) Producto	TITULACIÓN INTEGRAL TESIS PROFESIONAL

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados

**A T E N T A M E N T E**

*"Educación, integridad y ciencia"*



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
TECNOLÓGICO NACIONAL  
DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA  
DEPARTAMENTO DE METAL - MECÁNICA

M. en C. DANIEL HERNÁNDEZ GONZÁLEZ  
JEFE DEL DEPTO. DE METAL MECÁNICA

ING. JUAN JOSÉ LUNA TORRES Asesor	M. en T.E. MANUEL ORTIZ FOSADO Revisor	M. en S.H.O. VIVIANO GARCÍA SÁNCHEZ Revisor

c.c.p. Archivo

DHG\*ngc



Av. Tecnológico S/N, Col. Agrícola Bellavista, C.P. 52149,  
Metepec, Estado de México. Tels. Dirección (01722) 208 7205, Subd. Académica 208 7207  
Subd. de Planeación 208 7206, Subd. Administrativa 208 7208, Conmut. 208 72 00  
e-mail: info@toluca.tecnm.mx, www.toluca.tecnm.mx





**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

Instituto Tecnológico de Toluca

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Metepec, Edo. de México, 04 / marzo / 2019.

DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TRABAJO PROFESIONAL

**C. JUAN MANUEL RODRÍGUEZ MONTOYA**  
PASANTE DE LA CARRERA DE  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

De acuerdo con el Reglamento de Titulación del Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica, dependiente de la Subsecretaría de Educación Superior de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora realizó, con respecto a su trabajo profesional en la OPCIÓN TITULACIÓN INTEGRAL: TESIS PROFESIONAL, con el tema denominado: "DISEÑO DE SONDA PARA RECOLECCIÓN DE SEDIMENTO". La División de Estudios Profesionales concede su autorización para que proceda la impresión del mismo.

ATENTAMENTE

"Educación, integridad y ciencia"

  
ING. MIGUEL ÁNGEL TERRAZAS MAGAÑA  
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
TECNOLÓGICO NACIONAL  
DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA  
DIVISIÓN DE  
ESTUDIOS PROFESIONALES

MATM\*mppd\*



Av. Tecnológico S/N, Col. Agrícola Bellavista, C.P. 52149,  
Metepec, Estado de México. Tels. Dirección (01722) 208 7205, Subd. Académica 208 7207,  
Subd. de Planeación 208 7206, Subd. Administrativa 208 7208, Conmut. 208 72 00  
e-mail: info@toluca.tecnm.mx, www.toluca.tecnm.mx



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a las Instituciones por el logro del presente trabajo:

Al **Instituto Tecnológico de Toluca** y al Laboratorio de Investigación en Ingeniería Ambiental de la misma institución por las instalaciones brindadas para la realización de esta investigación.

Al **Tecnológico Nacional de México**, por haberme permitido formar parte de este proyecto de doctorado y por los fondos destinados para la investigación con el número de proyecto 5891.16-P.

### **A MIS ASESORES:**

#### ***AL ING. JUAN***

Por su ayuda y comprensión al encontrar una oportunidad para realizar mis prácticas profesionales. Por su conocimiento técnico y consejos transmitidos en cada asesoría y revisión de mi proyecto.

#### ***AL DR. FÉLIX***

Por la confianza al permitirme formar parte de su gran proyecto y por todo el apoyo que me brindo durante la realización del mismo.

#### ***A LA DRA. CARREÑO***

Por su paciencia y dedicación en cada revisión de mi proyecto, además de sus consejos para hacer un mejor reporte.

### **A MI FAMILIA:**

#### ***A MI MAMÁ***

Por darme la vida y ser la mejor mamá que alguien pueda tener, por todo tu amor y cuidados además de todo el apoyo que me has dado siempre, por buscar la forma de siempre sacarnos adelante.

### ***A MI PAPÁ***

Por ser el mejor ejemplo de cómo ser un gran hombre, por todos los sacrificios y el esfuerzo que haces en tu trabajo para mantener a la familia sin importar que tan difícil sea el camino. Por todo el amor que me has dado, por siempre creer en mí y darme toda tu confianza.

### ***A MIS HERMANOS***

A Karla por darme un buen ejemplo como hermana mayor y por traer a la vida a Juanpa que siempre me saca una sonrisa. A Daniel por tu cariño y carisma al siempre tratar de siempre hacerme reír.

### ***A NELLY***

Por estar siempre a mi lado y ayudarme a lidiar con todo mi estrés, por todo tu amor y comprensión, por apoyarme en cada momento desde que te conozco y sobre todo por encontrar siempre la manera de hacerme feliz.

## RESUMEN

Actualmente en nuestro país una gran parte del agua presenta algún grado de contaminación y esto va en aumento, lo que obliga a hacer estudios más frecuentes del impacto ambiental no solo en el agua, sino también en los sedimentos, que es donde queda finalmente el registro de los contaminantes.

En este proyecto se diseñó y construyó una sonda capaz de obtener muestras de sedimento en los cuerpos de agua, esto para analizar dichas muestras por medio de la medición *in situ* con el fin de monitorear distintos parámetros como CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> disuelto, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, pH, temperatura y conductividad en sedimentos, realizar más análisis y tener datos estadísticos más cercanos al problema real.

La profundidad de penetración de la sonda es una parte importante en el proyecto debido a que las muestras son más significativas en las capas medias del sedimento (donde existe actividad metanogénica). Se realizaron pruebas de penetración con distintos tubos de prueba para encontrar la geometría más adecuada para la sonda, los resultados mostraron que a menor superficie de contacto mayor penetración.

Debido a lo anterior la muestra permanecerá dentro de la sonda por vacío al extraer el dispositivo del sedimento, ya que colocar una tapa aumentaría la superficie de contacto comprometiendo la penetración. Se utilizaron juntas tóricas para sellar el dispositivo, logrando así el vacío en la sonda y a su vez evitando fugas.

Se realizaron pruebas al dispositivo para determinar su buen funcionamiento y que además cumpla con los requerimientos iniciales del proyecto; los resultados obtenidos en las pruebas fueron satisfactorios por lo que el primer prototipo funciona bien cumpliendo con las características necesarias.

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1 FUNDAMENTOS	2
1.1 Sedimentos	2
1.1.1 Contaminación de sedimentos	2
1.1.2 Objetivos de un muestreo de suelos o sedimentos	3
1.1.3 Dispositivos usados en el muestreo de sedimentos	4
1.2 Materiales	7
1.2.1 Clasificación del acero inoxidable	7
1.2.2 Acero inoxidable 304 y 304L	9
1.2.3 Acero inoxidable 316 y 316L	10
1.2.4 Tubos de acero inoxidable	12
1.3 Métodos de unión para tubos de acero inoxidable	13
1.3.1 Soldadura	13
1.3.2 Unión por roscas	17
1.4 Sello mecánico	21
1.4.1 Junta tórica	21
1.4.2 Formas de montaje	23
1.4.3 Elección del junta tórica	24
1.4.4 Diseño de la ranura	25
2 MÉTODO	27
2.1 Selección del material	28
2.2 Cilindro	29
2.2.1 Pruebas de penetración	30
2.2.2 Diseño del cilindro	35
2.3 Vástago	41
2.3.1 Diseño del vástago	41
2.4 Tapa	46

2.4.1	Diseño de la tapa	46
2.5	Pistón	49
2.5.1	Selección del material	49
2.5.2	Diseño del pistón	50
2.6	Limpieza de la sonda	55
3	RESULTADOS	56
3.1	Prototipo de sonda	56
3.1.1	Funcionamiento	57
3.1.2	Peso y altura del prototipo	58
3.2	Pruebas de funcionamiento	60
3.3	Escala en vástago	63
3.4	Comparación contra equipos en el mercado	64
	CONCLUSIONES	66
	RECOMENDACIONES	67
	REFERENCIAS	68
	ANEXOS	72
	Anexo 1. Prueba de Funcionamiento	72
	Anexo 2. Probeta de medición	73
	Anexo 3. Muestra retenida en la sonda por vacío	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Muestreador tipo draga Ekkman	5
Figura 1.2 Muestreadores a) Shipek y b) Ponar	5
Figura 1.3 Muestreador tipo núcleo	6
Figura 1.4 Arreglo de la muestra con puertos para análisis más preciso	6
Figura 1.5 Soldadura tipo SMAW	14
Figura 1.6 Soldadura tipo TIG	15
Figura 1.7 Soldadura tipo MIG	16
Figura 1.8 Dibujo de tornillo y tuerca	17
Figura 1.9 Paso de rosca	18
Figura 1.10 Forma del filete de rosca UNC	19
Figura 1.11 Forma del filete de rosca BSP	20
Figura 1.12 Forma del filete de rosca NPT	20
Figura 1.13 Corte en junta tórica	21
Figura 1.14 Designación de juntas tóricas	22
Figura 1.15 Funcionamiento de una junta tórica	22
Figura 1.16 Formas de montaje de junta tórica	23
Figura 1.17 Diseño de ranura para junta tórica	25
Figura 1.18 Chaflán de entrada	26
Figura 1.19 Extrusión de junta tórica por holgura excesiva	26
Figura 2.1 Vista general de la sonda	28
Figura 2.2 Gráfica de penetraciones por tubo	33
Figura 2.3 Gráfica de penetración promedio por tubo	33
Figura 2.4 Plano del cilindro o cuerpo de la sonda	39
Figura 2.5 Subensamble tapa – cilindro	40
Figura 2.6 Plano del vástago	45

Figura 2.7 Plano de la tapa	48
Figura 2.8 Holgura entre elementos	50
Figura 2.9 Configuración de estanqueidades de cierre interior y exterior respectivamente	51
Figura 2.10 Plano del pistón	54
Figura 3.1 Prototipo de sonda	56
Figura 3.2 Subensamble tapa-cilindro	57
Figura 3.3 Subensamble vástago-pistón	58
Figura 3.4 Penetración de la sonda	62
Figura 3.5 Promedio de las medidas obtenidas en la prueba de funcionamiento	62
Figura 3.6 Muestreo por medio de un nucleador	64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Composición química de acero inoxidable 304 y 304L	10
Tabla 1.2 Composición química de acero inoxidable 316 y 316L	11
Tabla 1.3 Diferencias entre tubos con y sin costura	12
Tabla 1.4 Propiedades físicas de la soldadura en acero inoxidable	13
Tabla 2.1 Propiedades mecánicas de tubos de acero inoxidable sin unión	29
Tabla 2.2 Tubos de prueba y celda de carga	31
Tabla 2.3 Mediciones en campo para determinación del promedio de penetración	32
Tabla 2.4 Dimensiones de tubos de acero inoxidable sin costura	35
Tabla 2.5 Dimensiones de tubo milimétrico	37
Tabla 2.6 Presiones de trabajo para tubos de acero inoxidable de 25.4 mm	38
Tabla 2.7 Presiones de trabajo para tubos de acero inoxidable de 12.7 mm	42
Tabla 2.8 Dimensiones para barras de acero inoxidable	43
Tabla 2.9 Comparación entre propuestas de diseño	44
Tabla 2.10 Dimensiones de holgura	50
Tabla 2.11 Dimensiones para diseño de ranuras	52
Tabla 2.12 Dimensiones en mm de juntas tóricas para sección transversal de 1.78 mm	53
Tabla 3.1 Dimensiones del prototipo de la sonda	59
Tabla 3.2 Mediciones obtenidas en la prueba de funcionamiento	61
Tabla 3.3 Comparación entre muestreadores	65

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día a nivel mundial, en cuerpos de agua como ríos, lagunas, lagos y humedales, existen un sin número de contaminantes generados por la actividad humana (descargas residuales municipales e industriales, cambio de uso de suelos, agricultura y ganadería), provocando con el tiempo la acumulación de ellos en los sedimentos (INECC, 2013).

La determinación del grado de afectación del ecosistema o en lugares donde se hayan implementado programas de remediación, requiere de la cuantificación de compuestos como CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, pH, O<sub>2</sub> disuelto, temperatura, entre otros. El análisis en la mayoría de los casos es costoso, debido a que se requiere de muestreo, conservación de la muestra, traslado, reactivos, insumos, mano de obra calificada, tiempo de realización y equipo especializado (SEMARNAT, 2014; SECOFI, 1995; Abarca, 2007).

Debido a lo anterior y a que no para todos los casos la cuantificación se realiza por medición directa, los estudios demandan de inversiones relativamente altas para obtener información confiable sobre los niveles de contaminación existentes (SECOFI, 1995).

El objetivo de este proyecto fue diseñar y construir un dispositivo para la extracción de muestras de sedimento (sonda) y realizar las mediciones *in situ* de: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> disuelto, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, pH, temperatura y conductividad en sedimentos en menos tiempo. La selección del material depende principalmente de evitar que la muestra sea contaminada, debido a que el dispositivo interactuará directamente con ambientes muy hostiles que favorecen la corrosión. También debe considerarse la resistencia del material para evitar que se rompa cuando entre en el sedimento.

# 1. FUNDAMENTOS

Las bases teóricas que sustentan este trabajo de investigación son las siguientes:

## 1.1 Sedimentos

Los sedimentos son capas de materia finamente dividida que cubren los fondos de los ríos, arroyos, lagos, embalses, bahías y océanos. Típicamente consisten en mezclas de minerales granulados de tamaño fino (limo de 62 a 4 micras de diámetro y arcilla menos de 4 micras de diámetro), medio (arena de 2 mm a 64 micras) y grueso (gravas más de 2 mm de diámetro), mezclados con materia orgánica (MO). Su composición puede variar de materia mineral pura a orgánica. Los sedimentos son depósitos de una variedad de desechos biológicos, químicos y contaminantes (residuos) en los cuerpos o reservorios de agua, siendo sumideros de contaminantes como metales y compuestos orgánicos tóxicos. Es de particular preocupación la transferencia de especies químicas de los sedimentos a las cadenas alimenticias acuáticas vía organismos, tales como gusanos y almejas, que pasan parte importante de su ciclo de vida en contacto con los sedimentos (Manahan, 2006).

### 1.1.1 Contaminación en sedimentos

Uno de los problemas más graves del deterioro ambiental es la contaminación del agua y sedimentos. La disminución en su calidad daña a los ecosistemas, la salud humana y a la disponibilidad de fuentes de agua (Comisión Nacional del Agua [CNA], 2014; Environmental Protection Agency [EPA], 2004).

La contaminación se debe, primordialmente, a la descarga a los cuerpos receptores de una gran parte del caudal de aguas residuales sin tratamiento, por los municipios y las industrias, al uso de fertilizantes y plaguicidas en la agricultura, a la inadecuada recolección y disposición de los residuos sólidos municipales e industriales y al acelerado proceso de erosión causado por prácticas inadecuadas en las actividades agropecuarias y silvícolas (CNA, 2014; EPA, 2004).

En México del 100% de las aguas y sedimentos de los principales ríos, lagunas, lagos, presas y humedales (en promedio de los estudios realizados de DBO<sub>5</sub> y DQO), el 22.77% se considera sin contaminación (calidad excelente), el 22.8% con muy poca contaminación (calidad aceptable), el 26.96% con poca contaminación (calidad regular), el 18.5% como

contaminado (calidad mala) y el 3.7% como altamente contaminado (calidad pésima). En resumen, el 72.23% presenta en algún grado contaminación (CNA, 2014).

El costo total en el año 2013 por degradación por contaminación de aguas y sedimentos en México, fue de 70,627 millones de pesos, que representan un 0.4% del Producto Interno bruto (PIB) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2015).

De los sedimentos de origen humano con alto contenido de microorganismos, se generan, debido a la actividad bacteriana en la degradación tanto aerobia como anaerobia de la misma, gases como CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S (Marín, 2003; Atlas y Bartha, 2006).

### **1.1.2 Objetivos de un muestreo de suelos o sedimentos**

El objetivo general de un muestreo es la recolección de modelos representativos de las características físicas, químicas y biológicas del sitio en estudio, tomadas bajo criterios de control y aseguramiento de calidad, permitiendo obtener resultados representativos, reproducibles y confiables que sirvan como base para la toma de decisiones. Los objetivos específicos que se deben considerar son:

- Determinar el riesgo a la salud humana y/o al ambiente debido a la contaminación del suelo por contaminantes específicos.
- Determinar la presencia y concentración de contaminantes específicos, con respecto a niveles de fondo (concentraciones naturales en el sitio).
- Determinar la concentración de contaminantes y su distribución espacial y temporal.
- Medir la eficiencia de acciones de control o de limpieza (remediación).
- Obtener mediciones para validación o uso de modelos de transporte y deposición de contaminantes en el suelo.
- Determinar el riesgo potencial a la flora y fauna por contaminantes específicos.
- Identificar fuentes de contaminación, mecanismos o rutas de transporte y receptores potenciales.
- Tener el máximo cuidado para evitar la contaminación cruzada, la pérdida de componentes volátiles, el cambio de composición debido a la exposición al aire y otros cambios, que pueden ocurrir entre el muestreo y el ensayo de la muestra.
- Tener un conocimiento previo del terreno, como posibles fuentes de contaminación, características fisicoquímicas del suelo, nivel freático, topografía, presencia de

obstrucciones (por ejemplo, tuberías de alcantarillado o acueducto), tipo de vegetación (algunas absorben y adsorben contaminantes), posible área de contaminación.

- Tener cuidado de proteger el orificio y sus paredes internas y excavar o limpiar el material antes de tomar una muestra para evitar la contaminación cruzada (Salazar y Peñuela, 2010; Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2000; North American Commission for Environmental Cooperation [NACEC], 2012).

Todo estudio de suelos y sedimentos debe considerar en su planificación una serie de etapas secuenciales como:

- Búsqueda, recopilación, estudio y análisis de los antecedentes.
- Exploración inicial rápida de campo (premuestrero o muestreo exploratorio).
- Estudio analítico.
- Fase de campo.
- Estudio de las unidades paisajísticas (Para definir unidades homogéneas).
- Estudio morfológico y descriptivo del perfil.
- Fase de laboratorio.
- Estudio de las propiedades físicas, químicas, físico químicas y eventualmente mineralógicos.
- Síntesis final que permita emitir el diagnóstico buscado y recomendaciones (Salazar y Peñuela, 2010; SEMARNAT, 2000; NACEC, 2012).

### **1.1.3 Dispositivos usados en el muestreo de sedimentos**

Los dispositivos para la toma de muestras en sedimentos se pueden dividir en dos categorías, el tipo draga (Figura 1.1) y el de núcleo (Salazar y Peñuela, 2010; NACEC, 2012).

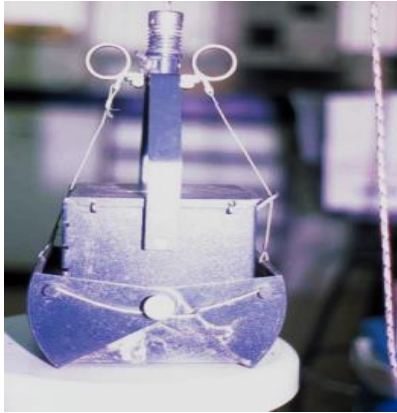


Figura 1.1 Muestreador tipo draga Ekkman (Salazar y Peñuela, 2010)

Dependiendo de la cantidad y profundidad del agua, deben ser operados por buzos o empleando plataformas estables tales como botes, puentes o muelles. Los muestreadores tipo draga son dispositivos en forma de quijada diseñados para recoger sedimentos superficiales mediante excavación de un área definida, los más comunes de este tipo son las dragas Ekkman, Shipek (Figura 1.2 a y b), su capacidad depende de la firmeza del sedimento.

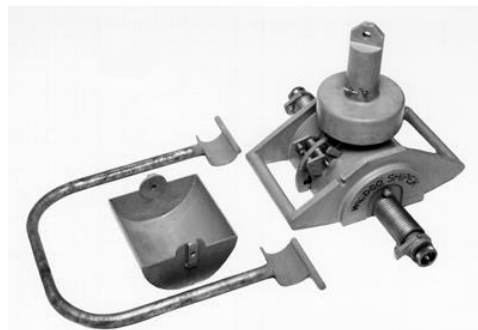


Figura 1.2 Mustradores a) Shipek y b) Ponar (Salazar y Peñuela, 2010; NACEC, 2012)

Los sedimentos que están muy compactados deben extraídos con muestreadores tipo núcleo. Que son dispositivos en forma de tubo que les permiten penetrar a mayores profundidades, como se indica en la Figura 1.3 (Salazar y Peñuela, 2010; NACEC, 2012).



