

DISEÑO Y MODELADO DE UN QUEMADOR HIBRIDO DE COMBUSTIBLE GASEOSO  
Y SOLIDO

JULIAN STIVEN RIACHEZ AVILA  
DANNY ALBERTO GOMEZ TARAZONA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
PROGRAMA ACADÉMICO  
BUCARAMANGA  
2023

DISEÑO Y MODELADO DE UN QUEMADOR HIBRIDO DE COMBUSTIBLE GASEOSO  
Y SOLIDO

JULIAN STIVEN RIACHEZ AVILA  
DANNY ALBERTO GOMEZ TARAZONA

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero mecánico

Director

YESID JAVIER RUEDA ORDOÑEZ  
Doctor en Ingeniería Química

Codirector

DIEGO LUIS FRANCO JÁCOME  
Doctor en ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
BUCARAMANGA

2023

## DEDICATORIA

*A Dios y a mis padres Oscar y Martha por su apoyo incondicional, comprensión, cariño y guía en cada paso de mi vida. Por sus grandes esfuerzos para hacer posible esta meta.*

*A mi tío Segundo por ser instrumento de bendición en momentos difíciles.*

*A Lina Vanessa por su ayuda en esta etapa final de mi carrera.*

***Julian Stiven Riachez Avila***

## DEDICATORIA

*Mi dedicatoria es para mi madre Claudia Tarazona, la persona que siempre me acompaño en toda mi carrera, que nunca se rindió conmigo y me inspiro a seguir adelante, me enseñó a ser fuerte y a no darme por vencido, le agradezco mucho por todo el apoyo que me brindo.*

**Danny Alberto Gomez Tarazona**

## **AGRADECIMIENTOS**

Por su colaboración y apoyo a nuestro director de proyecto Yesid Javier Rueda Ordoñez y codirector Diego Luis Franco Jácome, que nos dedicaron tiempo y compartieron conocimientos valiosos para poder culminar este proyecto.

Al personal de planta física a Hendry y Fredy por su ayuda y paciencia en la adecuación del banco de pruebas y al personal administrativo de la escuela de ingeniería mecánica por el préstamo de espacios y oportuna gestión.

A nuestros amigos y compañeros de la universidad que nos aportaron conocimientos de gran ayuda.

## CONTENIDO

|   | pág. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN .....  | 20   |
| 2 OBJETIVOS .....   | 21   |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL.....                                     | 21   |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                               | 21   |
| 3 BIOMASA COMO ALTERNATIVA .....                              | 22   |
| 3.1 TIPOS DE BIOMASA .....                                    | 22   |
| 3.1.1 Biomasa residual.....                                   | 22   |
| 3.1.1.1 Biomasa residual del sector agrícola.....             | 22   |
| 3.1.1.2 Biomasa residual del sector pecuario.....             | 23   |
| 3.1.1.3Biomasa residual del sector residuos urbanos .....     | 23   |
| 3.2 USO DE BIOMASA .....                                      | 23   |
| 4 QUEMADOR A GAS .....  | 24   |
| 4.1 CLASIFICACIÓN DE QUEMADORES A GAS .....                   | 24   |
| 4.1.1Tipos de quemadores.....                                 | 24   |
| 4.1.2 Quemadores de alimentación separada de aire y gas ..... | 24   |
| 4.1.2.1 Quemadores de llama blanca.....                       | 24   |
| 4.1.2.2 Quemadores de difusión en régimen turbulento.....     | 25   |
| 4.1.3 Quemadores especiales.....                              | 26   |
| 4.1.4 Quemadores intensivos.....                              | 27   |
| 4.1.4.1 Quemadores radiantes .....                            | 27   |
| 4.1.4.2 Quemadores radiantes porosos .....                    | 29   |
| 4.1.5 Quemadores de túnel.....                                | 29   |
| 5 COMPONENTES DE UN QUEMADOR A GAS .....                      | 31   |
| 5.1 SISTEMA DE ENCENDIDO.....                                 | 31   |
| 5.2 PLACA DEL QUEMADOR.....                                   | 31   |
| 5.3 SISTEMA DE CONTROL .....                                  | 32   |

|  |    |
|--|----|
| 5.4 SISTEMA DE SEGURIDAD DE LLAMA.....                       | 32 |
| 5.5 SUMINISTRO DE AIRE.....                                  | 33 |
| 5.6 PRINCIPALES USOS SEGÚN TIPO DE QUEMADOR .....            | 33 |
| 6 COMPORTAMIENTO DE LLAMA .....                              | 34 |
| 6.1 ARRASTRE DE CHORRO LIBRE.....                            | 34 |
| 7 QUEMADOR CICLONICO DE COMBUSTIBLE SOLIDO .....             | 35 |
| 7.1 VARIABLES PARA CONTROLAR EL PROCESO DE COMBUSTION .....  | 36 |
| 7.2 USO DE MADERA COMO COMBUSTIBLE EN HORNOS CICLONICOS..... | 38 |
| 7.3 COMPONENTES DE UN QUEMADOR CICLONICO .....               | 39 |
| 7.3.1 Cámara de combustión .....                             | 40 |
| 7.3.2 Sistema dosificador .....                              | 41 |
| 7.3.3 Chimenea .....   | 41 |
| 8 ANALISIS TERMICO.....                                      | 42 |
| 8.1 DATOS RECOPIADOS PARA LOS COMBUSTIBLES A USAR .....      | 42 |
| 8.1.1 Gas natural.....                                       | 42 |
| 8.1.2 Biomasa .....  | 42 |
| 8.2 PARAMETROS DE COMBUSTION .....                           | 43 |
| 8.3 BALANCE ESTEQUIMETRICO DE LOS COMBUSTIBLES .....         | 45 |
| 8.4 RELACION AIRE-COMBUSTIBLE Y FACTOR DE EQUIVALENCIA ..... | 46 |
| 8.6 VARIABLES DE COMBUSTIBLE.....                            | 46 |
| 8.6.1. PODER CALORIFICO.....                                 | 46 |
| 8.7 TEMPERATURA DE COMBUSTION .....                          | 48 |
| 8.7.1 Entalpia de los productos. ....                        | 49 |
| 8.7.2 Entalpia de los reactivos.....                         | 49 |
| 8.7.3. Entalpia Del Combustible. ....                        | 49 |
| 8.7.4. Exceso de aire.....                                   | 50 |
| 8.8 BALANCE DE ENERGIA EN LA CAMARA DE COMBUSTION.....       | 50 |
| 9 PROCESO DE DISEÑO DEL QUEMADOR HIBRIDO .....               | 52 |
| 9.1 ALTERNATIVA 1 .....                                      | 52 |
| 9.2 ALTERNATIVA 2.....                                       | 52 |

|  |    |
|--|----|
| 9.3 SELECCION DE ALTERNATIVAS.....                               | 53 |
| 9.4 SISTEMA DE SUMINISTRO DE GAS Y AIRE .....                    | 53 |
| 9.4.1Diseño del inyector de gas .....                            | 55 |
| 9.4.2Determinación del tipo de flujo .....                       | 56 |
| 9.4.2.1Flujo subsónico .....                                     | 56 |
| 9.4.3Diseño del inyector de aire .....                           | 58 |
| 9.4.4Diseño del mezclador.....                                   | 59 |
| 9.5 SISTEMA DE SUMINISTRO DE BIOMASA.....                        | 63 |
| 9.5.1 Dimensiones de la cámara de combustión.....                | 63 |
| 9.5.2 Velocidad del flujo de aire y combustible.....             | 63 |
| 9.5.3 Suministro de aire .....                                   | 64 |
| 9.5.4 Sistema de suministro de biomasa.....                      | 64 |
| 9.5.4.1 Tolva.....   | 64 |
| 9.5.4.2 Tornillo sin fin .....                                   | 64 |
| 9.5.4.3 Motor reductor .....                                     | 66 |
| 9.6 EQUIPOS AUXILIARES .....                                     | 67 |
| 9.6.1 sistema de encendido por electrodo.....                    | 67 |
| 9.6.2 detector de llama .....                                    | 68 |
| 9.6.3 válvula de cierre rápido .....                             | 68 |
| 9.6.4 sistema de control .....                                   | 68 |
| 9.6.5 Esquema de control .....                                   | 69 |
| 10 ANALISIS DE CALDERA CERO DIMENSIONAL .....                    | 70 |
| 10.1 PROPIEDASES DE LOS GASES DEL COMBUSTIBLE.....               | 70 |
| 10.2 PARAMETROS DE CALDERA .....                                 | 71 |
| 10.3TRANFERENCIA DE CALOR .....                                  | 71 |
| 10.3.1Sistema de calor de los tubos de caldera.....              | 71 |
| 10.3.1.1Calor por radiación .....                                | 72 |
| 10.3.1.2Proceso de emisividad y absortividad en la caldera ..... | 73 |
| 10.3.1.3 Emisividad de la mezcla de gases de combustión .....    | 74 |
| 10.3.1.4 Factor de corrección de la emisividad .....             | 74 |

|  |    |
|--|----|
| 10.3.1.5 Emisividad para h <sub>2</sub> o y co <sub>2</sub> .....            | 75 |
| 10.3.1.6 Absortividad de la mezcla de gases de combustión .....              | 75 |
| 10.3.2 Cálculo de convección.....  | 76 |
| 10.3.3 Calor de ebullición nucleada .....                                    | 77 |
| 11 DISEÑO DE CALDERA.....  | 80 |
| 11.1 CALCULO DE ESPESOR DEL CASCO DE LA CALDERA .....                        | 82 |
| 11.2 CALCULO DEL ESPESOR DE LOS TUBOS DE LA CALDERA.....                     | 84 |
| 11.2.1 Espesor de los tubos secundarios.....                                 | 84 |
| 11.2.2 Espesor del tubo principal .....                                      | 86 |
| 11.3 CALCULO DEL ESPESOR DE LA PLACA PORTATUBOS.....                         | 87 |
| 11.3.1 Área de los tubos secundarios .....                                   | 87 |
| 11.3.2 Área del tubo principal.....  | 88 |
| 11.3.3 Área transversal interno del casco .....                              | 88 |
| 11.3.4 Área transversal de los agujeros en la placa porta tubos .....        | 88 |
| 11.3.5 Área transversal del casco .....                                      | 88 |
| 11.3.6 Deflexión o eficiencia de ligamento .....                             | 88 |
| 11.3.7 Presión diferencial .....   | 89 |
| 11.3.8 Expansión diferencial .....   | 89 |
| 11.3.9 Presión diferencial efectiva.....                                     | 89 |
| 11.3.10 Determinación del factor.....  | 90 |
| 11.3.11 Máximo esfuerzo radial en la placa porta tubos .....                 | 90 |
| 11.3.12 Máximo esfuerzo longitudinal por los tubos.....                      | 90 |
| 11.4 CALCULO DE LOS STAYBOLTS .....  | 91 |
| 11.1.4 Cálculo del paso entre staybolts.....                                 | 91 |
| 11.5 CALCULO DEL ESPESOR MINIMO DE LA BOQUILLA DE ALIMENTACION DE AGUA ..... | 93 |
| 11.5.1 Área de refuerzo requerida.....                                       | 94 |
| 11.5.2 Área de refuerzo disponible.....                                      | 94 |
| 11.5.2.1 A1 Exceso en el casco .....   | 94 |
| 11.5.2.2 A2 Exceso en el cuello de la boquilla .....                         | 94 |

|  |     |
|--|-----|
| 11.5.2.3 A3 Extensión de la boquilla hacia el interior .....   | 95  |
| 11.5.2.4 A4 área de soldadura de filete.....   | 95  |
| 11.6 CALCULO DEL ESPESOR MINIMO DE LAS BOQUILLAS DE VAPOR Y DE<br>CONEXIÓN AL CONTROL DE NIVEL ..... | 96  |
| 11.6.1 Área de refuerzo requerida.....   | 96  |
| 11.6.2 Área de refuerzo disponible.....  | 96  |
| 11.6.2.1 A1 Exceso en el casco .....   | 96  |
| 11.6.2.2 A2 Exceso en el cuello de la boquilla .....   | 97  |
| 11.6.2.3 A3 Exceso en extensión hacia el interior.....   | 97  |
| 11.6.2.4 A4 Área de soldadura de filete .....  | 97  |
| 11.7 DISTANCIA ENTRE ABERTURAS .....   | 98  |
| 11.7.1 Cálculo de la distancia mínima.....   | 99  |
| 11.8 CHIMENEA .....  | 99  |
| 11.9 CALCULO DE LOS SOPORTE DEL EQUIPO .....   | 101 |
| 11.9.1 Esfuerzo flexionante longitudinal.....  | 102 |
| 11.9.1.1 Esfuerzo en las silletas.....   | 102 |
| 11.9.1.2 Esfuerzo a la mitad del claro .....   | 103 |
| 11.9.2 Esfuerzo cortante tangencial.....   | 103 |
| 11.9.3 esfuerzo circunferencial.....   | 104 |
| 11.9.3.1 Esfuerzo en el cuerno de la silueta.....  | 104 |
| 11.9.3.2 Esfuerzo en la parte inferior del soporte.....  | 104 |
| 11.1 DISEÑO DE LOS SOPORTES.....   | 105 |
| 11.10.1 Area efectiva .....  | 106 |
| 11.10.2 Esfuerzo soportado .....   | 106 |
| 11.10.3 Esfuerzo permitido.....  | 106 |
| 11.11 ACCESORIOS PARA IZAJE .....  | 106 |
| 11.12 SOLDADURA .....  | 107 |
| 11.13 ESPACIAMIENTO ENTRE TRONILLOS.....   | 108 |
| 11.13.1 Altura máxima de la rosca .....  | 109 |
| 11.13.2 Rigidez del perno .....  | 109 |

|  |     |
|--|-----|
| 11.13.3 Método de Wileman para rigidez de la junta por método de elemento finito ... | 109 |
| 11.13.4 Carga a soportar .....   | 109 |
| 11.13.5 Cálculo de la carga máxima a soportar .....                                  | 110 |
| 11.13.6 Cantidad de pernos necesarios .....  | 110 |
| 11.13.7 Esfuerzo de apriete en los tornillos .....                                   | 110 |
| 12 ADECUACION DEL BANCO DE PRUEBAS.....  | 111 |
| 11.1 ELEMENTOS PARA ADQUISICION DE DATOS.....  | 113 |
| 11.1.1 Controlador.....  | 113 |
| 11.1.2 Termocupla .....  | 113 |
| 13 RESULTADOS .....  | 115 |
| 13.1 ESTANDARIZACIÓN DE FLUJOS VOLUMÉTRICOS DE AIRE .....                            | 115 |
| 13.2 ESTANDARIZACIÓN DE FLUJOS VOLUMÉTRICOS DE COMBUSTIBLE.....                      | 116 |
| 13.3 PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL QUEMADOR .....                                       | 116 |
| 13.3.1 Resultados prueba 1 .....   | 117 |
| 13.3.2 Resultados prueba 2 .....   | 118 |
| 13.4 RESULTADOS MODELO CERO-DIMENSIONAL .....  | 119 |
| 13.4.1 Resultados prueba 1 .....   | 119 |
| 13.4.2 Resultados prueba 2 .....   | 122 |
| 14. CONCLUSIONES.....  | 125 |
| 15. RECOMENDACIONES .....  | 126 |
| BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.....  | 127 |

## LISTA DE CUADROS

|   | pág. |
|---|------|
| Cuadro 1. Emisiones de NOx y CO entre distintos tipos de quemadores. ....   | 39   |
| Cuadro 2. Gas Natural. ....   | 44   |
| Cuadro 3. Aserrín. ....   | 44   |
| Cuadro 4. PCI del gas natural. ....   | 47   |
| Cuadro 5. Selección de alternativas. ....   | 53   |
| Cuadro 6. Presiones de operación permisibles en Colombia. ....  | 54   |
| Cuadro 7. Propiedades del gas natural. ....   | 54   |
| Cuadro 8. Características de los materiales. ....   | 65   |
| Cuadro 9. Parámetros de diseño y operación. ....  | 71   |
| Cuadro 10. Selección de espesor de tubo secundario de acuerdo con el código ASME.<br>.....  | 85   |
| Cuadro 11. Selección de espesor de tubo primario de acuerdo con el código ASME. ....  | 87   |
| Cuadro 12. Selección de espesor de la placa porta tubos de acuerdo con el código ASME.<br>.....                                       | 90   |
| Cuadro 13. Clasificación de las termocuplas. ....   | 114  |
| Cuadro 14. a) Datos del flujo de aire tangencial, b) Datos del flujo de biomasa, c) Flujo<br>máximo de aire axial y gas natural. .... | 116  |

## LISTA DE FIGURAS

|  | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Esquema quemador de alimentación separada de aire y gas.....   | 24   |
| Figura 2. Quemador de difusión con chorro de gas central y salidas de aire en chorros concéntricos. ....   | 25   |
| Figura 3. Quemador de difusión con chorro central de gas y salida de aire en coronas sucesivas.....  | 26   |
| Figura 4. Distribución de gas y aire en un quemador de tipo monobloc. ....   | 27   |
| Figura 5. Quemador radiante de llama de difusión (mezcla en la boca de salida). ....   | 27   |
| Figura 6. Quemador túnel de alta velocidad, alimentado con gas y aire a presión, mezclados en la boca.....   | 28   |
| Figura 7. Quemadores radiantes, alimentados en premezcla, formados por piezas refractarias con múltiples canales. ....   | 28   |
| Figura 8. Quemador de túnel con premezcla. ....  | 30   |
| Figura 9. Corona estabilizadora. ....  | 30   |
| Figura 10. Piloto de encendido.....  | 31   |
| Figura 11. Placa de un quemador a gas. ....  | 32   |
| Figura 12. Sensor de llama. ....   | 32   |
| Figura 13. Ventilador centrifugo. ....   | 33   |
| Figura 14. Mezcla del chorro libre con el fluido circundante.....  | 34   |
| Figura 15. Chorro libre turbulento.....  | 34   |
| Figura 16. Quemador ciclónico.....   | 35   |
| Figura 17. Partes de horno ciclónico para secamiento de cereales. ....   | 36   |
| Figura 18. Imagen a) y plano medio b) de la cámara de combustión ciclónica. ....   | 37   |
| Figura 19. Efectos de la variación de $\varphi$ , donde la Concentración de CO es representada por rectángulos y NOx es representada por triángulos. ....            | 38   |
| Figura 20. Esquema de quemador ciclónico. 1: alimentación; 2: suministro de aire primario; 3: quemador de aceite; 4: suministro secundario de aire; 5: ventilador de |      |

|  |    |
|--|----|
| recirculación de gases; 6: ducto de recirculación de gas; 7: cámara de combustión ciclónica; 8: separador ciclónico de cenizas; 9: removedor de cenizas; 10: exosto; 11: medidor de emisiones; 12: enfriador de gases; 13: exosto; 14: chimenea; 1 <sup>a</sup> ,1b,1c: medidores de temperatura. .... | 39 |
| Figura 21. Estructura de un ciclón.....  | 41 |
| Figura 22. Esquema de la mezcla entre el Gas Natural y Aserrín.....  | 45 |
| Figura 23. Flujo másico de entradas y salidas. ....  | 51 |
| Figura 24. Suministro independiente de aire. ....  | 52 |
| Figura 25. Suministro único de aire.....   | 52 |
| Figura 26. Quemador de gas tipo jet. ....  | 54 |
| Figura 27. Curva de capacidad del combustible en su flujo. ....  | 55 |
| Figura 28. Relaciones recomendadas para inyectores. ....   | 58 |
| Figura 29. Partes del mezclador.....   | 60 |
| Figura 30. Descarga de chorro libre de premezcla aire/gas. ....  | 60 |
| Figura 31. Dimensiones recomendadas para mezcladores. ....   | 61 |
| Figura 32. Estabilizador de llama con agujeros en forma hexagonal. ....  | 62 |
| Figura 33. Diseño final de quemador a gas.....   | 62 |
| Figura 34. Tornillo sin fin. ....  | 65 |
| Figura 35. Motor reductor. ....  | 67 |
| Figura 36. Electro de encendido.....   | 67 |
| Figura 37. Detector de llama. ....   | 68 |
| Figura 38. Válvula solenoide de ½ pulgada.....   | 68 |
| Figura 39. Sistema de control.....   | 69 |
| Figura 40. Esquema del sistema de control. ....  | 69 |
| Figura 41. Ebullición.....   | 78 |
| Figura 42. Diagrama de flujo del modelo cero dimensional.....  | 79 |
| Figura 43. Caldera piro tubular dos etapas ....  | 81 |
| Figura 44. Espesor de la coraza.....   | 82 |
| Figura 45. Parametro de diseño de tubos primario y secundario de la caldera. ....  | 84 |
| Figura 46. Distancia de paso máximo medido entre líneas (PFT-25).....  | 92 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 47. Distanciamiento verificado desde el diseño de caldera.....                       | 92  |
| Figura 48. Refuerzo de aberturas.....   | 93  |
| Figura 49. Distancia entre aberturas. ....  | 98  |
| Figura 50. Chimenea ACR. ....   | 100 |
| Figura 51. Soportes para el casco.....  | 101 |
| Figura 52. Diseño de silletas. ....   | 105 |
| Figura 53. Accesorio para izaje.....  | 107 |
| Figura 54. Espesor de la soldadura en la placa. ....  | 108 |
| Figura 55. Estructura del quemador ciclónico. ....  | 111 |
| Figura 56. Instalación de base para reclinar la cámara y guía del tornillo. ....            | 111 |
| Figura 57. Instalación del soporte para el quemador a gas.....                              | 112 |
| Figura 58. Quemador hibrido adaptado.....   | 112 |
| Figura 59. Modulo MAX 31855.....  | 113 |
| Figura 60. Conexión del equipo para toma de datos.....                                      | 114 |
| Figura 61. Montaje del equipo de pruebas. ....  | 115 |
| Figura 62. Resultados de prueba 1. ....   | 117 |
| Figura 63. Resultados de prueba 2. ....   | 118 |
| Figura 64. Interfaz del modelo cero-dimensional.....  | 120 |
| Figura 65. Cambio de temperatura con uso de solo gas natural. ....                          | 121 |
| Figura 66. Cambio de temperatura con uso de gas natural-biomasa.....                        | 121 |
| Figura 67. Cambio de temperatura con uso de solo biomasa. ....                              | 122 |
| Figura 68. Cambio de temperatura con uso de gas natural y exceso aire del 35%.....          | 122 |
| Figura 69. Cambio de temperatura con uso de gas natural-biomasa y exceso aire del 35%. .... | 123 |
| Figura 70. Cambio de temperatura con uso de biomasa y exceso aire del 35%.....              | 123 |
| Figura 71. Modelo de caldera y quemador hibrido. ....                                       | 124 |

## LISTA DE TABLAS

|  | pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Composición del gas natural de la empresa VANTI. .... | 42   |
| Tabla 2. Composición del combustible sólido.....               | 43   |
| Tabla 3. Dimensiones de la chimenea. ....                      | 100  |

## LISTA DE ANEXOS

|   | pág. |
|---|------|
| ANEXO A. Clasificación de quemadores a gas.....   | 132  |
| ANEXO B. Usos recomendados según modelo de quemador. ....   | 133  |
| ANEXO C. Balance estequiométrico de los combustibles teórico y real. ....                               | 134  |
| ANEXO D. Cambios de temperatura en (°Celsius) con respecto al exceso de aire (% de exceso de aire)..... | 140  |
| ANEXO E. Interfaz de cálculo para el quemador de gas.....   | 141  |
| ANEXO F. Clasificación del material. ....   | 141  |
| ANEXO G. Características de los materiales. ....  | 142  |
| ANEXO H. Factor del diámetro del transportador. ....  | 142  |
| ANEXO I. Factor del buje para colgante. ....  | 143  |
| ANEXO J. Factor por porcentaje de carga de transportador.....   | 143  |
| ANEXO K. Constante del dióxido de carbono y vapor de agua.....  | 144  |
| ANEXO L. Valores de constantes experimentales para varias combinaciones fluido-superficie.....          | 144  |
| ANEXO M. Diseño de soportes para recipiente cilíndricos horizontales. ....                              | 145  |
| ANEXO N. Geometría del accesorio de izaje. ....   | 146  |
| ANEXO O. Espesor de soldadura recomendado. ....   | 147  |
| ANEXO P. Constantes para método de Wileman. ....  | 148  |
| ANEXO Q. Dimensiones y áreas de esfuerzo para roscas. ....  | 148  |
| ANEXO R. Código de librería usado en EES (Engineering Ecuation Solver).....                             | 149  |
| ANEXO S. Código de interfaz en EES (Engineering Ecuation Solver).....                                   | 165  |
| ANEXO T. Planos del diseño de caldera y quemador híbrido .....  | 178  |

## RESUMEN

**TÍTULO:** DISEÑO Y MODELADO DE UN QUEMADOR HIBRIDO DE COMBUSTIBLE GASEOSO Y SOLIDO\*.

**AUTOR:** Riachez Avila, Julian Stiven; Gomez Tarazona, Danny Alberto \*\*

**PALABRAS CLAVE:** Quemador hibrido, quema de tipo ciclónica, caldera pirotubular.

**DESCRIPCIÓN:** Como esfuerzo de mitigar el impacto ambiental de los procesos industriales y de encontrar nuevas fuentes de energía nace la necesidad de buscar otro tipo de combustibles diferentes a los de tipo fósil no renovables.

Este proyecto tiene como finalidad presentar un diseño de quemador hibrido de combustible sólido y gas para implementar en una caldera pirotubular. A partir del uso de un combustible sólido tipo biomasa se busca reducir el uso de combustibles no renovables que cada día resultan más costosos de emplear en procesos industriales, como combustible gaseoso se usó gas natural.

Se presenta un diseño en detalle de una caldera pirotubular para implementar el quemador hibrido, esta caldera consta de 48 tubos, cámara de combustión con entrada axial y tangencial de combustible y es de 4 Bhp. El diseño de la caldera está basado en las normas ASME.

Para simular el comportamiento de la operación del quemador hibrido se desarrolló un modelo cero dimensional en EES (Engineering Equation Solver), que muestra cómo cambian las temperaturas de operación en la caldera dependiendo del uso de los combustibles. Para verificar la operación en un proceso experimental se adecuo un banco de laboratorio y se hicieron pruebas de estabilidad con cada combustible de manera individual y en funcionamiento simultaneo.

---

\*Trabajo de grado

\*\*Facultad de ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Yesid Javier Rueda Ordoñez, Doctor en Ingeniería Química. Codirector: Diego Luis Franco Jácome, Doctor en Ingeniería Mecánica.

## ABSTRACT

**TITLE:** DESIGN AND MODELING OF A HYBRID GASEOUS AND SOLID FUEL BURNER\*.

**AUTHOR:** Riachez Avila, Julian Stiven; Gomez Tarazona, Danny Alberto \*\*

**KEY WORDS:** Hybrid burner, cyclonic burner, pyrotubular boiler.

**DESCRIPTION:** As an effort to mitigate the environmental impact of industrial processes and to find new sources of energy, the need to look for other types of fuels other than non-renewable fossil fuels is born.

This project aims to present a hybrid solid fuel and gas burner design to be implemented in a pyrotubular boiler. From the use of a solid biomass-type fuel, the aim is to reduce the use of non-renewable fuels that are increasingly expensive to use in industrial processes, such as gaseous fuel, natural gas was used.

A detailed design of a pyrotubular boiler is presented to implement the hybrid burner, this boiler consists of 48 tubes, combustion chamber with axial and tangential fuel input and it is 4 Bhp. The boiler design is based on ASME standards.

To simulate the behavior of the operation of the hybrid burner, a zero-dimensional model was developed in EES (Engineering Equation Solver), which shows how the operating temperatures in the boiler change depending on the use of the fuels. To verify the operation in an experimental process, a laboratory bench was adapted and stability tests were carried out with each fuel individually and in simultaneous operation.

---

\*Degree work

\*\*Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Yesid Javier Rueda Ordoñez, Doctor of Chemical Engineering. Co-director: Diego Luis Franco Jácome, Doctor of Mechanical Engineering

## INTRODUCCIÓN

La importancia de reducir el consumo de recursos no renovables como combustibles ha permitido que se desarrollen nuevas tecnologías para el aprovechamiento de desechos conocidos como biomasa por su capacidad energética.

En la mayoría de los procesos industriales se ha optado por usar combustibles de recursos no renovables. Esto a lo largo del tiempo ha implicado problemas ambientales de gran magnitud, que han llevado a que los entes políticos y económicos lleven a cabo la firma de tratados internacionales como compromiso de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. En Colombia según un artículo de CENES<sup>1</sup>, muestra como en el valle del cauca el sector industrial ha optado por hacer una transición de los combustibles pesados a gas natural y ello presenta un aumento en su capacidad productiva y reducción de emisiones altamente contaminantes de CO<sub>2</sub>. Según informe de Promigas 2021<sup>2</sup> aunque en el año 2020 el consumo de gas natural disminuyó, debido a los efectos de la pandemia COVID 19, el gas natural se visualiza como el respaldo a la confiabilidad de la energía eléctrica. Colombia cuenta con una gran cantidad de yacimientos y otros más que están en proceso de concesión ambiental.

El diseño de un quemador híbrido tiene como fin presentar una alternativa más económica y menos contaminante al sector industrial. En este trabajo se presentan distintos tipos de quemadores y su uso según la necesidad. Para el análisis termodinámico se desarrolla un modelo cero dimensional.

La biomasa usada como combustible para el caso a desarrollar es de tipo aserrín y la validez de las hipótesis del funcionamiento del quemador son evaluadas en un modelo experimental.

---

<sup>1</sup> CENES. El proceso de sustitución de combustibles pesados por gas natural en el sector industrial del valle del cauca – Colombia 2004-2012. Colombia. 2016. Vol. 35, No. 61. p. 237-266.

<sup>2</sup> PROMIGAS. Informe del sector gas natural. Colombia. 2021. p. 96.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un quemador híbrido que permita usar eficientemente la quema simultánea de combustible gaseoso y sólido con el fin de reducir costos energéticos en la operación.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un quemador híbrido para quemar mezclas de combustibles gaseoso y sólido que cumplan con las siguientes especificaciones:
  - Demanda energética de 100 kW
  - Hasta 50 % de mezcla con combustible sólido
- Diseñar una caldera para implementar el quemador propuesto, que cumpla con las siguientes especificaciones:
  - Potencia de vapor de 4,38 BHP
  - Presión de trabajo de 620,5 kPa (90 psi) y temperatura de 400 °C (750 °F)
- Proponer un análisis matemático para describir el comportamiento del quemador a través de un modelo termodinámico cero – dimensional.

### **3 BIOMASA COMO ALTERNATIVA**

Este tipo de energía ofrece diversas ventajas, el residuo se aprovecha como fuente de calor o electricidad y ello resulta representando ahorro de costos en el consumo de energía. El efecto ambiental del uso de la biomasa reduce los gases de efecto invernadero. Una gran parte de la población rural en los países en vía de desarrollo, que representa el 50 por ciento de la población mundial, aun dependen de la biomasa tradicional, principalmente de leña como fuente de energía. La biomasa equivale el 35 por ciento del consumo de energía primaria en países subdesarrollados y alcanza un 14 por ciento de la energía consumida en el mundo.<sup>3</sup>

Colombia por su posición geográfica y variedad de climas, presenta condiciones muy favorables para el desarrollo de actividades agropecuarias, la cual es una fuente importante de biomasa. La producción de algas en Colombia es muy favorable, debido a que no presenta cambios estacionales que requieren gasto de energía extra de energía para poder mantener la producción estable sostenida en el año.<sup>4</sup> Este tipo de energía ofrece diversas ventajas, el residuo se aprovecha como fuente de calor o electricidad.

#### **3.1 TIPOS DE BIOMASA**

##### **3.1.1 Biomasa residual.**

Para la producción de bienes y servicios para la sociedad se requiere de la transformación química y física de la materia. Para la obtención de esta biomasa residual existen:

##### **3.1.1.1 Biomasa residual del sector agrícola**

En Colombia el 75 por ciento de la biomasa total producida corresponde a RAC y el restante a RAI. Un porcentaje de los RAC debe ser dejado para cuidado de la tierra y

---

<sup>3</sup> Redacción Twenergy. La biomasa en Colombia: el gran reto para generar energía sustentable. En: Twenergy. Colombia. 2019.

<sup>4</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. DECRETO NUMERO 1431 DE 2006. Bogotá D.C.

mantener un equilibrio en los nutrientes orgánicos necesarios. El excedente de estos residuos se aprovecha en distintos sectores como en el caso de la caña de azúcar, el cual se usa para la generación de vapor.

- Residuos forestales
- Cultivos energéticos

### **3.1.1.2 Biomasa residual del sector pecuario**

Los desechos animales como el estiércol constituyen una fuente importante de biomasa, se constituye principalmente de altos niveles de concentración de nutrientes como el nitrógeno y fósforo. Al ser disuelta en agua este tipo de biomasa disminuye la cantidad de oxígeno disuelto y se incrementa el crecimiento de algas y de macrofitas acuáticas.

### **3.1.1.3 Biomasa residual del sector residuos urbanos**

Su origen es muy diverso con respecto a las actividades de las cuales resultan y se componen principalmente de papel, madera, carbón vegetal, alimentos, aguas negras y residuos vegetales. Debido a su composición fisicoquímica estos residuos se consideran de alto valor energético.

## **3.2 USO DE BIOMASA**

En Colombia en el sector ladrillero en Bogotá<sup>5</sup>, la biomasa de residuos madereros sustituyó un 20 por ciento del combustible usado en los hornos sin presentar una diferencia y si mejoró la eficiencia del proceso de cocción. El aserrín de acuerdo con los resultados obtenidos fue la mejor alternativa a la sustitución del carbón. En Colombia se ha venido fomentando la plantación de bosques<sup>6</sup>, con el fin de reforestar principalmente con dos tipos de especies, pino caribe y acacia magnum.

---

<sup>5</sup> GARCIA UBAQUE, Cesar; BOHORQUEZ VACA, Martha y TALERO, Gabriel. Aprovechamiento de biomasa peletizada en el sector ladrillero en Bogotá – Colombia: análisis energético y ambiental. Scielo. Vol. 24. No. 3. 2013. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000300013>

<sup>6</sup> FAJARDO RAMIREZ, José. Caracterización del aserrín del pino caribe como biomasa para el proceso de gasificación adiabática. Universidad de los Andes. Bogotá. 2012.

## 4 QUEMADOR A GAS

### 4.1 CLASIFICACIÓN DE QUEMADORES A GAS

El sistema de clasificación se basa en el sistema de alimentación del combustible y del aire. La comisión I.G.U. (International Gas Unión) ha establecido una clasificación por números para las distintas variables de operación encontrados en el Anexo A.

#### 4.1.1 Tipos de quemadores

Los distintos tipos de quemadores se encuentran con diferencias en los tipos de alimentación de aire y gas, algunos operan con premezcla parcial o completa. A continuación, se van a mostrar los modelos más usados:

#### 4.1.2 Quemadores de alimentación separada de aire y gas

En este caso cuando ocurre la mezcla de gas y aire comienza la combustión. Estos quemadores también son conocidos como de gas bruto, debido a que el gas sale del quemador sin mezcla de oxidante. Este tipo de quemador suele tener llamas largas, temperaturas no muy altas y sus emisiones NO<sub>x</sub> dependen del diseño<sup>7</sup>.

Figura 1. Esquema quemador de alimentación separada de aire y gas.



Fuente: CHARLES, Baukal. Industrial burners: handbook. CRC press. 2003. Cap. 1. p. 19. ISBN 0-8493-1386-4.

#### 4.1.2.1 Quemadores de llama blanca

Son muy usados en aplicaciones domesticas como calentadores, cafeterías. Este tipo de modelo se ha venido sustituyendo por quemadores de inducción atmosférica.

---

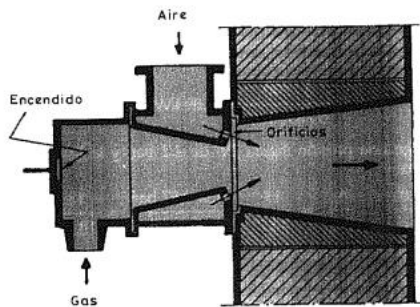
<sup>7</sup>CHARLES, Baukal. Industrial burners: handbook. CRC press. 2003. Cap. 1. ISBN 0-8493-1386-4.

#### 4.1.2.2 Quemadores de difusión en régimen turbulento

Son muy usados en hornos industriales, en este tipo de quemadores se usan orificios en forma oblicua de manera que generen una corriente tangencial con el fin de favorecer una mezcla rápida del gas y aire. Otra manera de mejorar la mezcla del gas y aire es aplicar un movimiento helicoidal al gas por medio de unas aletas ubicadas en el tubo central, mientras que el aire converge alrededor del chorro de gas.

Algunos sistemas del tipo sin premezcla incorporan toberas de doble impulsión donde el gas sale por un inyector central a alta presión y una sección anular concéntrica a baja presión. Esta diferencia de caudal permite varias longitudes de llama sin pérdida de potencia<sup>8</sup>.

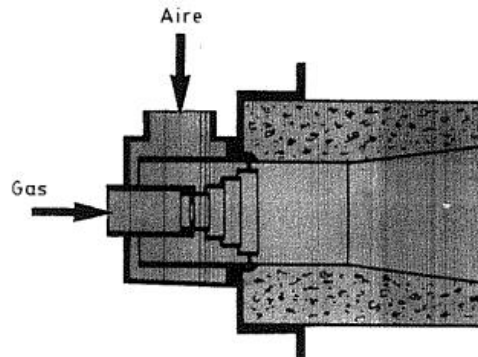
Figura 2. Quemador de difusión con chorro de gas central y salidas de aire en chorros concéntricos.



Fuente: MARQUEZ, MANUEL. Combustión y quemadores. Marcombo. España. 2005. Cap. 5. p. 105.

<sup>8</sup>MARQUEZ, MANUEL. Combustión y quemadores. Marcombo. España. 2005. Cap. 5. p. 103.

Figura 3. Quemador de difusión con chorro central de gas y salida de aire en coronas sucesivas.



Fuente: MARQUEZ, MANUEL. Combustión y quemadores. Marcombo. España. 2005. Cap. 5. p. 106.

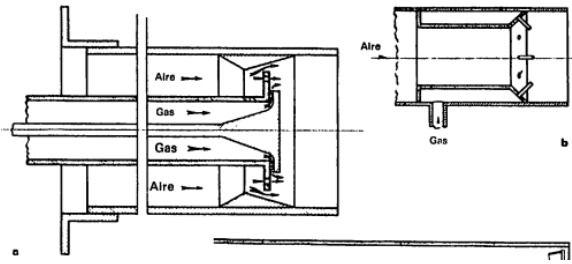
Cuanto más rápido se realiza la mezcla las temperaturas de llama son más elevadas, para efectos de transferencia de calor es mayor entre más alta sea la temperatura.

#### 4.1.3 Quemadores especiales

Quemadores monobloc de aire insuflado sin mezcla previa: son muy usados en calentamiento automático de calderas de calefacción, producción de fluidos calientes empleándose en quemadores de aire caliente y secaderos. Estos quemadores son usados en cámaras de combustión a baja y media temperatura (600°).

Los quemadores monobloc se constituyen de una alimentación de gas y aire separada. El ventilador siempre es de tipo centrífugo, piloto de encendido y un sistema de encendido compuesto básicamente de un transformador de alta tensión.

Figura 4. Distribución de gas y aire en un quemador de tipo monobloc.



Fuente: BRUCART BORRAS, ENRIQUE. Gas natural: características, distribución y aplicaciones industriales. Editores Técnicos Asociados. Barcelona. 1987. Cap. 4. p. 156.

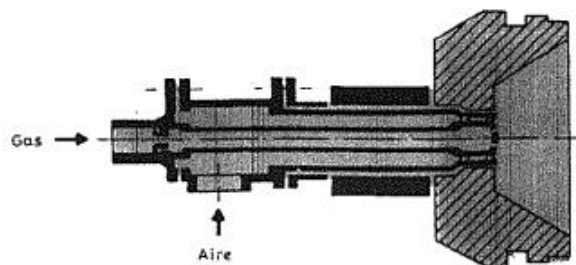
Los sistemas de seguridad consisten en un sensor de llama de tipo fotoeléctrico, una caja de mando que está compuesta de un programador de relés que permite la puesta en marcha automática del quemador por medio de un pulsador, válvulas de seguridad, presostatos para mantener una presión mínima de aire en el sistema y controlar el flujo de gas.

#### 4.1.4 Quemadores intensivos

##### 4.1.4.1 Quemadores radiantes

Una parte importante de la transferencia de calor se realiza por radiación. El rendimiento de radiación equivale a la proporción de energía de PCI que es transmitida por radiación.

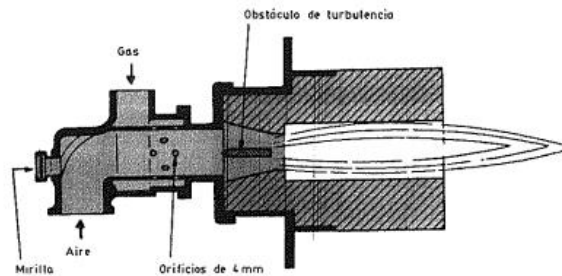
Figura 5. Quemador radiante de llama de difusión (mezcla en la boca de salida).



Fuente: MARQUEZ, MANUEL. Combustión y quemadores. Marcombo. España. 2005. Cap. 5. p. 117.

El aire puede inyectarse de forma central o llegar por varias toberas. La longitud de llama y de mezcla están en su punto máximo cuando el gas y aire tienen la misma velocidad. El proceso de transferencia de calor aumenta con la velocidad del aire, pero disminuye la longitud de llama y mezcla.

