

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

# **DISEÑO DE UNA CALDERA DIDÁCTICA INSTRUMENTADA PARA EL INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**Cesar Augusto Calle Cardona**

**Juan Esteban López López**

**Carlos Mario Ruiz Betancur**

Aspirantes al Título Ingeniero Electromecánico

**María Vilma García Buitrago**

Asesora Proyecto de Grado

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**2016**

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

En el Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM) de la ciudad de Medellín, ha surgido la necesidad de reforzar para la carrera de Ingeniería Electromecánica, los conceptos que involucran los procesos mediante los cuales se generan los estados de equilibrio a partir de las diferencias de temperaturas e intercambios de calor, conocidos como procesos termodinámicos. Para ello se ha planteado el diseño de una caldera didáctica que servirá como complemento a las actuales prácticas en el laboratorio y en la cual se podrán realizar mediciones que involucren principalmente, temperatura, nivel, presión y flujo, que permitirá a estudiantes y docentes aproximarse a la fenomenología involucrada en estos procesos físicos.

Dentro de las actividades encaminadas a la consecución del diseño de ésta caldera a escala de laboratorio, se plantean varias fases para su diseño las cuales abarcan desde una vigilancia tecnológica sobre equipos didácticos similares, un análisis de requerimientos técnicos y consideraciones de tipo normativo. Todo lo anterior genera a su vez una metodología de investigación orientada a lograr un desarrollo robusto de modo que el equipo diseñado se constituya en una herramienta de laboratorio que contribuya en el mejoramiento de las prácticas académicas, no sólo al servicio de la carrera de Ingeniería Electromecánica sino para todas aquellas áreas del ITM involucradas en procesos de tipo termodinámico como parte de su quehacer educativo y profesional.

*Palabras clave:* Caldera, vapor, diseño, instrumentación y control, seguridad.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

Expresamos agradecimientos en primer lugar a nuestros padres: Betty Cardona, Javier Calle, Luz Elena López, Luis Alfonso López, Luzmila Betancur, John Jairo Ruiz, a nuestras esposas: Olga Molina, Olga Lucia Jaramillo, Natalia Álzate, y a nuestras hijas: Sofía Calle, Susana López, Samantha Ruiz, por su paciencia, apoyo y comprensión en el desarrollo de este trabajo, ya que fueron nuestros principales motivadores para lograr los objetivos trazados.

Agradecemos a todos los docentes de las áreas de Termodinámica, Diseño Mecánico, Control y Automatización del Instituto Tecnológico Metropolitano, en primer lugar a María Vilma García Buitrago, nuestra asesora de proyecto por compartirnos sus conocimientos en el proceso de formación en las áreas térmicas y en el desarrollo e investigación de este trabajo de grado, igualmente a Carlos Alberto Acevedo Álvarez por brindarnos sus conocimientos y consejos en la formación como ingenieros, a Luis Alfonso Loaiza Upegui por la formación en el área de procesos mecánicos a John Alexander Isaza Hurtado en el área de automatización a Juan Gonzalo Ardila Marín en el área de resistencia de materiales y diseño mecánico y a todos aquellos que hicieron parte de nuestra formación.

Agradecemos al Ingeniero Diego Andrés González, jefe de mantenimiento de Postobón sede Medellín, por abrirnos las puertas del departamento y facilitarnos la adquisición de proveedores y cotizaciones. De igual manera agradecemos a todas las personas que de una u otra forma dieron un aporte valioso para la elaboración del proyecto, en especial a Francisco Marín, contratista experto en el área eléctrica, a Víctor Jurado, ingeniero electrónico desarrollador de software, y a los señores Luis Carlos Zapata y Armando Rodríguez por sus amplios conocimientos y experiencia en calderas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## ACRÓNIMOS

---

**ASME:** Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.

**ASTM:** Sociedad Americana de Ensayos y Materiales.

**AWS:** Sociedad Americana de Soldaduras.

**BHP:** Caballos de Potencia de Caldera.

**BTU:** Unidad Térmica Británica.

**HP:** Caballos de Potencia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	2
RECONOCIMIENTOS .....	3
ACRÓNIMOS .....	4
TABLA DE CONTENIDO.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Generalidades.....	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. General .....	13
2.2. ESPECÍFICOS.....	13
3. MARCO TEÓRICO .....	14
3.1. Conceptos Físicos .....	15
3.1.1. Termodinámica.....	15
3.1.2. Sistema .....	15
3.1.3. Calor.....	16
3.1.4. Presión .....	16
3.1.5. Temperatura .....	17
3.1.6. Transferencia de Calor .....	18
3.2. CONCEPTOS DE INGENIERÍA.....	18
3.2.1. Calderas .....	18
3.2.2. Tipos de calderas .....	19
3.2.3. Instrumentación .....	21
4. METODOLOGÍA .....	23
5. ESTUDIO DE DESARROLLO Y DISEÑOS SIMILARES DE MINI CALDERAS DIDÁCTICAS EN EL ENTORNO LOCAL .....	26
5.1. NORMATIVIDAD PARA MINI CALDERAS .....	26

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5.1.1.	Clasificación de las Calderas Eléctricas .....	27
5.1.2.	Calderas de tipo resistencia sumergible: .....	27
5.1.3.	Calderas de tipo electrodo .....	28
5.2.	CALDERAS DIDÁCTICAS EN EL MERCADO .....	29
5.2.1.	Especificaciones caldera didáctica wl 204™: .....	30
5.2.2.	Datos técnicos caldera didáctica wl 204™: .....	30
5.3.	CALDERAS DIDÁCTICA EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN .....	33
6.	DESARROLLO CÁLCULOS TÉRMICOS .....	43
6.1.	ANÁLISIS TERMODINÁMICO .....	46
6.1.1.	Cálculo de volumen de agua contenido en el recipiente .....	47
6.2.	DISEÑO MECÁNICO .....	62
6.2.1.	Requerimientos del código ASME 2010 para calderas y recipientes a presión .....	62
6.2.3	Material del cuerpo y tapas: .....	63
6.2.6.	Suministro de agua de alimentación .....	65
6.2.15	Elementos funcionales para la mini caldera .....	71
6.3	Diseño eléctrico .....	79
6.3.1	Elementos de control, instrumentación y seguridad .....	79
6.3.2	Elementos de control .....	80
6.3.3	Otros elementos de control y protección eléctrica .....	83
7	VARIABLES A MEDIR E INSTRUMENTACIÓN DE LA MINI CALDERA .....	84
7.1	Instrumentos de medición y dispositivos de seguridad: .....	85
7.1.1	Manómetro (figura 45) .....	85
7.1.2	Indicador de temperatura. (Figura 46) .....	86
7.1.3	Válvulas de alivio de vapor (figura 47): .....	86
7.1.4	Control de presión presostato (figura 48) .....	87
8	PLANOS MECÁNICOS MINI CALDERA ELABORADOS EN SOFTWARE INVENTOR .....	88
8.1	PLANOS MECÁNICOS ELABORADOS EN SOFTWARE INVENTOR .....	88
8.2	PLANOS DE POTENCIA Y CONTROL .....	95

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

9	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	101
10	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	103
11	REFERENCIAS.....	106
12	ANEXOS .....	109
13	APÉNDICE .....	135
	Apéndice A .....	135
	Apéndice B .....	136
	Apéndice C.....	137
	Apéndice D .....	138
	Apéndice E.....	139
	Apéndice F.....	140
	Apéndice G .....	141
	Apéndice H .....	142

#### **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1.	Coeficientes de transferencia de calor por convección. ....	60
Tabla 2.	Valores de conductividad de la lana de vidrio.....	61
Tabla 3.	Propiedades y características del acero inoxidable AISI 304 L.....	64
Tabla 4.	Dimensiones estándar para tubería inoxidable sin costura AISI 304 L.....	72
Tabla 5.	Numero de bloque y parámetros. ....	99
Tabla 6.	Numero de bloque y parámetros. ....	100
Tabla 7.	Costos de proyecto .....	102
Tabla 8.	Cotización 01 .....	135
Tabla 9.	Cotización 02 .....	136
Tabla 10.	Cotización 03 .....	137
Tabla 11.	Cotización 04 .....	138
Tabla 12.	Cotización 05 .....	139
Tabla 13.	Cotización 06 .....	140

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 14. Cotización 07 .....	141
Tabla 15. Cotización 08 .....	142

### LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Caldera de tipo resistencias sumergibles .....	28
Figura 2. Caldera tipo electrodos .....	29
Figura 3. Caldera Didáctica banco de trabajo Referencia WL 204™ .....	31
Figura 4. Equipo ET 810 Banco de laboratorio que simula una central térmica .....	32
Figura 5. Equipo ET 850 Generador de vapor didáctico.....	32
Figura 6. Equipo ET 860 Banco de laboratorio para simulación de dispositivos caldera .....	33
Figura 7. Laboratorio de Operaciones Unitarias UPB sede laureles Medellín .....	35
Figura 8. Caldera pirotubular 30 BHP Laboratorio de operaciones unitarias UPB.....	36
Figura 9. Instrumentos de caldera Laboratorio Operaciones unitarias de la UPB.....	36
Figura 10. Banco de destilación equipo Gunt CE 600™ Rectificación Continua y Torre de Destilación .....	37
Figura 11. Banco de intercambiadores de calor de carcasa y tubos y tubos concéntricos.....	37
Figura 12. Bancos De Intercambiadores Tipo Serpentin, Placas Y Carcasa Y Tubos .....	38
Figura 13. Mini caldera Eléctrica De Resistencia Sumergida Del Banco Gunt Ce 600.....	38
Figura 14. Mini caldera Pascual Bravo .....	39
Figura 15. Mini caldera Pascual Bravo .....	39
Figura 16. Mini caldera Pascual Bravo .....	40
Figura 17. Mini caldera Pascual Bravo .....	40
Figura 18. Mini caldera Pascual Bravo .....	41
Figura 19. CONDICIONES DE LA MINI CALDERA.....	46
Figura 20. Dimensiones para mini caldera didáctica.....	47
Figura 21. Nivel total de agua al interior de la mini caldera .....	48
Figura 22. Porción 1 en forma de prisma.....	49
Figura 23. Segunda <i>Porción en forma de cilindro incompleto</i> .....	51
Figura 24. Volumen de agua a calentar.....	53

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 25. Perdidas de calor por paredes.....	55
Figura 26. Resistencia eléctrica de 2.5 kW para inmersión .....	58
Figura 27. Datos de fabricante .....	70
Figura 28. Tramo de tubería inoxidable 8 pulgadas.....	73
Figura 29. Tapón tipo Cap .....	73
Figura 30. Platinas inoxidables .....	74
Figura 31. Niples en acero inoxidable .....	74
Figura 32. Niple tuerca en acero inoxidable .....	75
Figura 33. Uniones simples para tubería en acero inoxidable .....	76
Figura 34. Accesorio T en acero inoxidable.....	76
Figura 35. Válvula de bola en acero inoxidable.....	77
Figura 36. Válvula Cheque en acero inoxidable .....	77
Figura 37. Visor tipo “ojo de buey” .....	78
Figura 38. Visor tipo “tubo de vidrio” .....	78
Figura 39. Sifón (cole marrano .....	79
Figura 40. Sensor tipo electrodos para uso en calderas .....	80
Figura 41. Control de nivel .....	81
Figura 42. Resistencia eléctrica para inmersión.....	82
Figura 43. Electroválvula .....	82
Figura 44. Control lógico programable.....	83
Figura 45. Manómetro .....	85
Figura 46. Indicador de temperatura .....	86
Figura 47. Válvula de alivio en acero inoxidable.....	86
Figura 48. Control de presión.....	87
Figura 49. Recipiente.....	88
Figura 50. Recipiente con bases.....	89
Figura 51. Mini caldera eléctrica didáctica.....	90
Figura 52. Cap # 1 (tapa trasera).....	91
Figura 53. Cap # 2 (tapa delantera).....	92

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 54. Cilindro (cuerpo)..... 93

Figura 55. Soportes para mini caldera ..... 94

Figura 56. Planos de potencia ..... 95

Figura 57. Planos de control..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 58. Programa o secuencia de control (programador logo siemens) ..... 97

Figura 59. Programa o secuencia de control (programador logo siemens) ..... 98

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. Generalidades

En el Instituto Tecnológico Metropolitano en la carrera de Ingeniería Electromecánica, es necesario que los conceptos físicos que determinan los estados de equilibrio a partir de los intercambios de calor, estudiados a través del área de la Termodinámica, sean llevados de la teoría a la práctica, o al menos a una aproximación de tipo experimental que permita visualizar, medir y calcular sobre ciertas magnitudes cuya fenomenología se explica a través de las leyes de la termodinámica.

Los conceptos teóricos permitirán explicar los fenómenos que ocurren en una caldera que funciona con fluido agua, y los datos que esta entregue durante su funcionamiento, permitirá obtener un registro de variables como temperatura, presión, nivel y flujo, que puedan ser estudiados en ciertos intervalos de tiempo

Una de las principales razones para la implementación de un programa académico, es la de contar con la posibilidad que las asignaturas en las cuales se impartan ciencias aplicadas, cuenten con espacios y herramientas en donde de una manera didáctica se puedan llevar a cabo prácticas que permitan la experimentación para comparar y validar los conceptos teóricos adquiridos. Para efectos del ITM, la realización de un diseño y futura implementación de una caldera eléctrica didáctica a escala de laboratorio, portátil y que cumpla con los estándares de seguridad ayuda de manera significativa a reforzar el componente pedagógico práctico, que justifica desde el punto de vista académico este trabajo de grado, como un aporte al mejoramiento de las condiciones de enseñanza y de generación de conocimiento, a partir de experiencias en las que se involucre la medición de variables físicas y el análisis de los fenómenos involucrados en procesos de tipo termodinámico que son fundamentales en la formación

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

del ingeniero electromecánico. Desde el punto de vista formativo, la implementación de este equipo, constituye una herramienta útil para que la orientación de las asignaturas relacionadas con los intercambios dinámicos energéticos sea orientada con un sentido más pragmático y dentro de los espacios físicos del ITM.

El desarrollo de este trabajo necesitó de una búsqueda sobre equipos didácticos en otras universidades, y comparar con lo que se encuentra en el medio y que es ofrecido por diferentes proveedores, con el fin de ajustar el diseño a las necesidades del ITM, pero a la vez sin que éste diseño estuviera descontextualizado con respecto a lo que hay en el mercado.

Las normas internacionales sobre recipientes a presión fueron tomadas como referencia para la toma de decisiones en cuanto a materiales, espesores, instrumentos y dispositivos de seguridad.

Finalmente se hace una entrega detallada de las piezas que conformarían la caldera, su costo en el mercado y los planos de ensamble.

Lo anterior permite al ITM tomar una decisión desde el punto de vista económico para suministrar los materiales para la construcción real de la caldera didáctica o conseguir la caldera con los proveedores de equipos para laboratorio.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. OBJETIVOS

---

### 2.1. General

Diseñar una caldera eléctrica didáctica a escala de laboratorio, instrumentada, que cumpla con las especificaciones de diseño del código ASME y los estándares de seguridad.

### 2.2. ESPECÍFICOS

- Estudiar desarrollos y diseños similares de mini calderas en el entorno local.
- Desarrollar el cálculo térmico para dimensionar el equipo.
- Seleccionar las principales variables a medir en la mini caldera y los instrumentos de medida más adecuados para cada una de ellas, seleccionando los instrumentos de control de la mini caldera.
- Elaborar los planos de instrumentación, mecánicos y de ensamble de la minicaldera.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3. MARCO TEÓRICO

---

Una caldera es un dispositivo diseñado para calentar agua u otro fluido en estado líquido, es un recipiente cerrado donde se aprovecha el calor producido por el efecto de una combustión u otra fuente de energía en forma de calor. El fluido utilizado, que comúnmente es agua, por efecto de la transferencia de calor, se convierte en vapor, la energía interna en forma de calor que posee este vapor es aprovechada en diferentes procesos industriales y es transportado por medio de tuberías aisladas hasta el lugar de trabajo, en donde, por medios mecánicos de transferencia de calor, se aprovecha el calor interno del vapor. La operación de una planta de calderas, su mantenimiento e inspección requieren el servicio de personal técnico preparado a causa del desarrollo y mejora tecnológica en los materiales. Esto es debido también al avance en todo lo relativo a principios metalúrgicos sobre rotura de materiales, soldadura de componentes de una caldera y en reparaciones, así como el desarrollo de sensores que permitan un control más automático (Kohan, 2000). Es por esta razón que el Ingeniero Electromecánico debe tener un conocimiento amplio de los principios físicos de funcionamiento de una caldera para tener un criterio suficiente en el diseño, la selección, el montaje, el mantenimiento y la gestión eficiente de una caldera. De acuerdo a lo anterior, se demarca la importancia de recibir el conocimiento de los procesos termodinámicos de una manera profundamente teórica y con un buen componente práctico, partiendo desde la forma más didáctica posible, para comprender los fenómenos físicos que ocurren dentro de una caldera de forma sencilla, para llegar así hasta lo más complejo.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### **3.1. Conceptos Físicos**

#### **3.1.1. Termodinámica**

Si nos remitimos a la definición de la Real Academia Española, encontraremos que el término se define como en su segunda acepción como: f. Parte de la física en que se estudian las relaciones entre el calor y las restantes formas de energía. La palabra viene del griego *therme* (calor) y de *dynamis* (fuerza) (Engel, 2007). Apelando a una conceptualización más amplia podemos establecer que en el momento de realizar un trabajo, la energía se transfiere de un cuerpo a otro por medios mecánicos, y una de las formas en la que se produce dicha transferencia es el calor, es decir la energía pasa de un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura. La termodinámica es tanto una rama de la Física como una ciencia de ingeniería, sus principios son principalmente utilizados para observar como los sistemas interactúan con las condiciones del entorno. Cuando se habla de termodinámica, inevitablemente se debe hablar de sistema, término que se debe entender como el objeto o el conjunto de objetos cuyas interacciones se desean analizar. (Moran & Shapiro, 2004)

#### **3.1.2. Sistema**

Existen muchas definiciones sobre lo que es un sistema, básicamente a partir de asociarlos a ciertas expresiones comunes que han permeado todos los campos de la actividad humana, donde surgen expresiones como sistema educativo, sistema democrático, sistemas biológicos, entre otros. En el caso que se pretende para este trabajo de grado se puede hablar que un sistema es un “conjunto de componentes que interactúan entre sí para lograr un objetivo común” (Fernández, 2006). Existen varios tipos de sistemas, como por ejemplo los sistemas cerrados en los cuales no ingresa ni sale masa, los sistemas

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

abiertos en donde sí entra y/o sale masa, destacando que en ambos hay flujo de energía en forma de calor o trabajo a través de las fronteras del sistema.

### **3.1.3. Calor**

El calor se define como una transferencia de energía en un cuerpo material, debido a una diferencia de temperatura. La materia por sí misma tiene energía interna y sus partículas están en movimiento constante. Un cuerpo aislado conserva su energía interna. En cualquier parte del universo donde exista materia, existirá una cantidad medible de energía de calor. (Estefani, 2013). El proceso por el cual ocurre dicho transporte de energía se conoce como transmisión de calor, lo que se transmite no puede ser en sí medido ni es directamente observable, lo que si se pueden medir son sus efectos, es decir la variación de la energía. La transmisión de calor es un componente importante dentro de la rama de la termodinámica, ya que sigue la ley de la conservación de la energía, en la que se debe cumplir que, en un sistema cerrado, el calor emitido por la región de temperatura mayor sea la misma en cantidad al calor que se absorbe por parte de la región de una temperatura menor (Esplugas & Chamorro, 2005).

### **3.1.4. Presión**

En general la materia se presenta en tres estados: sólido, líquido y gaseoso. Un sólido tiene una estructura periódica y ordenada, que no cambia, a menos que sea sometido a la acción de una fuerza externa. Al aumentar la temperatura, los sólidos se funden y pasan a estado líquido. En este estado las moléculas no se encuentran en posiciones fijas, aunque sus interacciones siguen siendo suficientes como para cambiar de forma sin cambiar de volumen, es decir se adapta al recipiente que lo contiene. En el estado gaseoso, las moléculas permanecen en continuo movimiento y la interacción es

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

muy débil. Un gas se adapta al recipiente que lo contiene, pero trata de ocupar todo el espacio disponible. Tanto el gas como el líquido se consideran fluidos y es sobre estos que se define la presión como el cociente entre la componente normal de la fuerza sobre una superficie y el área de dicha superficie. En el Sistema Internacional su unidad de medida se denomina Pascal y se simboliza como Pa. La fuerza que ejerce un fluido en equilibrio sobre un cuerpo sumergido en cualquier punto es perpendicular a la superficie del cuerpo, su magnitud es escalar y dependerá únicamente de sus coordenadas (Franco, 2012).

### 3.1.5. Temperatura

La temperatura es una magnitud fundamental que proviene de un concepto que no siempre podemos definir pero que siempre está presente en cualquier actividad. Cuando se toca un cuerpo se siente que está caliente, se dice que “tiene una temperatura alta”, por el contrario, cuando el cuerpo está frío se habla que “tiene una temperatura baja”. Por lo tanto, se puede decir que la temperatura es la “magnitud que refleja el nivel térmico de un cuerpo y su capacidad para ceder energía calorífica” (Rolle, 2006). La manera de medir dichas sensaciones de una manera objetiva es mediante la utilización de aparatos que aprovechen la dilatación de un cuerpo. Según el Sistema Internacional la unidad de medida de la temperatura es el Kelvin (K) y “la escala absoluta de temperatura se define de tal manera que la temperatura del punto triple<sup>1</sup> es 4,58 mm de Mercurio y la temperatura del punto triple es 0,01 °C” (Tipler, 1991). Otras dos unidades de medida son el grado Celsius (°C), el cual es una unidad relativa y es accesoria del Sistema Internacional el cual se define a partir del Kelvin como:  $T(^{\circ}C) = T(^{\circ}K) - 273,15$ ; el grado Fahrenheit (°F)

---

<sup>1</sup> El punto triple es un menor de equilibrio en el que un sistema llega a alcanzar la temperatura y la presión de equilibrio a las cuales no se fundirá ni evaporará hielo, ni se congelará ni evaporará agua y no se condensará ni congelará vapor de agua.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

utilizado en el sistema anglosajón, tiene una equivalencia relativa con respecto al Kelvin definida como:  $T_{(^{\circ}F)} = 9/5(^{\circ}K - 273) + 32$

### **3.1.6. Transferencia de Calor**

La transferencia de calor es aquella ciencia que busca predecir la transferencia de energía que puede ocurrir entre cuerpos materiales, como resultado de una diferencia de temperatura. La termodinámica enseña que esta transferencia de energía se define como calor. La ciencia de la transferencia de calor no sólo trata de explicar cómo puede ser transferida la energía calorífica, sino también trata de predecir la rapidez a la que se realizará este intercambio bajo ciertas condiciones especificadas. (Holman, 1986) Esta transferencia de energía ocurre a través de fenómenos físicos que se conocen en la teoría como los mecanismos de transferencia de calor, el calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura. (Cengel, 2007)

## **3.2. CONCEPTOS DE INGENIERÍA**

### **3.2.1. Calderas**

Desde el punto de vista conceptual una caldera consiste en un recipiente cerrado en el cual sucede la evaporación de agua, de una manera continuada debido a la aplicación de calor mediante una fuente de calor que puede ser proveniente de los gases de una combustión o de una fuente de calor proveniente de una resistencia eléctrica sumergida en el agua. Dichos gases suelen ser producto de la combustión de un material que sea capaz de liberar energía a una altísima velocidad, llamado combustible; por su parte, cuando la fuente de calor proviene de una o varias resistencias eléctricas

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

sumergidas que generan un incremento considerable de temperatura, transfiriendo este calor al agua contenida dentro de la caldera.

Por otra parte, una caldera tiene los siguientes parámetros a observar que las diferencian unas de otras (Villares, 2003):

- Localización de la caldera.
- Cantidad de vapor que se necesita.
- Presión del vapor.
- Temperatura del vapor.
- Calidad del vapor.
- Calidad del agua que sirve como alimentación.
- Tipos de combustibles de alimentación.
- Características de carga.
- Variaciones previstas de carga.
- Tipo y forma de los quemadores.

Los exteriores de los tubos y otras zonas de una caldera se afectan por depósitos que se incrustan en sus paredes. Dichos depósitos se determinan principalmente por el tipo de combustible que se utilice, la calidad del combustible, las condiciones de combustión y el tratamiento que aplica al agua de alimentación, aparte de la forma y el diseño que posea la caldera.

### **3.2.2. Tipos de calderas**

No existe un consenso sobre los tipos de calderas existentes, ya que se pueden clasificar por su diseño, forma de combustión, capacidad, entre otros. No obstante, se mencionará una clasificación basada en el tipo de combustible, de acuerdo a la pertinencia de este proyecto, existen cuatro tipos básicos de calderas (Malek, 2005):

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### **3.2.2.1. Calderas de gas**

Como su nombre lo indica, es una caldera que es calentada por la combustión de un gas, que puede ser gas natural, gas propano, u otro gas derivado de petróleo.

### **3.2.2.2. Caldera de aceite**

Este tipo de caldera es calentada por la combustión de un aceite derivado del petróleo, que puede ser un aceite pesado como el crudo de castilla, muy utilizado por su bajo costo, o un aceite liviano como el ACPM o el keroseno.

### **3.2.2.3. Caldera de carbón**

Diferentes variedades de carbón son usadas para calderas grandes, en su mayoría, para usos industriales. El carbón es un combustible muy económico para el trabajo de calderas utilizadas en plantas de generación eléctrica, pero su bajo costo en el uso del combustible va en contra vía de los altos costos para el control de la emisión de carbón.

### **3.2.2.4. Calderas eléctricas**

En lugar de los combustibles convencionales, la electricidad es usada como fuente de calor para estos tipos de calderas. La electricidad es una fuente de energía muy limpia y eficiente, este tipo de caldera comúnmente se utiliza para laboratorios de investigación, industrias alimenticias y en otras industrias en donde se hace control estricto de las emisiones de combustibles fósiles.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### **3.2.3. Instrumentación**

#### **3.2.3.1. Control de nivel**

Lograr que un caudal de vapor coincida con los requisitos variables de una caldera, necesita un control de nivel de agua de la caldera. Dados los pequeños espacios de vapor, se requiere una respuesta rápida y precisa a las variaciones en el nivel de agua, éste se controla poniendo en marcha bien sea con una bomba de alimentación de agua de la caldera a unos niveles de agua determinados por una sonda y control on/off, o abriendo o cerrando progresivamente una válvula de alimentación según la demanda de vapor hace que cambie el nivel de agua casos con intervalos entre pruebas extendidos. Un control proporciona una presión y un caudal de vapor constante en las calderas de vapor. El caudal del agua de alimentación varía, en respuesta a los cambios en el nivel de agua. Con un control modulante, la bomba de alimentación de agua de la caldera está en marcha todo el tiempo, y se usa una línea de retorno al para devolver el agua sin usar al tanque. (Spyrax Sarco, 2014).

#### **3.2.3.2. Control de llama (calderas con quemador)**

La función de este control es la de regular la secuencia de encendido del quemador de una caldera. El dispositivo opera al recibir energía, allí comienza una secuencia de encendido programada: activa la salida del ventilador de pre barrido, si detecta llama en esta etapa aborta el ciclo y activa la salida de alarma; luego del pre barrido activa la salida de comando de ignición y gas y a continuación la salida para el solenoide de fuel. Si enciende, apaga la ignición (chispa) y activa el relé de modulador. Realiza dos intentos de encendido, en caso de fracasar activa la salida de alarma. Luego de encendido el quemador, si se apaga la llama realiza un intento de encendido y si fracasa activa la salida de alarma. Posibilidad de supervisión de llama piloto (Malek, 2005).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### **3.2.3.3. Control de presión**

Para hacer un control del nivel de presión se requiere de un presóstato. Este dispositivo también es conocido como interruptor de presión, consiste de un aparato que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión de un fluido. El fluido ejerce una presión sobre un pistón interno haciendo que se mueva hasta que se unen dos contactos. Cuando la presión baja un resorte empuja el pistón en sentido contrario y los contactos se separan. Un tornillo permite ajustar la sensibilidad de disparo del presóstato al aplicar determinada fuerza sobre el pistón a través del resorte. Usualmente tienen dos ajustes independientes: la presión de encendido y la presión de apagado. No deben ser confundidos con los transductores de presión (medidores de presión), mientras estos últimos entregan una señal variable en base al rango de presión. (Elhinel , 2014).

### **3.2.3.4. Control de temperatura**

La temperatura en la caldera se controla con un termostato. El termostato es el elemento que controla la temperatura, este abre o cierra un contacto conectado a un circuito eléctrico cuando alcanza la temperatura de regulación. Se puede decir que es un interruptor o conmutador eléctrico que funciona con temperatura (Franco, 2006). Los termostatos son muy utilizados en sistemas de aire acondicionado, calefacción, entre otros. Los termostatos se utilizan para ahorrar energía, ya que registran la temperatura ambiente y cuando se llegue a un tope establecido de temperatura se cierra el circuito eléctrico que genera el calor (o frío si hablamos de aire acondicionado). Mientras más sofisticado sea el sistema mayor será el ahorro, ya que medirá con más precisión la temperatura del ambiente y cerrará el circuito cuando se alcance la temperatura programada.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 4. METODOLOGÍA

---

Para la elaboración del presente proyecto, se llevará a cabo un análisis basado en una investigación inductiva para la observación y el registro de datos y posteriormente un análisis deductivo para el manejo de los datos basados en los cálculos de diseño; introduciendo la temática del estado actual del diseño de calderas didácticas desde lo general a lo particular y luego abordando el establecimiento de un prototipo que se lleva hasta la fase de proyección gráfica en donde se tendrán en cuenta los diseños los diagramas de procesos e instrumentos a parte del diseño del plano de todas las componentes de la caldera, dejando para una fase posterior su implementación.

En el trabajo se desarrollarán cálculos y se definirán las variables medibles, en general las consideraciones de ingeniería a tener en cuenta para el diseño de la caldera se enfocarán en descripciones detalladas de su evolución, estado actual y perspectivas de implementación a futuro.

Se considera adicionalmente una metodología orientada al usuario, es decir que la presente propuesta ofrece como resultado un diseño que se ajuste a las necesidades de ofrecer un equipo de manejo simple y que a la vez favorezca el aprendizaje en el área térmica a los estudiantes de ingeniería electromecánica. Sin embargo, el presupuesto con el que cuente la institución y específicamente los laboratorios será el que defina la construcción o no del equipo.

Este proyecto se llevará a cabo mediante la recopilación de datos a partir de fuentes secundarias de información como lo son la consulta de libros, revistas especializadas y documentos digitales hallados en diferentes direcciones electrónicas en Internet.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para proceder a seleccionar las variables a medir en el equipo propuesto se debe describir su comportamiento, según parámetros establecidos y se determina si es cuantitativa y si los resultados o datos que se arrojen deben ser o no agrupados.

Otras herramientas de caracterización que serán utilizadas son las medidas de tendencia central, medidas de posición y medidas de dispersión. De la mano de este primer paso se determinará un análisis detallado de requerimientos de tipo técnico, tecnológico y pedagógico sobre la caldera didáctica.

Para el rastreo sobre los equipos con los que cuentan otras instituciones o los ofrecidos por proveedores de equipos de laboratorio, se acudió a realización de una vigilancia tecnológica sobre equipos similares que sirvan para la enseñanza en otras instituciones de educación y/o que hayan sido específicamente diseñados con propósitos académicos y didácticos, además de la instrumentación utilizada en otras plantas piloto utilizadas en laboratorios.

Éste proceso es un desarrollo de tipo organizado, selectivo y permanente, con el cual se pretende captar información con el propósito de tomar decisiones, en este caso la decisión sería la de implementar un determinado tipo de caldera que se ajuste a las necesidades del ITM.

La metodología a seguir será la delineada por la norma UNE1666006:2006 EX que define los procesos de vigilancia tecnológica. Con respecto al desarrollo del diagrama de procesos e instrumentos y diagrama de la caldera, se parte de los requerimientos previamente obtenidos y se procede a seleccionar los materiales que serán utilizados para cada componente de la caldera, las características del PLC y de los instrumentos de medida y de visualización que se añadirán, así como la selección de la interface y cómo se llevará a cabo el monitoreo y el procesamiento de los datos para su visualización con la

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

mayor precisión posible ya que de esta parte depende que las mediciones sean confiables para propósitos de validación de modelos y teorías termodinámicas.