Figura 1.3 Muestreador tipo núcleo (Salazar y Peñuela, 2010)

Para poder analizar la variación del analito se hace necesario tener puertos de muestreo en el sedimento y en la columna de agua a intervalos regulares, Figura 1.4 (Salazar y Peñuela, 2010).



Figura 1.4 Arreglo de la muestra con puertos para análisis más preciso (Salazar y Peñuela, 2010)

## **1.2 Materiales**

Existen diversos tipos de materiales resistentes a la corrosión, pero también es necesario conocer sus propiedades mecánicas para la aplicación que se requiera. El acero inoxidable no solo tiene una buena resistencia a la corrosión, sino que también, al ser un metal tiene buenas propiedades mecánicas como una buena resistencia a la tensión y a la compresión.

El acero inoxidable se descubrió en la década de los 90's cuando se descubrió que la adición de cromo en el proceso de fabricación de acero mejora en gran medida la resistencia a la corrosión del acero. En particular, se encontró que el cromo reacciona con el oxígeno para formar una película protectora en la superficie del acero (Outokumpu).

El acero inoxidable contiene un mínimo de 10,5 % de cromo, pero también se añaden una serie de otros elementos de aleación por ejemplo níquel, cobre o molibdeno, para generar propiedades mejoradas en usos específicos. Así, algunos aceros inoxidables se desempeñan mejor en ambientes marinos corrosivos, algunos son más adecuados a las altas temperaturas, mientras que otros son buenos para aplicaciones criogénicas (Outokumpu, s.f.).

### **1.2.1 Clasificación del acero inoxidable**

El acero inoxidable puede ser clasificado en cinco familias diferentes; cuatro de ellas corresponden a las particulares estructuras cristalinas formadas en la aleación: austenita, ferrita, martensita y dúplex (austenita más ferrita); mientras que la quinta son las aleaciones endurecidas por precipitación, que están basadas más en el tipo de tratamiento térmico usado que en la estructura cristalina. (Bonnet, 2016).

#### **Aceros inoxidables martensíticos**

Son la primera rama de los aceros inoxidables simplemente al cromo. Representan una porción de la serie 400, sus características son:

- Moderada resistencia a la corrosión
- Endurecibles por tratamiento térmico y por lo tanto se pueden desarrollar altos niveles de resistencia mecánica y dureza
- Son magnéticos

- Debido al alto contenido de carbono y a la naturaleza de su dureza, es de pobre soldabilidad

Los Martensíticos son esencialmente aleaciones de cromo y carbono. El contenido de cromo es generalmente de 10.5 a 18% y el de carbono es alto, alcanzando valores de hasta 1.2% (Bonnet, 2016).

### **Aceros inoxidables ferríticos**

Estos aceros inoxidables de la serie 400 American Iron & Steel Institute (AISI) mantienen una estructura ferrítica estable desde la temperatura ambiente hasta el punto de fusión, sus características son:

- Resistencia a la corrosión de moderada a buena, la cual se incrementa con el contenido de cromo y algunas aleaciones de molibdeno
- Endurecidos moderadamente por trabajo en frío: no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico
- Son magnéticos
- Su soldabilidad es pobre por lo que generalmente se eliminan las uniones por soldadura a calibres delgados
- Usualmente se les aplica un tratamiento de recocido con lo que obtienen mayor suavidad, ductilidad y resistencia a la corrosión
- Debido a su pobre dureza, el uso se limita generalmente a procesos de formado en frío

Los Ferríticos son esencialmente aleaciones con cromo. El contenido de cromo es usualmente de 10.5 a 30%, pero contenidos limitados de carbono del orden de 0.08%. Algunos grados pueden contener molibdeno, silicio, aluminio, titanio y niobio que promueven diferentes características (Bonnet, 2016).

### **Aceros inoxidables austeníticos**

Los aceros inoxidables austeníticos constituyen la familia con el mayor número de aleaciones disponibles, integra las series 200 y 300 AISI. Su popularidad se debe a su excelente formabilidad y superior resistencia a la corrosión. Sus características son las siguientes:

- Excelente resistencia a la corrosión

- Endurecidos por trabajo en frío y no por tratamiento térmico
- Excelente soldabilidad
- Excelente factor de higiene y limpieza
- Formado sencillo y de fácil transformación
- Tienen la habilidad de ser funcionales en temperaturas extremas
- Son no magnéticos

Los Austeníticos se obtienen adicionando elementos formadores de austenita, tales como níquel, manganeso y nitrógeno. El contenido de cromo generalmente varía del 16 al 26% y su contenido de carbono es del rango de 0.03 al 0.08% (Bonnet, 2016).

### **Aceros inoxidable dúplex**

Son aleaciones cromo-níquel-molibdeno, sus características son las siguientes:

- Son magnéticos
- No pueden ser endurecidos por tratamientos térmicos
- Buena soldabilidad
- La estructura dúplex mejora la resistencia a la corrosión de fractura bajo tensión en ambientes con iones de cloruro.

Los dúplex tienen un contenido de cromo de entre 18 y 26% y de níquel de 4.5 a 6.5%. La adición de elementos de nitrógeno, molibdeno, cobre, silicio y tungsteno imparten ciertas características de resistencia a la corrosión (Bonnet, 2016).

### **Aceros inoxidable endurecibles por precipitación**

Esta familia ofrece una alternativa a los aceros inoxidable austeníticos cuando se desea asociar elevadas características mecánicas y de maquinabilidad. Son aleaciones hierro-cromo-níquel que se caracterizan por la resistencia mecánica obtenida a partir del endurecimiento por tratamiento térmico de envejecimiento. Los aceros endurecibles por precipitación están patentados y frecuentemente se les designa con las siglas de la empresa productora (Bonnet, 2016).

#### **1.2.2 Acero inoxidable 304 y 304L**

El acero inoxidable Tipo 304 es el más utilizado de los aceros inoxidable austeníticos (cromo/níquel), proporcionan resistencia a la corrosión en una amplia variedad de

condiciones de oxidación y reducción moderadas, agua fresca y aplicaciones no marinas. En la condición de recocido, es fundamentalmente no magnético y se torna magnético al trabajarse en frío. El acero inoxidable Tipo 304L se prefiere en las aplicaciones de soldadura para excluir la formación de carburos de cromo durante el enfriamiento en la región afectada por el calor de la soldadura. Estas aleaciones representan una excelente combinación de resistencia a la corrosión y facilidad de fabricación (NKS de México, s.f.).

Los Tipos 304 y 304L pueden soldarse utilizando la mayoría de las técnicas de soldadura de fusión o resistencia. Se debe usar el Tipo 304L en secciones más pesadas para reducir la ocurrencia de precipitación de carburos en la región afectada por el calor adyacente al grupo soldado (NKS de México, s.f.). La Tabla 1.1 muestra la composición química de los aceros inoxidables 304 y 304L indicando el porcentaje total en la aleación. Este tipo de acero inoxidable es más utilizado debido a que se adapta bien a usos generales.

Tabla 1.1 Composición química de acero inoxidable 304 y 304L (American Society of Testing Materials [ASTM], 2004)

<b>Elemento</b>	<b>304</b>	<b>304L</b>
Carbón	0.07 máx.	0.03 máx.
Manganeso	2.00 máx.	2.0 máx.
Azufre	0.03 máx.	0.03 máx.
Fósforo	0.045 máx.	0.045 máx.
Silicio	0.75 máx.	0.75 máx.
Cromo	17.5 a 19.58	18.0 a 20.0
Níquel	8.0 a 10.5	8.0 a 12.0
Nitrógeno	0.1 máx.	0.1 máx.

### **1.2.3 Acero inoxidable 316 y 316L**

El acero inoxidable Tipo 316 es un acero inoxidable de cromo níquel austenítico que contiene molibdeno. Esta adición aumenta la resistencia a la corrosión general, mejora la

resistencia a picaduras de soluciones de iones de cloruro y proporciona mayor resistencia a temperaturas elevadas. Las propiedades son similares a las del Tipo 304, excepto que esta aleación es un poco más sólida a temperaturas elevadas. La resistencia a la corrosión es mejor, particularmente contra ácidos sulfúrico, hidrociorhídrico, acético, fórmico y tartárico; sulfatos ácidos y cloruros alcalinos. El acero inoxidable del Tipo 316L es una versión de carbón extra bajo del Tipo 316 que minimiza la precipitación de carburos perjudiciales en la zona afectada por el calor durante la soldadura (NKS México, s.f.).

Generalmente se considera que estas aleaciones tienen una menor capacidad de soldadura que los Tipos 304 y 304L. Una diferencia importante es el mayor contenido de níquel en estas aleaciones, que requiere una velocidad más lenta de soldadura por arco y más precaución para evitar el agrietamiento por calor (NKS México, s.f.). La Tabla 1.2 muestra la composición química del acero inoxidable 316 y 316L indicando el porcentaje total en la aleación de cada uno de los elementos químicos listados.

Tabla 1.2 Composición química de acero inoxidable 316 y 316L (ASTM, 2004)

<b>Elemento</b>	<b>316</b>	<b>316L</b>
Carbón	0.08 máx.	0.03 máx.
Manganeso	2.00 máx.	2.00 máx.
Azufre	0.03 máx.	0.03 máx.
Fósforo	0.045 máx.	0.045 máx.
Silicio	0.75 máx.	0.75 máx.
Cromo	16 a 18	16 a 18
Níquel	10 a 14	10 a 14
Molibdeno	2 a 3	2 a 3
Nitrógeno	0.1 máx.	0.1 máx.

### 1.2.4 Tubos de acero inoxidable

La tubería de acero inoxidable es utilizada con éxito en procesos donde los fluidos corrosivos tienen condiciones que la tubería de acero al carbón no soporta. También en procesos alimenticios o farmacéuticos en donde es necesario que la tubería tenga un acabado especial “sanitario” y que cumpla con las normas especiales que la industria que produce artículos de consumo humano necesita. Por otro lado el tubo milimétrico de acero inoxidable es utilizado en procesos de uso de gases y oxígeno y a alta presión además de procesos de alta y ultra alta pureza en la industria (SCfluids, s.f.).

Existen principalmente dos tipos de tubos de acero inoxidable los cuales dependen de su proceso de fabricación, estos pueden ser tubos con costura o sin costura. La Tabla 1.3 muestra de manera general las diferencias entre ambos tipos de tubos. La Tabla 1.3 muestra un resumen de las diferencias que existen entre los tubos de acero inoxidable con y sin costura, además de las principales características de estos tipos de tubo.

Tabla 1.3 Diferencias entre tubos con y sin costura (QuimiNet, s.f.)

Tipo de Tubo	Fabricación	Características
Con Costura	Se doblan láminas por medio de rodillos hasta lograr la forma cilíndrica de un tubo, después la unión que existe entre ambos extremos de la lámina es soldada.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tienen presiones internas de trabajo pequeñas.</li><li>• Se puede observar en el interior del tubo la unión soldada.</li></ul>
Sin Costura	Se obtienen mediante la laminación de barras sólidas redondas, donde la barra es calentada y dentro del proceso de laminación se perfora para obtener la geometría de un tubo.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tienen presiones internas de trabajo altas, por lo que son usados en aplicaciones industriales a alta presión.</li><li>• Visualmente el tubo no muestra uniones.</li></ul>

### 1.3 Métodos de unión para tubos de acero inoxidable

Actualmente se tienen distintos tipos de unión para dispositivos fabricados en acero inoxidable, es necesario tomar en cuenta las características que existirán entre los elementos a unir (si serán fijos, móviles, desmontables, etc.) así como el funcionamiento del dispositivo, para determinar el método de unión más adecuado.

Hoy en día estas variables se analizan en forma conjunta e integral, bajo el concepto de constructividad, materia en la que el acero muestra grandes ventajas (AlAcero, s.f.).

#### 1.3.1 Soldadura

La soldadura en acero inoxidable varía sensiblemente respecto a la soldadura que pueda practicarse en piezas de acero ordinario. Por ello, se hace necesario realizar un estudio detallado de las características que le son propias a fin de poder obtener resultados óptimos de soldeo. La Tabla 1.4 muestra una primera comparativa de la influencia de las propiedades físicas en la soldadura de aceros inoxidables austeníticos frente a los aceros al carbono. La tabla 1.4 muestra una comparación de las propiedades físicas de la soldadura en aceros inoxidables austeníticos contra aceros al carbón. El acero inoxidable tipo 304 requiere menos calor para producir la fusión, lo cual significa una soldadura más rápida para el mismo calor aportado por la fuente de soldeo, o bien, requiere emplear menos calor para la misma velocidad de soldeo (Ingemecánica, s.f.).

Tabla 1.4 Propiedades físicas de soldadura en acero inoxidable (Ingemecánica, s.f.)

Propiedad Física	Aceros Inoxidables Austeníticos	Aceros al Carbón
Punto de Fusión	1400 – 1450°C (AISI 304)	1540°C
Velocidad de Conductividad Térmica	28% a 100°C 66% a 650°C	100% en ambos casos
Expansión Térmica <i>(pulg/°C x 10<sup>-6</sup>)</i>	17.6 (20 - 500°C)	11.7 (20 – 628°C)

El acero inoxidable 304 se expande y contrae a una velocidad más alta que los aceros al carbono, lo cual significa que son más propensos a sufrir grandes deformaciones durante la soldadura. Por lo tanto, en el caso de los aceros inoxidables habrá que cuidar el proceso de embridado de las piezas con el fin de permitir la expansión y contracción de manera que se pueda controlar la deformación y el desarrollo de tensiones térmicas después del enfriamiento. Por ejemplo, para los aceros inoxidables deberán usarse más puntos de soldadura (más puntadas) para la sujeción y posicionado de las piezas que para el caso del acero al carbono (Ingemecánica, s.f.).

### **Soldadura stick metal arc welding (SMAW)**

En este proceso el electrodo es un alambre revestido, donde el soldador controla el proceso manualmente sobre la longitud y dirección del arco que se establece entre el extremo del electrodo y la pieza a soldar, ver Figura 1.5. El calor generado por el arco eléctrico funde el revestimiento y la varilla metálica del electrodo, a la vez que la combustión del revestimiento sirve para crear una atmósfera protectora que impide la contaminación del material fundido (Ingemecánica, s.f.).

Las gotas de metal fundido procedente de la varilla metálica del electrodo van a depositarse en el baño de fusión. A la vez, el material procedente de la fusión del revestimiento del electrodo genera una escoria, que por viscosidad flota sobre el baño de fusión, protegiéndolo contra un enfriamiento rápido y de la contaminación del aire circundante. Una vez frío el cordón se procede a eliminar la escoria que queda como una especie de costra sobre la superficie del cordón (Ingemecánica, s.f.).

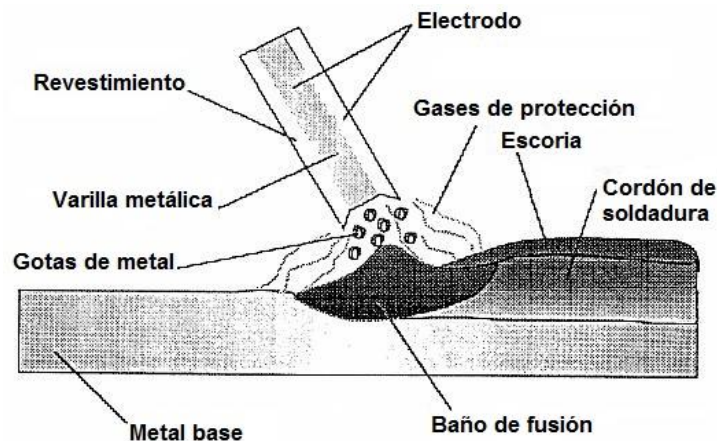


Figura 1.5 Soldadura tipo SMAW (Ingemecánica, s.f.)

La Figura 1.5 muestra todos los componentes que intervienen en la soldadura de arco manual con electrodo revestido.

### **Soldadura tungsten inert gas (TIG)**

El proceso TIG resulta un procedimiento muy adecuado para soldar el acero inoxidable, ver Figura 1.6. En este caso, el arco eléctrico se establece entre un electrodo no consumible de Tungsteno y la pieza a soldar, bajo una atmósfera protectora generada por un gas inerte. El gas inerte (normalmente argón) se usa para proteger del aire circundante al metal fundido de la soldadura. Si es necesario, también se puede agregar metal de aporte en forma de un alambre o varilla que se introduce dentro del arco, de forma bien manual o automáticamente, para fundirlo y cuyas gotas caigan dentro del baño de fusión (Ingemecánica, s.f.).

El procedimiento de soldadura TIG genera cordones de gran calidad, sin escorias (dado que emplean electrodos no consumibles sin revestimiento), ni proyecciones, por lo que se usa para soldaduras de responsabilidad en acero inoxidable, donde obtener soldaduras de calidad sea necesario (Ingemecánica, s.f.).

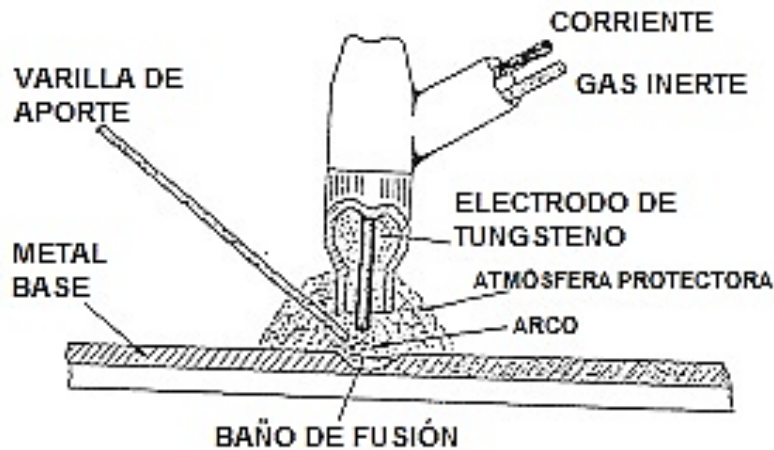


Figura 1.6 Soldadura tipo TIG (Ingemecánica, s.f.)

La Figura 1.6 muestra el proceso de soldadura TIG donde se observa de manera más comprensible la atmósfera de gas inerte (argón) que protege al baño de fusión del oxígeno del ambiente.

## Soldadura metal inert gas (MIG)

En el procedimiento MIG (Metal Inert Gas), se establece un arco eléctrico entre un electrodo consumible, que se presenta en forma de un alambre desnudo, y la pieza a soldar o metal base, ver Figura 1.7. Tanto el arco como la soldadura se protegen del aire de la atmósfera mediante la acción de una envolvente gaseosa, compuesta por gases inertes, principalmente argón y/o helio (Ingemecánica, s.f.).

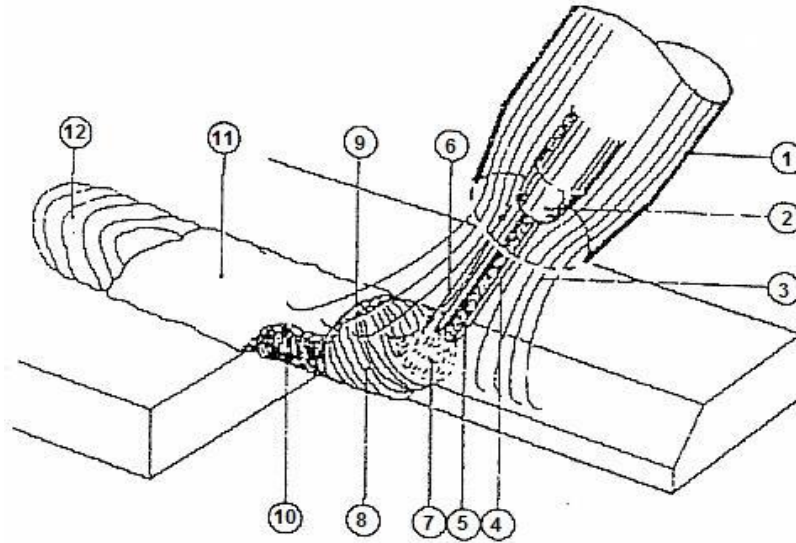


Figura 1.7 Soldadura tipo MIG (Ingemecánica, s.f.)