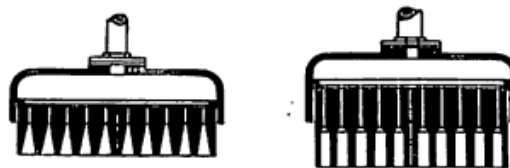
Figura 6. Quemador túnel de alta velocidad, alimentado con gas y aire a presión, mezclados en la boca.



Fuente: MARQUEZ, MANUEL. Combustión y quemadores. Marcombo. España. 2005. Cap. 5. p. 117.

Estos quemadores normalmente son alimentados con una mezcla previa pero también pueden ser alimentados por los fluidos de gas y aire por separado. La temperatura superficial del refractario puede alcanzar de  $1000^{\circ}$  a  $1700^{\circ}$  C. el objetivo principal de este modelo de quemadores es obtener un calentamiento rápido.

Figura 7. Quemadores radiantes, alimentados en premezcla, formados por piezas refractarias con múltiples canales.



Fuente: BRUCART BORRAS, ENRIQUE. Gas natural: características, distribución y aplicaciones industriales. Editores Técnicos Asociados. Barcelona. 1987. Cap. 4. p. 161.

#### **4.1.4.2 Quemadores radiantes porosos**

La inyección se hace de tipo mezcla previa de aire y gas. La combustión se realiza en el interior de una masa porosa de refractario. Cuando la velocidad de salida de la mezcla es inferior al límite de desprendimiento de llama, esta se desarrolla sobre la superficie del refractario presentando conos azules.

En el punto de equilibrio térmico la temperatura y la penetración del frente de combustión se estabilizan. Los riesgos de este modelo están cuando la penetración del frente de combustión llega a oscurecer el refractario ya que eso representa fusión del refractario o destrucción del refractario por contracciones excesivas.

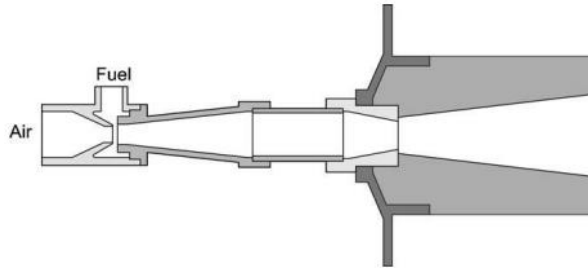
#### **4.1.5 Quemadores de túnel**

Son quemadores del tipo premezcla, su tamaño y rango de estabilidad son limitados. Estos quemadores son muy usados en aplicaciones que requieren una llama muy intensa y corta. Los productos de combustión salen a temperaturas de 1400 a 1700 °C<sup>9</sup>. Estos quemadores pueden usarse en hornos donde los chorros de gases calientes se hacen recircular para aumentar la transferencia de calor por convección. La geometría es muy importante para lograr buena estabilidad de llama y evitar el retroceso de esta, una gran ventaja de este modelo es que no es muy complejo.

---

<sup>9</sup>BRUCART BORRAS, ENRIQUE. Gas natural: características, distribución y aplicaciones industriales. Editores Técnicos Asociados. Barcelona. 1987. Cap. 4. p. 162.

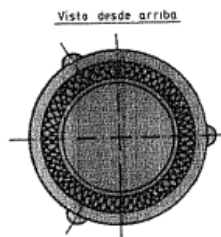
Figura 8. Quemador de túnel con premezcla.



Fuente: CHARLES, Baukal. Industrial burners: handbook. CRC press. 2003. Cap. 11. p. 2. ISBN 0-8493-1386-4.

El efecto de retroceso de llama se puede evitar manteniendo un caudal mínimo, usando dispositivos como rejillas o esponjas en el tubo de salida de la mezcla. Otro dispositivo de estabilización de llama consiste en rodear la llama principal de llamas auxiliares.

Figura 9. Corona estabilizadora.



Fuente: MARQUEZ, MANUEL. Combustión y quemadores. Marcombo. España. 2005. Cap. 5. p. 95.

## 5 COMPONENTES DE UN QUEMADOR A GAS

### 5.1 SISTEMA DE ENCENDIDO.

Este sistema garantiza el funcionamiento seguro y confiable. Este sistema puede estar integrado o separado del quemador, el sistema puede ser manual o automático. Como sistema de encendido se usa principalmente un piloto para encender la llama principal, este piloto puede ser continuo o interrumpible y ser encendido con un encendedor de chispa o una antorcha externa.

Figura 10. Piloto de encendido.

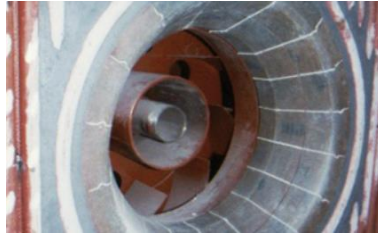


Fuente: EXHIBIR. Electrodo chispa para quemador Wayne. [Sitio web]. Exhibir equipos para panadería y restaurante. 2021. (Consulta: 7 de Julio 2022). Disponible en: <https://exhibirequipos.com/producto/electrodo-chispa-quemador-wayne/>

### 5.2 PLACA DEL QUEMADOR

Ayuda a proteger de sobrecalentamiento las piezas internas del quemador y dar forma a la llama. En la mayoría de los diseños esta parte del quemador está hecha de cerámica. La placa puede contener componentes con formas de romos para mejorar la estabilidad de llama, orificios para mejorar la mezcla de los gases de alimentación al quemador con los del entorno donde está instalado.

Figura 11. Placa de un quemador a gas.



Fuente: ZAMPELL. Burner quartz tiles. [Sitio web]. Zampell refractories. (Consulta: 7 de julio 2022). Disponible en:<https://www.zampell.co.uk/solutions/>

### 5.3 SISTEMA DE CONTROL

Están en el interior del quemador y sirven para controlar el flujo de aire y tiro del horno. Otro tipo de controles son usados para ajustar los fluidos de gas y aire por el quemador. En los quemadores con múltiples inyectores de gas estos controles sirven para regular la cantidad de gas que va a cada inyector.

### 5.4 SISTEMA DE SEGURIDAD DE LLAMA

Este sistema ayuda a garantizar un funcionamiento seguro del sistema de combustión. El sistema puede ser de tipo escáner o varilla de llama para verificar que el quemador y piloto estén funcionando. Si el sistema detecta que no hay presencia de llama procede a cortar el suministro de combustible asegurando que no llegue a ocurrir una posible explosión.

Figura 12. Sensor de llama.



Fuente: TODO CONTROL. Detector de llama. [Sitio web]. minipeeper Honeywell. (Consulta: 8 de julio 2022). Disponible en:<https://www.todo-control.com/detector-llama-c7035a1049-honeywell>

## 5.5 SUMINISTRO DE AIRE

Este sistema está conformado por un ventilador centrífugo, tubería y accesorios necesarios para el transporte de la biomasa. Los requerimientos del ventilador vienen determinados por la cantidad estequiometría de aire necesario para garantizar combustión completa.

Figura 13. Ventilador centrífugo.



Fuente: SODECA. Ventiladores centrífugos. [Sitio web]. Ventilador centrífugo industrial. (Consulta: 8 de julio 2022). Disponible en: <https://www.sodeca.com/es/productos/cma-p55?cs=5&fil=50#prod>

## 5.6 PRINCIPALES USOS SEGÚN TIPO DE QUEMADOR

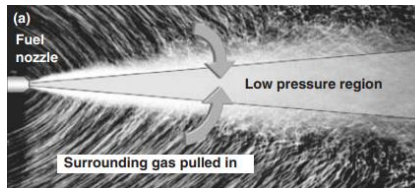
Los principales usos del quemador están divididos en dos tipos que son con premezcla y sin premezcla, en el Anexo B se podrá identificar los diferentes usos que se le dan a estos quemadores.

## 6 COMPORTAMIENTO DE LLAMA

### 6.1 ARRASTRE DE CHORRO LIBRE

Cuando un fluido sale de una boquilla se crea una región de baja presión aguas abajo. Al interactuar con el fluido circundante este fluido es atraído, al ser atraído se crea una turbulencia que hace que los fluidos se mezclen. A medida que el chorro libre capture el fluido circundante el diámetro del chorro va a aumentar.

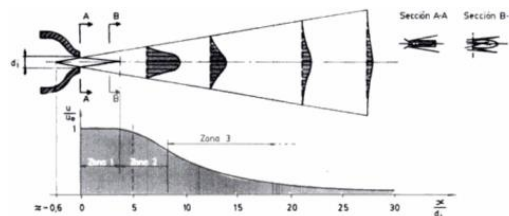
Figura 14. Mezcla del chorro libre con el fluido circundante.



Fuente: BUSSMAN, Wes. Fluid flow. CHARLES, Baukal. Industrial burners: handbook. CRC press. 2003. Cap. 3. p. 8.

La velocidad de entrada del chorro libre es un parámetro importante a la hora de diseñar, ya que ello influirá en su comportamiento. Una vez el fluido sale del inyector se forma un cono que llega a estar comprendido entre los  $18^\circ$  y  $20^\circ$ . A medida que el chorro aumenta su distancia la velocidad va disminuyendo. El control de la mezcla del gas y aire dependerá del inyector, ya que de acuerdo con su diámetro y dependiendo del tipo de fluido la capacidad de mezcla mejorará.

Figura 15. Chorro libre turbulento.



Fuente: MARQUEZ, MANUEL. Combustión y quemadores. Marcombo. España. 2005. Cap. 3. p. 64.

## 7 QUEMADOR CICLONICO DE COMBUSTIBLE SOLIDO

El quemador ciclónico es una gran solución para la combustión de residuos en forma de polvo en gran variedad de aplicaciones, entre las que destacan calderas y procesos de secado. Combustibles de alto poder calorífico requieren de una buena mezcla de aire/combustible que depende de la turbulencia creada para distribuir de manera homogénea las partículas de oxígeno<sup>10</sup>.

La combustión de tipo ciclónica se realiza a elevadas temperaturas ya que la fricción de la biomasa en las paredes, el material pulverizado entra de manera tangencial a la cámara de combustión. Este tipo de quemadores admiten material particulado entre las 150 y 300 micras. Este tipo de combustión es altamente eficiente debido a que el movimiento ciclónico hace que la mezcla con el aire sea mejor y a su vez se arrastren los residuos como cenizas volantes.

Este tipo de quemador resulta ser amigable con el medio ambiente ya que tienen la ventaja de que los gases son quemados en su totalidad por el efecto ciclónico.

Figura 16. Quemador ciclónico.



Fuente: EQUIM. Equipos y montajes. [Sitio web]. Horno ciclónico: equipo para secamiento de cereales. (Consulta: 12 de abril 2022). Disponible en:

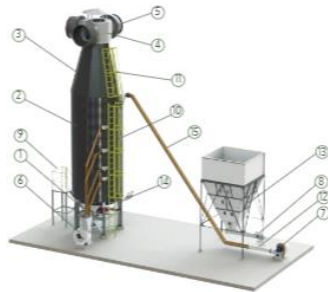
---

<sup>10</sup>AL-ATTAB, K., Y ZAINAL, Z. Syngas Production and Combustion Characteristics in a Biomass Fixed Bed Gasifier with Cyclone Combustor. Elsevier. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.11.084>.

<https://docplayer.es/120395240-Horno-ciclonico-equipos-para-secamiento-de-cereales-principio-de-funcionamiento.html>

El material particulado es introducido a presión, por medio de un sistema neumático. La biomasa es almacenada en una tolva y es suministrada por un tornillo sin fin, para los hornos ciclónicos en disposición vertical es importante considerar la implementación de un mecanismo barredor de ceniza que esta sincronizado con la alimentación de cascarilla.

Figura 17. Partes de horno ciclónico para secamiento de cereales.



| ÍTEM | DESCRIPCIÓN  | ÍTEM | DESCRIPCIÓN                              |
|------|--|------|--|
| 1    | SOPORTE HORNO HBS-CL                               | 9    | PLATAFORMA ACCESO HBS-CL                 |
| 2    | CUERPO HORNO HBS-CL                                | 10   | ESCALERA INFERIOR                        |
| 3    | CUERPO SUPERIOR HBS-CL                             | 11   | ESCALERA SUPERIOR                        |
| 4    | DUCTO SALIDA AIRE HBS-CL                           | 12   | VENTURI Ø 6                              |
| 5    | DAMPER MEZCLA AIRE                                 | 13   | TOLVA CASCARILLA                         |
| 6    | VENTILADOR RADIAL VR-48                            | 14   | TRANSPORTADOR SIN FIN TS-6 SALIDA CENIZA |
| 7    | TURBINA TB-36.1P                                   | 15   | TUBO ACOPLE VENTURI                      |
| 8    | TRANSPORTADOR SIN FIN TS-6 ALIMENTACIÓN CASCARILLA | 16   | TUBERIA AIRE SECUNDARIO                  |

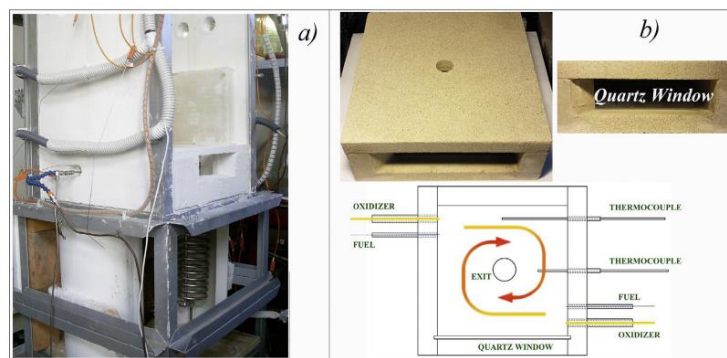
Fuente: EQUIM. Equipos y montajes. [Sitio web]. Horno ciclónico: equipo para secamiento de cereales. (Consulta: 12 de abril 2022). Disponible en: <https://docplayer.es/120395240-Horno-ciclonico-equipos-para-secamiento-de-cereales-principio-de-funcionamiento.html>

## 7.1 VARIABLES PARA CONTROLAR EL PROCESO DE COMBUSTION

Las altas temperaturas (más de 1300 °C) llegan a aumentar las emisiones de NOx, debido a la disociación del nitrógeno molecular en el aire. Se ha llegado a demostrar como un flujo ciclónico llega a presentar un tiempo corto de mezcla y mayor tiempo de residencia

para lograr la oxidación completa de la mezcla<sup>11</sup>. El banco de laboratorio incluye dos pares de inyectores jet, cada pareja se compone de dos conductos donde se suministra el caudal principal de oxígeno y el otro suministra el combustible. El flujo principal de oxidante tiene un flujo de impulso de 50 a 200 veces mayor que el impulso del flujo de combustible. El flujo de oxidante es precalentado y el de gas ingresa a temperatura ambiente. El proceso de combustión es seguido por medio de unos termopares tipo N y una ventana de cuarzo. Los gases de escape son analizados por medio de un micro GC portátil que permite medir emisiones de O<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, y C<sub>2</sub>. El NO<sub>x</sub> se mide con un analizador de gases de combustión TESTO 350.

Figura 18. Imagen a) y plano medio b) de la cámara de combustión ciclónica.



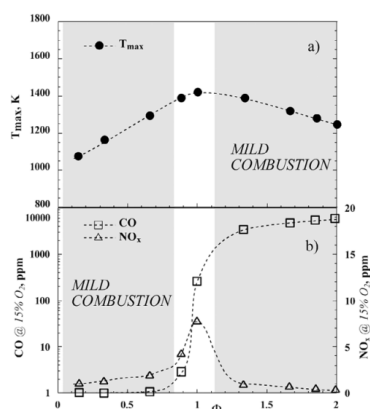
Fuente: SORRENTINO, G., SABIA, P., BOZZA, P., RAGUCCI, R., Y JOANNON, M. Impact of external operating parameters on the performance of a cyclonic burner with high level of internal recirculation under MILD combustion conditions. Elsevier. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.066>.

Para el análisis se van a tomar una variación de  $\phi$  (de 0.17 a 2), residencia de 0.5 segundos y la temperatura del flujo precalentado es de 900 K. La temperatura máxima en el reactor fue de 1150 K para un  $\phi=0.3$ , aumentando el  $\phi$  la temperatura llega a un

<sup>11</sup>SORRENTINO, G., SABIA, P., BOZZA, P., RAGUCCI, R., Y JOANNON, M. Impact of external operating parameters on the performance of a cyclonic burner with high level of internal recirculation under MILD combustion conditions. Elsevier. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.066>.

valor máximo de 1400 K para un  $\phi=1$  que sería de la composición estequiométrica Figura 26. Las emisiones de NOx presentaron valores inferiores a 10 ppm mostrando su máximo valor en  $\phi=1$  de 9 ppm. Para el factor de equivalencia en 1 el comportamiento de NOx muestra un mayor aumento y también se prevé que este aumento esté relacionado con el de la ruta térmica<sup>12</sup>.

Figura 19. Efectos de la variación de  $\phi$ , donde la Concentración de CO es representada por rectángulos y NOx es representada por triángulos.



Fuente: SORRENTINO, G., SABIA, P., BOZZA, P., RAGUCCI, R., Y JOANNON, M. Impact of external operating parameters on the performance of a cyclonic burner with high level of internal recirculation under MILD combustion conditions. Elsevier. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.066>.

## 7.2 USO DE MADERA COMO COMBUSTIBLE EN HORNOS CICLONICOS

La combustión de biomasa de madera<sup>13</sup> presenta una gran complicación por la formación de NOx. El NOx térmico se forma a una temperatura superior a 1300°C y el NOx del combustible a una temperatura menor a 1300°C a partir del nitrógeno del combustible. Se han presentado otros posibles caminos de formación de NOx a partir del oxígeno,

<sup>12</sup> KHALIL, A Y GUPTA, A. Toward ultra-low emission distributed combustion with fuel air dilution. Elsevier. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.066>.

<sup>13</sup>CHOE, Kangil. Review of wood biomass cyclone burner. Energies. 2021. 14. 4807. <https://doi.org/10.3390/en14164807>

donde el efecto de remolino del quemador ciclónico que presenta una alta relación de mezcla llega a atraer mayores cantidades de oxígeno y ello llega a aumentar el NOx del combustible.

La formación de NOx es un punto muy importante para trabajar en los procesos de combustión, los factores que llegan a influir son varios, pero los quemadores de tipo ciclónico llegan a presentar emisiones de NOx muy inferiores Cuadro 3 a otros modelos como un horno de parrilla tipo Stoker.

Cuadro 1. Emisiones de NOx y CO entre distintos tipos de quemadores.

|          | Residuos de construcción | Non MDF | MDF  | Antisepsis Wood | Wood    | Luo et al. | Choe et al. |
|----------|--------------------------|---------|------|-----------------|---------|------------|-------------|
| Nox(ppm) | 176                      | 480     | 681  | 603             | 125-261 | 182        | 49          |
| CO(ppm)  | 4243                     | 2673    | 5480 | 12628           | 96-1547 | 0.015      | 39          |

Fuente: CHOE, Kangil. Review of wood biomass cyclone burner. Energies. 2021. 14. 4807. <https://doi.org/10.3390/en14164807>

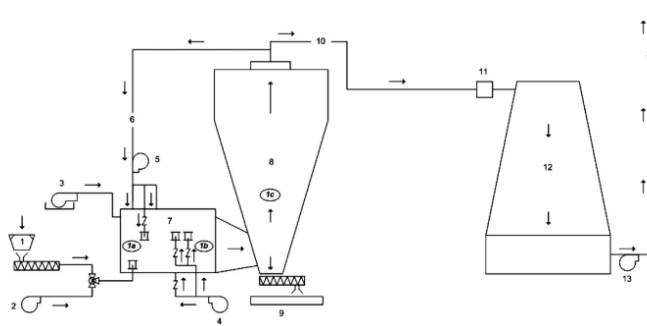
### 7.3 COMPONENTES DE UN QUEMADOR CICLONICO

En algunos hornos de tipo ciclónico se opta por usar un suministro secundario de aire. El modelo de Elaine Virmond<sup>14</sup> desarrollado para uso en una central de generación de energía térmica, tiene como fin aprovechar el uso de residuos orgánicos sólidos. Este modelo consiste en un dosificador de biomasa de tipo tornillo sin fin, dos ventiladores para aire primario y secundario, cámara de combustión, sistemas de recirculación de gases, un separador ciclónico de cenizas, un enfriador de gases y una chimenea. figura27.

Figura 20. Esquema de quemador ciclónico. 1: alimentación; 2: suministro de aire primario; 3: quemador de aceite; 4: suministro secundario de aire; 5: ventilador de

<sup>14</sup> VIRMOND, Elaine, et al. Organic solid waste originating from the meat processing industry as an alternative energy source. Elsevier. 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2010.08.026>

recirculación de gases; 6: ducto de recirculación de gas; 7: cámara de combustión ciclónica; 8: separador ciclónico de cenizas; 9: removedor de cenizas; 10: exosto; 11: medidor de emisiones; 12: enfriador de gases; 13: exosto; 14: chimenea; 1<sup>a</sup>,1b,1c: medidores de temperatura.



Fuente: VIRMOND, Elaine, *et al.* Organic solid waste originating from the meat processing industry as an alternative energy source. Elsevier. 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2010.08.026>

Este modelo también puede ser usado con otros tipos de biomásas como el aserrín de madera y residuos de la producción del jugo de manzana<sup>15</sup>. Este tipo de residuos dependiendo del lugar llegan a tener una alta disponibilidad y en este tipo de proceso de quema ciclónica son muy bien aprovechables por sus propiedades energéticas.

### 7.3.1 Cámara de combustión

Tiene por nombre hogar cuando se usa en calderas y es el lugar donde se realiza la combustión, por medio de la mezcla de aire y biomasa. La cámara de combustión lleva un recubrimiento en material refractario y una lámina de acero.

<sup>15</sup> VIRMOND, E., SCHACKER, R. Combustion of apple juice wastes in a cyclone combustor for thermal energy generation. *Journal of Energy Resources Technology*. 2010. Vol. 132. DOI: 10.1115/1.4002690

### 7.3.2 Sistema dosificador

Consiste en una tolva de entrada que almacena la biomasa y un sistema de tornillo sin fin, que este acoplado a un moto-reductor. Este tornillo es el encargado de transportar la biomasa para ser posteriormente impulsada al ciclón.

### 7.3.3 Chimenea

Luego de salir los gases producto de la combustión pasan a ser expulsados al ambiente. Para remover el material particulado que llegue a producirse es necesario usar un ciclón separador. El material particulado cae a través del cono figura. Y los gases salen por el ducto central en disposición vertical.

El proceso de diseño será dividido en dos secciones, en la primera se va a tratar la parte del suministro de gas y aire. En la segunda se va a tratar el suministro de biomasa y aire. Esto se hace para simplificar el proceso de diseño.

Figura 21. Estructura de un ciclón.



Fuente: LI, W., HUANG, Z., LI, G., Y YE, C. Effects of different cylinder roof structures on the vortex of cyclone separators. Elsevier. Vol. 296. 2022.

La forma de cono del ciclón Figura 20. es usada para reducir las turbulencias de los residuos en procesos de separación.

## 8 ANALISIS TERMICO

A continuación, se presenta el proceso de combustión de los combustibles a usar que son gas natural y aserrín. A partir de los datos obtenidos en este proceso es que se va a hacer el diseño del quemador, caldera y modelo cero dimensional.

### 8.1 DATOS RECOPIRADOS PARA LOS COMBUSTIBLES A USAR

#### 8.1.1 Gas natural

Para el proceso de datos se tomó en cuenta los parámetros recolectados de la empresa VANTI (Tabla 1) de la ciudad de Bucaramanga para poder obtener sus compuestos hidrocarburos utilizados en el Gas Natural y para el combustible Bio-Solido (Tabla 2) se tomaron los datos de una tesis de la Universidad Industrial de Santander.

Tabla 1. Composición del gas natural de la empresa VANTI.

|                    |                                |       |
|--------------------|--------------------------------|-------|
| Metano             | CH <sub>4</sub>                | 81.86 |
| Etano              | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>  | 11.61 |
| Propano            | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>  | 1.92  |
| I-Butano           | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | 0.23  |
| N-Butano           | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | 0.22  |
| Nitrógeno          | N <sub>2</sub>                 | 0.90  |
| Dióxido de carbono | CO <sub>2</sub>                | 3.18  |

Fuente: VANTI. Composición típica del gas natural. Vanti S. A. Bogotá. Disponible en: <https://www.grupovanti.com/conocenos/el-gas-natural/que-es/>.

#### 8.1.2 Biomasa

La selección de aserrín como biomasa a trabajar es por sus propiedades de baja cantidad de cenizas, alto poder calorífico y disponibilidad.

Tabla 2. Composición del combustible sólido.

| Biomasa                   | Material Volátil | Cenizas | Carbo no Fijo | Humedad | Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> ) | Poder calorífico (kcal/kg) | C    | H   | N    | O    |
|---------------------------|------------------|---------|---------------|---------|--|----------------------------|------|-----|------|------|
| Aserrín                   | 75               | 2,49    | 75            | 15,5    | 167                                    | 4000<br>4300               | 50,6 | 6,0 | 0,14 | 43,1 |
| Bagazo de caña            | 68 - 70          | 1,26    | 29,7          | 4       | 120                                    | 1800<br>2100               | 48,5 | 5,9 | 0,2  | 38,9 |
| Cascarilla de arroz       | 64,7             | 17,8    | 13,36         | 8,89    | 125                                    | 3200<br>3600               | 39,1 | 5,2 | 0,6  | 37,2 |
| Cascarilla de sacha inchi | 83,6             | 1,75    | 7,76          | 12,9    | 135                                    | 6000<br>6300               | 42,4 | 5,3 | 1,85 | 54,4 |

Fuente: HERRERA Dairon y APARICIO Andrés. Diseño y construcción de un quemador ciclónico de biomasa para el laboratorio de combustión, Escuela De Ingeniería Mecánica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2020. p.51.

## 8.2 PARAMETROS DE COMBUSTION

El proceso básico de combustión es una forma especial de oxidación en que el oxígeno del aire se combina con elementos combustibles, que general mente son carbono, hidrogeno y en menor medida azufre.

Para el proceso de mezcla de biosólido-Gas y aire deben tener una adecuada estabilidad y una temperatura de ignición dentro de la cámara de combustión para que la oxidación se forme de manera continua para un mejor aprovechamiento de energía, que se puede utilizar en distintas practicas aplicadas.

La combustión del gas natural y el aserrín genera altas temperaturas (calor) y productos cuya composición varía de acuerdo con diversas condiciones entre las cuales se pueden

mencionar: tipo de combustible, cantidad de aire, temperatura de los reactantes, recirculación de gases, entre otras<sup>16</sup>.

La combustión ideal del sistema conformado uno por gas natural y el otro por aserrín en el cual los dos combustibles se trabajarán con 1 kg de masa, el cual es asumido se expresa como:

Cuadro 2. Gas Natural.

| COMPUESTO GAS NATURAL    | Metano % | Etano %  | Propano % | Butano-I % | Butano-N % | Nitrógeno % | Dióxido de Carbono % |
|--------------------------|----------|----------|-----------|------------|------------|-------------|----------------------|
| Fraccion Masica (fm)     | 81,86    | 11,61    | 1,92      | 0,23       | 0,22       | 0,9         | 3,18                 |
| Peso Molecular [kg/kmol] | 16,04    | 30,07    | 44,1      | 58,12      | 58,12      | 28,01       | 44,01                |
| Masa [kg]                | 0,8186   | 0,1161   | 0,0192    | 0,0023     | 0,0022     | 0,009       | 0,0318               |
| Moles [kmol]             | 0,05103  | 0,003861 | 0,0004354 | 0,00003957 | 0,00003957 | 0,0003213   | 0,0007226            |

Fuente: Autor.

Cuadro 3. Aserrín.

| COMPUESTO ASERRIN [kg]   | Carbono % | Hidrogeno % | Oxigeno % | Nitrógeno % |
|--------------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| FRACCION MASICA (fm)     | 50,6      | 6           | 43        | 0,14        |
| Peso Molecular [kg/kmol] | 12,01     | 1,008       | 16        | 14,01       |
| Masa [kg]                | 0,506     | 0,06        | 0,43      | 0,0014      |
| Moles [kmol]             | 0,04213   | 0,05953     | 0,02688   | 0,00009995  |

Fuente: Autor.

Uno de los aspectos importantes para una buena combustión es una buena mezcla de aire para tener un control reducido de la llama, ya que su proceso tiende a ocasionar

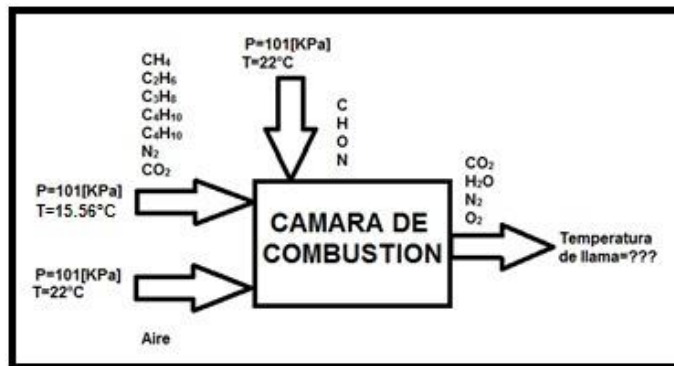
<sup>16</sup> RESTREPO, V., TIBAQUIRA, J., CARRANZA, S., Y YAMID ALBERTO. Análisis de la influencia de la relación de equivalencia y el precalentamiento del aire en la composición y propiedades de los productos de combustión en un quemador de ACPM. Scientia Et Technica. Vol. X. num 24. Mayo. 2004. p. 157-162

resultados inestables y con grandes cantidades de humo. Se debe tener en cuenta que, aunque se asume una combustión completa, la combustión en la vida real no lo será ya que existen partículas que no logran quemarse como el carbono o monóxido de carbono en vez de dióxido de carbono. En este diseño se planteará el proceso para un funcionamiento individual y combinado entre Gas Natural y el Biosólido(aserrín).

### 8.3 BALANCE ESTEQUIMETRICO DE LOS COMBUSTIBLES

Se procede a aclarar la relación química que se establece entre los reactivos y los productos, se establecerán tres balances estequiométricos diferentes teniendo en cuenta que la biomasa y aire se manejarán a presión y temperatura ambiente, mientras que el gas natural según establece la empresa VANTI, la compañía de consumo de gas se maneja a temperatura de 15,56°C (60°F), y a una presión atmosférica<sup>17</sup>.

Figura 22. Esquema de la mezcla entre el Gas Natural y Aserrín.



Fuente: Autor.

Como se está trabajando con tres sistemas con funciones individuales es necesario saber que la combustión real de los productos se debe a las altas temperaturas generadas el cual ocasiona una disociación en los elementos y tiende a ser un proceso repetitivo en la

<sup>17</sup> VANTI. RESOLUCIÓN CREG 127 DE 2013. Vanti S. A. Bogotá. Disponible en: [https://regimenjuridico.grupovanti.com/detalle\\_articulo.php?id=1576](https://regimenjuridico.grupovanti.com/detalle_articulo.php?id=1576)

función de equilibrio químico, para eso, es necesario un alto control del exceso de aire, en el Anexo C se podrá encontrar las relaciones estequiométricas que se trabajó.

#### 8.4 RELACION AIRE-COMBUSTIBLE Y FACTOR DE EQUIVALENCIA

Se define la relación de equivalencia,  $\Phi$ , como:

$$\Phi = \frac{(A/C)_{Estequimetrico}}{(A/C)_{Real}}$$

Donde (A/C) es la relación Aire-Combustible (estequiométrica y real). La relación Aire-Combustible es una relación de masas, la cual se establece mediante las siguientes expresiones para las condiciones estequiometria y real, para poder determinar el porcentaje de exceso de aire se necesita en la combustión:

$$(A/C)_{Estequimetrico} = \left( \frac{m_{aire}}{m_{combustible}} \right) = \frac{4.76 * a_{estequimetrico}}{1} \frac{M_{aire}}{M_{Combustible}}$$

$$(A/C)_{Real} = \left( \frac{m_{aire}}{m_{combustible}} \right) = \frac{4.76 * e * a_{estequimetrico}}{1} \frac{M_{aire}}{M_{Combustible}}$$

Donde:

M=Peso molecular [kg/kmol].

e=Exceso de aire [kmol].

#### 8.6 VARIABLES DE COMBUSTIBLE

##### 8.6.1. PODER CALORIFICO

Es la propiedad más importante en el momento de selección y utilización de un combustible, ya que se define la cantidad de energía que produce o libera cuando se realiza una combustión completa

Cuadro 4. PCI del gas natural.

| Reactivos | GasNatural   |
|-----------|--------------|
|           | PCI [kJ/mol] |
| N2        | 0            |
| CO2       | 0            |
| CH4       | 803          |
| C2H6      | 1429         |
| C3H8      | 2043         |
| C4H10     | 2637         |

Fuente: Çengel, Y. A., & Boles, M. A. TERMODINAMICA Novena Edición. MEXICO: MCGRAW-HILL. P 949. ISBN 13: 978-1-4562-6978-4

Estos cálculos se utilizan para sacar tres procesos diferentes que se manejan en el quemador a utilizar, esto con el fin de obtener el poder calorífico inferior de los combustibles teniendo en cuenta la fracción molar de cada elemento.

En la literatura existen correlaciones para calcular el poder calorífico del combustible sólido en función de su composición química<sup>18</sup>. Estas ecuaciones fueron probadas y comparadas con datos de Phyllis2<sup>19</sup> obteniendo un porcentaje de error del 4%.

$$\begin{aligned} \left( \sum PCI \right)_{GasNatural} &= X_{CH_4} PCI_{CH_4} + X_{C_2H_6} PCI_{C_2H_6} + X_{C_3H_8} PCI_{C_3H_8} + X_{C_4H_{10}} PCI_{C_4H_{10}} \\ &+ X_{N-C_4H_{10}} PCI_{N-C_4H_{10}} + X_{N_2} PCI_{N_2} + X_{CO_2} PCI_{CO_2} \end{aligned}$$

Para cálculo del PCS y PCI del combustible sólido:

$$PCS = 33900C + 141800\left(H - \frac{O}{8}\right)$$

$$PCI = PCS - 2440(9H + H_2O)$$

<sup>18</sup> EDSON, BAZZO. Geracao de Vapor. EDITORA DA UFSC.1995. 2° Edición.

<sup>19</sup> Phyllis2. Pine Sawdust 3160. TNO innovation for life. [En línea]. (Consulta: 18 de enero 2023). Disponible en: <https://phyllis.nl/Biomass/View/3160>

$$(\sum PCI)_{Mezcla} = 0,5(X_{CH_4}PCI_{CH_4} + X_{C_2H_6}PCI_{C_2H_6} + X_{C_3H_8}PCI_{C_3H_8} + X_{C_4H_{10}}PCI_{C_4H_{10}} + X_{N-C_4H_{10}}PCI_{N-C_4H_{10}} + X_{N_2}PCI_{N_2} + X_{CO_2}PCI_{CO_2}) + 0,5(PCI_{BIOMASA})$$

Donde

PCS= Poder calorífico superior

PCI= Poder Calorífico Inferior

X= Fracción Molar

C= análisis gravimétrico del carbono biomasa residual (Kg)

H= análisis gravimétrico del hidrogeno biomasa residual (Kg)

O= análisis gravimétrico del oxígeno biomasa residual (Kg)

N= análisis gravimétrico del nitrógeno biomasa residual (Kg)

H<sub>2</sub>O= análisis gravimétrico de la humedad de la biomasa residual (Kg)

## 8.7 TEMPERATURA DE COMBUSTION

La temperatura de la combustión es el valor máximo que la temperatura va a tener en todo el recorrido dentro de la cámara de combustión y la caldera, sus cambios son afectados por los combustibles y la cantidad de exceso de aire que se maneje. Se le conoce como llama adiabática porque su combustión se realiza de manera que no se pierde calor al su alrededor, entonces sus cambios de energía o procesos de entalpia termina siendo iguales en el que logramos encontrar por un análisis iterativo la temperatura de llama adiabática, es la variable necesaria para los análisis de prueba experimentales y teóricas para el quemador hibrido.

$$\sum H_{Productos} = \sum H_{Reactivos}$$

De manera teórica la escritura completa para los elementos con los que se interactúan se hace de la siguiente manera donde:

$$\Delta H = (\bar{h}_f^\circ + \bar{h}_T^\circ - \bar{h}_{25^\circ}^\circ)$$

Donde

$h_f$  = Entalpia de formación

$h_T$  = Entalpia a la Temperatura

$h_{25^\circ}$  = Entalpia a 25°C

4.7.1. Entalpia del combustible

### 8.7.1 Entalpia de los productos.

$$\sum H_{\text{Productos}} = n_{CO_2} \Delta H_{CO_2} + n_{H_2O} \Delta H_{H_2O} + n_{N_2} \Delta H_{N_2} + n_{O_2} \Delta H_{O_2}$$

### 8.7.2 Entalpia de los reactivos.

$$\left( \sum H_{\text{Reactivos}} \right)_{\text{GasNatural}} = n_{\text{GasNatural}} \Delta H_{\text{GasNatural}} + n_{\text{GasNatural}} PCI_{\text{GasNatural}} + n_{\text{Aire}} \Delta H_{\text{Aire}}$$

$$\left( \sum H_{\text{Reactivos}} \right)_{\text{Aserrin}} = n_{\text{Aserrin}} \Delta H_{\text{Aserrin}} + n_{\text{Aserrin}} PCI_{\text{Aserrin}} + n_{\text{Aire}} \Delta H_{\text{Aire}}$$

$$\left( \sum H_{\text{Reactivos}} \right)_{\text{Mezcla}} = n_{\text{Mezcla}} \Delta H_{\text{Mezcla}} + n_{\text{Mezcla}} PCI_{\text{Mezcla}} + n_{\text{Aire}} \Delta H_{\text{Aire}}$$

Donde la entalpia de la humedad del agua estará localizada a una temperatura ambiente para lograr obtener sus resultados.

Cuadro #. Resultados de temperatura adiabática y relación aire-combustible con respecto al cambio de exceso de aire.

### 8.7.3. Entalpia Del Combustible.

$$\begin{aligned} \left( \sum \Delta H_{\text{combustible}} \right)_{\text{GasNatural}} &= X_{\text{CH}_4} H_{\text{CH}_4} + X_{\text{C}_2\text{H}_6} H_{\text{C}_2\text{H}_6} + X_{\text{C}_3\text{H}_8} H_{\text{C}_3\text{H}_8} + X_{\text{C}_4\text{H}_{10}} H_{\text{C}_4\text{H}_{10}} + X_{\text{N-C}_4\text{H}_{10}} H_{\text{N-C}_4\text{H}_{10}} \\ &+ X_{\text{N}_2} H_{\text{N}_2} + X_{\text{CO}_2} H_{\text{CO}_2} \end{aligned}$$

$$\left( \sum \Delta H_{\text{combustible}} \right)_{\text{Aserrin}} = X_{\text{C}} H_{\text{C}} + X_{\text{H}_2} H_{\text{H}_2} + X_{\text{O}_2} H_{\text{O}_2} + X_{\text{N}_2} H_{\text{N}_2}$$

$$\begin{aligned} \left( \sum \Delta H_{\text{combustible}} \right)_{\text{Mezcla}} &= 0,5(X_{\text{CH}_4} H_{\text{CH}_4} + X_{\text{C}_2\text{H}_6} H_{\text{C}_2\text{H}_6} + X_{\text{C}_3\text{H}_8} H_{\text{C}_3\text{H}_8} + X_{\text{C}_4\text{H}_{10}} H_{\text{C}_4\text{H}_{10}} \\ &+ X_{\text{N-C}_4\text{H}_{10}} H_{\text{N-C}_4\text{H}_{10}} + X_{\text{N}_2} H_{\text{N}_2} + X_{\text{CO}_2} H_{\text{CO}_2}) + 0,5(X_{\text{C}} H_{\text{C}} + X_{\text{H}_2} H_{\text{H}_2} + X_{\text{O}_2} H_{\text{O}_2} \\ &+ X_{\text{N}_2} H_{\text{N}_2}) \end{aligned}$$

#### 8.7.4. Exceso de aire

En el Anexo D se pueden evidenciar los cambios de temperatura que disminuye con respecto a la cantidad de exceso de aire que se agrega.

### 8.8 BALANCE DE ENERGIA EN LA CAMARA DE COMBUSTION

El flujo másico del aire se utiliza un exceso de aire del 100%-130%. se encuentra como:

- $m_{\text{Aire}_{\text{GN}}} = AC_{\text{R}_{\text{GN}}} * m_{\text{GN}}$
- $m_{\text{Aire}_{\text{Aserrin}}} = AC_{\text{R}_{\text{Aserrin}}} * m_{\text{Aserrin}}$
- $m_{\text{Aire}_{\text{Mezcla}}} = AC_{\text{R}_{\text{Mezcla}}} * m_{\text{Mezcla}}$

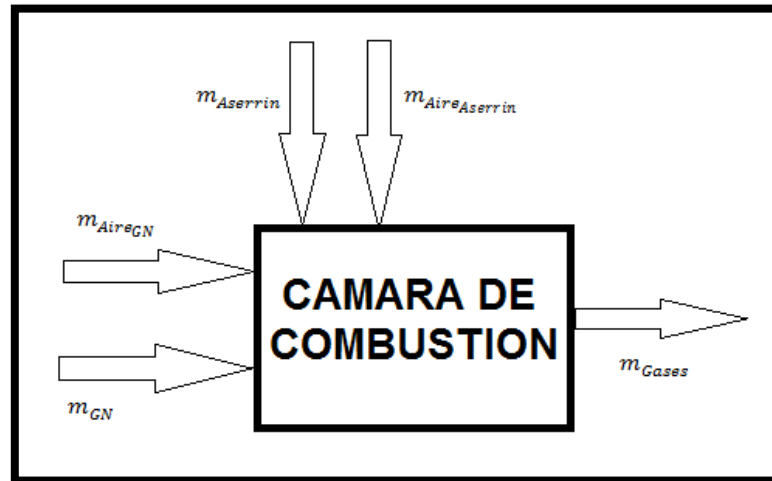
$$AC_{\text{R}} = (1 + \varepsilon)(AC_{\text{T}})$$

Donde:

AC= Relación aire-combustible del Gas Natural, Aserrín y Mezcla.