Una vez realizado un diseño preliminar se deberá proceder a determinar los costos de cada uno de los componentes y generar así un precio global que incluya no sólo los materiales sino los precios de implementación y las horas/hombre que se han utilizado en los preparativos de diseño. De ser necesario se deberán reformular algunos aspectos de materiales y consideraciones de ingeniería, para ajustar los costos iniciales. Finalmente se procederá a la proyección del diseño de la caldera, mediante los planos de las partes incluyendo el diagrama de procesos e instrumentos, mediante lazos de control realimentados sencillos para cada una de las principales variables (temperatura, flujo, nivel y presión). Del mismo modo se tendrán en cuenta las características de las válvulas y los factores de seguridad que se van a tener en cuenta y cómo sería el ensamble de las partes, para ello se deberá contar con el software necesario para graficar y dar forma a los diseños logrados.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. ESTUDIO DE DESARROLLO Y DISEÑOS SIMILARES DE MINI CALDERAS DIDÁCTICAS EN EL ENTORNO LOCAL

---

### 5.1. NORMATIVIDAD PARA MINI CALDERAS

De acuerdo a la sección I del código de calderas y recipientes a presión de la ASME (American Society of Mechanical Engineers), una caldera miniatura de alta presión es una caldera de alta presión que no excede de los límites siguientes: 16" (406.4 mm) de diámetro interior de virola (chapa metálica envolvente cilíndrica); 5 pies cúbicos (0.14  $m^3$ ) de volumen bruto de virola y aislamiento; y 100 psig (7  $kgf/cm^2$ ) de presión. Si se excede de estos límites se trata de una caldera de potencia (Kohan, 2000). Además, una mini caldera debe de cumplir con ciertas características (Malek, 2005):

- Pequeña y de fácil operación.
- De fácil y rápida instalación, requiere solamente de conexión de agua de alimentación y suministro de gas o eléctrico enganchable.
- Compactas y de mínimo espacio de superficie.
- Vapor disponible en pocos minutos.
- La presión de diseño no debe exceder los 100 psig y debe ser ajustable para presiones menores.
- Requiere una presión en la línea principal de agua, 10 psig mayor que la presión de funcionamiento de la caldera, para la alimentación automática de agua.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Fácil rutina de mantenimiento.

Teniendo claro las anteriores especificaciones y características, una mini caldera eléctrica es una caldera cuya fuente de energía de calentamiento es la electricidad y no necesita ningún tipo de combustible para su funcionamiento, por tal razón no posee quemador lo que la convierte en una máquina térmica muy sencilla y eficiente, de fácil manejo, no posee demasiada instrumentación para su operación, son muy compactas, razón por la cual se puede transportar con mucha facilidad. Este tipo de calderas usan electricidad como fuente de calentamiento, el valor de la tensión usualmente es de 220 V de corriente alterna, trifásica a 60 Hz, las potencias de entrada varían entre 3 a 20 kW. Los rangos de presión van desde los 15 hasta los 100 psig (Malek, 2005).

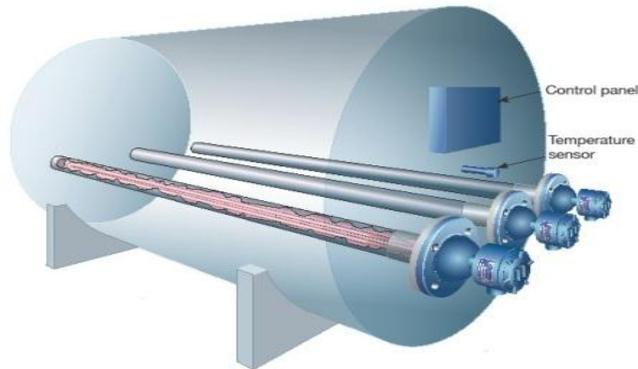
#### **5.1.1. Clasificación de las Calderas Eléctricas**

Hay dos tipos básicos de calderas eléctricas disponibles, Calderas de Tipo Resistencia Sumergible y Calderas de Tipo Electrodo.

#### **5.1.2. Calderas de tipo resistencia sumergible:**

Son unidades de baja capacidad y tensión, consistentes básicamente en resistencias eléctricas sumergidas las cuales generan calor al paso de una corriente eléctrica a través de un conductor, estas constan de unos hilos que se encuentra encapsulados y con una cubierta metálica aislada eléctricamente, y están sumergidas en el agua para generar vapor a presión moderada, con capacidad de producción baja (Kohan, 2000). En la figura 1 se puede observar una caldera de este tipo de la empresa Bucan Inc., de Canadá.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

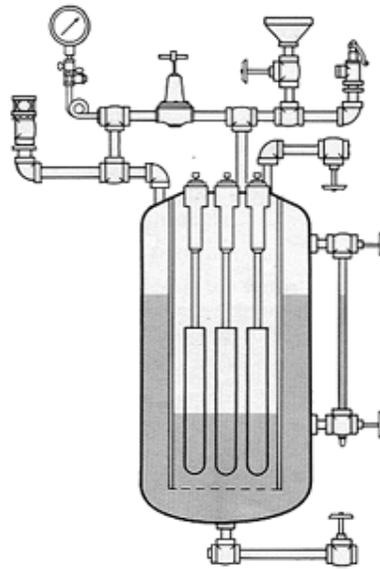


**Figura 1. Caldera de tipo resistencias sumergibles Fuente: (Bucan Inc. 2008)**

### **5.1.3. Calderas de tipo electrodo**

En estas calderas están provistas de uno o varios electrodos, el calor se genera debido al paso de una corriente eléctrica a través del agua, el electrodo debe estar en constante contacto con el agua, en este caso el agua es el elemento conductor (Malek, 2005). Para este tipo de calderas se manejan dos rangos de voltaje, calderas de bajo voltaje que generalmente operan hasta los 600 V, y las calderas de alto voltaje que trabajan con voltajes mayores de 600 hasta los 15000 V, estas producen presiones que pueden llegar a los 500 psig. En la figura 2 se puede observar una configuración de una caldera tipo electrodo de la empresa ESG Corp.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**CALDERA TIPO ELECTRODO**

**Figura 2. Caldera tipo electrodos, Fuente: (ESG Corp. 2012)**

## **5.2. CALDERAS DIDÁCTICAS EN EL MERCADO**

En la actualidad las Calderas Didácticas o de laboratorio, son equipos utilizados para la educación en ingenierías, áreas de la termodinámica y la ingeniería energética, estos instrumentos son muy utilizados en las universidades a nivel mundial y existen varios fabricantes de estos equipos en el mundo, por ejemplo la marca **GUNT Hamburg™**, alemana que suministra equipos altamente sofisticados de tecnología de punta, algunos con la posibilidad de ser conectados al PC con sistema de adquisición de datos y software educativo.

Desde 1979, G.U.N.T. Gerätebau GmbH desarrolla, produce y comercializa equipos que se utilizan en la formación técnica en escuelas de formación profesional, en

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

escuelas técnicas superiores y en universidades, esta empresa es hoy en día una de los principales oferentes en el sector de los sistemas de formación técnicos.

En cuanto a calderas didácticas ofrece equipos como la **Caldera de Marcet (WL 204)** (ver figura 3), esta caldera de tipo didáctico es un sistema cerrado lleno de líquido donde se genera vapor a alta presión, con el equipo de ensayo **WL 204™** se puede demostrar fácilmente la relación entre la presión y la temperatura para el caso del agua. Para registrar la curva de presión de vapor son posibles temperaturas hasta 200°C. La temperatura y la presión se pueden observar continuamente a través de un indicador de temperatura digital y un manómetro de Bourdon, respectivamente. Como dispositivo de seguridad, el equipo dispone de un regulador de temperatura y una válvula de seguridad, que protege al sistema de la alta presión (Gunt Gerätebau GmbH, 2005), las especificaciones y datos técnicos de este equipo didáctico son:

#### **5.2.1. Especificaciones caldera didáctica wl 204™:**

- Registro de la curva de presión de vapor saturado.
- Caldera con material aislante.
- Limitador de temperatura y válvula de seguridad para proteger el sistema de la alta presión.
- Manómetro de Bourdon para indicar la presión.
- Indicador digital de temperatura.

#### **5.2.2. Datos técnicos caldera didáctica wl 204™:**

- Manómetro de Bourdon: 1 a 24 bar.
- Limitador de temperatura: 200°C.
- Válvula de seguridad: 20 bar.
- Calefactor: 2 kW.
- Caldera en Acero Inoxidable: 2 l.
- Rangos de medición

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Temperatura: 0 a 250°C.
- Presión: 0 a 20 bar.
- Dimensiones:
  - (L\*An\*Al): (600\*400\*680) mm.
  - Peso aproximado: 35 kg.

Voltajes de alimentación: 230 Vac, 50/60 Hz, 1 Fase o 120 Vac, 60 Hz, 1 Fase.



**Figura 3. Caldera Didáctica banco de trabajo Referencia WL 204™**

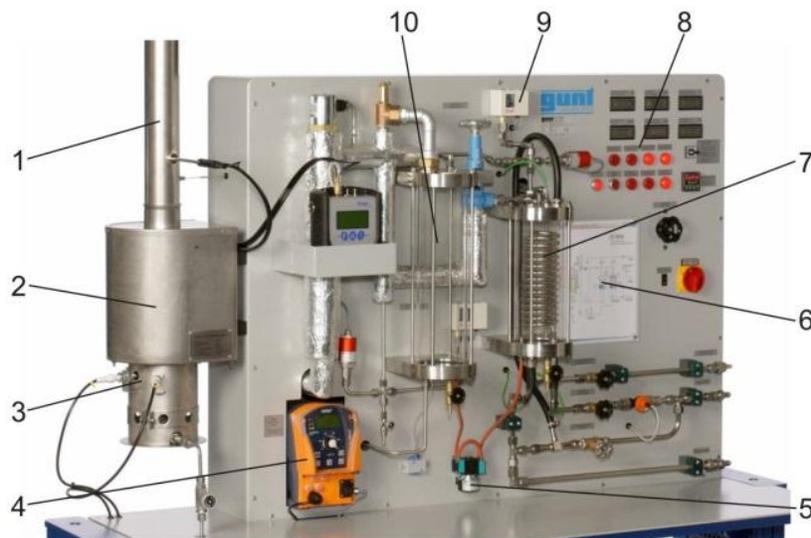
**Fuente: (Gunt Gerätebau GmbH, 2005)**

Otros equipos didácticos para generación de vapor suministrados por Gunt son los que se muestran en las figuras 4, 5 y 6:



**Figura 4. Equipo ET 810 Banco de laboratorio que simula una central térmica**

**Fuente: (Gunt Gerätebau GmbH, 2005)**



**Figura 5. Equipo ET 850 Generador de vapor didáctico**

**Fuente: (Gunt Gerätebau GmbH, 2005)**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 6. Equipo ET 860 Banco de laboratorio para simulación de dispositivos caldera**

**Fuente: (Gunt Gerätebau GmbH, 2005)**

### **5.3. CALDERAS DIDÁCTICA EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN**

Se presenta un informe detallado de las visitas técnicas al laboratorio de Metalografía de la Institución Universitaria Pascual Bravo de Medellín ubicada en el sector de Robledo, al laboratorio de Operaciones Unitarias de Química de la Universidad Pontificia Bolivariana de la ciudad de Medellín sede Laureles y al Ingeniero de servicios de la empresa Thermaltec. Minicalderas con quemador a combustión.

Durante las visitas se buscó consultar aspectos de importancia a tener en cuenta para la elaboración del *DISEÑO DE UNA CALDERA DIDÁCTICA INSTRUMENTADA PARA EL INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO* partiendo de equipos ya construidos y

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

teniendo en cuenta las ventajas, desventajas, alcances tanto en la parte de control, operación, así como de seguridad y diseño.

Además de lo anterior también se logró:

- Observar el modo de funcionamiento de los equipos, las especificaciones técnicas de cada equipo, el tipo de fuente de energía utilizada para la generación de vapor, el modo de transporte y el tipo de servicio que presta.
- Analizar los sistemas de seguridad de los equipos de acuerdo a la presión de trabajo, producción de vapor y forma de fabricación.
- Determinar las condiciones básicas de diseño bajo los estándares mínimos de seguridad tanto para los instrumentos de la caldera, como la seguridad de los operadores.
- Definir el tipo de fuente de calor más seguro para el diseño de la caldera didáctica, teniendo en cuenta que debe ser portátil.

La visita inicial fue realizada al laboratorio de Operaciones Unitarias UPB (Ver Figura 7), esta fue realizada el 11 de marzo de 2015, en la sede del barrio Laureles de la ciudad de Medellín, ubicado en el bloque 11 facultad de ingenierías, laboratorio de docencia en el cual se realizan prácticas de los laboratorios que involucran todos los procesos relacionados con las operaciones unitarias, tales como: Transferencia de masa, calor y momento, Termodinámica y operaciones Físico mecánicas, las cuales están relacionadas con el manejo de sólidos, diseño de reactores y procesos electroquímicos.

Poseen equipos y recursos, tales como Caldera, Torre de Destilación, Compresor, Torres empacadas, Intercambiadores de calor, Molinos, Equipos de filtración, Voltámetro de Hoffman, entre otros.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 7. Laboratorio de Operaciones Unitarias UPB sede laureles Medellín**

**Fuente: (Universidad Pontificia Bolivariana, 2008)**

La visita técnica permitió analizar el separador extractor centrífugo, Calorímetro, Baños termostáticos, Estación de flujo, Bomba de vacío, bombas peristálticas, espectrofotómetro, Reactores, Evaporador, en donde se realizan prácticas de laboratorio, servicios docentes y servicios externos para las áreas de Ingeniería química, agroindustrial, textil, Mecánica, Aeronáutica, Eléctrica, Electrónica y Ambiental.

La visita fue acompañada por el laboratorista Humberto Flórez, quien mostró la caldera que funciona con combustible ACPM, es de tipo piro tubular marca Colmáquinas de 30 BHP, construida en el año 1982, rango de presión de trabajo de 80 a 200 psig mostrada en la figura 8; se enciende aproximadamente entre 15 y 20 veces en cada semestre, el vapor producido se utiliza en los bancos de procesos de intercambio térmico y para el banco del sistema de destilación. Esta caldera si bien entrega información importante sobre los aspectos de seguridad supera los rangos de presión dados para las mini calderas.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 8. Caldera pirotubular 30 BHP Laboratorio de operaciones unitarias UPB**

**Fuente: Elaboración Propia**

En esta caldera se realiza mantenimiento correctivo a la válvula de seguridad cada año, un mantenimiento preventivo cada 6 meses, que consiste en una limpieza interna y externa, revisión e inspección de todos los instrumentos de control (Ver figura 9), quemador y bomba, además se hace un tratamiento al agua de alimentación ya que no posee circuito de retorno de condensados y no se recuperan. Este aspecto es importante dado que al no tener circuito de retorno genera pérdidas que dan posibilidad a los estudiantes de presentar mejoras al sistema.



**Figura 9. Instrumentos de caldera Laboratorio Operaciones unitarias de la UPB**

**Fuente: Elaboración Propia**

El laboratorio posee bancos muy sofisticados marca **Gunt Hamburg™**, para simular procesos de destilación (Ver figura 10), calentamiento de agua y generación de vapor por medio de calderas didácticas y recipientes de calentamiento y condensación de fluidos. Sin embargo, los bancos no son muy fáciles de intervenir y la información

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

completa de la construcción de los equipos no es entregada por el fabricante, volviéndose en algunos casos una caja negra.



**Figura 10. Banco de destilación equipo Gunt CE 600™ Rectificación Continua y Torre de Destilación Fuente: Elaboración Propia**

También se observan bancos de intercambiadores de calor (Ver figuras 11, 12 y 13) de varios tipos entre ellos: intercambiadores de tubos concéntricos, intercambiadores de carcaza y tubos, intercambiadores de placas, entre otros, además se cuenta con una turbina de vapor de tipo didáctica para la generación de electricidad. Esto abre la posibilidad de no sólo pensar en una caldera aislada de un sistema, sino que los estudiantes pueden conectar equipos entre si y observar el funcionamiento.



**Figura 11. Banco de intercambiadores de calor de carcaza y tubos y tubos concéntricos**

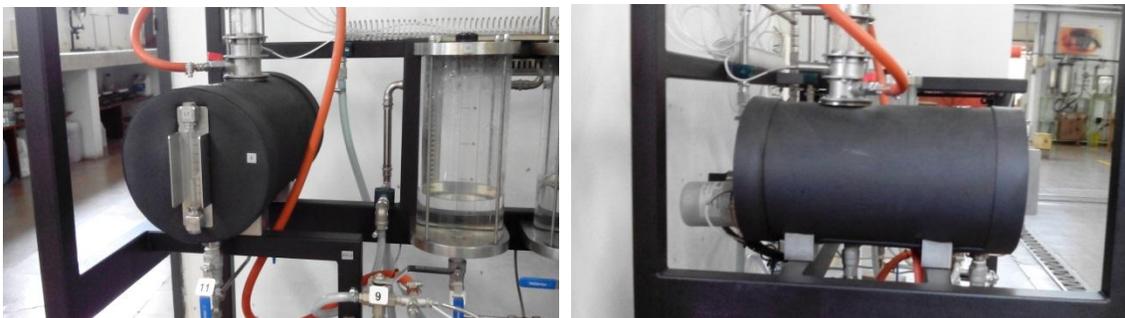
**Fuente: Elaboración Propia**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 12. Bancos De Intercambiadores Tipo Serpentin, Placas Y Carcaza Y Tubos**

**Fuente: Elaboración Propia**



**Figura 13. Mini caldera Eléctrica De Resistencia Sumergida Del Banco Gunt Ce 600**

**Fuente: Elaboración Propia**

Se procedió a una visita técnica el 12 de marzo de 2015, a la institución universitaria Pascual Bravo, atendida por el docente Ingeniero Carlos Eleazar Maya Montoya, docente ocasional, quien presentó la mini caldera didáctica (Ver figura 14), actualmente no funciona, fue construida en el año de 2009 por seis egresados de la Tecnología en Electromecánica del Instituto Pascual Bravo y con la colaboración de la empresa Colanta planta San Pedro. Se consultaron las razones por las que dejó de ser funcional, y estos aspectos ayudaron a alimentar el proyecto.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 14. Mini caldera Pascual Bravo. Fuente: Elaboración propia**

De este equipo no se encontró ninguna documentación de su diseño y fabricación, sin embargo, se puede observar que es una mini caldera didáctica eléctrica de tipo resistencia sumergida, muy artesanal, no posee ningún tipo de control, la alimentación de agua es manual desde un pequeño tanque atmosférico (Ver figura 15) de aproximadamente 1 litro de volumen conectado por tubería de hierro de ½ pulgada con válvula de paso de entre la caldera y el tanque. La caldera es de un solo ciclo de alimentación que entrega un dispositivo sencillo en su construcción.



**Figura 15. Mini caldera Pascual Bravo. Fuente: Elaboración Propia**

La resistencia eléctrica sumergible es de 220 VAC, solo posee un breaker termo magnético para protección de corto circuito y un interruptor para el encendido de la misma con indicador luminoso (Ver figura 16).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 16. Mini caldera Pascual Bravo. Fuente: Elaboración Propia**

La presión es medida a través de un manómetro de Bourdon (Ver figura 17) con rango de presión de 0 a 60 psig (0 a 4 bar) con caratula de 2" con conexión de ¼ NPT inferior, posee un termómetro bimetálico con caratula de 1 y ½" de rango 0 a 200°C con conexión soldada, este se encuentra soldado en una de los extremos de la caldera, tiene un visor tipo "ojo de buey" (Ver figura 17) para observar el nivel del agua al interior de la caldera.



**Figura 17. Mini caldera Pascual Bravo. Fuente: Elaboración Propia**

En la parte superior se encuentra la válvula de seguridad con conexión de ½ "NPT (Ver figura 18) y la línea de salida de vapor con válvula de corte de ¼ "NPT. Esta caldera está construida en acero inoxidable, tiene un diámetro aproximado de virola de 200 mm y una longitud de 400 mm, no posee ningún tipo de material para aislamiento térmico.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 18. Mini caldera Pascual Bravo. Fuente: Elaboración Propia**

El Docente que atendió la visita, ofreció su opinión positiva acerca de la viabilidad del proyecto *DISEÑO DE UNA CALDERA DIDÁCTICA INSTRUMENTADA PARA EL INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO*, mencionó la importancia que en los procesos educativos se cuente con herramientas didácticas, “esa es la forma en que los muchachos aprenden”.

La siguiente visita fue realizada en la empresa C.I. Termaltec S.A., es una empresa cuyo objetivo desde el año 2004 busca dar soluciones en el área de calentamiento térmico, servicio y soporte técnico, y mantenimiento y montajes.(Termaltec S.A., 2009).

La visita se realizó el 13 marzo de 2015 en las instalaciones administrativas entre los límites del municipio de Envigado y Medellín. El ingeniero Carlos Alberto Jiménez egresado de Ingeniería Electromecánica de la institución universitaria ITM, fue quien coordinó el acompañamiento en la visita al área de Servicio Técnico y compartió los conocimientos acerca de mini calderas que ellos han diseñado, construido, intervenido y han prestado servicio, y algunas recomendaciones para el diseño de las mismas.

Entre las recomendaciones dadas en la visita estuvo, definir las dimensiones mínimas para quemadores de combustión marca **Pirotec Burner™** que se fabrican en

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Termaltec; resaltaron la importancia de seguir los conceptos de diseño y fabricación de calderas y recipientes sometidos a presión enmarcados en los códigos internacionales, no solamente los recomendados por la ASME, sino también por otras asociaciones como la NEPA (National Fire Protection Association), la ISA (The Instrumentation, Systems, and Automation Society) la UL (Underwriters Laboratories Standards) entre otras.

En relación a mini calderas eléctricas, manifestaron la importancia que el equipo tenga un sistema de control adecuado y seguro, ya que la mini caldera es un recipiente metálico sometido a alta presión y altas temperaturas, además mencionan que lo más viable es que la mini caldera se diseñe con una fuente de calor eléctrica para ser transportada con facilidad y sin el riesgo de dañarla por golpes; ya que de esta manera se pueden eliminar gran cantidad de elementos e instrumentos que posee y se elimina el riesgo de transportar un tanque con combustible.

A partir de las visitas a algunos laboratorios, revisión de algunos fabricantes de equipos y la visita a una empresa del medio, se puede concluir que diseñar un equipo para generación de vapor didáctico, seguro, portátil, compacto y eficiente, la utilización de una mini caldera de tipo resistencia sumergible se presenta como una buena alternativa para el diseño, al ser de tipo eléctrica, desaparecen los riesgos de una explosión por mal manejo de combustibles, se minimizan la contaminación medio ambiental al no haber emisiones a la atmosfera y los gastos energéticos se minimizan en un alto porcentaje.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 6. DESARROLLO CÁLCULOS TÉRMICOS

---

El cálculo térmico parte de las recomendaciones entregadas por la sección I del código de calderas y recipientes a presión de la ASME (American Society of Mechanical Engineers). Dentro de la definición de mini caldera es posible escoger la presión de trabajo de acuerdo a las necesidades del equipo.

### 6.1 PRESION DE TRABAJO

Debido a que el diseño de la mini caldera seleccionada por motivos de seguridad será la de tipo eléctrica de resistencia sumergible y con una presión de diseño que no puede superar los 100 psig, como se indica el parágrafo PMB-2 del código ASME, se selecciona como presión de trabajo una presión de **30 psig** que permitirá dar un rango de seguridad alto debido al tipo de público al que está dirigido el diseño del equipo (estudiantes).

### 6.2 FLUJO DE VAPOR

Para el diseño de la mini caldera, no se contempla una cantidad de vapor establecida, puesto que lo que se requiere básicamente en el equipo, es que los estudiantes observen los comportamientos de la temperatura, la presión y el nivel en un ciclo, partiendo de presión atmosférica hasta obtener la presión de trabajo de 30 psig y la temperatura vapor saturado.

### 6.3 DIMENSIONES

La sección I del código de calderas y recipientes a presión de la ASME en el parágrafo PMB-2 entrega unos límites superiores en dimensiones, por lo que se partirá de unas medidas que no superan dichos límites y se evaluará con esas medidas los tiempos de

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

calentamiento y generación de vapor acorde a los tiempos de clase, se estima un tiempo conveniente de 30 minutos para generar la presión de trabajo.

El diseño tendrá como punto de partida las siguientes dimensiones iniciales, que son producto de la revisión del mercado y las visitas a los laboratorios que tienen equipos similares: **200 mm de diámetro de cuerpo y 300 mm de longitud.**

### **6.3 DISEÑO TERMICO**

A partir de los requerimientos antes mencionados (presión de trabajo, dimensiones y tiempo de generación de vapor) se debe encontrar la cantidad de calor necesario para elevar la presión y la temperatura de la cantidad de agua dentro del recipiente, en un tiempo prudente, igualmente se debe determinar el área de transferencia que es función de la longitud de la resistencia sumergible, Flujo de calor en la resistencia eléctrica, Flujo de calor por convección y finalmente el espesor y el material de aislamiento.

### **6.4 DATOS DE ENTRADA PARA EL DISEÑO TÉRMICO**

Los datos de entrada para el diseño térmico son de tres tipos: Operacionales, Geométricos y Ambientales.

Los datos operacionales son aquellos valores nominales de trabajo de la mini caldera tales como presión de trabajo, voltaje, corriente entre otros.

Los datos geométricos son los valores de las dimensiones de la mini caldera por ejemplo el diámetro de cuerpo y la longitud.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Los datos ambientales son aquellos datos que son definidos por las condiciones ambientales del lugar donde se ubicara la mini caldera, por ejemplo la presión atmosférica y la temperatura ambiente del agua.

#### **DATOS DE ENTRADA PARA EL CÁLCULO:**

##### **OPERACIONALES:**

- Presión de diseño: **100 psig.**
- Presión de trabajo: **30 psig.**
- Suministro de electricidad disponible: **220 Vac, 60Hz, 20 A.**
- Tipo de alimentación de agua: **Alimentación directa del acueducto.**

##### **GEOMETRICOS:**

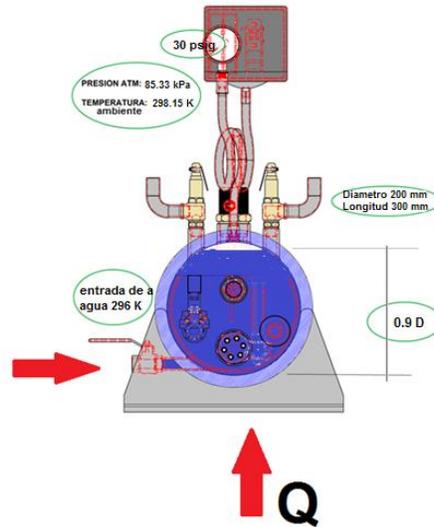
- Diámetro de cuerpo (tubería comercial sin costura de 8 pulg.): **200 mm.**
- Longitud de la mini caldera: **300 mm.**

##### **AMBIENTALES:**

- Temperatura del agua de alimentación: **23 °C.**
- Ubicación geográfica: **Medellín, 1538 msnm.**
- Presión atmosférica Medellín: **85.33 kPa.**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Diseño bajo el Código: **ASME 2010 para Calderas y Recipientes a Presión, Sección I.**



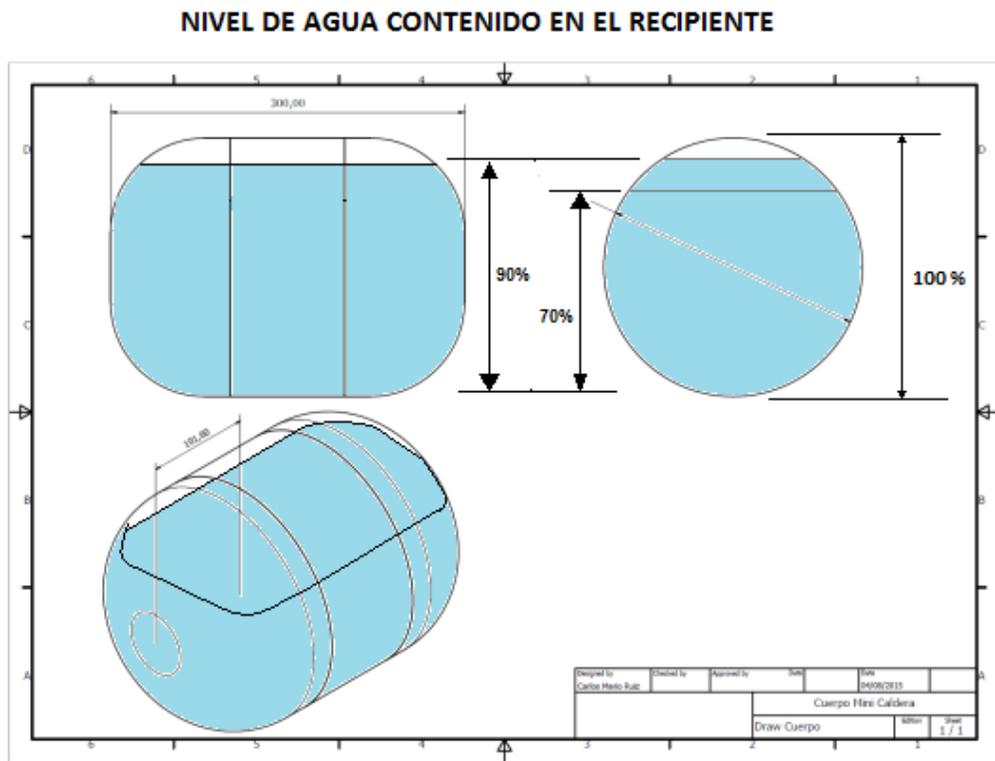
**Figura 19. CONDICIONES DE LA MINI CALDERA. Fuente: Elaboración Propia.**

### 6.1. ANÁLISIS TERMODINÁMICO

Según lo indica el parágrafo **PMB-13.1** de la sección I del código ASME para construcción de calderas, el nivel mínimo de agua permitido de las calderas verticales debe estar en un punto a un tercio de la altura del cuerpo arriba de la tapa inferior o de la lámina tubular para calderas horizontales. (ASME, 2010).

Por criterios de seguridad, el nivel mínimo del agua, no debe nunca estar por debajo del elemento calefactor, en este caso la resistencia por inmersión, un nivel seguro para la operación de la minicaldera eléctrica debe estar entre 70 y 90% como se muestra

en la figura 20. La minicaldera, tendrá forma cilíndrica, en posición horizontal para poder aprovechar al máximo la transferencia térmica de la resistencia longitudinalmente y tendrá las dimensiones indicadas en la figura 20:



**Figura 20. Dimensiones para mini caldera didáctica. Fuente: Elaboración Propia**

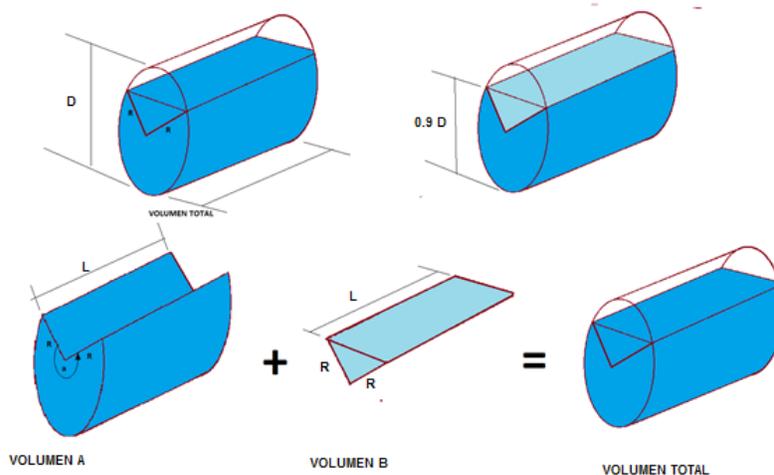
### 6.1.1. Cálculo de volumen de agua contenido en el recipiente

Para el diseño de la mini caldera se parte de la Norma ASME en el apartado **PMB** (Power Miniature Boiler), que hace referencia a los requisitos para calderas miniatura, en el párrafo PMB-2.1 se definen los límites de dimensión, volumen y presión, donde la

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

clasificación da un límite de presión de trabajo admisible de 100 psig equivalentes a 700 kPa, se ha seleccionado diseñarla para **44.7 psia** equivalente a **308,2 kPa**.