La Figura 1.7 muestra el proceso de soldadura tipo MIG, donde:

- 1.- Boquilla
- 2.- Tubo de contacto
- 3.- Gas de protección
- 4.- Varilla (sólida o tubular)
- 5.- Flux en caso de varilla tubular
- 6.- Longitud libre de varilla (stik-out)
- 7.- Transferencia del metal aportado
- 8.- Baño de soldeo y escoria líquida

9.- Escoria sólida protegiendo al baño de fusión

10.- Metal depositado

11.- Escoria solidificada

12.- Metal de soldadura solidificado libre de escoria.

### 1.3.2 Unión por roscas

Una rosca se obtiene a partir de un cilindro (a veces de un cono) sobre el cual se han efectuado una o varias ranuras helicoidales, ver Figura 1.8. La parte maciza restante se llama rosca, se dice que una barra esta *roscada* y que un agujero esta *terrajado* (Chevalier, 2005).

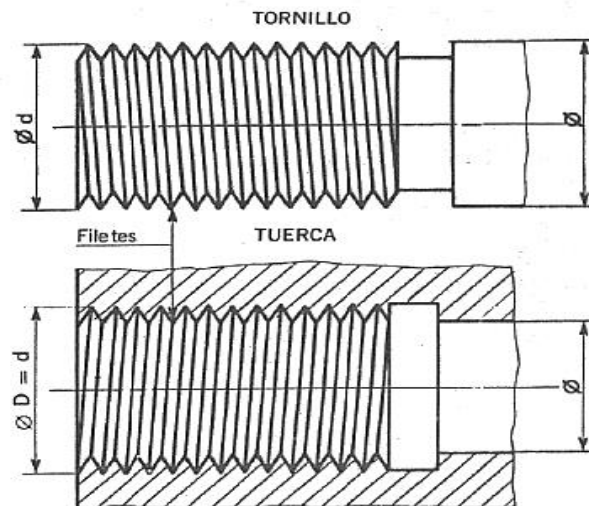


Figura 1.8 Dibujo de tornillo y tuerca (Chevalier, 2005)

La figura 1.8 muestra el dibujo técnico de un tornillo y una tuerca, se observa que la relación entre los diámetros de las roscas de ambos componentes es la misma, lo que quiere decir que el diámetro en el tornillo deberá ser el mismo que el diámetro en la tuerca, a esto se le llama diámetro nominal (Chevalier, 2005).

Las normas han previsto para cada diámetro nominal un *paso normal* (tornillería corriente) y un número reducido de *pasos finos* (roscados sobre tubos de paredes delgadas, tuercas de poco grueso, tornillos de aparatos de medida), ver Figura 1.9. A igualdad de diámetro nominal cuanto más fino es un paso, más estrechas son las tolerancias, y por consiguiente, más costosa la fabricación (Chevalier, 2005).

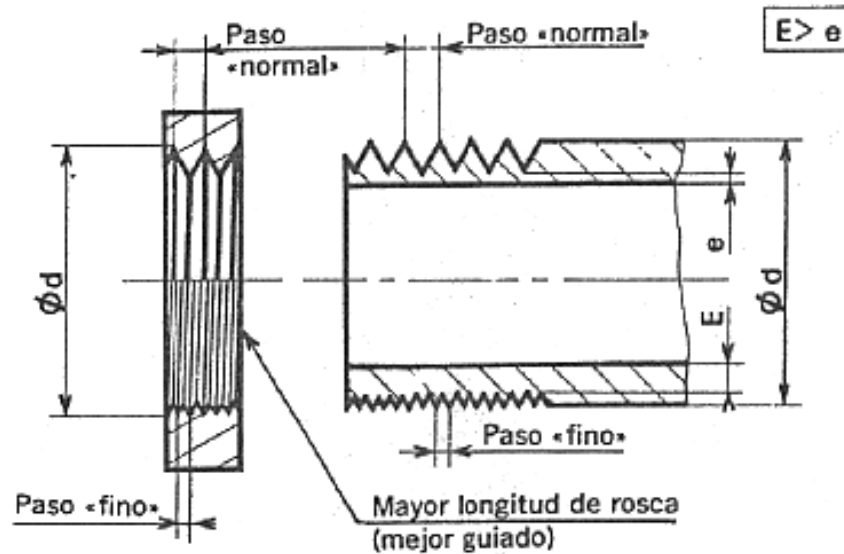


Figura 1.9 Paso de rosca (Chevalier, 2005)

La figura 1.9 muestra los pasos normal y fino para roscas en general, se puede observar claramente la diferencia entre ambos tipos de paso, la anotación  $E > e$  quiere decir que el espesor desde la rosca hasta la pared final del tubo en el paso fino debe ser mayor que el espesor en el paso normal.

Las roscas pueden agruparse en 5 distintos parámetros, que son: su posición, la forma del filete, la cantidad de filetes, el sentido de la hélice y su diseño. El diseño es el que comercialmente rige la clasificación de las roscas, el diseño de la rosca se refiere a si es cilíndrica o cónica, dentro del diseño se pueden considerar los demás parámetros para seleccionar la rosca adecuada según la aplicación. La posición se refiere al lugar donde se maquinará la rosca (interna o externamente), a esto se le conoce como rosca hembra y macho respectivamente; la forma del filete es la geometría que tiene la rosca y pueden ser triangulares, trapezoidales, redonda y diente de sierra. La cantidad de filetes se refiere a si la rosca tendrá una sola entrada o varias; finalmente el sentido de la hélice se refiere al sentido en el que los filetes giran, es decir, en sentido horario o anti horario (De Maquinas Y Herramientas, s.f.).

El diseño de la rosca se puede ver también como la aplicación que se le dará a la misma, las roscas cilíndricas son para uso general donde lo único que importa es unir a los elementos roscados. Las roscas cónicas se utilizan para la unión de tuberías, donde no

solo se unen los elementos, sino que también se logra una estanqueidad gracias al ángulo de inclinación en los filetes (De Maquinas Y Herramientas, s.f.).

### **Rosca nacional unificada (UNC y UNR)**

Es de diseño cilíndrico y está formada por un filete helicoidal en forma de triángulo equilátero con crestas truncadas y valles redondeados (ver Figura 1.10), las dimensiones están dadas en el Sistema Inglés. El ángulo que forman los flancos del filete es de  $60^\circ$  y el paso, medido en hilos por pulgada, es igual a la distancia entre los vértices de dos crestas consecutivas. Se designa con las letras UNC para paso normal y UNR para paso fino, además del diámetro nominal y el paso de rosca, por ejemplo:  $\frac{1}{4}$  20 UNC (American Society of Mechanical Engineers [ASME], 2003).

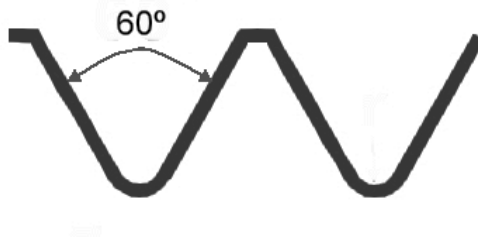


Figura 1.10 Forma del filete de rosca UNC (ASME, 2003)

### **Rosca métrica**

Esencialmente es idéntica a la rosca UNC con la única diferencia de que las dimensiones en esta se dan en el Sistema Internacional. Se denomina según normas ISO 68-1 e ISO 965-1. Si es de paso grueso, se designa con la letra M seguida del valor del diámetro nominal en milímetros, por ejemplo: M6. Si es de paso fino, la letra M va seguida del diámetro nominal en milímetros y el paso en milímetros, separados por el signo "x", por ejemplo: M6 x 0.25 (ISO 68-1, 1998).

### **Rosca normal británica para tubería (BSPP y BSPT)**

Derivada de la rosca Whitworth original (con poco uso en la actualidad) tiene forma de triángulo isósceles y el ángulo que forman los flancos de los filetes es de  $55^\circ$  (ver Figura 1.11). El lado menor del triángulo es igual al paso, y las crestas y valles son redondeados. El diámetro nominal o exterior de la rosca se expresa en pulgadas, y el paso está dado por

el número de hilos contenidos en una pulgada, por lo que se expresa en hilos por pulgada (ISO 228-1, 2003).

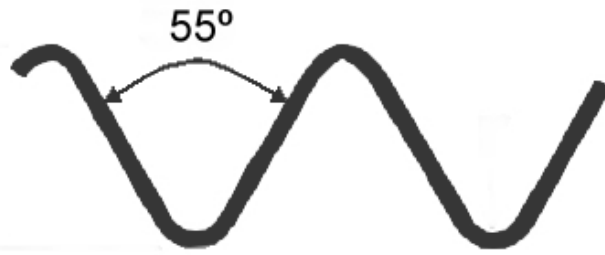


Figura 1.11 Forma del filete de rosca BSPP (ISO 228-1, 2003)

Se denomina con la letra G seguida del diámetro nominal del tubo en pulgadas según norma ISO 228-1. Por ejemplo: G 1/8. La rosca BSPT se denomina con la letra R seguida del diámetro nominal del tubo en pulgadas según norma ISO 7-1. Por ejemplo: R 1/8 (ISO 228-1, 2003).

### **Rosca nacional estadounidense cónica para tubería (NPT)**

De diseño cónico y con un ángulo de 60° entre filetes, las crestas y valles están truncados, el ángulo que le da conicidad a la rosca es de 1.8° (ver Figura 1.12). Las dimensiones están dadas en el Sistema Inglés y el paso en hilos por pulgada. Se designa con el diámetro nominal seguido por el paso de rosca y finalizando con las letras NPT, por ejemplo: 1/4 - 18 NPT. Si el sentido de la rosca es anti horario se colocan las letras LH, por ejemplo: 1/4 - 18 NPT – LH, en caso de no tener "LH" se entiende que el sentido de la rosca es horario (ASME, 2013).

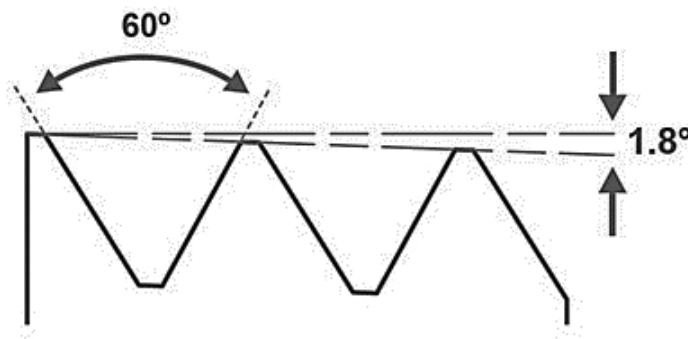


Figura 1.12 Forma del filete de rosca NPT (ASME, 2013)

## 1.4 Sello mecánico

Un sello mecánico es un dispositivo que ayuda a unir una parte fija con una móvil en mecanismos o sistemas usando presión para cerrar herméticamente la unión, previniendo de esta forma cualquier fuga o gotera (ABM Industrial Mining, s.f.).

### 1.4.1 Junta tórica

La junta tórica es un elemento de estanqueidad circular provisto de una sección transversal circular, ver Figura 1.13. La sencillez de su forma y sus características elásticas de sus materiales confieren a la junta tórica una aplicabilidad universal y la convierten en el elemento de estanqueidad más utilizado (Anyseals, 2016).

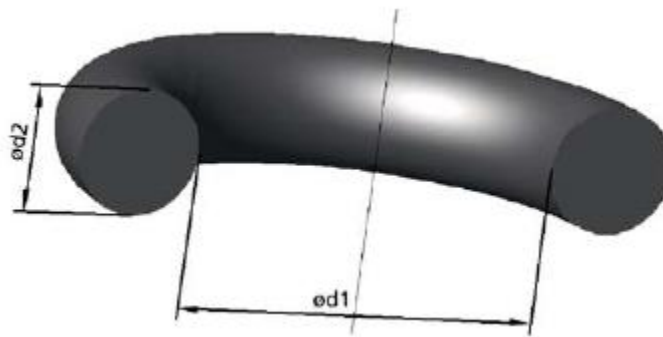


Figura 1.13 Corte en junta tórica (Anyseals, 2016)

La Figura 1.13 muestra una vista de corte de una junta tórica donde se puede observar que el  $\text{Ø}d2$  es el diámetro de la sección transversal circular y el  $\text{Ø}d1$  es el diámetro interno.

Las juntas tóricas se emplean en todos los sectores industriales. Los campos de aplicación se dividen en aplicaciones estáticas (ausencia de movimiento relativo entre las partes de la maquinaria) y aplicaciones dinámicas (con movimiento relativo entre las partes de maquinaria a estanqueizar) (Anyseals, 2016).

Las juntas tóricas están normalizadas por la DIN ISO 3601 (antigua DIN 3771). La designación habitual de una junta tórica incluye el diámetro interno, el diámetro de la sección, el material y la dureza como se muestra en la Figura 1.14 (Anyseals, 2016).

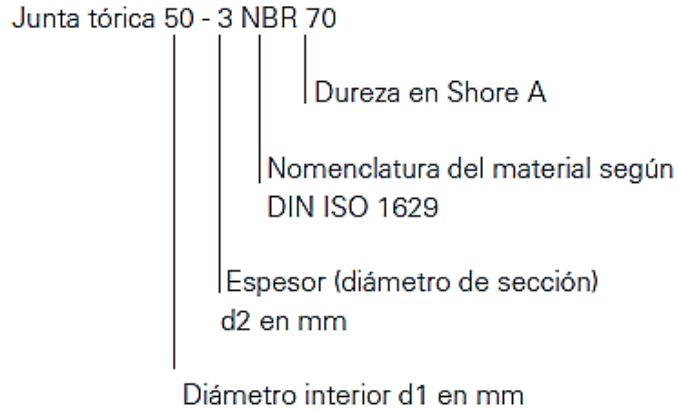


Figura 1.14 Designación de juntas tóricas (Anyseals, 2016)

El efecto de estanqueidad de una junta tórica es obra de la compresión de su sección transversal entre dos zonas de estanqueidad. Cuando se montan las partes de maquinaria a estanqueizar, la sección transversal de una junta tórica se comprime de tal manera dentro de un espacio de montaje de geometría definida, que cierra por completo la holgura entre las partes de maquinaria. Con el aumento de la presión del fluido a estanqueizar aumenta, por así decirlo, de forma “automática” también el efecto de estanqueidad. La junta tórica es apretada contra el flanco de la ranura situado en el lado opuesto al de la entrada de la presión, ver Figura 1.15 (Anyseals, 2016).

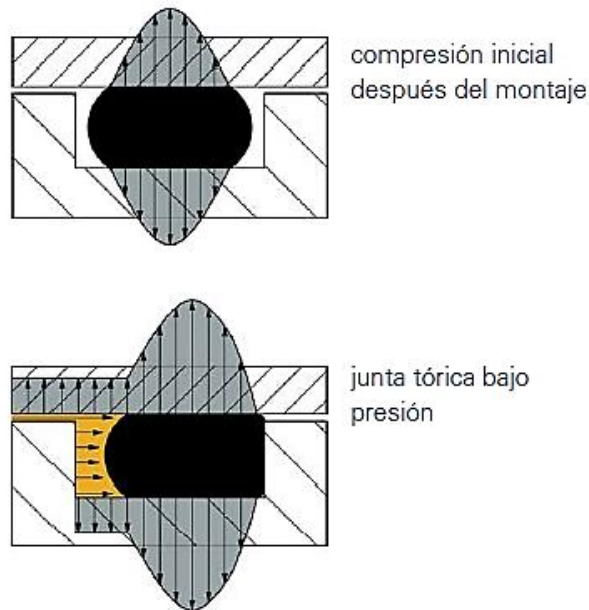


Figura 1.15 Funcionamiento de una junta tórica (Anyseals, 2016)

### 1.4.2 Formas de montaje

La elección del espacio de montaje adecuado para una junta tórica depende del tipo de aplicación:

- Estanqueización estática: ausencia de movimiento relativo entre las partes a estanqueizar.
- Estanqueización dinámica: movimiento relativo en vaivén, rotatorio u oscilatorio de las partes a estanqueizar.

Las formas de montaje se diferencian además por el sentido de la compresión de la junta tórica y la posición de montaje (interior o exterior). Por lo tanto existen las siguientes formas de montaje mostradas en la Figura 1.16 (Anyseals, 2016).

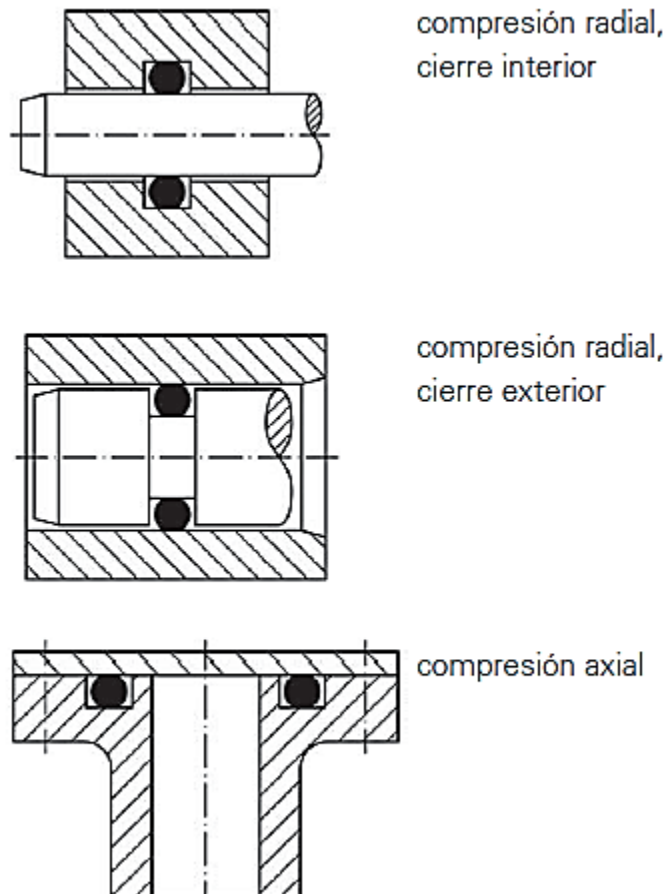


Figura 1.16 Formas de montaje de junta tórica (Anyseals, 2016)

La Figura 1.16 muestra las distintas formas de montaje de las juntas tóricas, donde se puede observar que cuando existe cierre interior las ranuras que alojan a la junta tórica están mecanizadas en el componente exterior, mientras que en el cierre exterior se mecanizan en el elemento interior.

### **1.4.3 Elección de la junta tórica**

Para el dimensionamiento de una junta tórica deben tenerse en cuenta diversos criterios. Además de las dimensiones de la junta hay que definir también el material y la dureza (Anyseals, 2016).

La elección del diámetro interior de la junta tórica se elige por la aplicación prevista. Una junta tórica de compresión radial y cierre exterior (ranura mecanizada en la parte interior) debería estar asentada firmemente en la ranura y encontrarse de este modo ligeramente estirada en el diámetro interior. El estirado no debería ser superior a un 7%, referido al diámetro interior de la junta tórica (Parker, 2016).

Una junta tórica de compresión radial y cierre interior (ranura mecanizada en la parte exterior) debería descansar en el diámetro exterior de la ranura y encontrarse de este modo ligeramente recalcada. El recalcado no debería rebasar un valor del 3% (Parker, 2016).

La elección del espesor adecuado de la junta tórica es fundamental para la función estanqueizante de la misma. La compresión inicial de la sección transversal de la junta tórica depende de una relación adecuada entre el espesor y la profundidad de la ranura. En función de la aplicación, la compresión deberá estar comprendida del 15 al 30% para estanqueización estática y del 10 al 20% para estanqueización dinámica hidráulica y del 6 al 15% para estanqueización dinámica neumática (Anyseals, 2016).

La mayoría de las juntas tóricas se fabrican en elastómeros o polímeros. El término elastómero hace referencia a la elasticidad de los polímeros, los cuales se deforman cuando se ejerce un poco de fuerza, pero regresan inmediatamente a su posición cuando se deja de aplicar dicha fuerza (Anyseals, 2016).