Con los datos recopilados se procede al balance de energía para la cámara de combustión que se encuentra como:

Figura 23. Flujo másico de entradas y salidas.



Fuente: Autor.

$$E_{Entrada} = E_{Salida}$$

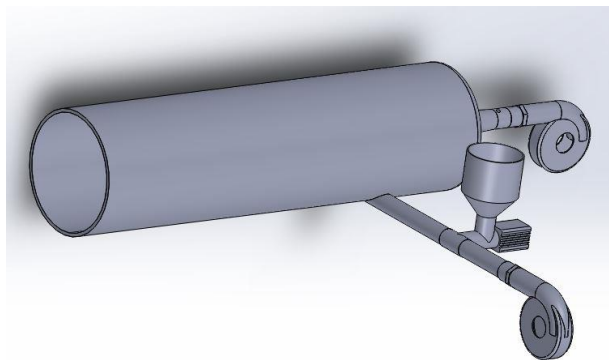
$$m_{GN} + m_{Aserrin} + m_{AireGN} + m_{AireAserrin} = m_{Gases}$$

## 9 PROCESO DE DISEÑO DEL QUEMADOR HIBRIDO

### 9.1 ALTERNATIVA 1

Se plantea un ventilador en cada línea de aire para el gas y la biomasa, este sistema requiere de un control individual de cada ventilador. Este sistema llega a permitir un mayor control del funcionamiento.

Figura 24. Suministro independiente de aire.

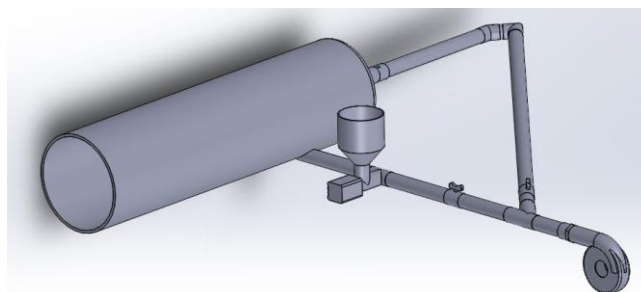


Fuente: Autor.

### 9.2 ALTERNATIVA 2

Se plantea que cada línea de aire para el gas y la biomasa tengan como mecanismo de regulación unas válvulas. Este sistema permite prescindir de un ventilador, pero el control del ventilador puede llegar a ser tedioso.

Figura 25. Suministro único de aire.



Fuente: Autor.

### 9.3 SELECCION DE ALTERNATIVAS

Cuadro 5. Selección de alternativas.

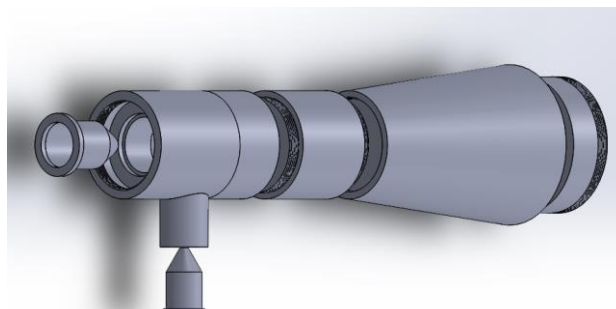
| CRITERIO DE EVALUACION |                                |      | ALTERNATIVAS DE DISEÑO |               |      |               |
|------------------------|--------------------------------|------|------------------------|---------------|------|---------------|
|                        |                                |      | Nota                   | ALTERNATIVA 1 | Nota | ALTERNATIVA 2 |
| 1                      | SUMINISTRO DE AIRE             | 0.29 | 4.5                    | 1.305         | 4.5  | 1.305         |
| 2                      | SISTEMA DE CONTROL             | 0.26 | 4                      | 1.04          | 3.5  | 0.91          |
| 3                      | SISTEMA DOSIFICADOR DE BIOMASA | 0.23 | 4.5                    | 1.035         | 4.5  | 1.035         |
| 4                      | SISTEMA DE ENCENDIDO           | 0.22 | 4                      | 0.88          | 3.5  | 0.77          |
| Total                  |                                |      | 4.26                   |               | 4.02 |               |

Fuente. Autores.

### 9.4 SISTEMA DE SUMINISTRO DE GAS Y AIRE

Los quemadores de premezcla de tipo jet o túnel son de una llama intensa y de corta longitud. Estos quemadores son considerados de simple construcción, pero la geometría interna de sus inyectores y cámara de mezcla debe dimensionarse con cuidado, debido a que son susceptibles al retroceso de llama. El proceso de diseño mostrado a continuación va a usar como fluido inductor al aire e inducido al combustible. El gas es tomado de una línea comercial, por tanto, no lleva elevada presión y buscando obtener un sistema simple y económico se opta por que el aire sea inducido a través de un ventilador centrífugo y por reducción de áreas en los inyectores lograr los flujos y el comportamiento de mezcla adecuado en el quemador. Para el proceso de cálculo se realizará una interfaz en el software EES.

Figura 26. Quemador de gas tipo jet.



Fuente: Autor.

Cuadro 6. Presiones de operación permisibles en Colombia.

| Clase de sistema de tubería y clase de usuario.  | Gas natural          |                      | GLP                 |                    |
|--|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------|
|  | bar                  | psig                 | bar                 | psig               |
| <b>Alta presión: <math>P &gt; 7</math> bar (<math>P &gt; 101,5</math> psig)</b>  |                      |                      |                     |                    |
| Líneas de transporte y primarias.  | Véase el numeral 4.1 | Véase el numeral 4.1 | N.A                 | N.A                |
| Líneas de acometida derivadas de líneas primarias.   | 19 <sup>1)</sup>     | 275,6 <sup>1)</sup>  | N.A                 | N.A                |
| Instalaciones para suministro de gas destinadas a usos industriales, derivadas de líneas de transporte o líneas primarias.                   | 2)                   | 2)                   | N.A                 | N.A                |
| <b>Media presión: <math>140</math> mbar <math>&lt; P \leq 7000</math> mbar (<math>2,03</math> psig <math>&lt; P \leq 101,5</math> psig).</b> | <b>mbar</b>          | <b>psig</b>          | <b>mbar</b>         | <b>psig</b>        |
| Líneas secundarias, líneas de acometida y líneas matrices exteriores a la edificación.   | 7 000 <sup>3)</sup>  | 101,5 <sup>3)</sup>  | 1 000 <sup>4)</sup> | 14,5 <sup>4)</sup> |
| Instalaciones para suministro de gas destinadas a usos industriales, derivadas de líneas secundarias.  | 2), 5)               | 2), 5)               | 1 000 <sup>4)</sup> | 14,5 <sup>4)</sup> |
| Líneas matrices interiores en instalaciones para suministro de gas destinadas a usos residenciales y comerciales.                            | 350 <sup>4)</sup>    | 5,07 <sup>4)</sup>   | 350 <sup>4)</sup>   | 5,07 <sup>4)</sup> |
| <b>Baja presión: <math>P \leq 140</math> mbar (<math>P \leq 2,03</math> psig)</b>  | <b>mbar</b>          | <b>psig</b>          | <b>mbar</b>         | <b>psig</b>        |
| Líneas individuales en instalaciones para suministro de gas destinadas a usos comerciales.   | 140                  | 2,03                 | 140                 | 2,03               |
| Líneas individuales destinadas a usos residenciales para suministro de gas a equipos con regulador asociado.                                 | 140                  | 2,03                 | 140                 | 2,03               |
| Líneas individuales destinadas a usos residenciales para suministro de gas a equipos sin regulador asociado.                                 | 23                   | 0,33                 | 35                  | 0,5                |

Fuente: NORMA TECNICA COLOMBIANA. Gasoductos, presiones de operación permisibles para el transporte, distribución y suministro de gases combustibles. NTC 3838. 2014. inciso 4.2. p. 7.

Cuadro 7. Propiedades del gas natural.

| Variable                                | Unidad            | Valor                   |
|---|-------------------|-------------------------|
| Presión manométrica del flujo ( $P_g$ ) | mbar              | 16                      |
| Poder Calorífico Inferior (PCI)         | kJ/kg             | 48427,84                |
| Densidad ( $\rho_g$ )                   | kg/m <sup>3</sup> | 0,72                    |
| Relación de calores específicos (k)     | -                 | 1,27                    |
| Peso Molecular (MW)                     | Kg/kmol           | 17,7 x 10 <sup>-3</sup> |
| Densidad Relativa (s)                   | -                 | 0,5878                  |

Fuente: ALVAREZ, José. Diseño y evaluación experimental de mezcladores aire-gas combustible para un quemador de premezcla domestico de 1.7 kW. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. 2018. p. 22.

#### 9.4.1 Diseño del inyector de gas

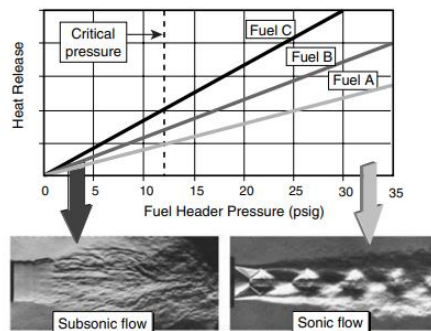
Lo primero a hacer es saber el flujo masico de gas para la demanda energética requerida por el quemador. Para este caso se definió que la demanda energética fuera de 50 Kw.

$$\dot{m}_{gas} = \frac{P_{req}}{PCI}$$

Donde  $P_{req}$  es la potencia que se requiere del quemador y  $PCI$  es el poder calorífico inferior.

El comportamiento del fluido en el proceso de inyección se puede presentar como flujo subsónico o sónico.

Figura 27. Curva de capacidad del combustible en su flujo.



Fuente: WES, Bussman. Industrial burners: handbook. CRC press. 2003. Cap. 3. p. 21. ISBN 0-8493-1386-4.

#### 9.4.2 Determinación del tipo de flujo

La presión crítica permite identificar en qué condiciones estaría operando el fluido a partir de la relación de calores específicos K.

$$P_c = \left[ \frac{2}{k+1} \right]^{\frac{k}{k-1}}$$

Si  $P_c > P_b/P_t$  el flujo es de tipo sónico, si  $P_c < P_b/P_t$  el flujo es de tipo subsónico. Los términos de  $P_b$  y  $P_t$  representan la presión atmosférica y presión absoluta.

$$P_b = 101.325 \left[ \frac{T_o - 6.5 \times 10^{-3} H}{T_o} \right]^{5.259}$$

Donde  $P_b$  es la presión atmosférica (Kpa),  $T_o$  es la temperatura al nivel del mar en (K), y  $H$  es la altura al nivel del mar en (m).

$$P_t = P_g + P_b$$

Donde  $P_t$  es la presión absoluta,  $P_g$  es la presión manométrica del gas y  $P_b$  es la presión atmosférica.

##### 9.4.2.1 Flujo subsónico

A continuación, se presenta el proceso de calculo que permite calcular el área del inyector con las relaciones propias para flujo subsónico.

$$M_e = \sqrt{\left( \frac{2}{k-1} \right) \left[ \left( \frac{P_t}{P_{atm}} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}$$

$M_e$  es el número de mach del combustible,  $P_{atm}$  es la presión atmosférica.

$$C_e = \left[ \frac{K T_e R}{MW} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$C_e$  es la velocidad del sonido,  $T_e$  es la temperatura a la salida del inyector,  $R$  es la constante universal de gases y  $MW$  es el peso molecular del combustible.

$$T_e = \frac{T_t}{1 + \frac{k-1}{2} M e^2}$$

Para la ecuación de la temperatura de salida del inyector  $T_e$  las unidades de la temperatura  $T_t$  que es la temperatura antes de salir del inyector son (K).

$$\rho_e = \frac{P_b}{\frac{T_e R}{MW}}$$

$\rho_e$  representa la densidad a la salida del inyector.

$$A_e = \frac{\dot{m} g}{M e C_e \rho_e C_d}$$

$A_e$  representa el área a la salida del inyector,  $C_d$  es el coeficiente de descarga que depende del tipo de geometría del inyector.

$$C_d = \frac{Q}{0.0467 A_e \sqrt{\frac{P_g}{S}}}$$

$Q$  representa el caudal del gas en (m<sup>3</sup>/h),  $S$  es la densidad relativa del gas y  $P_g$  es la presión del gas en (mbar).

### 9.4.3 Diseño del inyector de aire

Es necesario saber el tiempo que tarda en inyectarse 1 kg de gas, a partir de este dato del tiempo y la relación AC de la estequiometria del combustible sabremos el flujo de aire necesario para la correcta combustión del combustible/aire.

$$t = \frac{1 \text{ kg gas}}{\dot{m}_g}$$

$$\dot{m}_{air} = \frac{ACR}{t}$$

Donde t es el tiempo en (s),  $\dot{m}_g$  es el flujo de gas, ACR es la relación aire/combustible real en (kg de aire/kg de combustible) y  $\dot{m}_{air}$  es el flujo masico del aire.

$$Q_{air} = \frac{\dot{m}_{air}}{\rho_{air}}$$

$Q_{air}$  es el caudal de aire en (m<sup>3</sup>/s) y  $\rho_{air}$  es la densidad del aire en (kg/m<sup>3</sup>).

A partir de conocer el caudal podremos calcular el diámetro de la sección más grande del inyector. Para la sección reducida del inyector de aire tendremos en cuenta unos valores recomendados.

Figura 28. Relaciones recomendadas para inyectores.

| Description  | Sketch | Additional Data | $K_L$             |                    |      |
|--|--------|-----------------|-------------------|--------------------|------|
| <b>Contraction</b><br>$\Delta P = K_L V^2 / (2 g_c)$ |        | $D_2/D_1$       | $\Phi = 60^\circ$ | $\Phi = 180^\circ$ |      |
|  |        |                 | 0.0               | 0.08               | 0.50 |
|  |        |                 | 0.20              | 0.08               | 0.49 |
|  |        |                 | 0.40              | 0.07               | 0.42 |
|  |        |                 | 0.60              | 0.06               | 0.32 |
|  |        |                 | 0.80              | 0.05               | 0.18 |
|  |        |                 | 0.90              | 0.04               | 0.10 |
| <b>Expansion</b><br>$\Delta P = K_L V^2 / (2 g_c)$   |        | $D_1/D_2$       | $\Phi = 10^\circ$ | $\Phi = 180^\circ$ |      |
|  |        |                 | 0.0               |                    | 1.00 |
|  |        |                 | 0.20              | 0.13               | 0.92 |
|  |        |                 | 0.40              | 0.11               | 0.72 |
|  |        |                 | 0.60              | 0.06               | 0.42 |
|  |        |                 | 0.80              | 0.03               | 0.16 |
|  |        |                 | 0.90              |                    |      |

Fuente: WES, Bussman. Industrial burners: handbook. CRC press. 2003. Cap. 3. p. 19. ISBN 0-8493-1386-4.

Las velocidades de circulación recomendadas están entre 10 a 15 m/s. el inyector de aire es para un proceso de contracción, lo cual va a permitir el fluido tenga una caída de presión y aumento de velocidad con el fin de conseguir una correcta mezcla de aire/combustible.

$$V_{salida} = \frac{Q_{air}}{A}$$

Donde  $V_{salida}$  es la velocidad de salida en (m/s),  $A$  es el área de orificio de salida del inyector y  $Q_{air}$  es el caudal de aire.

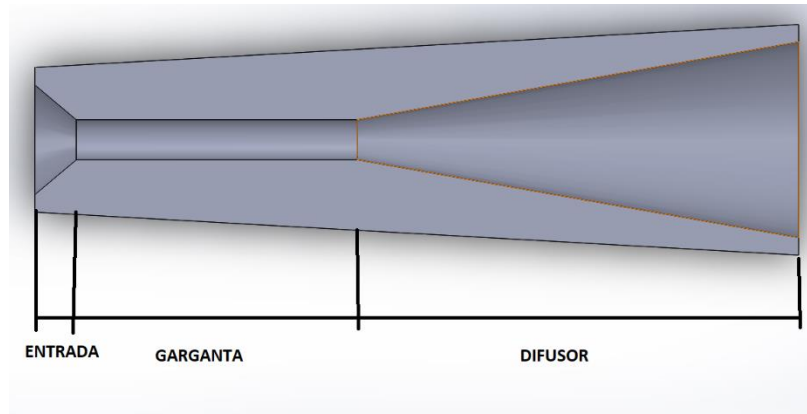
A partir de la figura 37 de las relaciones  $D2/D1$  y usando el ángulo de  $60^\circ$  definiremos las dimensiones del inyector. Para el proceso de cálculo se hará uso del software EES.

#### **9.4.4Diseño del mezclador**

Los diseños de mezcladores se han diversificado según la necesidad. Alguno lleva formas muy simples como un ducto cilíndrico y otra variación de su forma que llega a producir mejora en la mezcla de aire/gas y reducir emisiones de  $NO_x$ .

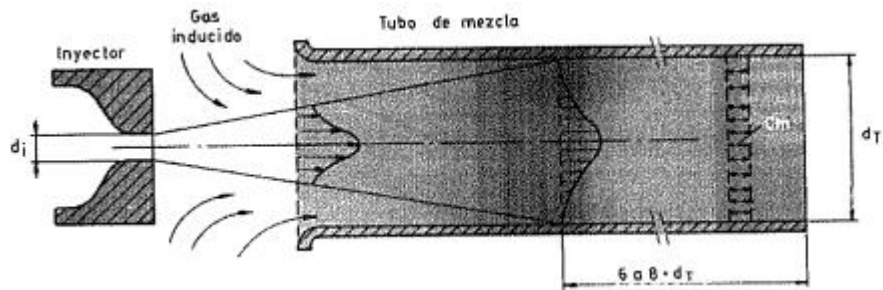
Para uno de los modelos más simple como se muestra en la figura a continuación, este mezclador se compone de tres partes iniciando con un núcleo que es donde se descarga el gas y el fluido a medida que avanza se va desapareciendo por la dilución. La dilución del gas descargado se extiende de 4 a 5 diámetros del inyector. La segunda parte es llamada zona de transición y va de 6 a 8 diámetros y luego inicia la zona de semejanza, que llega a prolongarse hasta los 100 diámetros.

Figura 29. Partes del mezclador.



Fuente: Autor.

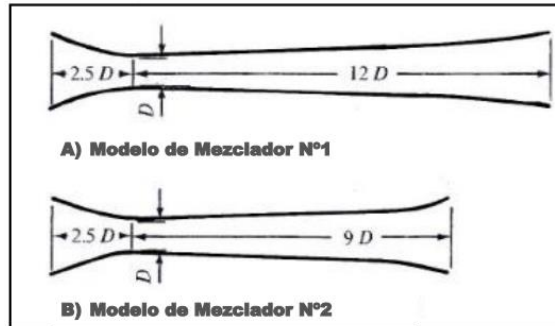
Figura 30. Descarga de chorro libre de premezcla aire/gas.



Fuente: MARQUEZ, MANUEL. Combustión y quemadores. Marcombo. España. 2005. Cap. 3. p. 65.

Algunas propuestas para el diseño de mezcladores de quemadores de baja potencia llevan un ángulo de  $40^\circ$  en la entrada y uno de  $7^\circ$  en el difusor, este tipo de mezcladores usan el difusor como mezclador y su garganta es una sección muy corta.

Figura 31. Dimensiones recomendadas para mezcladores.



Fuente: FULFORD, David. Biogas stove Design. Kingdom bioenergy Ltd. 1996.

Estos modelos de quemadores contemplan una inducción de aire atmosférico y gas a baja presión. Para nuestro caso se tendrá que ver que más implicaciones conlleva en la geometría del mezclador. Es importante que la entrada del mezclador tenga una forma de campana con el fin de reducir turbulencias e implicar negativamente en el comportamiento de los fluidos.

Para la garganta del mezclador debido a que el aire no es inducido directamente de la atmósfera, la longitud de la garganta va a estar comprendida en una relación de L/D (longitud/diámetro de garganta) que se estima de 5 a 7. Para nuestro caso se va a tomar 7 para que el quemador tenga un mayor rango de capacidad de mezcla.

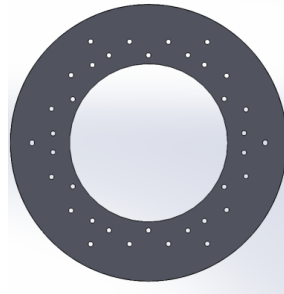
Para un chorro circular con velocidad uniforme el diámetro de la garganta del mezclado viene dado por la siguiente ecuación:

$$d^* = \left( \frac{\rho_o}{\rho_\infty} \right)^{\frac{1}{2}} d_o$$

Donde  $\rho_\infty$  es el fluido arrastrado,  $\rho_o$  es el fluido inductor,  $d_o$  es el diámetro de salida del inyector y  $d^*$  es el diámetro de la garganta del mezclador. Este diámetro de garganta será constante a lo largo de la longitud de la garganta, con el fin de dar mayor capacidad de mezcla.

El difusor lleva una suave transición con un ángulo entre los  $18^\circ$  y  $22^\circ$  con el fin de reducir las pérdidas de presión y un estabilizador de llama aguas abajo que consiste en tener agujeros que forman una llama piloto alrededor de la llama principal.

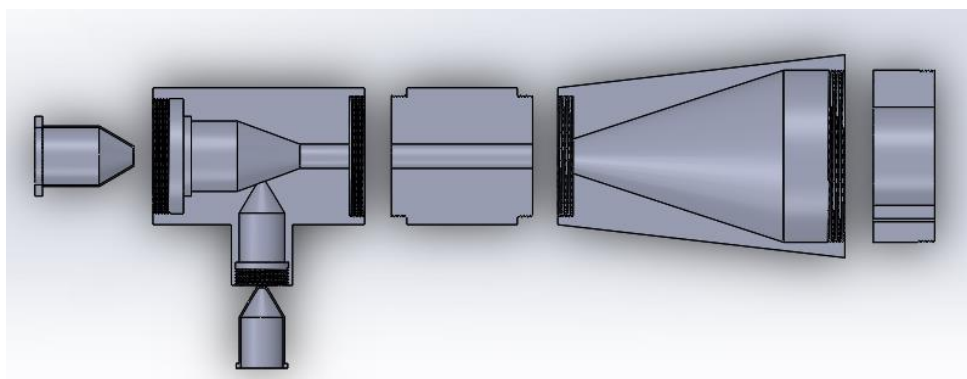
Figura 32. Estabilizador de llama con agujeros en forma hexagonal.



Fuente: Autor.

El estabilizador de llama consta de 36 agujeros de 2 mm de diámetro que permiten alcanzar altas temperaturas, mantener una llama corta y evitar el retroceso de llama. El acople de esta pieza al quemador se hace aguas abajo luego del difusor. En el Anexo C se puede diferenciar los resultados de cálculo para el quemador de gas natural.

Figura 33. Diseño final de quemador a gas.



Fuente: Autor.

## **9.5 SISTEMA DE SUMINISTRO DE BIOMASA**

### **9.5.1 Dimensiones de la cámara de combustión.**

la cámara de combustión va a estar conformado por una lámina ASTM A106 grado 60 con espesor de  $\frac{1}{4}$  [in] y un recubrimiento en concreto refractario. Sus respectivas dimensiones son de 1940 mm de largo y 250 mm de diámetro interno. La entrada de biomasa es de manera tangencial a la cámara de combustión. Estos datos parten de un posterior análisis de un diseño de caldera<sup>20</sup>.

### **9.5.2 Velocidad del flujo de aire y combustible**

los datos para los flujos mínimos y máximos de operación del quemador para el suministro de biomasa son tomados de Diseño y construcción<sup>21</sup>, tesis desarrollada en la universidad industrial de Santander.

El suministro de biomasa se realiza a través de un tornillo sin fin y requiere de un flujo de aire mínimo para desplazarse a la cámara de combustión y otra cantidad de aire para su quema completa. El suministro de combustible va a estar comprendido entre 15 y 25 kg/h. La cantidad de aire necesaria viene dada por la relación Aire/Combustible que nos proporciona la estequiometría.

---

<sup>20</sup> ESCORCIA, Karol Melisa, GONZALEZ, Juan Carlos. Diseño de una caldera pirotubular que use biomasa como combustible, para la generación del vapor de arrastre de un destilador de aceites esenciales. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica. Bucaramanga. 2012

<sup>21</sup> HERRERA, Dairon Fernando, APARICIO, Andrés Mauricio. Diseño y construcción de un quemador ciclónico de biomasa para el laboratorio de combustión de la escuela de ingeniería mecánica. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica. Bucaramanga. 2022.

### **9.5.3 Suministro de aire**

A partir de la necesidad de biomasa y relación Aire/Combustible se selecciona un ventilador capaz de suministrar el flujo necesario para garantizar una quema completa en la cámara de combustión. El modelo seleccionado es un ventilador de un caudal máximo de 272 m<sup>3</sup>/h, tensión de 220 V, potencia de ½ HP y velocidad de 3450 RPM.

### **9.5.4 Sistema de suministro de biomasa**

Este proceso viene conformado de una tolva de almacenamiento, zona de descarga y un tornillo sin fin para transportar la biomasa a la tubería donde va a ser arrastrada a la cámara de combustión.

#### **9.5.4.1 Tolva**

Se definió una forma cónica que pueda garantizar la no aglomeración de material y mantener una caída de biomasa uniforme. A partir de información recopilada [Diseño de tolvas y silos] se define un ángulo máximo de la pared ( $\theta$ ) 23° y un diámetro de descarga comprendido entre 38 y 45 [mm]. Estas dimensiones son las más recomendadas para granulometrías comprendidas entre 125 – 750  $\mu$ m. El volumen de almacenamiento de la tolva corresponde a 8 Lt.

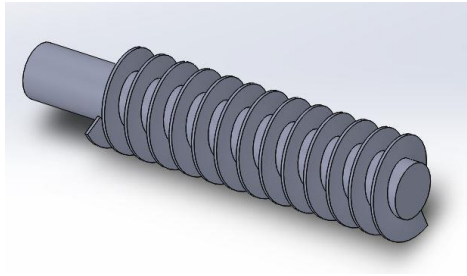
#### **9.5.4.2 Tornillo sin fin**

El tornillo cuenta con un diámetro en el eje de 3/4" y diámetro del helicoidal de 1-1/2". Las dimensiones y el proceso de cálculo de la potencia necesaria se tomaron del Catálogo General de Productos de Martin Sprocket&Gear<sup>22</sup>.

---

<sup>22</sup> MARTIN. Catalogo general de productos de Martin Sprocket&Gear. Transportadores helicoidales.

Figura 34. Tornillo sin fin.



Fuente: Autor.

En la Tabla 1-1 del manual ANEXO F, la clasificación del material para nuestro caso corresponde a B6 (Fino, malla No. 6) que da un margen de tolerancia para garantizar la no aglomeración del material.

En el cuadro 8 están los datos tomados de la tabla 1-2 ANEXO G del manual, donde se busca el tipo de material a trabajar y se extrae información necesaria para los posteriores cálculos.

Cuadro 8. Características de los materiales.

| Material | Densidad Lb/ft3 | codigo material | selección de rodamiento | series de componentes | factor de material | carga artesana |
|----------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|--------------------|----------------|
| Aserrin  | 10 a 13         | B6-45Ux         | C S B                   | 1                     | 1.4                | 15             |

Fuente: MARTIN. Catálogo General de Productos de Martin Sprocket&Gear. p.H-8.

Se determina la velocidad del transportador que para nuestro caso es de paso estándar y completo.

$$N = \frac{\text{Capacidad requerida en pies cubicos por hora}}{\text{pies cubicos por hora a 1 PRM}} v$$

La capacidad mínima requerida es de 4.188 ft<sup>3</sup>/h. A 1 RPM su capacidad de carga es de 0.21 ft<sup>3</sup>/h Tabla 1-6. Las RPM máximas serán de 60 y capacidad máxima de carga de 15 ft<sup>3</sup>/h. La longitud L del tornillo es de 12" y el buje que lleva es de Nylon con un factor Fbde 2 Tabla 1-13 ANEXO I, el factor del diámetro del transportador Fd corresponde a 12 Tabla

1-12 ANEXO H. La potencia requerida para mover el transportador vacío corresponde a 1.44E-3 HP.

$$HPf = \frac{l * N * Fd * fb}{1000000}$$

HPf: Potencia necesaria para mover el transportador vacío.

A las RPM máximas la capacidad de carga C es de 15 ft<sup>3</sup>/h, el factor del helicoidal Ff es de 1 debido a ser tipo estándar Tabla 1-14 ANEXO J, el factor del material Fm es de 1.4 Cuadro 8, el factor de sobrecarga Fo es de 3 Tabla 1-16, el factor de paletas debido a que no se consideran en el diseño es de 1 y la eficiencia e considerando que el tornillo se ajuste de manera directa al motor corresponde a 0.95. El valor de la potencia necesaria para mover el material corresponde a 2.1E-4 HP.

$$HPm = \frac{C * L * W * Ff * Fm * Fp}{1000000}$$

W: Densidad en Lb/ft<sup>3</sup>

HPm: Potencia necesaria para mover el material.

La potencia total viene dada por la suma de las potencias HPm y HPf de la siguiente manera:

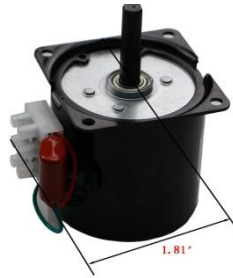
$$HPtotal = \frac{(HPf + HPm) * Fo}{e}$$

$$HPtotal = 0.005 HP$$

#### 9.5.4.3 Motor reductor

Teniendo en cuenta las necesidades de potencia, velocidad máxima de giro y un torque mínimo de 5.5E-3 Lb.pulgada. Se selecciona un motor reductor de doble rodamiento sincrónico, con un par de arranque de 2.6 Lb.pulgada, potencia de 10 w, de 115V/60HZ a 60 RPM.

Figura 35. Motor reductor.



Fuente: RETAFE. Motor reductor de doble rodamiento síncrono.

## 9.6 EQUIPOS AUXILIARES

Estos equipos son los necesarios para tener control del encendido, llama en funcionamiento y seguridad en la operación.

### 9.6.1 sistema de encendido por electrodo

Consiste en ubicar electrodos en la salida de la mezcla de aire y gas. Estos electrodos producen una llama que permite dar inicio al proceso de combustión. Este electrodo de tipo THD con tres agujas de ignición es elaborado en cerámica industrial, tiene una resistencia de voltaje de hasta 25 Kv.

Figura 36. Electro de encendido.



Fuente: SHANGHAI YUNNUO. Burner electrode. Disponible en: [https://es.made-in-china.com/co\\_53751844dacfa7eb/product\\_Ignition-Electrode-Sensor-Spark-Plug\\_uourrhrggy.html](https://es.made-in-china.com/co_53751844dacfa7eb/product_Ignition-Electrode-Sensor-Spark-Plug_uourrhrggy.html)

### 9.6.2 detector de llama

Es un dispositivo de seguridad que en caso de no ocurrir el encendido del quemador después de un tiempo o al presentarse extinción de llama permite tener una señal de cierre de la válvula de suministro de gas.

Figura 37. Detector de llama.



Fuente: CONTROLS BURNER. Sensor de llama varilla13093-5. [Sitio web]. [Consulta: 28 de marzo 2022]. Disponible en: <https://mercadolibre.com>

### 9.6.3 válvula de cierre rápido

Opera normalmente en posición abierta de paso total para evitar pérdidas, en caso de recibir una señal del detector de llama o fallo de corriente efectúan el cierre total del paso de combustible. Esta válvula es de 1/1 pulgada, opera a 110 AC.

Figura 38. Válvula solenoide de ½ pulgada.



Fuente: CHONGQING TECHNOLOGY CO. Solenoid valve. [Sitio web]. [Consulta: 28 marzo de 2022]. Disponible en: [https://www.alibaba.com/product-detail/Infrared-gas-burner-controller-electric-pulse\\_60310299008.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Infrared-gas-burner-controller-electric-pulse_60310299008.html)

### 9.6.4 sistema de control

El cerebro se encarga de emitir las señales necesarias para cerrar el paso de combustible (gas natural) y encender una alarma. Este sistema también permite emitir el pulso de

ignición manejando una duración de diez segundos para cada uno de los procesos, una vez la llama se ha encendido el piloto se apaga y la verificación de presencia de llama se activa.

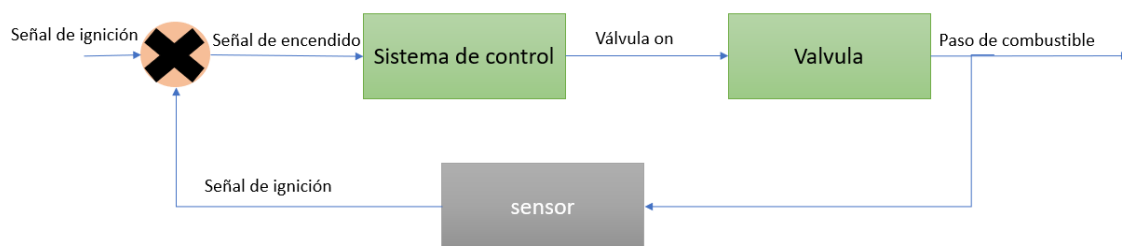
Figura 39. Sistema de control



Fuente: CHONGQING TECHNOLOGY CO. Infrared gas burner controller. [Sitio web]. [Consulta: 28 de marzo 2022]. Disponible en: [https://www.alibaba.com/product-detail/Infrared-gas-burner-controller-electric-pulse\\_60310299008.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Infrared-gas-burner-controller-electric-pulse_60310299008.html)

### 9.6.5 Esquema de control

Figura 40. Esquema del sistema de control.



Fuente: Autores.

## 10 ANALISIS DE CALDERA CERO DIMENSIONAL

### 10.1 PROPIEDADES DE LOS GASES DEL COMBUSTIBLE

La relacion entre la masa de un componente y la masa de la mezcla se conoce como fraccion de masa ( $f_m$ ), y la relacion entre el numero de moles de un componente y el numero de moles de la mezcla se denomina fraccion molar ( $y$ ).

La fracción másica se define como:

$$f_m = \frac{m_i}{m_m}$$

La fracción molecular se define como:

$$y = \frac{N_i}{N_m}$$

La masa de una sustancia puede expresarse en términos del número de moles y la masa molar de la sustancia como:

$$M = \frac{m}{N}$$

Y para completar los datos necesarios para las siguientes funciones de transferencia de calor utilizado en el diseño de caldera que fue seleccionado de la tesis “Diseño de una caldera piro tubular que use biomasa como combustible, para la generación del vapor de arrastre de un destilador de aceites esenciales”<sup>23</sup> con respecto a la temperatura adecuada que se implementó para la oxidación del Bio-Sólido y el Gas Natural, por el cual serán necesarios para obtener los datos de los gases de la caldera.

---

<sup>23</sup> ESCORCIA Karol y GONZALES Juan. Diseño de una caldera pirotubular que use biomasa como combustible, para la generación del vapor de arrastre de un destilador de aceites esenciales, Facultad de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander del 2012.

## 10.2 PARAMETROS DE CALDERA

Estos datos fueron tomados de la caldera mencionada anteriormente con el fin de modelar los datos de combustión y obtener la energía necesaria para poder cumplir con el objetivo a buscar, por ende, se analiza las múltiples opciones que nos deposita la tabla de diseño.

Cuadro 9. Parámetros de diseño y operación

| Parámetros                          | Cantidad      |
|-------------------------------------|---------------|
| Diámetro del casco [in]             | 40            |
| Diámetro del tubo principal [in]    | 10            |
| Diámetro del tubos secundarios [in] | 2,067         |
| Espesor de aislamiento [in]         | 3,21          |
| Números de tubos secundarios [in]   | 44            |
| Emisividad de la superficie         | 0,8 (0,6-0,9) |

Fuente: ESCORCIA Karol y GONZALES Juan. Diseño de una caldera piro tubular que use biomasa como combustible, para la generación del vapor de arrastre de un destilador de aceites esenciales, Facultad de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander del 2012. p.57-73

## 10.3 TRANSFERENCIA DE CALOR

### 10.3.1 Sistema de calor de los tubos de caldera

Por parte del gas que pasan por la cámara de combustión y los números de tubos se analizara el balance de energía que pasa por el interior de cada etapa, para este caso la caldera piro tubular seleccionada cuenta con dos etapas para la evaporación del agua, con el fin de encontrar la eficiencia energética que se busca obtener.

$$Q_g = dQ_c + dQ_r$$

Donde

$Q_g$ =Diferencial de calor de los gases de combustión [kJ/s]

$Q_c$ =Diferencial de calor por convección [kJ/s]

$Q_r$ =Diferencial de calor por radiación [kJ/s]

Como el análisis de la caldera se efectúa por el cambio de temperatura desde un máximo hasta que sale por la chimenea, se realiza una ecuación que proceda a un cambio de temperatura paso a paso con respecto a la longitud que pasa por todas las etapas de la caldera hasta que logre salir al ambiente, el cual se hará de la siguiente manera.

$$Q_g = m_g C p_g (T_2 - T_1)$$

$$Q_g = m_g C p_g (-dT_g)$$

Con la diferencial de temperatura (dT<sub>g</sub>) se determina de punto a punto el cambio de temperatura que da como resultado, la caldera hasta llegar a su destino final, que es hacia la atmosfera. Con la siguiente ecuación se evalúa de forma teórica como disminuye la temperatura con respecto a la distancia.

$$T_g = \int_{0.001}^{Lt} dT_g * dS + T_{g0}$$

Donde

m<sub>g</sub>=Flujo masico de los gases de combustión

Cp<sub>g</sub>=Calor especifico de los gases de combustión

dT<sub>g</sub>=Diferencial de temperatura de los gases de combustión

### 10.3.1.1 Calor por radiación

La transferencia de calor por radiación como se está trabajando con combustible gaseosos se tendrán en cuenta para este caso el proceso de emisividad y absortividad que se encontrara en los gases de la cámara de la caldera ya que aborda el intercambio de radiación entre las paredes y también son utilizados cuando se encuentra altas temperaturas en el interior del hogar. Para obtener el diferencial de calor por radiación se tomará la siguiente ecuación.

$$Q_r = \frac{\varepsilon_s dA_s (\varepsilon_g Ebg - \alpha_g Ebs)}{\alpha_g + \varepsilon_s - \varepsilon_s \alpha_g}$$

Donde

$dA_s$ = Diferencial de área

$\epsilon_s$ =Emisividad de la superficie

$\epsilon_g$ =Emisividad de los gases de combustión

$\alpha_g$ =Absortividad de los gases de combustión

El parámetro  $E_{bs}$  y  $E_{bg}$  son los puntos potenciales de la superficie del tubo en la caldera y los gases de combustión.

$$E_{bg} = \sigma(T_g + 273.5)^4 \quad y \quad E_{bs} = \sigma(T_s + 273.5)^4$$

Donde

$\sigma=5.670 \times 10^{-8}$  Constante de Stefan-Boltzmann

### **10.3.1.2 Proceso de emisividad y absortividad en la caldera**

Como es sabido para una caldera, sus gases de producto a altas temperatura y con moléculas asimétricas en su combustión hacen parte de su proceso de radiación por emisividad y absortividad, como caso teórico en las cámaras de combustión en su contenido se logra obtener una gran cantidad de H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>, ya que la demás molécula de los productos es demasiada baja por lograr conseguir un buen resultado. Cuando se obtiene un resultado de temperatura alta con moléculas asimétricas se debe considerar un análisis relativo a la radiación por varias razones<sup>24</sup>:

- Un medio participante emite y absorbe radiación en todo su volumen.
- Los gases emiten y absorben radiación en varias bandas angostas de longitudes de onda
- Las características de emisión y absorción de los constituyentes de una mezcla de gases también dependen de la temperatura, presión y composición de esa mezcla.

---

<sup>24</sup> Yunus A. Cengel y Afshin J. Ghajar. Transferencia de calor y masa. Cuarta Edicion. p. 764-765

### 10.3.1.3 Emisividad de la mezcla de gases de combustión

El proceso de emisividad como es sabido es utilizado a temperaturas altas y para este proceso participan en el intercambio de radiación las moléculas de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, para obtener el resultado de emisividad de los gases se utilizará la temperatura de los gases tomado de proceso de combustión del quemador hibrido. y la longitud media del volumen del gas. En este proceso se tiene dos métodos que es el de Hottel (1954) que presentó los gráficos para la corrección y el de Leckner (1972) que proporcionó las expresiones algebraicas.

$$\varepsilon = \varepsilon_{H_2O} C_{H_2O} + \varepsilon_{CO_2} C_{CO_2} - \Delta\varepsilon$$

Donde

$\Delta\varepsilon$ =Factor de corrección de la emisividad

$\varepsilon_{H_2O}$ =Emisividad de H<sub>2</sub>O

$\varepsilon_{CO_2}$ =Emisividad de CO<sub>2</sub>

$C_{H_2O}$ =Factor de corrección por la presión del H<sub>2</sub>O

$C_{CO_2}$ =Factor de corrección por la presión del CO<sub>2</sub>

### 10.3.1.4 Factor de corrección de la emisividad

Para poder obtener el Factor de corrección de la emisividad el método de Leckners diseño una ecuación con respecto a las gráficas de Hottel donde se toma la longitud media del volumen del gas dentro de la caldera y un factor de corrección de presiones.

$$\Delta\varepsilon = \left( \frac{\zeta}{10.7 + 101} - 0.0089\zeta^{10.4} \right) [\text{Log}_{10}(P * L_e)]^{2.76}$$

$$\zeta = \left( \frac{P_{H_2O}}{P_{H_2O} + P_{CO_2}} \right)$$

En cuanto la longitud media se tomó la forma arbitraria del volumen V y área superficial A<sub>s</sub> irradiando hacia la superficie<sup>25</sup>.