Para proceder al cálculo del volumen real de agua contenido en el recipiente y teniendo en cuenta las anteriores recomendaciones de seguridad y del código ASME, el nivel de agua se ubicará a una distancia igual al **90 %** del diámetro. El volumen total de agua se divide en dos porciones para facilitar el cálculo como se muestra en la figura 21:



**Figura 21.** Nivel total de agua al interior de la mini caldera. Fuente: Elaboración Propia

Las dimensiones básicas del recipiente son:

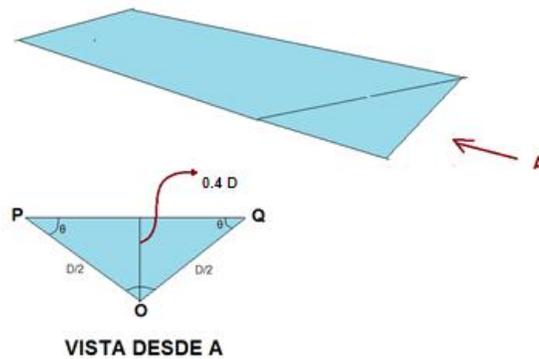
**Diámetro (D): 200 mm.**

**Longitud (L): 300 mm.**

La primera porción tiene forma de prisma de base triangular:

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para calcular el volumen necesitamos el área del triángulo y la longitud del prisma (Ver figura 22).



**Figura 22.** Porción 1 en forma de prisma. Fuente: Elaboración Propia

La ecuación 1 se utiliza para determinar la altura del triángulo y el ángulo  $\theta$  de la figura 21.

$$\sin \theta = \frac{0,4 D}{\frac{D}{2}} \quad \text{Ecuación 1}$$

**Dónde:**

*D: Diámetro de la caldera.*

*$\theta$ : Ángulo formado entre segmentos PQ y OQ.*

Reemplazando se obtiene:

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\sin \theta = 0.8$$

$$\theta = \sin^{-1} 0.8$$

$$\theta = 53^\circ$$

La ecuación 2 se utiliza para determinar la longitud del segmento PQ.

$$\overline{PQ} = 2 * (\overline{OQ}) \cos \theta \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

$\overline{PQ}$  = distancia entre los puntos P y Q

Reemplazando datos se obtiene:

$$\overline{PQ} = 2 * \left(\frac{D}{2}\right) \cos 53^\circ$$

$$\overline{PQ} = D * \cos 53^\circ$$

La ecuación 3 determina el área del triángulo:

$$AREA \Delta = \frac{(D * \cos 53^\circ) * (0.4 D)}{2} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Para determinar el volumen del prisma, se utiliza la ecuación 4:

$$VOLUMEN 1 = L * \frac{(D * \cos 53^\circ) * (0.4 D)}{2} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde, L es la longitud del prisma en metros.

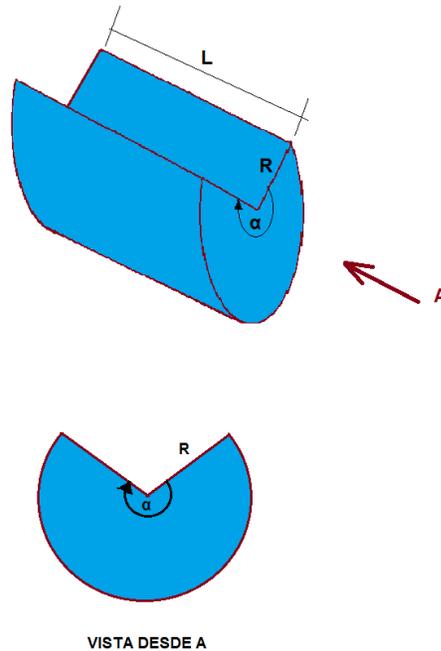
$$VOLUMEN 1 = 0.3 m * \frac{(0.2 m * \cos 53^\circ) * (0.4 * 0.2 m)}{2}$$

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$VOLUMEN 1 = \frac{0.3 m * 0.12 m * 0.08 m}{2}$$

$$VOLUMEN 1 = 0.00144 m^3$$

La segunda porción tiene forma de un cilindro incompleto (Ver figura 22).



**Figura 23.** Segunda Porción en forma de cilindro incompleto. Fuente: Elaboración Propia

$$Area de sector circular = \alpha * \frac{R^2}{2} \quad \text{Ecuación 5.}$$

Dónde:

$\alpha$  = *angulo formado por el semicirculo*

$R$  = *Radio del semi circulo*

$$\alpha = 286^\circ$$

$$\alpha(\text{en radianes}) = 4.99$$

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\text{Area de sector circular} = \alpha * \frac{\left(\frac{D}{2}\right)^2}{2}$$

$$\text{Area de sector circular} = 4.99 * \frac{D^2}{8}$$

$$\text{VOLUMEN 2} = L * 4.99 * \frac{D^2}{8} \text{ Ecuación 6.}$$

Dónde:

*L = logitud del semicirculo*

*D = diametro del semi circulo*

Reemplazando términos se obtiene:

$$\text{VOLUMEN 2} = 0.3 \text{ m} * 4.99 * \frac{0.2^2}{8}$$

$$\text{VOLUMEN 2} = 0.3 \text{ m} * 0.025 \text{ m}^2$$

$$\text{VOLUMEN 2} = 0.00748 \text{ m}^3$$

El volumen total del recipiente se determina mediante la sumatoria de los volúmenes.

$$\text{VOLUMEN total} = V_1 + V_2 \text{ Ecuación 7.}$$

Dónde:

*V<sub>1</sub> = Volumen del cuerpo 1*

*V<sub>2</sub> = Volumen del cuerpo 2*

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Reemplazando datos se tiene:

$$VOLUMEN\ total = 0.00144\ m^3 + 0.00748\ m^3$$

$$VOLUMEN\ agua\ (90\%) = 0.0089\ m^3$$

### 6.1.2 Cálculo de calor para generar vapor con minicaldera

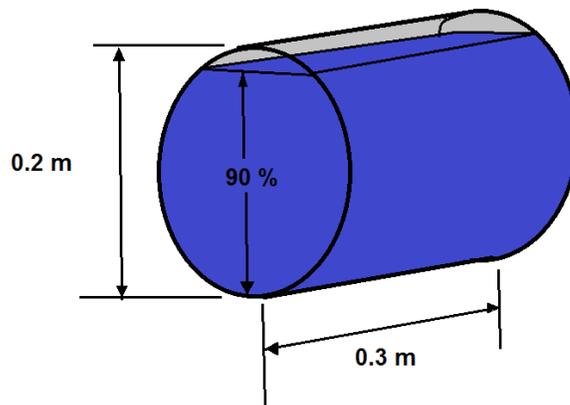


Figura 24. Volumen de agua a calentar. Fuente: Elaboración propia

Para hallar la cantidad de calor necesario para generar vapor recalentado a **120°C** contenido en la mini caldera en un tiempo de **30 minutos (0.5 h)**, tiempo acorde para realizar un análisis en laboratorio, se comienza por determinar la cantidad de masa de agua que se debe calentar, así:

Determinamos la masa total de agua:

$$VOLUMEN\ agua\ (90\%) = 0.0089\ m^3$$

$$Masa\ de\ agua = \rho * 0.0089\ m^3$$

$$Densidad\ del\ agua\ a\ 23^{\circ}C, \quad \rho = 997.62\ \frac{kg}{m^3}$$

 ITM Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Calcular el delta de temperatura, partiendo de una temperatura inicial del agua de 23°C:

$$\text{Delta de temperatura, } \Delta T = (T_f - T_i) \text{ Ecuación 8}$$

Reemplazando datos se obtiene:

$$\Delta T = (120^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C})$$

$$\Delta T = 97^\circ\text{C}$$

Se calcula la cantidad de calor necesario para calentar la masa de agua de 23 °C hasta 120°C:

$$\dot{Q} = \frac{m}{0.5 \text{ h}} * C_p * \Delta T \text{ Ecuación 9}$$

Dónde:

$\dot{Q}$  = flujo de calor

$m$  = masa de agua

$C_p$  = calor específico del agua

$\Delta T$  = delta de temperaturas

Reemplazando, se obtiene:

$$\dot{Q} = \frac{m}{0.5 \text{ h}} * 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * 97^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q} = \frac{\rho * 0.0089 \text{ m}^3}{0.5 \text{ h}} * 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * 97^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q} = \frac{(997.62 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.0089 \text{ m}^3)}{0.5 \text{ h}} * 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * 97^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q} = (17.76 * 4.18 * 97) \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q} = 7200 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\dot{Q} = 7200 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} * \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ kJ}}$$

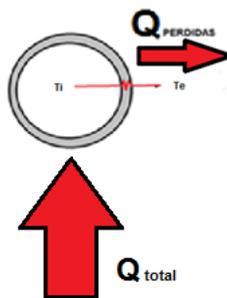
$$\dot{Q} = 2000 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = 2 \text{ kW}$$

De esta manera se determina que la potencia necesaria para el requerimiento de vapor debe ser de **2 kW**, para suministrar esta cantidad de calor al sistema es necesaria una resistencia eléctrica comercial de **2 kW** apta para inmersión, sin embargo hay que tener en cuenta las pérdidas para determinar el valor total de potencia de la resistencia eléctrica en los cálculos posteriores.

#### 6.1.2.1 Cálculo del calor total requerido

El calor total es el calor que entra al sistema que debe ser suministrado por la resistencia eléctrica, se determina por los requerimientos de producción de vapor ( $Q_{util}$ ) anteriormente calculado, más las pérdidas de calor ( $Q_{perd}$ ) que es el calor que se disipa por las paredes por efecto de la convección natural de la mini caldera al ambiente.



**Figura 25. Pérdidas de calor por paredes. Fuente: Elaboración propia**

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$Q_{total} = Q_{util} + Q_{perd} \quad \text{Ecuación 10}$$

Para determinar el calor por pérdidas para efectos del diseño, se debe calcular a partir del concepto de eficiencia, asumiendo un valor aproximado para una caldera de tipo resistencia eléctrica sumergible.

$$\eta = \frac{Q_{util}}{Q_{total}} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde,  $\eta = \text{Eficiencia}$

### 6.1.2.2 Análisis termodinámico

Con este análisis se determina cuanta cantidad de calor total se debe agregar al sistema para generar vapor recalentado a **30 psig (44.7 psia)**, partiendo de las condiciones iniciales de operación y la cantidad de calor para generar vapor en la caldera (**valor previamente calculado**).

$$Q_{util} = 7200 \text{ kJ/h}$$

El calor total es el calor que debe ser suministrado por la resistencia eléctrica:

$$Q_{total} = \frac{Q_{util}}{\eta} \quad \text{Ecuación 12}$$

Se asume una eficiencia aproximada para Calderas Eléctricas del **83 %** (Malek, 2005) la resistencia va a estar transfiriendo directamente todo el calor al agua y el **17 %** se asume en pérdidas de calor a través de las paredes de la mini caldera.

$$Q_{total} = \frac{Q_{util}}{\eta}$$

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$Q_{total} = \frac{7200 \text{ kJ/h}}{0.83}$$

$$Q_{total} = 8674.7 \text{ kJ/h}$$

$$Q_{total} = 8674.7 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} ** \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} * \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ kJ}}$$

$$Q_{total} = 2.4 \text{ kW}$$

De esta manera se determina que la potencia eléctrica de la resistencia eléctrica para inmersión debe ser de 2.4 kW, este valor de potencia no es comercial, por tal razón, el valor más aproximado al valor de potencia eléctrica comercial es de **2.5 kW**

Cálculo de las pérdidas de calor, se toma una eficiencia de 83 % tal como lo expresa la norma.

$$Q_{perd} = Q_{total} * 17 \% \text{ Ecuación 12}$$

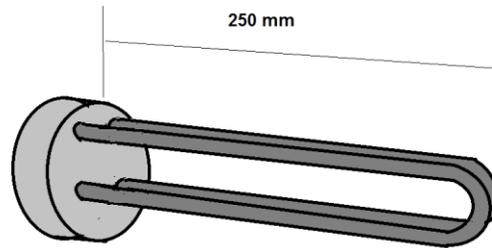
$$Q_{perd} = 8674.7 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} * 0.17$$

$$Q_{perd} = 1474.7 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

### 6.1.2.3 Cálculos de transferencia de calor

El área de transferencia de calor está definida en la forma de la resistencia eléctrica para inmersión que comercialmente se fabrican, y que se muestra en la siguiente figura:

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Diametro de resistencia: 3/8 plg -(9.525 mm)

**Figura 26. Resistencia eléctrica de 2.5 kW para inmersión. Fuente: Elaboración propia**

El área se define en la siguiente ecuación:

$$\text{Area de transferencia de calor}_{\text{resistencia electrica}} = 2 * \pi * r * l * 2 \text{ Ecuación 13}$$

Dónde:

*r* = radio de la resistencia eléctrica comercial

*l* = longitud total de resistencia eléctrica comercial

$$\text{Area}_{\text{transf calor resist}} = 2 * \pi * \left( \frac{9.525 \text{ mm}}{2} * \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right) * \left( 500 \text{ mm} * \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right) * 2$$

$$\text{Area}_{\text{transf calor resist}} = 2 * \pi * (0.00476 \text{ m}) * (0.5 \text{ m}) * 2$$

$$\text{Area}_{\text{transf calor resist}} = 0.030 \text{ m}^2$$

El flujo de calor en la resistencia se calcula, teniendo en cuenta el área total de transferencia de la resistencia eléctrica, calculado anteriormente y el calor que suministrado por la misma:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\text{Flujo de calor} = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 14}$$

Reemplazando se obtiene:

$$\text{Flujo de calor} = \frac{2.4 \text{ kW}}{0.030 \text{ m}^2}$$

$$\text{Flujo de calor} = 80 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$$

Para determinar el flujo de calor por convección, se asume una temperatura de superficie de la resistencia eléctrica de 200 °C, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_h = h * A * \Delta T$$

$$Q_h = h * A * (T_{sup} - T_{sat \text{ agua}}) \quad \text{Ecuación 15}$$

Dónde:

$Q_h$  = calor suministrado por la resistencia

$h$  = coeficiente convectivo del agua

$A$  = area de transferencia de calor de la resistencia

$\Delta T$  = delta de temperaturas

$T_{sup}$  = temperatura superficial de la resistencia

$T_{sat \text{ agua}}$  = temperatura de saturación

El coeficiente convectivo del agua se determina en la tabla 1-5 proporcionada en el texto de Transferencia de Calor y Masa (Cengel, 2007):

**Tabla 1. Coeficientes de transferencia de calor por convección.**

**TABLA 1-5**  
 Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección

Tipo de convección	$h, W/m^2 \cdot ^\circ C^*$
Convección libre de gases	2–25
Convección libre de líquidos	10–1000
Convección forzada de gases	25–250
Convección forzada de líquidos	50–20 000
Ebullición y condensación	2 500–100 000

\*Multiplíquese por 0.176 para convertir a Btu/h · ft<sup>2</sup> · °F.

Fuente, *Transferencia de Calor y Masa* (Cengel, 2007)

$$\text{valor medio de } h = 500 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Reemplazando, se obtiene:

$$Q_h = 500 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 0.030 m^2 * (200 - 120)^\circ C$$

$$Q_h = 1200 W$$

Para el cálculo de aislamiento y del espesor se escoge el material **VIDRIO CELULAR** (Cengel, 2007) por ser aislante térmico muy eficiente, de fácil manejo y de bajo costo:

**Tabla 2. Valores de conductividad de la lana de vidrio**

TABLA A-6					
Propiedades de materiales aislantes (a una temperatura media de 24°C)					
Material	Espesor, L mm	Densidad, $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica, k W/m · K	Calor específico, $c_p$ kJ/kg · K	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), K · m <sup>2</sup> /W
<b>Colcha y lámina</b>					
Fibra mineral (forma fibrosa)	50 a 70 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.23
procesada a partir de roca,	75 a 90 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.94
escoria o vidrio)	135 a 165 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	3.32
<b>Tablero y losa</b>					
Vidrio celular		136	0.055	1.0	—
Fibra de vidrio (ligamento orgánico)		64-144	0.036	0.96	—
Poliestireno expandido (bolitas moldeadas)		16	0.040	1.2	—
Poliuretano expandido (R-11 expandido)		24	0.023	1.6	—
Perlita expandida (ligamento orgánico)		16	0.052	1.26	—
Caucho expandido (rígido)		72	0.032	1.68	—
Fibra mineral con aglomerante de resina		240	0.042	0.71	—
Corcho		120	0.039	1.80	—

**Fuente, Transferencia de Calor y Masa (Cengel, 2007)**

Se usa la ecuación del **Radio Crítico** de aislamiento para determinar el espesor de aislamiento en la superficie cilíndrica de la mini caldera:

$$R_{cr} = \frac{k}{h} \text{ Ecuación 16}$$

*vidrio celular conductividad termica*  $k = 0.055 \frac{W}{m \cdot K}$

*Coefficiente de transferencia de calor por conveccion libre*  $h = 5 W/m^2 \cdot K$

Reemplazando:

$$R_{cr} = \frac{0.055 \frac{W}{m \cdot K}}{5 \frac{W}{m^2 \cdot K}}$$

$$R_{cr} = 0.011 m * \frac{100 cm}{1 m}$$

$R_{cr} = 1.1 cm$  (Espesor de aislamiento)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 6.2. DISEÑO MECÁNICO

### 6.2.1. Requerimientos del código ASME 2010 para calderas y recipientes a presión

En este diseño se tendrán en cuenta todas las recomendaciones del código ASME para Construcción de Calderas y Recipientes a Presión. Dado que se quiere diseñar una Mini caldera Eléctrica de Resistencia Sumergible, el código ASME nos remite a la parte **PEB (Power Electric Boiler)** de la sección I que hace referencia a los requisitos para Calderas Eléctricas de tipo electrodo y tipo resistencia por inmersión, y al ser una caldera miniatura, debemos contemplar también algunos párrafos contenidos en la parte **PMB (Power Miniature Boiler)**.

### 6.2.2 Requisitos generales para calderas eléctricas

Las reglas de la parte **PEB** son aplicables solo a calderas eléctricas y partes de estas, junto con los requisitos generales de la parte **PMB** ya que se considera una caldera miniatura y parte **PG** (Parágrafos Generales) ya que se deben cumplir algunos requerimientos generales en construcción de cualquier caldera.

Los requerimientos principales del código ASME para diseño de calderas eléctricas se especifican en los párrafos siguientes (Malek, 2005):

- Mínimo espesor de placas, párrafo PEB-5.3.
- Aperturas de inspección, párrafo PEB-10.
- Conexiones para alimentación de agua, PEB-11.2.
- Conexiones de purga, PEB-12.2.
- Medidores de agua, PEB-13.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Válvulas de seguridad, PEB-15.
- Dispositivos automáticos, PEB-16.1.
- Inspección, PEB-18.1.
- Estampado, PEB-18.2.
- Localización de estampado, PG-11.8.
- Reporte de datos de fabricante, PEB-19.
- Requerimientos opcionales, PEB-3.

### **6.2.3 Material del cuerpo y tapas:**

Para la selección del material se tomó en cuenta el párrafo **PEB-5.3**, donde se recomienda que las calderas eléctricas de tipo Elemento de Inmersión pueden fabricarse de **ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO** tipo 304, 304L, 316, 316L y 347 de cualquier especificación de materiales incluida en PG-6 y PG-9 (ASME, 2010).

Teniendo en cuenta la anterior recomendación, se opta por diseñar la mini caldera en **ACERO INOXIDABLE AISI 304**, este material cuenta con unas características que se pueden apreciar en la siguiente tabla:

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 3. Propiedades y características del acero inoxidable AISI 304 I.**

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	8.00 g/cc	0.289 lb/in <sup>3</sup>	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Knoop	158	158	Converted from Rockwell B Hardness Value
Hardness, Rockwell B	82	82	
Hardness, Rockwell C	15	15	10% Cold-worked
Hardness, Vickers	159	159	Converted from Rockwell B Hardness Value
Tensile Strength, Ultimate	564 MPa	81800 psi	0% Cold-worked
Tensile Strength, Yield	210 MPa	30500 psi	0% Cold-worked
Elongation at Break	58 %	58 %	In 50mm (2 in.)
Modulus of Elasticity	193 - 200 GPa	28000 - 29000 ksi	
Charpy Impact	216 J	159 ft-lb	
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Magnetic Permeability	1.008	1.008	at RT
Thermal Properties	Metric	English	Comments
Specific Heat Capacity	0.500 J/g-°C	0.120 BTU/lb-°F	Estimated based on a comparison with similar stainless steels.
Thermal Conductivity	14.0 - 16.3 W/m-K	97.0 - 113 BTU-in/hr-ft <sup>2</sup> -°F	
Melting Point	1400 - 1450 °C	2550 - 2640 °F	
Solidus	1400 °C	2550 °F	
Liquidus	1450 °C	2640 °F	
Maximum Service Temperature, Air	870 °C	1600 °F	Intermittent Service
	925 °C	1700 °F	Continuous Service

**Fuente:**

<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=abc4415b0f8b490387e3c922237098da&ckck=1>

El espesor de las placas, el cuerpo y las tapas se determina bajo el parágrafo **PEB-5.2**, que indica que los cuerpos, las placas o las tapas sin costuras o soldados de las calderas eléctricas no deben ser inferiores a **3/16** de pulgada (**5 mm**) de espesor, en este parágrafo se recomienda el uso de **TUBERÍA SIN COSTURA** para el cuerpo, en caso de utilizarse, el espesor no debe ser menor de **5/16** de pulgada (**8mm**). (ASME, 2010).

El diseño de la mini caldera cumple los requerimientos de dimensión que el código ASME menciona en el parágrafo **PMB-2**, por lo cual se considera una **CALDERA MINIATURA**.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La letra “E” debe ser estampada en un lugar visible de la mini caldera, lo cual indica que es una caldera eléctrica diseñada bajo los requerimientos del código ASME. La presión de diseño (100 psig) y la de trabajo (30 psig) también deben estamparse.

#### **6.2.4 Soldadura del cuerpo y tapas**

Las calderas eléctricas pueden construirse con soldadura por fusión de acuerdo con todos los requisitos del código ASME, cuando no se exceden las limitaciones de PMB-2.1. **NO SE REQUIEREN** ni el tratamiento térmico post soldadura, ni el examen volumétrico de las juntas soldadas, ni los exámenes no destructivos descritos en PG-93.1. (ASME, 2010), por lo tanto, la mini caldera no requiere de ensayos no destructivos ni tratamientos térmicos post soldadura.

#### **6.2.5 Aberturas para inspección**

En el párrafo **PEB-10.1** del código ASME se especifica que en las calderas eléctricas en donde se emplee una cubierta removible o elementos de calefacción eléctricos internos removibles que permitirán el acceso para inspección y limpieza, **NO NECESITAN TENER ABERTURAS PARA LIMPIEZA O INSPECCIÓN.** (ASME 2010).

#### **6.2.6. Suministro de agua de alimentación**

En el párrafo **PEB-11.1** se indica que el suministro de agua de alimentación de las calderas eléctricas debe ser capaz de cumplir con los requisitos aplicables del párrafo **PG-61**, además, las conexiones del agua de alimentación a una caldera eléctrica no deben ser inferiores a **NPS 1/2 (DN 15)**, excepto según lo permita PMB-11. (ASME, 2010). Para el diseño de la mini caldera, se cumple con el requerimiento PG-61 mencionado, por lo cual

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

la entrada de agua será utilizada tubería en acero inoxidable con dimensión de ½ pulgada NPS. En el párrafo **PMB-11** se especifica claramente que una mini caldera se puede alimentar directamente de la tubería principal de agua, siempre y cuando el agua tenga presión suficiente para alimentar la caldera y cuando la caldera se opere sin extracción de vapor (sistema cerrado) y llenarla cuando esté fría (ASME 2010). La conexión de agua se hará directamente de la línea de suministro de la empresa de servicio de acueducto.

Cumpliendo con el requerimiento del párrafo **PMB-11.2** se utilizará una válvula de corte tipo “bola” inoxidable de ½ pulgada NPS y una válvula cheque inoxidable de la misma medida para el suministro de agua.

#### **6.2.7 Purga**

El párrafo **PEB-12.2** recomienda que en las calderas eléctricas que no superan los límites de diámetro, volumen o presión de **PMB-2** puedan tener conexiones de purga de acuerdo con **PMB-12** donde se especifica un diámetro mínimo de conexión de ½ pulgada (DN 15) (ASME 2010).

#### **6.2.8 Indicadores de nivel de agua**

El párrafo **PEB-13.2** recomienda que las calderas eléctricas del tipo resistencia deben tener como mínimo un indicador de nivel visible. El nivel visible más bajo de agua en el indicador de debe estar al menos 1 pulg. (25 mm) por encima del nivel mínimo de agua permitido. Cada caldera eléctrica de este tipo también debe contar con un **corte automático por bajo nivel** de agua, éste debe ubicarse de manera tal que corte automáticamente el suministro de energía a los elementos de calefacción antes de que la superficie del agua se encuentre por debajo del nivel visible en el indicador de nivel visible (ASME, 2010).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para el diseño de la mini caldera, se usará un nivel tipo “ojo de buey” que se muestra en la figura 37, ubicado en la tapa frontal a **1 pulgada sobre el nivel bajo de agua** y un indicador de vidrio tubular en la tapa trasera para realizar cálculos de medición de nivel, además, se tendrá en cuenta para el diseño del control eléctrico, la recomendación del numeral **PEB-13.2** de corte automático por bajo nivel.

### 6.2.9 Manómetros

El párrafo **PEB-14** nos remite a cumplir lo estipulado en **Parágrafos Generales** en el apartado **PG-60.6**, los requisitos que se deben cumplir son (ASME, 2010):

- Ubicación que facilite la lectura.
- Todo el tiempo debe indicar la presión en la caldera.
- Debe tener conectado al volumen de vapor o a la columna de agua o a su conexión de vapor.
- Colocarse una válvula o un grifo en una conexión adyacente.
- Cuando este bloqueada o sellada en la posición de abierta debe colocarse un grifo adicional cerca.
- No colocar ninguna válvula de corte entre el manómetro y la caldera.
- Para desocupar óptimamente mediante una purga externa, la conexión de la tubería debe ser amplia y dispuesta.
- Para prevenir que entre vapor al tubo del manómetro debe tener un **sifón** o un dispositivo, que permita mantener un sello de agua, las conexiones deben ser adecuadas de esta forma la presión y temperatura serán las adecuadas para un trabajo máximo admisible.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- La temperatura excesiva de 406°f (208°C) no permite el uso de tuberías de cobre o bronce.
- Las conexiones a la caldera no deben ser menores de **NPS ¼ (DN8)** en excepción del sifón y si se utilizan tuberías de acero o de hierro conformado, no deben ser de menos de ½ pulgada (13mm) de diámetro interior.
- Tamaño mínimo de sifón a utilizar debe ser de **¼ pulgada(6mm)** de diámetro interior
- La graduación debe ser aproximadamente el doble de la presión de ajuste de la válvula de seguridad.
- En ningún caso inferior a 1 y 1/2 veces la presión de seteo de la válvula de seguridad.

#### 6.2.10 Termómetro

El párrafo **PG - 60.6.4** nos da los requerimientos para el indicador de temperatura, cada caldera de agua a alta temperatura debe tener un indicador de temperatura, ubicado y conectado para se pueda leer fácilmente. El indicador de temperatura debe Instalarse para que siempre indique la temperatura en grados Fahrenheit (Celsius) del agua en la caldera, en la conexión de salida o cerca de ésta (ASME, 2010). Teniendo claro los requerimientos de los párrafos anteriores, para el diseño, se utilizará un sifón de tubería de ¼” en lo posible de material acero inoxidable, para la conexión del manómetro y tomará la presión de la cámara de vapor, por lo cual se conectará a la parte superior del cuerpo de la caldera y en un lugar visible para el operador.

Se utilizará un indicador de temperatura en la parte frontal, e indicará siempre la temperatura del agua, como se muestra en la figura 46.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En el párrafo **PEB-15** se dan los requerimientos que se deben cumplir para la utilización de las **VALVULAS DE ALIVIO DE PRESION**, el código recomienda, en su apartado **PEB-15.1** que, para calderas con potencias de entrada superiores a 1.100 W, las calderas eléctricas deben tener dos o más válvulas de alivio de presión (ASME, 2010). Para el diseño se contempla el uso de **dos válvulas de alivio** o seguridad según la disposición de la norma, una de las válvulas de alivio se tara a la presión de trabajo de 30 psig., y la otra válvula se tara a 90 psig. Cumpliendo los requerimientos de la norma, las dos válvulas de alivio se instalarán en posición vertical y conexión directa con el cuerpo de la caldera. La conexión de las válvulas no superara los  $\frac{3}{4}$  de pulgada, se recomienda una conexión de  $\frac{1}{2}$ " NPT. Como último requerimiento del código, la presión de alivio no debe ser mayor que la **MAWP** (Máxima Presión de Trabajo Admisible) estampada en la caldera (ASME, 2010).

#### **6.2.11 Reporte de datos de fabricante**

En el párrafo **PEB- 18.3.2** del código ASME, se dan los requerimientos para el reporte de datos y especificaciones de la caldera eléctrica, este párrafo indica que el fabricante de la etiqueta debe estamparla con las especificaciones claras en una placa metálica separada ubicada en un lugar fácilmente visible de la caldera, debe contener la información mostrada en la figura, además debe estamparse con letras y números de al menos 5/16 pulg. (8 mm) de alto [5/32 pulg. (4 mm) en las calderas miniatura si es necesario], organizados según se muestra en la figura 27:

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	Certificado por
	(Nombre del Fabricante)
	(Máxima presión de trabajo admisible cuando se construyó)
	(Superficie de calefacción, caldera y paredes de agua)
	(Capacidad máxima de evaporación diseñada)
Número de serie del fabricante	Año de construcción

**Figura 27. Datos de fabricante. Fuente: ASME, 2010.**

### 6.2.12 Dispositivos automáticos

La norma recomienda en el párrafo **PEB-16**, que los dispositivos automáticos en calderas eléctricas deban contar con un control de presión y/o temperatura y un corte automático del suministro eléctrico por bajo contenido de agua. No se requiere corte por bajo nivel de agua para las calderas del tipo electrodo (ASME, 2010). El control automático de la minicaldera contempla las variables de presión y nivel de agua. Para el caso de control de alta presión y control de bajo nivel de agua, se cortará de inmediato el suministro eléctrico de caldera.

### 6.2.13 Prueba hidrostática

El párrafo **PEB-17** recomienda que los recipientes a presión de calderas eléctricas, deben someterse a una prueba hidrostática al momento de finalización de la fabricación de acuerdo con los requerimientos del párrafo **PMB-21**. (ASME 2010). El párrafo **PMB-21** recomienda que cada recipiente a presión de calderas miniaturas debe inspeccionarse mientras se esté probando a una presión hidrostática equivalente a tres veces la máxima presión de trabajo admisible. Se permite una temperatura de metal

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

mínima de 60 °F (15 °C) durante la prueba hidrostática, siempre que el espesor del cuerpo sea de 3 /8 pulg. (10 mm) o menor.

El párrafo **PEB-17.3** recomienda que debe marcarse el símbolo “E”, este símbolo debe aplicarse después de la finalización de la prueba hidrostática PEB-17. (ASME 2010).

**Los requerimientos de la parte PEB-18 hacen referencia a la fabricación de la caldera y no al diseño de la misma.**

#### **6.2.14 Dispositivos automáticos**

La norma recomienda en el párrafo **PEB-16**, que los dispositivos automáticos en calderas eléctricas deban contar con un control de presión y/o temperatura y un corte automático del suministro eléctrico por bajo contenido de agua. No se requiere corte por bajo nivel de agua para las calderas del tipo electrodo (ASME 2010). El control automático de la minicaldera contempla las variables de presión y nivel de agua. Para el caso de control de alta presión y control de bajo nivel de agua, se cortará de inmediato el suministro eléctrico de caldera.