El caucho de acrilonitrilo butadieno (NBR) es el material más utilizado en el ámbito de las juntas de estanqueidad estándar (nomenclatura según DIN ISO 1629 y ASTM D 1418). En aplicaciones estándar se ha revelado recomendable en la práctica el uso de juntas tóricas con dureza de 70 a 80 Shore A (Anyseals, 2016).

#### 1.4.4 Diseño de la ranura

Cuando se produce un movimiento relativo entre las partes de maquinaria a estanqueizar, hablamos de estanqueización dinámica. Debido al rozamiento generado en el movimiento, la compresión de la sección transversal de la junta es menor que en la estanqueización estática. La estanqueidad con juntas tóricas se utiliza en aplicaciones hidráulicas con movimientos de vaivén, y en ocasiones para movimientos helicoidales, resultando particularmente apropiadas en situaciones en las que existe solamente un espacio de montaje reducido (Anyseals, 2016).

Para una junta tórica se proveen por regla general ranuras rectangulares. Los flancos de las ranuras pueden estar inclinados hasta un máximo de  $5^\circ$ , como se muestra en la Figura 1.17 (Anyseals, 2016).

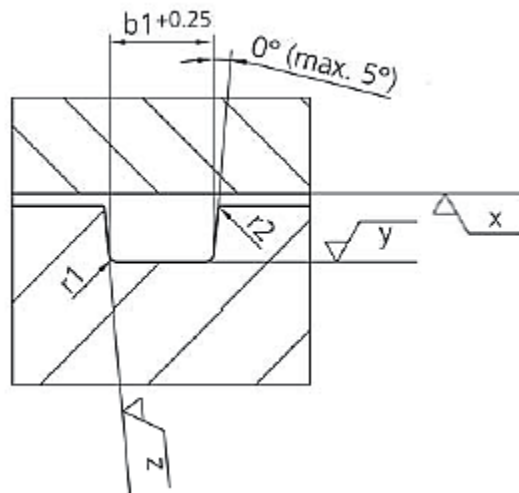


Figura 1.17 Diseño de ranura para Junta tórica (Anyseals, 2016)

La Figura 1.17 muestra de manera general el diseño de una ranura para Junta tórica, las variables  $b1$ ,  $r1$ ,  $r2$  y la altura de la ranura están dadas por tablas dependiendo del tipo de estanqueidad que se va a utilizar de acuerdo a la aplicación deseada.

Una rugosidad superficial adecuada de las superficies a estanqueizar es crucial para un sellado fiable. En estanqueidad dinámica es necesario una superficie libre de desperfectos como arañazos, cavidades o estrías de mecanizado (Anyseals, 2016).

Los Junta tóricas están sobredimensionados con respecto al espacio de montaje y se comprimen entre las partes de la maquinaria durante el montaje. Para evitar dañar aquí las

juntas tóricas, han de proveerse chaflanes de entrada correspondientes en las partes. Los chaflanes de entrada deberían tener un ángulo de 15 a 20° como se muestra en la Figura 1.18 (Anyseals, 2016).

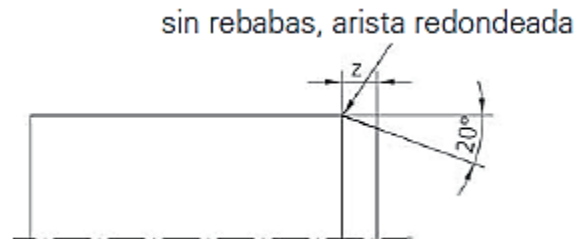


Figura 1.18 Chaflán de entrada (Anyseals, 2016)

La Figura 1.18 muestra la forma del chaflán de entrada que debe existir en los componentes a estanqueizar para proteger al Junta tórica, la variable  $z$  está dada por tablas dependiendo del tipo de estanqueidad a utilizar.

La anchura de la holgura existente en las partes de maquinaria a estanqueizar debería mantenerse reducida acorde a la aplicación. Holguras excesivas comportan un riesgo de extrusión, ósea de que la junta tórica penetre en la ranura situada en el lado contrario a la presión y se destruya como se muestra en la Figura 1.19 (Anyseals, 2016).

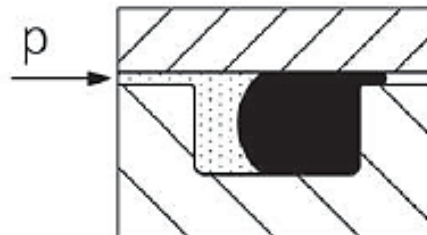


Figura 1.19 Extrusión de Junta tórica por holgura excesiva (Anyseals, 2016)

## 2. MÉTODO

La sonda se diseñó de acuerdo a las siguientes especificaciones:

- La penetración ideal del dispositivo es de 400 mm (zona aproximada donde ocurre la actividad metanogénica), ésta puede ser menor debido a que la sonda será impulsada solo por la fuerza del operador, evitando hacer movimientos bruscos durante la penetración.
- Debido al modo de operación de la sonda es complicado agregar una tapa para retener el sedimento, por lo tanto, el dispositivo debe contar con un buen sello para que la muestra no se fugue, y esto se logrará a través del vacío. El sello también se encargará de evitar fugas de gas de la muestra hacia el exterior, y a su vez de evitar la entrada de agua al cuerpo de la sonda.
- Los elementos que componen la sonda, en especial los que tienen contacto con la muestra, deben ser fáciles de desmontar para limpiar los restos de sedimento y así evitar que futuras muestras se contaminen.
- Ya que el sello en la sonda evitará el paso de fluidos, se debe considerar una vía que permita que el aire en el interior del cilindro salga, para lograr que cuando el cilindro suba al muestrear el aire comprimido lo regrese y la muestra salga de la sonda.
- Es necesario tener una referencia de la posición inicial del pistón en un lugar visible, así con la ayuda de una escala a definir será posible conocer el volumen de sedimento que la sonda muestreará.

La figura 2.1 muestra una representación general de la sonda con todos sus componentes.

Donde:

- (1) Es el sello en el pistón.
- (2) Es el pistón en su posición inicial.
- (3) Es el vástago del pistón.
- (4) Es el cilindro de la sonda.
- (5) Es la tapa de la sonda.

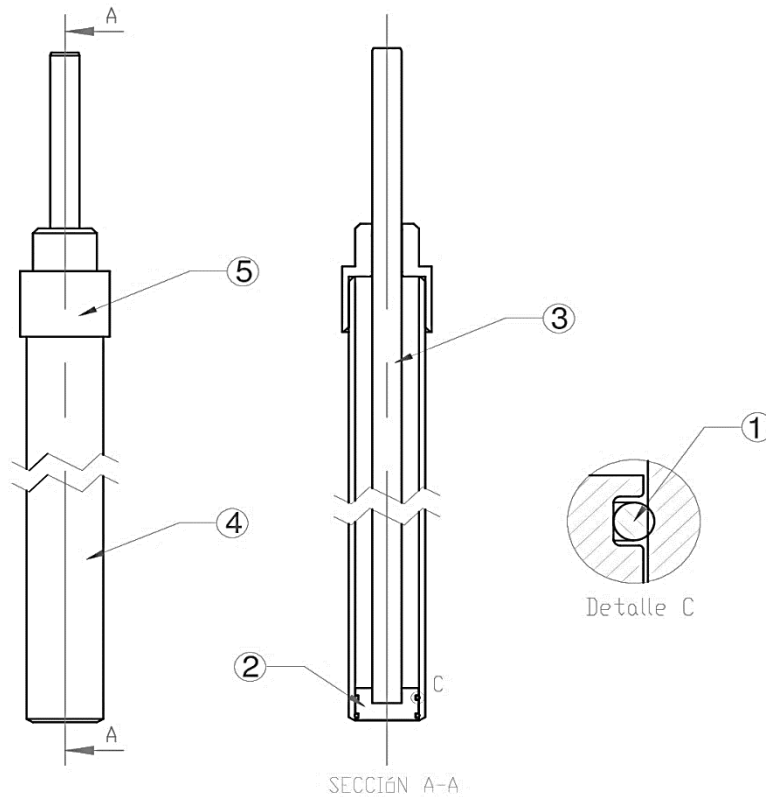


Figura 2.1 Vista general de la sonda

## 2.1 Selección del material

Se conoce que el ambiente en el que actuará la sonda es hostil y favorece la corrosión, por lo tanto el material del cual estará hecha la sonda deberá resistir la corrosión para evitar que las muestras se contaminen y que a su vez sea más resistente y cumpla con una mayor vida útil.

El acero inoxidable tiene una buena resistencia a la corrosión además de tener buenas propiedades mecánicas (ver Tabla 2.1) que ayudarán a que la sonda sea más eficiente. También es importante que los componentes del dispositivo de muestreo sean lo más cilíndricos posibles, esto para favorecer tanto al movimiento del pistón dentro del cilindro como al sello de la sonda. Dentro de los tipos de tubo de acero inoxidable existen con unión y sin unión, la diferencia entre ellos es el método de fabricación. La costura en el tubo es una desventaja para las aplicaciones de la sonda ya que en esa unión pueden alojarse bacterias y eso generará contaminación en las muestras. Por lo tanto es más viable elegir un tubo sin costura.

Tabla 2.1 Propiedades mecánicas de tubos de acero inoxidable sin unión (ASTM, 2001)

Grado	Resistencia a la Tracción	Limite Elástico
	ksi [MPa]	ksi [MPa]
TPXM-19	100 [690]	55 [380]
TPXM-10	90 [620]	50 [345]
TPXM-11	90 [620]	50 [345]
TPXM-29	100 [690]	55 [380]
TP304	75 [515]	30 [205]
TP304L	75 [485]	25 [170]
TP304H	75 [515]	30 [205]

La Tabla 2.1 muestra los valores de la resistencia a la tracción y el límite elástico de los tubos de acero inoxidable sin costura estandarizados en la norma ASTM-A312.

Comercialmente los tubos de acero inoxidable sin unión más vendidos son los TP304 y TP304L, ambos se ajustan a las necesidades de la sonda, pero debido a que el TP304L es favorable con aplicaciones de soldadura se elige este sobre el TP304.

Se considera el acero inoxidable TP304L como material para manufacturar la sonda debido a las propiedades mencionadas anteriormente. Se considera al material que es favorable a la soldadura porque es posible hacer el ensamble de la tapa con el cilindro soldado o roscado. Entonces es mejor tener todas las opciones cubiertas para evitar tener problemas en un futuro.

## 2.2 Cilindro

El primer elemento considerado para el diseño de la sonda es el cilindro, de la geometría de este dependerá la penetración que se logre en el sedimento debido a que mientras menor superficie de contacto mayor penetración. También se debe tener en cuenta que mientras más pequeño es el elemento menor volumen de muestra se obtendrá.

Es necesario encontrar el equilibrio en la dimensión del cilindro para capturar la mayor muestra posible sin afectar la penetración, de igual manera es importante considerar que la muestra permanecerá dentro del cilindro por vacío.

Para encontrar la mejor opción de la geometría del cilindro es necesario realizar pruebas de penetración con distintas configuraciones de cilindro.

### **2.2.1 Pruebas de penetración**






Se seleccionaron tres puntos de muestreo en tres estados de la República, en el Estado de México, en el Estado de Michoacán y en el Estado de Quintana Roo, de manera que la información sea representativa en diferentes tipos de sedimentos en el centro y sur del país. En el Estado de México se seleccionó la Laguna de Chimaliapan, se eligieron 3 puntos por ser de interés local, es un cuerpo de agua protegido, donde llegan 4 descargas de aguas residuales municipales, al menos una de ellas industrial.

El experimento consistió en introducir en los puntos de medición definidos en las tres entidades del país, cada uno de los tubos de prueba (ver Tabla 2.2), se les aplicó una fuerza de 200 N, se registraron las profundidades de penetración en el sedimento y se recolectaron muestras de los sedimentos de aproximadamente 300 gr en bolsas ziploc®.

Para realizar el estudio de penetración en sedimento se utilizó el siguiente material: 1 par de guantes, 1 cinta de medir, 1 par de botas de hule, 1 mascarilla para gases tóxicos, 1 rollo de masking tape®, 1 bitácora para anotaciones, 1 caja de bolsas ziploc®, 1 bolígrafo para anotaciones, 1 recipiente con agua limpia, 1 cepillo cilíndrico

La Tabla 2.2 muestra las distintas configuraciones y medidas de los tubos de prueba de penetración en sedimento. Estas pruebas siguieron el principio básico de la sonda al retener la muestra dentro del tubo por vacío, debido a la consistencia del sedimento fue posible hacerlo sin necesidad de una tapa. Por lo anterior se consideró que la retención de sedimento por vacío dentro del tubo es una opción viable para el dispositivo.

Tabla 2.2 Tubos de prueba y celda de carga

Cant.	Geometría del Tubo	Número	Imagen
Terminación recta con chaflán 30°			
1	Tubo de PVC de 38.1 mm	1	
1	Tubo de PVC de 50.8 mm	2	
Terminación en punta de 30° con chaflán 30°			
1	Tubo de PVC de 38.1 mm	3	
1	Tubo PVC de 50.8 mm	4	
1	Celda de carga de 50 kg ± 1%.		

Entre cada muestra realizada se lavaron con agua limpia y el cepillo los tubos de prueba para evitar que las muestras se contaminaran, de igual manera se sigue el funcionamiento del dispositivo final que consta en lavar los componentes después de cada muestreo para evitar contaminar futuras muestras con residuos. La Tabla 2.3 muestra las mediciones en campo para determinar el promedio de penetración de cada tubo de prueba de la Tabla 2.2, esto con el fin de obtener cual es la geometría y el diámetro indicado para el cuerpo de la sonda y así obtener la mayor penetración posible en el sedimento.

Tabla 2.3 Mediciones en campo para determinación del promedio de penetración.

<b>Punto 1, Laguna de Chimaliapan (8/04/2016)</b>			
Tubo	Presión (kPa)	Profundidad (mm)	Coordenadas
1	760	306	19° 15' 1.71" N 99° 29' 10.78" O
2	564	253	
3	760	302	
4	564	246	
<b>Punto 2, Laguna de Chimaliapan (8/04/2016)</b>			
Tubo	Presión (kPa)	Profundidad (mm)	Coordenadas
1	760	212	19° 15' 0.92" N 99° 29' 12.02" O
2	564	97	
3	760	106	
4	564	58	
<b>Punto 3, Laguna de Chimaliapan (8/04/2016)</b>			
Tubo	Presión (kPa)	Profundidad (mm)	Coordenadas
1	760	150	19° 14' 57.68" N 99° 29' 16.59" O
2	564	56	
3	760	116	
4	564	54	
<b>Punto 4, Laguna de Cuitzeo (7/5/2016)</b>			
Tubo	Presión (kPa)	Profundidad (mm)	Coordenadas
1	760	85	19° 57' 29.36" N 101° 8' 11.11" O
2	564	62	
3	760	68	
4	564	45	
<b>Punto 5, Playa Pescadores, Quintana Roo, (25/3/2016)</b>			
Tubo	Presión (kPa)	Profundidad (mm)	Coordenadas
1	760	132	20° 12' 30.96" N 87° 25' 48.08" O
2	564	84	
3	760	115	
4	564	64	

Para observar los datos obtenidos se tiene la Figura 2.2.

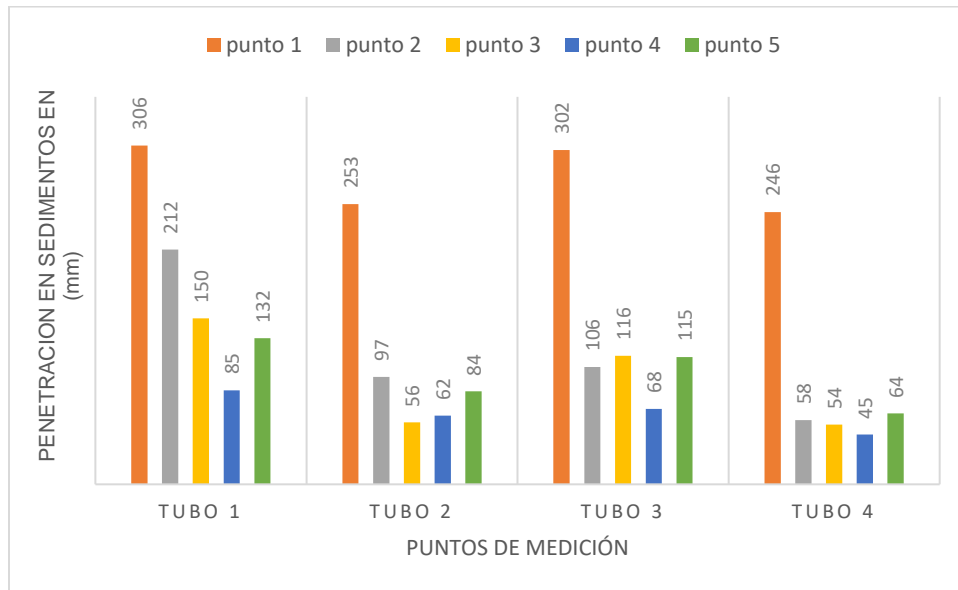


Figura 2.2 Gráfica de penetraciones por tubo

La Figura 2.2 muestra los 5 puntos de muestreo para cada tubo, donde se aprecia que el tubo uno, tiene mayor penetración en los sedimentos que los otros, esto es debido a que tiene menor superficie de contacto que los demás, se puede apreciar además que en la Laguna de Chimaliapan, tiene mayor penetración debido a las propiedades del sedimento, la Laguna de Cuitzeo es donde más resistencia se encontró, esto es debido a la compactación, se calculó el promedio de penetración por tubo ver Figura 2.3.

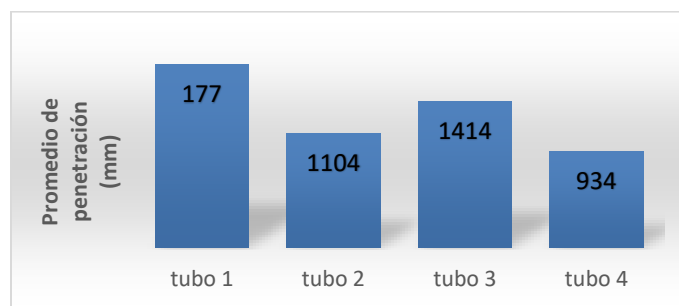


Figura 2.3 Gráfica de la penetración promedio por tubo

En la Figura 2.3 se promediaron las penetraciones por tubo, de todos los puntos de medición, se observa que el tubo uno con menor superficie de contacto es mejor que los demás, los tubos con terminación en punta son menos eficientes que los rectos, debido a que aumenta la superficie de contacto.

## Calculo de áreas y presiones

Los tubos de 38.1 mm y 50.8 mm se midieron con un vernier Mitutoyo ® digital, modelo CD-6" CSX, se obtuvieron: diámetro exterior 38.1 mm = 40.66 mm, diámetro interior 38.1 mm = 36.3 mm y diámetro exterior 50.8 mm = 50.3 mm, diámetro interior 50.8 mm = 45.6 mm, para calcular las áreas de ambos diámetros y el área total se obtuvo de las siguientes ecuaciones:

$$A_{\text{diámetro exterior}} = \pi * r^2 = \pi * 20.33^2 = 1298.5 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ec. 2.1})$$

$$A_{\text{diámetro Interior}} = \pi * r^2 = \pi * 18.15^2 = 1034.9 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ec. 2.2})$$

$$A_{\text{Total 1.5''}} = A_{\text{diam. ext.}} - A_{\text{diam. Int.}} = 1298.5 \text{ mm}^2 - 1034.9 \text{ mm}^2 = 263.6 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ec. 2.3})$$

$$A_{\text{diámetro exterior}} = \pi * r^2 = \pi * 25.15^2 = 1987.1 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ec. 2.4})$$

$$A_{\text{diámetro Interior}} = \pi * r^2 = \pi * 22.8^2 = 1633.1 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ec. 2.5})$$

$$A_{\text{Total 2''}} = A_{\text{diam. ext.}} - A_{\text{diam. Int.}} = 1987.1 \text{ mm}^2 - 1633.1 \text{ mm}^2 = 354 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Las presiones sobre el tubo de 38.1 mm (40.66 mm) y 50.8 mm (50.3 mm) se obtiene de:

$$P_{1.5''} = \frac{F}{A} = \frac{200N}{263\text{mm}^2} = 760 \text{ kPa} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

$$P_{2''} = \frac{F}{A} = \frac{200N}{354\text{mm}^2} = 564 \text{ kPa} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Donde:

P = presión ejercida

F= Fuerza máxima ejercida

A= Área total del tubo de los tubo

## 2.2.2 Diseño del cilindro

Después de realizar el análisis de los datos obtenidos en las pruebas de penetración se definieron la geometría que tendrá el cilindro y el diámetro del mismo. Para la geometría se definió un tubo recto con chaflán de 30° y en cuanto al diámetro se eligió 25.4 mm debido a que en este tubo incluso la arena de playa se retiene dentro del tubo, además de favorecer a la penetración gracias a una menor superficie de contacto que el tubo de 38.1 mm.