---

<sup>25</sup> Yunus A. Cengel y Afshin J. Ghajar. Transferencia de calor y masa. Cuarta Edición. p. 770

$$L = \frac{3.6V}{A_s}$$

### 10.3.1.5 Emisividad para h2o y co2<sup>26</sup>

Leckner (1972) ofrece correlaciones empíricas para la emisión total derivada de los cálculos que suman el comportamiento de banda estrecha sobre el espectro para el vapor de agua y el CO2. Las expresiones más precisas de Leckner acuerdan dentro del 5% a los valores calculados a partir de datos espectrales para  $T > 400$  K como se puede ver en el Anexo K las constantes del dióxido de carbono y vapor de agua, y están de acuerdo con los gráficos de hoteles para rangos donde Hottel basó los gráficos en datos experimentales. La ecuación de correlación de emisividades.

$$\varepsilon(T, P * L_e) = \exp \left\{ a_0 + \sum_{j=1}^M a_j [\text{Log}(P * L_e)]^j \right\}$$

$$a_j = C_{0j} + \sum_{i=1}^N C_{ij} \left( \frac{T}{1000} \right)^i$$

La tendencia con la temperatura es que la emitancia generalmente disminuye al aumentar la temperatura del vapor de agua. Por el contrario, el CO2 tiene a alcanzar un pico de emitancia de los 1200K.

### 10.3.1.6 Absortividad de la mezcla de gases de combustión

El cálculo de absortividad es similar al de la emisividad con una diferencia entre la temperatura del gas con respecto a la temperatura de la superficie de los tubos y la cámara de combustión, en el calcula algebraico del factor de correlación en de la emisividad se utilizará la temperatura de la superficie.

$$\alpha_{CO_2} = \left[ \frac{T_g}{(T_s + 273)} \right]^{0.65} \varepsilon_{CO_2} C_{CO_2}$$

<sup>26</sup> Libro-Thermal Radiation Heat Transfer, 5th Edition. Tabla 9.9

$$\alpha_{H_2O} = \left[ \frac{T_g}{(T_s + 273)} \right]^{0.45} \varepsilon_{H_2O} C_{H_2O}$$

$$\alpha_g = \alpha_{H_2O} + \alpha_{CO_2} - \Delta\varepsilon$$

### 10.3.2 Cálculo de convección

La transferencia de calor por convección se da por el movimiento de los gases de combustión dentro de la caldera establecida. Donde la temperatura superficial del hogar y tubos varían para el caso de un flujo constante de calor en su zona.

$$dQ_c = h dA_s (T_g - T_s)$$

Donde:

As: área de la superficie

h: coeficiente de transferencia de calor

Ts: la temperatura de la superficie

Tg: la temperatura del gas

Para el coeficiente se utiliza la ecuación de Dittus-Boelter que se utiliza para flujo turbulentos en tubos, como el proceso el fluido tiende a cambia su temperatura de caliente a frio el valor a utilizar en "n" será igual a 0.3. La ecuación de Dittus-Boelter es igual a<sup>27</sup>:

$$Nu = 0.023 Re_{tp}^{0.8} Pr_{gas}^n = \frac{h_{tp} D_{tp}}{k_{gas}}$$

$$Re_{tp} = \frac{m_{gases} D_{tp}}{Ac * \mu_{gas}}$$

$$Ac = \left( \frac{\pi}{4} \right) D_{tp}^2$$

---

<sup>27</sup> Yunus A. Cengel y Afshin J. Ghajar. Transferencia de calor y masa. Cuarta Edición. p. 487

### 10.3.3 Calor de ebullición nucleada

En el proceso de transferencia de calor se encuentra dos fuentes de calor igualados uno por flujo gases que transfiere el calor al agua en su punto de ebullición,

$$Q_{boiling} = Q_g$$

Donde la ecuación de Rohsenow nos ayuda a obtener los resultados apropiados del calor por ebullición nucleada es:

$$Q_{boiling} = \int_{0.001}^{Lt} dQ_{boiling} * dS$$

$$dQ_{boiling} = dQ_g$$

$$Q_{boiling} = d\dot{A}_s * q_{nucleada}$$

$$q_{nucleada} = \mu_l h_{fg} \left[ \frac{g(\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right]^{1/2} \left[ \frac{C_p(T_s - T_{sat})}{C_{sf} h_{fg} Pr_l^n} \right]^3$$

Donde

$q_{nucleada}$  = flujo de calor en la ebullición nucleada [kJ/s\*m<sup>2</sup>]

$\mu_l$  = viscosidad del líquido [kg/m\*s]

$h_{fg}$  = entalpía de vaporización [kJ/kg]

$g$  = aceleración gravitacional [m/s<sup>2</sup>]

$\rho_l$  = densidad del líquido[kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_v$  = densidad del vapor[kg/m<sup>3</sup>]

$\sigma$  = tensión superficial de la interfase líquido-vapor[N/m]

$c_{pl}$  = calor específico del líquido [kJ/kg\*°C]

$T_s$  = temperatura superficial del calentador, [°C]

$T_{sat}$  = temperatura de saturación del fluido, [°C]

$C_{sf}$  = constante experimental dependiente de la combinación superficie-fluido

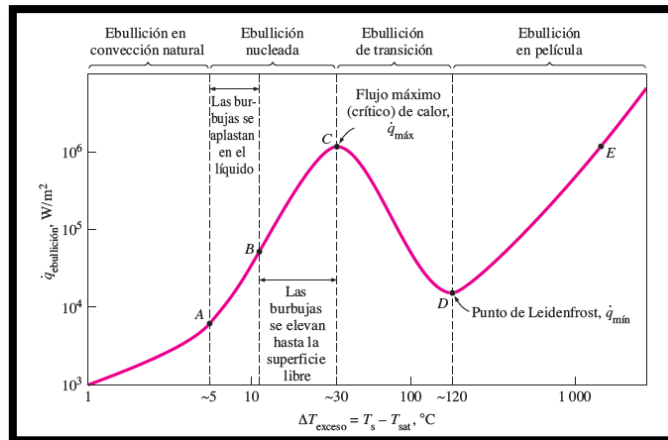
$Pr_l$  = número de Prandtl del líquido

$n$  = constante experimental que depende del fluido

Las propiedades del fluido que se encuentran en la ecuación son evaluadas con respecto a la temperatura de saturación y por otro lado las constantes experimentales son tomadas de Anexo L para nuestro proceso.

Lo que se busca encontrar es la temperatura superficial de los tubos por la forma de iteración numérica. Donde se hace una ecuación en el cual como nos muestra la gráfica # tiene un parámetro máximo y mínimos de temperatura en exceso a utilizar ( $5^\circ\text{C} \leq \Delta T_{\text{exceso}} \leq 30^\circ\text{C}$ ) que depende fuertemente de la naturaleza nucleada.

Figura 41. Ebullición.

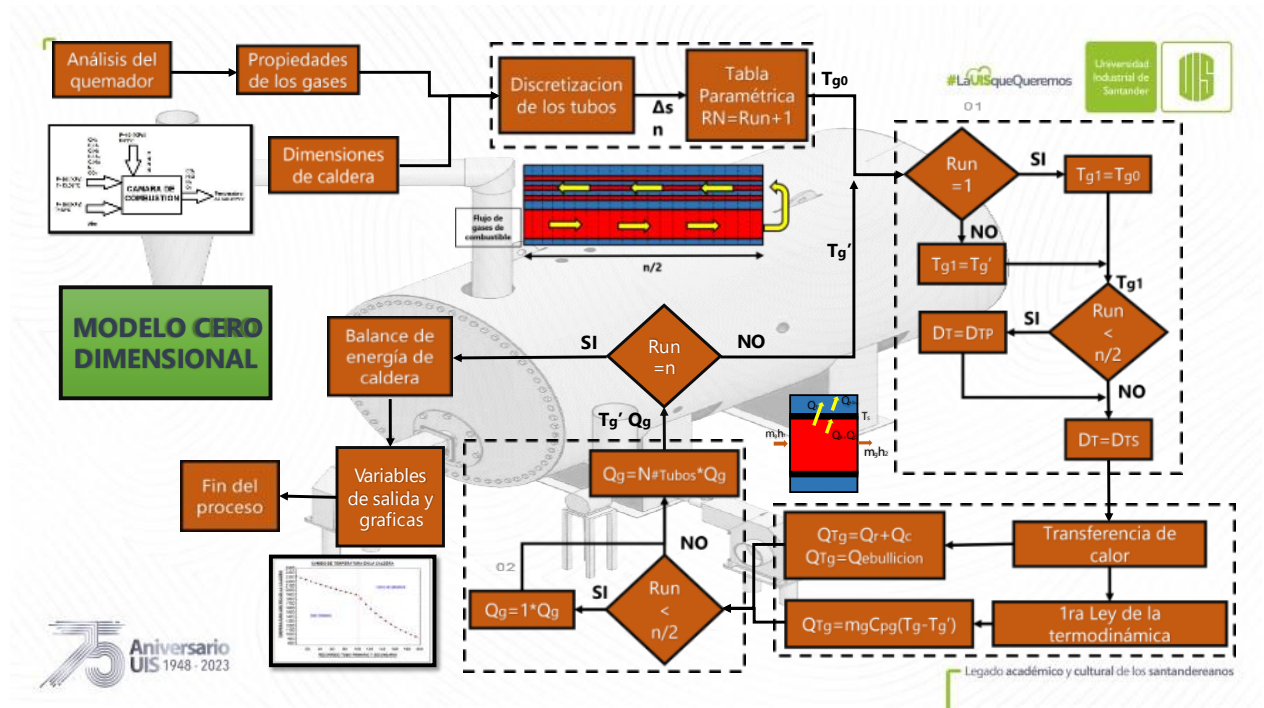


Fuente: Yunus A. Cengel y Afshin J. Ghajar. Transferencia de calor y masa. Cuarta Edición.

La ecuación de iteración para la temperatura de la superficie será igual a

$$T_s = \Delta T_{\text{Exceso}} + T_{\text{sat}}$$

Figura 42. Diagrama de flujo del modelo cero dimensional.



Fuente: Autor

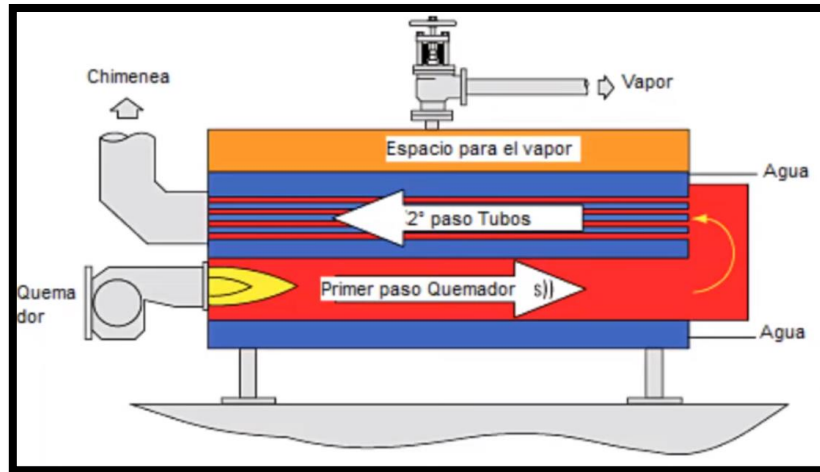
## 11 DISEÑO DE CALDERA

La caldera es un recipiente metálico cerrado que va a producir calor a una temperatura por encima de la temperatura ambiente y presión mayor a la atmosférica este tipo de calderas piro tubulares está conformado por:

- Quemador
- Hogar (Camara de combustion)
- Cámara de humo
- Tubos de intercambio de calor
- Chimenea
- Cámara de agua
- Cámara de vapor
- Separador liquido-vapor
- Carcasa

Su principio básico de funcionamiento consiste en una cámara donde se produce la combustión a través del aire comburente y a través de una superficie de intercambio se realiza la transferencia de calor, la estructura de la caldera dependerá de muchas maneras, dependiendo para que tipo de funcionamiento será utilizado y demás proporciones de diseño que se le integrara.

Figura 43. Caldera piro tubular dos etapas



Fuente: VARGA TORRE, Leonardo. Generadores de vapor clase 19 - Clase teórica. [Sitio web] (Consulta: 4 de diciembre 2022). Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=HftPVBKIm9U>

Para esta unidad trataremos con las dimensiones que se encuentran sometidas a esfuerzos, desgastes corrosión o cualquier circunstancia que comprometa la integridad física de la caldera logrando obtener su buen funcionamiento y seguridad. El diseño de caldera está basado con las normas técnicas ASME y TEMA para recipientes de presión, estas normas se encuentran avaladas por industria de Colombia.

Presión de operación: presión manométrica a la cual estará sometida la caldera en condiciones de operación normal, la seleccionada para nuestro diseño es de:

$$P_{op} = 90 [Psi]$$

Presión de diseño: Para efectos de cálculos es la máxima presión que soporta la caldera en condiciones extremas, según la norma puede ser 30 [psi] mayor que la presión de operación o en 10% mayor que esta (se toma la mayor de las dos)

$$P_{dis} = P_{op} + 30 = 120 [Psi]$$

o

$$P_{dis} = 1,1 * P_{op} = 99 [Psi]$$

Sin embargo, debido a que los componentes encontrados en la industria local no se pueden tomar a menos de 150 [psi] se toma como presión de diseño 150 [psi]

$$P_{dis} = 150 [Psi]$$

Temperatura de diseño: Se define como la temperatura utilizada en el diseño de la caldera, según la norma, no debe ser menor de 650°F = 618K

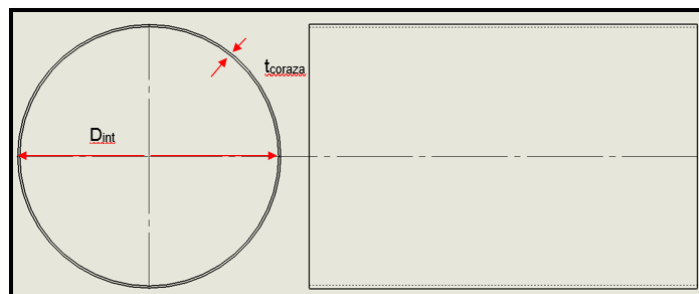
$$T_{dis} = 750 [°F] = 672 [K]$$

### 11.1 CALCULO DE ESPESOR DEL CASCO DE LA CALDERA

Para la construcción de las partes de la caldera sometidas a esfuerzos debido a la presión, el código prevé que hay situaciones en donde no se pueden usar los materiales listados, en cuyo caso se recomienda usar materiales homólogos o equivalentes. Después de revisar los materiales listados en el código se escogió el acero ASTM A516 por su disponibilidad en el mercado nacional.

Según el código ASME sección VIII división 1 PG-27.2.2.: tubos sometidos a presión interna.

Figura 44. Espesor de la coraza



Fuente: Autor

$$t_{coraza} = \frac{P * D_{int}}{2 * S_{AS516} * E - 2 * y * P} + C_A$$

Dónde:

$t$ , Es el espesor del casco

$P$ , Presión de diseño

$D$ , Diámetro interno de la coraza

$S$ , Esfuerzo máximo permitido para el material

$E$ , Eficiencia de junta de soldadura

$y$ , Coeficiente de temperatura

$C$ , Tolerancia al desgaste por corrosión

El valor de  $S$  (Esfuerzo de tensión permisible para el material ferrosos a temperatura de diseño), ASTM A516 de grado 70 (acero seleccionado)<sup>28</sup>.

El valor de  $E$  se tomó según lo establecido en PG-27.4.1.<sup>29</sup>.

El valor de  $y$  se toma de PG-27.4.6 según el tipo de material y la temperatura de trabajo<sup>30</sup>.

El resultado obtenido fue de 0.33 in de espesor en la coraza que se encuentra en contacto con el agua (coraza inferior), teniendo en cuenta la norma ASME, especifica que para diámetros internos de corazas entre 36 y 54 pulgadas, el espesor mínimo debe ser de 5/16 in (0.3125 in); por otro lado se le aplicara una coraza exterior del mismo materia que recubrirá el cuerpo en su totalidad a la caldera y esto se tendrá en cuenta con la norma

---

<sup>28</sup> ASME. Boiler and Pressure Vessel Code, Section II, Part D. New York: The American Society Of Mechanical Engineers, Edition 2017. p. 18-21. Library of Congress Catalog Card Number: 56-3934.

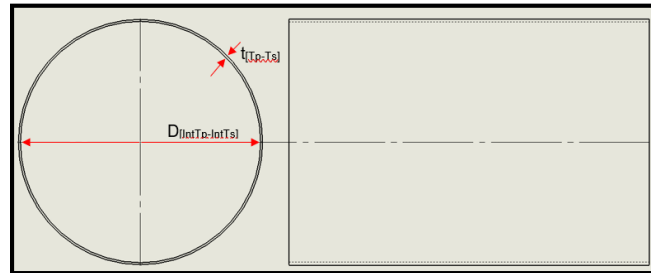
<sup>29</sup> ASME. Boiler and Pressure Vessel Code, Section I, Rules For Construction Of Power Boilers. New York: The American Society Of Mechanical Engineers, Edition 2010. p. 18. Library of Congress Catalog Card Number: 56-3934.

<sup>30</sup>Ibíd. p. 19.

TEMA diámetros internos de corazas entre 40 y 60 pulgadas, el espesor mínimo debe ser de 0.5 in<sup>31</sup>.

## 11.2 CALCULO DEL ESPESOR DE LOS TUBOS DE LA CALDERA

Figura 45. Parametro de dieño de tubos primario y secundario de la caldera.



Fuente: Autor.

Las medidas de los tubos de humos y del hogar que se asumieron durante el diseño térmico son de tubos comerciales que se encuentran en el mercado nacional conocidos como tubería sin costura para caldera. Es importante verificar que los tubos cumplan con los espesores mínimos de pared requeridos. Para ello se sigue un procedimiento detallado en el código en la parte PFT-51, el cual es usado para espesores de hogares y tubos sometidos a presión externa.

### 11.2.1 Espesor de los tubos secundarios

En este caso se consideró un acero al carbón ASTM A192 por su disponibilidad comercial en la presentación de tubos sin costura con espesor mínimo de pared para servicio a alta presión.

La norma ASME para el acero A192 tiene como requisito que para diámetro exterior de 0.5 in a 7 in el espesor mínimo para trabajar será desde 0.085 in

Después de seleccionar el material se calcularon las siguientes relaciones:

---

<sup>31</sup>CIA, General de Aceros. LÁMINA A516 GRADO 70. [Sitio web].[Consulta: 4 de diciembre del 2022]. Disponible en: <https://www.cga.com.co/producto/lamina-a516-grado-70/>

$$r_{1Ts} = \frac{D_{ExtTs}}{t_{Ts}}$$

$$r_{2Ts} = \frac{L_{Ts}}{D_{ExtTs}}$$

$r_{1Ts}$  y  $r_{2Ts}$ , Relaciones empleadas para comprobar el espesor mínimo requerido en los tubos secundarios

$D_{ExtTs}$ , Diámetro externo de los tubos secundarios

$t_{Ts}$ , Espesor de los tubos secundarios

$L_{Ts}$ , Longitud de los tubos secundarios

Con los valores anteriores se ingresó, en la Tabla G, de la Sección II, Parte D, del código para obtener el valor de A y según la tabla CS-1 se determina el factor B<sup>32</sup>.

Finalmente, la presión de trabajo máxima se calculó según lo estipulado en el código mediante la siguiente expresión.

$$P_{aTs} = \frac{4 * B_{Ts}}{3 * r_{1Ts}}$$

Cuadro 10. Selección de espesor de tubo secundario de acuerdo con el código ASME.

| t [in] | R1    | R2     | A       | B [Psi] | Presion [Psi] |
|--------|-------|--------|---------|---------|---------------|
| 0,05   | 43,34 | 14,44  | 0,00062 | 5366,39 | 165,094       |
| 0,1    | 21,67 | 25,348 | 0,0025  | 7251,88 | 446,2         |

Fuente: Autor

El espesor del tubo debe de tener una capacidad de resistencia de presión mayor que la presión de diseño (150 Psi), entonces el espesor de 0.05 in con el requerimiento y además se debe de tener en cuenta la tolerancia al desgaste por corrosión (1/8 in), por

<sup>32</sup> ASME. Boiler and Pressure Vessel Code, Section II, Part D. New York: The American Society Of Mechanical Engineers, Edition 2017. p. 844-846. Library of Congress Catalog Card Number: 56-3934.

lo tanto, el tubo seleccionado es ASTM A192 de 0.18 [in] con diámetro exterior de 2.43 [in]<sup>33</sup>.

### 11.2.2 Espesor del tubo principal

Para tubo principal se selecciona el ASTM A106, que son tubos de acero para temperaturas intermedias y altas. Relaciones empleadas para comprobar el espesor mínimo requerido en el tubo principal:

$$r_{1Tp} = \frac{D_{ExtTp}}{t_{Tp}}$$

$$r_{2Tp} = \frac{L_{Tp}}{D_{ExtTp}}$$

$r_{1Tp}$  y  $r_{2Tp}$ , Relaciones empleadas para comprobar el espesor mínimo requerido en los tubos primario

$D_{ExtTp}$ , Diámetro externo de los tubos primario

$t_{Tp}$ , Espesor de los tubos primario

$L_{Tp}$ , Longitud de los tubos primario

Con los valores anteriores se ingresó, en la Tabla G, de la Sección II, Parte D, del código para obtener el valor de A y según la tabla CS-1 se determina el factor B<sup>34</sup>. Finalmente, la presión de trabajo máxima se calculó según lo estipulado en el código mediante la siguiente expresión.

---

<sup>33</sup>Perpetual Steel Manufacturing Co.Ltd. Tubería de acero al carbono ASTM A192. [Línea] (Recuperado el 04 de diciembre del 2022) Disponible en:<https://www.permanentsteel.com/es/newsshow/astm-a192.html> .

<sup>34</sup>ASME. Boiler and Pressure Vessel Code, Section II, Part D. New York: The American Society Of Mechanical Engineers, Edition 2017. p. 844-846. Library of Congress Catalog Card Number: 56-3934.

$$P_{aTp} = \frac{4 * B_{Tp}}{3 * r_{1Tp}}$$

Cuadro 11. Selección de espesor de tubo primario de acuerdo con el código ASME.

| t [in] | R1    | R2   | A       | B [Psi] | Presion [Psi] |
|--------|-------|------|---------|---------|---------------|
| 0,2    | 52    | 5,76 | 0,00057 | 5366,39 | 137,5         |
| 0,3    | 35,33 | 5,66 | 0,00105 | 6381,66 | 240,84        |

Fuente: Autor

El espesor del tubo debe de tener una capacidad de resistencia de presión mayor que la presión de diseño (150 Psi), entonces el espesor de 0.25 in con el requerimiento y además se debe de tener en cuenta la tolerancia al desgaste por corrosión (1/8 in), por lo tanto, el tubo seleccionado es ASTM A106 grado B de 0.38 [in] con diámetro exterior de 10.76 [in]<sup>35</sup>.

### 11.3 CALCULO DEL ESPESOR DE LA PLACA PORTATUBOS<sup>36</sup>

El cálculo del espesor del espejo o placa porta tubos se realizó usando las expresiones suministradas por el código en la parte PFT-31 para placas que utilizan los tubos como riostras.

#### 11.3.1 Área de los tubos secundarios

$$a_0 = \frac{\pi}{4} * (D_{ExtTs}^2 - D_{IntTs}^2)$$

$D_{IntTs}$ , Diámetro interno de los tubos secundario

$D_{ExtTs}$ , Diámetro externo de los tubos secundario

<sup>35</sup>Perpetual Steel Manufacturing Co.Ltd. Tubería de acero al carbono sin costura ASTM A106. [Línea] (Recuperado el 04 de diciembre del 2022) Disponible en:<https://www.permanentsteel.com/es/newsshow/astm-a106-seamless-steel-pipe.html>

<sup>36</sup> MAHAJAN, Kanti K. DESIGN OF PROCESS EQUIPMENT. 2ed. Tulsa: Publishing. p. 161-167.

### 11.3.2 Área del tubo principal

$$b_0 = \frac{\pi}{4} * (D_{ExtTp}^2 - D_{IntTp}^2)$$

$D_{IntTp}$ , Diámetro interno de los tubos primario

$D_{ExtTp}$ , Diámetro externo de los tubos primario

### 11.3.3 Área transversal interno del casco

$$A = \frac{\pi}{4} * (D_{IC}^2)$$

$D_{IC}$ , Diámetro interno de la coraza

### 11.3.4 Área transversal de los agujeros en la placa porta tubos

$$C = \frac{\pi}{4} * (D_{ExtTs}^2 * n + D_{ExtTp}^2)$$

### 11.3.5 Área transversal del casco

$$B = \frac{\pi}{4} * (D_{EC}^2 + D_{IC}^2)$$

$D_{EC}$ , Diámetro externo de la coraza

### 11.3.6 Deflexión o eficiencia de ligamento

$$\mu = \frac{A - C}{A}$$

$$Q = \frac{E_{TS-AS192} * n * a_0 + E_{Tp-AS106} * b_0}{E_{S-AS516} * B}$$

$E_{S-AS516}$ , Modulo de elasticidad de la coraza

$E_{TS-AS192}$ , Modulo de elasticidad de los tubos secundarios

$E_{Tp-AS106}$ , Modulo de elasticidad del tubo principal

### 11.3.7 Presión diferencial

$$P_d = P_1 - P_2 - \left[ \frac{P_2 * (n * a_0 + b_0)}{A - C} \right]$$

$P_1 = P$ , Presión por fuera de los tubos (Presión de diseño)

$P_2$ , Presión dentro de los tubos (Presión ambiente)

### 11.3.8 Expansión diferencial

$$\gamma = \alpha_t * \theta_t - \alpha_s * \theta_s$$

$\alpha_t$ , Coeficiente de expansión térmica del casco

$\theta_t$ , Temperatura del casco

$\alpha_s$ , Coeficiente de expansión térmica del casco

$\theta_s$ , Temperatura de los tubos

El resultado de expansión térmica se desprecia ya que los resultados son pequeñas.

### 11.3.9 Presión diferencial efectiva

$$P_e = P_d + \gamma * \left[ \frac{E_{TS-AS192} * n * a_0 + E_{Tp-AS106} * b_0}{A - C} \right]$$

### 11.3.10 Determinación del factor

$$kR = 1,08 * \left[ \frac{E_{TS-AS192} * n * a_0 + E_{Tp-AS106} * b_0}{L * h^3 * E_{p-AS516} * (A - C)} \right]^{\frac{1}{4}}$$

h= t<sub>ppt</sub>, Espesor de la placa porta tubos

L, Longitud de tubos

E<sub>p-AS516</sub>, Modulo de elasticidad de la placa porta tubos

### 11.3.11 Máximo esfuerzo radial en la placa porta tubos

$$Pr_{max} = \left[ \frac{P_e - P_2 * \left( \frac{A}{A - C} \right) * Q}{4 * (Q * G_1 + G_2)} \right] * \left[ \frac{D_{EC}}{h} \right]^2$$

### 11.3.12 Máximo esfuerzo longitudinal por los tubos

$$Pt_{max1} = \left[ \frac{A - C}{n * a_0 + b_0} \right] * \left[ P_d - G_3 * \left( \frac{P_e - P_2 * \left( \frac{A}{A - C} \right) * Q}{Q - G_4} \right) \right]$$

Y

$$Pt_{max2} = \left[ \frac{A - C}{n * a_0 + b_0} \right] * \left[ P_d - G_4 * \left( \frac{P_e - P_2 * \left( \frac{A}{A - C} \right) * Q}{Q - G_4} \right) \right]$$

Cuadro 12. Selección de espesor de la placa porta tubos de acuerdo con el código ASME.

| t   | Kr   | G1   | G2   | G3     | G4   | Pr max  | Pt max1 | Pt max2 |
|-----|------|------|------|--------|------|---------|---------|---------|
| 1   | 8,17 | 5,54 | 33,1 | -0,564 | 5,97 | 1023,92 | 1982,56 | 729,747 |
| 1,5 | 6,03 | 4,12 | 18,7 | -0,515 | 4,54 | 746,57  | 1994,8  | 813,217 |

Fuente: Autor.

Se optó por utilizar el mismo material de la coraza para que pueda soportar los límites de temperatura y la corrosión, en el cálculo de diseño seleccionamos el espesor de 1 [in], pues aparte de su disponibilidad comercial, esta placa tiene una alta compatibilidad con la soldadura y teniendo en cuenta los códigos de la norma ASME, se cumple el espesor seleccionado.

## 11.4 CALCULO DE LOS STAYBOLTS

### 11.1.4 Cálculo del paso entre staybolts<sup>37</sup>

Definido el espesor se procede a verificar si en el diseño de caldera se necesita riostras para reforzar la porta tubos.

La norma ASME informa que se deben usar riostras cuando la longitud máxima entre los bordes de los agujeros de la porta tubo, sobre pase el valor máximo establecido en PG-46, se calcula mediante:

$$t = p * \sqrt{\frac{P}{S_{AS516} * C}}$$

Donde:

t, 7/16 [in] el espesor mínimo de la placa

P, Presión de diseño

S<sub>AS516</sub>, Esfuerzo de tensión permisible

C, 2.2 para soportes soldados o soportes atornillados a través de placas de más de 7/16 [in] de espesor con extremos remachados<sup>38</sup>

p, Paso entre staybolts

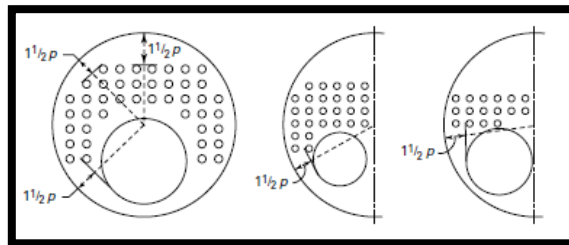
---

<sup>37</sup> ASME. Boiler and Pressure Vessel Code, Section I, Rules For Construction Of Power Boilers. New York: The American Society Of Mechanical Engineers, Edition 2010. p. 37-38. Library of Congress Catalog Card Number: 56-3934.

<sup>38</sup>

El resultado obtenido del paso máximo medido entre líneas rectas que pasan por los centros de los tirantes en las diferentes filase de 6,43 [in]≈ 7 [in]. Se procede a verificar la necesidad de refuerzos con riostra, en la parte PFT-25 se establece la necesidad si se instala riostra siempre y cuando la distancia medida como se muestra en la figura 46, no supere 1.5 veces la distancia de paso máximo medido entre línea.

Figura 46. Distancia de paso máximo medido entre líneas (PFT-25).

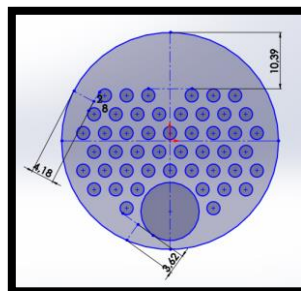


Fuente: ASME. Boiler and Pressure Vessel Code, Section I, Rules for Construction of Power Boilers. New York: The American Society of Mechanical Engineers, Edition 2010. p. 143. Library of Congress Catalog Card Number: 56-3934.

$$p_{Max} = p * 1.5$$

Como resultado en nuestro diseño la distancia máxima es de 10.5 [in], en la figura# utilizado con el software SOLIDWORK se muestra la determinación de las distancias en los diferentes puntos de la placa evidenciando que no se necesitan de arrostramientos en los espacios.

Figura 47. Distanciamiento verificado desde el diseño de caldera.



Fuente: Autor

## 11.5 CALCULO DEL ESPESOR MINIMO DE LA BOQUILLA DE ALIMENTACION DE AGUA

Proceso de cálculo empleado en Manual de recipientes a presión<sup>39</sup>.

$$t_{rn} = \frac{P * R}{S * E - 0,6 * P}$$

$$t_{rn} = 0.011 [in]$$

S=13000 Psi Esfuerzo de tensión permisible para el material a temperatura de diseño

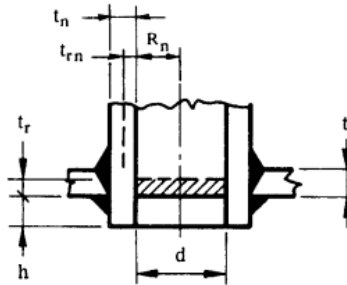
E=100% Uniones de soldadura a condiciones de que toda la soldadura quede a ras con la superficie

R=1 in radio interno del cuerpo

P=150 presión de diseño

Para la boquilla se selecciona el material SAE 53 B de espesor  $t_n=0.218$  [in] y 5 [in] de longitud.

Figura 48. Refuerzo de aberturas.



Fuente: EUGENE, MEGYESY. Manual de recipientes a presión, diseño y cálculo. LIMUSA. 1992. Parte. 1. p. 109.

<sup>39</sup>EUGENE, MEGYESY. Manual de recipientes a presión, diseño y cálculo. LIMUSA. 1992. Parte. 1.

### 11.5.1 Área de refuerzo requerida

$$t_r = \frac{150 * 20.5}{14794 * 1 - 0,6 * 150}$$
$$t_r = 0.209 \text{ [in]}$$

$t_r = 0.209$  [in]. Es el espesor mínimo requerido de pared para el casco.

$$A_R = t_r * d$$
$$A_R = 0.418 \text{ [in}^2\text{]}$$

$d = 2$  [in]. Diámetro interno de la boquilla.

### 11.5.2 Área de refuerzo disponible

#### 11.5.2.1 A1 Exceso en el casco

$$A_{11} = (t - t_r) * d$$
$$A_{11} = 0.582 \text{ [in}^2\text{]}$$

$t = 0.5$  [in] Espesor del casco seleccionado.

$$A_{12} = (t - t_r) * (t_n + t) * 2$$
$$A_{12} = 0.418 \text{ [in}^2\text{]}$$

$t_n = 0.218$  [in]. Espesor de la boquilla seleccionada.

Se toma el mayor valor calculado.

#### 11.5.2.2 A2 Exceso en el cuello de la boquilla

$$A_{21} = (t_n - t_{rn}) * 5 * t$$
$$A_{21} = 0.517 \text{ [in}^2\text{]}$$

$$A_{22} = (t_n - t_{rn}) * 5 * t_n$$

$$A_{22} = 0.225 [in^2]$$

Se toma el menor valor calculado.

### 11.5.2.3 A3 Extensión de la boquilla hacia el interior

$$h = 2,5 * t_n$$

$$h = 0.545 [in]$$

$$A_3 = t_n * 2 * h$$

$$A_3 = 0.237 [in^2]$$

h: extensión de la boquilla hacia el interior del recipiente

### 11.5.2.4 A4 área de soldadura de filete

$$A_4 = \frac{\pi}{4} * [(d_e + (2 * r_s))^2 - d_e^2]$$

$$A_4 = 2.109 [in^2]$$

$d_e = 2.436 [in]$  diámetro externo de la boquilla.

$r_s = 0.25 [in]$  radio del filete de soldadura.

A5 Área de soldadura de filete interior  $A_5 = A_4$

Entonces

$$A_D = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5$$

$$A_D = 5.262 [in^2]$$

El área calculada es mayor que la requerida, lo cual indica que no se es necesario de refuerzo.

## 11.6 CALCULO DEL ESPESOR MINIMO DE LAS BOQUILLAS DE VAPOR Y DE CONEXIÓN AL CONTROL DE NIVEL

$$t_{rn} = \frac{P * R}{S * E - 0,6 * P}$$
$$t_{rn} = 0.0087 [in]$$

S = 13000 [psi]. Esfuerzo de tensión para el material a temperatura de diseño.

P = 150 [psi]. Presión de diseño.

R = 0.75 [in] radio interno del cuerpo.

E = 1. Eficiencia de las uniones soldadas a ras con la superficie.

Para la boquilla se selecciona un material SA53 grado b con un espesor de  $t_n=0.144[in]$  y una longitud de 5 [in].

### 11.6.1 Área de refuerzo requerida

$$A_R = t_r * d$$
$$A_R = 0.314 [in^2]$$

$t_r=0.209$ . Espesor mínimo requerido para el casco.

d = 1.5 [in]. Diámetro interno de la boquilla.

### 11.6.2 Área de refuerzo disponible

#### 11.6.2.1 A1 Exceso en el casco

$$A_{11} = (t - t_r) * d = 0.437 [in^2]$$

$$A_{12} = (t - t_r) * (t_n + t) * 2 = 0.375 [in^2]$$

Se toma el mayor valor calculado.

#### 11.6.2.2 A2 Exceso en el cuello de la boquilla

$$A_{21} = (t_n - t_{rn}) * 5 * t = 0.338 [in^2]$$

$$A_{22} = (t_n - t_{rn}) * 5 * t_n = 0.0974[in^2]$$

Se toma el menor valor calculado.

#### 11.6.2.3 A3 Exceso en extensión hacia el interior

$$A_3 = t_n * 2 * h = 0.104 [in^2]$$

$$h = 2,5 * t_n = 0.36 [in]$$

#### 11.6.2.4 A4 Área de soldadura de filete

$$A_4 = \frac{\pi}{4} * [(d_e + (2 * r_s))^2 - d_e^2] = 1.6 [in^2]$$

$d_e = 1.788 [in]$ . Diámetro externo de la boquilla.

$r_s = 0.25 [in]$ . Radio del filete de soldadura.

A5 Área de soldadura de filete interior A5=A4

Entonces

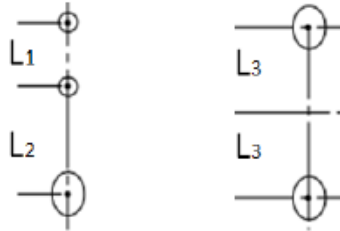
$$A_D = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 = 3.838[in^2]$$

El área calculada es mayor que la requerida, lo cual indica que no se es necesario de refuerzo.

## 11.7 DISTANCIA ENTRE ABERTURAS

Proceso de cálculo tomado de ASME sección I PG-32<sup>40</sup>.

Figura 49. Distancia entre aberturas.



Fuente: ESCORCIA, Karol Melissa y GONZALEZ, Juan Carlos. Diseño de una caldera pirotubular que use biomasa como combustible, para la generación del vapor de arrastre de un destilador de aceites esenciales. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Escuela De Ingeniería Mecánica. Bucaramanga. 2012. p. 92.

Proceso de cálculo para el factor K

$$K = \frac{P * D_{EC}}{1,82 * S * t_{casco}}$$
$$K = 0.456$$

$P = 150$  [psi]. Presión de diseño.

$D_{EC} = 41$  [in]. Diámetro externo del casco.

$S = 14794$  [psi]. Esfuerzo de tensión para el material a temperatura de diseño.

El factor K no debe excederse de 0.990.

$t_{casco} = 0.5$  [in]. Espesor del casco.

---

<sup>40</sup> ASME. Boiler and Pressure Vessel Code. ASME the standard. 2010. Section. 1. p. 66. Library of Congress Catalog Card Number: 56-3934.

### 11.7.1 Cálculo de la distancia mínima

Entre boquillas ( $L_m$ )

$$L_m = \frac{2A}{2(1 - K)}$$

$$L_m = 2.297 \text{ [in]}$$

Entre boquillas y handholes ( $L_{m1}$ )

$$L_{m1} = \frac{A + B}{2(1 - K)}$$

$$L_{m1} = 4.825 \text{ [in]}$$

A = 1.25 [in]. Diámetro externo de boquillas.

B = 4 [in]. diámetro externo de handholes.

Entre boquillas ( $L_{m2}$ )

$$L_{m2} = \frac{2B}{2(1 - K)}$$

$$L_{m2} = 7.352 \text{ [in]}$$

Para conseguir un buen efecto en los planos de detalle se seleccionan las siguientes distancias:

$L_m = 100$  [mm]. Distancia entre boquillas.

$L_{m1} = 250$  [mm]. Distancia entre boquillas y handholes.

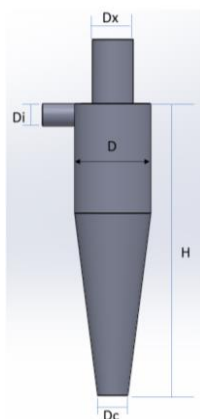
$L_{m2} = 200$  [mm]. Distancia entre handholes.

### 11.8 CHIMENEA

Es de tipo separador ciclónico, posee una eficiencia del 80% debido a una baja distorsión y excentricidad del vórtice generado, que permiten estabilidad en el fluido. El modelo

seleccionado es ACR<sup>41</sup> que cuenta con una altura de 1160 [mm], diámetro de salida del gas 145 [mm] y diámetro de entrada del gas 152.4[mm].

Figura 50. Chimenea ACR.



Fuente: Autores.

Tabla 3. Dimensiones de la chimenea.

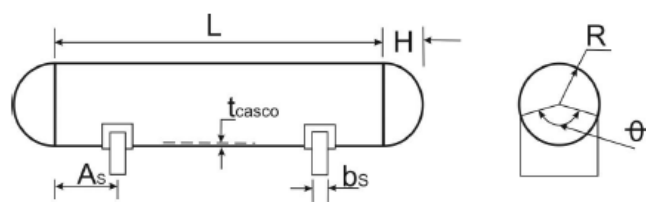
| Dimension                        | medida (mm) |
|----------------------------------|-------------|
| Diametro de barril D             | 290         |
| Diametro de salida del gas Dx    | 145         |
| Diametro final del cono Dc       | 107.3       |
| Diametro de entrada al ciclón Di | 152.4       |
| Altura del ciclón H              | 1160        |

Fuente: Autores

<sup>41</sup> LI, W., HUANG, Z., LI, G., Y YE, C. Effects of different cylinder roof structures on the vortex of cyclone separators. [En línea].Elsevier. Vol. 296. 2022. [Consultado: 28 de agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121370>

## 11.9 CALCULO DE LOS SOPORTE DEL EQUIPO<sup>42</sup>

Figura 51. Soportes para el casco.