#### **6.2.15 Elementos funcionales para la mini caldera**

##### **6.2.15.1 Cuerpo (domo), tapas laterales y bases.**

Para el diseño de la caldera, se determina que lo más recomendable, por cuestiones de seguridad y economía, que el material del cuerpo, las tapas y las conexiones serán en **ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO AISI 304**. Para el cuerpo se utilizará tubería cedula 40 sin costura con dimensiones mostradas en la tabla 4:

**Tabla 4. Dimensiones estándar para tubería inoxidable sin costura AISI 304 L**

Nominal Diameter		Outside Diameter	SCH. 5 S		SCH. 10 S		SCH. 40 S	
NB	NPS	mm	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m
8	1/4"	13,72	-	-	1,65	0,49	2,24	0,63
10	3/8"	17,15	-	-	1,65	0,63	2,31	0,84
15	1/2"	21,34	1,65	0,80	2,11	1,00	2,77	1,27
20	3/4"	26,67	1,65	1,02	2,11	1,28	2,87	1,68
25	1"	33,40	1,65	1,29	2,77	2,09	3,38	2,50
32	1 1/4"	42,16	1,65	1,65	2,77	2,69	3,56	3,38
40	1 1/2"	48,26	1,65	1,90	2,77	3,10	3,68	4,05
50	2"	60,33	1,65	2,39	2,77	3,93	3,91	5,44
65	2 1/2"	73,03	2,11	3,68	3,05	5,26	5,16	8,62
80	3"	88,90	2,11	4,51	3,05	6,45	5,49	11,27
90	3 1/2"	101,60	2,11	5,17	3,05	7,40	5,74	13,56
100	4"	114,30	2,11	5,83	3,05	8,35	6,02	16,06
125	5"	141,30	2,77	9,45	3,40	11,56	6,55	21,76
150	6"	168,28	2,77	11,29	3,40	13,82	7,11	28,23
200	8"	219,08	2,77	14,75	3,76	19,94	8,18	42,49
250	10"	273,05	3,40	22,61	4,19	27,83	9,27	60,24
300	12"	323,85	3,96	31,22	4,57	36,02	9,53	73,76

Fuente: <http://www.alsisac.com.pe/tubos1.htm>

#### 6.2.15.2 Cuerpo

Tramo de 100 mm de tubería en ACERO INOXIDABLE SIN COSTURA AISI 304 Schedule 40 de 8 pulgadas de diámetro (219.08 mm según dimensiones Schedule 40 ANSI 304 L mostrada en la tabla 6), de 8.18 mm de espesor esta tubería se muestra en la figura 28.

**NOTA:** Espesor mínimo recomendado por el código ASME en el numeral **PEB-5.2:** Los cuerpos, las placas o las tapas sin costuras o soldados de las calderas eléctricas no deben ser inferiores a 3/16 de pulgada (5 mm) de espesor. (ASME, 2010).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 28. Tramo de tubería inoxidable 8 pulgadas**

Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/2-inch-schedule-40-stainless-steel-pipe-60219901140.html>

### 6.2.15.3 Tapón tipo Cap.

2 Tapones semiesféricos tipo CAP AISI 304 Schedule 40 (figura 29) de 8 pulgadas de diámetro (**219.08 mm según dimensiones Schedule 40 ANSI B36.19 y BS6.10**) superior al espesor mínimo recomendado por el código ASME. Los CAPS Schedule 40 tienen un espesor de pared de 8.18 mm.



**Figura 29. Tapón tipo Cap. Fuente: <http://www.multipino.es/offer676636.html>**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 6.2.15.4 Bases

Las bases de la minicaldera se fabricaran en platina de **Acero Inoxidable AISI 304** de ¼ de pulgada de espesor mostrada en la figura 30, con dimensiones de 300 mm por 150 mm y forma según se muestra en el plano mecánico.



Figura 30. Platinas inoxidable. Fuente: <http://www.acinox.com.co/platinas.html>

#### 6.2.15.5 Tubería, accesorios y conexiones:

2 Niples en Acero Inoxidable de ½ pulgada de diámetro nominal rosca NPT como se muestra en la figura 31. Para soldar una a la tapa frontal y utilizar como entrada de agua de alimentación y drenaje de la misma y otra para soldar a la tapa trasera para la salida del vapor donde se conectará una válvula de bola.



Figura 31. Niples en acero inoxidable

Fuente: <http://www.tiendahidraulica.com/es/acoples-en-acero-inoxidable/1103-niple-en-acero-inoxidable-de-3-8-x-11-2.html>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3 Nipples tuercas de ½ pulgada (figura 32) para unir accesorios de tubería en entrada de agua y salida de vapor.



**Figura 32. Niple tuercas en acero inoxidable**

Fuente: [http://spanish.alibaba.com/promotion/promotion\\_stainless-steel-hex-nipple-promotion-list.html](http://spanish.alibaba.com/promotion/promotion_stainless-steel-hex-nipple-promotion-list.html)

#### **6.2.15.6 Uniones simples para tubería**

Tres uniones simples para tubería con rosca de ¼" NPT (figura 33) para soldar un extremo al cuerpo de la caldera y el otro extremo para acoplar instrumentos (termómetro, manómetro y presostato).

Dos uniones simples para tubería con rosca de ½" NPT, para soldar un extremo al cuerpo de la caldera y el otro extremo para conexión roscada de las válvulas de alivio.

Una unión simple para tubería con rosca de 1" NPT, para soldar un extremo al cuerpo de la caldera y el otro extremo para conexión roscada del visor "Ojo de Buey"

Dos uniones simples para tubería con rosca de 1-1/2 NPT, para soldar un extremo al cuerpo de la caldera y el otro extremo para conexión roscada de la resistencia sumergible y conexión roscada de electrodos para control de nivel.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 33. Uniones simples para tubería en acero inoxidable**

Fuente: <http://articulo.mercadolibre.com.ve/MLV-455395233-conexiones-acero-inoxidableanilloscodosferrulabrazadera- JM>

#### 6.2.15.7 Tee

Una T en acero inoxidable y con rosca de ½ NPT, (figura 34) Utilizada para conexión de entrada de agua y drenaje en la misma línea.



**Figura 34. Accesorio T en acero inoxidable**

Fuente: <http://es.aliexpress.com/item/1-1-4-inch-NPT-Diameter-39mm-304-Stainless-Steel-Straight-Tee-Connector-Adapter/32271591864.html?spm=2114.43010408.3.28.RmnaOz>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 6.2.15.8 Dos válvulas de bola inoxidable de ½ NPT (figura 35)

Utilizadas para drenaje del agua de la caldera y para salida del vapor.



**Figura 35. Válvula de bola en acero inoxidable**

Fuente: [http://www.mipel.com.br/es/default.asp?action=pr\\_aco\\_latao&codigo=9103](http://www.mipel.com.br/es/default.asp?action=pr_aco_latao&codigo=9103)

#### 6.2.15.9 Una válvula cheque inoxidable de ½ npt (figura 36)

Utilizada para retención de la presión interna de la caldera y conectada inmediatamente después de la electroválvula de suministro de agua de la caldera y la T en la línea de alimentación de agua.



**Figura 36. Válvula Cheque en acero inoxidable**

Fuente: <http://es.sun-inox.com/valvulas/roscadas/valvula-check-swing-paso-total-200-psi-roscado-npt/>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 6.2.15.10 Visor tipo “ojo de buey” (figura 37)

Un visor con conexión roscada de 1 pulgada NPT, ubicado en la tapa frontal y a 1 pulgada sobre el nivel bajo del agua (o sea a al 75 % del diámetro de la tapa frontal). Utilizado para visualizar el nivel mínimo de agua de la caldera.



Figura 37. Visor tipo “ojo de buey”

Fuente: <http://www.sebalingeneria.com/paginas.php?id=%2020>

#### 6.2.15.11 Visor tipo “tubo de vidrio” (figura 38)

Visor con conexión roscada de ½ pulgada NPT, Ubicado en la tapa trasera de la minicaldera, utilizado para la visualización constante del nivel real de agua al interior de la caldera.



Figura 38. Visor tipo “tubo de vidrio”

Fuente: <http://www.cosmos.com.mx/ultras/b7cc/electromecanica-internacional-de-monterrey>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 6.2.15.12 Sifón “cole marrano” (figura 39)

Dos sifones de Tubería de ¼” NPT en acero inoxidable, utilizado para separación térmica en los instrumentos (manómetro y presostato).



Figura 39. Sifón (cole marrano). Fuente:

[http://img.directindustry.com/images\\_di/photo-g/7228-2463191.jpg](http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/7228-2463191.jpg)

## 6.3 Diseño eléctrico

### 6.3.1 Elementos de control, instrumentación y seguridad

La mini caldera se diseña con una secuencia de control recomendada en el párrafo **PEB-16 DISPOSITIVOS AUTOMATICOS** de la sección I del código ASME, La norma recomienda que para dispositivos automáticos las calderas eléctricas deban contar con controles de presión y/o temperatura y un corte automático del suministro eléctrico con bajo contenido de agua. No se requiere corte por bajo nivel de agua para las calderas del tipo electrodo (ASME, 2010). Bajo esta recomendación, se controlarán las variables de **presión y nivel**. Como elemento de control automático general, llevará un programador LOGO siemens para control de toda la secuencia. Contará con indicador de amperaje, para

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

inspección del amperaje de trabajo de la resistencia de 2500 W, además contará con una alarma sonora (sirena) si el nivel de agua baja del límite inferior, como protección física de la resistencia eléctrica. Todos los elementos de control llevaran su respectiva protección termomagnética en caso de cortocircuito o sobrecorrientes, para el encendido general se contará con un selector de dos posiciones ON-OFF y un indicador luminoso para indicar el encendido. Las variables de **presión** y **temperatura** se indicarán visualmente desde el manómetro y el termómetro respectivamente.

### 6.3.2 Elementos de control

#### 6.3.2.1 Conjunto de electrodos para control de nivel (figura 40)

El conjunto de electrodos de nivel posee una conexión con rosca 1-1/2 NPT inoxidable, debe soportar una presión de 100 PSI y una temperatura de 150 °C. Este elemento de control eléctrico de la variable de **NIVEL**, sensa el nivel de agua en el interior de la caldera, trabaja en conjunto con un relé apto para control de nivel.



**Figura 40. Sensor tipo electrodos para uso en calderas**

Fuente: [http://www.electrolsrl.com.ar/electronicos\\_conductividad.php](http://www.electrolsrl.com.ar/electronicos_conductividad.php)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 6.3.2.2 Control de nivel por electrodos marca Turck (figura 41)

Control de nivel por electrodos marca TURCK referencia MS91-12-R a 220 VAC, elemento de control electrónico en donde se conmutan las señales de control automático del nivel.



**Figura 41. Control de nivel**

Fuente: <http://www.plccenter.com/es-ES/Buy/TURCK%20ELEKTRONIK/MS9112R115VAC>

### 6.3.2.3 Resistencia sumergible 2500 W (figura 42)

Resistencia apta para inmersión con potencia eléctrica de 2500 W, 220 VAC con conexión mecánica de 1- 1/2 NPT, 250 mm de largo. Elemento eléctrico que aporta la fuente de calor necesario para vaporizar agua.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 42. Resistencia eléctrica para inmersión**

Fuente: <http://es.aliexpress.com/item/220V-3KW-Terminals-Water-Boiler-Heating-Element-3U-Shape-Tube-Heater/32320237180.html?spm=2114.43010408.3.34.NCURdV>

#### 6.3.2.4 Electroválvula alimentación agua (figura 43)

Electrovalvula danfoss EV260B, 220 VAC, conexión ½ NPS (Latón). Elemento final de control que permite el paso de alimentación de suministro de agua.



**Figura 43. Electroválvula**

Fuente: <http://products.danfoss.com/productrange/industrialautomation/solenoid-valves/>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 6.3.2.5 Controlador siemens logo (figura 44)

Controlador lógico programable **Siemens LOGO! 230rc** 6ed1052-1fb00-0ba5 logic module Manufacturer. Elemento que recibe todas las señales de los controles de encendido, presión y nivel de la caldera y controla los elementos finales de control, electroválvula y resistencia eléctrica.



**Figura 44. Control lógico programable**

Fuente: <http://es.aliexpress.com/item/SIMATIC-BEST-PRICE-6ED1052-1FB00-0BA6-LOGO-MODULES-LOGIC-CPU/32354765371.html?spm=2114.43010308.4.1.7xJl2w>

### 6.3.3 Otros elementos de control y protección eléctrica

Como elementos de control y de protección eléctrica contra cortocircuitos y protección de sobre corrientes se necesitan:

- Un interruptor selector de 2 posiciones, para encendido on – off.
- Un piloto verde a 220 VAC para indicar encendido.
- Un amperímetro análogo de 0 a 40 Amperios.
- Una sirena a 220 VAC.
- Un relé de estado sólido monofásico (220 VAC, 20 A).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Un interruptor magneto térmico bipolar 20 A, Protección Resistencia eléctrica.
- Un interruptor magneto térmico bipolar 10 A, Protección Control de nivel.
- Un interruptor magneto térmico bipolar 0.5 A, Protección Controlador LOGO.

## 7 VARIABLES A MEDIR E INSTRUMENTACIÓN DE LA MINI CALDERA

---

En una caldera, las principales variables que se deben medir y controlar son: la presión, la temperatura y el nivel de agua, Para el caso de la mini caldera eléctrica, se utilizará para la medición y el control de las variables, los siguientes instrumentos:

- Para medir la variable de **presión** se utilizará un manómetro tipo Bourdon (figura 45) con escala presión de 0 a 100 psi, conectado con sifón “cole marrano” (figura 39) a la parte superior de la cámara de vapor con el fin de hacer una separación térmica y proteger el instrumento, además se controlará la presión al interior de la mini caldera con un presostato apto para vapor (figura 48), conectado en la en la parte superior de la cámara de vapor con sifón “cole marrano”.
- Para medir la variable de **temperatura** se utilizará un termómetro bimetálico con escala de temperatura de 0 a 200 °C (figura 46), conectado directamente a la caldera en la cámara de agua.
- Para visualizar el **nivel de agua** al interior de la mini caldera, se utilizará un visor tipo “ojo de buey” (figura 37) ubicado en la parte frontal de la caldera a una distancia tal, que siempre se pueda observar el nivel mínimo de agua, además contara con un visor

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de tubo de vidrio (figura 38) en la tapa trasera. El nivel de agua se controlará con un sistema de control de nivel por electrodos (figura 40).

- Control de presión: la caldera contará con control de presión, calibrado a una presión de trabajo de 30 psig desde un presostato, este control de presión, desenergizará la resistencia cuando la mini caldera llegue a una presión de trabajo de 30 psig, sin embargo, este presostato se puede calibrar a presiones mayores.
- Control de nivel: la caldera se diseñará con un control de nivel por medio de electrodos, nivel de trabajo, nivel bajo y nivel alto, este control activará el encendido de la electroválvula de alimentación de agua y desenergizará la resistencia cuando se presente bajo nivel de agua, además activará la sirena si el nivel de agua llegara a bajar del nivel inferior

## 7.1 Instrumentos de medición y dispositivos de seguridad:

### 7.1.1 Manómetro (figura 45)

Un manómetro tipo Bourdon con Rango de 0 a 100 psi conexión inferior de ¼ NPT caratula 2 pulgadas inoxidable. Utilizado para visualizar constantemente la variable de presión de vapor en el interior de la caldera.



**Figura 45. Manómetro**

Fuente: <http://rochaylondono.com/inicio/19-manometro-caja-en-acero-inoxidable-grafado.html>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 7.1.2 Indicador de temperatura. (Figura 46)

Un termómetro con Rango de 0 A 200 °C Conexión trasera ¼ NPT caratula 2 pulgadas. Inoxidable. Utilizado para visualizar constantemente la variable de **TEMPERATURA** del agua en el interior de la caldera.



**Figura 46. Indicador de temperatura**

Fuente: <http://spanish.manometerthermometer.com/sale-625286-dial-stainless-steel-bimetal-thermometer-with-1-2-npt-range-50-c-600-c.html>

### 7.1.3 Válvulas de alivio de vapor (figura 47):

Dos Válvulas de alivio, una seteadada a 30 psig y la otra a seteadada a 90 psig. Conexión de ½ NPT para posicionamiento vertical. Fabricadas en acero Inoxidable. Utilizadas como medio de liberación de presión y elementos de seguridad para una eventual sobrepresión al interior de la minicaldera o cuando la caldera por alguna circunstancia sobrepase la presión de 90 PSI.



**Figura 47. Válvula de alivio en acero inoxidable.**

Fuente: [http://distrivalvulas.com/portal/product\\_info.php?products\\_id=259](http://distrivalvulas.com/portal/product_info.php?products_id=259)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 7.1.4 Control de presión presostato (figura 48)

Un Control de presión proporcional, rango 10 – 150 PSI, Marca Honeywell conexión ¼ NPS. Instrumento que controla la variable de PRESIÓN de trabajo de la caldera por medio de un sistema de muelle mecánico que abre o cierra contactos eléctricos.



Figura 48. Control de presión

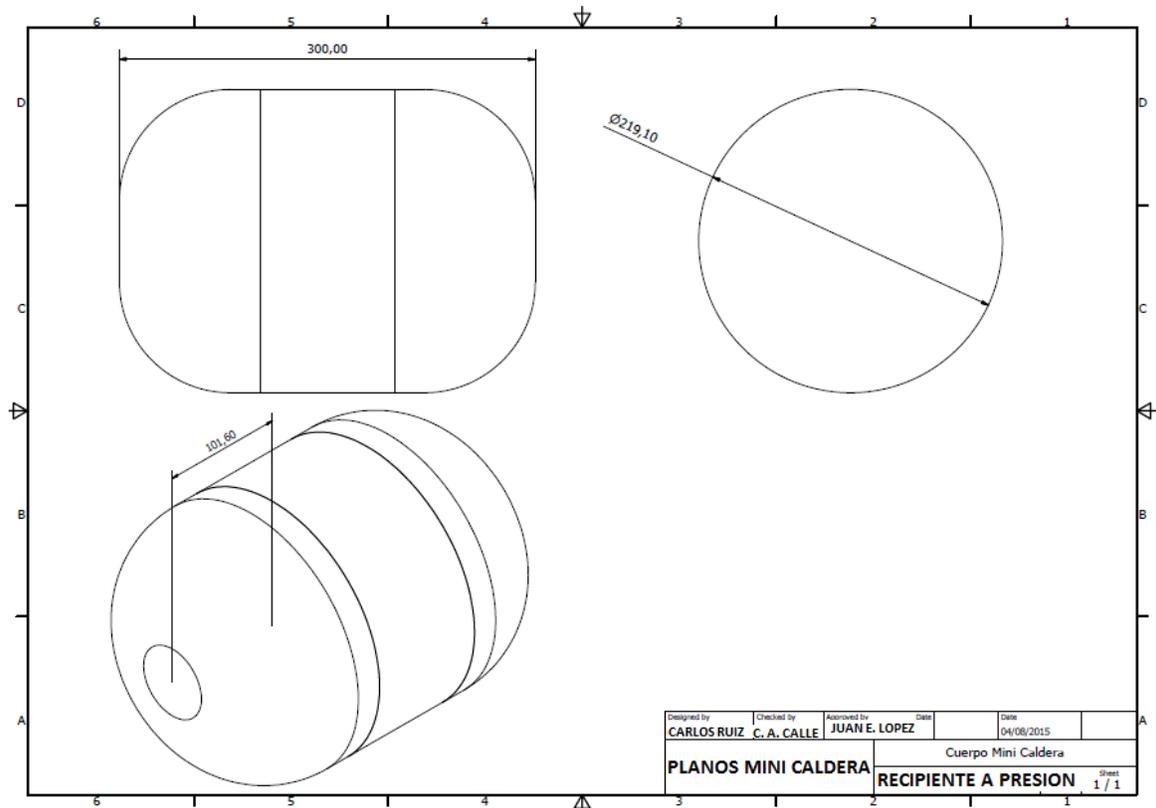
Fuente: <http://www.todo-control.com/sensor-de-presion-honeywell-siemens/l404f1227-honeywell-pressuretrol>

# 8 PLANOS MECÁNICOS MINI CALDERA

## ELABORADOS EN SOFTWARE INVENTOR

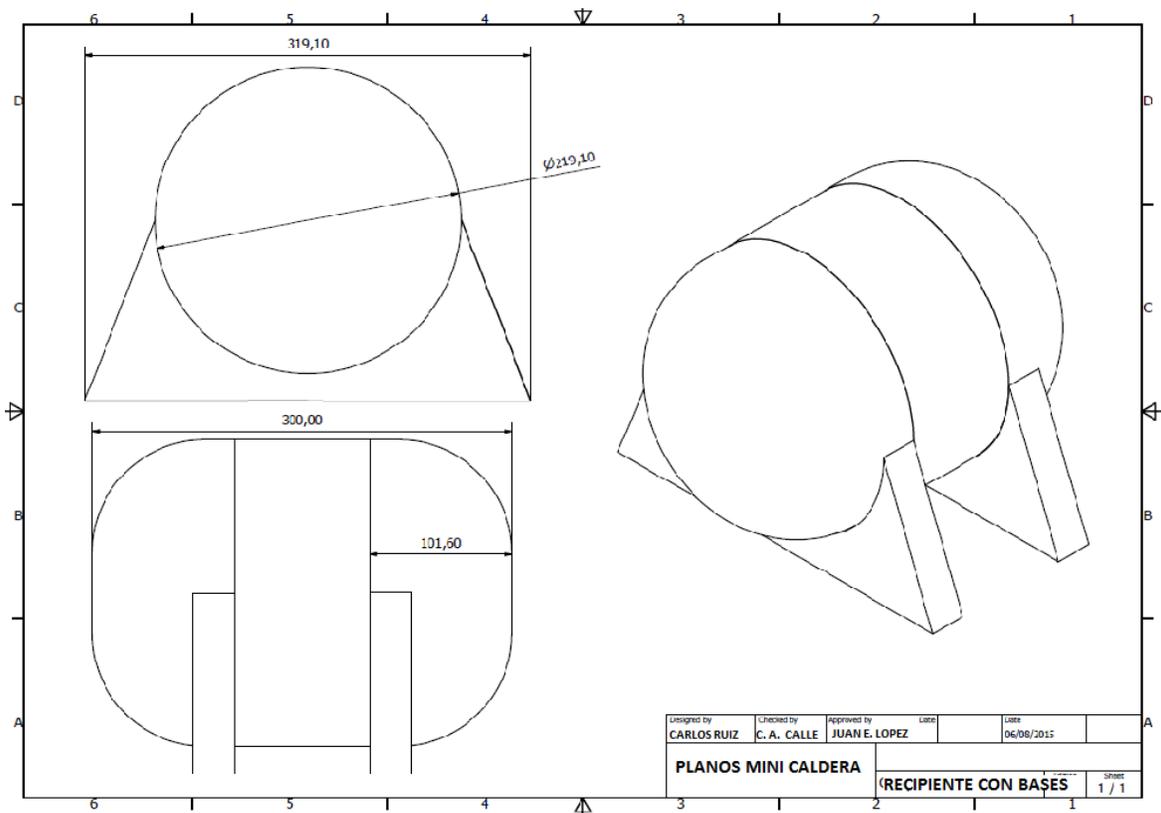
### 8.1 PLANOS MECÁNICOS ELABORADOS EN SOFTWARE INVENTOR

En la figura 53 y 54 se observa el plano mecánico del recipiente de presión



**Figura 49. Recipiente. Fuente: Elaboración propia**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 50. Recipiente con bases**

**Fuente: Elaboración propia**

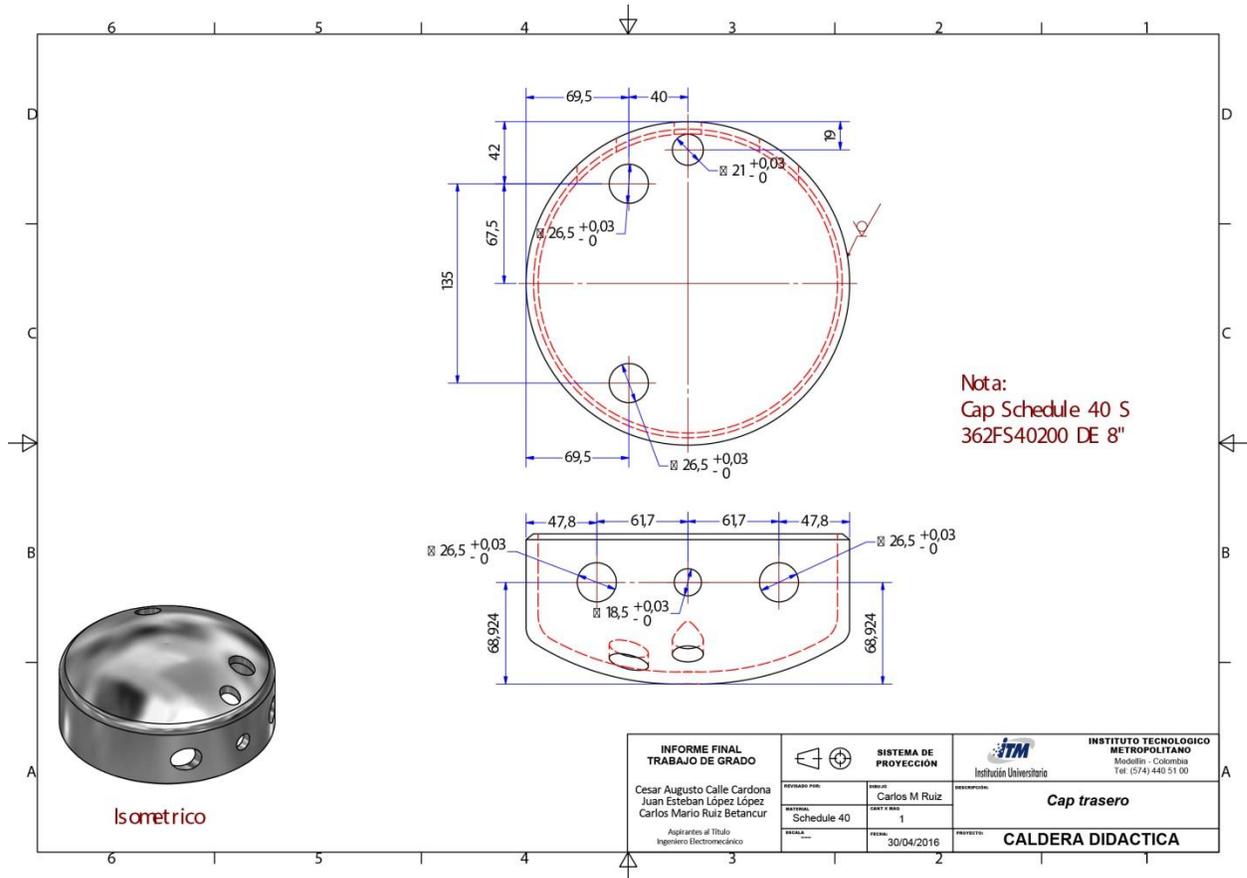
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se desarrolló una mini caldera eléctrica didáctica en 3D para mejor visualización del montaje.  
 Figura 55

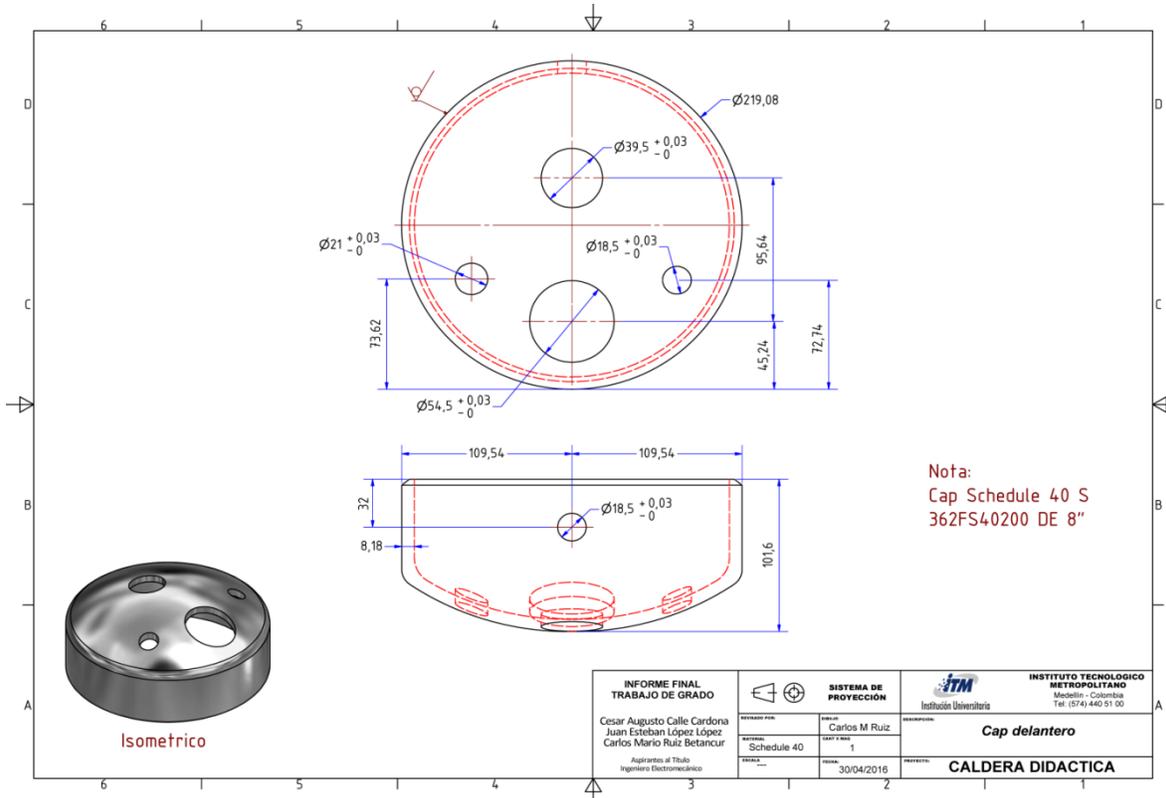


**Figura 51. Mini caldera eléctrica didáctica. Fuente: Elaboración propia**

En los planos siguientes se puede observar cada una de las partes principales. (Figuras 56-59)