Se obtuvieron las medidas de los diámetros y espesores de los tubos de acero inoxidable sin costura, ver Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Dimensiones de tubos de acero inoxidable sin costura (ASTM, 2001)

Medida Nominal	Diámetro Exterior in mm		Espesor de Pared Nominal							
			Cedula 5 in mm		Cedula 10 in mm		Cedula 40 in mm		Cedula 80 in mm	
¼"	0.540	13.72	-		0.065 1.65		0.088 2.44		0.119 3.02	
½"	0.840	21.34	0.065 1.65		0.083 2.11		0.109 2.77		0.147 3.73	
¾"	1.050	26.67	0.065 1.65		0.083 2.11		0.113 2.87		0.154 3.91	
1"	1.315	33.40	0.065 1.65		0.109 2.77		0.133 3.38		0.179 4.55	
1 ¼"	1.660	42.16	0.065 1.65		0.109 2.77		0.140 3.56		0.191 4.85	
1 ½"	1.900	48.26	0.065 1.65		0.109 2.77		0.145 3.68		0.200 5.08	
2"	2.375	60.33	0.065 1.65		0.109 2.77		0.154 3.91		0.218 5.54	

La Tabla 2.4 muestra las dimensiones de los tubos de acero inoxidable sin costura para las cedulas 5, 10, 40 y 80 estandarizadas por la norma ASTM A312. Es posible tomar como guía estas dimensiones y comparar con las dimensiones de los tubos que sean comerciales en la zona.

La (Ec. 2.3) indica que el área del tubo de prueba 1 es de  $263.6 \text{ mm}^2$ , por lo tanto para tener al menos el mismo nivel de penetración que en las pruebas es necesario tener una superficie de contacto menor o igual a  $263.6 \text{ mm}^2$ .

### a) Primer propuesta de diseño

Inicialmente se pensó utilizar el tubo cedula 10 y la unión entre la tapa y el cilindro sería roscado. Esta opción se descartó debido a que la norma ASME B1.1-2013 para roscas NPT indica que para los tubos cedula 5 y cedula 10 no es posible colocar rosca por que el espesor de pared es muy pequeño.

También se descarta soldar la tapa al cilindro debido a que la superficie de contacto de este tubo es ligeramente mayor a la establecida con la (Ec. 2.3).

$$A_{diametro\ exterior} = \pi * r^2 = \pi * 16.7^2 = 876.2\ mm^2 \quad (Ec. 2.9)$$

$$A_{diametro\ Interior} = \pi * r^2 = \pi * 13.93^2 = 609.6\ mm^2 \quad (Ec. 2.10)$$

$$A_{Total\ 1"} = A_{diam.\ ext.} - A_{diam.\ Int.} = 876.2\ mm^2 - 609.6\ mm^2 = 266.6\ mm^2 \quad (Ec. 2.11)$$

### b) Segunda propuesta de diseño

Con la primera propuesta no fue factible el diseño, por lo que se propone un tubo Cedula 5 que de acuerdo al espesor de la pared del tubo 1.65 mm su diámetro interior es de 30.1 mm, obteniendo la siguiente superficie de contacto:

$$A_{diametro\ exterior} = \pi * r^2 = \pi * 16.7^2 = 876.2\ mm^2 \quad (Ec. 2.12)$$

$$A_{diametro\ Interior} = \pi * r^2 = \pi * 15.05^2 = 711.6\ mm^2 \quad (Ec. 2.13)$$

$$A_{Total\ 1"} = A_{diam.\ ext.} - A_{diam.\ Int.} = 876.2\ mm^2 - 711.6\ mm^2 = 164.6\ mm^2 \quad (Ec. 2.14)$$

La superficie de contacto cumple con la especificación de ser menor que la del tubo de prueba 1, entonces este tubo Cedula 5 es el adecuado para el cilindro. Como la norma ASME B1.1-2013 indica que en tubos Cedula 5 y Cedula 10 no pueden maquinarse roscas en el ensamble de la tapa con el cilindro, la pieza será soldada.

El tubo Cedula 5 no es muy comercial en la zona, esto implica la compra del material en otro estado lo que genera un costo más elevado, entonces se busca una opción similar con los proveedores locales.

El proveedor Aceros Sanitarios e Inoxidables de Toluca (ASITSA) ubicado en Blvd. Solidaridad las Torres 921, La Asunción, 52172 Metepec, Méx. Comercializa el tubo

*milimétrico* que tiene el mismo espesor de pared que el Cedula 5, las dimensiones de los diámetros se muestran a continuación, ver Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Dimensiones de tubo milimétrico (Aceros Sanitarios e Inoxidables de Toluca [ASITSA], 2018)

Medida Nominal	Diámetro Exterior [mm]	Espesor [mm]	Diámetro Interior [mm]	Peso [kg/m]
½"	12.7	1.65	9.4	0.464
¾"	19.05	1.65	15.8	0.175
1"	25.4	1.65	22.1	0.976
1 ½"	38.1	1.65	34.8	1.498
2"	50.8	1.65	47.5	2.02

En la Tabla 2.5 se muestran las dimensiones de los tubos milimétricos, tomando en cuenta los diámetros del tubo de 1" se calcula la superficie de contacto:

$$A_{diametro\ exterior} = \pi * r^2 = \pi * 12.7^2 = 506.7\ mm^2 \quad (Ec. 2.15)$$

$$A_{diametro\ Interior} = \pi * r^2 = \pi * 11.05^2 = 383.6\ mm^2 \quad (Ec. 2.16)$$

$$A_{Total\ 1"} = A_{diam.\ ext.} - A_{diam.\ Int.} = 506.7\ mm^2 - 383.6\ mm^2 = 123.1\ mm^2 \quad (Ec. 2.17)$$

Se observa que la superficie de contacto es incluso más pequeña que la del tubo Cedula 5 por lo tanto es adecuado utilizar este tubo para el cilindro de la sonda. El ensamble tapa-cilindro sigue siendo por medio de soldadura debido a que el espesor de pared del tubo milimétrico es el mismo que el Cedula 5 y no es posible maquinar roscas en él.

El proveedor Distribuidora Metálica S.A. de C.V. Acero Inoxidable para el Futuro ubicado en Av. 1° de Mayo Oriente 1605, Toluca, México comercializa una gran cantidad de tubos de acero inoxidable, proporcionando información importante de los tubos dentro de su catálogo de productos. Las presiones de trabajo de los tubos se muestran a continuación, ver Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Presiones de trabajo para tubos de acero inoxidable de 1" (Distribuidora Metálica S.A. de C.V., 2015)

Medida Nominal		Espesor de Pared		Presión Interior de Trabajo		Presión de Aplastamiento	
<i>Pulg.</i>	<i>mm</i>	<i>Pulg.</i>	<i>mm</i>	<i>PSI</i>	<i>kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>PSI</i>	<i>kg/cm<sup>2</sup></i>
1	25.4	0.0065	1.65	1820	130	5440	382.8
		0.0083	2.11	2370	165	7160	503.9
		0.0109	2.77	3180	225	10040	706.5
		0.0134	3.40	3990	280	13380	941.6

La Tabla 2.6 indica la presión de trabajo en el interior de los tubos y la presión de aplastamiento que estos pueden tener antes de romperse.

Se definieron 70 *kg* como el peso de una persona promedio para ser aplicados sobre la sonda para hacerla penetrar el sedimento, con la (Ec. 2.17) se obtuvo la superficie de contacto del tubo como  $A_{Total} 1" = 123.1mm^2$ , entonces:

$$P_{1"} = \frac{F}{A} = \frac{700 N}{123.1mm^2} = 5687 kPa \quad (\text{Ec. 2.18})$$

Se observa con la (Ec. 2.18) que la presión sobre el tubo milimétrico de 1" es de 5687 *kPa* la cual es menor a la presión máxima de aplastamiento del tubo que es de 38280 *kPa*. Incluso es posible aumentar la fuerza ejercida 6 veces, por lo que es seguro utilizar este material en la sonda.

El dibujo 2D del cilindro se muestra en la Figura 2.4.

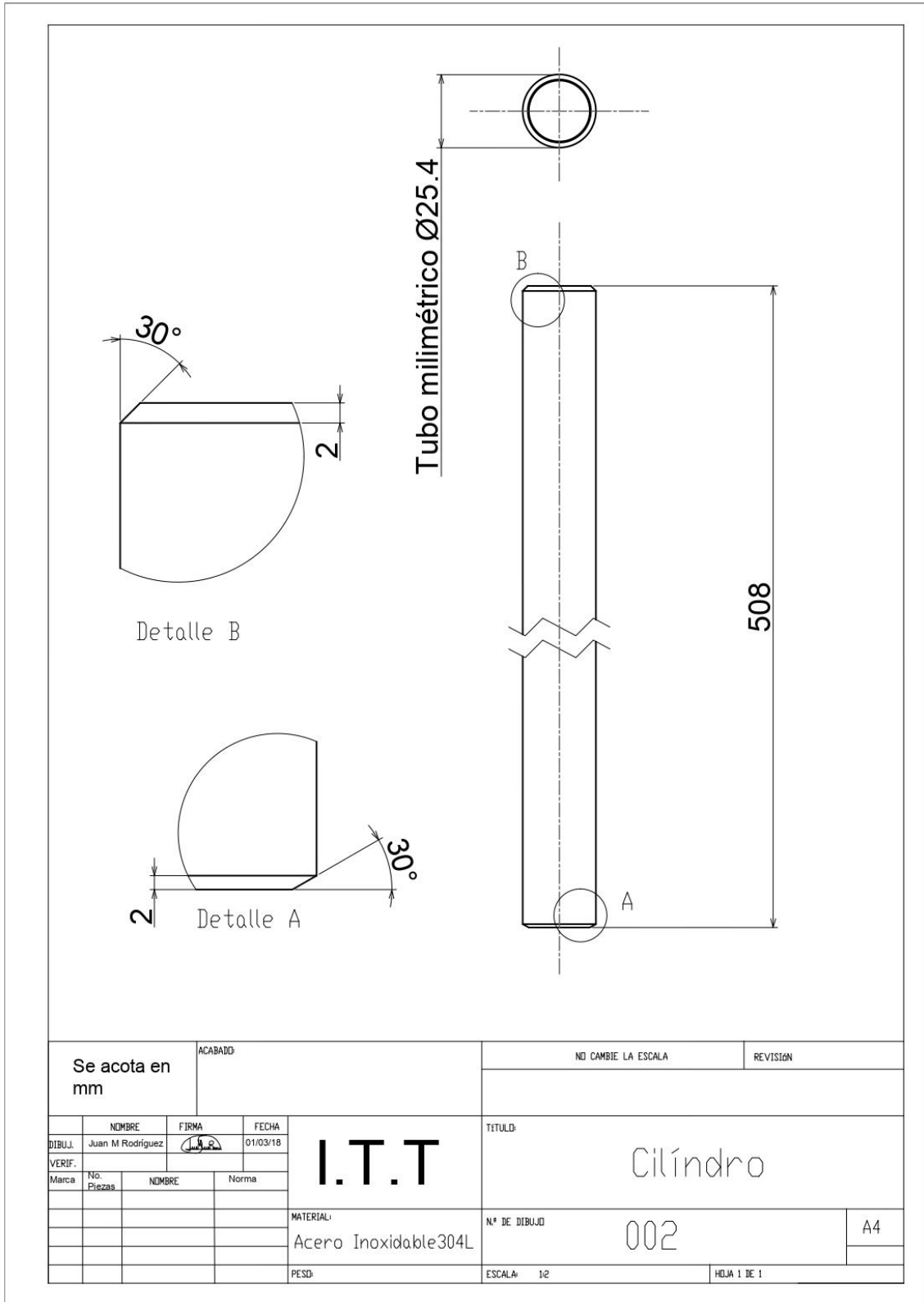


Figura 2.4 Plano del cilindro o cuerpo de la sonda

Como se observa en la Figura 2.4 se consideran dos chaflanes de 30° cada uno, el chaflán inferior se obtuvo por las pruebas de penetración, mientras que el superior es solo un chaflán de entrada para facilitar el ensamble entre el cilindro y la tapa. La longitud total del cilindro es de 508 mm, se eligió esa medida debido a que la penetración ideal es de 400 mm y se toma la longitud restante como tolerancia para absorber posibles pérdidas, esto quiere decir que dentro del cilindro debe haber 400 mm libres hasta el límite que será el pistón. Entonces se debe tener en cuenta que habrá una pérdida de longitud dentro del cilindro debido a la altura que tendrá el pistón, además es importante considerar que el cilindro estará dentro de la tapa, así que en la parte exterior de la sonda habrá también una pérdida de longitud del cilindro ver Figura 2.5.

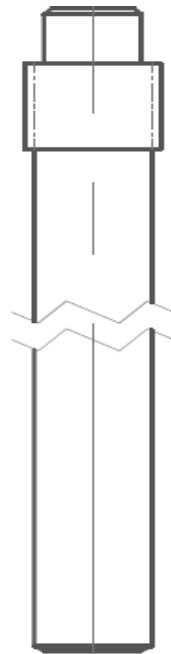


Figura 2.5 Subensamble tapa-cilindro

La Figura 2.5 muestra el subensamble entre la tapa y el cilindro haciendo notar como exteriormente existe una pérdida de longitud debido a que el cilindro se ensambla dentro de la tapa. Las líneas discontinuas muestran hasta donde llega el tubo dentro de la tapa.

## 2.3 Vástago

Después del cilindro el siguiente elemento que será referencia para continuar con el diseño de la sonda es el vástago, este elemento no necesita ser dimensionado a partir de otro, pero sus medidas ayudarán a continuar con el diseño de los demás elementos.

El vástago servirá principalmente para tener una referencia clara de la cantidad de sedimento que fue capaz de recolectar el dispositivo y una vez recolectado ayudara a verter la muestra dentro del instrumento de medición, mientras el usuario lo empuja, el vástago hace lo mismo con el pistón para que finalmente este empuje la muestra hasta su destino final.

### 2.3.1 Diseño del vástago

Este elemento será roscado en un extremo para ensamblarse con el pistón, el otro extremo es el que saldrá a través de la tapa, deberá considerarse una cierta longitud del vástago para que sobresalga de esta. La razón por la que es necesario tener una sección de vástago fuera de la sonda es para que sea posible referenciar la posición inicial del pistón (donde no se ha recolectado muestra) y una vez que se recolecte sedimento poder medir hasta donde se trasladó, con ayuda de una escala a definir se obtendrá el volumen de muestra recolectado midiendo linealmente sobre el vástago cuantos centímetros hay desde la tapa hasta la referencia de posición inicial.

#### a) Primer propuesta de diseño

Se considera el uso de tubo de acero inoxidable 304L cédula 40 de 12.7 mm para usar al vástago como vía de escape para el aire que se comprime detrás del pistón.

De acuerdo a la Tabla 2.4 se obtienen el  $\phi_{ext} = 21.34mm$  y el  $espesor = 2.77mm$ , entonces se calcula área total del tubo:

$$\phi_{int} = \phi_{ext} - 2espesor = 21.34 - (2 * 2.77) = 15.8mm \quad (\text{Ec. 2.19})$$

$$A_{total} = A_{ext} - A_{int} = (\pi * r_{ext}^2) - (\pi * r_{int}^2) = \pi(10.67^2 - 7.9^2) = 161.6mm^2 \quad (\text{Ec. 2.20})$$

$$P_{1/2"} = \frac{F}{A} = \frac{700N}{161.6mm^2} = 4331 kPa \quad (\text{Ec. 2.21})$$

Tomando como referencia la información del proveedor Distribuidora Metálica S.A. de C.V. Acero Inoxidable para el Futuro sobre las presiones de trabajo y el peso para tubos de acero inoxidable de 12.7 mm se compara la presión máxima de aplastamiento con la presión de trabajo obtenida en la (Ec. 2.21), ver Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Presiones de trabajo para tubos de acero inoxidable de 12.7 mm (Distribuidora Metálica S.A. de C.V, 2015)

Cédula	Peso Aproximado $kg/m$	Presión interior de Trabajo $kg/cm^2$	Presión de Aplastamiento $kg/cm^2$
10	1.023	200	408
40	1.279	270	580
80	1.657	380	900

En la Tabla 2.7 se puede observar que la presión máxima de aplastamiento que soporta el tubo antes de romperse es de  $580 kg/cm^2$  (aproximadamente 58000 kPa), mientras la presión de trabajo es de 4331 kPa. Se observa que se puede aumentar la fuerza en 13 veces. La longitud del vástago se considera de 600 mm, en la Tabla 2.7 se muestra el peso aproximado por metro de los tubos de acero inoxidable de 12.7 mm, con esto se calcula el peso aproximado de este elemento:

$$Peso = Peso_{Aproximado} * longitud = 1.279 kg/m * 0.6 m = 0.77kg \quad (Ec. 2.22)$$

### b) Segunda propuesta de diseño

Se observa que en la primera propuesta de diseño el vástago es muy pesado y podría vencer la resistencia del pistón haciendo que este caiga por gravedad, esto ocasionaría que cuando se esté operando la sonda el sedimento caiga debido al peso del vástago.

Ahora se considera una barra redonda solida de un diámetro pequeño para evitar que el elemento sea muy pesado, la idea de que el aire salga a través del vástago ya no será tomada en cuenta.

La norma ASTM A276 estandariza las medidas y el peso de las barras de acero inoxidable, ver Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Dimensiones para barras de acero inoxidable (ASTM, 2010)

Medida Nominal	Diámetro en mm	Peso Aproximado [kg/m]
1/8"	3.2	0.185
1/4"	6.4	0.248
1/2"	12.7	0.994
3/4"	19.0	2.235
1"	25.4	3.974
1¼"	31.8	6.211
1½"	38.1	8.942

La Tabla 2.8 muestra los diámetros de las barras de acero inoxidable redondas y el peso aproximado que estas tienen por metro lineal.

Se elige una barra de 6.35 mm, de la Tabla 2.8 se obtiene el diámetro de 6.4mm y el peso aproximado por metro de 0.248 kg/m. La longitud se considera de 600 mm, entonces se calcula el peso del elemento:

$$Peso = Peso_{Aproximado} * longitud = 0.248 \text{ kg/m} * 0.6 \text{ m} = 0.15 \text{ kg} \quad (\text{Ec. 2.23})$$

Comparando los resultados de la (Ec. 2.22) y la (Ec. 2.23) se observa que el vástago de la segunda propuesta es mucho más ligero que el de la primera, de esta manera se considera que el pistón resistirá el peso del vástago y se evitará que la muestra se caiga debido al peso.

La Tabla 2.9 muestra un cuadro de comparación entre ambas propuestas de diseño.

Tabla 2.9 Comparación entre propuestas de diseño

<b>Primer Propuesta</b>		<b>Segunda Propuesta</b>	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
El aire tiene una vía de escape a través del vástago.	El elemento es muy pesado y puede causar la caída de la muestra.  El diámetro exterior del vástago es muy grande lo que puede complicar el ensamble con el pistón.	El elemento es ligero lo cual evita la posible caída de muestras debido al peso del vástago.  El diámetro del vástago es más pequeño, con esto es más sencillo realizar el ensamble con el pistón.	Se deberá considerar otra vía de escape del aire en algún otro elemento de la sonda.

La Tabla 2.9 muestra las ventajas y desventajas de ambas propuestas de diseño, de esta manera es más sencillo tomar una decisión de cual propuesta tomar. La segunda propuesta es más viable debido a que es más crítico que la muestra pueda caerse por el peso del vástago que buscar una nueva vía de escape para el aire que se comprime detrás del pistón.

De acuerdo a lo anterior se elige la segunda propuesta de diseño, el plano del vástago se muestra en la Figura 2.6.