Fuente: MEGYESY. Eugene F. Manual de recipiente a presión (Diseño y calculo). México: LIMUSA, 1 ed. p. 86.

Teniendo en cuenta los estudios realizados por LP Zick<sup>25</sup> y recomendado por el código ASME, se optó por seleccionar un soporte tipo silleta desde los puntos de vista estático y económicos, ya que son estructuras altamente confiables.

Estas estructuras se encuentran ubicados en dos puntos de apoyo de tal manera que los esfuerzos flectores sean iguales tanto en la silleta como en el centro del claro. Se debe tener en cuenta que la distancia entre la línea tangente a la cabeza y la silleta no debe ser mayor de 0.2 veces la longitud del recipiente (L)

Los recipientes soportados por silletas están sujetos a:

- Esfuerzo flexionante longitudinal
- Esfuerzo cortante tangencial
- Esfuerzo circunferencial

Las variables fundamentales son:

---

<sup>42</sup>MEGYESY. Eugene F. Manual de recipiente a presión (Diseño y calculo). México: LIMUSA, 1 ed. p. 84-91.

- Q, Carga sobre cada silleta
- $A_s$ , Distancia entre el cabezal y el soporte (La longitud del recipiente es de 60 [in], esto quiere decir que esta distancia no debe ser mayor de 12 [in])
- H, Profundidad de las tapas
- K, valor constante (Se selecciona el ángulo de contacto para obtener las constantes K de la tabla)<sup>43</sup>
- $\theta$ , Angulo de contacto
- L, Longitud del recipiente
- R, Radio externo de la placa de acero
- b, Ancho de la silleta
- $t_{casco}$ , Espesor de la placa de acero
- $t_h$ , Espesor del cabezal (sin margen por corrosión)

### 11.9.1 Esfuerzo flexionante longitudinal

Es el esfuerzo de flexión máxima que puede ser de tensión o compresión.

#### 11.9.1.1 Esfuerzo en las silletas

Es la tensión que actúa en la parte superior y la compresión actúa en la parte inferior.

$$S_{1silletas} = \frac{Q_s * A_s * \left[ 1 - \left( \frac{1 - \frac{A_s}{L} + \frac{R^2 - H^2}{2 * A_s * L}}{1 + \frac{4 * H}{3 * L}} \right) \right]}{K_1 * R^2 * t_{casco}}$$

El esfuerzo de compresión es de 61.7638 [Psi], pero este esfuerzo no se considera ya que no es un factor de importancia en un recipiente de acero en el que  $t/R \geq 0.005$ .

---

<sup>43</sup>Ibid., p. 88.

### 11.9.1.2 Esfuerzo a la mitad del claro

Es la tensión que actúa en la parte inferior y la compresión actúa en la parte superior.

$$S_{1claro} = \frac{\frac{Q_s * L}{4} * \left[ \frac{1 + 2 * \left( \frac{R^2 - H^2}{L^2} \right) - \frac{4 * A_s}{L}}{1 + \frac{4 * H}{3 * L}} \right]}{\pi * R^2 * t_{casco}}$$

El esfuerzo de tensión es de 9.5159 [Psi], para saber si el esfuerzo cumple la condición, la norma dice que la suma de S1claro a tensión con el esfuerzo debido a presiones internas:

$$S_{pint} = \frac{P_{dis} * R}{2 * t_{casco}}$$

El esfuerzo debido a presiones internas es 3124.5 [Psi], la suma del esfuerzo de tensión es de 3134.0159 [Psi]. No debe exceder el esfuerzo permisible del material multiplicado por 0.85 la eficiencia de la costura circunferencial.

$$\sigma_{per} = 20015.2078 [Psi]$$

El resultado es de 17012.9266 [Psi], entonces 17012.9266 [Psi] > 3124.5 [Psi] se cumple la condición.

### 11.9.2 Esfuerzo cortante tangencial

El esfuerzo cortante aplica para silletas a una distancia de la cabeza  $A > R/2$ , para este caso como no se está usando anillo el factor a utilizar es K2.

$$S_2 = \frac{K_2 * Q_s}{R * t_{casco}} * \left[ \frac{L - 2 * A_s}{L + \frac{4}{3} * H} \right]$$

El esfuerzo cortante tangencial es de 181.3713 [Psi], pero para que esta funcion se cumpla el esfuerzo no debe exceder mas de 0.8 veces el esfuerzo permisible del material del recipiente.

El resultado es de 16012.1662 [Psi], entonces 16012.1662 [Psi] >181.3713 [Psi] se cumple la condición.

### 11.9.3 esfuerzo circunferencial

#### 11.9.3.1 Esfuerzo en el cuerno de la silueta

El esfuerzo que se aplica a la silleta  $L < 8 * R$ , la ecuación definida es la siguiente.

$$S_4 = - \left[ \frac{Q_s}{(4 * t_{casco}) * (b_s + 1,56 * (R * t_{casco})^{\frac{1}{2}})} \right] - \left[ \frac{12 * K_6 * Q_s * R}{L * t_{casco}^2} \right]$$

El esfuerzo en el cuerno de la silueta es de -826.3650 [Psi], pero para que esta funcion se cumpla el esfuerzo no debe exceder mas de 1.50 veces el esfuerzo permisible del material del recipiente.

El resultado es de 30022.8117 [Psi], entonces 30022.8117 [Psi] >826.3650 [Psi] se cumple la condición.

#### 11.9.3.2 Esfuerzo en la parte inferior del soporte

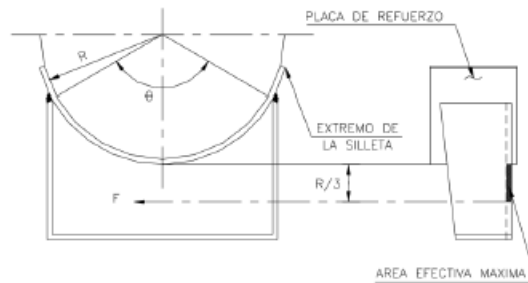
$$S_5 = - \left[ \frac{K_7 * Q_s}{t_{casco} * (b_s + 1,56 * (R * t_{casco})^{\frac{1}{2}})} \right]$$

El esfuerzo en el cuerno de la silueta es de -334.33 [Psi], pero para que esta funcion se cumpla el esfuerzo no debe exceder mas de 0.5 veces el punto de fluencia a compresión del material del recipiente.

El resultado es de 19000 [Psi], entonces  $19000 \text{ [Psi]} > 334.33 \text{ [Psi]}$  se cumple la condición

### 11.1 DISEÑO DE LOS SOPORTES<sup>44</sup>

Figura 52. Diseño de silletas.



Fuente: MEGYESY. Eugene F. Manual de recipiente a presión (Diseño y calculo). México: LIMUSA, 1 ed. p. 96.

El material de la silleta es acero ASTM A283 grado C ya que es de calidad estructural y su disponibilidad comercial, con espesor de 0.25 [in], para el diseño de la silleta se debe calcular la fuerza horizontal que resiste.

$$F = K_{11} * Q_s$$

Su fuerza horizaontal es de 674.6137 [Lb]

<sup>44</sup> MEGYESY. Eugene F. Manual de recipiente a presión (Diseño y calculo). México: LIMUSA, 1 ed. p. 96.

### 11.10.1 Area efectiva

$$A_{efec} = \frac{R}{3} * 0,25$$

El área efectiva es de 1.7358 [in]

### 11.10.2 Esfuerzo soportado

$$\sigma_{sop} = \frac{F}{A_{efec}}$$

El esfuerzo que soporta la silleta es de 388.6471 [Psi]

### 11.10.3 Esfuerzo permitido

$$\sigma_p = \frac{2}{3} * 13750$$

El esfuerzo permitido es de 9166.66 [Psi].

Se seleccionó la silleta para recipiente de 24 [in] a 144 [in] que se encuentra en el Anexo M.

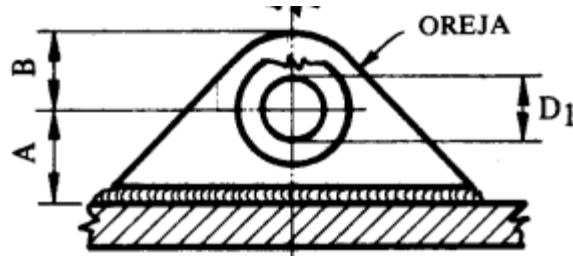
## 11.11 ACCESORIOS PARA IZAJE

Para las dimensiones de los accesorios de izaje se tomó como guía de cálculo el manual de recipientes a presión<sup>45</sup>.

---

<sup>45</sup>EUGENE, MEGYESY. Manual de recipientes a presión, diseño y cálculo. LIMUSA. 1992. Parte. 1. Accesorios de izaje. p. 213.

Figura 53. Accesorio para izaje.



Fuente: MEGYESY. Eugene F. Manual de recipiente a presión (Diseño y calculo). México: LIMUSA, 1 ed. p. 213.

Cálculo del espesor mínimo  $t_i$

$$t_i = \frac{P_{carga}}{2 * S * \left( R_o - \frac{D_o}{2} \right)}$$

$$t_i = \frac{14000 \text{ Lb}}{2 * 15664 \text{ psi} * \left( 2.625 \text{ in} - \frac{1.125 \text{ in}}{2} \right)} = 0.2166 \text{ in}$$

$P_{caldera}$  = 14000 [Lb] (carga total a soportar)

$P_{carga}$  = 16500 [Lb] carga a soportar (Anexo N)

S = 15664 [psi]. Esfuerzo de tensión permisible del acero SA 285 grado C<sup>46</sup>.

$R_o$  = 2.625 [in]. Radio de la oreja (Anexo N)

$D_o$  = 1.125 [in]. Diámetro del agujero (Anexo N)

Para los accesorios de izaje se selecciona un espesor de 3/8 [in].

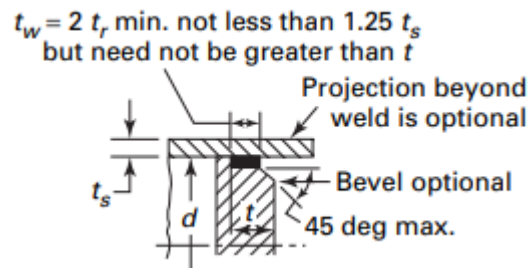
## 11.12 SOLDADURA

Para determinar el espesor de la soldadura entre la placa porta tubos y el casco se tiene en cuenta la norma ASME<sup>47</sup>.

<sup>46</sup> ASME. Boiler and pressure vessel code an international code. 2017. Section II. Materials part D properties. Library of congress catalog card number: 56-3934.

<sup>47</sup> ASME. Boiler and pressure vessel code an international code. 2010. Rules for construction of powers boilers. Section I. PG-31. pag.23

Figura 54. Espesor de la soldadura en la placa.



Fuente: ASME. Boiler and pressure vessel code. Rules for construction. 2010.section I. PG-31. G-2 p. 23. Library of Congress Catalog Card Number: 56-3934.

$$t_{w1} = 2 * t_r = 2 * 0.209 \text{ in} = 0.418 \text{ in} = 11 \text{ mm}$$

$$t_{w2} = 1,25 * t_s = 1.25 * 0.5 \text{ in} = 0.625 \text{ in} = 16 \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor a través de la soldadura que une el borde de un cabezal al interior de un tambor, tubería o cabezal.

Como recomendación de los espesores de las juntas se siguió lo indicado en el manual de recipientes a presión parte IV, capítulo 5. (Anexo O)

### 11.13 ESPACIAMIENTO ENTRE TRONILLOS

Para los tornillos de las puertas de mantenimiento se siguió las recomendaciones de diseño del libro HAMROCK<sup>48</sup>.

Para garantizar un buen ajuste y sello de las tapas se seleccionan tornillos grado 5 UNC5/8 X 2 [in].

<sup>48</sup> HAMROCK, BERNARD. ELEMENTOS DE MAQUINAS. MCGRAW-HILL. 2000. Cap.15. Sujetadores roscados. p. 679

### 11.13.1 Altura máxima de la rosca

$$ht = \frac{0.5p}{\tan 30^\circ} = 2 \text{ mm}$$

$p = 2.308$  [mm] paso del tornillo

$ht$ : altura máxima posible de la rosca

### 11.13.2 Rigidez del perno

$$\frac{1}{kb} = \frac{4}{\pi E} \left[ \frac{Ls + 0.4dc}{dc^2} + \frac{Lt + 0.4dr}{dr^2} \right]$$

$dc$ : diámetro de la cresta [m]

$dr$ : diámetro de la raíz [m]

$Ls$ : longitud sin rosca [m]

$Lt$ : longitud de la rosca [m]

$E = 206.8$  [Gpa] módulo de elasticidad

### 11.13.3 Método de Wileman para rigidez de la junta por método de elemento finito

$$kj1 = EdcAie^{Bidc/Li}$$

$Ai: 0.78715$

$Bi: 0.62873$

Constantes  $Ai$  y  $Bi$  tomadas del (Anexo P)

$$Ck = \frac{kb}{kb + kj}$$

### 11.13.4 Carga a soportar

$$P = pA$$

$p = 150$  [psi] presión de diseño

A= 1.008 [m<sup>2</sup>] área de la puerta de mantenimiento

### 11.13.5 Cálculo de la carga máxima a soportar

$$P_{max} = \frac{At Sp - Pi}{nsb Ck}$$

At= 0.226 [in<sup>2</sup>]área de esfuerzo de tensión [m] (Anexo Q)

Sp: resistencia a la prueba [Mpa]

Pi: 0.9Pp(Pp carga de prueba)

### 11.13.6 Cantidad de pernos necesarios

$$\frac{P}{P_{max}} = \frac{1042.9 \text{ Mpa}}{17.65 \text{ Mpa}} = 60 \text{ tornillos}$$

### 11.13.7 Esfuerzo de apriete en los tornillos

$$S_i = 0,75 * S_p = 0.75 * 30000 = 22500 \text{ psi}$$

$$S_i = \frac{F_i}{A_t}$$

$$F_i = S_i A_t = 22500 * 0.226 = 5085 \text{ Lb}$$

Fi: Fuerza de apriete en los tornillos

At: área transversal del tornillo

## 12 ADECUACION DEL BANCO DE PRUEBAS

Para las pruebas se tomó un quemador ciclónico de biomasa y se le adaptó un quemador a gas. Para ello fue necesario agregar unas piezas móviles que permiten el acople del quemador a gas a la cámara de combustión.

Figura 55. Estructura del quemador ciclónico.



Fuente: Autor.

La cámara de combustión estaba fija a la base lo cual impedía la instalación del quemador a gas. Se buscó la forma de no modificar la estructura de la base principal.

Figura 56. Instalación de base para reclinar la cámara y guía del tornillo.



Fuente: Autor.

Fue necesario hacer una guía para trasladar el tornillo, ya que al cambiar de posición la cámara de combustión la entrada de biomasa tenía un desplazamiento.

Figura 57. Instalación del soporte para el quemador a gas.



Fuente: Autor.

El soporte para el quemador a gas tiene un punto de giro para desmontar y montar el sistema. El quemador queda sujetado por dos pernos y la camisa del soporte. Las modificaciones fueron pensadas para ser prácticas y emplearse cuando sean necesarias y recogerse cuando no.

Figura 58. Quemador híbrido adaptado.



Fuente: Autor.

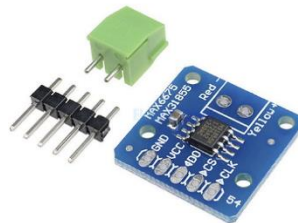
## 11.1 ELEMENTOS PARA ADQUISICION DE DATOS

### 11.1.1 Controlador

Se seleccionó una placa Arduino UNO debido a la disponibilidad y economía de esta. Este microcontrolador permite a través de su software visualizar datos y gestionar códigos simplificados para su control. Como modulo para la toma de temperaturas se selecciona de referencia MAX 31855 que cuenta con las siguientes especificaciones:

- Entradas protegidas contra fallas de sobrevoltaje.
- Señal de tipo termopar K, J, N, T en valor digital.
- Resolución de temperatura de 0.25.
- Rango de lectura -270 a +1800 °C.
- Para termopares tipo K, sensibilidad de -200 a +700 °C con precisión de +/- 2.
- Sistema de monitoreo con microcontrolador externo.

Figura 59. Modulo MAX 31855.



Fuente: I+D ELECTRONICA. Modulo MAX 31855. [Sitio web]. [Consultado: 1 de agosto 2022]. Disponible en: <https://www.didacticaselectronicas.com>

### 11.1.2 Termocupla

Es un sensor de temperatura, consiste en dos metales distintos unidos en sus extremos conectados a un termómetro.

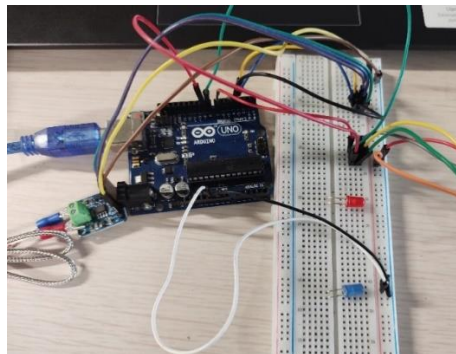
Cuadro 13. Clasificación de las termocuplas.

| Calibración | Elemento Positivo         | Elemento Negativo         | Rango de temperatura habitual | Línea de error estándar (elija la más grande) | Línea de error especial (elija la más grande) |
|-------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---|---|
| Tipo T      | Cobre                     | Constantan                | -200°C-0°C                    | +/-1°C ou +/-1,5%                             | --/--   |
| Tipo T      | Cobre                     | Constantan                | 0°C-370°C                     | +/-1°C ou +/-0,75%                            | +/-0,5°C ou +/-0,4%                           |
| Tipo J      | Hierro                    | Constantan                | 0°C-760°C                     | +/-2,2°C ou +/-0,75%                          | +/-1,1°C ou +/-0,4%                           |
| Tipo E      | Cromel                    | Constantan                | 0°C-870°C                     | +/-1,7°C ou +/-0,5%                           | +/-1,0°C ou +/-0,4%                           |
| Tipo K      | Cromel                    | Alumel                    | 0°C-1260°C                    | +/-2,2°C ou +/-0,75%                          | +/-1,1°C ou +/-0,4%                           |
| Tipo N      | Nicrosil                  | Nisil                     | 0°C-1260°C                    | +/-2,2°C ou +/-0,75%                          | +/-1,1°C ou +/-0,4%                           |
| Tipo S      | 90% Platino / 10% Rhihate | Pt 100%                   | 0°C-1480°C                    | +1,5°C ou +/-0,25%                            | +/-0,6°C ou +/-0,1%                           |
| Tipo R      | 87% Platino / 13% Rhihate | Pt 100%                   | 0°C-1480°C                    | +/-1,5°C ou +/-0,25%                          | +/-0,6°C ou +/-0,1%                           |
| Tipo B      | 70% Platino / 30% Rhihate | 94% Platino / 06% Rhihate | 870°C-1700°C                  | +/-0,5%                                       | +/-0,25%                                      |

Fuente: ALUTAL. Termocuplas. [sitio web]. [Consultado: 1 de agosto 2022]. Disponible en: <https://www.alutal.com.br/es/termopar#termopar-o-que-e-afinal>

Para las pruebas se selecciona la termocupla tipo K, debido a que es compatible con los módulos a usar y su disponibilidad en el mercado es alta. Como el módulo MAX 31855 para este modelo de termocupla tiene un rango de -200 a +700 °C se decide instalar en el final del trayecto de la cámara de combustión, ya que, en las primeras zonas se esperan temperaturas superiores a los 700 °C.

Figura 60. Conexión del equipo para toma de datos.



Fuente: Autor.

## 13 RESULTADOS

Las pruebas se realizaron en el laboratorio de combustión de la Universidad Industrial de Santander en la escuela de Ingeniería mecánica. Estas pruebas fueron realizadas con el equipo anteriormente presentado figura 68. Como combustible de biomasa se usó aserrín de pino y como combustible gaseoso gas natural. Se tuvo en cuenta que los gases expulsados salieran y no presentara riesgos a la salud y al laboratorio.

Figura 61. Montaje del equipo de pruebas.



Fuente: Autor.

### 13.1 ESTANDARIZACIÓN DE FLUJOS VOLUMÉTRICOS DE AIRE

Flujo axial

Este flujo es constante de  $11.79 [m^3/h]$ , debido a las características del ventilador no permitió incorporar un variador de frecuencia.

Flujo tangencial

Este flujo tiene un rango máximo de  $22.83 [m^3/h]$ , y está controlado por un variador de frecuencia.

## 13.2 ESTANDARIZACIÓN DE FLUJOS VOLUMÉTRICOS DE COMBUSTIBLE

Flujo de biomasa


Para este proceso se tomó como referencia 20 [g] de combustible y está controlado por un variador de frecuencia.

Flujo de gas natural

Este flujo viene de una red doméstica y el máximo es de 0.99 [ $m^3/h$ ], su control se hace por medio de una válvula mariposa.

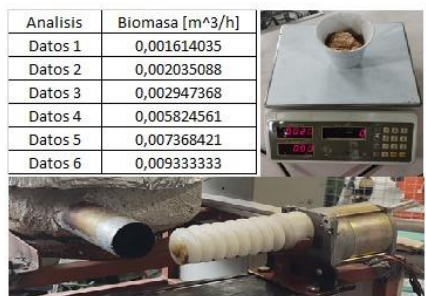
Cuadro 14. a) Datos del flujo de aire tangencial, b) Datos del flujo de biomasa, c) Flujo máximo de aire axial y gas natural.

| Analisis | Aire Tangencial [ $m^3/h$ ] |
|----------|-----------------------------|
| Datos 1  | 6,44                        |
| Datos 2  | 15,22                       |
| Datos 3  | 21,07                       |
| Datos 4  | 22,83                       |




a)

| Analisis | Biomasa [ $m^3/h$ ] |
|----------|---------------------|
| Datos 1  | 0,001614035         |
| Datos 2  | 0,002035088         |
| Datos 3  | 0,002947368         |
| Datos 4  | 0,005824561         |
| Datos 5  | 0,007368421         |
| Datos 6  | 0,009333333         |



b)

| Analisis | Aire Axial [ $m^3/h$ ] | Gas Natural [ $m^3/h$ ] |
|----------|------------------------|-------------------------|
| Datos 1  | 11,79                  | 0,99                    |



c)

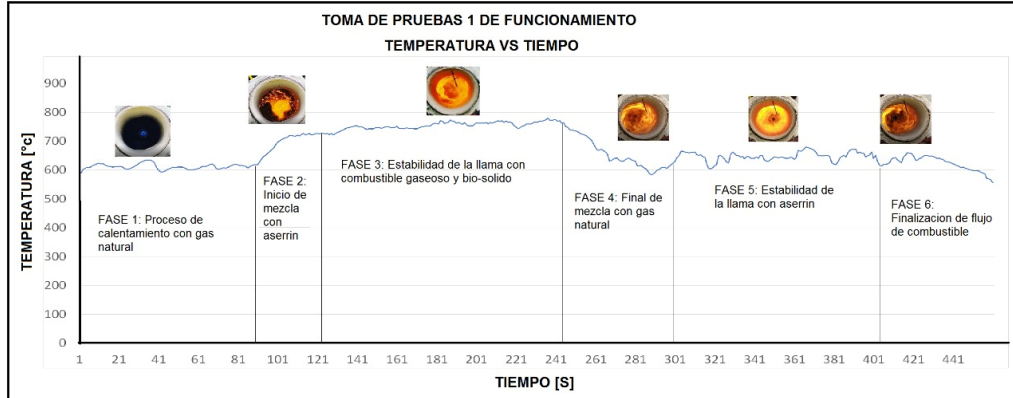
Fuente: Autor.

## 13.3 PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL QUEMADOR

Se realizaron pruebas de estabilidad para el funcionamiento de gas, gas-biomasa y biomasa. En estas pruebas se buscó a partir de un flujo de aire y combustible variable ajustar estos parámetros para encontrar su punto de estabilidad. Para el caso de solo gas natural, se buscó el punto donde tenía su llama más estable (color azul). Luego dejando el flujo de gas constante se iniciaba agregando biomasa de a pocas cantidades hasta el punto donde se garantizaba su quema total. Una vez conseguido la quema simultanea de combustibles y un punto de estabilidad por un periodo de tiempo de 10-15min se procedía a dejar alimentación de solo biomasa nuevamente buscando mantener estabilidad en el proceso de combustión.

### 13.3.1 Resultados prueba 1

Figura 62. Resultados de prueba 1.

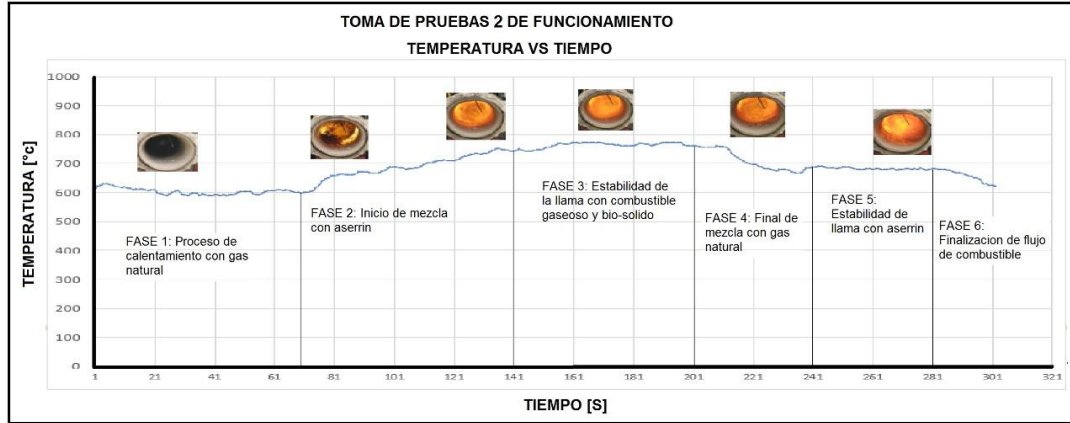


Fuente: Autor.

- Uso de solo gas: Usando un flujo de aire axial constante y flujo máximo de gas se calentó la cámara de combustión por un periodo de tiempo de 30 min. Luego de esto el flujo de gas se disminuye hasta conseguir una combustión completa (llama azul) con un punto de estabilidad de 612 °C y una  $A/C=19.05 [kg_{aire}/kg_{comb}]$ .
- Uso de gas natural-biomasa: El flujo de biomasa es ingresado a la cámara en pequeñas cantidades, manteniendo el flujo de gas constante se aumente el flujo de biomasa y aire tangencial hasta observar una quema completa y punto de estabilidad que fue de 739 °C y  $A/C=8.27 [kg_{aire}/kg_{comb}]$ .
- Uso solo de biomasa: El flujo de gas natural se fue disminuyendo poco a poco hasta ser cero, una vez estando en funcionamiento solo con biomasa el flujo de aire tangencial se aumentó al máximo y el de biomasa fue constante. En su punto de estabilidad la temperatura fue de 657 °C y  $A/C= 6.95 [kg_{aire}/kg_{comb}]$ .

### 13.3.2 Resultados prueba 2

Figura 63. Resultados de prueba 2.



Fuente: Autor.

- Uso de solo gas: El quemador se enciende usando únicamente gas natural y flujo de aire axial. El quemador se deja con el flujo de gas completamente abierto por un periodo de tiempo de 30 min hasta lograr un calentamiento de la cámara y poder regular el flujo de combustible sin que la llama llegue a apagarse. La llama de gas se reguló hasta conseguir una combustión completa y tener la llama más intensa (color azul). El equipo se mantiene en esta condición hasta que llega a un rango de temperaturas estable que para este caso fue de 603 °C y un  $A/C= 19.05 [kg_{aire}/kg_{comb}]$ .
- Uso de gas natural-biomasa: Procedemos a incorporar la biomasa sin regular o suspender el quemado de gas. Primero se enciende el ventilador con entrada tangencial a la cámara y el suministro de biomasa se va aumentando poco a poco manteniendo una quema constante de biomasa en la cámara. Una vez se vea que la biomasa se quema por completo en la cámara, se aumenta el flujo de aire y de biomasa. Para este proceso el punto de estabilidad fue de 728 °C y  $A/C= 9.28[kg_{aire}/kg_{comb}]$ . El suministro de gas se mantuvo constante en las condiciones de quema completa obtenida en el segundo proceso.

- Uso de solo biomasa: De manera progresiva se reduce el suministro de gas, dejando en quema solo biomasa. Manteniendo un suministro constante de biomasa se logró un punto de estabilidad de 685 °C y  $A/C = 11.08 [kg_{aire}/kg_{comb}]$ .

### **13.4 RESULTADOS MODELO CERO-DIMENSIONAL**

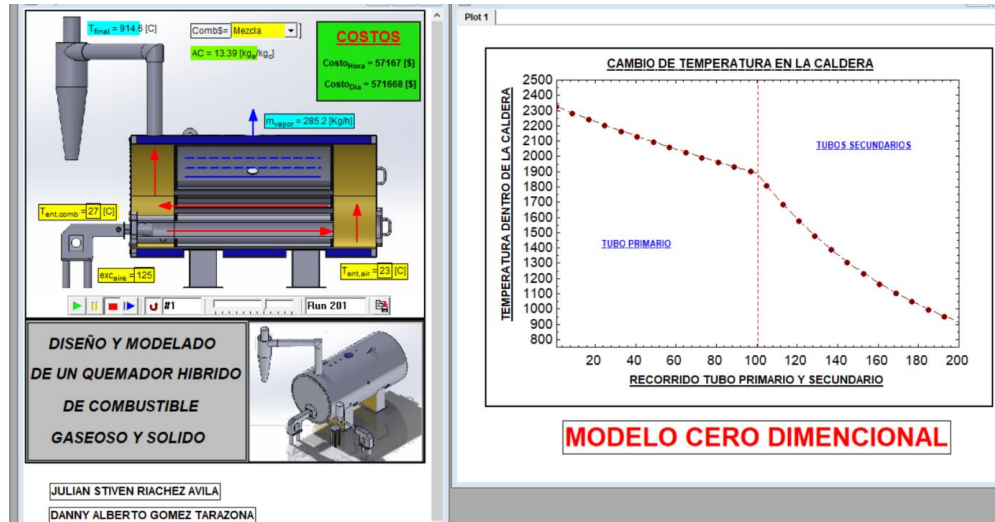
Los resultados arrojados por el modelo realizado en el software EES muestran el comportamiento de la temperatura a lo largo del recorrido en la caldera.

#### **13.4.1 Resultados prueba 1**

El funcionamiento del modelo cuenta con las siguientes informaciones:

- 1) Le permite elegir que combustible quiere utilizar, en este caso se maneja solo con tres procesos de combustible que es el Gas Natural, Aserrín y Mezcla (Aserrín-Gas Natural). Cabe aclarar que, para un proceso de combustión experimental de la biomasa, se debe tener un funcionamiento adecuado con el combustible de gas natural y así tener una temperatura adecuada para la oxidación del aserrín.
- 2) La interfaz permite variar la temperatura de acuerdo con el ambiente donde se trabaje y la temperatura que maneja la empresa de gas de forma estándar.
- 3) Se manejará un exceso de aire de 0 a 30 (100%-130%), ya que, de manera industrial entre mayor exceso de aire mayor es el aumento de contaminación ambiental.

Figura 64. Interfaz del modelo cero-dimensional.

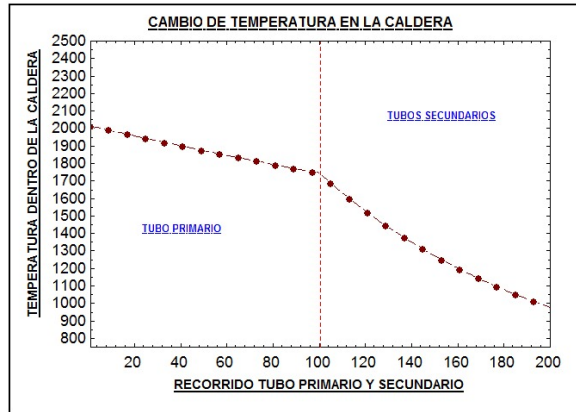


Fuente: Autor.

Como muestra la Figura 64. La interfaz nos dará como variable de salida múltiples resultados dependiendo del tipo de combustible que se esté manejando y demás variables de salida que se monitorea como es la temperatura final de proceso, su respectiva relación aire combustible, el flujo másico de vapor que se entrega y los costos que son generados por horas y por día. También la interfaz incluye la variación de temperatura durante el recorrido de la caldera desde la etapa 1 hasta la etapa 2 con respecto a la distancia.

13.4.1 Resultados proceso Uso de solo gas natural: 1750 °C,  $A/C= 20.4 [kg_{aire}/kg_{comb}]$  y costo de operación día de \$ 599,760.

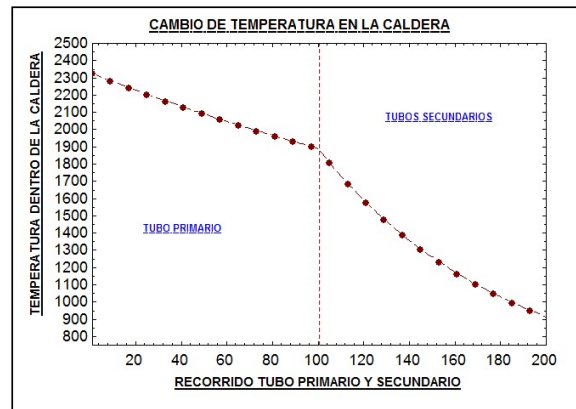
Figura 65. Cambio de temperatura con uso de solo gas natural.



Fuente: Autor.

Uso de gas natural-biomasa: 1898 °C y  $A/C=13.39 [kg_{aire}/kg_{comb}]$  y costo de operación día de \$ 571,668.

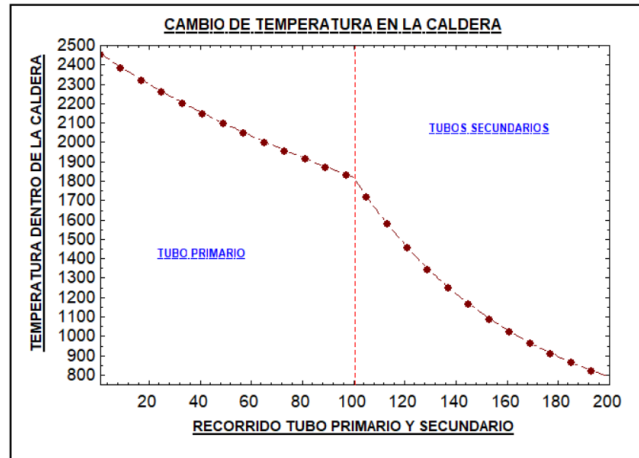
Figura 66. Cambio de temperatura con uso de gas natural-biomasa.



Fuente: Autor.

Uso de solo biomasa: 1826 °C y  $A/C= 7.54 [kg_{aire}/kg_{comb}]$  y costo de operación día de \$ 580,947.

Figura 67. Cambio de temperatura con uso de solo biomasa.



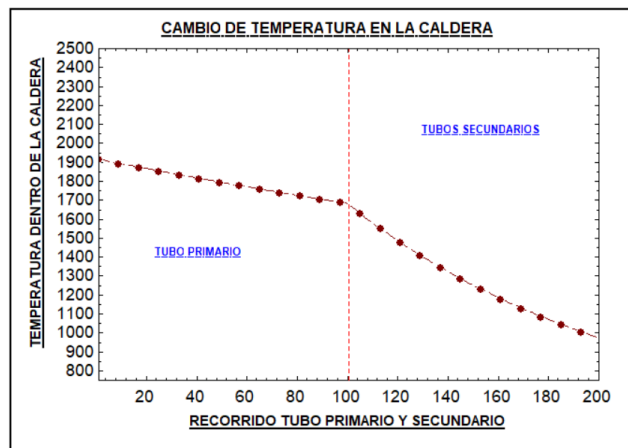
Fuente: Autor.

### 13.4.2 Resultados prueba 2

Para este caso el porcentaje de aire en exceso se incrementó al 35% para ver los efectos que llega a presentar el cambio de temperaturas en el modelo.

Resultados proceso Uso de solo gas natural: 1687 °C,  $A/C = 22.03 [kg_{aire}/kg_{comb}]$  y costo de operación día de \$ 599,760.

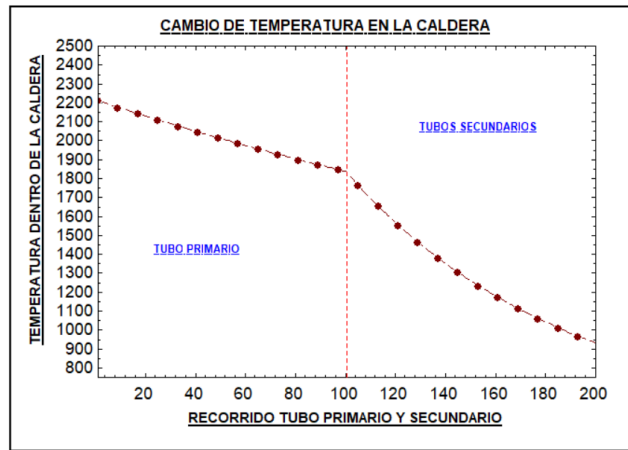
Figura 68. Cambio de temperatura con uso de gas natural y exceso aire del 35%



Fuente: Autor

Uso de gas natural-biomasa: 1844°C y  $A/C=14.46 [kg_{aire}/kg_{comb}]$  y costo de operación día de \$ 571,668.

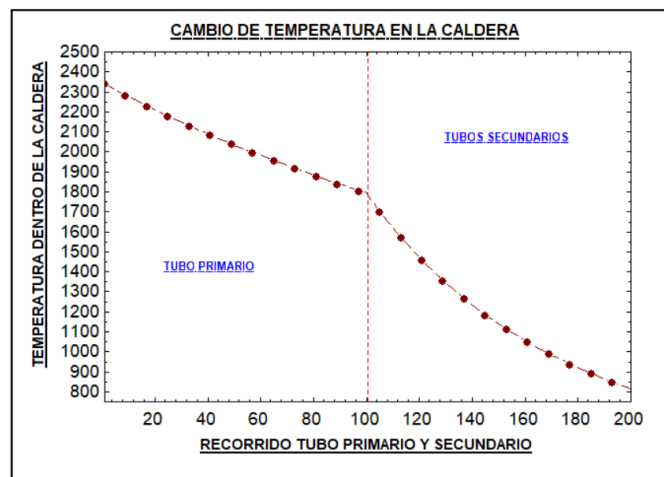
Figura 69. Cambio de temperatura con uso de gas natural-biomasa y exceso aire del 35%.



Fuente: Autor.

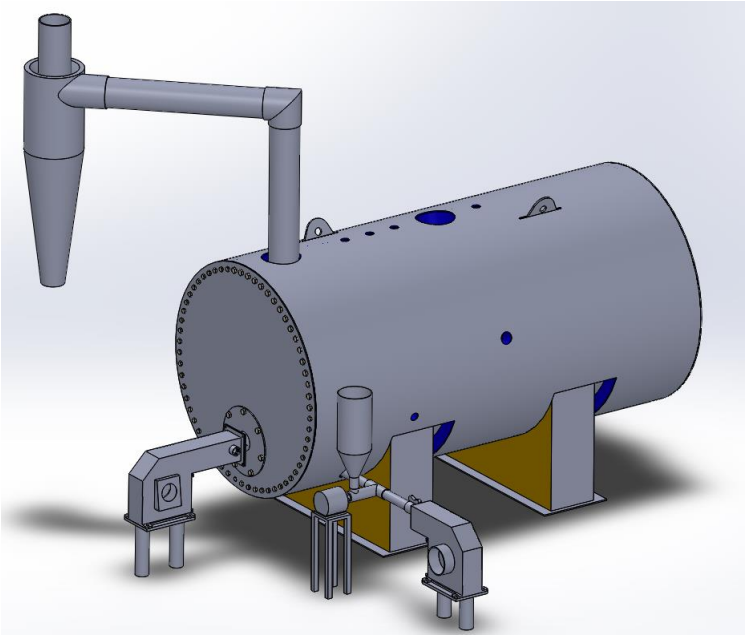
Uso de solo biomasa: 1802 °C y  $A/C= 8.15 [kg_{aire}/kg_{comb}]$  y costo de operación día de \$ 580,947.

Figura 70. Cambio de temperatura con uso de biomasa y exceso aire del 35%



Fuente: Autor.

Figura 71. Modelo de caldera y quemador híbrido.



Fuente: Autor.

## 14. CONCLUSIONES

- Se diseñó un quemador híbrido de combustible sólido y gaseoso con una demanda energética de 100 Kw, para implementar en una caldera piro tubular de 4 BHP.
- Se validó el funcionamiento de dos tipos de combustible en un proceso de combustión, por medio de un quemador adaptado a la necesidad de operación.
- El uso de combustibles de tipo residual presenta una reducción en los costos de operación y contribuye con la investigación de nuevas fuentes de energía que sustituyan parcial o completamente el uso de combustibles fósiles.
- Se diseñó un modelo cero-dimensional que describe el comportamiento de la temperatura a lo largo de la caldera y de manera interactiva el flujo masico de vapor. Este modelo es de 4 BHP y permite seleccionar el combustible a usar dentro de lo usado en las pruebas gas natural, biomasa y mezcla.
- Se diseñó una caldera teniendo en cuenta los parámetros de diseño de una temperatura 400 °C (750 °F) y una presión de 620,5 kPa (90 psi), cumpliendo con los esfuerzos permitidos que estará sometida la caldera piro tubular.