**Figura 52. Cap # 1 (tapa trasera). Fuente: Elaboración Propia**



**Figura 53. Cap # 2 (tapa delantera). Fuente: Elaboración Propia**

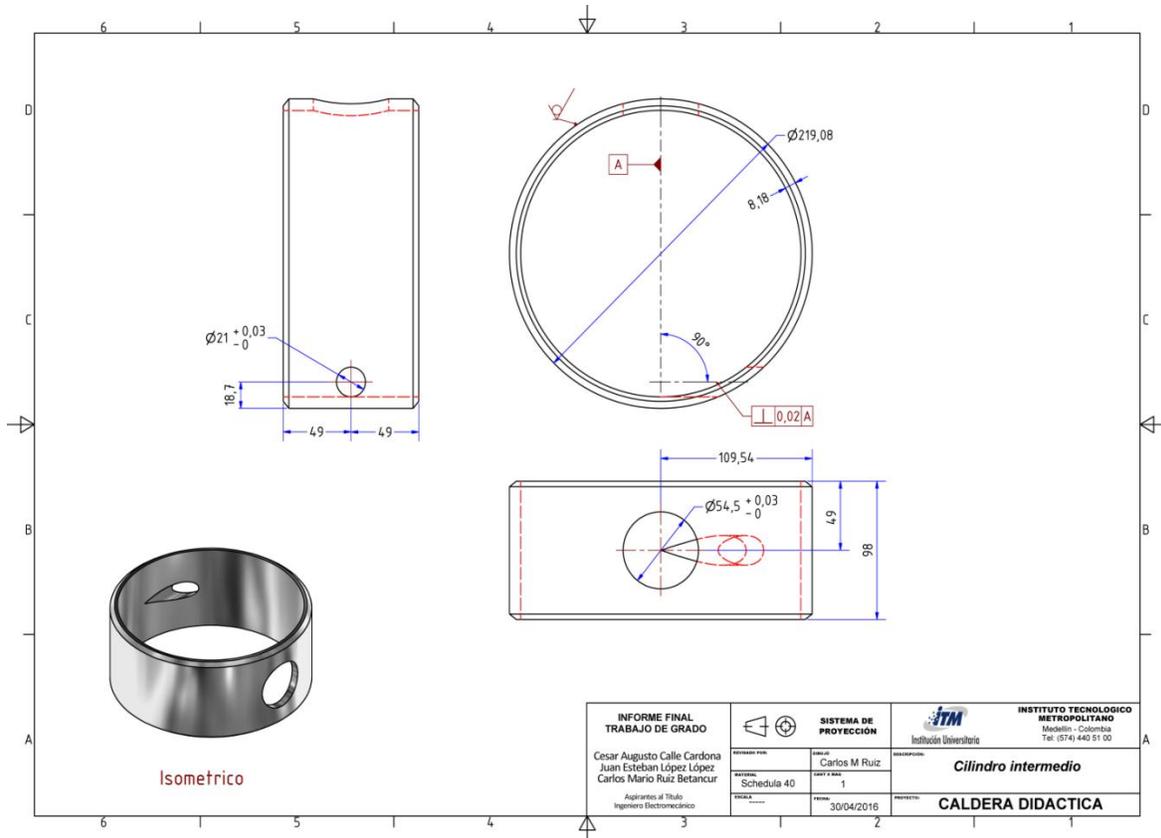
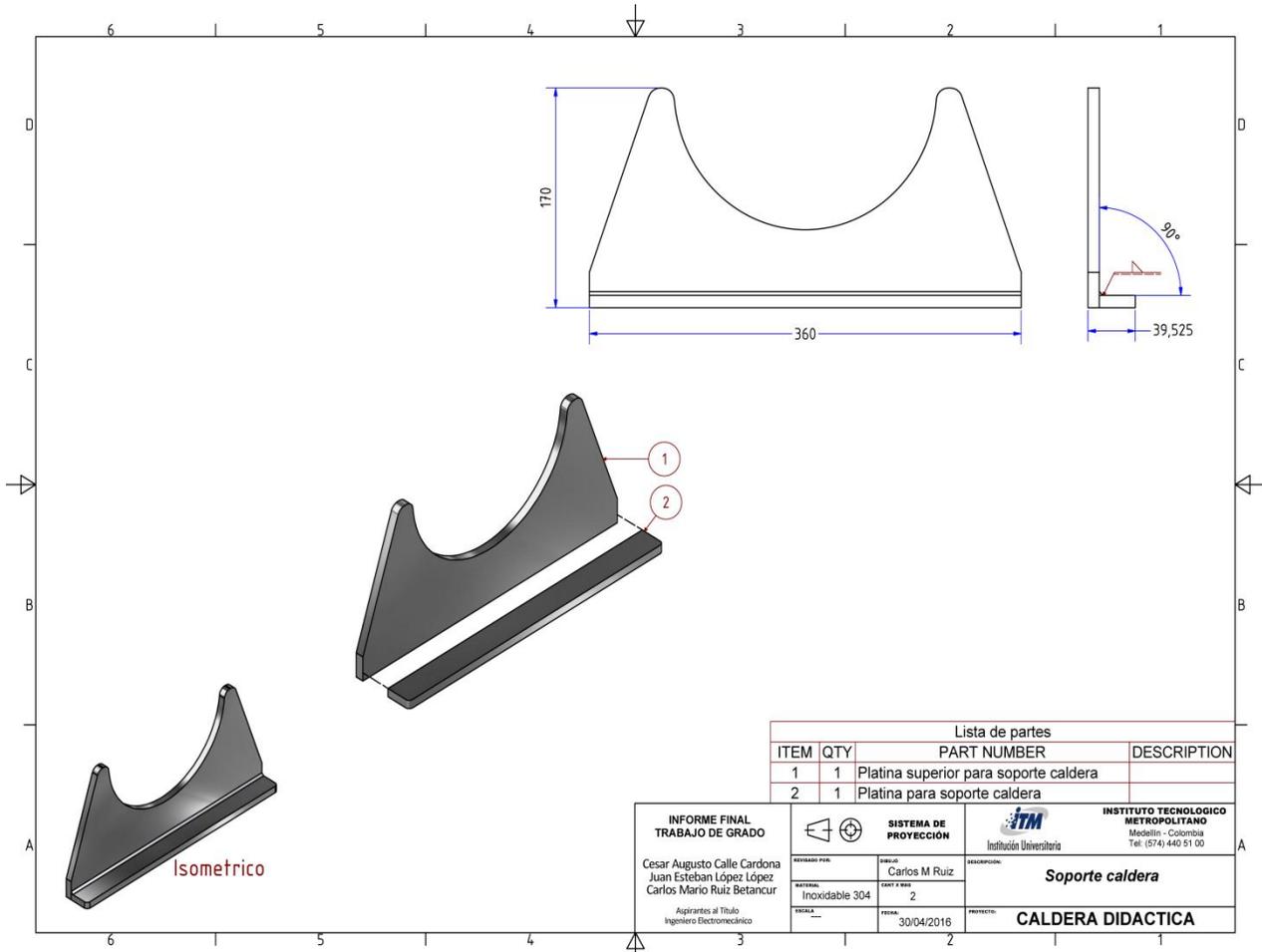


Figura 54. Cilindro (cuerpo). Fuente: Elaboración Propia



**Figura 55. Soportes para mini caldera. Fuente: Elaboración Propia**

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 8.2 PLANOS DE POTENCIA Y CONTROL

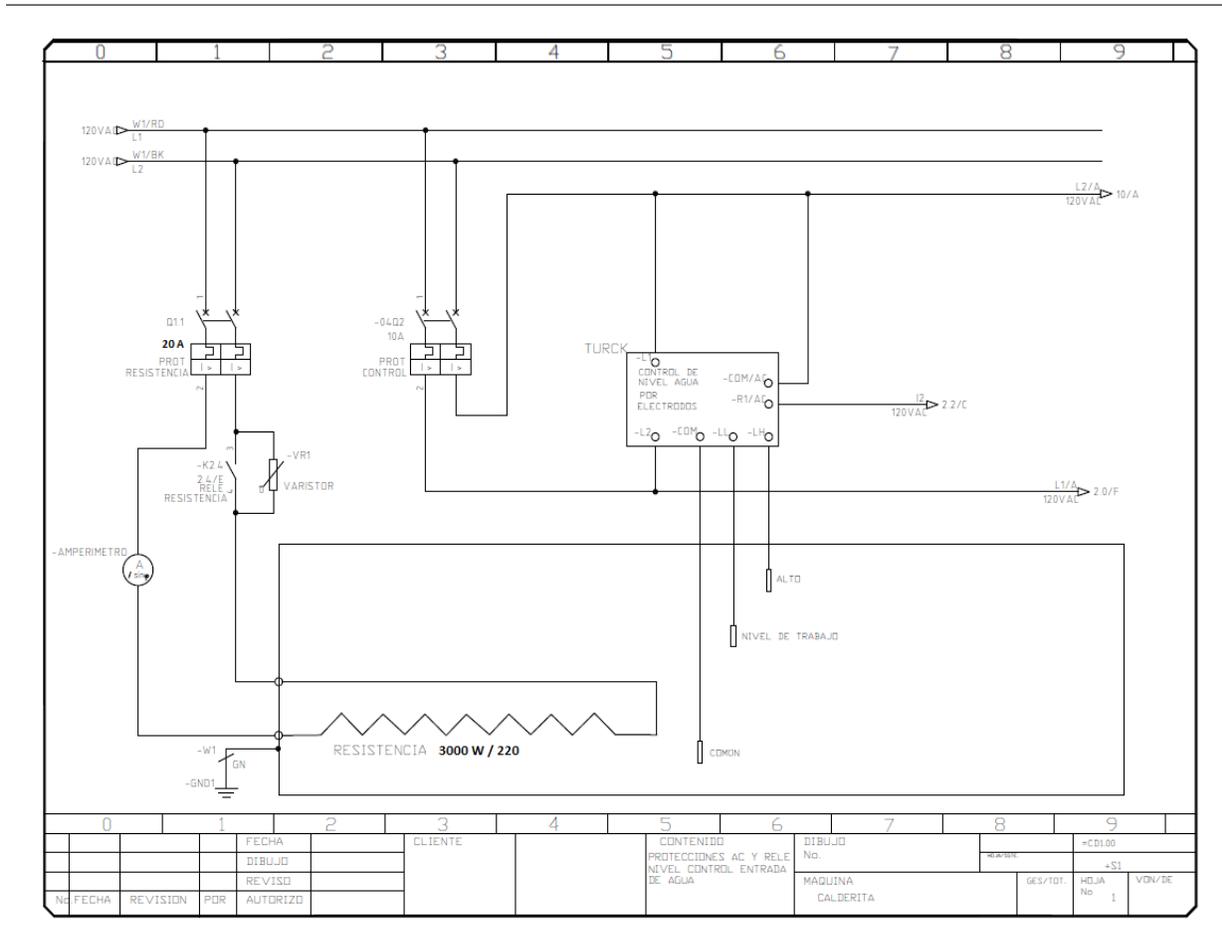
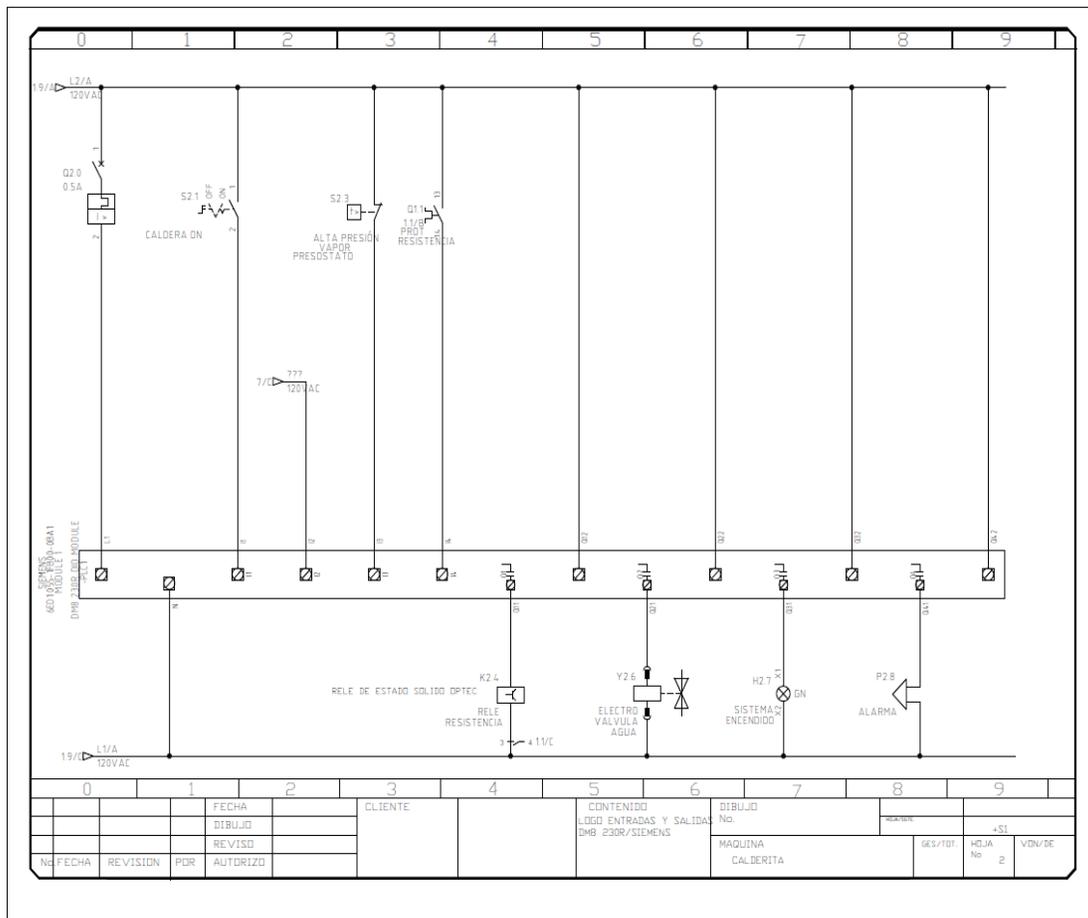
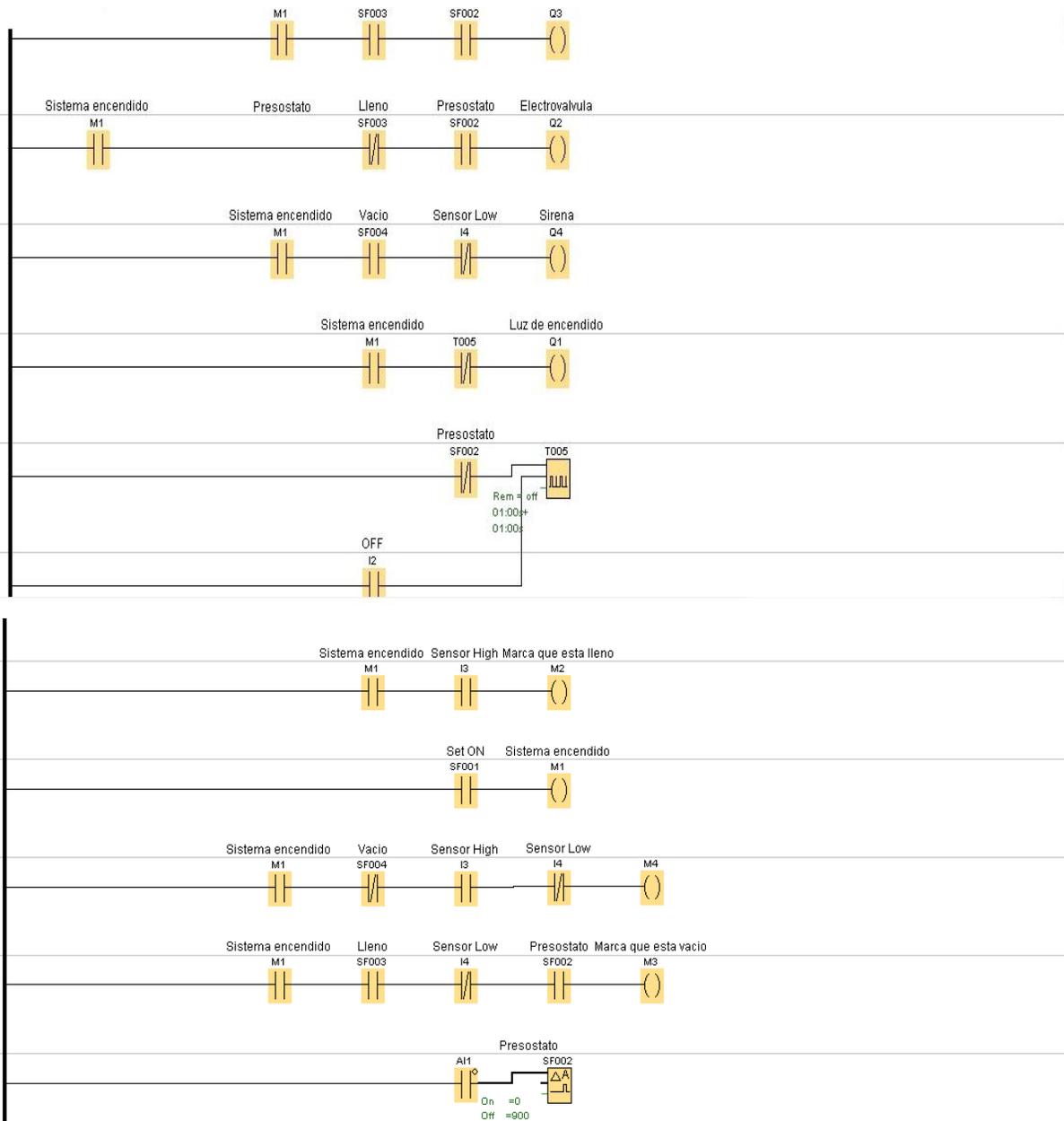


Figura 56. Planos de potencia. Fuente: Elaboración Propia



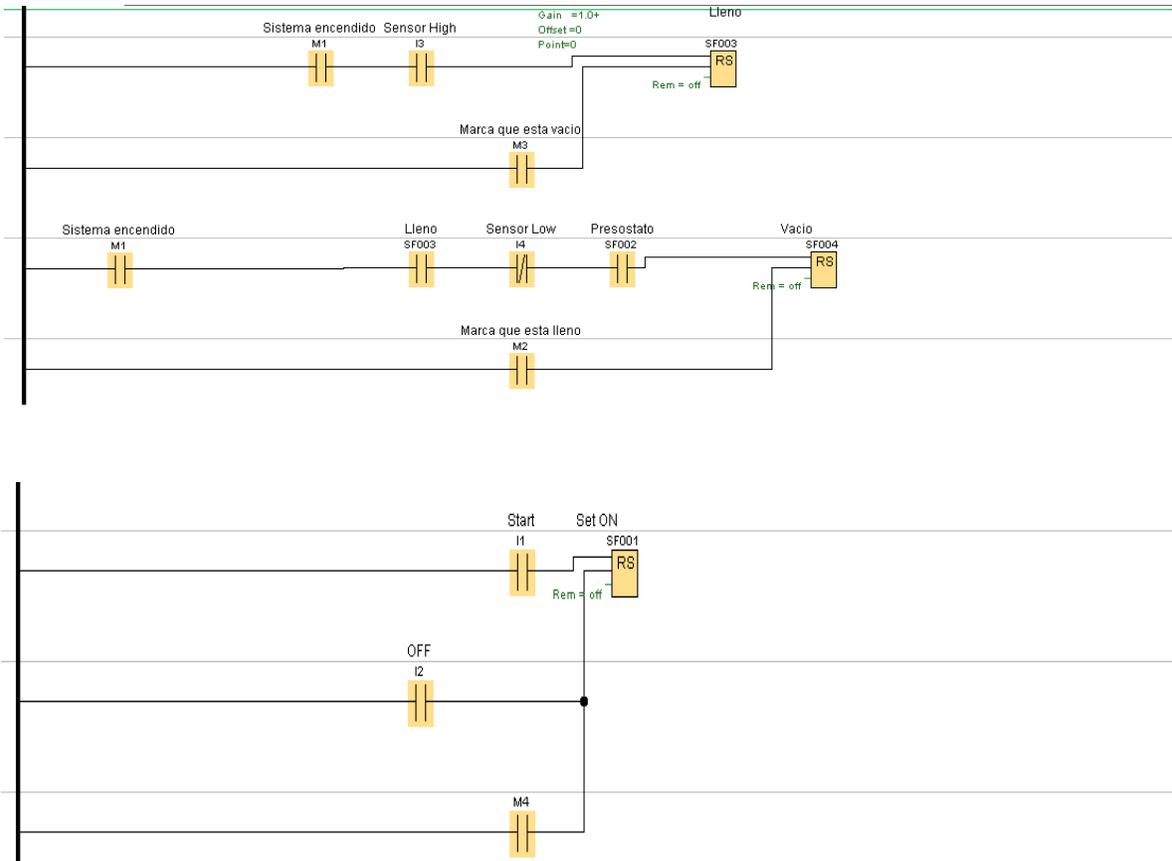
**Figura 57. Planos de potencia. Fuente: Elaboración Propia**

La implementación de la lógica actual se llevó a cabo debido a las especificaciones de la cadera y al flujo de funcionamiento. Esta nos ha permitido tener un reconocimiento de los procesos activos y de esta manera se puede validar las diferentes situaciones que hay en conjunto con los sensores.



**Figura 57. Programa o secuencia de control (programador logo siemens)**

**Fuente: Elaboración Propia**



**Figura 58. Programa o secuencia de control (programador logo siemens)**

**Fuente: Elaboración Propia**

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 5. Numero de bloque y parámetros.**

Número de bloque (tipo)	Parámetro
I1(Contacto normalmente abierto) : Start	
I1(Contacto normalmente abierto) : Start	
I2(Contacto normalmente abierto) : Off	
I3(Contacto normalmente abierto) : Sensor Low	
I3(Contacto normalmente abierto) : Sensor Low	
I3(Contacto normalmente cerrado) : Sensor Low	
I4(Contacto normalmente abierto) : Sensor Mid	
I4(Contacto normalmente abierto) : Sensor Mid	
I4(Contacto normalmente cerrado) : Sensor Mid	
I5(Contacto normalmente abierto) : Sensor High	
I5(Contacto normalmente abierto) : Sensor High	
I5(Contacto normalmente cerrado) : Sensor High	
I7(Contacto normalmente cerrado) : Presostato	
I7(Contacto normalmente abierto) : Presostato	
I7(Contacto normalmente abierto) : Presostato	
I7(Contacto normalmente cerrado) : Presostato	
I7(Contacto normalmente abierto) : Presostato	
M1(Bobina) : Sistema de encendido	
M1(Contacto normalmente abierto) : Sistema de encendido	
M1(Contacto normalmente abierto) : Sistema de encendido	
M1(Contacto normalmente abierto) : Sistema de encendido	
M1(Contacto normalmente abierto) : Sistema de encendido	
M2(Bobina) : Marca de reset vacio	

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Fuente: Elaboración Propia**

**Tabla 6. Numero de bloque y parámetros.**

Número de bloque (tipo)	Parámetro
Q2(Bobina) : Resistencia	
Q3(Bobina) : Piloto Sensor Low	
Q4(Bobina) : Piloto Sensor Mid	
Q5(Bobina) : Piloto Sensor High	
Q7(Bobina) : Piloto de presión	
SF001(Relé autoencavador) : Inicio el sistema	Rem = off
SF001(Contacto normalmente abierto) : Inicio el sistema	
SF002(Relé autoencavador) : Se lleno	Rem = off
SF002(Contacto normalmente cerrado) : Se lleno	
SF002(Contacto normalmente abierto) : Se lleno	
SF002(Contacto normalmente abierto) : Se lleno	
SF004(Relé autoencavador) : se vacío	Rem = off
SF004(Contacto normalmente cerrado) : se vacío	
T005(Generador de impulsos asíncrono) :	Rem = off 01:00s+ 01:00s

**Fuente: Elaboración Propia**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 9 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

Este trabajo da como resultado el diseño de una mini caldera didáctica de tipo resistencia sumergible, que no excede los 100 psig instrumentada para un control seguro, con elementos de protección para evitar los riesgos de explosión misma y como protección para el operador.

Esta mini caldera eléctrica, no se recomienda su uso para altos consumos de vapor, además es un equipo que no contamina el medio ambiente, ya que no hay ninguna liberación de humos por combustión, es un equipo muy compacto, característica por la cual es fácil de transportar o desplazar a otros sitios.

La potencia de la mini caldera propuesta es de 2500 W equivalentes a 3.35 bhp, la cual alcanzará una presión de trabajo de 30 psig.

Una de las dificultades presentadas principalmente es el voltaje que requiere, lo que dificultaría la movilidad de la mini caldera a diferentes espacios de trabajo. Por lo tanto, el equipo deberá funcionar en un lugar específico del laboratorio además por cuestiones de seguridad, esta funcionará a un solo ciclo con la intención de simplificar la operación y manipulación por parte del personal docente y estudiante.

Para la consecución de este tipo de proyectos académicos se presentan muchas dificultades a la hora de solicitar cotizaciones, puesto que los proveedores en la industria responden de una manera más efectiva que a nombre de un estudiante.

Como valor agregado a este trabajo se presenta una relación del costo estimado del proyecto, consultado a través de diferentes proveedores de equipos (Ver apéndice) es de \$ 6.436.724 (Tabla 9). Además, se contemplaron todos los detalles de diseño y

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

materiales bajo el código ASME 2010 para construcción de calderas y recipientes a presión.

**Tabla 7. Costos de proyecto**

ELEMENTOS ELECTRICOS Y ELECTRONICOS			
Presostato marca Honeywell de 10 - 150 PSI conexión 1/4 "	1	\$380.000,00	\$380.000,00
Conjunto de electrodos para control de nivel con base tripolar	1	\$380.000,00	\$380.000,00
Control de nivel marca TURCK referencia MS91-12-R / 220 V	1	\$995.000,00	\$995.000,00
Electrovalvula marca Danfoss referencia 032U1252 de 1/2 "	1	\$295.000,00	\$295.000,00
Controlador logico programable Siemens ref LOGO 230RC	1	\$420.000,00	\$420.000,00
Suiche muletilla de 2 posiciones referencia XB4BD21	1	\$38.500,00	\$38.500,00
Piloto de 22 mm color verde a 220 Vac	1	\$5.500,00	\$5.500,00
Amperimetro analogo de 0 - 40 Amp	1	\$70.000,00	\$70.000,00
Sirena a 220 Vac	1	\$70.000,00	\$70.000,00
Rele de estado solido monofasico 25 Amp	1	\$85.000,00	\$85.000,00
Breaker bipolar de 20 Amp montaje en riel	1	\$45.000,00	\$45.000,00
Breaker bipolar de 10 Amp montaje en riel	1	\$45.000,00	\$45.000,00
Breaker bipolar de 1 Amp montaje en riel	1	\$85.000,00	\$85.000,00
<b>RESISTENCIA TUBULAR EN "U"</b>	<b>1</b>	<b>\$180.960,00</b>	<b>\$180.960,00</b>
		SUBTOTAL	\$3.094.960,00
		IVA 16%	\$495.193,60
		<b>TOTAL</b>	<b>\$3.590.153,60</b>
ELEMENTOS MECANICOS			
SIFON COLEMARRANO INOX 1/4" T 304.	2	\$19.800,00	\$39.600,00
VALVULA DE BOLA INOX 1/2" ROSC. 316 800.	2	\$150.000,00	\$300.000,00
CHEQUE SWING INOX. ROSCA 1/2" 316 200.	1	\$41.000,00	\$41.000,00
MANOMETRO 2" W 1005SH 100 INF 1/4"NPT XSF.	1	\$72.000,00	\$72.000,00
NIVEL VISOR OJO DE BUEY INOX 1" X 1500 PSI A 270°C	1	\$86.000,00	\$86.000,00
VALVULA DE SEGURIDAD VAPOR INOX 1/2" X 90 PSI	1	\$540.000,00	\$540.000,00
TAPON CAP INOX SCH 40 8"	2	\$114.980,00	\$229.960,00
NIPLE INOX SCH 40 1/2" X 5 CMS	2	\$3.300,00	\$6.600,00
NIPLE TUERCA INOX 1/2" X 150 LBS T 304	3	\$2.980,00	\$8.940,00
UNION INOX ROSCA LISA 1/4" X 150 LBS T 304	3	\$2.730,00	\$8.190,00
UNION INOX ROSCA LISA 1/2" X 150 LBS T 304	2	\$3.700,00	\$7.400,00
UNION INOX ROSCA LISA 1 1/2" X 150 LBS 304	2	\$14.465,00	\$28.930,00
UNION INOX ROSCA LISA 1" X 150 LBS T 304	1	\$7.640,00	\$7.640,00
TEE INOX ROSCA 1/2" X 150 LBS T 304	1	\$5.660,00	\$5.660,00
TERMOMETRO DIAL 2" CONEX TR 1/4"A 200°C	1	\$25.520,00	\$25.520,00
TUBERIA INOX SCH 40 8" X 100 MM (valor del metro de tuberia)	1	\$780.000,00	\$780.000,00
VALVULA DE SEGURIDAD 1/2 X 1/2 SETIADA 30 PSI	1	\$170.000,00	\$170.000,00
JUEGO DE VIDRIO NIVEL PARA MAC DONALL DE CALDERA	1	\$70.000,00	\$70.000,00
PLATINA INOX 1/4" X 150 X 300 MM (valor del metro de platina)	1	\$26.500,00	\$26.500,00
		SUBTOTAL	\$2.453.940,00
		IVA (16%)	\$392.630,40
		<b>TOTAL</b>	<b>\$2.846.570,40</b>
		<b>GRAN TOTAL</b>	<b>\$6.436.724,00</b>

Fuente: Elaboración Propia

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 10 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

- Dada la necesidad de diseñar un equipo para generación de vapor didáctico, seguro, portátil, compacto y eficiente, la utilización de una mini caldera de tipo resistencia sumergible se presenta como una buena alternativa para el diseño, al ser de tipo eléctrica, desaparecen los riesgos de incendio por malos manejos de combustibles, se minimizan la contaminación medio ambiental al no haber emisiones a la atmosfera y los gastos energéticos se minimizan en un alto porcentaje.
- El diseño de la mini caldera eléctrica de resistencia sumergible se regirá bajo las condiciones de SEGURIDAD del código ASME 2010 para Calderas y Recipientes a Presión, Sección I Reglas para la Construcción de Calderas de Potencia, con el fin de que el equipo sea confiable en su manipulación y operación.
- Se propone una mini caldera sencilla, pero que a futuro se puedan generar mejoras, después de analizando el proyecto se determinan posibles mejoras, como son la utilización del vapor generado para un banco de trabajo determinado.
- Otra mejora no menos importante y aún más significativa es el aumentar la cantidad de ciclos de esta caldera, para esto se debería añadir un sistema de precalentamiento del agua antes de ser suministrada, y de esta manera garantizar un funcionamiento más estable, con un flujo de vapor constante y una disminución de choques térmicos.
- El aprovechamiento del vapor generado por la caldera para mover una turbina de vapor sería el reflejo tangible de una planta de generación térmica, así los estudiantes podrían evidenciar desde la práctica, un esquema real.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Con el diseño de la mini caldera didáctica se pretende que los docentes de las áreas térmicas tengan una ayuda física con la cual los estudiantes puedan interactuar directamente con las variables que este proyecto puede ofrecer, tales como: la medición de temperatura, volumen, presión, entre otras variables y por ende entender cómo trabaja una máquina térmica, así sea a menor escala, ya que el proyecto tiene como finalidad fortalecer los conceptos teóricos y prácticos de los estudiantes, y a su vez facilitar el direccionamiento de los docentes.
- Esta experiencia ha mostrado como es posible diseñar y aplicar un aprendizaje basado en competencias, a partir de las orientaciones de los docentes que nos formaron, ya que durante el tiempo que hemos utilizado para reunirnos, socializar avances del proyecto, investigar en otras universidades datos que nos aportaron al diseño, interactuar con proveedores, son actividades muy poco frecuentes para nosotros como estudiantes, así que cabe resaltar que el trabajo en equipo es fundamental tanto a nivel académico, como a nivel profesional.
- Se determinó, mediante los cálculos realizados, un tiempo estimado de 14,2 minutos para que los 7,5 litros de agua contenida en el interior de la caldera lleguen a la temperatura de saturación (95°C), utilizando una resistencia eléctrica apta para inmersión con potencia de 3000 vatios alimentada a un voltaje de 220 Vac. Se determinó también que, a partir de esta temperatura de saturación, para que la mini caldera alcance la presión de trabajo (30 psig) se necesita un tiempo estimado de 19,02 minutos.
- Algunas dificultades que se pueden presentar al momento de realizar las practicas con la mini caldera, es que se puedan presentar fugas de vapor o agua caliente en las conexiones roscadas de todos los instrumentos, otra de las posibles dificultades podrían darse por la mala manipulación u operación del equipo por parte de los

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

estudiantes, por esta razón se debe contar con la orientación y el acompañamiento constante del docente.

- Como cuidados básicos del equipo, se recomienda la mínima manipulación de los instrumentos, tanto de medida como indicadores de nivel e instrumentos de control, se debe tener sumo cuidado ya que los visores son de vidrio templado y algunos accesorios no cuentan con aislamiento térmico, además es importante dejar despejadas las válvulas de seguridad por una posible descarga de vapor, por tal razón se deben mencionar previamente los riesgos de accidente por quemaduras, sin dejar a un lado las precauciones que se deben tener en las conexiones eléctricas, ya que existe alto riesgo electrocución.
- Como recomendaciones de ensamble y montaje, se deben cumplir con los requerimientos de las dimensiones y los materiales especificados por la norma ASME, ya que si no se cumplen, no se podría dar garantía de ser un equipo seguro.
- Se recomienda para la construcción del recipiente y sus respectivos accesorios, utilizar soldadura tipo TIG, ya que esta nos garantiza una alta resistencia mecánica de todas las uniones soldadas, esta soldadura debe ser aplicada por un profesional calificado en esta área, además se debe realizar una prueba hidrostática como lo indica la norma ASME para garantizar las uniones.
- Como alternativas para la fase de construcción, se puede contratar el servicio de construcción por personal capacitado, con amplia experiencia y con amplio conocimiento de la norma ASME para la construcción de calderas y recipientes sometidos a presión, con un previo estudio del lugar de instalación, los requerimientos básicos y un costo aproximado del ensamble.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 11 REFERENCIAS

---

Castillo, N. (2013). Definición de Caldera. Termodinámica FEEE. Sin Lugar. Recuperado desde: <http://termoindustrial1ii132.blogspot.com/2013/06/definicion-de-caldera.html?view=magazine>

Cengel Y. A. & Boles M. A. (2009). Termodinámica. México D.F.: Mc Graw Hill

Elhinel. (2014). Presostatos. Controles sobre una caldera. Buenos Aires, Argentina: ElHinel. Recuperado desde: [http://www.elhinel.com.ar/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1204&Itemid=514](http://www.elhinel.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=1204&Itemid=514)

Engel, T., Reid, P. & Hehre, W. (2007). Introducción a la fisicoquímica: termodinámica, 1ª edición, p.17, Pearson Educación, México D.F.

Esplugas, S. & Chamorro, M. (2005). Fundamentos de transmisión de calor, 1ª edición, p.7, Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona, Barcelona, España.

Estefani, G. (2013). ¿Qué es el calor? Durango, México. Recuperado desde: <http://www.artinaid.com/2013/04/que-es-el-calor/>

Fernández, V. (2006). Desarrollo de sistemas de información. Una metodología basada en el modelado. 1ª edición, p.11, Ediciones de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL, Barcelona, España.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Franco, A. (2012). Fluidos. Concepto de presión. Sin Lugar. Recuperado desde:  
[http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica\\_/fluidos/estatica/introduccion/Introduccion.html](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica_/fluidos/estatica/introduccion/Introduccion.html)

Holman, J. P. (1999). Transferencia de Calor. México D.F.: Mc Graw Hill.