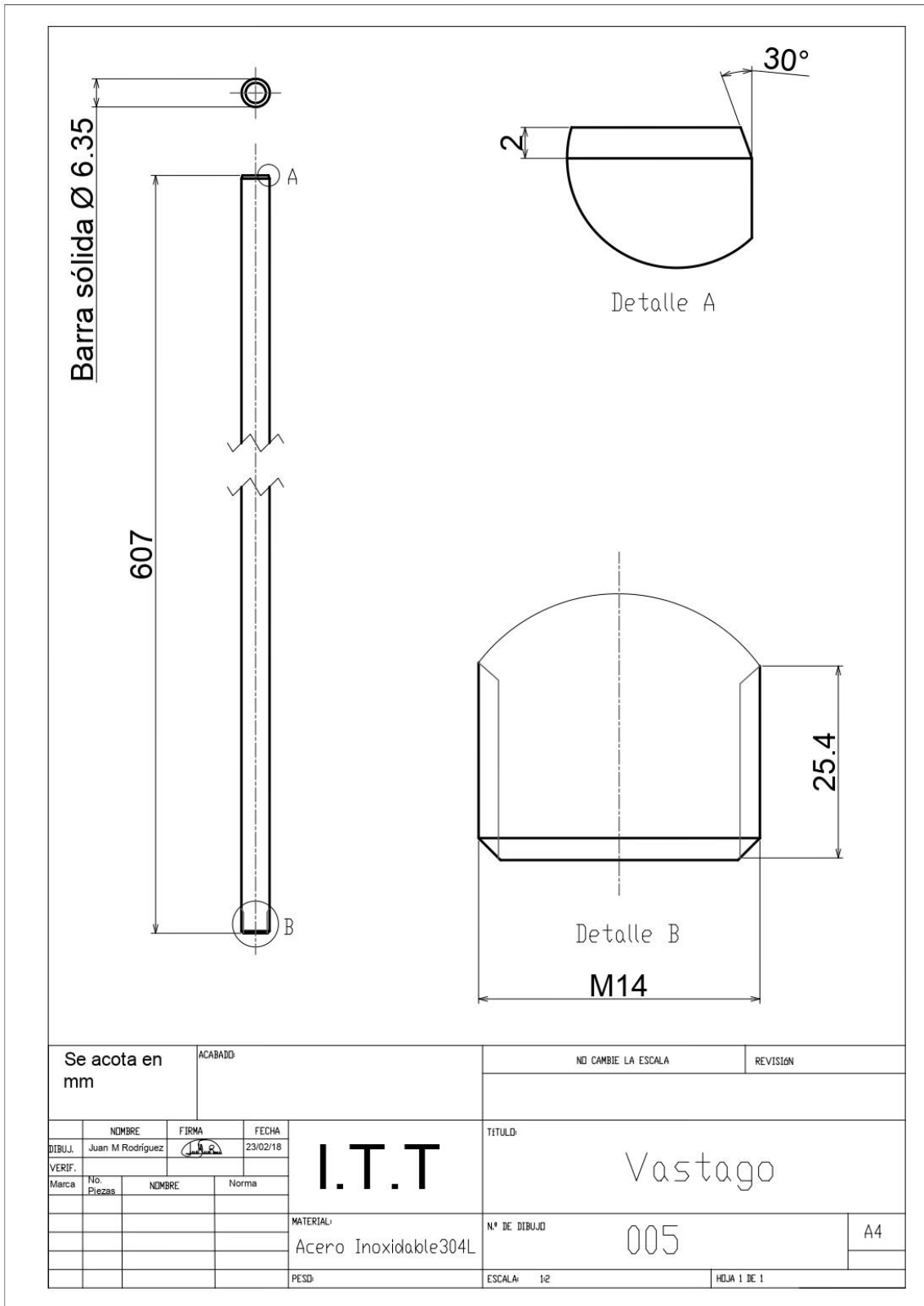


Figura 2.6 Plano del vástago

La Figura 2.6 muestra el plano en 2D del vástago de la sonda donde la cota “Barra sólida  $\varnothing$  6.35 mm se usa para estandarizar el material que se usará. Se consideró una longitud de 609.6 mm para asegurar que habrá una sección del vástago fuera de la tapa cuando este ensamblada la sonda. El detalle A muestra un chaflán de  $30^\circ$  que será solo para facilitar la entrada de este en el barreno interno de la tapa. Por último se considera una rosca M8 para ensamblar al vástago con el pistón, estas roscas están estandarizadas por la norma ISO 261, se elige esta rosca sobre la NPT ya que no habrá necesidad de evitar flujo de fluidos en este ensamble.

## 2.4 Tapa

El siguiente elemento a diseñar es la tapa, para dimensionarla se inicia a partir de la medida del diámetro exterior del tubo debido a que es ese el diámetro que cubrirá este elemento. Como la tapa será soldada al cilindro se considera que no habrá fugas de ningún tipo, así los gases de la muestra no se escaparán y a la vez no entrará agua al cilindro a través de esta unión. También se considerará una vía por la cual el vástago del pistón pueda salir conforme este vaya subiendo al muestrear. Por último la tapa será el elemento que permita la conexión con las extensiones por lo tanto se debe considerar una forma de ensamblar estas partes de forma sencilla.

### 2.4.1 Diseño de la tapa

Para este elemento no es necesario ser tan específicos en la elección del material debido a que su función principal es tapar un extremo del cilindro, entonces se continua usando acero inoxidable 304L, esta pieza debe maquinarse y se usará como base una barra solida redonda de acero inoxidable.

Como el diámetro exterior del cilindro es de 25.4 mm, la tapa deberá ser más grande que eso. Se eligió una barra de 38.1 mm, de la Tabla 2.8 se tiene:

$$Espesor_{Tapa} = \frac{\phi_{barra} - \phi_{tubo}}{2} = \frac{38.1\text{ mm} - 25.4\text{ mm}}{2} = \frac{12.7\text{ mm}}{2} = 6.35\text{ mm} \quad (\text{Ec. 2.24})$$

La (Ec.2.24) muestra que el espesor de pared que tendrá la tapa será de 6.35mm el cual será suficiente para alojar el cordón de soldadura.

Con la elección de la barra de acero inoxidable 304L de 38.1 mm es posible hacer un barreno de 25.4 mm de diámetro para insertar el cilindro dentro de la tapa, pero es necesario

maquinar exteriormente una sección de la barra para reducir su diámetro y tener así la posibilidad de unir la sonda con las extensiones por medio de una rosca estándar NPT de 1".

También debe hacerse un barreno por el cual pasará el vástago del pistón cuando se realice el muestreo, este barreno recorrerá toda la tapa. La medida de este barreno será la dimensión del diámetro del vástago más una holgura para que exista un poco de juego entre ambos elementos, se agregan dos barrenos para que facilite el paso del aire, esto debido a que con la propuesta final del vástago no puede salir el aire a través de él.

Como el barreno por el cual pasará el vástago tendrá juego, el elemento que se encargará de centrar al vástago será el pistón a través de los Junta tórica que este tendrá. Esto es para que cuando el vástago suba a través de la tapa no se flexione por el esfuerzo que se está realizando.

La Figura 2.7 muestra el plano en 2D de la tapa de la sonda.

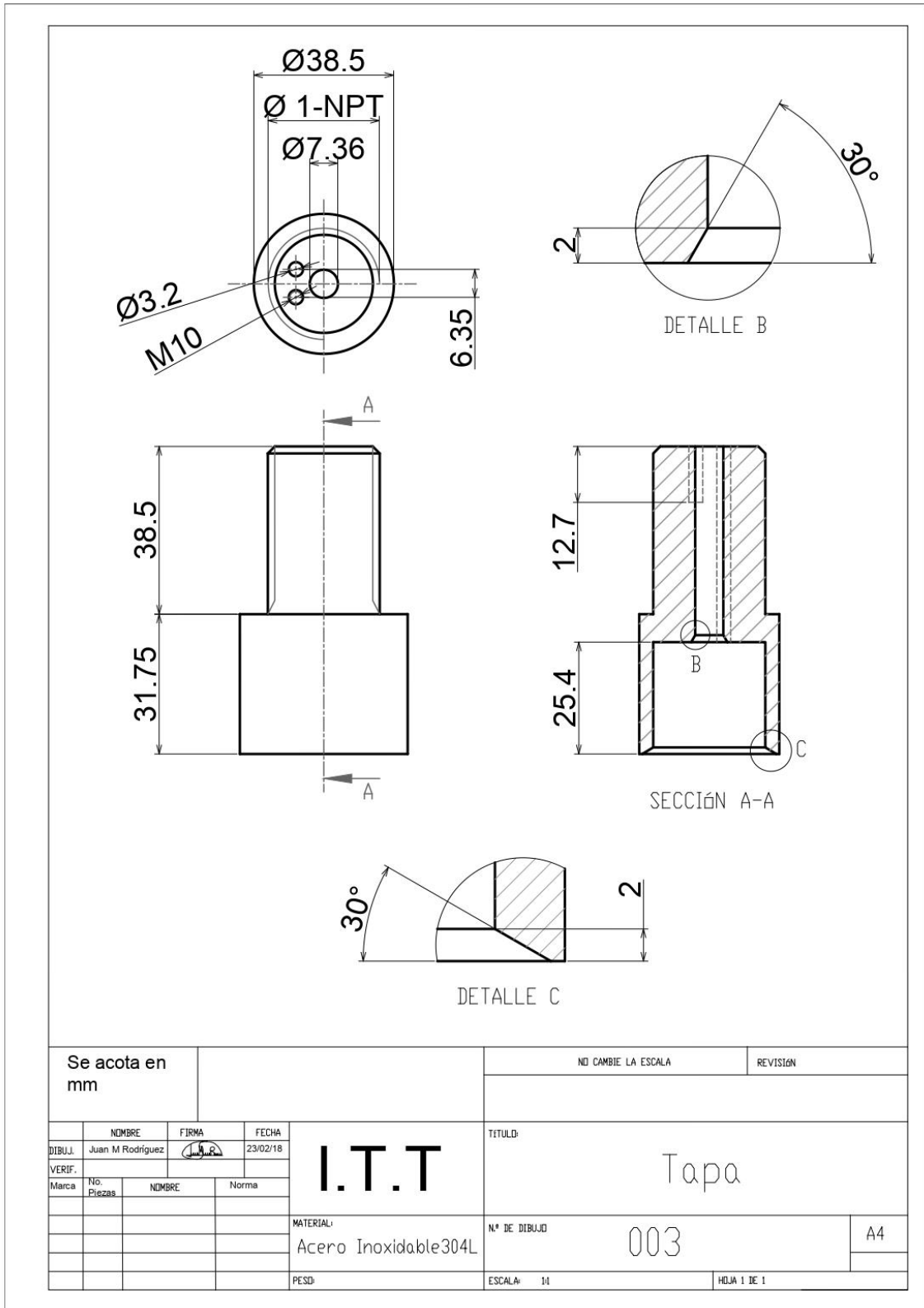


Figura 2.7 Plano de la tapa

La Figura 2.7 muestra el plano en 2D de la tapa de la sonda, esta pieza será soldada al cilindro o cuerpo de la sonda. Se observa que hay dos chaflanes de 30° en el elemento, ambos son chaflanes de entrada, el que se muestra en el detalle C será el que reciba al cilindro o cuerpo de la sonda, mientras que el que se observa en el detalle B recibirá al vástago.

El diámetro exterior será de 38.1 el cual tendrá una altura de 31.75 mm exteriormente, en la parte inferior habrá un barreno de 25.4 mm de diámetro por 25.4 mm de alto para que entre el cilindro y se suelde. La parte superior de la tapa será una rosca estándar NPT de 1" por 38.1 mm de altura, esto es para que la rosca sea suficientemente alta para que el agua no entre en el ensamble de la sonda con las extensiones.

El barreno por el cual pasará el vástago es de 7.366 mm que es el diámetro del vástago más una pequeña holgura entre los elementos de 1.016 mm, se tiene un barreno que ayudara a escapar el aire con diámetro de 3.175 mm, se tiene un segundo barreno con rosca M14 para asegurar un dispositivo que impedirá el flujo de fluidos hacia el cuerpo de la sonda, con una distancia entre sus centros de 6.35 mm.

## **2.5 Pistón**

El pistón será el elemento que hará el vacío en la sonda gracias al sello que se logrará gracias a las juntas tóricas, las dimensiones de esta pieza serán definidas de acuerdo al diámetro interior del cilindro y del sello que habrá entre el pistón y el cilindro. También al ser el elemento que se ensambla con el vástago deberá tener una rosca M14.

Al final del muestreo el pistón será quien empujará a la muestra hacia el equipo de medición, el pistón será empujado a su vez por el vástago que será bajado con la fuerza que el operador aplicará sobre este.

### **2.5.1 Selección del material**

Este elemento será de acero inoxidable 304L al igual que todos los elementos de la sonda, inicialmente será una sección de barra redonda sólida y será maquinado para llegar al diseño final. Deben maquinarse también sobre este elemento las ranuras que alojarán a los Junta tóricas para hacer un sello entre el cilindro o cuerpo de la sonda y el pistón.

## 2.5.2 Diseño del pistón

El diámetro del pistón depende del diámetro interior del cilindro que es 22.1 mm y además del sello que tendrá este elemento, entonces para obtenerlo es necesario comenzar con los cálculos de las ranuras para Junta tórica.

El manual de juntas tóricas del fabricante Anyseals estandariza la holgura que debe existir entre los elementos en los cuales existirá el sello, la Figura 2.8 muestra la holgura entre dos elementos.

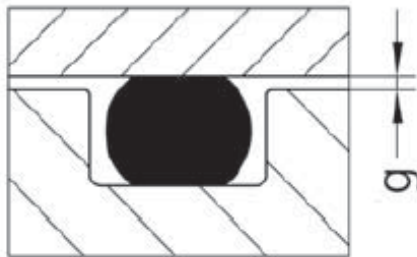


Figura 2.8 Holgura entre elementos (Anyseals, 2016)

La Figura 2.8 muestra visualmente a que se refiere la holgura entre dos elementos a sellar por medio de un Junta tórica. Esta holgura dependerá de la dureza que tenga el Junta tórica, se muestran las dimensiones de holgura de acuerdo a la dureza y el tipo de sello a utilizar, ver Tabla 2.10.

Tabla 2.10 Dimensiones de holgura (Anyseals, 2016)

Tipo de Sello	Presión [bar]	Dureza [Shore A]		
		70	80	90
Estático	≤ 63	0.2	0.25	0.3
	63 – 100	0.1	0.2	0.25
	100 – 160	0.05	0.1	0.2
Dinámico	≤ 30	0.2	0.25	0.3
	30 – 63	0.1	0.15	0.2

La Tabla 2.10 muestra la anchura admisible de la holgura  $g$  [mm] válida para temperaturas de máximo  $70^{\circ}\text{C}$  (Anyseals, 2016).

Debido a que habrá movimiento de vaivén en la sonda, específicamente entre el pistón y el cilindro, el sello se considera dinámico, también llamado estanqueidad dinámica. Para aplicaciones simples la dureza se considera de 70 Shore A, además la presión que habrá en la sonda será muy pequeña, entonces podemos considerar la presión menor a 30 bar. Por lo anterior y de acuerdo a la Tabla 2.10 la holgura  $g$  para la aplicación de la sonda es de 0.2mm. Entonces el diámetro del pistón será:

$$\phi_{\text{pistón}} = \phi_{\text{int}} + 2g = 22.1 - (2 * 0.2) = 21.7\text{mm} \quad (\text{Ec. 2.25})$$

Existen dos tipos de estanqueidad, la de cierre interior (ranura mecanizada en el exterior) y la de cierre exterior (ranura mecanizada en el interior), ver Figura 2.9.

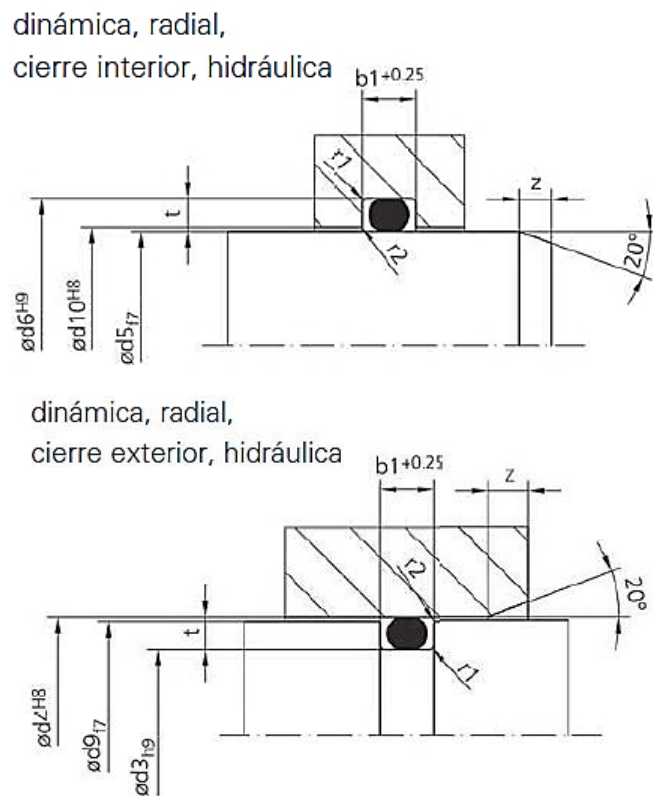


Figura 2.9 Configuraciones de estanqueidades de cierre interior y de cierre exterior respectivamente (Anyseals, 2016)

La Figura 2.9 muestra cómo debe hacerse el diseño de la ranura para Junta tórica dependiendo de la aplicación que se requiera, en este caso el pistón será quien aloje las ranuras, entonces se utilizará la estanqueidad dinámica radial de cierre exterior de aplicación hidráulica. Se muestran las dimensiones para el diseño de ranuras de Junta tórica, ver Tabla 2.11.

Tabla 2.11 Dimensiones para diseño de ranuras (Anyseals, 2016)

$d_2$	$t^{+0.05}$	$b_1^{+0.25}$	$z$	$r_1$	$r_2$
1.78	1.50	2.30	1.40	0.30	0.20
2.62	2.25	3.40	1.60	0.30	0.20
3.53	3.10	4.50	2.00	0.60	0.20
5.33	4.70	6.80	2.80	0.60	0.20
6.99	6.20	8.80	4.00	1.00	0.20

La Tabla 2.11 muestra las dimensiones en milímetros para el diseño de ranuras para Junta tóricas con las secciones transversales más comerciales, para mayor referencia ver Figura 2.9. Donde:

- $d_2$ : es el diámetro de la sección transversal circular del Junta tórica.
- $t^{+0.05}$ : es la distancia que existe entre la pared del primer elemento hasta el final de la ranura alojada en el segundo elemento.
- $b_1^{+0.25}$ : es el ancho de la ranura.
- $z$ : se refiere a la profundidad del chaflán o bisel correspondiente al elemento que está en movimiento para la estanqueidad dinámica radial de cierre interior.
- $r_1, r_2$ : son los radios de la ranura.

Inicialmente se elige el diámetro de la sección transversal del Junta tórica para tomar las dimensiones de la ranura de la Tabla 2.10, entonces se considera la sección transversal más pequeña debido a que los componentes de la sonda son pequeños, de la Tabla 2.10 se obtienen los siguientes datos:

$$d_2 = 1.78 \quad t^{+0.05} = 1.50 \quad b_1^{+0.25} = 2.30 \quad z = 1.40 \quad r_1 = 0.30 \quad r_2 = 0.20$$

Se calculan la altura y el diámetro de la ranura:

$$h_{ranura} = t - g = 1.5 - 0.2 = 1.3mm \quad (\text{Ec. 2.26})$$

$$\phi_{ranura} = \phi_{pistón} - 2h = 21.7 - (2 * 1.3) = 19.1mm \quad (\text{Ec. 2.27})$$

El diámetro de la ranura será el diámetro interior del Junta tórica. El diámetro interior del sello debe estirarse en máximo 7%. Entonces se obtiene el diámetro interior con el máximo estiramiento:

$$\phi_{max} = \phi_{ranura} + 7\% \phi_{ranura} = 19.1 + 1.337 = 20.437mm \quad (\text{Ec. 2.28})$$

Entonces el intervalo dentro del cual debe estar el diámetro interior del Junta tórica debe estar entre 19.1 y 20.437mm. Se muestran las dimensiones de los Junta tórica comerciales del proveedor Parker, ver Tabla 2.12.