## 15. RECOMENDACIONES

- Aunque en las pruebas experimentales se logró obtener puntos de estabilidad, el quemador estaba muy expuesto al ambiente, la continuidad del flujo de biomasa en algunos casos implicó interrupciones, por tanto, se pueden obtener mejores resultados y es necesario seguir investigando este modelo de quemador híbrido con otras fuentes de biomasa.
- La mejora del diseño de suministro de biomasa, ya que en algunas ocasiones en los tubos quedaba estancado el aserrín y un cambio en la inclinación del tornillo sin fin podría mejorar el proceso.
- Es necesario hacer más pruebas del efecto de la distancia de la boquilla del quemador a gas, ya que, en las pruebas al quedar enfrentado con la entrada de biomasa, este presentaba muestras de quemadura.
- Para operar el quemador híbrido se recomienda usar elementos de seguridad como bata, guantes, careta y tapa bocas ya que la energía que genera y los gases contaminantes son fuertes.
- Para poder evidenciar mejor el proceso es necesario contar con equipos que permitan medir temperaturas más
- altas y que se puedan ubicar en el principio y final de la cámara de combustión.

## BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- AL-ATTAB, K., Y ZAINAL, Z. Syngas Production and Combustion Characteristics in a Biomass Fixed Bed Gasifier with Cyclone Combustor. Elsevier. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.11.084>.
- ASME. Boiler and Pressure Vessel Code. ASME the standard. 2010. Section. 1. p. 66. Library of Congress Catalog Card Number: 56-3934.
- ASME. Boiler and pressure vessel code an international code. 2017. Section II. Materials part D properties. Library of congress catalog card number: 56-3934.
- ASME. Boiler and pressure vessel code an international code. 2010. Rules for construction of powers boilers. Section I. PG-31. pag.23
- ASME. Boiler and Pressure Vessel Code, Section II, Part D. New York: The American Society of Mechanical Engineers, Edition 2017. p. 18-21. Library of Congress Catalog Card Number.
- ASME. Boiler and Pressure Vessel Code, Section I, Rules for Construction of Power Boilers. New York: The American Society of Mechanical Engineers, Edition 2010. p. 18. Library of Congress Catalog Card Number.
- ASME. Boiler and Pressure Vessel Code. ASME the standard. 2010. Section. 1. p. 66. Library of Congress Catalog Card Number
- BRUCART BORRAS, ENRIQUE. Gas natural: características, distribución y aplicaciones industriales. Editores Técnicos Asociados. Barcelona. 1987. Cap. 4. p. 162.

- CENES. El proceso de sustitución de combustibles pesados por gas natural en el sector industrial del valle del cauca – Colombia 2004-2012. Colombia. 2016. Vol. 35, No. 61. p. 237-266.
- CHARLES, Baukal. Industrial burners: handbook. CRC press. 2003. Cap. 1. ISBN 0-8493-1386-4.
- CARL Bozzuto. Boiler Operator´s Handbook. USA: New York 2021. 3rd edition. ISBN 978-87-7022-591-5.
- CIA, General de Aceros. LÁMINA A516 GRADO 70. [Sitio web]. [Consulta: 4 de diciembre del 2022]. Disponible en: <https://www.cga.com.co/producto/lamina-a516-grado-70/>
- CHOE, Kangil. Review of wood biomass cyclone burner. Energies. 2021. 14. 4807. <https://doi.org/10.3390/en14164807>
- EUGENE, MEGYESY. Manual de recipientes a presión, diseño y cálculo. LIMUSA. 1992. Parte. 1.
- EUGENE, MEGYESY. Manual de recipientes a presión, diseño y cálculo. LIMUSA. 1992. Parte. 1.
- EDSON, BAZZO. Geracao de Vapor. EDITORA DA UFSC.1995. 2º Edición
- FAJARDO RAMIREZ, José. Caracterización del aserrín del pino caribe como biomasa para el proceso de gasificación adiabática. Universidad de los Andes. Bogotá. 2012.

- GARCIA UBAQUE, Cesar; BOHORQUEZ VACA, Martha y TALERO, Gabriel. Aprovechamiento de biomasa peletizada en el sector ladrillero en Bogotá – Colombia: análisis energético y ambiental. Scielo. Vol. 24. No, 3. 2013. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000300013>
- HAMROCK, BERNARD. ELEMENTOS DE MAQUINAS. McGRAW-HILL. 2000. Cap.15. Sujetadores roscados. p. 679
- HAMROCK, BERNARD. ELEMENTOS DE MAQUINAS. McGRAW-HILL. 2000. Cap.15. Sujetadores roscados.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. DECRETO NUMERO 1431 DE 2006. Bogotá D.C.
- John R., Howell; Robert, Siegel. Thermal Radiation Heat Transfer, F I F T H E D I T I O N. New York: Taylor & Francis Group. International Standard Book Number-13: 978-1-4398-9455-2
- KHALIL, A Y GUPTA, A. Toward ultra-low emission distributed combustion with fuel air dilution. Elsevier. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.066>.
- LI, W., HUANG, Z., LI, G., Y YE, C. Effects of different cylinder roof structures on the vortex of cyclone separators. [En línea]. Elsevier. Vol. 296. 2022. [Consultado: 28 de agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121370>
- LI, W., HUANG, Z., LI, G., Y YE, C. Effects of different cylinder roof structures on the vortex of cyclone separators. [En línea]. Elsevier. Vol. 296. 2022. [Consultado: 28 de agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121370>

- MARQUEZ, MANUEL. Combustión y quemadores. Marcombo. España. 2005. Cap. 5. p. 103.
- MARTIN. Catálogo general de productos de Martin Sprocket & Gear. Transportadores helicoidales.
- MAHAJAN, Kanti K. DESIGN OF PROCESS EQUIPMENT. 2ed. Tulsa: Publishing.
- Monografías. Methodological conception for a standardized library on container design. [Sitio web] (Consulta: 04 de diciembre del 2022). Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos-pdf5/concepcion-metodologica-biblioteca-estandarizada-diseno-recipientes/concepcion-metodologica-biblioteca-estandarizada-diseno-recipientes>.
- Morales Castro, Ricardo. Diseño de una caldera pirotubular vertical. Cali: Corporación Universitaria Autónoma de Occidente División de Ingenieras Programa de Ingeniera Mecánica. Noviembre de 1988.
- PROMIGAS. Informe del sector gas natural. Colombia. 2021. p. 96.
- Perpetual Steel Manufacturing Co.Ltd. Tubería de acero al carbono ASTM A192. [Línea] (Recuperado el 04 de diciembre del 2022) Disponible en: <https://www.permanentsteel.com/es/newsshow/astm-a192.html>.
- Perpetual Steel Manufacturing Co.Ltd. Tubería de acero al carbono sin costura ASTM A106. [Línea] (Recuperado el 04 de diciembre del 2022) Disponible en: <https://www.permanentsteel.com/es/newsshow/astm-a106-seamless-steel-pipe.html>

- Redacción Twenergy. La biomasa en Colombia: el gran reto para generar energía sustentable. En: Twenergy. Colombia. 2019.
- Rodriguez, Fracisco. Guía del código ASME sección VIII división 1 tomo 1. México. ESIME AZCAPOTZALCO.
- RESTREPO, V., TIBAQUIRA, J., CARRANZA, S., Y YAMID ALBERTO. Análisis de la influencia de la relación de equivalencia y el precalentamiento del aire en la composición y propiedades de los productos de combustión en un quemador de ACPM. Scientia Et Technica. Vol. X. num 24. Mayo. 2004. p. 157-162
- SORRENTINO, G., SABIA, P., BOZZA, P., RAGUCCI, R., Y JOANNON, M. Impact of external operating parameters on the performance of a cyclonic burner with high level of internal recirculation under MILD combustion conditions. Elsevier. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.066>.
- Tirenti, Javier. RECIPIENTES A PRESIÓN, Parte I: Diseño de Equipos, Envolvente, Cabezales, Conexiones y Bridas. ARVENG TRAINING AND ENGINEERING. Curso Online.
- VIRMOND, Elaine, et al. Organic solid waste originating from the meat processing industry as an alternative energy source. Elsevier. 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2010.08.026>
- VIRMOND, E., SCHACKER, R. Combustion of apple juice wastes in a cyclone combustor for thermal energy generation. Journal of Energy Resources Technology. 2010. Vol. 132. DOI: 10.1115/1.4002690

## ANEXOS

### ANEXO A. Clasificación de quemadores a gas.

| CLASIFICACION DE LOS QUEMADORES INDUSTRIALES |  |  |  |  |   |
|--|--|--|--|--|---|
| 1 cifra                                      | 2 cifra  | 3 cifra  | 4 cifra  | 5 cifra  | 6 cifra   |
| Modo de formacion de la mezcla aire-gas      | Presion de gas y de aire   | Caracteristicas del derrame de la mezcla previa sin quemar, o del aire y gas por orificios | Estabilizacion de la llama                                 | Localizacion de la combustion                                    | Precalentamiento del aire de combustion   |
| 1 Mezcla previa total por induccion          | 1 gas a baja presion (hasta 500 mm); aire a presion atmosferica        | 1 derrame por orificios sencillos (agujeros, ranuras, unicos o multiples)                  | 1 por llamas auxiliares                                    | 1 llamas libres  | 1 quemadores precalentamiento de aire   |
| 2 Mezcla previa total por camara de mezcla   | 2 gas a baja presion (hasta 500mm) ; aire a presion                    | 2 derrame paralelo   | 2 por recirculacion de gases calientes (turbulencia libre) | 2 en pieza refractaria   | 2 quemadores pudiendo funcionar con aire precalentado (temperatura inferior a 3 quemadores funcionando necesariamente con aire caliente |
| 3 Mezcla previa total antes del quemador     | 3 gas a alta presion (sobre 500 mm); aire a presion                    | 3 derrame convergente  | 3 por un obstaculo (turbulencia de obstaculo)              | 3 en contacto con refractario o de masa de gramos de refractario |   |
| 4 Mezcla previa parcial por modulacion       | 4 gas a alta presion (sobre 500 mm); aire a presion                    | 4 derrame giratorio  | 4 por una superficie refractaria                           | 4 sobre superficie refractaria                                   |   |
| 5 Mezcla previa parcial por camara de mezcla | 5 gas reducido sensiblemente a la presion atmosferica; aire a presion) | 5 a traves de refractario poroso   |  | 5 en tunel de combustion refractaria                             |   |
| 6 Mezcla previa parcial antes del quemador   | 6 gas reducido a la presion atmosferica                                | 6 sobre rotor giratorio  |  | 6 en tubo metalico o ceramico                                    |   |
| 7 Sin mezcla previa                          | 7 mezcla aire-gas a presion  |  |  | 7 en contacto con masa catalitica                                |   |

La cifra 4 puede sustituirse por un 0 en caso de llamas libres sin ningun artificio de estabilizacion (quemador tipo Bunsen, por ejemplo).

Fuente: BRUCART BORRAS, ENRIQUE. Gas natural: características, distribución y aplicaciones industriales. Editores Técnicos Asociados. Barcelona. 1987. p. 133.}

Cada quemador se designa por un grupo de 6 cifras, cada cifra puede tener diferentes variantes, ejemplo:

1 cifra: modo de formación de la mezcla aire-gas

2 cifra: presión de alimentación en aire y gas

3 cifra: demarre de aire y gas en los orificios de salida

4 cifra: manera de estabilización de llama

5 cifra: localización de la combustión

6 cifra: precalentamiento de aire de combustión

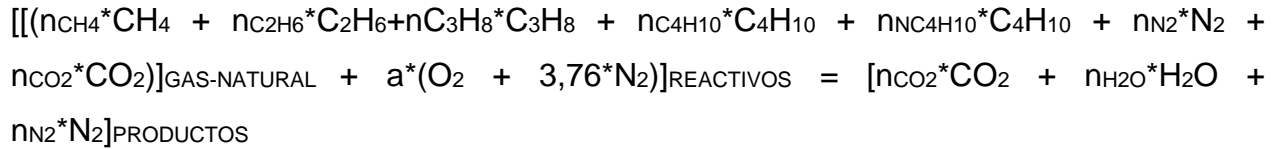
## ANEXO B. Usos recomendados según modelo de quemador.

| Tipo de mezcla  | Tipo de quemador                               | características   | Aplicaciones  |
|---|--|---|---|
| alimentación en premezcla   | De gas inductor                                | Para grandes potencias (mas de 250 termias/h) requieren alta presión en el gas y llega a ocupar gran espacio. | uso domestico y comercial   |
|   |  | requieren de aire secundario, son apropiados para recintos abiertos   |   |
|   | De aire inductor                               | composicion de aire/gas independiente de la contrapresion y facil regulacion de potencia.                     | para potencias de hasta 500 termias/h. Usados en hornos, sopletes.                  |
|   |  | mayor proporcion de aire en la mezcla   |   |
|   | De maquina mezcladora                          | composicion constante de aire/gas de cualquier proporcion.  | quemador tipo jet, hornos, quemadores intensivos.                                   |
| son apropiados para recintos cerrados. Amplia variacion de caudal de 1 a 20 |  |   |   |
| De cono refractario   | puede llevar cualquier tipo de mezcla anterior | hornos industriales   |   |
|   | cono de combustion estabilizador de llama      |   |   |
| alimentación sin premezcla  | De tipo mono bloc                              | alimenacion separada de aire y gas a baja presion. Admite elevados excesos de aire                            | usados para conseguir llamas largas. Usados en al industria con cono de combustion. |
|   |  | amplio rango de potencias (hasta 10000 termias/h)   |   |
|   | De alimentacion separada                       | tipo de llama blanca  | uso domestico y comercial, calentadores instantaneos.                               |
| pequeñas potencias  |  |   |   |

Fuente: BRUCART BORRAS, ENRIQUE. Gas natural: características, distribución y aplicaciones industriales. Editores Técnicos Asociados. Barcelona. 1987. Cap. 4. p. 186-189.

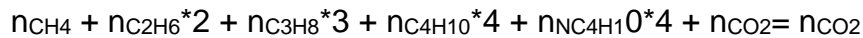
ANEXO C. Balance estequiométrico de los combustibles teórico y real.

Balance estequiométrico del gas natural.

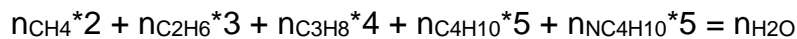


Donde se planteará el siguiente balance para obtener los datos de los productos:

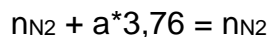
O Carbono



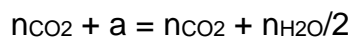
o Hidrogeno



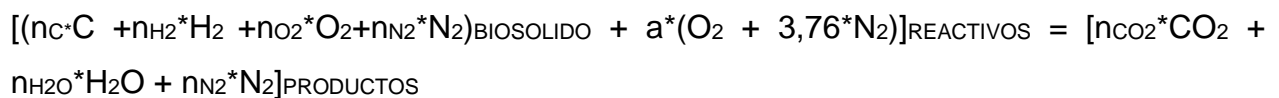
o Nitrógeno



o Oxigeno



Balance estequiométrico biosólido (aserrín).



Donde se planteará el siguiente balance para obtener los datos de los productos:

o "Carbono;"

$$n_C = n_{CO_2}$$

o "Hidrogeno;"

$$n_{H_2} = n_{H_2O}$$

o "Oxigeno;"

$$n_{O_2} + a = n_{CO_2} + n_{H_2O}/2$$

o "nitrógeno;"

$$n_{N_2} + a \cdot 3,76 = n_{N_2}$$

Balance estequiométrico mezcla solido(aserrín) y gas natural.

$$[(n_{CH_4} \cdot CH_4 + n_{C_2H_6} \cdot C_2H_6 + n_{C_3H_8} \cdot C_3H_8 + n_{C_4H_{10}} \cdot C_4H_{10} + n_{NC_4H_{10}} \cdot C_4H_{10} + n_{N_2} \cdot N_2 + n_{CO_2} \cdot CO_2)]_{GAS \text{ NATURAL}} + [(n_C \cdot C + n_{H_2} \cdot H_2 + n_{O_2} \cdot O_2 + n_{N_2} \cdot N_2)]_{BIOSOLIDO} + a \cdot (O_2 + 3,76 \cdot N_2)_{REACTIVOS} = [n_{CO_2} \cdot CO_2 + n_{H_2O} \cdot H_2O + n_{N_2} \cdot N_2]_{PRODUCTOS}$$

Donde se planteará el siguiente balance para obtener los datos de los productos:

o Carbono

$$n_C + n_{CH_4} + n_{C_2H_6} \cdot 2 + n_{C_3H_8} \cdot 3 + n_{C_4H_{10}} \cdot 4 + n_{NC_4H_{10}} \cdot 4 + n_{CO_2} = n_{CO_2}$$

o Hidrogeno

$$n_{H_2} + n_{CH_4} \cdot 2 + n_{C_2H_6} \cdot 3 + n_{C_3H_8} \cdot 4 + n_{C_4H_{10}} \cdot 5 + n_{NC_4H_{10}} \cdot 5 = n_{H_2O}$$

o Nitrógeno

$$n_{N_2} + n_{N_2} + a \cdot 3,76 = n_{N_2}$$

o Oxígeno

$$n_{O_2} + n_{CO_2} + a = n_{CO_2} + n_{H_2O}/2$$

Donde:

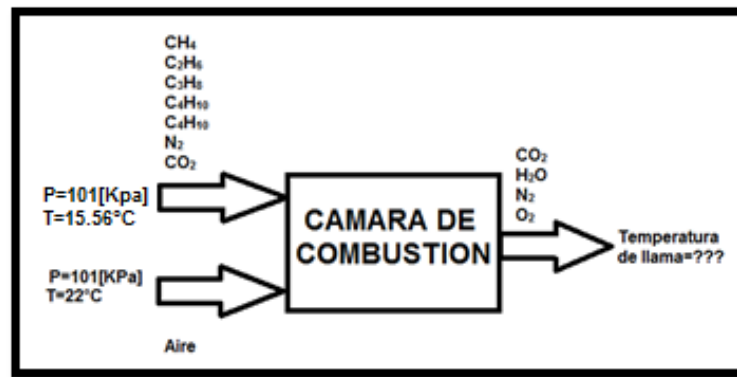
a=Aire teórico [kmol].

Reactivos=Entrada del sistema de combustión.

Productos=Salida del sistema de combustión.

Balance real del gas natural.

Esquema del Gas Natural.



Fuente: Autor.

$$[(n_{CH_4} \cdot CH_4 + n_{C_2H_6} \cdot C_2H_6 + n_{C_3H_8} \cdot C_3H_8 + n_{C_4H_{10}} \cdot C_4H_{10} + n_{C_4H_{10}} \cdot C_4H_{10} + n_{N_2} \cdot N_2 + n_{CO_2} \cdot CO_2)]_{GAS\ NATURAL} + a \cdot \epsilon \cdot (O_2 + 3,76 \cdot N_2)_{REACTIVOS} = [n_{CO_2} \cdot CO_2 + n_{H_2O} \cdot H_2O + n_{N_2} \cdot N_2 + n_{O_2} \cdot O_2]_{PRODUCTOS}$$

Donde se planteará el siguiente balance para obtener los datos de los productos:

o Carbono

$$n_{CH_4} + n_{C_2H_6} \cdot 2 + n_{C_3H_8} \cdot 3 + n_{C_4H_{10}} \cdot 4 + n_{C_4H_{10}} \cdot 4 + n_{CO_2} = n_{CO_2}$$

o Hidrogeno

$$n_{CH_4} \cdot 2 + n_{C_2H_6} \cdot 3 + n_{C_3H_8} \cdot 4 + n_{C_4H_{10}} \cdot 5 + n_{NC_4H_{10}} \cdot 5 = n_{H_2O}$$

o Nitrógeno

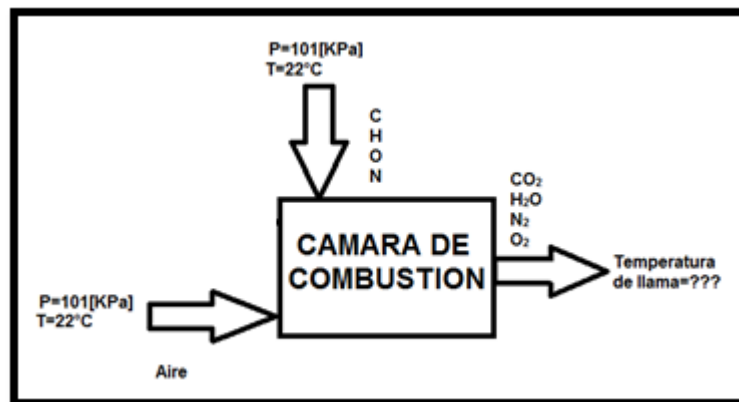
$$n_{N_2} + a \cdot e \cdot 3,76 = n_{N_2}$$

o Oxigeno

$$n_{CO_2} + a \cdot e = n_{CO_2} + n_{H_2O}/2 + n_{O_2}$$

Balance real biosólido (aserrín).

Esquema del Aserrín.



Fuente: Autor.

$$[(n_C \cdot C + n_{H_2} \cdot H_2 + n_{O_2} \cdot O_2 + n_{N_2} \cdot N_2)]_{BIOSOLIDO} + a \cdot e \cdot (O_2 + 3,76 \cdot N_2)_{REACTIVOS} = [n_{CO_2} \cdot CO_2 + n_{H_2O} \cdot H_2O + n_{N_2} \cdot N_2 + n_{O_2} \cdot O_2]_{PRODUCTOS}$$

Donde se planteará el siguiente balance para obtener los datos de los productos:

o "Carbono"

$$n_C = n_{CO_2}$$

o "Hidrogeno"

$$n_{H_2} = n_{H_2O}$$

o "Oxigeno"

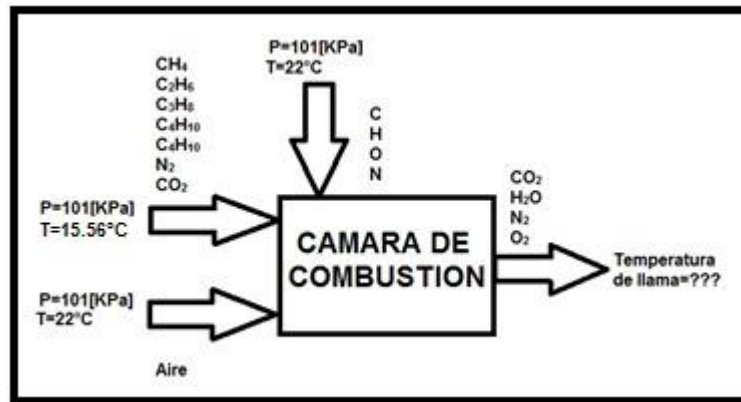
$$n_{O_2} + a \cdot e = n_{CO_2} + n_{H_2O}/2 + n_{O_2}$$

o "nitrógeno"

$$n_{N_2} + a \cdot e \cdot 3,76 = n_{N_2}$$

Balance real mezcla solido (aserrín) y gas natural.

Esquema de la mezcla entre el Gas Natural y Aserrín.



Fuente: Autor.

$$[(n_{CH_4} \cdot CH_4 + n_{C_2H_6} \cdot C_2H_6 + n_{C_3H_8} \cdot C_3H_8 + n_{C_4H_{10}} \cdot C_4H_{10} + n_{C_4H_{10}} \cdot C_4H_{10} + n_{N_2} \cdot N_2 + n_{CO_2} \cdot CO_2)]_{GAS\ NATURAL} + [(n_C \cdot C + n_{H_2} \cdot H_2 + n_{O_2} \cdot O_2 + n_{N_2} \cdot N_2)]_{BIOSOLIDO} + a \cdot \epsilon \cdot (O_2 + 3,76 \cdot N_2)_{REACTIVOS} = [n_{CO_2} \cdot CO_2 + n_{H_2O} \cdot H_2O + n_{N_2} \cdot N_2 + n_{O_2} \cdot O_2]_{PRODUCTOS}$$

Donde se planteará el siguiente balance para obtener los datos de los productos:

o Carbono

$$n_C + n_{CH_4} + n_{C_2H_6} \cdot 2 + n_{C_3H_8} \cdot 3 + n_{C_4H_{10}} \cdot 4 + n_{C_4H_{10}} \cdot 4 + n_{CO_2} = n_{CO_2}$$

- Hidrogeno

$$n_{H_2} + n_{CH_4} \cdot 2 + n_{C_2H_6} \cdot 3 + n_{C_3H_8} \cdot 4 + n_{C_4H_{10}} \cdot 5 + n_{NC_4H_{10}} \cdot 5 = n_{H_2O}$$

- o Nitrógeno

$$n_{N_2} + n_{N_2} + a \cdot e \cdot 3,76 = n_{N_2}$$

- o Oxigeno

$$n_{O_2} + n_{CO_2} + a \cdot e = n_{CO_2} + n_{H_2O}/2 + n_{O_2}$$

.

ANEXO D. Cambios de temperatura en (°Celsius) con respecto al exceso de aire (% de exceso de aire)

| Exceso Aire | Aserrin | GasNatural | Mezcla |
|-------------|---------|------------|--------|
| 100         | 2568    | 2057       | 2423   |
| 110         | 2404    | 1919       | 2262   |
| 120         | 2260    | 1800       | 2123   |
| 130         | 2133    | 1695       | 2000   |
| 140         | 2021    | 1602       | 1892   |
| 150         | 1920    | 1519       | 1795   |
| 160         | 1830    | 1445       | 1709   |
| 170         | 1748    | 1378       | 1630   |
| 180         | 1673    | 1317       | 1559   |

Fuente: Autor.

ANEXO E. Interfaz de cálculo para el quemador de gas.

Fuente: Autor.

ANEXO F. Clasificación del material.

**Martin** **Tabla 1-1**  
**Código de Clasificación del Material**

| Clase    | Características de Material  | Código  |
|----------|--|---|
| Densidad | Densidad a Granel, Sin Compactar   | Libras por pie cúbico                                   |
| Tamaño   | Muy Fino<br>Malla No. 200 (.0029") y menor<br>Malla No. 100 (.0059") y menor<br>Malla No. 40 (.016") y menor | A <sub>200</sub><br>A <sub>100</sub><br>A <sub>40</sub> |
|          | Fino<br>Malla No. 6 (.132) y menor   | B <sub>6</sub>  |
|          | Granular<br>½" y menor (malla 6" a ½")<br>3" y menor (½" a 3")<br>7" y menor (3" a 7")                       | C <sub>½</sub><br>D <sub>3</sub><br>D <sub>7</sub>      |
|          | Terrones<br>16" y por debajo (0" a 16")<br>Arriba de 16" a ser especificado<br>X=Tamaño Máximo               | D <sub>16</sub><br>D <sub>X</sub>                       |
|          | Irregular<br>Fibroso, Cilíndrico, etc.   | E   |

MARTIN. Catalogo general de productos de Martin Sprocket&Gear. Transportadores helicoidales. p. H-5

ANEXO G. Características de los materiales.

**Tabla 1-2**  
**Características de los Materiales**



| Material                  | Peso lb por pie cúbico | Código de Material | Selección de Rodamiento Intermedio | Serie de Componentes | Factor de Material $F_m$ | Carga de Artesa |
|---------------------------|------------------------|--------------------|------------------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------|
| Arsénico Pulverizado      | 30                     | A100-25R           | H                                  | 2                    | 0.8                      | 45              |
| Arsenita de Plomo         | 72                     | A40-35R            | L-S-B                              | 1                    | 1.4                      | 30A             |
| Asbesto desfibrado        | 20-40                  | E-46XY             | H                                  | 2                    | 1                        | 30B             |
| Aserrín, Seco             | 10-13                  | B6-45UX            | L-S-B                              | 1                    | 1.4                      | 15              |
| Asfalto (de Utah)         | 37                     | C1/2-35            | H                                  | 3                    | 1.5                      | 30A             |
| Asfalto, Triturado - 1/2" | 45                     | C1/2-45            | H                                  | 2                    | 2                        | 30A             |
| Avena                     | 26                     | C1/2-25MN          | L-S-B                              | 1                    | 0.4                      | 45              |
| Avena, cáscarilla         | 8-12                   | B6-35NY            | L-S-B                              | 1                    | 0.5                      | 30A             |
| Avena, harina             | 35                     | A100-35            | L-S-B                              | 1                    | 0.5                      | 30A             |
| Avena, procesada          | 19-24                  | C1/2-35NY          | L-S-B                              | 1                    | 0.6                      | 30A             |
| Avena, rizada             | 19-26                  | C1/2-35            | L-S-B                              | 1                    | 0.5                      | 30A             |
| Avena, triturada          | 22                     | B6-45NY            | L-S-B                              | 1                    | 0.6                      | 30A             |
| Azafrán (ver Cáritamo)    | -                      | -                  | -                                  | -                    | -                        | -               |
| Azúcar de leche           | 32                     | A100-35PX          | S                                  | 1                    | 0.6                      | 30A             |

MARTIN. Catalogo general de productos de Martin Sprocket&Gear. Transportadores helicoidales. p. H-8

ANEXO H. Factor del diámetro del transportador.

$F_d$  = Factor del diámetro del transportador (Tabla 1-12).

$F_b$  = Factor del buje para colgante (Tabla 1-13).

C = Capacidad en pies cúbico por hora.

W = Densidad del material en libras por pie cúbico.

$F_f$  = Factor de helicoidal (Tabla 1-14).

$F_m$  = Factor de material (Tabla 1-2).

$F_p$  = Factor de las paletas (cuando se requieran) (Tabla 1-15).

$F_o$  = Factor de sobrecarga (Tabla 1-16).

e = Eficiencia de la transmisión (Tabla 1-17).

**Tabla 1-12**

| Factor del Diámetro del Transportador, $F_d$ |              |                                    |              |
|--|--------------|------------------------------------|--------------|
| Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)           | Factor $F_d$ | Diámetro del Helicoidal (Pulgadas) | Factor $F_d$ |
| 4  | 12.0         | 14                                 | 78.0         |
| 6  | 18.0         | 16                                 | 106.0        |
| 9  | 31.0         | 18                                 | 135.0        |
| 10   | 37.0         | 20                                 | 165.0        |
| 12   | 55.0         | 24                                 | 235.0        |
|  |              | 30                                 | 300.0        |

MARTIN. Catalogo general de productos de Martin Sprocket&Gear. Transportadores helicoidales. p. H-23

ANEXO I. Factor del buje para colgante.

**Tabla 1-13**

| Factor del Buje para Colgante |  |                                     |
|-------------------------------|--|-------------------------------------|
| Tipo de Buje                  |  | Factor del Buje para Colgante $F_b$ |
| B                             | Rodamiento de Bolas  | 1.0                                 |
| L                             | Bronce <i>Martin</i>   | 2.0                                 |
| S                             | * Bronce Grafitado<br>* Bronce, Impregnado en Aceite<br>* Madera, Impregnado en Aceite<br>* Nylatron *<br>* Nylon<br>* Teflón<br>* UHMH<br>* Uretano | 2.0                                 |
|                               | * Hierro Endurecido <i>Martin</i>  | 3.4                                 |
| H                             | * Superficie Endurecida<br>* Stellite<br>* Cerámica  | 4.4                                 |

MARTIN. Catalogo general de productos de Martin Sprocket&Gear. Transportadores helicoidales. p. H-23

ANEXO J. Factor por porcentaje de carga de transportador.

**Tabla 1-14**  
Factor,  $F_f$

| Tipo de Helicoidal   | $F_f$ Factor por porcentaje de carga de transportador |      |      |      |
|----------------------|---|------|------|------|
|                      | 15%   | 30%  | 45%  | 95%  |
| Estándar             | 1.0   | 1.0  | 1.0  | 1.0  |
| Helicoidal con Corte | 1.10  | 1.15 | 1.20 | 1.3  |
| Con Corte y Doblez   | N.R.*   | 1.50 | 1.70 | 2.20 |
| Helicoidal de Listón | 1.05  | 1.14 | 1.20 | —    |
| *No recomendada      |   |      |      |      |

MARTIN. Catalogo general de productos de Martin Sprocket&Gear. Transportadores helicoidales. p. H-24

ANEXO K. Constante del dióxido de carbono y vapor de agua.

| $j$  | $c_{0j}$  | $c_{1j}$ | $c_{2j}$ | $c_{3j}$ | $c_{4j}$   |
|--|-----------|----------|----------|----------|------------|
| Water vapor, $T > 400$ K, $M = 2$ , $N = 2$    |           |          |          |          |            |
| 0  | -2.2118   | -1.1987  | 0.035596 |          |            |
| 1  | 0.85667   | 0.93048  | -0.14391 |          |            |
| 2  | -0.10838  | -0.17156 | 0.045915 |          |            |
| Carbon dioxide, $T > 400$ K, $M = 3$ , $N = 4$ |           |          |          |          |            |
| 0  | -3.9781   | 2.7353   | -1.9822  | 0.31054  | 0.015719   |
| 1  | 1.9326    | -3.5932  | 3.7247   | -1.4535  | 0.20132    |
| 2  | -0.35366  | 0.61766  | -0.84207 | 0.39859  | -0.063356  |
| 3  | -0.080181 | 0.31466  | -0.19973 | 0.046532 | -0.0033086 |

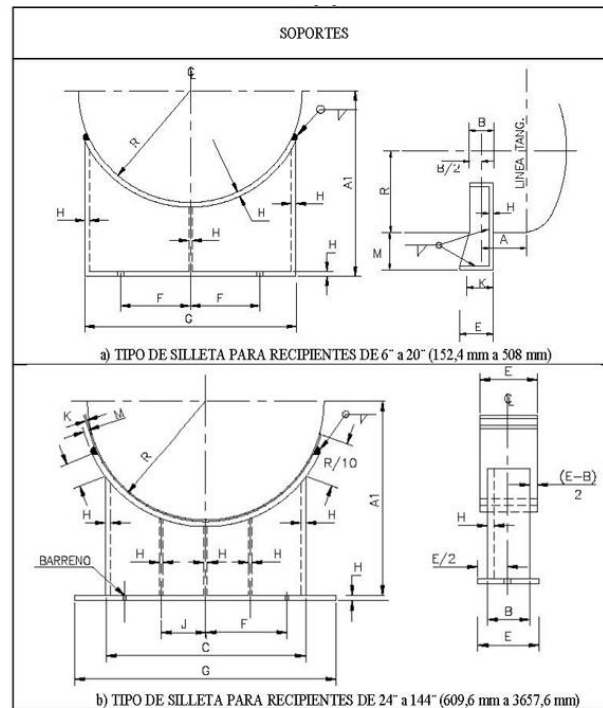
Fuente: "Libro-Thermal Radiation Heat Transfer, 5th Edition"

ANEXO L. Valores de constantes experimentales para varias combinaciones fluido-superficie

| Combinación fluido-superficie de calentamiento      | $C_{sf}$ | $n$ |
|---|----------|-----|
| Agua-cobre (pulido)                                 | 0.0130   | 1.0 |
| Agua-cobre (rayado)                                 | 0.0068   | 1.0 |
| Agua-acero inoxidable (pulido mecánicamente)        | 0.0130   | 1.0 |
| Agua-acero inoxidable (rectificado y pulido)        | 0.0060   | 1.0 |
| Agua-acero inoxidable (recubierto de teflón picado) | 0.0058   | 1.0 |
| Agua-acero inoxidable (corroído químicamente)       | 0.0130   | 1.0 |
| Agua-latón  | 0.0060   | 1.0 |
| Agua-níquel   | 0.0060   | 1.0 |
| Agua-platino  | 0.0130   | 1.0 |

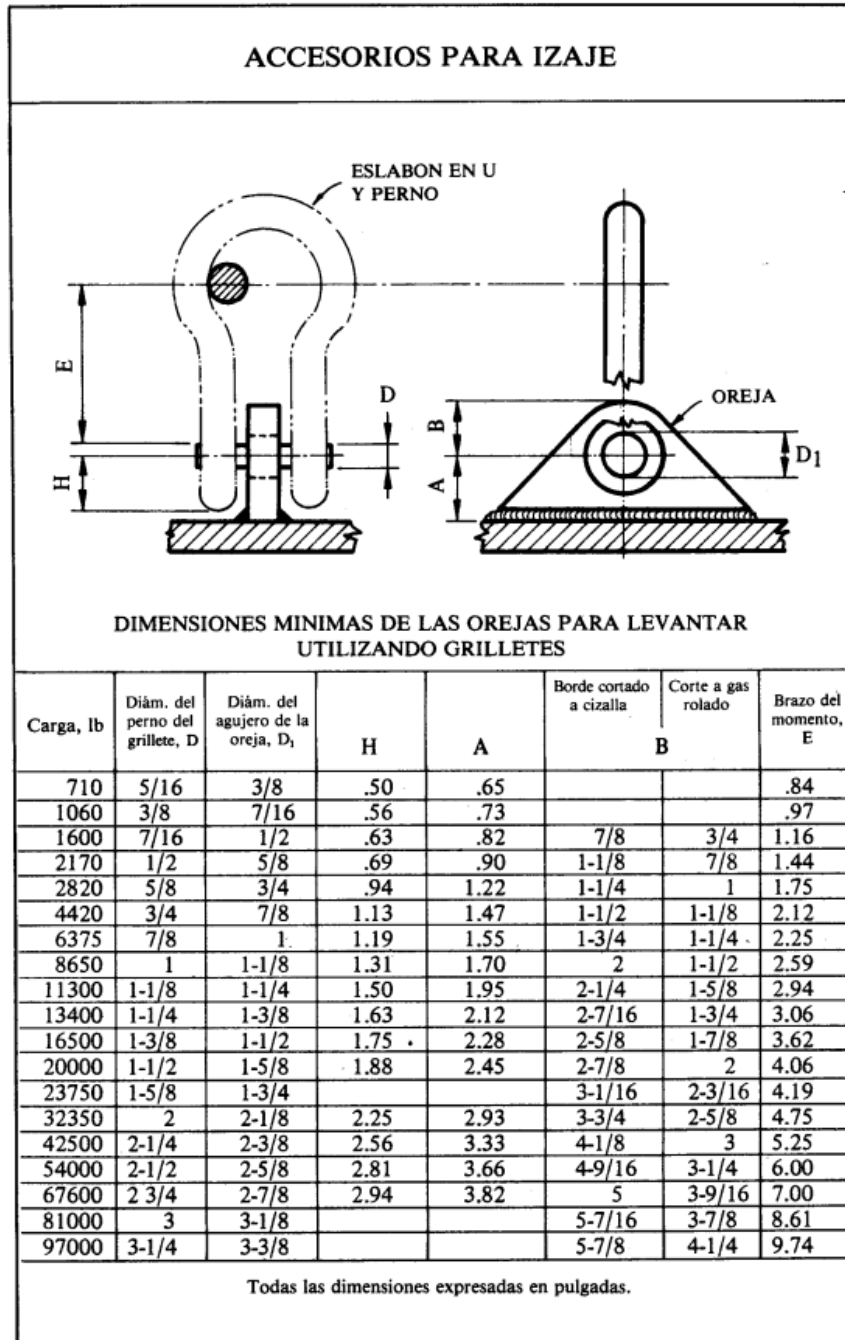
Fuente: Yunus A. Cengel y Afshin J. Ghajar. Transferencia de calor y masa. Cuarta Edición.

ANEXO M. Diseño de soportes para recipientes cilíndricos horizontales.



Fuente: Monografías. Methodological conception for a standardized library on container design. [Sitio web] (Consulta: 04 de diciembre del 2022). Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos-pdf5/concepcion-metodologica-biblioteca-estandarizada-diseno-recipientes/concepcion-metodologica-biblioteca-estandarizada-diseno-recipientes>.

ANEXO N. Geometría del accesorio de izaje.



EUGENE, MEGYESY. Manual de recipientes a presión, diseño y cálculo. LIMUSA. 1992. Parte. 1. Accesorios de izaje. p. 213.

## ANEXO O. Espesor de soldadura recomendado.

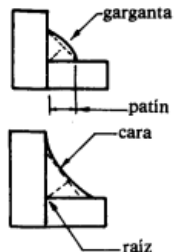
### DISEÑO DE JUNTAS SOLDADAS PARA MIEMBROS ESTRUCTURALES

#### SOLDADURA DE RANURA

Las soldaduras de ranura son por lo general una continuación del metal de base. Con este tipo de soldadura se asigna la misma resistencia a la soldadura que a los miembros que une.

#### SOLDADURA DE FILETE

Dimensión de la soldadura



El tamaño de una soldadura de filete de lados iguales es la dimensión del cateto del triángulo rectángulo más grande de 45° que pueda inscribirse en la sección transversal de la soldadura.

El tamaño de una soldadura de filete de patines desiguales es la distancia más corta de la raíz a la cara de la soldadura.

Dimensión de la garganta =  $0.707 \times$  dimensión del patín.

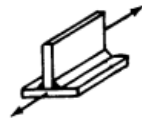
Tamaño mínimo de soldadura\*

| Esesor de la placa más gruesa, pulg.           | 1/2  | 3/4 | 1/2  | 2 1/4 | 6   | Más de 6 |
|--|------|-----|------|-------|-----|----------|
| Tamaño mínimo de la soldadura de filete, pulg. | 3/16 | 1/4 | 3/16 | 3/8   | 1/2 | 5/8      |

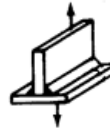
\* El tamaño de la soldadura no necesita ser mayor que el espesor de la parte más delgada que una.

#### Indicaciones para la soldadura de filete

1. Utilice el tamaño mínimo requerido de soldadura de filete para la resistencia deseada. Al aumentar el tamaño de una soldadura de filete, aumentan el volumen y costo en proporción al cuadrado del tamaño.
2. Coloque la soldadura de manera que se evite excentricidad, sea fácilmente accesible y pueda soldarse hacia abajo.
3. Aplique la soldadura de filete transversalmente a la fuerza para lograr mayor resistencia.