Kohan, A. L. (2000). Manual de Calderas, 4ª edición. Madrid: Mc Graw Hill - Interamericana de España.

Malek, Mohammad A. (2005). Power Boiler Desing, Inspection, and Repair - Code Asme Simplified, first edition. Mc Graw Hill – New York.

Morán, M. & Shapiro, H. (2004). Fundamentos de termodinámica técnica, 2ª edición, p.1 , Editorial Reverté, Barcelona, España.

Rolle, K. (2006). Termodinámica, 6ª edición, p.47, Pearson Educación/Prentice Hall, México D.F.

San José, R. (2001). Combustión y Combustibles. Recuperado desde:  
<http://kimerius.com/app/download/5780666669/Combusti%C3%B3n+y+combustibles.pdf>

Spyrax Sarco. (2014). Control de nivel de agua y alarmas en una caldera. Producto comercial. Español. Recuperado desde: <http://www.spiraxsarco.com/es/pdfs/SB/p402-101.pdf>

Tipler, P. (1991). Física Preuniversitaria. Volumen I. Barcelona, España: Editorial Reverté.

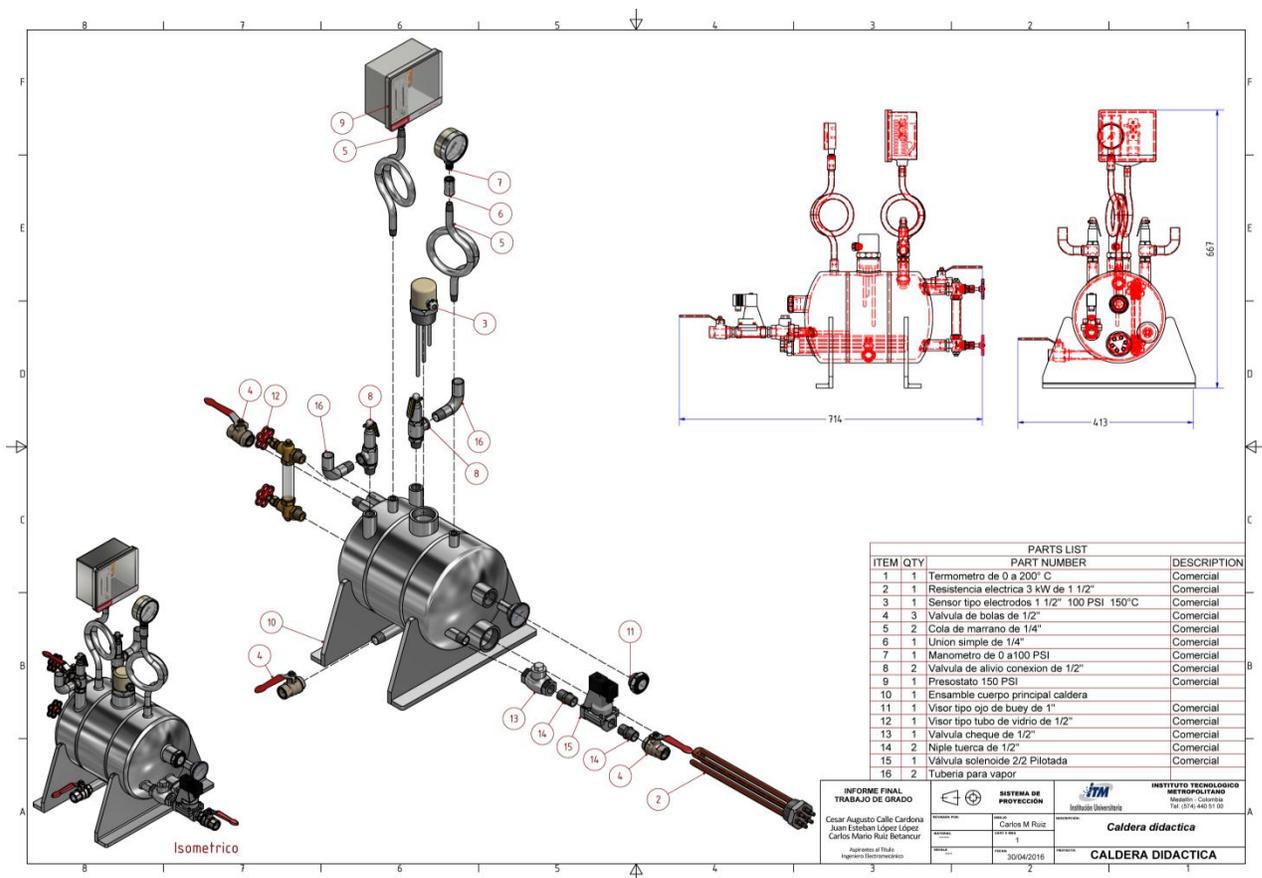
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

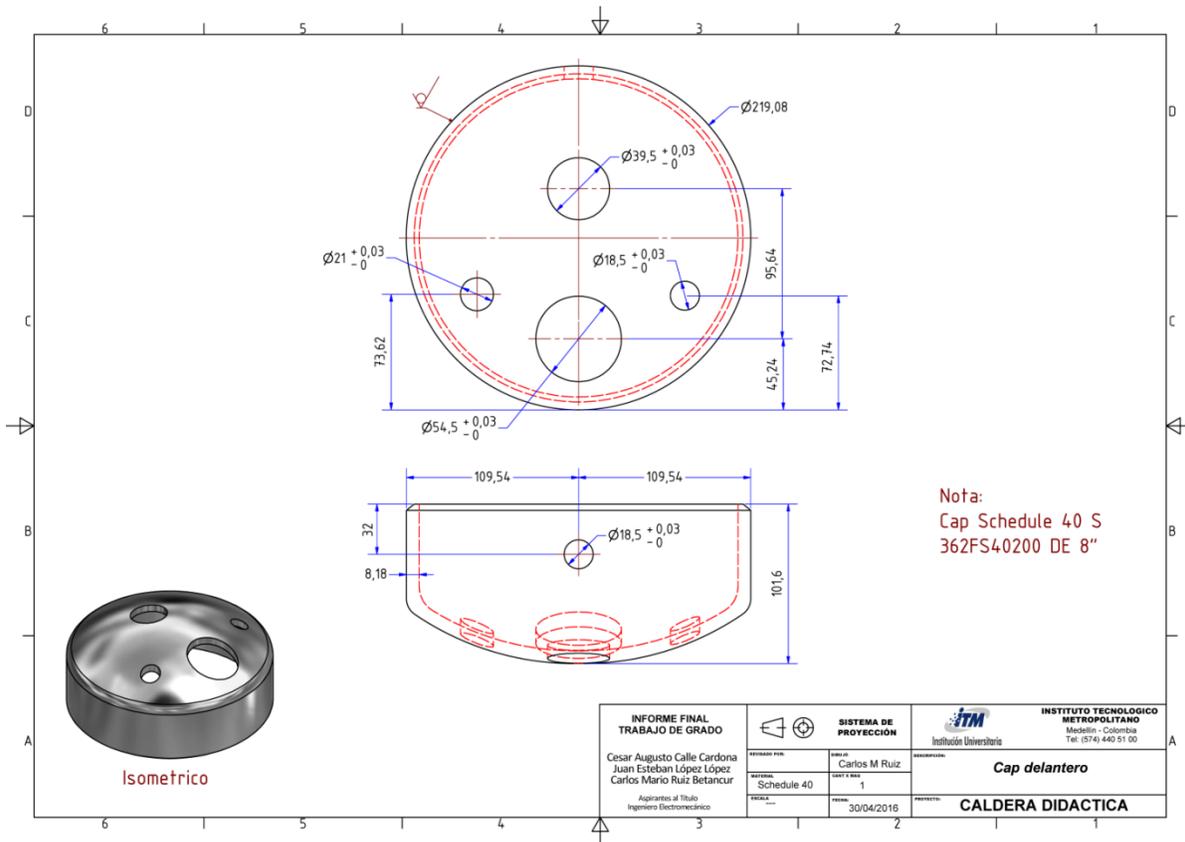
Tirado, M. (2013). Generadores de vapor. Notas. Tipos de Calderas. Recuperado desde: <https://es.scribd.com/doc/53903277/7/b-Calderas-acuotubulares-o-de-tubos-de-agua>

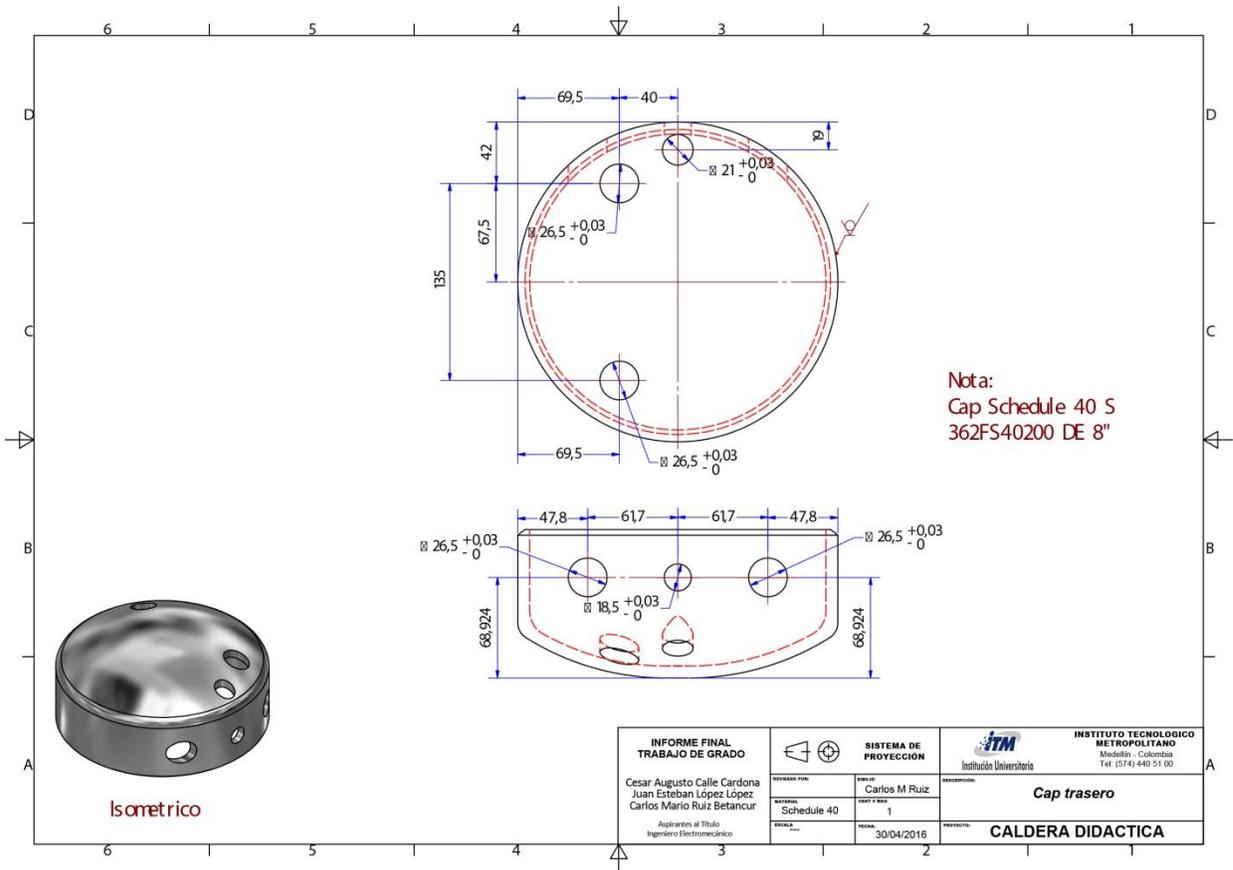
Villares, M. (2003). Cogeneración, 2ª edición, p. 158, FC Editorial, Madrid, España.

## 12 ANEXOS

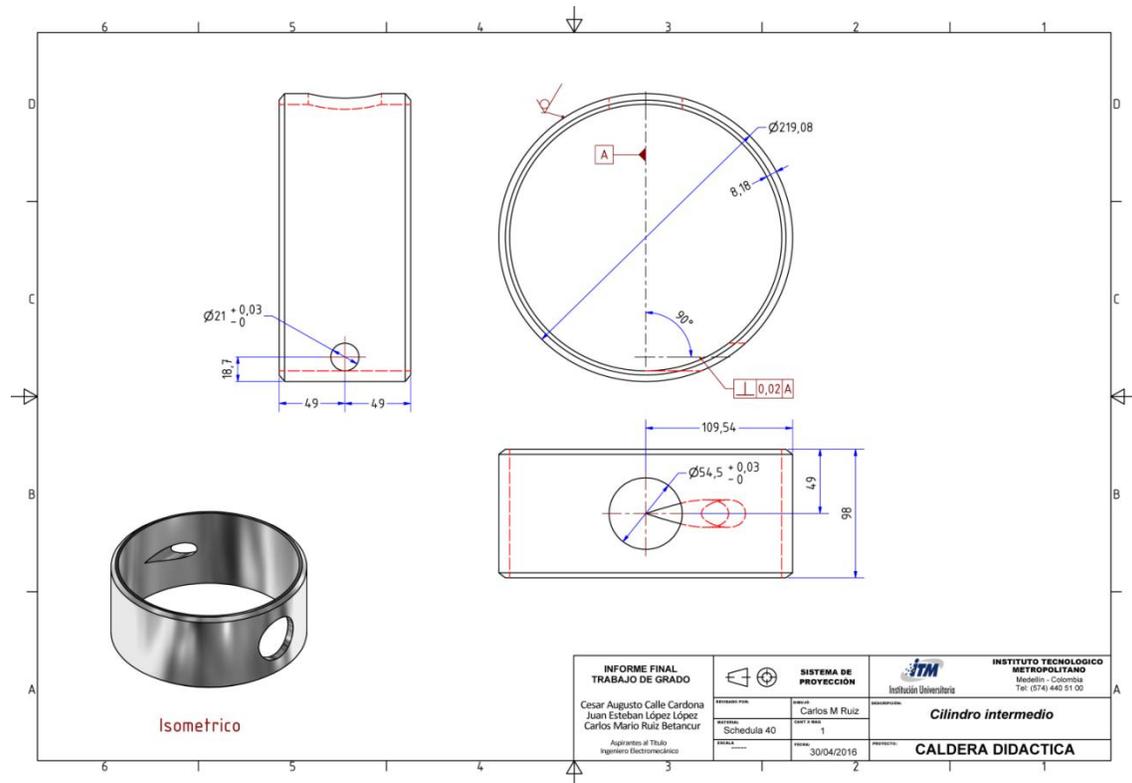
### PLANOS DE ENSAMBLE Y RENDERS DE LA MINI CALDERA.

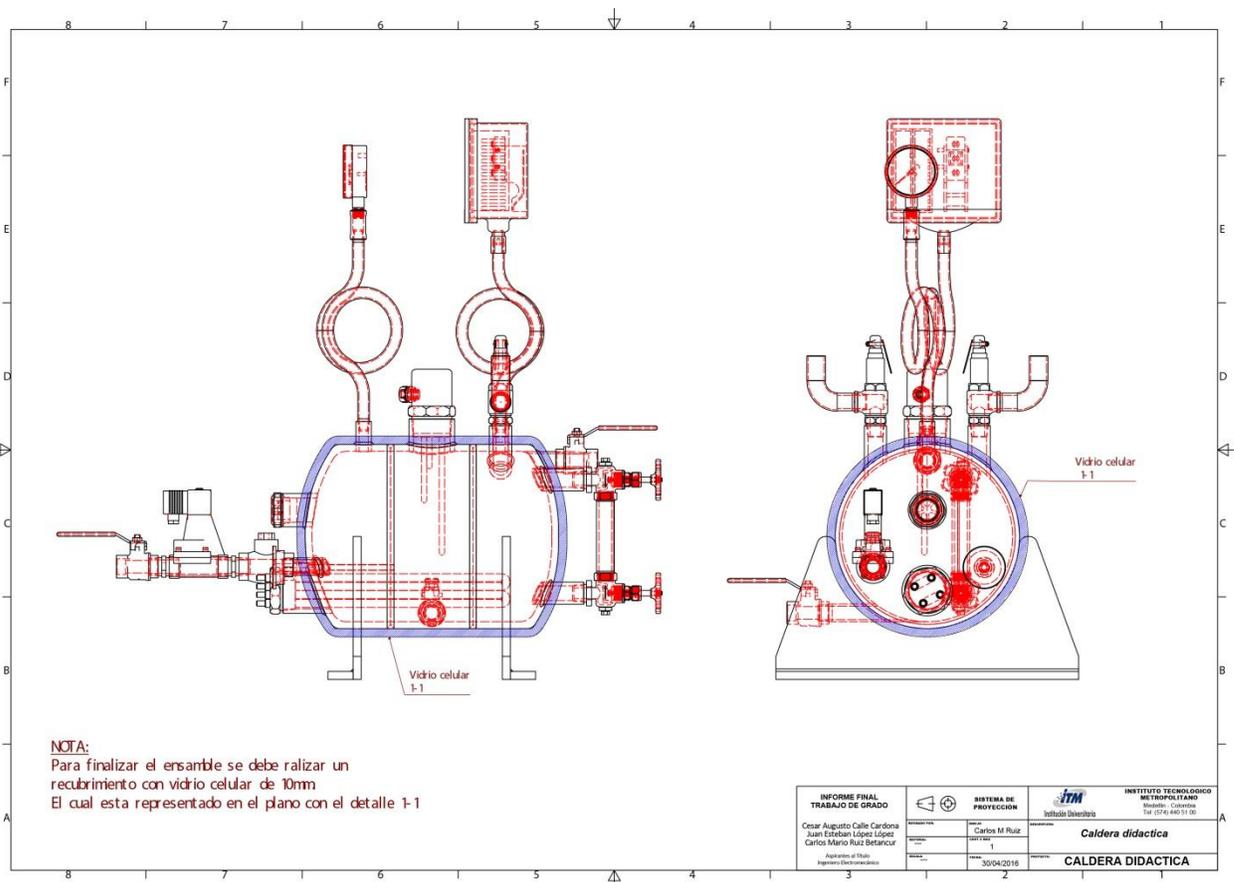




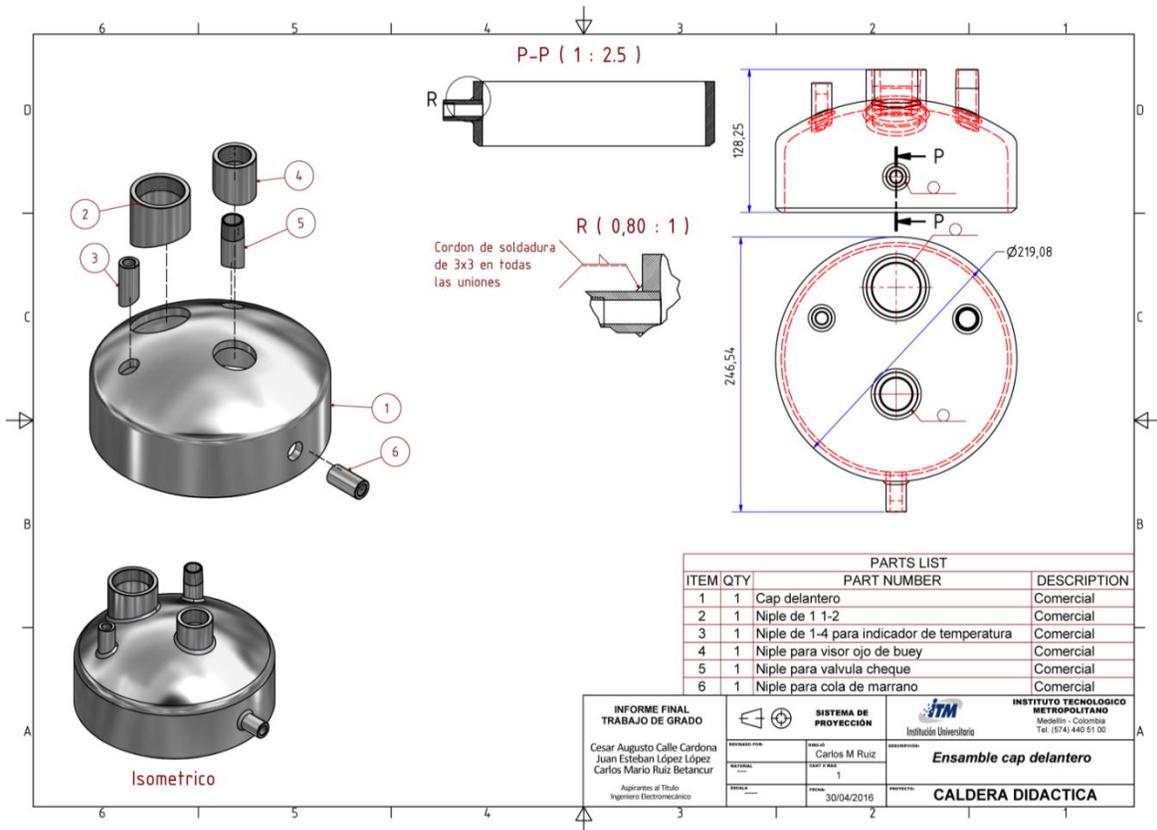


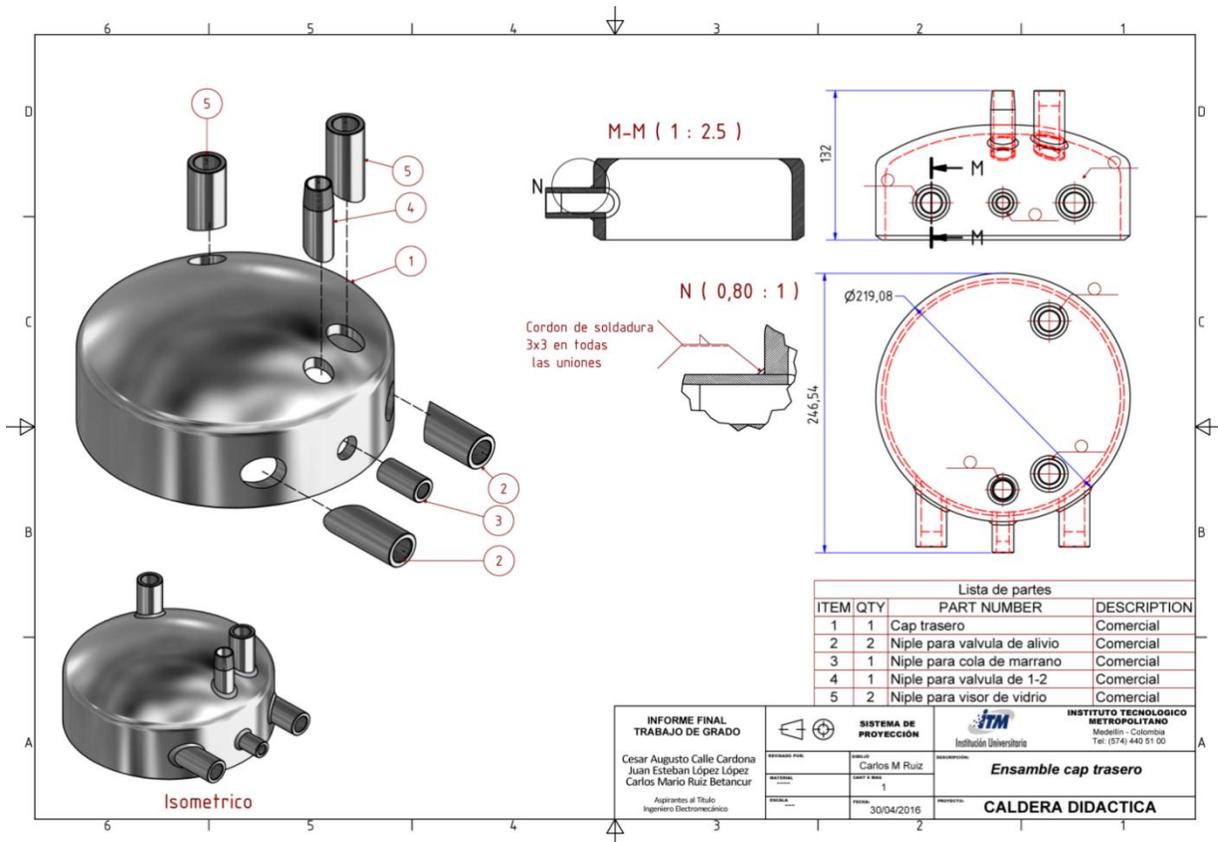
 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

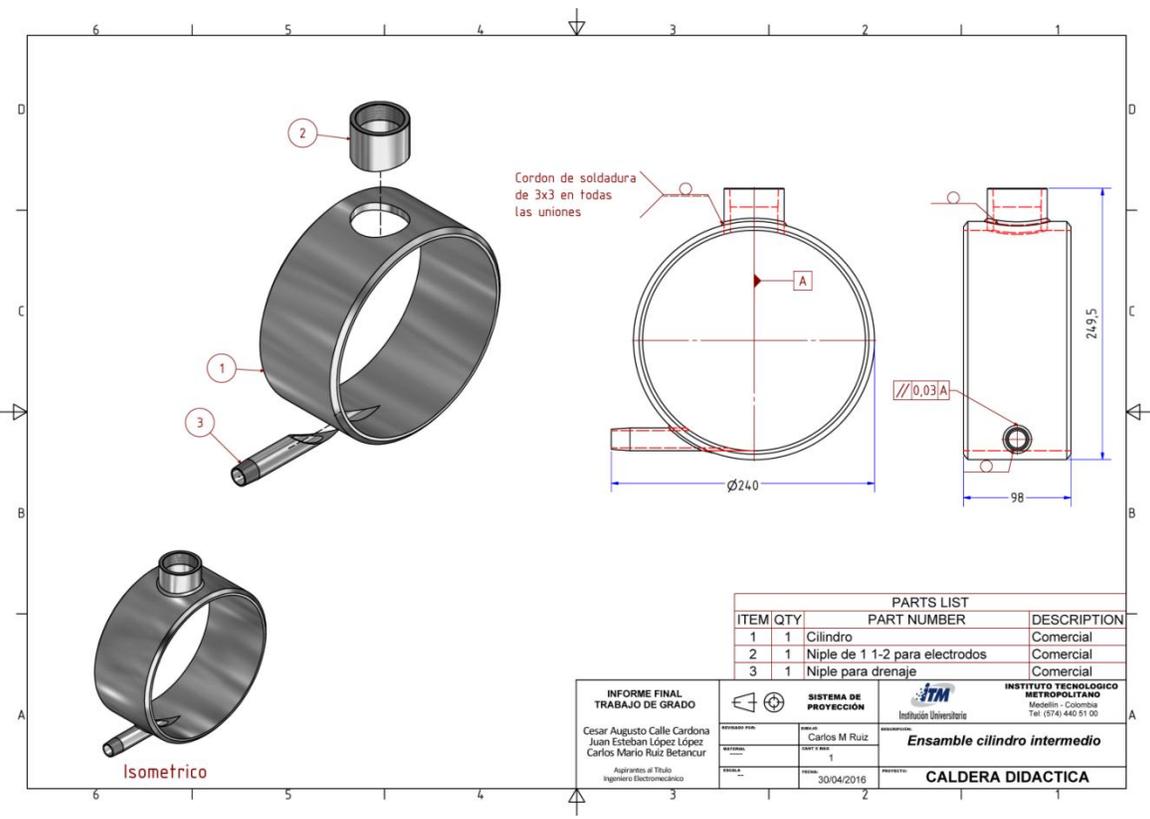


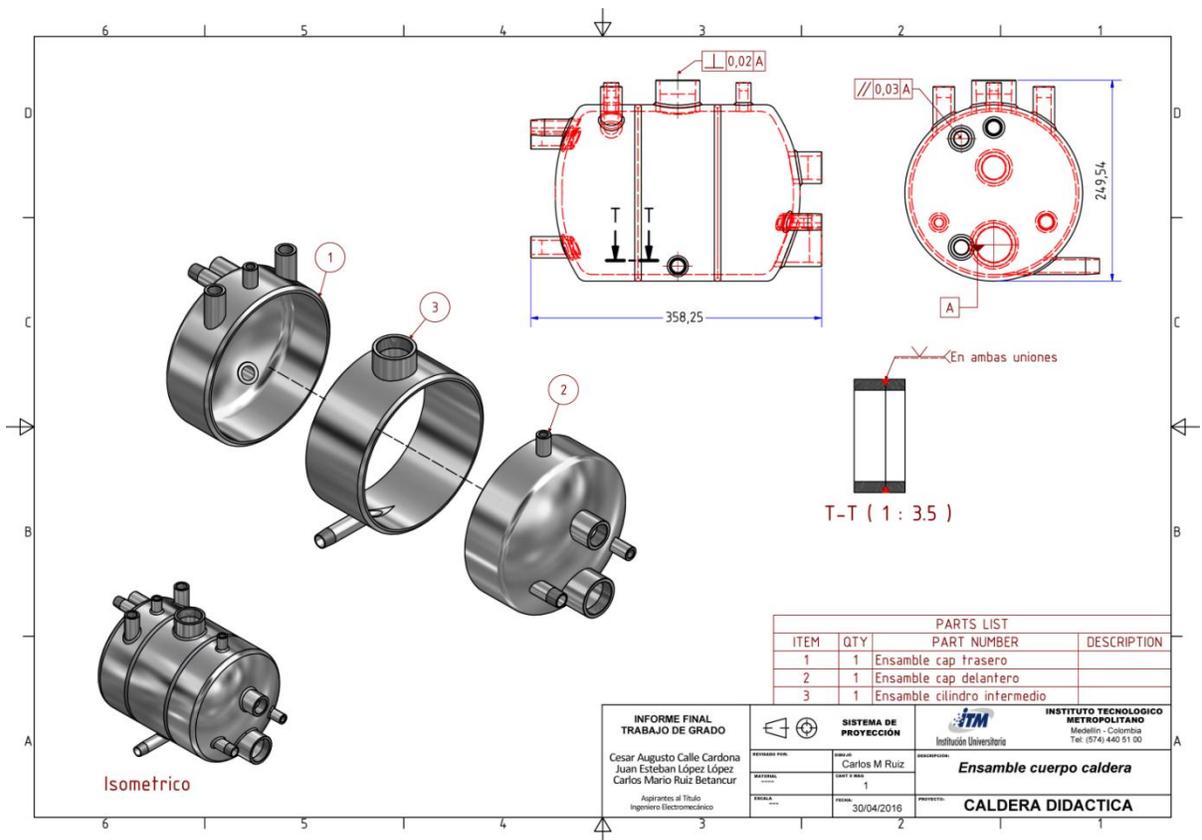


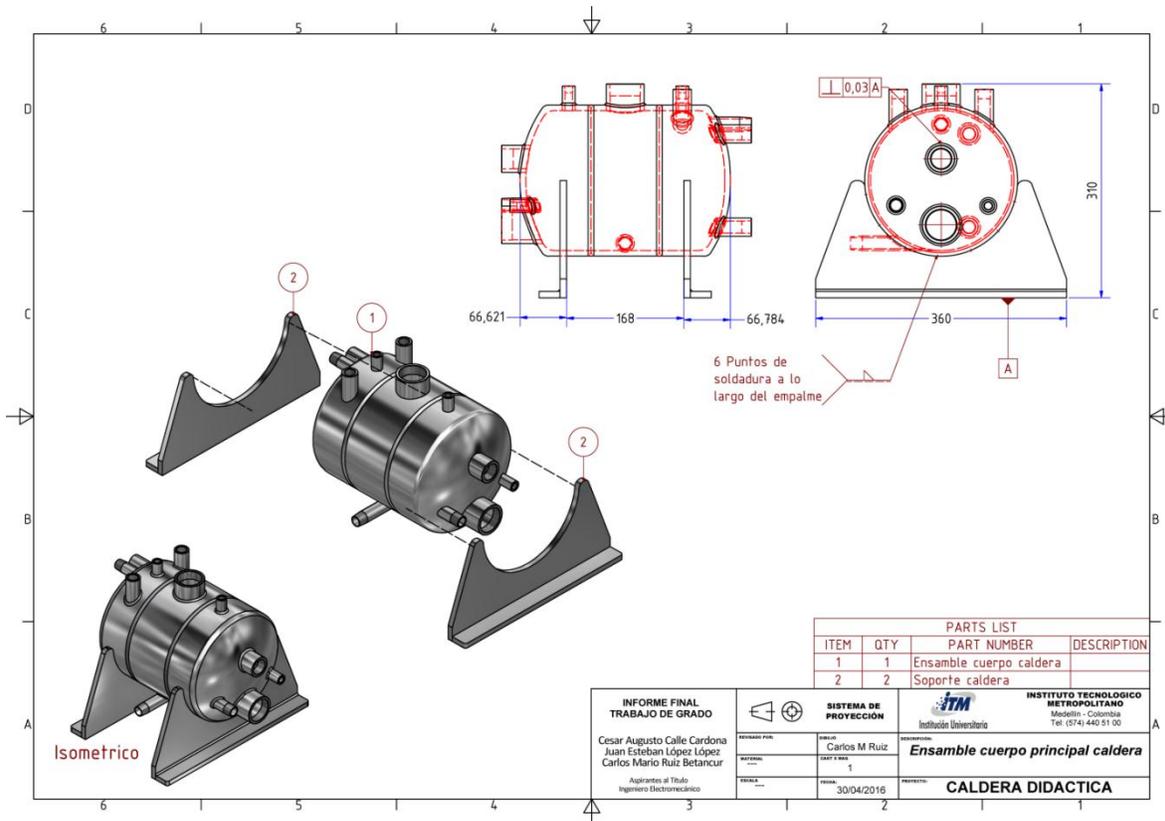
<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b> Cesar Augusto Calle Cardona Juan Esteban López López Carlos Mario Ruiz Betancur Asignatura: El Fuego Ingeniería Electromecánica	<b>SISTEMA DE PROTECCION</b> Profesor: Carlos M Ruiz Grado: 1 Fecha: 30/04/2016	 <b>INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO</b> Bogotá - Colombia Tel: (574) 460 51 00 <b>Caldera didáctica</b> <b>CALDERA DIDACTICA</b>
--	--	---