Tabla 2.12 Dimensiones en mm de Junta tóricas para sección transversal de 1.78 mm  
(Parker, 2016)

Parker N°	$\phi_{int}$ mm	$\phi_{ext}$ mm	Parker N°	$\phi_{int}$ mm	$\phi_{ext}$ mm
2-005	2.57	6.13	2-019	20.35	23.91
2-010	6.07	9.63	2-020	21.95	25.51
2-015	14.00	17.56	2-025	29.87	33.43

La Tabla 2.12 muestra las dimensiones en mm de Junta tóricas para la sección transversal de 1.78 mm, también se tienen los números Parker de identificación, esta tabla es necesaria para seleccionar el sello adecuado de acuerdo al diseño de la ranura. De la Tabla 2.12 se toma el número Parker 2-019 que tiene un diámetro interior de 20.35mm el cual está dentro del rango obtenido con la (Ec. 2.28). De esta manera se obtuvo el diseño de la ranura para el Junta tórica y se seleccionó el sello que se adapta a dicha ranura. Se muestra el plano del pistón en la Figura 2.10

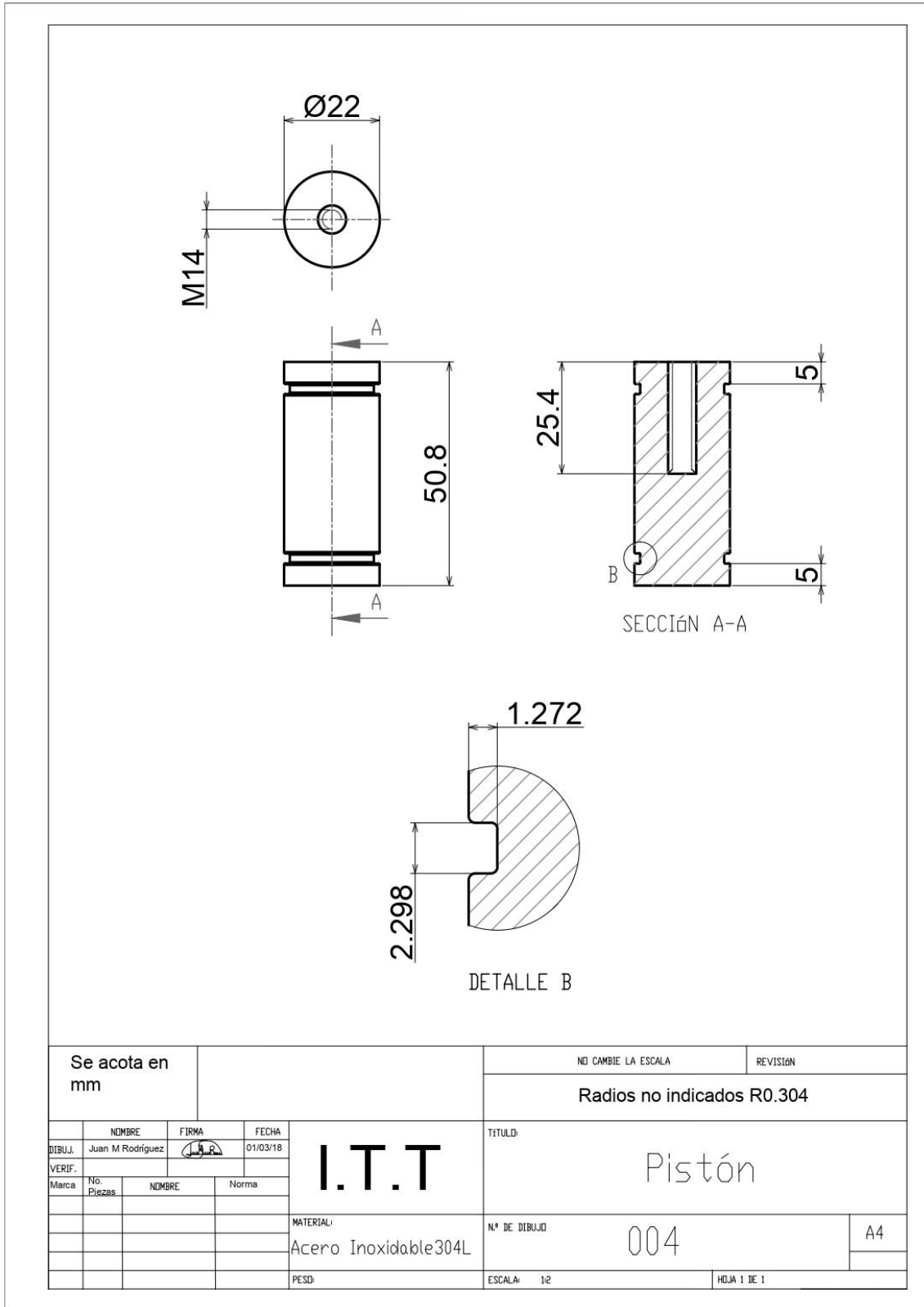


Figura 2.10 Plano del pistón

Como se observa en la Figura 2.10 el diámetro del pistón es de 21.7mm. En la parte superior se tiene un barreno en el cual se maquinará una rosca M14 por 25.4 mm de alto, esto es para ensamblar al vástago con el pistón. La longitud total del pistón es de 50.8 mm, la distancia que hay entre las ranuras y las orillas del pistón es de 5 mm. Las cotas en el detalle B se refieren a las medidas en pulgadas de la ranura.

## **2.6 Limpieza de la sonda**

Uno de los requerimientos principales de la sonda es que cada elemento debe ser limpiado después de cada muestreo para evitar que futuras muestras sean contaminadas.

Cada elemento puede desacoplarse de la sonda para realizar la limpieza de cada pieza, excepto por el ensamble Tapa-Cilindro, ya que estos elementos están soldados. El cilindro tiene una longitud mayor a los 400 mm que es la profundidad ideal de la sonda, esto es para que se absorban posibles pérdidas de longitud por el ensamble de los demás elementos, pero también sirve para que exista una cierta altura por encima del pistón para evitar que el sedimento alcance la unión interna de la tapa y el cilindro si se alcanzara la penetración máxima.

De esta manera es posible desensamblar la sonda y limpiar cada elemento y el ensamble Tapa-Cilindro con un cepillo y agua limpia. Una vez que cada elemento este seco es posible ensamblar nuevamente la sonda. El ensamble es muy sencillo e intuitivo de manera que no existirán complicaciones en el momento de ensamblar nuevamente la sonda para futuros muestreos, esto ayuda a que no se requiera de capacitación de personal y cualquier persona sea capaz de muestrear sin problemas.

### 3. RESULTADOS

Después de obtener el diseño final de la sonda se maquinó cada uno de los elementos que la conforman, se ensambló y se realizaron pruebas para corroborar el funcionamiento del dispositivo, obteniendo los siguientes resultados:

#### 3.1 Prototipo de sonda

El prototipo de la sonda se maquinó en acero inoxidable 304L de acuerdo a los planos mostrados en las Figuras 2.4, 2.6, 2.7 y 2.10. La Figura 3.1 muestra físicamente el prototipo de la sonda.



Figura 3.1 Prototipo de sonda

### 3.1.1 Funcionamiento

La sonda consta de 4 elementos: la tapa, el cilindro, el vástago y el pistón. Estos componentes forman 2 subensambles que permiten el buen funcionamiento de la sonda, estos son el subensamble tapa-cilindro que están unidos por un cordón de soldadura TIG y el subensamble vástago-pistón que se ensamblan por medio de una rosca M14.

#### Tapa-cilindro

La Figura 3.2 muestra físicamente el subensamble tapa-cilindro.

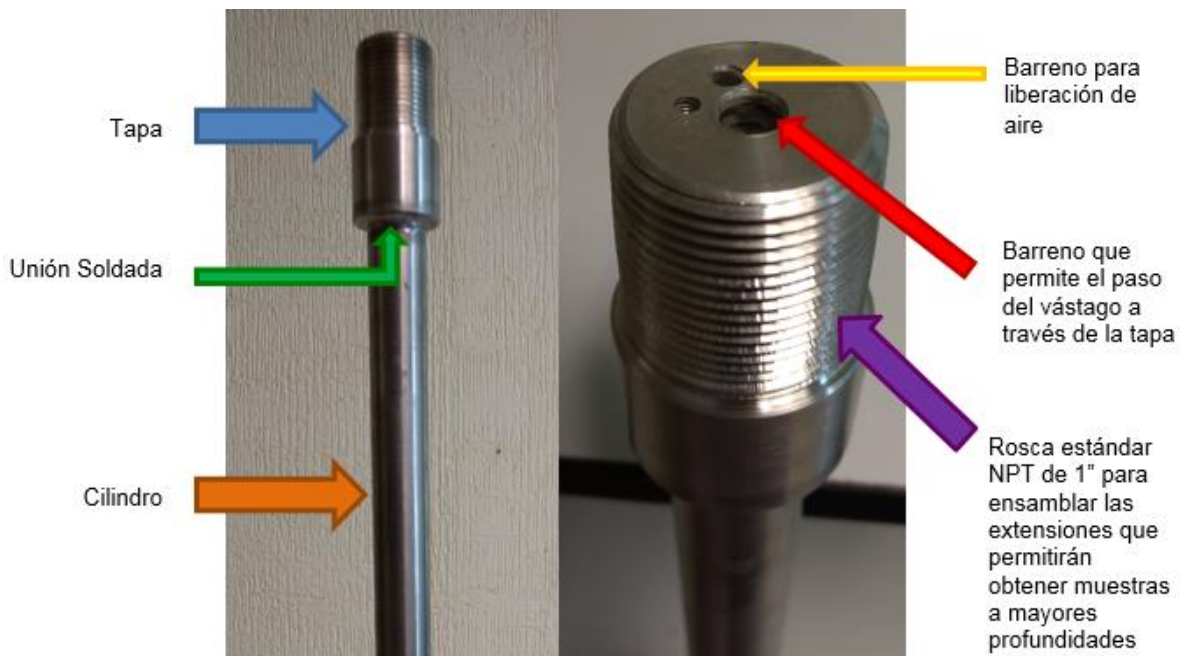


Figura 3.2 Subensamble tapa-cilindro

La Figura 3.2 muestra físicamente el subensamble tapa-cilindro, la flecha roja muestra el barreno por el cual saldrá el vástago mientras la sonda este muestreando, la flecha amarilla muestra el barreno que servirá como vía de escape para el aire que se comprime mientras el pistón sube al muestrear. Este subensamble funciona como el cuerpo exterior de la sonda, cuando el dispositivo penetre en el sedimento se quedara dentro del cilindro ayudado por el vacío que se generará gracias a los Junta tóricas en el pistón.

El barreno roscado que no está seleccionado por ninguna flecha servirá para sujetar un rectángulo de caucho, este evitará que el agua entre por el barreno de escape de aire y

genere un peso extra que podría causar la caída del pistón y por consecuente de la muestra, el caucho no afectara a la salida del aire ya que funcionará como una válvula check.

### Vástago-pistón

La Figura 3.3 muestra físicamente el subensamble vástago-pistón.

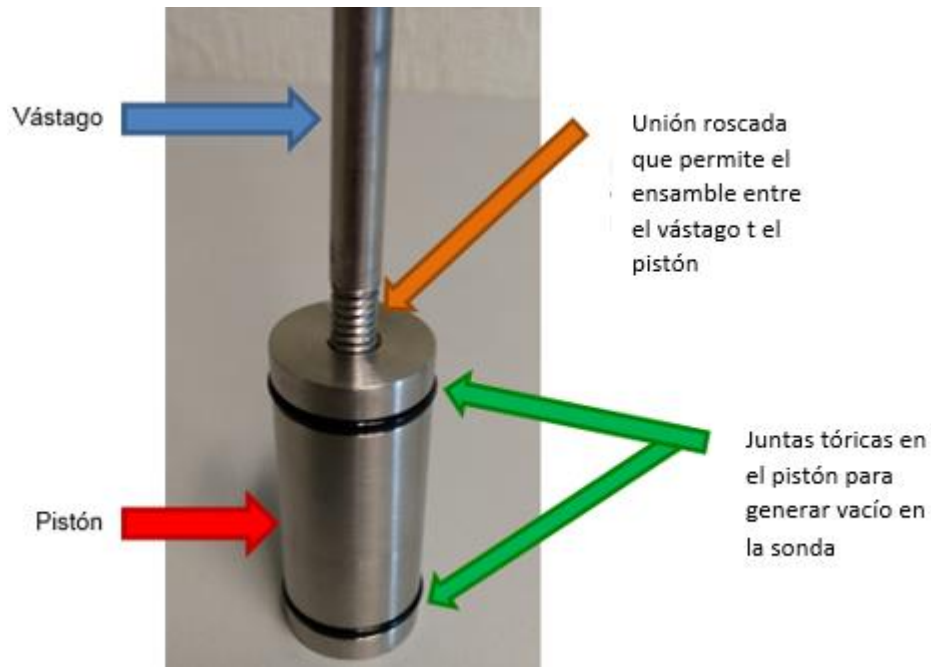


Figura 3.3 Subensamble vástago-pistón

La Figura 3.3 muestra físicamente el subensamble vástago-pistón, la flecha naranja muestra la unión roscada que permite el ensamble de ambos elementos, las flechas verdes muestran los sellos utilizados para generar el vacío necesario para evitar la caída de la muestra y a la vez prevenir fugas de gas de la muestra o que entre agua a la muestra. Cuando la sonda penetra en el sedimento, este subensamble permanece en la misma posición mientras el cilindro baja, esto causa que una cierta cantidad de sedimento permanezca en la sonda. Gracias al vacío generado por las juntas tóricas la muestra permanecerá dentro del cilindro después que el dispositivo es extraído del sedimento.

#### 3.1.2 Peso y altura del prototipo

Las dimensiones y el peso del prototipo de la sonda son importantes debido dos factores principales, el primero es que se desea alcanzar una penetración ideal de 400 mm y además la referencia del volumen de muestra adquirido estará dado por una medición lineal en el

vástago, y el segundo factor es que mientras más ligera sea la sonda más sencilla será su operación y además si el subensamble vástago-pistón es muy pesado se caerá por gravedad superando el vacío del sello y evitando que la muestra permanezca dentro del cilindro. La Tabla 3.1 muestra las dimensiones del prototipo de la sonda.

Tabla 3.1 Dimensiones del prototipo de la sonda

Descripción	Altura [mm]
Altura total de la sonda mientras el pistón está en su posición inicial.	629
Altura de la sección de vástago que sale de la tapa mientras el pistón está en su posición inicial.	680
Altura de la tapa.	690
Altura total de penetración del cilindro (al límite con la tapa).	495
Altura total del vástago que sale de la tapa mientras el pistón está en su posición más alta.	510

La Tabla 3.1 muestra las dimensiones en centímetros del prototipo de la sonda, esto para conocer las alturas reales del dispositivo físicamente. También se obtuvo la altura que tiene el tramo del vástago que sobresale de la tapa cuando el pistón está en su posición inicial, esto para poder generar una escala de cuanto volumen de muestra se extrajo midiendo la altura del vástago al salir de la tapa después del muestreo.

El peso del subensamble tapa-cilindro es de 875 gr mientras que el del subensamble vástago-pistón es de 285 gr, por lo tanto el peso total de la sonda es de 1.16 kg. Con 285 gr el subensamble vástago-pistón es suficientemente ligero para ser soportado por los Junta tórica, de igual manera la sonda con un peso total de 1.16 kg es ligera para ser operada con facilidad.

## **3.2 Pruebas de funcionamiento**

Se realizaron distintas pruebas para probar el funcionamiento del dispositivo y que también cumpliera con los requerimientos iniciales del proyecto. Las pruebas que se hicieron al dispositivo fueron:

- Prueba de Fuga
- Prueba de Vacío
- Prueba de Funcionamiento del Dispositivo

### **Prueba de fuga**

Esta prueba consistió en colocar la unión soldada del subensamble debajo de un flujo o chorro de agua y verificar que no se fugue líquido por el cordón de soldadura, de igual manera se colocó agua dentro del subensamble tapando los barrenos de la tapa. El dispositivo paso la prueba exitosamente probando que no existen fugas en la unión soldada en ninguna dirección.

### **Prueba de vacío**

Esta prueba consistió en colocar la sonda ensamblada totalmente vertical para verificar que los Junta tóricas generaban el vacío necesario para mantener el pistón dentro del cilindro. Incluso se agitó ligeramente el dispositivo y los resultados fueron positivos en ambos casos, el dispositivo paso esta prueba exitosamente probando que el sello fue el adecuado y funciona correctamente.

### **Prueba de funcionamiento**

Esta prueba consistió en una simulación de un muestreo real para comprobar que el dispositivo trabaja correctamente y que cumple con las principales características como una buena penetración, que la sonda sea capaz de recolectar la muestra y que esta permanezca dentro del cilindro por vacío. De esta manera se comprobó que tan eficiente es el dispositivo.

El experimento consistió en usar arena de playa con agua para simular el sedimento de grano más grueso con el que se trabajará, con la teoría de que si la sonda captura muestras de este sedimento será capaz de hacerlo con cualquier sedimento de grano delgado. Se

colocó este sedimento arenoso dentro de una pecera de aproximadamente 10 litros y se penetró con la sonda. Los resultados obtenidos en esta prueba se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Mediciones obtenidas en la prueba de funcionamiento

Prueba 1		
Penetración [mm]	Altura del Vástago [mm]	Volumen de Muestra [mL]
150	155	34
Prueba 2		
Penetración [mm]	Altura del Vástago [mm]	Volumen de Muestra [mL]
145	160	34
Prueba 3		
Penetración [mm]	Altura del Vástago [mm]	Volumen de Muestra [mL]
150	150	30
Prueba 4		
Penetración [mm]	Altura del Vástago [mm]	Volumen de Muestra [mL]
135	130	26

La Tabla 3.2 muestra tres mediciones obtenidas en la prueba de funcionamiento que son la penetración de la sonda en el sedimento (medido desde la punta del cilindro hasta la marca del sedimento en el mismo), la altura desde la tapa hasta la punta del vástago y el volumen de la muestra (medido en una probeta graduada en mililitros).

La Figura 3.4 muestra gráficamente los resultados de las pruebas de penetración.

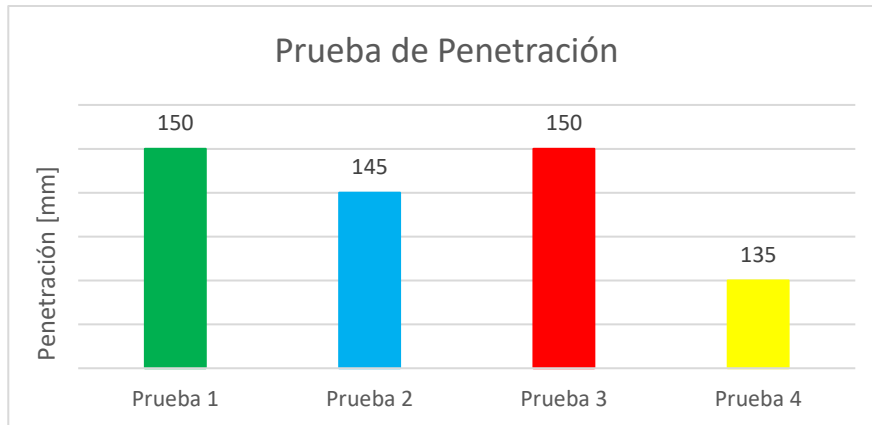


Figura 3.4 Penetración de la sonda

La figura 3.4 muestra los valores de penetración en cm de las 4 pruebas realizadas con el sedimento arenoso, la altura del sedimento es muy variable a pesar de que fue preparado en la pecera, mayormente se midió 150 mm de profundidad en el sedimento lo que significa que en dos de las pruebas se llegó al fondo de la pecera.

Los datos obtenidos de la Figura 3.4 muestran que la sonda es capaz de penetrar en buena medida dentro del sedimento, aunque en un muestreo real el sedimento puede ser más compacto que en la prueba de funcionamiento, la sonda será capaz de conseguir muestras significativas para su análisis.