SOLDADURA PARALELA



SOLDADURA TRANSVERSAL

#### Carga permitida

La resistencia de las soldaduras se produce en función del procedimiento de aplicación y del electrodo utilizado. Para juntas de acero al carbono, la máxima carga estática que se permite por lo común es de 9600 (9.6 klb/pulg<sup>2</sup>) lb por pulgada cuadrada de área de los patines de la soldadura de filete, ó 600 lb en una soldadura de filete de 1/16" de patín  $\times$  1" de longitud. Por ejemplo: la carga permitida en una soldadura de filete de 1/4"  $\times$  1" de largo es  $4 \times 600 = 2400$  lb.

#### Cargas combinadas

Los esfuerzos cortante y flexionante o los esfuerzos de torsión debidos a cargas excéntricas pueden combinarse vectorialmente. Su combinación se basa en la teoría elástica y proporciona un método simplificado y conservador.

EUGENE, MEGYESY. Manual de recipientes a presión, diseño y cálculo. LIMUSA. 1992. Parte. 1. Accesorios de izaje. p. 439.

ANEXO P. Constantes para método de Wileman.

**Tabla 15.3** Constantes usadas en la fórmula de la rigidez de la junta [ecuación (15.26)]. [J. Wileman, M. Choudhury e I. Green, "Computation of Member Stiffness in Bolted Connections", *Journal of Machine Design*, 1991, vol. 193, pp. 432-437. Reimpresa con autorización de la American Society of Mechanical Engineers International.]

| Material            | Razón de Poisson<br>$\nu$ | Módulo de elasticidad<br>$E$ , GPa | Constantes numéricas |         |
|---------------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------|---------|
|                     |                           |                                    | $A_i$                | $B_i$   |
| Acero               | 0.291                     | 206.8                              | 0.78715              | 0.62873 |
| Aluminio            | .334                      | 71.0                               | .79670               | .63816  |
| Cobre               | .326                      | 118.6                              | .79568               | .63553  |
| Hierro fundido gris | .211                      | 100.0                              | .77871               | .61616  |

HAMROCK, BERNARD. ELEMENTOS DE MAQUINAS. McGRAW-HILL. 2000. Cap.15. Sujetadores roscados. p. 679

ANEXO Q. Dimensiones y áreas de esfuerzo para roscas.

**Tabla 15.6** Dimensiones y áreas del esfuerzo a tensión para roscas UN bastas y finas.

| Diámetro de la cresta,<br>$d$ , pulg | Roscas bastas (UNC)                  |   | Roscas finas (UNF)                   |   |
|--------------------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|---|
|                                      | Número de roscas por pulgada,<br>$n$ | Área del esfuerzo de tensión, $A_t$ , pulg <sup>2</sup> | Número de roscas por pulgada,<br>$n$ | Área del esfuerzo de tensión, $A_t$ , pulg <sup>2</sup> |
| 0.0600                               | —                                    | —   | 80                                   | 0.00180   |
| 0.0730                               | 64                                   | 0.00263   | 72                                   | 0.00278   |
| 0.0860                               | 56                                   | 0.00370   | 64                                   | 0.00394   |
| 0.0990                               | 48                                   | 0.00487   | 56                                   | 0.00523   |
| 0.1120                               | 40                                   | 0.00604   | 48                                   | 0.00661   |
| 0.1250                               | 40                                   | 0.00796   | 44                                   | 0.00830   |
| 0.1380                               | 32                                   | 0.00909   | 40                                   | 0.01015   |
| 0.1640                               | 32                                   | 0.0140  | 36                                   | 0.01474   |
| 0.1900                               | 24                                   | 0.0175  | 32                                   | 0.0200  |
| 0.2160                               | 24                                   | 0.0242  | 28                                   | 0.0258  |
| 0.2500                               | 20                                   | 0.0318  | 28                                   | 0.0364  |
| 0.3125                               | 18                                   | 0.0524  | 24                                   | 0.0580  |
| 0.3750                               | 16                                   | 0.0775  | 24                                   | 0.0878  |
| 0.4735                               | 14                                   | 0.1063  | 20                                   | 0.1187  |
| 0.5000                               | 13                                   | 0.1419  | 20                                   | 0.1599  |
| 0.5625                               | 12                                   | 0.182   | 18                                   | 0.203   |
| 0.6250                               | 11                                   | 0.226   | 18                                   | 0.256   |
| 0.7500                               | 10                                   | 0.334   | 16                                   | 0.373   |
| 0.8750                               | 9                                    | 0.462   | 14                                   | 0.509   |
| 1.000                                | 8                                    | 0.606   | 12                                   | 0.663   |
| 1.125                                | 7                                    | 0.763   | 12                                   | 0.856   |
| 1.250                                | 7                                    | 0.969   | 12                                   | 1.073   |
| 1.375                                | 6                                    | 1.155   | 12                                   | 1.315   |
| 1.500                                | 6                                    | 1.405   | 12                                   | 1.581   |
| 1.750                                | 5                                    | 1.90  | —                                    | —   |
| 2.000                                | 4½                                   | 2.50  | —                                    | —   |

HAMROCK, BERNARD. ELEMENTOS DE MAQUINAS. McGRAW-HILL. 2000. Cap.15. Sujetadores roscados. p. 701

## ANEXO R. Código de librería usado en EES (Engineering Equation Solver).

File:Libreria\_Tesis.LIB 01/02/2023 5:45:40 Page 1  
 9.944: #4402: EASY ENGINEERING, [https://www.youtube.com/channel/UCjC8ulmve2QNRJXhDpk-L2A+CN&xJID\\_JLN&yNINGGBDE&CJH@NYX&](https://www.youtube.com/channel/UCjC8ulmve2QNRJXhDpk-L2A+CN&xJID_JLN&yNINGGBDE&CJH@NYX&)

PROCEDURE TypeCaldera(Tipo\$:m\_dot\_comb,Ds,Dtp,Dts;Nts;Lef;Lt)

```
IF (Tipo$ = '4,3BHP') Then
  Ds = 40*convert(in,m)
  Dtp = 10*convert(in,m)
  Dts = 2*convert(in,m)
  Nts = 24
  Lef = 60*convert(in,m)
  Lt = 79*convert(in,m)
ENDIF
m_dot_comb = 0,00714 [kg/s]
END
```

PROCEDURE Combustion(Comb\$:m\_dot\_comb,exc\_aire,T\_ent\_air,T\_ent\_comb,T\_g;Q;x\_CO2;x\_H2O;x\_O2;x\_N2;P\_CO2;P\_H2O;m\_dot\_g,AC,Costo\_Hora,Costo\_Dia,Costo\_Anuar)

{Aserrin}

```
X_C=42,16/85,36
X_H2=29,76/85,36
X_O2=13,43/85,36
X_N2=0,01/85,36
```

{GasNatural}

```
X_CH4_GN=51,03/56,438
X_C2H6_GN=3,86/56,438
X_C3H8_GN=0,43/56,438
X_C4H10_GN=0,039/56,438
X_NC4H10_GN=0,037/56,438
X_N2_GN=0,32/56,438
X_CO2_GN=0,722/56,438
```

"Gas Natural"

```
MW_CH4_GN=MolarMass(CH4)
MW_C2H6_GN=MolarMass(C2H6)
MW_C3H8_GN=MolarMass(C3H8)
MW_C4H10_GN=MolarMass(C4H10)
MW_N2_GN=MolarMass(N2)
MW_CO2_GN=MolarMass(CO2)
```

"Aserrin"

```
MW_C_Solido=MolarMass(C)
MW_H_Solido=MolarMass(H2)
MW_O_Solido=MolarMass(O2)
MW_N_Solido=MolarMass(N2)
```

"Gas Natural"

```
DELTAh_CH4_GN=(Enthalpy(CH4,T=T_ent_comb)-Enthalpy(CH4,T=25))*MW_CH4_GN*convert(kJ/kmol,kJ/mol)
DELTAh_C2H6_GN=(Enthalpy(C2H6,T=T_ent_comb)-Enthalpy(C2H6,T=25))*MW_C2H6_GN*convert(kJ/kmol,kJ/mol)
DELTAh_C3H8_GN=(Enthalpy(C3H8,T=T_ent_comb)-Enthalpy(C3H8,T=25))*MW_C3H8_GN*convert(kJ/kmol,kJ/mol)
DELTAh_C4H10_GN=(Enthalpy(C4H10,T=T_ent_comb)-Enthalpy(C4H10,T=25))*MW_C4H10_GN*convert(kJ/kmol,kJ/mol)
DELTAh_NC4H10_GN=(Enthalpy(C4H10,T=T_ent_comb)-Enthalpy(C4H10,T=25))*MW_C4H10_GN*convert(kJ/kmol,kJ/mol)
DELTAh_N2_GN=(Enthalpy(N2,T=T_ent_comb)-Enthalpy(N2,T=25))*MW_N2_GN*convert(kJ/kmol,kJ/mol)
DELTAh_CO2_GN=(Enthalpy(CO2,T=T_ent_comb)-Enthalpy(CO2,T=25))*MW_CO2_GN*convert(kJ/kmol,kJ/mol)
```

"Aserrin"

```
DELTAh_C_Solido=(Enthalpy(C,T=T_ent_comb)-Enthalpy(C,T=25))*MW_C_Solido*convert(kJ/kmol,kJ/mol)
DELTAh_H_Solido=(Enthalpy(H,T=T_ent_comb)-Enthalpy(H,T=25))*MW_H_Solido*convert(kJ/kmol,kJ/mol)
DELTAh_O_Solido=(Enthalpy(O,T=T_ent_comb)-Enthalpy(O,T=25))*MW_O_Solido*convert(kJ/kmol,kJ/mol)
DELTAh_N_Solido=(Enthalpy(N,T=T_ent_comb)-Enthalpy(N,T=25))*MW_N_Solido*convert(kJ/kmol,kJ/mol)
```

```
DELTAh_GN=(X_CH4_GN*DELTAh_CH4_GN)+(X_C2H6_GN*DELTAh_C2H6_GN)+(X_C3H8_GN*
```

```
DELTAH_C3H8_GN)+(X_C4H10_GN*DELTAH_C4H10_GN)+(X_NC4H10_GN*DELTAH_NC4H10_GN)+(X_N2_GN*
DELTAH_N2_GN)+(X_CO2_GN*DELTAH_CO2_GN)
```

```
DELTAH_Aserrin=(X_C*DELTAH_C_Solido)+(X_H2*DELTAH_H_Solido)+(X_O2*DELTAH_O_Solido)+(X_O2*
DELTAH_N_Solido)
```

```
DELTAH_Mezcla=(DELTAH_GN+DELTAH_Aserrin)/2
```

```
IF (Comb$='Mezcla') Then
x=51,613 [mol]
y=72,75 [mol]
z=7,076 [mol]
k=0,165 [mol]
PCI=560,9 [kJ/mol]
n_comb=70,898 [mol]
M_comb=14,69 [kg/kmol]
DELTAH_comb=DELTAH_Mezcla
Costo=101750 [$]
md=45,75
ENDIF
```

```
IF (Comb$='GasNatural') Then
x=61,066 [mol]
y=115,74 [mol]
z=0,722 [mol]
k=0,32 [mol]
PCI=842,9 [kJ/mol]
n_comb=56,438 [mol]
M_comb=17,7 [kg/kmol]
DELTAH_comb=DELTAH_GN
Costo=3500[$]
md=1,5
ENDIF
```

```
IF (Comb$='Aserrin') Then
x=42,16 [mol]
y=29,76 [mol]
z=13,43 [mol]
k=0,01 [mol]
PCI=278,9 [kJ/mol]
n_comb=85,36 [mol]
M_comb=11,67 [kg/kmol]
DELTAH_comb=DELTAH_Aserrin
Costo=200000[$]
md=88,49
ENDIF
```

```
Costo_Hora=m_dot_comb*(1/md)*(3600)*Costo
```

```
Costo_Dia=Costo_Hora*10
```

```
Costo_Anual=Costo_Dia*365
```

```
alpha=exc_aire/100
epsilon=x+(y/2)-z
n_CO2=x
M_CO2=MolarMass(CO2)
n_H2O=y
M_H2O=MolarMass(H2O)
n_O2=(alpha-1)*epsilon
M_O2=MolarMass(O2)
n_N2=(3,76*alpha*epsilon)+k
```

```

M_N2=MolarMass(N2)
n_aire=4,76*alpha*epsilon
M_aire=MolarMass(air)

m_dot_a=m_dot_comb*((4,76*alpha*epsilon*M_aire)/(n_comb*M_comb))
m_dot_g=m_dot_a+m_dot_comb

AC=(4,76*alpha*epsilon*M_aire)/(n_comb*M_comb)

n_T=n_CO2+n_H2O+n_O2+n_N2

x_CO2=n_CO2/n_T
x_H2O=n_H2O/n_T
x_O2=n_O2/n_T
x_N2=n_N2/n_T

P=101,325[kPa]
P_CO2=x_CO2*P
P_H2O=x_H2O*P

DELTAh_air=(Enthalpy(Air,T=T_ent_air)-Enthalpy(Air,T=25[C]))*M_aire*convert(kJ/kmol,kJ/mol)
{DELTAh_comb=(Enthalpy(Comb$,T=T_ent_comb)-Enthalpy(Comb$,T=25[C]))*M_comb*convert(kJ/kmol,kJ/mol)}
DELTAh_CO2=(Enthalpy(CO2,T=T_g)-Enthalpy(CO2,T=25[C]))*M_CO2*convert(kJ/kmol,kJ/mol)
DELTAh_H2O=(Enthalpy(H2O,T=T_g)-Enthalpy(H2O,T=25[C]))*M_H2O*convert(kJ/kmol,kJ/mol)
DELTAh_O2=(Enthalpy(O2,T=T_g)-Enthalpy(O2,T=25[C]))*M_O2*convert(kJ/kmol,kJ/mol)
DELTAh_N2=(Enthalpy(N2,T=T_g)-Enthalpy(N2,T=25[C]))*M_N2*convert(kJ/kmol,kJ/mol)

Q=n_aire*DELTAh_air+n_comb*DELTAh_comb+n_comb*PCI-(n_CO2*DELTAh_CO2+n_H2O*DELTAh_H2O+n_O2*
DELTAh_O2+n_N2*DELTAh_N2)
    
```

END

"....."

PROCEDURE Propiedades(T\_g,x\_CO2,x\_H2O,x\_O2,x\_N2:Cp\_g,rho\_g;mu\_g;k\_g;Pr\_g)

```

M_CO2=MolarMass(CO2)
M_H2O=MolarMass(H2O)
M_O2=MolarMass(O2)
M_N2=MolarMass(N2)

M_g=(x_CO2*M_CO2+x_H2O*M_H2O+x_O2*M_O2+x_N2*M_N2)

y_CO2=x_CO2*M_CO2/M_g
y_H2O=x_H2O*M_H2O/M_g
y_O2=x_O2*M_O2/M_g
y_N2=x_N2*M_N2/M_g

Cp_CO2=Cp(CO2;T=T_g)
Cp_H2O=Cp(H2O;T=T_g)
Cp_O2=Cp(O2;T=T_g)
Cp_N2=Cp(N2;T=T_g)

Cp_g=(y_CO2*Cp_CO2+y_H2O*Cp_H2O+y_O2*Cp_O2+y_N2*Cp_N2)

rho_CO2=Density(CO2;T=T_g;P=101,325[kPa])
rho_H2O=Density(H2O;T=T_g;P=101,325[kPa])
rho_O2=Density(O2;T=T_g;P=101,325[kPa])
rho_N2=Density(N2;T=T_g;P=101,325[kPa])

rho_g=(y_CO2*rho_CO2+y_H2O*rho_H2O+y_O2*rho_O2+y_N2*rho_N2)
    
```

```

mu_CO2=Viscosity(CO2,T=T_g)
mu_H2O=Viscosity(H2O,T=T_g)
mu_O2=Viscosity(O2,T=T_g)
mu_N2=Viscosity(N2,T=T_g)

mu_g=(y_CO2*mu_CO2+y_H2O*mu_H2O+y_O2*mu_O2+y_N2*mu_N2)

```

```

k_CO2=Conductivity(CO2,T=T_g)
k_H2O=Conductivity(H2O,T=T_g)
k_O2=Conductivity(O2,T=T_g)
k_N2=Conductivity(N2,T=T_g)

k_g=(y_CO2*k_CO2+y_H2O*k_H2O+y_O2*k_O2+y_N2*k_N2)

```

```

Pr_CO2=Prandtl(CO2,T=T_g)
Pr_H2O=Prandtl(H2O,T=T_g)
Pr_O2=Prandtl(O2,T=T_g)
Pr_N2=Prandtl(N2,T=T_g)

Pr_g=(y_CO2*Pr_CO2+y_H2O*Pr_H2O+y_O2*Pr_O2+y_N2*Pr_N2)

```

END

PROCEDURE Emisividad(T\_g;P\_H2O;P\_CO2;L\_e epsilon)

```

Pv=P_H2O*convert(kPa,bar)
Pc=P_CO2*convert(kPa,bar)
Le=L_e*convert(m,cm)
T=ConvertTEMP(C;K;T_g)
Cv[0;0]=-2,2118
Cv[1;0]=0,85667
Cv[2;0]=-0,10838

Cv[0;1]=-1,1987
Cv[1;1]=0,93048
Cv[2;1]=-0,17156

Cv[0;2]=0,035596
Cv[1;2]=-0,14391
Cv[2;2]=0,045915

Duplicate j=0;2
a[j]=Cv[j;0]+sum(Cv[j;i]*(T/1000[K])^i;i=1;2)
End

epsilon_H2O=exp(a[0])+sum(a[j]*(log10((Pv*Le)/1[bar*cm]))^j;j=1;2))

Cc[0;0]=-3,9781
Cc[1;0]=1,9326
Cc[2;0]=-0,35366
Cc[3;0]=-0,080181

Cc[0;1]=2,7353
Cc[1;1]=-3,5932
Cc[2;1]=0,61766
Cc[3;1]=0,31466

Cc[0;2]=-1,9822
Cc[1;2]=3,7247
Cc[2;2]=-0,84207
Cc[3;2]=-0,19973

```

```

Cc[0,3]=0,31054
Cc[1,3]=-1,4535
Cc[2,3]=0,39859
Cc[3,3]=0,046532

Cc[0,4]=0,015719
Cc[1,4]=0,20132
Cc[2,4]=-0,063356
Cc[3,4]=-0,0033086

Duplicate j=0;3
ac[j]=Cc[j,0]+sum(Cc[j,i]*(T/1000[K])^i,i=1;4)
End

epsilon_CO2=exp(ac[0]+sum(ac[j]*(log10((Pc*Le)/1[bar*cm]))^j,j=1;3))

zeta=Pv/(Pv+Pc)
pLe=(Pc+Pv)*Le
DELTA_E=((zeta/(10,7+101*zeta))-0,0089*zeta^10,4)*(log10(pLe/1[bar*cm]))^2,76
epsilon=epsilon_H2O+epsilon_CO2-DELTA_E

END

PROCEDURE Absortividad(T_s,P_H2O;P_CO2;L_e:alpha)

Pv=P_H2O*convert(kPa;bar)
Pc=P_CO2*convert(kPa;bar)
Le=L_e*convert(m;cm)
T=ConvertTEMP(C;K;T_s)
Cv[0,0]=-2,2118
Cv[1,0]=0,85667
Cv[2,0]=-0,10838

Cv[0,1]=-1,1987
Cv[1,1]=0,93048
Cv[2,1]=-0,17156

Cv[0,2]=0,035596
Cv[1,2]=-0,14391
Cv[2,2]=0,045915

Duplicate j=0;2
a[j]=Cv[j,0]+sum(Cv[j,i]*(T/1000[K])^i,i=1;2)
End

alpha_H2O=exp(a[0]+sum(a[j]*(log10((Pv*Le)/1[bar*cm]))^j,j=1;2))

Cc[0,0]=-3,9781
Cc[1,0]=1,9326
Cc[2,0]=-0,35366
Cc[3,0]=-0,080181

Cc[0,1]=2,7353
Cc[1,1]=-3,5932
Cc[2,1]=0,61766
Cc[3,1]=0,31466

Cc[0,2]=-1,9822
Cc[1,2]=3,7247
Cc[2,2]=-0,84207
Cc[3,2]=-0,19973

Cc[0,3]=0,31054
Cc[1,3]=-1,4535
Cc[2,3]=0,39859

```

```

Cc[3,3]=0,046532

Cc[0,4]=0,015719
Cc[1,4]=0,20132
Cc[2,4]=-0,063356
Cc[3,4]=-0,0033086

Duplicate j=0;3
ac[j]=Cc[j,0]+sum(Cc[j,i]*(T/1000[K])^i;i=1;4)
End

alpha_CO2=exp(ac[0]+sum(ac[j]*(log10((Pc*Le)/1[bar*cm]))^j;j=1;3))

zeta=Pv/(Pv+Pc)
pLe=(Pc+Pv)*Le
DELTA_a=((zeta/(10,7+101*zeta))-0,0089*zeta^10,4)*(log10(pLe/1[bar*cm]))^2,76
alpha=alpha_H2O+alpha_CO2-DELTA_a

END
    
```

Procedure **TypeCaldera** (Tipo\$ :  $\dot{m}_{comb}$ , Ds, Dtp, Dts, Nts, Left)

If [ Tipo\$ = '4,3BHP' ] Then

$$Ds := 40 \cdot \left| 0,0254 \cdot \frac{m}{in} \right|$$

$$Dtp := 10 \cdot \left| 0,0254 \cdot \frac{m}{in} \right|$$

$$Dts := 2 \cdot \left| 0,0254 \cdot \frac{m}{in} \right|$$

$$Nts := 24$$

$$Lef := 60 \cdot \left| 0,0254 \cdot \frac{m}{in} \right|$$

$$Lt := 79 \cdot \left| 0,0254 \cdot \frac{m}{in} \right|$$

$$\dot{m}_{comb} := 0,00714 \text{ [kg/s]}$$

End **TypeCaldera**

Procedure **Combustion** (Comb\$,  $\dot{m}_{comb}$ , exc\_ave, T\_ent,ar, T\_ent,comb, T\_g : Q; X\_CO2, X\_H2O, X\_O2, X\_N2, P\_CO2P\_H2O,  $\dot{m}_{gi}$ , AC, Costo\_Hora, Costo\_Dia, Costo\_Anuo)

$$X_C := \frac{42,16}{85,36}$$

$$X_{H2} := \frac{29,76}{85,36}$$

$$X_{O2} := \frac{13,43}{85,36}$$

$$x_{N_2} := \frac{0,01}{85,36}$$

$$x_{CH_4,GN} := \frac{51,03}{56,438}$$

$$x_{C_2H_6,GN} := \frac{3,86}{56,438}$$

$$x_{C_3H_8,GN} := \frac{0,43}{56,438}$$

$$x_{C_4H_{10},GN} := \frac{0,039}{56,438}$$

$$x_{N_2,GN} := \frac{0,037}{56,438}$$

$$x_{CO_2,GN} := \frac{0,722}{56,438}$$

**Gas Natural**

$$MW_{CH_4,GN} := \text{MolarMass} [CH_4]$$

$$MW_{C_2H_6,GN} := \text{MolarMass} [C_2H_6]$$

$$MW_{C_3H_8,GN} := \text{MolarMass} [C_3H_8]$$

$$MW_{C_4H_{10},GN} := \text{MolarMass} [C_4H_{10}]$$

$$MW_{N_2,GN} := \text{MolarMass} [N_2]$$

$$MW_{CO_2,GN} := \text{MolarMass} [CO_2]$$

**Aserrin**

$$MW_{C,Solido} := \text{MolarMass} [C]$$

$$MW_{H,Solido} := \text{MolarMass} [H_2]$$

$$MW_{O,Solido} := \text{MolarMass} [O_2]$$

$$MW_{N,Solido} := \text{MolarMass} [N_2]$$

**Gas Natural**

$$\Delta h_{CH_4,GN} := [h(CH_4; T = T_{ent,comb}) - h(CH_4; T = 25)] \cdot MW_{CH_4,GN} \cdot \left| 0,001 \cdot \frac{kJ/mol}{kJ/kmol} \right|$$

$$\Delta h_{C_2H_6,GN} := [h(C_2H_6; T = T_{ent,comb}) - h(C_2H_6; T = 25)] \cdot MW_{C_2H_6,GN} \cdot \left| 0,001 \cdot \frac{kJ/mol}{kJ/kmol} \right|$$

$$\Delta h_{C_3H_8,GN} := [h(C_3H_8; T = T_{ent,comb}) - h(C_3H_8; T = 25)] \cdot MW_{C_3H_8,GN} \cdot \left| 0,001 \cdot \frac{kJ/mol}{kJ/kmol} \right|$$

$$\Delta h_{C4H10,GN} := [h(C4H10; T = T_{ent,comb}) - h(C4H10; T = 25)] \cdot MW_{C4H10,GN} \cdot \left| 0,001 \cdot \frac{kJ/mol}{kJ/kmol} \right|$$

$$\Delta h_{NC4H10,GN} := [h(C4H10; T = T_{ent,comb}) - h(C4H10; T = 25)] \cdot MW_{C4H10,GN} \cdot \left| 0,001 \cdot \frac{kJ/mol}{kJ/kmol} \right|$$

$$\Delta h_{N2,GN} := [h(N2; T = T_{ent,comb}) - h(N2; T = 25)] \cdot MW_{N2,GN} \cdot \left| 0,001 \cdot \frac{kJ/mol}{kJ/kmol} \right|$$

$$\Delta h_{CO2,GN} := [h(CO2; T = T_{ent,comb}) - h(CO2; T = 25)] \cdot MW_{CO2,GN} \cdot \left| 0,001 \cdot \frac{kJ/mol}{kJ/kmol} \right|$$

*Aserin*

$$\Delta h_{C,Solido} := [h(C; T = T_{ent,comb}) - h(C; T = 25)] \cdot MW_{C,Solido} \cdot \left| 0,001 \cdot \frac{kJ/mol}{kJ/kmol} \right|$$

$$\Delta h_{H,Solido} := [h(H; T = T_{ent,comb}) - h(H; T = 25)] \cdot MW_{H,Solido} \cdot \left| 0,001 \cdot \frac{kJ/mol}{kJ/kmol} \right|$$

$$\Delta h_{O,Solido} := [h(O; T = T_{ent,comb}) - h(O; T = 25)] \cdot MW_{O,Solido} \cdot \left| 0,001 \cdot \frac{kJ/mol}{kJ/kmol} \right|$$

$$\Delta h_{N,Solido} := [h(N; T = T_{ent,comb}) - h(N; T = 25)] \cdot MW_{N,Solido} \cdot \left| 0,001 \cdot \frac{kJ/mol}{kJ/kmol} \right|$$

$$\Delta h_{GN} := X_{CH4,GN} \cdot \Delta h_{CH4,GN} + X_{C2H6,GN} \cdot \Delta h_{C2H6,GN} + X_{C3H8,GN} \cdot \Delta h_{C3H8,GN} + X_{C4H10,GN} \cdot \Delta h_{C4H10,GN} \\ + X_{NC4H10,GN} \cdot \Delta h_{NC4H10,GN} + X_{N2,GN} \cdot \Delta h_{N2,GN} + X_{CO2,GN} \cdot \Delta h_{CO2,GN}$$

$$\Delta h_{Aserin} := X_C \cdot \Delta h_{C,Solido} + X_{H2} \cdot \Delta h_{H2,Solido} + X_{O2} \cdot \Delta h_{O,Solido} + X_{O2} \cdot \Delta h_{N,Solido}$$

$$\Delta h_{Mezcla} := \frac{\Delta h_{GN} + \Delta h_{Aserin}}{2}$$

If [Comb\$ = 'Mezcla'] Then

$$x := 51,613 \text{ [mol]}$$

$$y := 72,75 \text{ [mol]}$$

$$z := 7,076 \text{ [mol]}$$

$$k := 0,165 \text{ [mol]}$$

$$PCI := 560,9 \text{ [kJ/mol]}$$

$$n_{comb} := 70,898 \text{ [mol]}$$

$$M_{comb} := 14,69 \text{ [kg/kmol]}$$

$$\Delta h_{comb} := \Delta h_{Mezcla}$$

$$\text{Costo} := 101750 \text{ [\$]}$$

$$md := 45,75$$

If [Comb\$ = 'GasNatural'] Then

x := 61,066 [mol]  
y := 115,74 [mol]  
z := 0,722 [mol]  
k := 0,32 [mol]  
PCI := 842,9 [kJ/mol]  
n<sub>comb</sub> := 56,438 [mol]  
M<sub>comb</sub> := 17,7 [kg/kmol]  
Δh<sub>comb</sub> := Δh<sub>GN</sub>  
Costo := 3500 [\$]  
md := 1,5  
If [Comb\$ = 'Aserrin'] Then  
x := 42,16 [mol]  
y := 29,76 [mol]  
z := 13,43 [mol]  
k := 0,01 [mol]  
PCI := 278,9 [kJ/mol]  
n<sub>comb</sub> := 85,36 [mol]  
M<sub>comb</sub> := 11,67 [kg/kmol]  
Δh<sub>comb</sub> := Δh<sub>Aserrin</sub>  
Costo := 200000 [\$]  
md := 88,49  
Costo<sub>Hora</sub> :=  $\dot{m}_{comb} \cdot \frac{1}{md} \cdot 3600 \cdot Costo$   
Costo<sub>Dia</sub> := Costo<sub>Hora</sub> · 10  
Costo<sub>Annual</sub> := Costo<sub>Dia</sub> · 365  
 $\alpha := \frac{exCare}{100}$   
 $\varepsilon := x + \frac{y}{2} - z$   
n<sub>CO2</sub> := x

$$M_{CO2} := \text{MolarMass} [CO2]$$

$$n_{H2O} := y$$

$$M_{H2O} := \text{MolarMass} [H2O]$$

$$n_{O2} := [\alpha - 1] \cdot \varepsilon$$

$$M_{O2} := \text{MolarMass} [O2]$$

$$n_{N2} := 3,76 \cdot \alpha \cdot \varepsilon + k$$

$$M_{N2} := \text{MolarMass} [N2]$$

$$n_{\text{aire}} := 4,76 \cdot \alpha \cdot \varepsilon$$

$$M_{\text{aire}} := \text{MolarMass} [\text{Air}]$$

$$\dot{m}_a := \dot{m}_{\text{comb}} \cdot \frac{4,76 \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot M_{\text{aire}}}{n_{\text{comb}} \cdot M_{\text{comb}}}$$

$$\dot{m}_g := \dot{m}_a + \dot{m}_{\text{comb}}$$

$$AC := \frac{4,76 \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot M_{\text{aire}}}{n_{\text{comb}} \cdot M_{\text{comb}}}$$

$$n_T := n_{CO2} + n_{H2O} + n_{O2} + n_{N2}$$

$$x_{CO2} := \frac{n_{CO2}}{n_T}$$

$$x_{H2O} := \frac{n_{H2O}}{n_T}$$

$$x_{O2} := \frac{n_{O2}}{n_T}$$

$$x_{N2} := \frac{n_{N2}}{n_T}$$

$$P := 101,325 \text{ [kPa]}$$

$$P_{CO2} := x_{CO2} \cdot P$$

$$P_{H2O} := x_{H2O} \cdot P$$

$$\Delta h_{\text{air}} := [h(\text{Air}; T = T_{\text{ent,air}}) - h(\text{Air}; T = 25 \text{ [C]})] \cdot M_{\text{aire}} \cdot \left| 0,001 \cdot \frac{\text{kJ/mol}}{\text{kJ/kmol}} \right|$$

$$\Delta h_{CO2} := [h(CO2; T = T_g) - h(CO2; T = 25 \text{ [C]})] \cdot M_{CO2} \cdot \left| 0,001 \cdot \frac{\text{kJ/mol}}{\text{kJ/kmol}} \right|$$

$$\Delta h_{H2O} := [h(H2O; T = T_g) - h(H2O; T = 25 \text{ [C]})] \cdot M_{H2O} \cdot \left| 0,001 \cdot \frac{\text{kJ/mol}}{\text{kJ/kmol}} \right|$$

$$\Delta h_{O2} := [h(O2; T = T_g) - h(O2; T = 25 \text{ [C]})] \cdot M_{O2} \cdot \left| 0,001 \cdot \frac{\text{kJ/mol}}{\text{kJ/kmol}} \right|$$

$$\Delta h_{N_2} := [h(N_2; T = T_g) - h(N_2; T = 25 [C])] \cdot M_{N_2} \cdot \left| 0,001 \cdot \frac{\text{kJ/mol}}{\text{kJ/kmol}} \right|$$

$$Q := n_{\text{aire}} \cdot \Delta h_{\text{air}} + n_{\text{comb}} \cdot \Delta h_{\text{comb}} + n_{\text{comb}} \cdot \text{PCI} - [n_{\text{CO}_2} \cdot \Delta h_{\text{CO}_2} + n_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta h_{\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{O}_2} \cdot \Delta h_{\text{O}_2} + n_{\text{N}_2} \cdot \Delta h_{\text{N}_2}]$$

End Combustion

Procedure Propiedades ( $T_g$ ;  $x_{\text{CO}_2}$ ;  $x_{\text{H}_2\text{O}}$ ;  $x_{\text{O}_2}$ ;  $x_{\text{N}_2}$ ;  $Cp_g$ ;  $\rho_g$ ;  $\mu_g$ ;  $k_g$ ;  $Pr_g$ )

$$M_{\text{CO}_2} := \text{MolarMass} [\text{CO}_2]$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} := \text{MolarMass} [\text{H}_2\text{O}]$$

$$M_{\text{O}_2} := \text{MolarMass} [\text{O}_2]$$

$$M_{\text{N}_2} := \text{MolarMass} [\text{N}_2]$$

$$M_g := x_{\text{CO}_2} \cdot M_{\text{CO}_2} + x_{\text{H}_2\text{O}} \cdot M_{\text{H}_2\text{O}} + x_{\text{O}_2} \cdot M_{\text{O}_2} + x_{\text{N}_2} \cdot M_{\text{N}_2}$$

$$y_{\text{CO}_2} := x_{\text{CO}_2} \cdot \frac{M_{\text{CO}_2}}{M_g}$$

$$y_{\text{H}_2\text{O}} := x_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_g}$$

$$y_{\text{O}_2} := x_{\text{O}_2} \cdot \frac{M_{\text{O}_2}}{M_g}$$

$$y_{\text{N}_2} := x_{\text{N}_2} \cdot \frac{M_{\text{N}_2}}{M_g}$$

$$Cp_{\text{CO}_2} := Cp [\text{CO}_2; T = T_g]$$

$$Cp_{\text{H}_2\text{O}} := Cp [\text{H}_2\text{O}; T = T_g]$$

$$Cp_{\text{O}_2} := Cp [\text{O}_2; T = T_g]$$

$$Cp_{\text{N}_2} := Cp [\text{N}_2; T = T_g]$$

$$Cp_g := y_{\text{CO}_2} \cdot Cp_{\text{CO}_2} + y_{\text{H}_2\text{O}} \cdot Cp_{\text{H}_2\text{O}} + y_{\text{O}_2} \cdot Cp_{\text{O}_2} + y_{\text{N}_2} \cdot Cp_{\text{N}_2}$$

$$\rho_{\text{CO}_2} := \rho [\text{CO}_2; T = T_g; P = 101,325 \text{ [kPa]}]$$

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} := \rho [\text{H}_2\text{O}; T = T_g; P = 101,325 \text{ [kPa]}]$$

$$\rho_{\text{O}_2} := \rho [\text{O}_2; T = T_g; P = 101,325 \text{ [kPa]}]$$

$$\rho_{\text{N}_2} := \rho [\text{N}_2; T = T_g; P = 101,325 \text{ [kPa]}]$$

$$\rho_g := y_{\text{CO}_2} \cdot \rho_{\text{CO}_2} + y_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}} + y_{\text{O}_2} \cdot \rho_{\text{O}_2} + y_{\text{N}_2} \cdot \rho_{\text{N}_2}$$

$$\mu_{\text{CO}_2} := \text{Visc} [\text{CO}_2; T = T_g]$$

$$\mu_{\text{H}_2\text{O}} := \text{Visc} [\text{H}_2\text{O}; T = T_g]$$

```

muO2 := Visc [ O2 ; T = Tg ]
muN2 := Visc [ N2 ; T = Tg ]
mu_g := yCO2 * muCO2 + yH2O * muH2O + yO2 * muO2 + yN2 * muN2
kCO2 := k [ CO2 ; T = Tg ]
kH2O := k [ H2O ; T = Tg ]
kO2 := k [ O2 ; T = Tg ]
kN2 := k [ N2 ; T = Tg ]
k_g := yCO2 * kCO2 + yH2O * kH2O + yO2 * kO2 + yN2 * kN2
PrCO2 := Pr [ CO2 ; T = Tg ]
PrH2O := Pr [ H2O ; T = Tg ]
PrO2 := Pr [ O2 ; T = Tg ]
PrN2 := Pr [ N2 ; T = Tg ]
Pr_g := yCO2 * PrCO2 + yH2O * PrH2O + yO2 * PrO2 + yN2 * PrN2
    
```

End Propiedades

Procedure **Emisividad** (Tg; P<sub>H2O</sub>; P<sub>CO2</sub>; L<sub>e</sub> : ε)

```

Pv := PH2O * | 0,01 *  $\frac{\text{bar}}{\text{kPa}}$  |
Pc := PCO2 * | 0,01 *  $\frac{\text{bar}}{\text{kPa}}$  |
Le := Le * | 100 *  $\frac{\text{cm}}{\text{m}}$  |
T := ConvertTemp [ C; K; Tg ]
Cv0,0 := - 2,2118
Cv1,0 := 0,85667
Cv2,0 := - 0,10838
Cv0,1 := - 1,1987
Cv1,1 := 0,93048
Cv2,1 := - 0,17158
Cv0,2 := 0,035596
Cv1,2 := - 0,14391
    
```

$Cv_{2,2} := 0,045915$

Duplicate j=0,2

$$a_j := Cv_{j,0} + \sum_{i=1}^2 [Cv_{ji} (T / 1000K)^i]$$

End

$$\epsilon_{H2O} := \exp \left[ a_0 + \sum_{j=1}^2 (a_j ( \log_{10}((Pv Le) / 1_{barcm}) )^j ) \right]$$

$Cc_{0,0} := - 3,9781$

$Cc_{1,0} := 1,9326$

$Cc_{2,0} := - 0,35366$

$Cc_{3,0} := - 0,080181$

$Cc_{0,1} := 2,7353$

$Cc_{1,1} := - 3,5932$

$Cc_{2,1} := 0,61766$

$Cc_{3,1} := 0,31466$

$Cc_{0,2} := - 1,9822$

$Cc_{1,2} := 3,7247$

$Cc_{2,2} := - 0,84207$

$Cc_{3,2} := - 0,19973$

$Cc_{0,3} := 0,31054$

$Cc_{1,3} := - 1,4535$

$Cc_{2,3} := 0,39859$

$Cc_{3,3} := 0,046532$

$Cc_{0,4} := 0,015719$

$Cc_{1,4} := 0,20132$

$Cc_{2,4} := - 0,063356$

$Cc_{3,4} := - 0,0033086$

Duplicate j=0,3

$$ac_j := Cc_{j,0} + \sum_{i=1}^4 [Cc_{j,i} (T / 1000K)^i]$$

End

$$\epsilon_{CO2} := \exp \left[ ac_0 + \sum_{j=1}^3 \{ ac_j ( \log_{10} ( (Pc \cdot Le) / 1 \text{ bar} \cdot \text{cm} ) )^j \} \right]$$

$$\zeta := \frac{Pv}{Pv + Pc}$$

$$pLe := [Pc + Pv] \cdot Le$$

$$\Delta E := \left[ \frac{\zeta}{10,7 + 101 \cdot \zeta} - 0,0089 \cdot \zeta^{10,4} \right] \cdot \log^{2,76} \left[ \frac{pLe}{1 [\text{bar} \cdot \text{cm}]} \right]$$

$$\epsilon := \epsilon_{H2O} + \epsilon_{CO2} - \Delta E$$

End **Emissividad**

Procedure **Absortividad** (T<sub>s</sub>; P<sub>H2O</sub>; P<sub>CO2</sub>; L<sub>e</sub>; α)

$$Pv := P_{H2O} \cdot \left| 0,01 \cdot \frac{\text{bar}}{\text{kPa}} \right|$$

$$Pc := P_{CO2} \cdot \left| 0,01 \cdot \frac{\text{bar}}{\text{kPa}} \right|$$

$$Le := L_e \cdot \left| 100 \cdot \frac{\text{cm}}{\text{m}} \right|$$

$$T := \text{ConvertTemp} [C; K; T_s]$$

$$Cv_{0,0} := -2,2118$$

$$Cv_{1,0} := 0,85667$$

$$Cv_{2,0} := -0,10838$$

$$Cv_{0,1} := -1,1987$$

$$Cv_{1,1} := 0,93048$$

$$Cv_{2,1} := -0,17156$$

$$Cv_{0,2} := 0,035596$$

$$Cv_{1,2} := -0,14391$$

$$Cv_{2,2} := 0,045915$$

Duplicate j=0;2

$$a_j := Cv_{j,0} + \sum_{i=1}^2 [Cv_{j,i} (T / 1000K)^i]$$

End

$$\alpha_{H2O} := \exp \left[ a_0 + \sum_{j=1}^2 (a_j ( \log_{10}(( P_v Le ) / 1_{\text{barcm}} ) )^j ) \right]$$

$$Cc_{0,0} := -3,9781$$

$$Cc_{1,0} := 1,9326$$

$$Cc_{2,0} := -0,35366$$

$$Cc_{3,0} := -0,080181$$

$$Cc_{0,1} := 2,7353$$

$$Cc_{1,1} := -3,5832$$

$$Cc_{2,1} := 0,61766$$

$$Cc_{3,1} := 0,31466$$

$$Cc_{0,2} := -1,9822$$

$$Cc_{1,2} := 3,7247$$

$$Cc_{2,2} := -0,84207$$

$$Cc_{3,2} := -0,19973$$

$$Cc_{0,3} := 0,31054$$

$$Cc_{1,3} := -1,4535$$

$$Cc_{2,3} := 0,39859$$

$$Cc_{3,3} := 0,046532$$

$$Cc_{0,4} := 0,015719$$

$$Cc_{1,4} := 0,20132$$

$$Cc_{2,4} := -0,063356$$

$$Cc_{3,4} := -0,0033086$$

Duplicate j=0,3

$$ac_j := Cc_{j,0} + \sum_{i=1}^4 [ Cc_{ji} ( T / 1000_K )^i ]$$

End

$$\alpha_{CO2} := \exp \left[ ac_0 + \sum_{j=1}^3 ( ac_j ( \log_{10}(( P_c Le ) / 1_{\text{barcm}} ) )^j ) \right]$$

$$\zeta := \frac{P_v}{P_v + P_c}$$

$$pLe := [P_c + P_v] \cdot Le$$

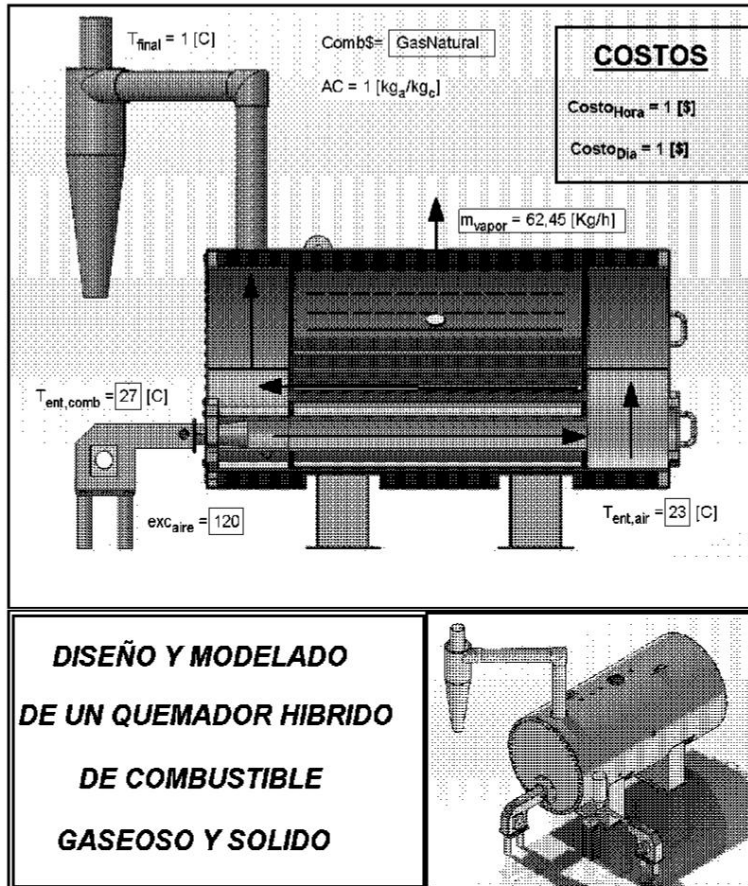
$$\Delta_a := \left[ \frac{\zeta}{10,7 + 101 \cdot \zeta} - 0,0089 \cdot \zeta^{10,4} \right] \cdot \log^{2,76} \left[ \frac{pLe}{1 \text{ [bar*cm]}} \right]$$

$$\alpha := \alpha_{H_2O} + \alpha_{CO_2} - \Delta_a$$

End Absortividad

ANEXO S. Código de interfaz en EES (Engineering Equation Solver).