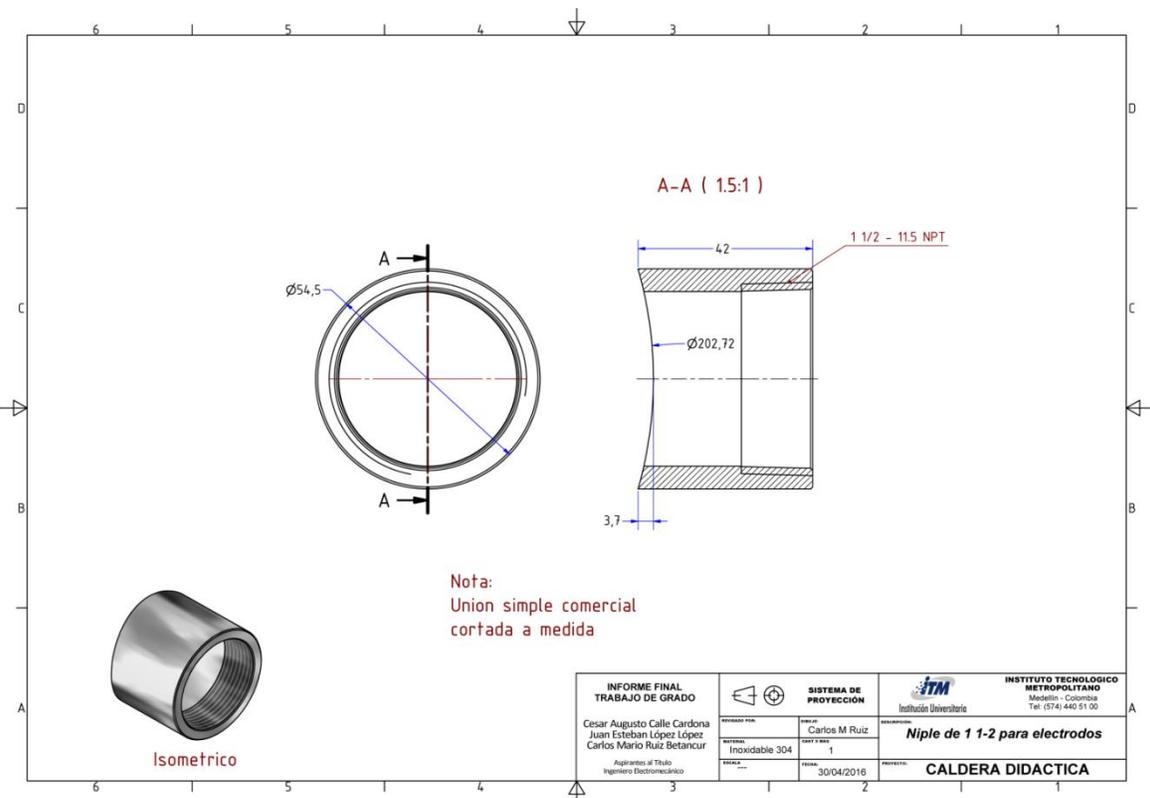






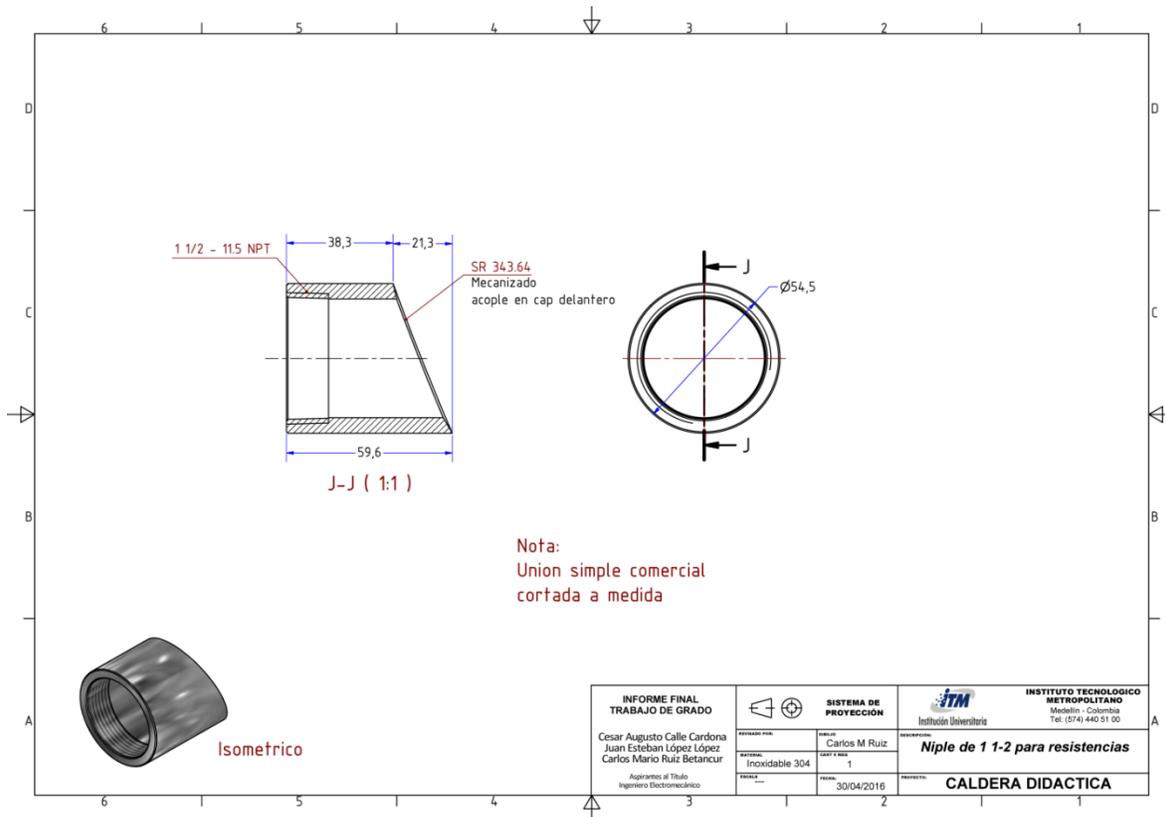


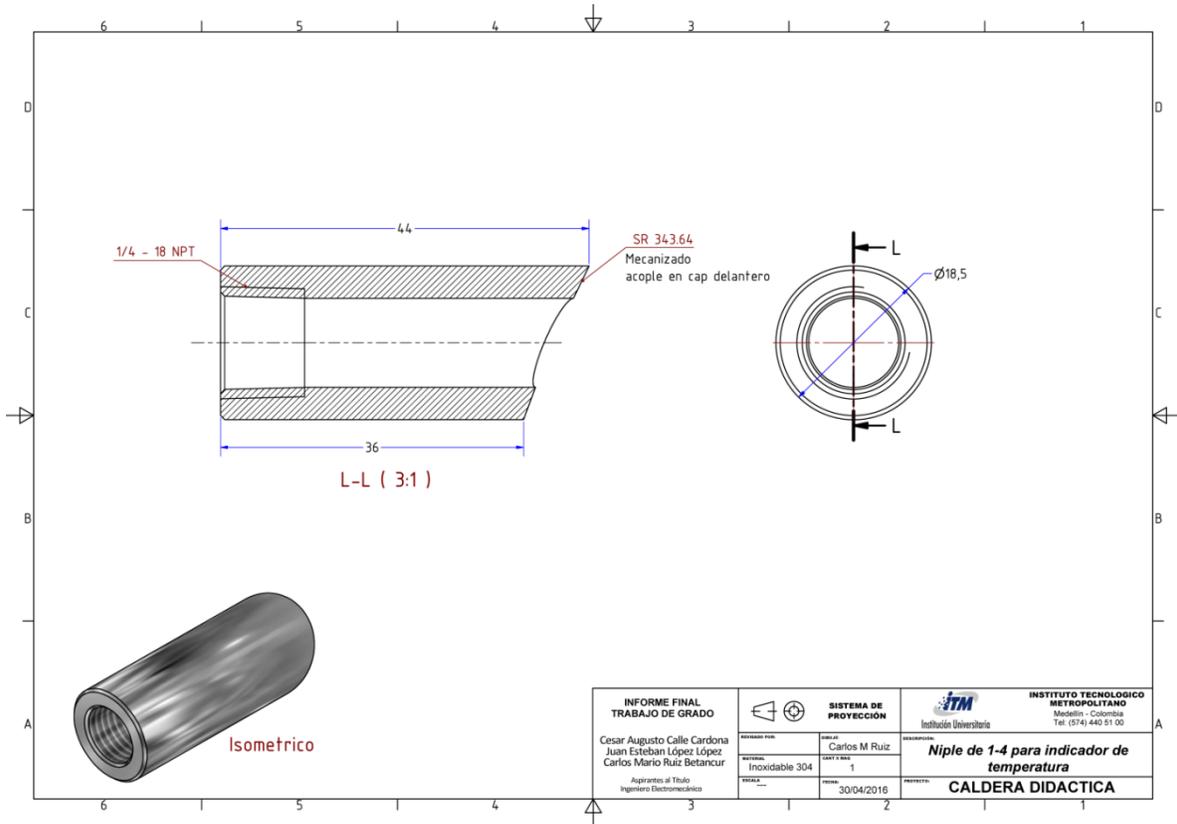
 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



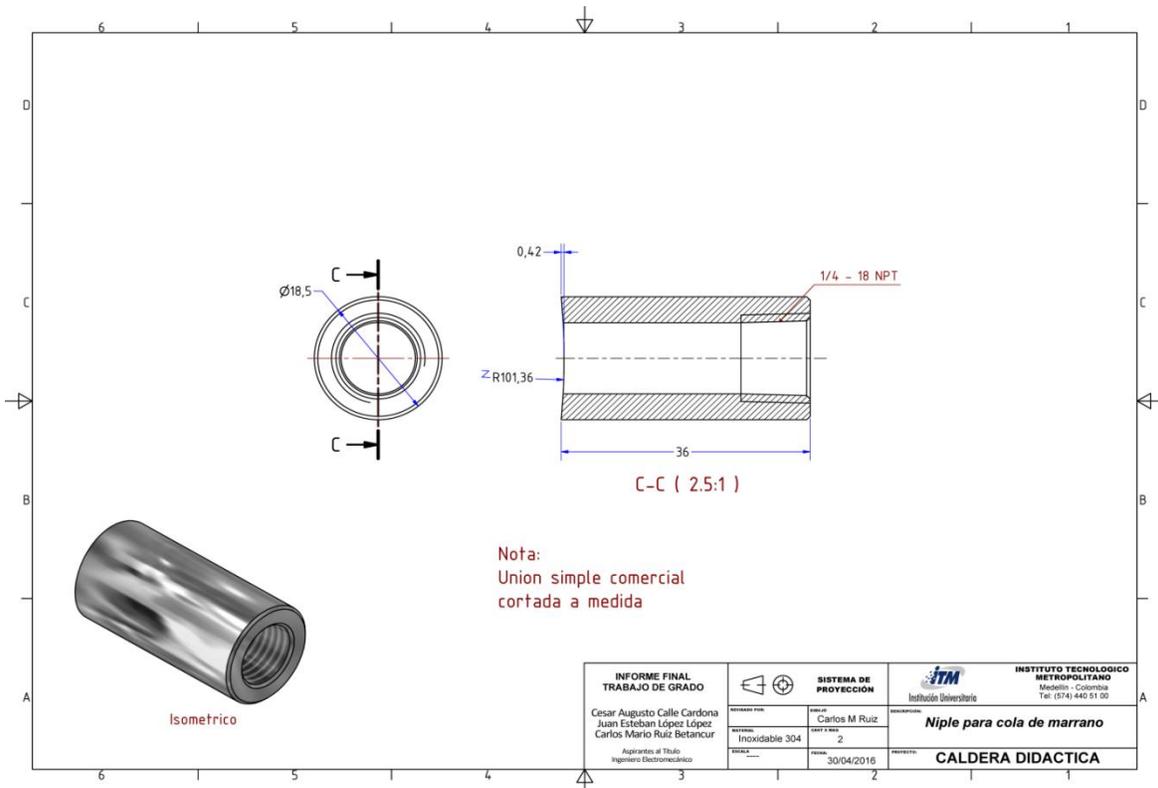
<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b> Cesar Augusto Calle Cardona Juan Esteban López López Carlos Mario Ruiz Betancur Ingenieros de Título Ingeniero Electromecánico		<b>SISTEMA DE PROTECCIÓN</b> Nombre: Carlos M Ruiz Materia: Inoxidable 304 Fecha: 30/04/2016		<b>INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO</b> Medellín - Colombia Tel: (574) 440 51 00 <b>Niple de 1 1-2 para electrodos</b> <b>CALDERA DIDACTICA</b>	
---	--	---	--	--	--

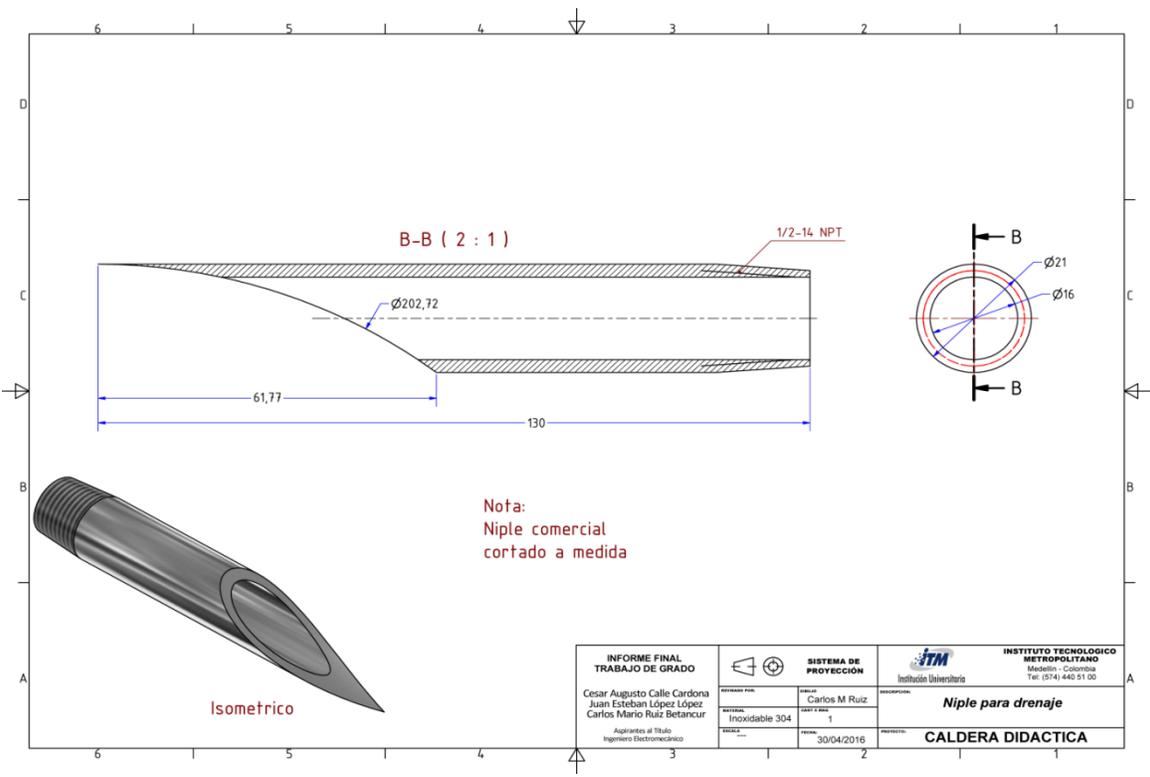
 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

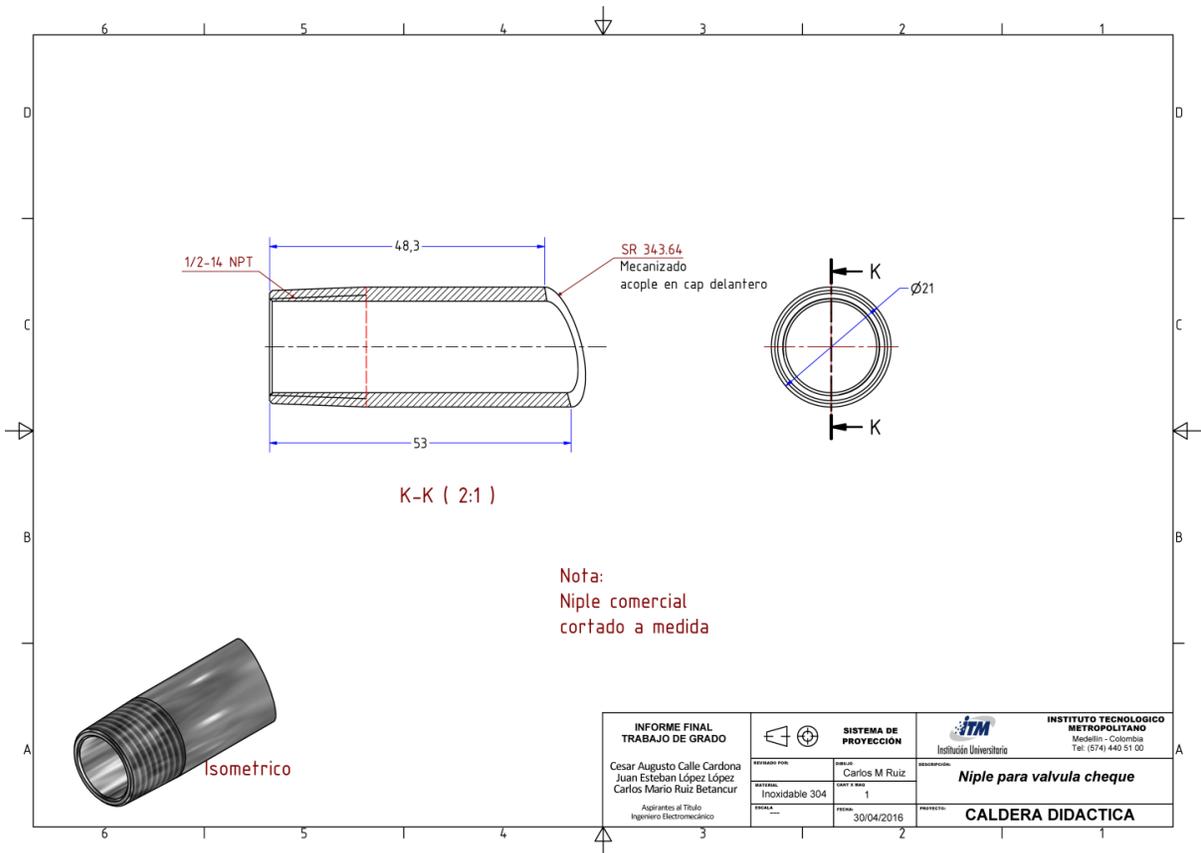


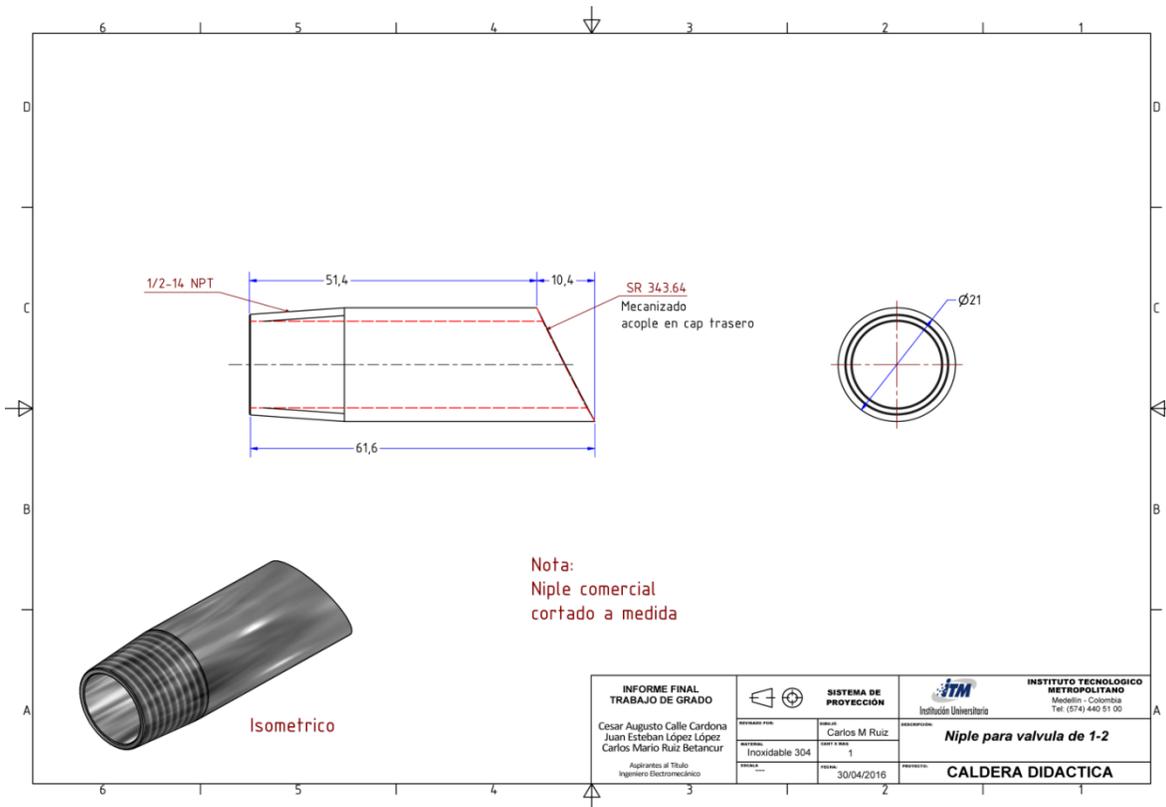


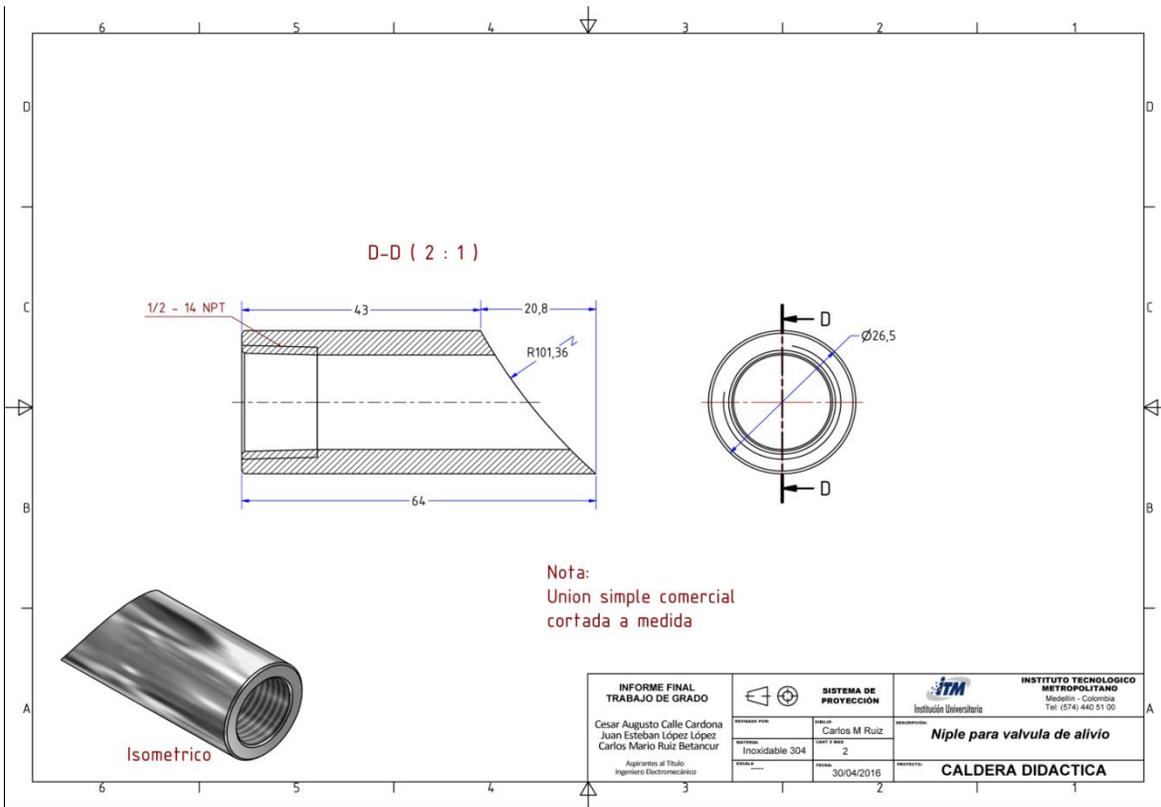
 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