La Figura 3.5 muestra el promedio de cada medición obtenido en la prueba de funcionamiento.

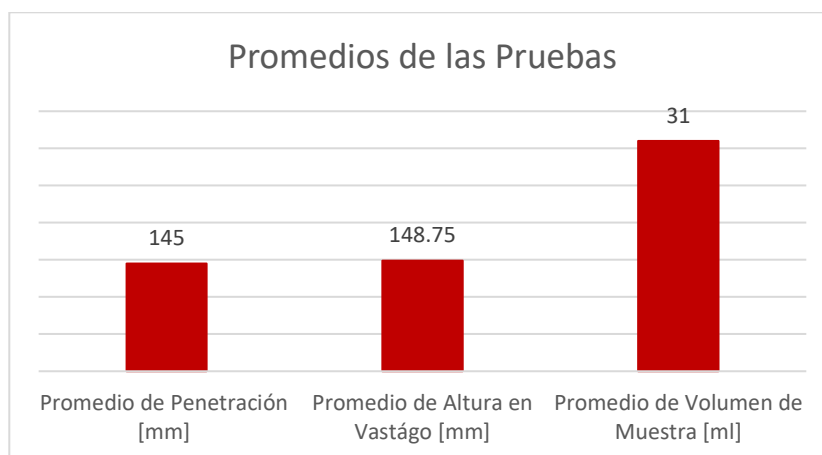


Figura 3.5 Promedio de las medidas obtenidas en la prueba de funcionamiento

La Figura 3.5 muestra el promedio de las 4 pruebas de funcionamiento para observar de una manera más general el funcionamiento del dispositivo. La altura en el vástago esta medida desde la tapa hasta la punta del vástago, por lo que se debe tomar en cuenta que esta dimensión incluye el tramo de vástago que sobresale de la tapa cuando el pistón está en su posición inicial.

### 3.3 Escala en vástago

La escala del vástago permitirá conocer el volumen aproximado de la muestra obtenida con medir la longitud que existe entre la tapa y la punta del vástago. Se calculará el volumen que existe dentro del cilindro utilizando el área calculada con el diámetro interior del tubo y la longitud obtenida midiendo el vástago que sobresale de la tapa, es importante restar a esa longitud los 68 mm de vástago que salen de la tapa cuando el pistón se encuentra en su posición inicial.

Se utilizan los datos de la prueba 1 de la tabla 3.2 como ejemplo de obtención de volumen a partir de la longitud medida en el vástago.

Inicialmente se calcula el área del cilindro, se conoce el diámetro interior del tubo milimétrico 22.1 mm de la Tabla 2.5:

$$A = \pi * r^2 = \pi(11.05 \text{ mm})^2 = 384 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Ahora se calcula el volumen multiplicando el área obtenida en la (Ec. 3.1) por la altura del vástago:

$$h = 155 \text{ mm} - 68 \text{ mm} = 87 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

$$V = A * h = 384 \text{ mm}^2 * 87 \text{ mm} = 33408 \text{ mm}^3 \quad (\text{Ec. 3.3})$$

El volumen obtenido en la (Ec. 3.3) equivale a 33.4 mL, debido a que  $1 \text{ mm}^3 = 1000 \text{ ml}$ , el volumen obtenido en esa prueba se midió en una probeta graduada en mL teniendo 34 mL de muestra. La diferencia entre ambos volúmenes es pequeña y puede ser debida a la pequeña cantidad de muestra que puede alojarse justo antes del Junta tórica del pistón.

### 3.4 Comparación contra equipos en el mercado

De acuerdo a las características iniciales de la sonda se sabe que esta debe ser capaz de mantener los gases que la muestra que se está obteniendo tiene, entonces es necesario comparar los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento de la sonda solo con aquellos muestreadores que sean capaces de retener dichos gases. Dentro de los muestreadores que actualmente existen en el mercado el único que tiene un funcionamiento similar a la sonda de muestreo es el nucleador.

El nucleador consta de un cuerpo rígido que permite la penetración en el sedimento, además de un mecanismo de cierre que permite retener la muestra por medio de vacío. El principio de operación del nucleador se puede observar en la figura 3.6. Se coloca el muestreador en una plataforma de embarcación sosteniendo el cable de sujeción del dispositivo y se inicia el descenso. Una vez que el nucleador está aproximadamente a 10 m del fondo se libera en caída libre para que sea posible penetrar en el sedimento. Posteriormente se retrae el cable para recuperar el nucleador con la muestra obtenida. (Páez F., 1983).

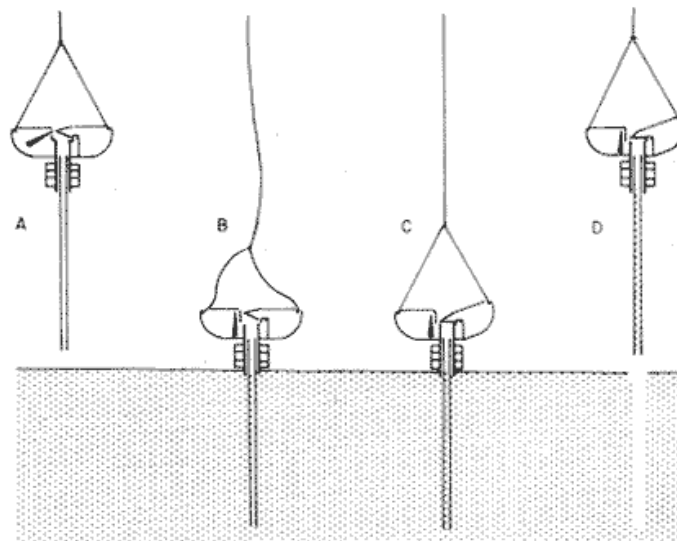


Figura 3.6 Muestreo por medio de un nucleador (Páez F., 1983)

La figura 3.6 muestra las fases de operación del nucleador: A. Posición en caída libre antes de llegar al sedimento (nótese cómo la tapa se mantiene abierta por el mecanismo de cierre). B. Penetración y pérdida de tensión en el cable. C. Inicio de la recuperación del nucleador y cierre de la tapa. D. Izado del nucleador.

Los pesos así como el largo de los tubos son seleccionados de acuerdo al tipo de sedimento esperado y objetivos de dicho muestreo. Así sobre un rango dado y tipo de sedimento, la longitud del núcleo es proporcional al peso del nucleador y la velocidad de caída. (Páez, F. 1983). En la tabla 3.3 se presentan ventajas y desventajas de la sonda de muestreo con el dispositivo comercial más cercano, que es el nucleador.

Tabla 3.3 Comparación entre muestreadores

Nucleador		Sonda de muestreo	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Obtención de muestras grandes (de acuerdo al tamaño del tubo).	Operación complicada debido al uso de plataformas y grúas.	Operación y transportación sencilla, solo se requiere del operador para obtener la muestra.	La obtención de muestras pequeñas.
Alcanza grades profundidades gracias a que es lanzado en caída libre.	El costo del dispositivo es elevado, además se aumenta el costo de la embarcación especial.	Es posible muestrear sin necesidad de una embarcación, y cuando es necesario se puede utilizar una lancha.	Se limita a profundidades de entre 4 y 6 m, además de cuerpos de agua con poca corriente.
	Diseño costoso y mantenimiento complicado.	Diseño simple y económico, mantenimiento sencillo.	

Se observa que, a pesar de que el nucleador es capaz de muestrear sin disturbar el sedimento y que además mantiene los gases de la muestra dentro del cilindro gracias a su mecanismo de cierre y que es posible obtener muestras grandes y a profundidades considerables, de acuerdo a las necesidades del proyecto el nucleador tiene muchas complicaciones debido a su operación complicada y la necesidad de recursos como una embarcación con plataforma de lanzamiento y grúa. La sonda permite muestrear desde la orilla de cuerpos de agua o desde una lancha sin necesidad de plataformas o algún otro recurso costoso, por lo anterior la sonda es una buena opción para el muestreo de sedimentos.

## CONCLUSIONES

Después de completar el diseño de la sonda, maquinar los componentes que la conforman, ensamblarlos y realizar las pruebas de funcionamiento al dispositivo se concluye que el diseño cumplió con las características que el proyecto exigió y que el funcionamiento del dispositivo es totalmente satisfactorio debido a que es capaz de penetrar en el sedimento y extraer muestras significativas para la investigación que permanecen en la sonda por vacío, dicha muestra solo saldrá empujando el vástago cuando la muestra sea vertida en el dispositivo de medición *in situ*.

La selección de las juntas tóricas fue la correcta ya que dichos componentes son comerciales y muy baratos, estos sellos son piezas de cambio o elementos consumibles para la sonda que deben cambiarse periódicamente para que el funcionamiento del dispositivo continúe siendo el correcto. La ventaja es que las juntas tóricas son fabricadas para resistir altas presiones, por lo que en la aplicación que se le da en la sonda están sobrados.

Los barrenos colocados en la tapa funcionaron como fueron diseñados, el juego que existe entre el barreno central y el vástago evita que exista fricción entre ambos componentes y por lo tanto se reduce el daño que existe en estas piezas, además el juego no es tan grande como para considerar el movimiento del vástago como peligroso.

El barreno que sirve como vía de escape para el aire que se comprime mientras el pistón sube al muestrear, puede quedarse sin el caucho que funcionaría como válvula check, debido a que las pruebas de funcionamiento se hicieron sin este y no hubo afectaciones, se seguirá considerando su uso solo para evitar que el agua llegue a la sonda (en caso de existir alguna filtración entre la extensión y la tapa).

## RECOMENDACIONES

A pesar de que el prototipo de la sonda funciona correctamente y cumple con los requerimientos iniciales del proyecto, aún se tienen oportunidades de mejora para el dispositivo. Se tiene una serie de recomendaciones para mejorar el funcionamiento del dispositivo.

Para que no existan filtraciones de agua en la sonda cuando se esté muestreando dentro de los cuerpos de agua se recomienda colocar cinta de teflón en la rosca de la tapa antes de unir las extensiones que ayudaran a obtener las muestras bajo estas condiciones.

Para el diseño de las extensiones se recomienda usar un tubo de acero inoxidable 304L Cedula 40 de 1000 mm de longitud y maquinara una rosca hembra o interna NPT de 1" en un extremo del tubo (para que coincida con la tapa), y en el otro extremo una rosca macho o externa de las mismas características para seguir uniando más extensiones de ser necesario.

Para que el pistón pueda moverse fácilmente dentro del cilindro se recomienda usar un lubricante a base de silicón, esto no afectará en la medición de las muestras debido a que solo se agregaría grasa y en cantidades muy pequeñas por lo que la muestra no se contamina.

Para evitar que el ensamble vástago-pistón salga de la sonda después de depositar la muestra se recomienda colocar en el vástago un seguro omega interior el cual evitará que el vástago pase a través de la tapa, y a la vez servirá de referencia para la medición de longitud del vástago para calcular el volumen de muestra, para evitar restar el tramo de vástago que siempre está fuera de la tapa.

## REFERENCIAS

- Abarca, F. (2007). Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos. *Perspectivas Sobre Conservación de Ecosistemas Acuáticos En México*, 113–144. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/533.pdf> [Consulta: 20 de febrero de 2016].
- ABM Industrial Mining, (s.f.). Que es un Sello Mecánico. <http://www.abm-industrial.com/2013/06/18/que-es-sello-mecanico/> [Consulta: 17 de mayo de 2018].
- AIAcero, (s.f.). Uniones y Conexiones para Acero. <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/uniones-y-conexiones> [Consulta: 03 de mayo de 2018].
- Anyseals, (2016). Juntas Tóricas. Recuperado de [http://www.Anyseals.org/es/api/getDownload/?pdf=Anyseals\\_junta\\_tóricae\\_es\\_aeu.pdf](http://www.Anyseals.org/es/api/getDownload/?pdf=Anyseals_junta_tóricae_es_aeu.pdf) [Consulta: 14 de marzo de 2018].
- Aceros Sanitarios e Inoxidables de Toluca [ASITSA], (2018). Catálogo de Productos. Recuperado de [http://m.acerosinoxidablesdetoluca.mex.tl/617112\\_ACEROS-INOXIDABLES-DE-TOLUCA.html](http://m.acerosinoxidablesdetoluca.mex.tl/617112_ACEROS-INOXIDABLES-DE-TOLUCA.html) [Consulta: 12 de febrero de 2018].
- American Society of Mechanical Engineers [ASME], (2003). Norma ASME B1.1. *Unified Inch Screw Threads*. Recuperado de [http://gost-snip.su/download/asme\\_b1\\_12003\\_unified\\_inch\\_screw\\_threads\\_un\\_and\\_unr\\_thread\\_f](http://gost-snip.su/download/asme_b1_12003_unified_inch_screw_threads_un_and_unr_thread_f)
- American Society of Mechanical Engineers [ASME], (2013). Norma ASME B1.20.1. *Pipe Threads, General Purpose*. Recuperado de [http://esh-docdb.fnal.gov/cgi-bin/RetrieveFile?docid=3072&filename=Pages%20from%20B1-20-1\\_2013.pdf&version=6](http://esh-docdb.fnal.gov/cgi-bin/RetrieveFile?docid=3072&filename=Pages%20from%20B1-20-1_2013.pdf&version=6) [Consulta: 26 de marzo de 2018].
- American Society of Testing Materials [ASTM], (2004). Norma ASTM A240. *Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications*. Recuperado de [http://www.ussa.su/gosts2/ASTM\\_A240.PDF](http://www.ussa.su/gosts2/ASTM_A240.PDF) [Consulta: 26 de marzo de 2018].
- American Society of Testing Materials [ASTM], (2010). Norma ASTM A276. *Standard Specification for Stainless Steel Bars and Shapes*. Recuperado de <http://cmcmi.com/wp-content/uploads/ASTM-A276.pdf> [Consulta: 26 de marzo de 2018].

- American Society of Testing Materials [ASTM], (2001). Norma ASTM A312. *Standard Specification for Seamless and Welded Austenitic Stainless Steel Pipes*. Recuperado de [http://www.ussa.su/gosts2/ASTM\\_A312.PDF](http://www.ussa.su/gosts2/ASTM_A312.PDF) [Consulta: 26 de marzo de 2018].
- Atlas R.M. & Bartha R. (2006). *Ecología Microbiana y Microbiología Ambiental. En: Aspectos ecológicos en el control del biodeterioro en la gestión de suelos, residuos y agua*. Madrid: Pearson Educación.
- Bonet, (2016). *Clasificación del Acero Inoxidable*. Recuperado de <http://www.bonnet.es/clasificacionacerinox.pdf> [Consulta: 03 de mayo de 2018].
- Chevalier, (2005). *Dibujo Industrial*. México: Limusa.
- De Máquinas y Herramientas, (s.f.). Tipos de Rosca y su Clasificación. <http://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-manuales/cuales-son-los-distintos-tipos-de-roscas-y-como-se-clasifican-una-guia-para-distinguir-las-y-conocer-las> [Consulta: 16 de mayo de 2018].
- Distribuidora Metálica S.A. de C.V., (2015). *Perfiles de Acero Inoxidable*. Recuperado de <http://metalica.com.mx> [Consulta: 12 de febrero de 2018].
- Distribuidora Metálica S.A. de C.V., (2015). *Tubería, Conexiones y Válvulas de Acero Inoxidable*. Recuperado de <http://metalica.com.mx> [Consulta: 12 de febrero de 2018].
- Environmental Protection Agency. (2004). *The Incidence and Severity of Sediment Contamination in Surface Waters of the United States, National Sediment Quality Survey: Second Edition*. Washington, D.C.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC]. (2013). Inventario de gases y compuestos de efecto invernadero. Recuperado de [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2015\\_inv\\_nal\\_emis\\_gei\\_result.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2015_inv_nal_emis_gei_result.pdf) [Consulta: 20 de febrero de 2018].
- Ingemecánica, (s.f.). Soldadura de los Aceros Inoxidables. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn48.html> [Consulta: 16 de mayo de 2018].
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). *PIB y Cuentas Nacionales de México*. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/ee/> [Consulta: 20 de febrero de 2018].

- ISO 68-1, (1998). *General Purpose Screw Threads – Basic Profile*. Recuperado de <https://www.evs.ee/preview/iso-68-1-1998-en.pdf> [Consulta: 16 de mayo de 2018].
- ISO 228-1, (2003). *Thread Dimensions of British Pipe Thread*. Recuperado de [http://www.taitaja2014.fi/se/images/Semifinaalit/Kierretaulukko\\_EN\\_ISO228.pdf](http://www.taitaja2014.fi/se/images/Semifinaalit/Kierretaulukko_EN_ISO228.pdf) [Consulta: 16 de mayo de 2018].
- Manahan, Stanley. (2006). *Introducción a la Química Ambiental*. D.F. México: Reverté S.A.
- NKS de México, (s.f.). Acero Inoxidable 304 y 304L. [http://www.nks.com/es/distribuidor\\_de\\_acero\\_inoxidable/acero\\_inoxidable\\_304.html](http://www.nks.com/es/distribuidor_de_acero_inoxidable/acero_inoxidable_304.html)
- NKS de México, (s.f.). Acero Inoxidable 316 y 316L. [http://www.nks.com/es/distribuidor\\_de\\_acero\\_inoxidable/acero\\_inoxidable\\_316.html](http://www.nks.com/es/distribuidor_de_acero_inoxidable/acero_inoxidable_316.html)
- North American Commission for Environmental Cooperation. (2012). *Manual de métodos de muestreo y preservación de muestras de las sustancias prioritarias para las matrices prioritarias del PRONAME*. Laboratorios ABC, Mexico.
- Outokumpu, (s.f.). Acerca del Acero Inoxidable. <https://www.outokumpu.com/mx/acero-inoxidable/acerca-del-acero-inoxidable> [Consulta: 07 de mayo de 2018].
- Páez, F. (1983). Modificación a un nucleador ligero y económico para muestrear sedimentos sin disturbarlos. Recuperado de [www.biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1986-1/articulo213.html](http://www.biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1986-1/articulo213.html) [Consulta: 25 de febrero de 2019].
- Parker, (2016). Junta tórica. Recuperado de [https://www.parker.com/literature/o\\_ring.pdf](https://www.parker.com/literature/o_ring.pdf) [Consulta: 14 de marzo de 2018].
- QuinNet, (s.f.). Tuberías de Acero Inoxidable. <https://www.quiminet.com/articulos/las-tuberias-de-acero-inoxidable-y-su-aplicacion-en-la-industria-58070.htm> [Consulta: 03 de mayo de 2018].
- Salazar, J. Peñuela, G. (2010). *Toma de muestras en aguas, suelos, sedimentos y superficies sólidas*. Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia.
- SCfluids, (s.f.). Tuberías de Acero Inoxidable. [http://www.tuberiasyconexiones.com/tuberias\\_de\\_acero\\_inoxidable.html](http://www.tuberiasyconexiones.com/tuberias_de_acero_inoxidable.html) [Consulta: 03 de mayo de 2018].

Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. (1995). Norma Mexicana NMX-AA-112-1995-SCFI. *Análisis De Agua Y Sedimentos – Evaluación De Toxicidad Aguda Con Photobacterium Phosphoreum – Método De Prueba*. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-112-1995.pdf> [Consulta: 27 de febrero de 2018].

Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2000). *Norma Mexicana NMX-AA-021-SEMARNAT-2000. Especificación de suelos, estudio, muestreo y análisis*. Recuperado de <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/documents/html> [Consulta: 22 de febrero de 2018].

Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2014). *Teoría y conceptos generales para elaborar inventarios verificables de emisiones de gases de efecto invernadero*. Recuperado de <http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/fomento/documentos/2014/guia-inventaros-gei.pdf> [Consulta: 22 de febrero de 2018].

## ANEXOS

### Anexo 1. Prueba de funcionamiento

Se puede observar la pecera que se preparó con sedimento arenoso y la sonda penetrando para obtener la muestra, esto para realizar las pruebas de funcionamiento.



## **Anexo 2. Probeta de medición**

Se observa la probeta graduada en mililitros utilizada para medir el volumen obtenido de sedimento durante las pruebas de funcionamiento.



## **Anexo 3. Muestra retenida en la sonda por vacío**

Se observa como la muestra se mantiene dentro de la sonda gracias al vacío que generan las juntas tóricas.