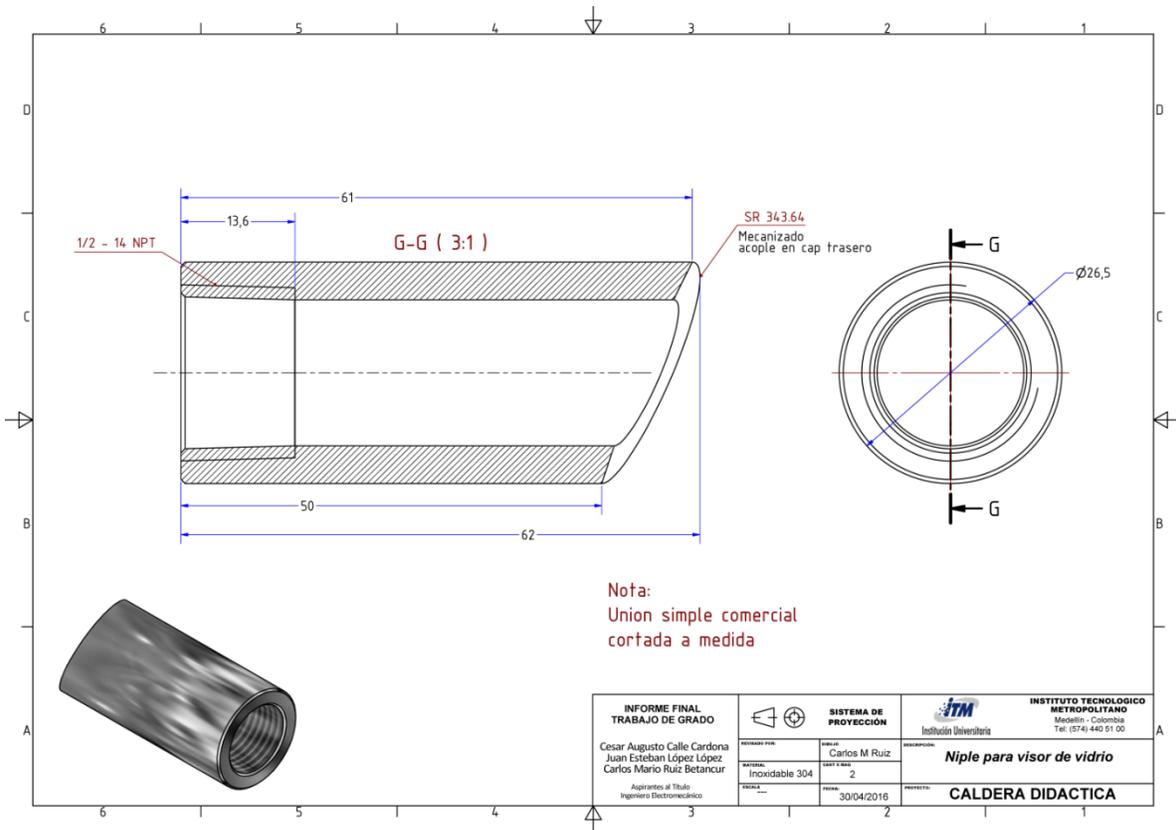


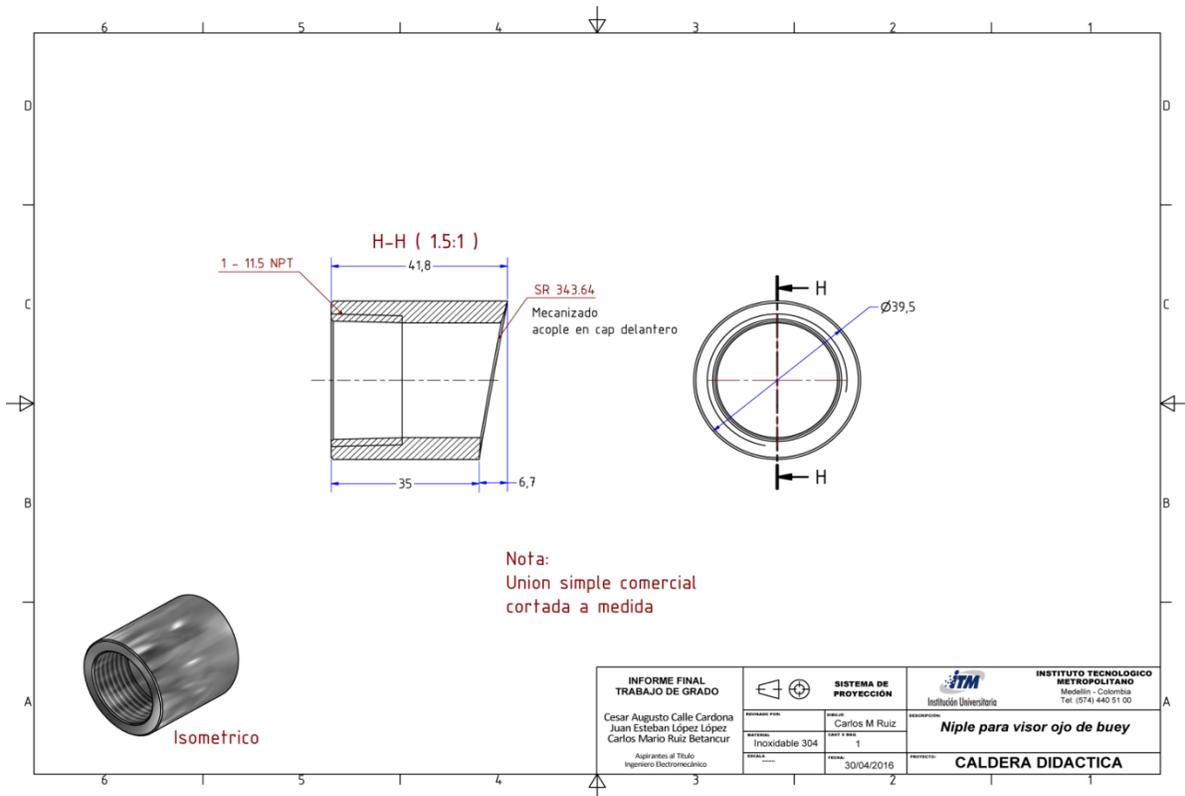




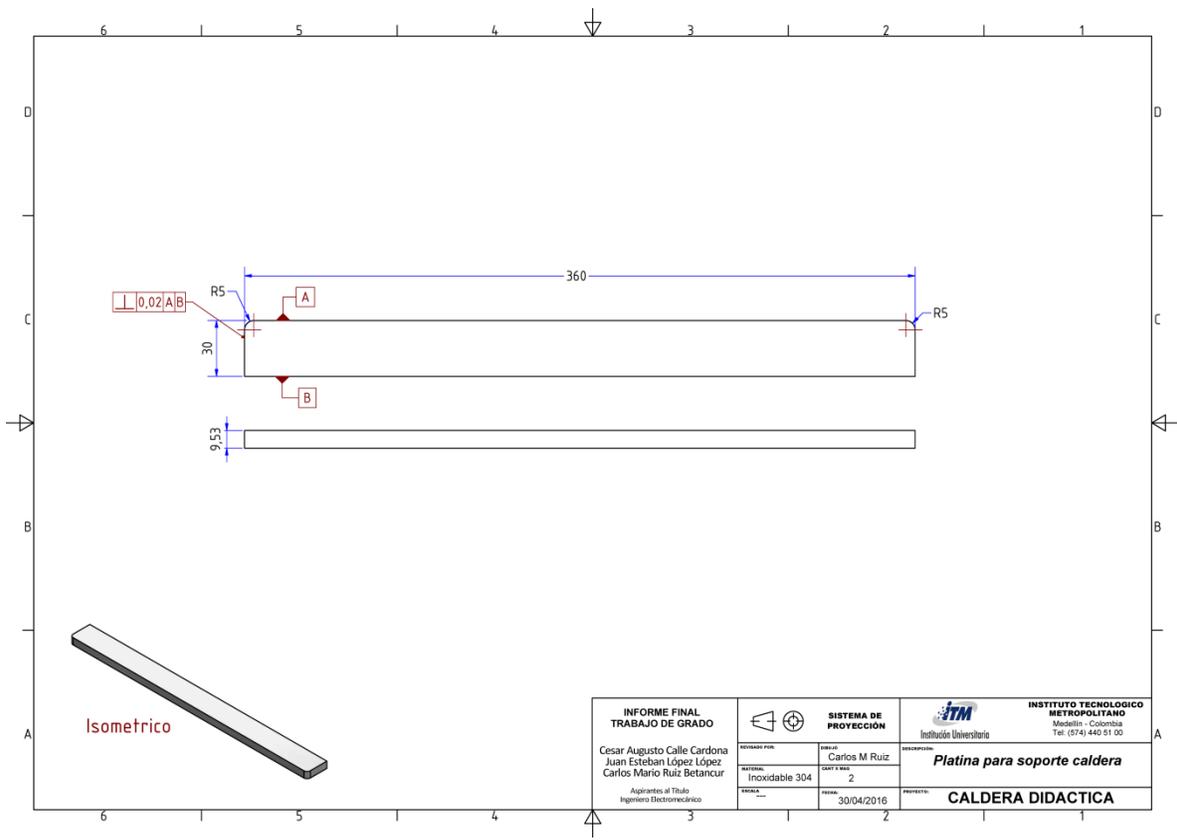




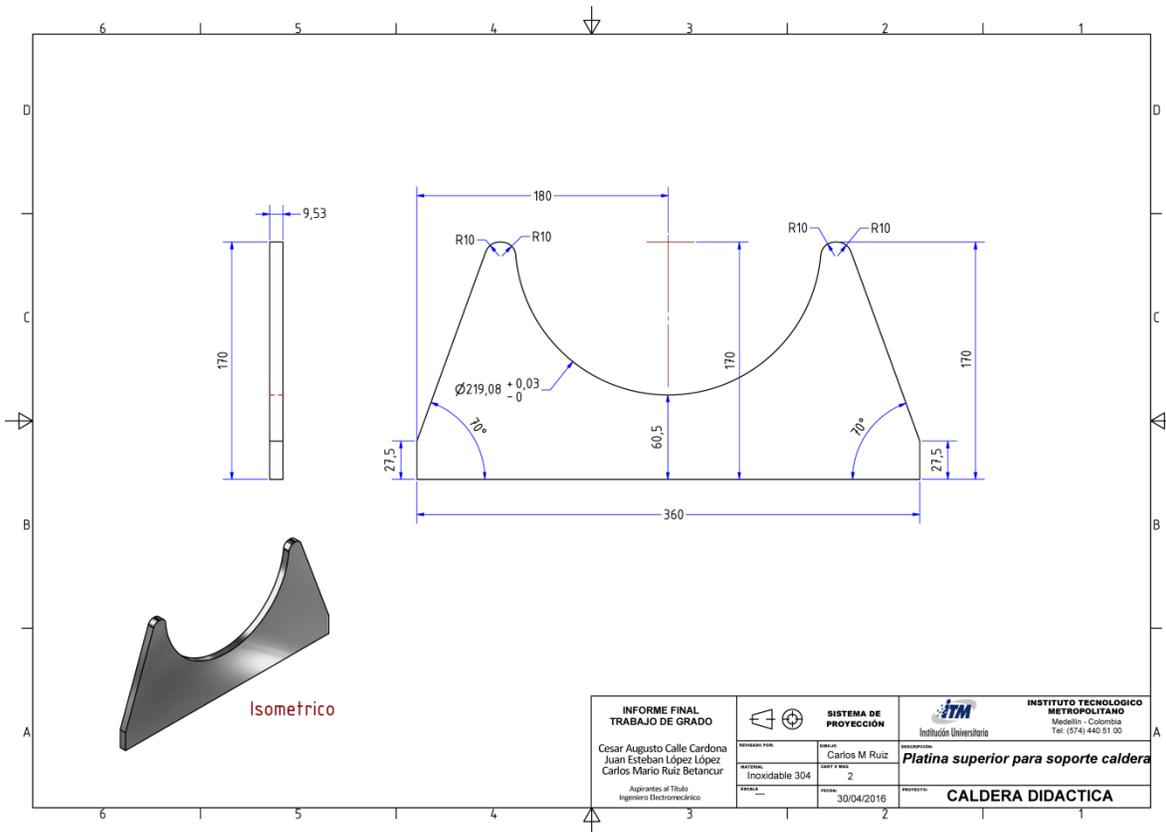


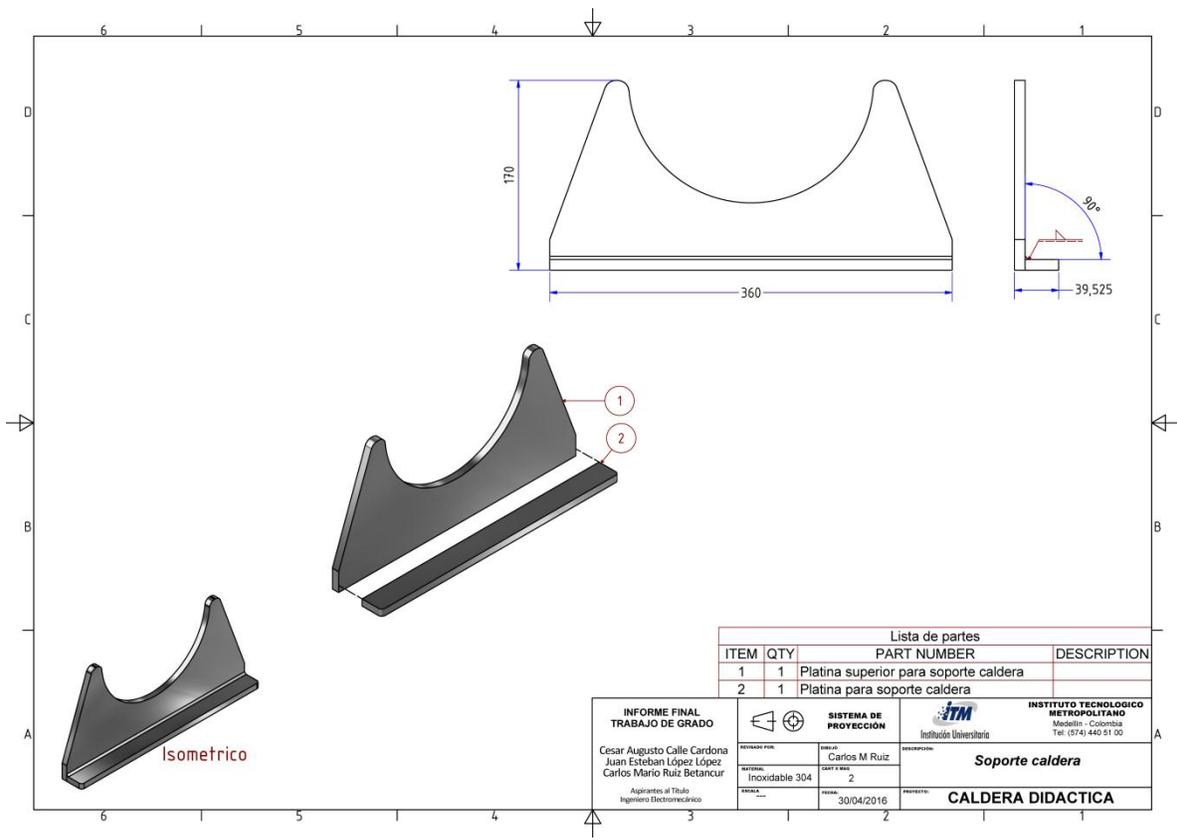


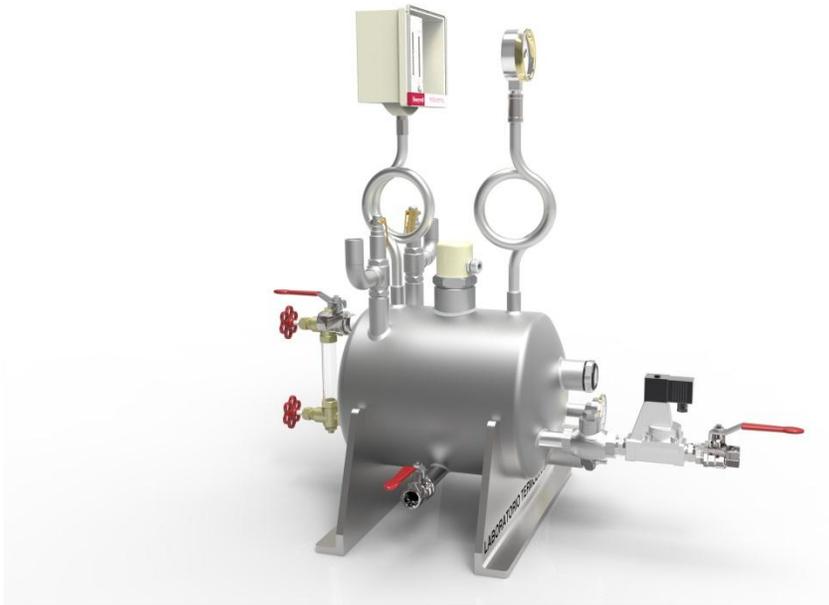
 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



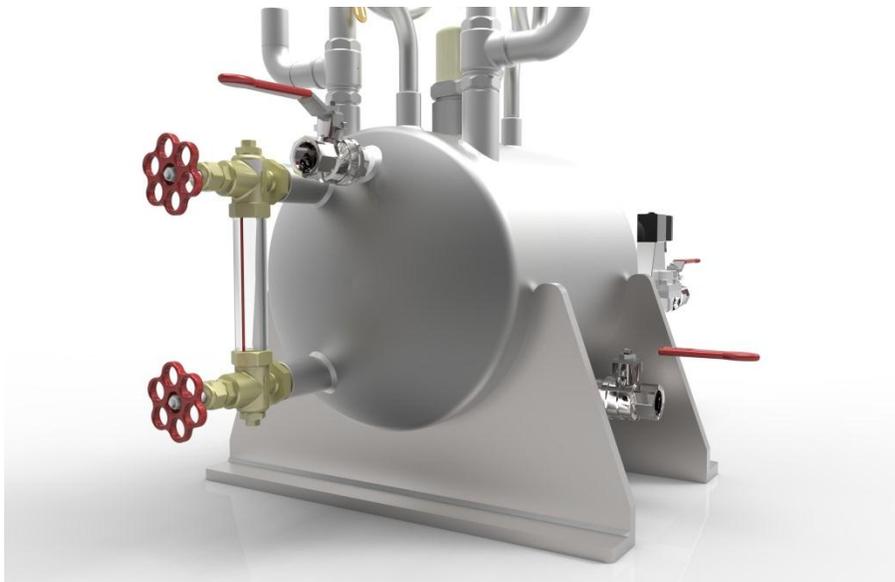
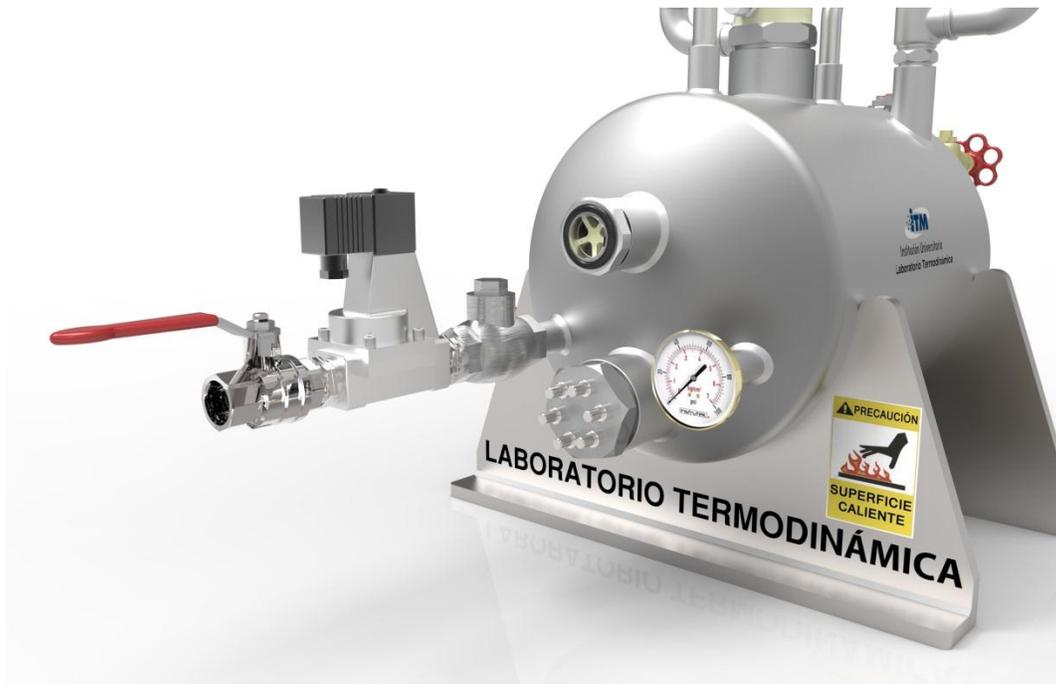
<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b> Cesar Augusto Calle Cardona Juan Esteban López López Carlos Mario Ruiz Betancur Aspirantes al Título Ingeniero Electromecánico		<b>SISTEMA DE PROYECCION</b> INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO Institución Universitaria	
		DISEÑADO POR: Carlos M Ruiz	OBSERVADO POR:
		MATERIAL: Inoxidable 304	CANT. Y MED.: 2
		FECHA: 30/04/2016	PROYECTO: CALDERA DIDACTICA



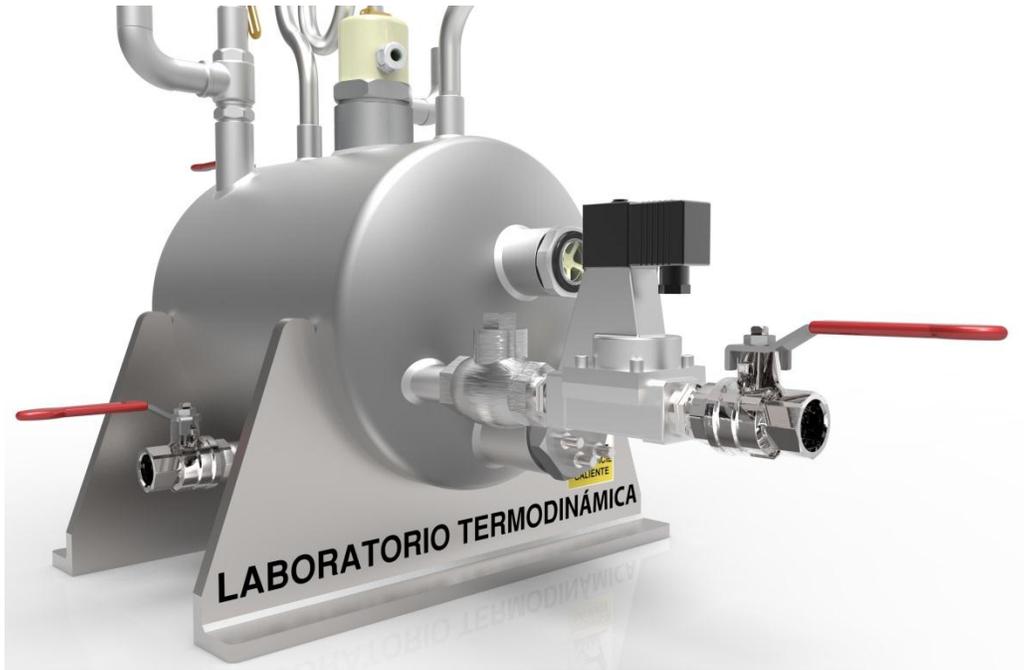




 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 13 APÉNDICE

---

### Apéndice A

#### Tabla 8. Cotización 01

A continuación, le relaciono precio de la resistencia:

- Resistencia tipo tubular para un diámetro de 3/8:
  - Longitud: 250mm
  - ○ Conexión: Tipo tapón de 1-1/2" NPT
  - ○ Potencia: 2,5kW @ 220V
  - ○ Geometría en U.

Valor: \$156.000 c/u + IVA (16%)

Tiempo de entrega: 3 días hábiles.

Forma de pago: Contado.

Esperando que esta información sea de su interés.

Cualquier inquietud con gusto le atenderé.

Cordialmente,



**IOMICROM**  
Ingeniería y operaciones

Robinson Ospina Martínez  
Gerente de Electrónica y Metrología  
PBX: (574) 322 33 01 ext. 110  
Celular: 312 791 38 17



Fuente: IOMICROM INGENIERIA Y OPERACIONES

 <b>Institución Universitaria</b>	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## Apéndice B

### Tabla 9. Cotización 02

 <b>CASAVAL SA</b> PIEZA CLAVE EN INSTALACIONES INDUSTRIALES NIT. 890106278-6	MEDELLÍN CARRERA 48A No. 61 SUR - 36	<b>Cotización N°: 2100148115</b>						
	SABANETA PBX: 4488822 FAX: 2889731 E-mail: ASESORINDUSTRIAL3MED@CASAVAL.NET			Página 1 de 1				
Fecha: 28.07.2015 Vigencia: 30.07.2015 Señores: GASEOSAS POSADA TOBON S A Cód.Cliente: 1000928 Atn.: Dirección: CL 52 47 42 ED COLTEJER	Solicitud de Oferta: CORREO Condición de Pago: Pago a 60 Días Termino de entrega: Nit: 8909039395 Teléfono: 5765100 Sitio de entrega: CL 52 47 42 ED COLTEJER							
En atención a su solicitud, con gusto enviamos la cotización correspondiente a los productos de su interés.								
ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	MARCA	U/M	CANT	VR. UNIT	VR. TOTAL	DÍAS DE ENTREGA APROX.
10	TS00001080	TUBERIA INOX. 304/304L SCH10 8" Espesor de pared 3.76 mm longitudud 5.80mts	-	UN	1	1.403.600	1.403.600	3
20	TS00001250	Segunda Opción TUBERIA INOX. 304/304L SCH40 8" Espesor de pared 5.18 mm longitudud 5.80mts	-	UN	1	3.155.200	3.155.200	3
30	VE00003005	VAL. BOLA INOX 1/2" ROSC. 316 800	SPIRAX SARCO	UN	1	150.000	150.000	3
40	CS00000100	CHEQUE SWING INOX. ROSCA 1/2" 316 200	MEWA	UN	1	41.000	41.000	3
50	MMA0520008	MAN 2" W 1005SH 100 INF 1/4"NPT XSF	ASHCROFT	UN	1	72.000	72.000	3
60	AU00009150	UNION INOX. 1/4" 316L # 150	-	UN	1	2.000	2.000	3
70	ATS0000328	TAPA INOX.SCH10 8" 304	-	UN	1	80.000	80.000	3
OBSERVACIONES:						<b>SUB TOTAL</b>	4.903.800	COP
OFERTA SUJETA A DISPONIBILIDAD DE INVENTARIO						<b>IVA 16</b>	784.608	COP
TIEMPO ENTREGA 3 DIAS						<b>FLETE</b>	0	COP
						<b>TOTAL</b>	5.688.408	COP
CORDIALMENTE:								
SUAZO FLOREZ JUAN CARLOS DIRECTOR COMERCIAL				CORREA NATALIA ASESOR COMERCIAL				

Fuente: Casaval S.A.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## Apéndice C

Tabla 10. Cotización 03

 NIT 900.228.307-0		  					
EMPRESA POSTOBON ATN ING. DIEGO GONZALEZ E-MAIL CIUDAD MEDELLIN TELEFONO		<b>COTIZACION</b>		<b>4461</b>			
		<b>FECHA:</b>		10-Sep-15			
ITEM	DESCRIPCION	MARCA	ENTREGA	CANTIDAD	VALOR UNIT	VALOR TOTAL	
1	Sifón diámetro 1/4" en acero inoxidable		1 DIA	1	\$ 22,500	\$ 22,500	
2	Válvula de seguridad para vapor referencia 19S cuerpo en bronce asientos y conexión a proceso en acero inoxidable diámetro 1/2" conexión roscada NPT set point 90PSI	APOLLO	INMEDIATA	1	\$ 905,000	\$ 905,000	
3	Union acero inoxidable roscada NPT de 1/2"		INMEDIATA	1	\$ 4,500	\$ 4,500	
SITIO DE ENTREGA				EN PLANTA		SUB TOTAL	\$ 932,000
DESCUENTO				Incluido		DCTO	0%
COTIZADO POR				Andrés Marín		SUB TOTAL	\$ 932,000
VALIDEZ DE LA OFERTA				15 días		IVA	\$ 149,120
FORMA DE PAGO				30 días		TOTAL	\$ 1,081,120
		DIRECCION: CALLE 32 F No. 65D-63 TELEFONO: (4) 444 9889 E-MAIL: <a href="mailto:ventasmedellin@tecnovalvulas.net">ventasmedellin@tecnovalvulas.net</a>		CIUDAD: MEDELLIN FAX: (4) 265 47 40 NIT: 900.228.307-0			

Fuente: TecnoValvulas

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## Apéndice D

**Tabla 11. Cotización 04**



**FERRETERIA DISTRIVALVULAS S.A.S.**  
**NIT 811.030.294-9**

<b>MES</b>	<b>DÍA</b>	<b>AÑO</b>	<b>COTIZACION</b>	<b>393</b>
SEPTIEMBRE	10	2,015		

SEÑORES.  
 POSTOBON PLANTA EN MEDELLIN  
 ATENCION ING DIEGO A GONZALEZ  
 DEPARTAMENTO DE COMPRAS

DESCRIPCION	MARCA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
NIVEL VISOR HOJO DE BUEY INOX 1" X 1500				
PSI A 270°c		1	86,000	
SIFON COLEMARRANO INOX 1/4" T 304		1	19,800	
VALV SEGURIDAD VAPOR INOX 1/2" X 90 PSI		1	540,000	
UNION INOX ROSCA LISA 1/2" X 150 LBS T 304		1	3,980	

PRECIOS UNITARIOS ANTES DE IVA  
 MCIA PARA ENTREGA 2 DIAS  
 HABILES  
 VALDES OFERTA 5 DIAS HABILES  
 ATTE CARLOS A CORREA G.  
 ASESOR.

CEL 313-767-71-00

PRECIOS UNITARIOS ANTES DE IVA



 **Carlos Correa**  
 Asesor Comercial  
 ventas3@distriavulvas.com  
 (574) 444 0202 - (574) 351 2116 - Ext:1402  
 Celular: 313 767 71 00  
 [www.distriavulvas.com](http://www.distriavulvas.com)  
 Cll 29D 55-60  
 Medellín - Colombia

Fuente: DistriValvulas S.A.S

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## Apéndice E

Tabla 12. Cotización 05



<b>Empresa:</b> POSTOBON S.A <b>Señor (a):</b> Ing Diego Gonzalez <b>Depto.:</b> Mantenimiento <b>Fax:</b> <b>Ciudad:</b> Medellin		<b>Fecha:</b> 27. oct 15  <b>Cotizacion N°</b> 101015			
Agradecemos su invitación a cotizar los siguientes equipos: <b>ASUNTO</b> Sensores					
Ítem	Descripción	Entrega en	Cant.	Valor Unitario	Valor Total
1	Presostato marca Honeywell de 10 - 150 PSI conexión 1/4 "	1-2 dias	1	380,000	380,000
2	Conjunto de electrodos para control de nivel con base tripolar	1-2 dias	1	380,000	380,000
3	Control de nivel marca TURCK referencia MS91-12-R / 220 V	Inmediata	1	995,000	995,000
4	Electrovalvula marca Danfoss referencia 032U1252 de 1/2 "	Inmediata	1	295,000	295,000
5	Controlador logico programable Siemens ref LOGO 230RC	Inmediata	1	420,000	420,000
6	Suiche muletilla de 2 posiciones referencia XB4BD21	Inmediata	1	38,500	38,500
7	Piloto de 22 mm color verde a 220 Vac	Inmediata	1	5,500	5,500
8	Amperimetro analogo de 0 - 40 Amp	Inmediata	1	70,000	70,000
9	Sirena a 220 Vac	Inmediata	1	70,000	70,000
10	Rele de estado solido monofasico 25 Amp	Inmediata	1	85,000	85,000
11	Breaker bipolar de 20 Amp montaje en riel	Inmediata	1	45,000	45,000
12	Breaker bipolar de 10 Amp montaje en riel	Inmediata	1	45,000	45,000
13	Breaker bipolar de 1 Amp montaje en riel	Inmediata	1	85,000	85,000
<b>FORMA DE PAGO :</b> 30 dias <b>I.V.A. (El vigente F.F.):</b> *16% <b>VALIDEZ OFERTA:</b> 20 Dias <b>GARANTIA EQUIPOS:</b> Coldecon S.A.S, da un año de garantía, contra defecto de fabricación o mala calidad de los componentes en condiciones normales				<b>SUBTOTAL</b> <b>I.V.A. (16%)</b>  <b>TOTAL</b>	<b>\$2,914,000</b> <b>\$466,240</b>  <b>\$3,380,240</b>
<b>CONDICIONES:</b> 1 Los precios de los productos no incluyen la instalación 2 Los tiempos de entrega inferiores a 3 días, están sujetos a previa venta 3 Ver catálogos adjuntos para mayores especificaciones técnicas			Atentamente,   <b>SANTIAGO VILLADA</b> Dpto. Ingeniería		
<b>DESCUENTOS:</b> <input type="checkbox"/> Por pago <input type="checkbox"/> Contado 30 días					

Fuente: Colombiana de Controles

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## Apéndice F

**Tabla 13. Cotización 06**

 DISTRIVALVULAS S.A.S. NIT. 811.030.294-9	<b>FERRETERIA DISTRIVALVULAS S.A.S.</b> <b>NIT 811.030.294-9</b>				
	<b>MES</b> OCTUBRE	<b>DIA</b> 9	<b>AÑO</b> 2,015	<b>COTIZACION</b>	<b>459</b>
SEÑORES. POSTOBON PLANTA EN MEDLLIN ATENCION ING DIEGO A GONZALEZ JEFE DE MANTENIMIENTO					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>MARCA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>	
TUBERIA INOX SCH 40 8" X 100 MM V X METR		1	0	0	
TAPON CAP INOX SCH 40 8"		2	114,980	229,960	
PLATINA INOX 1/4" X 150 X 300 MM		1	0	0	
NIPLE INOX SCH 40 1/2" X 5 CMS		2	3,300	6,600	
NIPLE TUERCA INOX 1/2" X 150 LBS T 304		3	2,980	8,940	
UNION INOX ROSCA LISA 1/4" X 150 LBS T 304		3	3,730	11,190	
UNION INOX ROSCA LISA 1/2" X 150 LBS T 304		2	3,700	7,400	
UNION INOX ROSCA LISA 1 1/2" X 150 LBS 304		2	14,465	28,930	
UNION INOX ROSCA LISA 1" X 150 LBS T 304		1	7,640	7,640	
TEE INOX ROSCA 1/2" X 150 LBS T 304		1	5,660	5,660	
TERMOMETRO DIAL 2" CONEX TR 1/4" A 200°C		1	25,520	25,520	
PRECIOS UNITARIOS ANTES DE IVA MCIA PARA ENTREGA 2 DIAS HABILES VALIDES OFERTA 5 DIAS HABILES ATTE CARLOS A CORREA G. ASESOR. CEL 313-767-71-00					
		<b>Carlos Correa</b> Asesor Comercial ventas3@distriervalvulas.com (574) 444 0702 - (574) 351 2116 - Ext:1402 Celular : 313 767 71 00 <a href="http://www.distriervalvulas.com">www.distriervalvulas.com</a> Cll 29D 55-60 Medellín - Colombia			

Fuente: DistriValvulas S.A.S

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Apéndice G**

**Tabla 14. Cotización 07**

						
Bello, CALLE 45 No. 47-10 Tel:452.01.92 TELE-FAX: 275.24.35 e-mail: <a href="mailto:actuval13@hotmail.com">actuval13@hotmail.com</a> <b>REGIMEN COMUN- RETENEDORES DE IMPUESTOS SOBRE LAS VENTAS</b> Nit: 98.495.028-6 <b>ASCO-BONNEY-CIFUNZA-CRANE-DANFOSS-GARLOCK-HELBERT-HELMANMANNESMAN</b> <b>MIPEL-NOVAHUT-PEGLERS-RED WHITE-SPIRAX SARCO-TECVAL-TUPY-VALVE TEK</b>						
Fecha:	OCTUBRE 26 DE 2015		Cotización N°	26102015		
Sr.(s):	JUAN ESTEBAN LOPEZ		Dirección :	CLLE 3A		
Atn:			Tel :	312.833.99.04		
Nit:			Fax:			
Asunto:	Cotizacion		e-mail			
<b>Item</b>	<b>Cant</b>	<b>Referencia</b>	<b>Características</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>	
1	1		MTS TUBO ACERO INOX DE 8" SCH 40 SIN COSTURA	\$ 780,000.00	\$ 780,000.00	
2	1		MTS PLATINA INOX DE 1/4X1.1/2"	\$ 26,500.00	\$ 26,500.00	
<b>Precios :</b>	<b>Precios netos mas iva</b>			<b>Validez : 8 Dias</b>		
<b>Entrega :</b>	<b>Inmediata</b>			<b>Subtotal</b>	<b>\$ 806,500.00</b>	
<b>Forma de Pago :</b>	<b>CONTADO</b>			<b>Flete</b>	<b>\$.00</b>	
				<b>Seguro</b>	<b>\$.00</b>	
				<b>IVA 16%</b>	<b>\$ 129,040.00</b>	
<b>Cordialmente,</b>				<b>Total</b>	<b>\$ 935,540.00</b>	
<b>Mauricio Tabares M</b> Gerente comercial Dpto. de Ventas.						

Fuente: Valvuniples

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Apéndice H**

**Tabla 15. Cotización 08**

## VALVULAS Y SERVICIOS

NIT: 70.040.841-3

Medellín, 16 febrero de 2016

Señores:  
**POSTOBON S.A.**  
**PLANTA GUAYABAL**  
**ATENCION:DIEGO GONZALEZ**  
**DPTO: MANTENIMIENTO**  
**Ciudad**

En la fecha le estoy cotizando:

- 1 válvula de seguridad de 1/2 X 1/2 setiada 30PSI  
\$170.000
- 1 juego de vidrio nivel para MAC DONALL de caldera  
\$ 70.000

**TOTAL COTIZACION \$250.000 mas IVA**

**NOTA: disponibilidad entrega inmediata**

Atentamente;



LUIS CARLOS ZAPATA  
GERENTE

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES Cesar Augusto Calle P.



Cesar A. Calle P.



FIRMA ASESOR \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: 10/03/2016

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO\_\_\_      ACEPTADO\_\_\_      ACEPTADO CON MODIFICACIONES\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_