File:D:\Downloads\Tesis\Nueva carpeta\Modulo cero dimensional\Intento.EES 01/02/2023 5:57:53 Page 1  
9.944: #4402: EASY ENGINEERING, [https://www.youtube.com/channel/UCjC8ulmve2QNRJXhDpk-L2A+CN&xJID\\_JLN&yNINGGBDE&CJH@NYX&](https://www.youtube.com/channel/UCjC8ulmve2QNRJXhDpk-L2A+CN&xJID_JLN&yNINGGBDE&CJH@NYX&)



JULIAN STIVEN RIACHEZ AVILA

DANNY ALBERTO GOMEZ TARAZONA

```

CALL TypeCaldera(Tipo$m_dot_comb,Ds,Dtp,Dts,Nts,Lef,Lt)

Tipo$ = '4,3BHP'
{T_ent_comb=25[c]}

CALL Combustion(Comb$m_dot_comb,exc_aire,T_ent_air,T_ent_comb,T_g0;x_CO2;x_H2O;x_O2;x_N2;P_CO2;
P_H2O;m_dot_g;AC;Costo_Hora;Costo_Dia;Costo_Anual)

{Comb$='Aserrin'
exc_aire=130
T_ent_air=25[c]}

m_dot_gas=IF(RN;100;m_dot_g;m_dot_g/m_dot_g/Nts)

CALL Propiedades(T_g;x_CO2;x_H2O;x_O2;x_N2:Cp_g;rho_g;mu_g;k_g;Pr_g)

"!Geometría"
D=IF(RN;100;Dtp,Dtp,Dts)
dx=Lef/100
dAs=pi*D*dx

cp=Cp_g*convert(kJ/kg*K,J/kg*C)

T_gas=ConvertTEMP(C;K;T_g)
T_prom=(T_g1+T_g2)/2
T_sup=ConvertTEMP(C;K;T_s)
{T_g1=T_gas
RN=1}
T_g1=IF(RN;1;T_gas,T_gas;Tg2)
Tg2=TABLEVALUE('Table 1';TableRun#-1;'T_g2')

"!Calor por Radiación"
Ebs=sigma*T_sup^4
Ebg=sigma*T_prom^4
sigma=5,67E-8[W/m^2*K^4]
alpha_s=0,06
epsilon_s=0,045
dq_r=(epsilon_s*(epsilon_g*Ebg-alpha_s*Ebs))/(alpha_s+epsilon_s-epsilon_s*alpha_g)*dAs

"!Calor por Convección"
Nusselt=0,023*Re^0,8*Pr_g^0,3 "Nussel Dittus-Boelter"
Nusselt=(h_conv*D)/k_g
Re=(rho_g*Vg*D)/mu_g
m_dot_gas=rho_g*Vg*A_c
A_c=(pi/4)*(D)^2
dq_c=h_conv*(T_prom-T_sup)*dAs

"!Calor Ebullición nucleada"
dq_nucleada=(mu_l*hfg)*((g*(rho_l-rho_v)/sigma_v)^0,5*(((Cpl)*(T_s-T_sat))/(Csf*hfg*Pr_n_sf))^3*dAs
dq_nucleada=dq

Pt=500[kPa]
T_sat=T_sat(Water;P=Pt)
sigma_v=0,075[N/m]
mu_l=Viscosity(Water,T=T_sat;x=0)
hfg=Enthalpy_vaporization(Water,T=T_sat)*convert(kJ/kg,J/kg)
g=9,81 [m/s^2]
rho_l=Density(Water,T=T_sat;x=0)
rho_v=Density(Water,T=T_sat;x=1)
    
```

```
Cpl=Cp(Water;T=T_sat;x=0)*convert(kJ/kg*K;J/kg*C)
Csf=0,05
n_sf=3
Pr=Prandtl(Water;T=T_sat;x=0)
```

```
"Calor Termodinámica"
dq=dq_r+dq_c
dq=m_dot_gas*cp*(T_g1-T_g2)
```

```
L_e=0,9*D
CALL Emisividad(T_prom;P_H2O;P_CO2;L_e:epsilon_g)
CALL absortividad(T_s;P_H2O;P_CO2;L_e:alpha_g)
```

```
Q_g_TP=SUMPARAMETRIC("Table 1";dq;1;101)
Q_g_TS=Nts*SUMPARAMETRIC("Table 1";dq;102;202)
```

```
Q_g=(Q_g_TP+Q_g_TS)*convert(W;kW)
```

```
"Balance de energia (estado estable)"
```

```
m_dot_w*(hw)-m_v*(hv)+Q_g-Q_p=0
```

```
hw=Enthalpy(Water;T=T_ent_comb;P=Pt)
hv=Enthalpy(Water;T=T_sat;x=1)
```

```
"Balance de masa (estado estable)"
```

```
m_dot_w=m_v
m_vapor=m_v*convert(kg/s;kg/h)
"Q_perdidas a Tsup"
```

```
Q_p=(Tsup-Tamb)/R_shell
Tamb=25 [C]
Tsup=40 [C]
h_nat=0,04 [kW/m^2*K]
R_shell=1/(h_nat*A_shell)
```

```
A_shell=pi*Lt*Ds
```

```
T_final=T_g2
```

```
Call TypeCaldera [Tipo$: m_dot_comb ; Ds; Dtp; Dts; Nts; Lef; Lt]
```

```
Tipo$ = '4,3BHP'
```

```
Call Combustion [Comb$: m_dot_comb ; exCaire ; T_ent,air ; T_ent,comb ; T_g : 0 ; x_CO2 ; x_H2O ; x_O2 ; x_N2 ; P_CO2 ; P_H2O ; m_g
; AC; CostoHore ; CostoDia; CostoAnual ]
```

$$\dot{m}_{gas} = \text{If} \left[ RN ; 100 ; \dot{m}_g ; \dot{m}_g ; \frac{\dot{m}_g}{Nts} \right]$$

Call **Propiedades** [ T<sub>g</sub> ; x<sub>CO2</sub> ; x<sub>H2O</sub> ; x<sub>O2</sub> ; x<sub>N2</sub> ; Cp<sub>g</sub> ; ρ<sub>g</sub> ; μ<sub>g</sub> ; k<sub>g</sub> ; Pr<sub>g</sub> ]

**Geometría**

$$D = \text{If} [ RN ; 100 ; Dtp ; Dtp ; Dts ]$$

$$dx = \frac{Lef}{100}$$

$$dAs = \pi \cdot D \cdot dx$$

$$cp = Cp_g \cdot \left[ 1000 \cdot \frac{J/kg^{\circ}C}{kJ/kg^{\circ}K} \right]$$

$$T_{gas} = \text{ConvertTemp} [ C ; K ; T_g ]$$

$$T_{prom} = \frac{T_{g1} + T_{g2}}{2}$$

$$T_{sup} = \text{ConvertTemp} [ C ; K ; T_s ]$$

$$T_{g1} = \text{If} [ RN ; 1 ; T_{gas} ; T_{gas} ; T_{g2} ]$$

$$T_{g2} = \text{TableValue} [ 'Table 1' ; \text{TableRun\#} - 1 ; 'T_{g2}' ]$$

**Calor por Radiación**

$$E_{bs} = \sigma \cdot T_{sup}^4$$

$$E_{bg} = \sigma \cdot T_{prom}^4$$

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ [W/m}^2\text{K}^4\text{]}$$

$$\alpha_s = 0,06$$

$$\epsilon_s = 0,045$$

$$dq_r = \left[ \frac{\epsilon_s \cdot (E_{bg} - \alpha_s \cdot E_{bs})}{\alpha_s + \epsilon_s - \epsilon_s \cdot \alpha_s} \right] \cdot dAs$$

**Calor por Convección**

$$\text{Nusselt} = 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}_g^{0,3} \text{ Nussel Dittus-Boelter}$$

$$\text{Nusselt} = \frac{h_{conv} \cdot D}{k_g}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho_g \cdot Vg \cdot D}{\mu_g}$$

$$\dot{m}_{gas} = \rho_g \cdot Vg \cdot A_c$$

$$A_c = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

$$dq_c = h_{conv} \cdot [T_{prom} - T_{sup}] \cdot dAs$$

**Calor Ebullición nucleada**

$$dq_{nucleada} = \left[ \mu_l \cdot hfg \cdot \left( \frac{g \cdot [\rho_l - \rho_v]}{\sigma_v} \right)^{0.5} \cdot \left( \frac{Cpl \cdot [T_s - T_{sat}]}{Csf \cdot hfg \cdot Pr^{n_{sf}}} \right)^3 \right] \cdot dAs$$

$$dq_{nucleada} = dq$$

$$Pt = 500 \text{ [kPa]}$$

$$T_{sat} = T_{sat} [\text{water}; P = Pt]$$

$$\sigma_v = 0,075 \text{ [N/m]}$$

$$\mu_l = \text{Visc} [\text{water}; T = T_{sat}; x = 0]$$

$$hfg = \text{Enthalpy}_{\text{vaporization}} [\text{water}; T = T_{sat}] \cdot \left| 1000 \cdot \frac{\text{J/kg}}{\text{kJ/kg}} \right|$$

$$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$\rho_l = \rho [\text{water}; T = T_{sat}; x = 0]$$

$$\rho_v = \rho [\text{water}; T = T_{sat}; x = 1]$$

$$Cpl = Cp [\text{water}; T = T_{sat}; x = 0] \cdot \left| 1000 \cdot \frac{\text{J/kg}^\circ\text{C}}{\text{kJ/kg}^\circ\text{K}} \right|$$

$$Csf = 0,05$$

$$n_{sf} = 3$$

$$Pr = Pr [\text{water}; T = T_{sat}; x = 0]$$

*Calor Termodinámica*

$$dq = dq_r + dq_c$$

$$dq = \dot{m}_{gas} \cdot cp \cdot [T_{g1} - T_{g2}]$$

$$L_e = 0,9 \cdot D$$

$$\text{Call Emisividad} [T_{prom}; P_{H2O}; P_{CO2}; L_e; \epsilon_g]$$

$$\text{Call Absortividad} [T_s; P_{H2O}; P_{CO2}; L_e; \alpha_g]$$

$$Q_{g,TP} = \text{SumParametric} ['Table 1'; 'dq']$$

$$Q_{g,TS} = Nts \cdot \text{SumParametric} ['Table 1'; 'dq']$$

$$Q_g = [Q_{g,TP} + Q_{g,TS}] \cdot \left| 0,001 \cdot \frac{\text{kW}}{\text{W}} \right|$$

*Balance de energía (estado estable)*

$$\dot{m}_w \cdot h_w - \dot{m}_v \cdot h_v + Q_g - Q_p = 0$$

$$h_w = h[\text{water}; T = T_{\text{ent,comb}}; P = Pt]$$

$$h_v = h[\text{water}; T = T_{\text{sat}}; x = 1]$$

Balance de masa (estado estable)

$$\dot{m}_w = \dot{m}_v$$

$$m_{\text{vapor}} = m_v \cdot \left| 3600 \cdot \frac{\text{kg/h}}{\text{kg/s}} \right|$$

Qperdidas a Tsup

$$Q_p = \frac{T_{\text{sup}} - T_{\text{amb}}}{R_{\text{shell}}}$$

$$T_{\text{amb}} = 25 \text{ [C]}$$

$$T_{\text{sup}} = 40 \text{ [C]}$$

$$h_{\text{nat}} = 0,04 \text{ [kW/m}^2\text{*K]}$$

$$R_{\text{shell}} = \frac{1}{h_{\text{nat}} \cdot A_{\text{shell}}}$$

$$A_{\text{shell}} = \pi \cdot Lt \cdot Ds$$

$$T_{\text{final}} = T_{g2}$$

SOLUTION

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

$$AC = 1 \text{ [kg}_g\text{/kg}_c\text{]}$$

$$A_c = 0,05067$$

$$\text{Costo}_{\text{Annual}} = 1 \text{ [\$]}$$

$$c_p = 1423$$

$$C_{sf} = 0,05$$

$$dq = 427,8$$

$$dq_r = 215,8$$

$$D_{ts} = 0,0508$$

$$E_{bs} = 2322$$

$$ex_{\text{caire}} = 120$$

$$h_v = 2749$$

$$h_{\text{nat}} = 0,04 \text{ [kW/m}^2\text{*K]}$$

$$Lt = 2,007$$

$$\mu = 0,0001801$$

$$\dot{m}_{\text{gas}} = 0,06317$$

$$m_{\text{vapor}} = 62,45 \text{ [Kg/h]}$$

$$n_{sf} = 3$$

$$Pt = 500 \text{ [kPa]}$$

$$Q_g = 49,7$$

$$Q_p = 3,843$$

$$\rho_l = 915,3$$

$$R_{\text{shell}} = 3,903$$

$$\alpha_g = 0,1636$$

$$A_{\text{shell}} = 6,405$$

$$\text{Costo}_{\text{Dia}} = 1 \text{ [\$]}$$

$$C_{pl} = 4318$$

$$D = 0,254$$

$$dq_c = 211,9$$

$$D_s = 1,016$$

$$dx = 0,01524$$

$$e_g = 0,05709$$

$$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$h_w = 113,6$$

$$k_g = 0,1947$$

$$L_e = 0,2286$$

$$\dot{m}_{\text{comb}} = 0,00714$$

$$\dot{m}_w = 0,01735$$

$$N_{ts} = 24$$

$$Pr = 1,164$$

$$P_{\text{CO}_2} = 14,33$$

$$Q_{g,TP} = 49696$$

$$Re = 4502$$

$$\rho_v = 2,668$$

$$\sigma = 5,670\text{E-}08 \text{ [W/m}^2\text{*K}^4\text{]}$$

$$\alpha_s = 0,06$$

$$\text{Comb\$} = \text{'GasNatural'}$$

$$\text{Costo}_{\text{Hora}} = 1 \text{ [\$]}$$

$$C_{p_g} = 1,423$$

$$dAs = 0,01216$$

$$dq_{\text{nucleada}} = 427,8$$

$$D_{tp} = 0,254$$

$$E_{bg} = 677046$$

$$e_s = 0,045$$

$$h_{fg} = 2,108\text{E}+06$$

$$h_{\text{conv}} = 12,37$$

$$L_{ef} = 1,524$$

$$\mu_g = 0,00007033$$

$$m_g = 0,06317$$

$$m_v = 0,01735$$

$$Nusselt = 16,13$$

$$Pr_g = 0,5547$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = 10,11$$

$$Q_{g,TS} = 0$$

$$\rho_g = 0,1567$$

$$RN = 1$$

$$\sigma_v = 0,075 \text{ [N/m]}$$

|                            |                               |                                |
|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Tamb = 25 [C]              | Tg2 = 1861                    | Tipo\$ = '4,3BHP'              |
| Tsup = 40 [C]              | T <sub>ent,air</sub> = 23 [C] | T <sub>ent,comb</sub> = 27 [C] |
| T <sub>final</sub> = 1 [C] | Tg = 2136                     | Tg1 = 0                        |
| Tg2 = 0                    | Tgas = 2409                   | Tprom = 1859                   |
| Ts = 176,7                 | Tsat = 151,9                  | Tsup = 449,8                   |
| Vg = 7,958                 | XCO2 = 0,1414                 | XH2O = 0,09981                 |
| XN2 = 0,7149               | XO2 = 0,04388                 |                                |

No unit problems were detected.

There are a total of 84 equations in the Main program.

| Block | Rel. Res. | Abs. Res. | Units | Calls | Time(ms) | Equations   |
|-------|-----------|-----------|-------|-------|----------|---|
| D     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 1     | 0        | Comb\$='GasNatural'   |
| D     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 1     | 0        | T <sub>ent,air</sub> =23  |
| D     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 1     | 0        | T <sub>ent,comb</sub> =27   |
| D     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 1     | 0        | exc_aire=120  |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 1     | 0        | Tipo\$='4,3BHP'   |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 1     | 0        | sigma=5,67E-8[W/m^2*K^4]  |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 1     | 0        | alpha_s=0,06  |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 1     | 0        | epsilon_s=0,045   |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 1     | 0        | Pt=500[kPa]   |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 1     | 0        | sigma_v=0,075[N/m]  |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 1     | 0        | g=9,81[m/s^2]   |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 1     | 0        | Csf=0,05  |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 1     | 0        | n_sf=3  |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 1     | 0        | Tamb=25[C]  |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 1     | 0        | Tsup=40[C]  |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 1     | 0        | h_nat=0,04[kW/m^2*K]  |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | Tg2=TABLEVALUE('Table 1';TableRun#-1;T_g2')                                   |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 4     | 0        | Tsat=T_sat(Water,P=Pt)  |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 4     | 0        | mu_l=Viscosity(Water,T=T_sat,x=0)   |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 4     | 0        | hfg=Enthalpy_vaporization(Water,T=T_sat)*convert(kJ/kg;J/kg)                  |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 4     | 0        | rho_l=Density(Water,T=T_sat,x=0)  |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 4     | 0        | rho_v=Density(Water,T=T_sat,x=1)  |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 4     | 0        | Cpl=Cp(Water,T=T_sat,x=0)*convert(kJ/kg*K;J/kg*C)                             |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 4     | 15       | Pr=Prandtl(Water,T=T_sat,x=0)   |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 4     | 0        | hw=Enthalpy(Water,T=T_ent_comb;P=Pt)  |
| O     | 0.000E+00 | 0.000E+00 | OK    | 4     | 0        | hv=Enthalpy(Water,T=T_sat;x=1)  |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | m_dot_comb=TypeCaldera(Tipo\$;1)  |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | Ds=TypeCaldera(Tipo\$;2)  |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | Dtp=TypeCaldera(Tipo\$;3)   |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | Dts=TypeCaldera(Tipo\$;4)   |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | Nts=TypeCaldera(Tipo\$;5)   |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | Lef=TypeCaldera(Tipo\$;6)   |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | Lt=TypeCaldera(Tipo\$;7)  |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | 0=Combustion(Comb\$m_dot_comb;exc_aire;T_ent_air;T_ent_comb;T_g;1)            |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | x_CO2=Combustion(Comb\$m_dot_comb;exc_aire;T_ent_air;T_ent_comb;T_g;2)        |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | x_H2O=Combustion(Comb\$m_dot_comb;exc_aire;T_ent_air;T_ent_comb;T_g;3)        |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | x_O2=Combustion(Comb\$m_dot_comb;exc_aire;T_ent_air;T_ent_comb;T_g;4)         |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | x_N2=Combustion(Comb\$m_dot_comb;exc_aire;T_ent_air;T_ent_comb;T_g;5)         |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | P_CO2=Combustion(Comb\$m_dot_comb;exc_aire;T_ent_air;T_ent_comb;T_g;6)        |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | P_H2O=Combustion(Comb\$m_dot_comb;exc_aire;T_ent_air;T_ent_comb;T_g;7)        |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | m_dot_g=Combustion(Comb\$m_dot_comb;exc_aire;T_ent_air;T_ent_comb;T_g;8)      |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | AC=Combustion(Comb\$m_dot_comb;exc_aire;T_ent_air;T_ent_comb;T_g;9)           |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | Costo_Hora=Combustion(Comb\$m_dot_comb;exc_aire;T_ent_air;T_ent_comb;T_g;10)  |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | Costo_Dia=Combustion(Comb\$m_dot_comb;exc_aire;T_ent_air;T_ent_comb;T_g;11)   |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | Costo_Anuar=Combustion(Comb\$m_dot_comb;exc_aire;T_ent_air;T_ent_corr;T_g;12) |
| O     | *****     | *****     | OK    | 1     | 0        | Cp_g=Propiedades(T_g;x_CO2;x_H2O;x_O2;x_N2;1)                                 |

```

0 ***** OK 1 0 rho_g=Propiedades(T_g,x_CO2,x_H2O,x_O2,x_N2;2)
0 ***** OK 1 0 mu_g=Propiedades(T_g,x_CO2,x_H2O,x_O2,x_N2;3)
0 ***** OK 1 0 k_g=Propiedades(T_g,x_CO2,x_H2O,x_O2,x_N2;4)
0 ***** OK 1 0 Pr_g=Propiedades(T_g,x_CO2,x_H2O,x_O2,x_N2;5)
0 ***** OK 1 0 epsilon_g=Emisividad(T_prom;P_H2O;P_CO2;L_e;1)
0 ***** OK 1 0 alpha_g=absortividad(T_s;P_H2O;P_CO2;L_e;1)
20 2,075E-19 1,271E-21 OK 1 0 m_dot_gas=IF(RN;100;m_dot_g;m_dot_g/Nts)
26 6,670E-20 -3,388E-21 OK 1 0 D=IF(RN;100;Dtp;Dts)
27 0.000E+00 0.000E+00 OK 1 0 dx=Lef/100
28 8,706E-20 -2,118E-22 OK 1 0 dAs=pi*D*dx
29 0.000E+00 0.000E+00 OK 1 0 cp=Cp_g*convert(kJ/kg*K,J/kg*C)
30 0.000E+00 0.000E+00 OK 1 0 T_gas=ConvertTEMP(C;K;T_g)
31 0.000E+00 0.000E+00 OK 1 0 T_g1=IF(RN;1;T_gas;T_g2)
32 0.000E+00 0.000E+00 OK 1 0 A_c=(pi/4)*(D)^2
33 4,587E-15 2,808E-17 OK 1 0 m_dot_gas=rho_g*Vg*A_c
34 5,428E-16 -8,330E-17 OK 1 0 Re=(rho_g*Vg*D)/mu_g
35 0.000E+00 0.000E+00 OK 1 0 Nusselt=0,023*Re^0,8*Pr_g^0,3
36 2,885E-15 -4,558E-15 OK 1 0 Nusselt=(h_conv*D)/k_g
37 0.000E+00 0.000E+00 OK 1 0 L_e=0,9*D
38 0.000E+00 0.000E+00 OK 1 0 T_prom=(T_g1+T_g2)/2
38 0.000E+00 0.000E+00 OK 1 0 T_sup=ConvertTEMP(C;K;T_s)
38 1,104E-12 -2,450E-09 OK 1 0 Ebs=sigma*T_sup^4
38 2,142E-15 -1,108E-10 OK 1 0 Ebg=sigma*T_prom^4
38 3,186E-17 8,825E-17 OK 1 0 dq_r=(epsilon_s*(epsilon_g*Ebg-alpha_s*Ebs))/(alpha_s+epsilon_s-epsilon_s)
38 8,613E-20 -3,469E-18 OK 1 0 dq_c=h_conv*(T_prom-T_sup)*dAs
38 1,084E-10 -4,667E-09 OK 1 0 dq_nucleada=(mu_l*hf)*(g*(rho_l-rho_v))/sigma_v^0,5*(((Cpl)*(T_s-T_sat))/(C
38 0.000E+00 0.000E+00 OK 1 0 dq_nucleada=dq
38 8,059E-20 3,469E-18 OK 1 0 dq=dq_r+dq_c
38 4,029E-19 1,735E-17 OK 1 0 dq=m_dot_gas*cp*(T_g1-T_g2)
39 0.000E+00 0.000E+00 OK 1 0 Q_g_TP=SUMPARAMETRIC("Table 1";dq;1;101)
40 3,174E-10 -5,485E-05 OK 1 0 Q_g_TS=Nts*SUMPARAMETRIC("Table 1";dq;102;202)
41 5,509E-15 1,299E-12 OK 1 0 Q_g=(Q_g_TP+Q_g_TS)*convert(W;kW)
42 0.000E+00 0.000E+00 OK 1 0 A_shell=pi*Lt*Ds
43 0.000E+00 0.000E+00 OK 1 0 R_shell=1/(h_nat*A_shell)
44 0.000E+00 0.000E+00 OK 1 0 Q_p=(Tsup-Tamb)/R_shell
45 2,408E-13 -2,406E-12 OK 1 0 m_dot_w*(hw)-m_v*(hv)+Q_g-Q_p=0
45 0.000E+00 0.000E+00 OK 1 0 m_dot_w=m_v
46 1,338E-14 4,239E-12 OK 1 0 m_vapor=m_v*convert(kg/s;kg/h)
47 9,964E-13 -9,715E-10 OK 1 0 T_final=T_g2
    
```

**Parametric Table: Table 1**

|        | RN | T <sub>g1</sub> | T <sub>g2</sub> | dq    |
|--------|----|-----------------|-----------------|-------|
| Run 1  | 1  | 0               | 0               |       |
| Run 2  | 1  | 2071            | 2068            | 715,2 |
| Run 3  | 2  | 2068            | 2065            | 713,2 |
| Run 4  | 3  | 2065            | 2062            | 711,2 |
| Run 5  | 4  | 2062            | 2058            | 709,3 |
| Run 6  | 5  | 2058            | 2055            | 707,3 |
| Run 7  | 6  | 2055            | 2052            | 705,3 |
| Run 8  | 7  | 2052            | 2048            | 703,4 |
| Run 9  | 8  | 2048            | 2045            | 701,5 |
| Run 10 | 9  | 2045            | 2042            | 699,6 |
| Run 11 | 10 | 2042            | 2039            | 697,6 |
| Run 12 | 11 | 2039            | 2035            | 695,7 |
| Run 13 | 12 | 2035            | 2032            | 693,8 |

**Parametric Table: Table 1**

|        | RN | T <sub>g1</sub> | T <sub>g2</sub> | dq    |
|--------|----|-----------------|-----------------|-------|
| Run 14 | 13 | 2032            | 2029            | 691,9 |
| Run 15 | 14 | 2029            | 2026            | 690,1 |
| Run 16 | 15 | 2026            | 2023            | 688,2 |
| Run 17 | 16 | 2023            | 2019            | 686,3 |
| Run 18 | 17 | 2019            | 2016            | 684,5 |
| Run 19 | 18 | 2016            | 2013            | 682,6 |
| Run 20 | 19 | 2013            | 2010            | 680,8 |
| Run 21 | 20 | 2010            | 2007            | 678,9 |
| Run 22 | 21 | 2007            | 2004            | 677,1 |
| Run 23 | 22 | 2004            | 2000            | 675,3 |
| Run 24 | 23 | 2000            | 1997            | 673,5 |
| Run 25 | 24 | 1997            | 1994            | 671,7 |
| Run 26 | 25 | 1994            | 1991            | 669,9 |
| Run 27 | 26 | 1991            | 1988            | 668,1 |
| Run 28 | 27 | 1988            | 1985            | 666,3 |
| Run 29 | 28 | 1985            | 1982            | 664,6 |
| Run 30 | 29 | 1982            | 1979            | 662,8 |
| Run 31 | 30 | 1979            | 1976            | 661   |
| Run 32 | 31 | 1976            | 1972            | 659,3 |
| Run 33 | 32 | 1972            | 1969            | 657,5 |
| Run 34 | 33 | 1969            | 1966            | 655,8 |
| Run 35 | 34 | 1966            | 1963            | 654,1 |
| Run 36 | 35 | 1963            | 1960            | 652,3 |
| Run 37 | 36 | 1960            | 1957            | 650,6 |
| Run 38 | 37 | 1957            | 1954            | 648,9 |
| Run 39 | 38 | 1954            | 1951            | 647,2 |
| Run 40 | 39 | 1951            | 1948            | 645,5 |
| Run 41 | 40 | 1948            | 1945            | 643,8 |
| Run 42 | 41 | 1945            | 1942            | 642,1 |
| Run 43 | 42 | 1942            | 1939            | 640,4 |
| Run 44 | 43 | 1939            | 1936            | 638,8 |
| Run 45 | 44 | 1936            | 1933            | 637,1 |
| Run 46 | 45 | 1933            | 1930            | 635,4 |
| Run 47 | 46 | 1930            | 1927            | 633,8 |
| Run 48 | 47 | 1927            | 1924            | 632,1 |
| Run 49 | 48 | 1924            | 1922            | 630,5 |
| Run 50 | 49 | 1922            | 1919            | 628,9 |
| Run 51 | 50 | 1919            | 1916            | 627,2 |
| Run 52 | 51 | 1916            | 1913            | 625,6 |
| Run 53 | 52 | 1913            | 1910            | 624   |
| Run 54 | 53 | 1910            | 1907            | 622,4 |
| Run 55 | 54 | 1907            | 1904            | 620,8 |
| Run 56 | 55 | 1904            | 1901            | 619,2 |
| Run 57 | 56 | 1901            | 1898            | 617,6 |
| Run 58 | 57 | 1898            | 1895            | 616   |
| Run 59 | 58 | 1895            | 1893            | 614,4 |
| Run 60 | 59 | 1893            | 1890            | 612,8 |
| Run 61 | 60 | 1890            | 1887            | 611,3 |
| Run 62 | 61 | 1887            | 1884            | 609,7 |
| Run 63 | 62 | 1884            | 1881            | 608,1 |
| Run 64 | 63 | 1881            | 1878            | 606,6 |
| Run 65 | 64 | 1878            | 1876            | 605   |
| Run 66 | 65 | 1876            | 1873            | 603,5 |
| Run 67 | 66 | 1873            | 1870            | 602   |
| Run 68 | 67 | 1870            | 1867            | 600,4 |

**Parametric Table: Table 1**

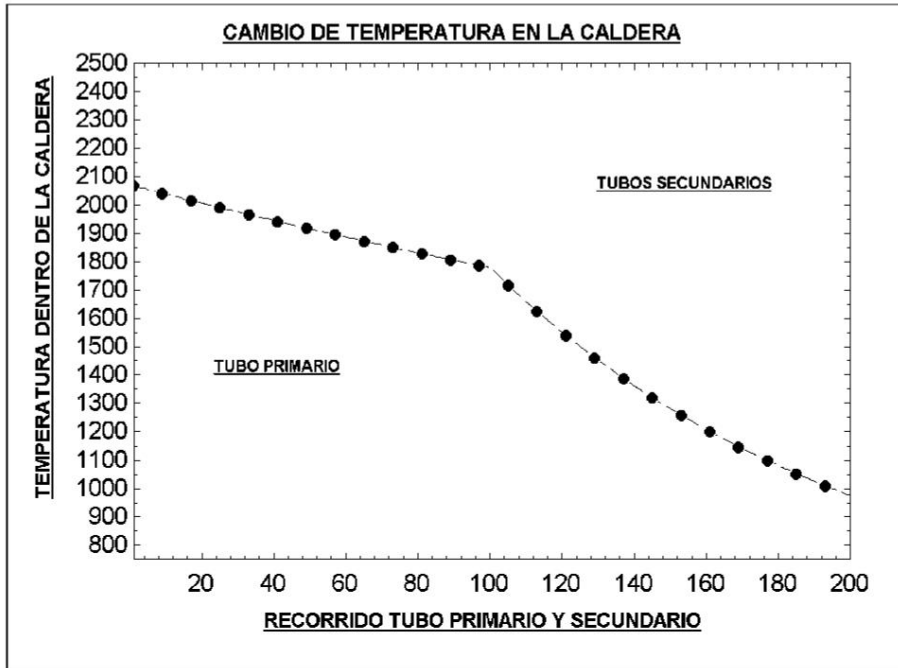
|         | RN  | T <sub>g1</sub> | T <sub>g2</sub> | dq    |
|---------|-----|-----------------|-----------------|-------|
| Run 69  | 68  | 1867            | 1864            | 598,9 |
| Run 70  | 69  | 1864            | 1862            | 597,4 |
| Run 71  | 70  | 1862            | 1859            | 595,9 |
| Run 72  | 71  | 1859            | 1856            | 594,3 |
| Run 73  | 72  | 1856            | 1853            | 592,8 |
| Run 74  | 73  | 1853            | 1851            | 591,3 |
| Run 75  | 74  | 1851            | 1848            | 589,8 |
| Run 76  | 75  | 1848            | 1845            | 588,4 |
| Run 77  | 76  | 1845            | 1842            | 586,9 |
| Run 78  | 77  | 1842            | 1840            | 585,4 |
| Run 79  | 78  | 1840            | 1837            | 583,9 |
| Run 80  | 79  | 1837            | 1834            | 582,4 |
| Run 81  | 80  | 1834            | 1832            | 581   |
| Run 82  | 81  | 1832            | 1829            | 579,5 |
| Run 83  | 82  | 1829            | 1826            | 578,1 |
| Run 84  | 83  | 1826            | 1823            | 576,6 |
| Run 85  | 84  | 1823            | 1821            | 575,2 |
| Run 86  | 85  | 1821            | 1818            | 573,7 |
| Run 87  | 86  | 1818            | 1815            | 572,3 |
| Run 88  | 87  | 1815            | 1813            | 570,8 |
| Run 89  | 88  | 1813            | 1810            | 569,4 |
| Run 90  | 89  | 1810            | 1808            | 568   |
| Run 91  | 90  | 1808            | 1805            | 566,6 |
| Run 92  | 91  | 1805            | 1802            | 565,2 |
| Run 93  | 92  | 1802            | 1800            | 563,8 |
| Run 94  | 93  | 1800            | 1797            | 562,4 |
| Run 95  | 94  | 1797            | 1794            | 561   |
| Run 96  | 95  | 1794            | 1792            | 559,6 |
| Run 97  | 96  | 1792            | 1789            | 558,2 |
| Run 98  | 97  | 1789            | 1787            | 556,8 |
| Run 99  | 98  | 1787            | 1784            | 555,4 |
| Run 100 | 99  | 1784            | 1781            | 554   |
| Run 101 | 100 | 1781            | 1779            | 552,7 |
| Run 102 | 101 | 1779            | 1766            | 112,7 |
| Run 103 | 102 | 1766            | 1754            | 111,5 |
| Run 104 | 103 | 1754            | 1742            | 110,4 |
| Run 105 | 104 | 1742            | 1729            | 109,3 |
| Run 106 | 105 | 1729            | 1717            | 108,2 |
| Run 107 | 106 | 1717            | 1705            | 107,1 |
| Run 108 | 107 | 1705            | 1693            | 106,1 |
| Run 109 | 108 | 1693            | 1682            | 105   |
| Run 110 | 109 | 1682            | 1670            | 104   |
| Run 111 | 110 | 1670            | 1659            | 102,9 |
| Run 112 | 111 | 1659            | 1647            | 101,9 |
| Run 113 | 112 | 1647            | 1636            | 100,9 |
| Run 114 | 113 | 1636            | 1625            | 99,88 |
| Run 115 | 114 | 1625            | 1614            | 98,89 |
| Run 116 | 115 | 1614            | 1603            | 97,91 |
| Run 117 | 116 | 1603            | 1592            | 96,94 |
| Run 118 | 117 | 1592            | 1581            | 95,98 |
| Run 119 | 118 | 1581            | 1571            | 95,03 |
| Run 120 | 119 | 1571            | 1560            | 94,09 |
| Run 121 | 120 | 1560            | 1550            | 93,16 |
| Run 122 | 121 | 1550            | 1539            | 92,24 |
| Run 123 | 122 | 1539            | 1529            | 91,33 |

**Parametric Table: Table 1**

|         | RN  | T <sub>g1</sub> | T <sub>g2</sub> | dq    |
|---------|-----|-----------------|-----------------|-------|
| Run 124 | 123 | 1529            | 1519            | 90,43 |
| Run 125 | 124 | 1519            | 1509            | 89,54 |
| Run 126 | 125 | 1509            | 1499            | 88,66 |
| Run 127 | 126 | 1499            | 1489            | 87,78 |
| Run 128 | 127 | 1489            | 1480            | 86,92 |
| Run 129 | 128 | 1480            | 1470            | 86,07 |
| Run 130 | 129 | 1470            | 1461            | 85,22 |
| Run 131 | 130 | 1461            | 1451            | 84,39 |
| Run 132 | 131 | 1451            | 1442            | 83,56 |
| Run 133 | 132 | 1442            | 1433            | 82,74 |
| Run 134 | 133 | 1433            | 1424            | 81,93 |
| Run 135 | 134 | 1424            | 1414            | 81,13 |
| Run 136 | 135 | 1414            | 1406            | 80,33 |
| Run 137 | 136 | 1406            | 1397            | 79,55 |
| Run 138 | 137 | 1397            | 1388            | 78,77 |
| Run 139 | 138 | 1388            | 1379            | 78    |
| Run 140 | 139 | 1379            | 1370            | 77,24 |
| Run 141 | 140 | 1370            | 1362            | 76,49 |
| Run 142 | 141 | 1362            | 1353            | 75,74 |
| Run 143 | 142 | 1353            | 1345            | 75    |
| Run 144 | 143 | 1345            | 1337            | 74,27 |
| Run 145 | 144 | 1337            | 1329            | 73,55 |
| Run 146 | 145 | 1329            | 1320            | 72,84 |
| Run 147 | 146 | 1320            | 1312            | 72,13 |
| Run 148 | 147 | 1312            | 1304            | 71,43 |
| Run 149 | 148 | 1304            | 1297            | 70,74 |
| Run 150 | 149 | 1297            | 1289            | 70,05 |
| Run 151 | 150 | 1289            | 1281            | 69,37 |
| Run 152 | 151 | 1281            | 1273            | 68,7  |
| Run 153 | 152 | 1273            | 1266            | 68,04 |
| Run 154 | 153 | 1266            | 1258            | 67,38 |
| Run 155 | 154 | 1258            | 1251            | 66,73 |
| Run 156 | 155 | 1251            | 1243            | 66,08 |
| Run 157 | 156 | 1243            | 1236            | 65,45 |
| Run 158 | 157 | 1236            | 1229            | 64,82 |
| Run 159 | 158 | 1229            | 1222            | 64,19 |
| Run 180 | 159 | 1222            | 1215            | 63,57 |
| Run 181 | 180 | 1215            | 1208            | 62,96 |
| Run 182 | 181 | 1208            | 1201            | 62,36 |
| Run 183 | 182 | 1201            | 1194            | 61,76 |
| Run 184 | 183 | 1194            | 1187            | 61,17 |
| Run 185 | 184 | 1187            | 1180            | 60,58 |
| Run 186 | 185 | 1180            | 1173            | 60    |
| Run 187 | 186 | 1173            | 1167            | 59,43 |
| Run 188 | 187 | 1167            | 1160            | 58,86 |
| Run 189 | 188 | 1160            | 1154            | 58,3  |
| Run 170 | 189 | 1154            | 1147            | 57,74 |
| Run 171 | 170 | 1147            | 1141            | 57,19 |
| Run 172 | 171 | 1141            | 1135            | 56,64 |
| Run 173 | 172 | 1135            | 1128            | 56,1  |
| Run 174 | 173 | 1128            | 1122            | 55,57 |
| Run 175 | 174 | 1122            | 1116            | 55,04 |
| Run 176 | 175 | 1116            | 1110            | 54,52 |
| Run 177 | 176 | 1110            | 1104            | 54    |
| Run 178 | 177 | 1104            | 1098            | 53,49 |

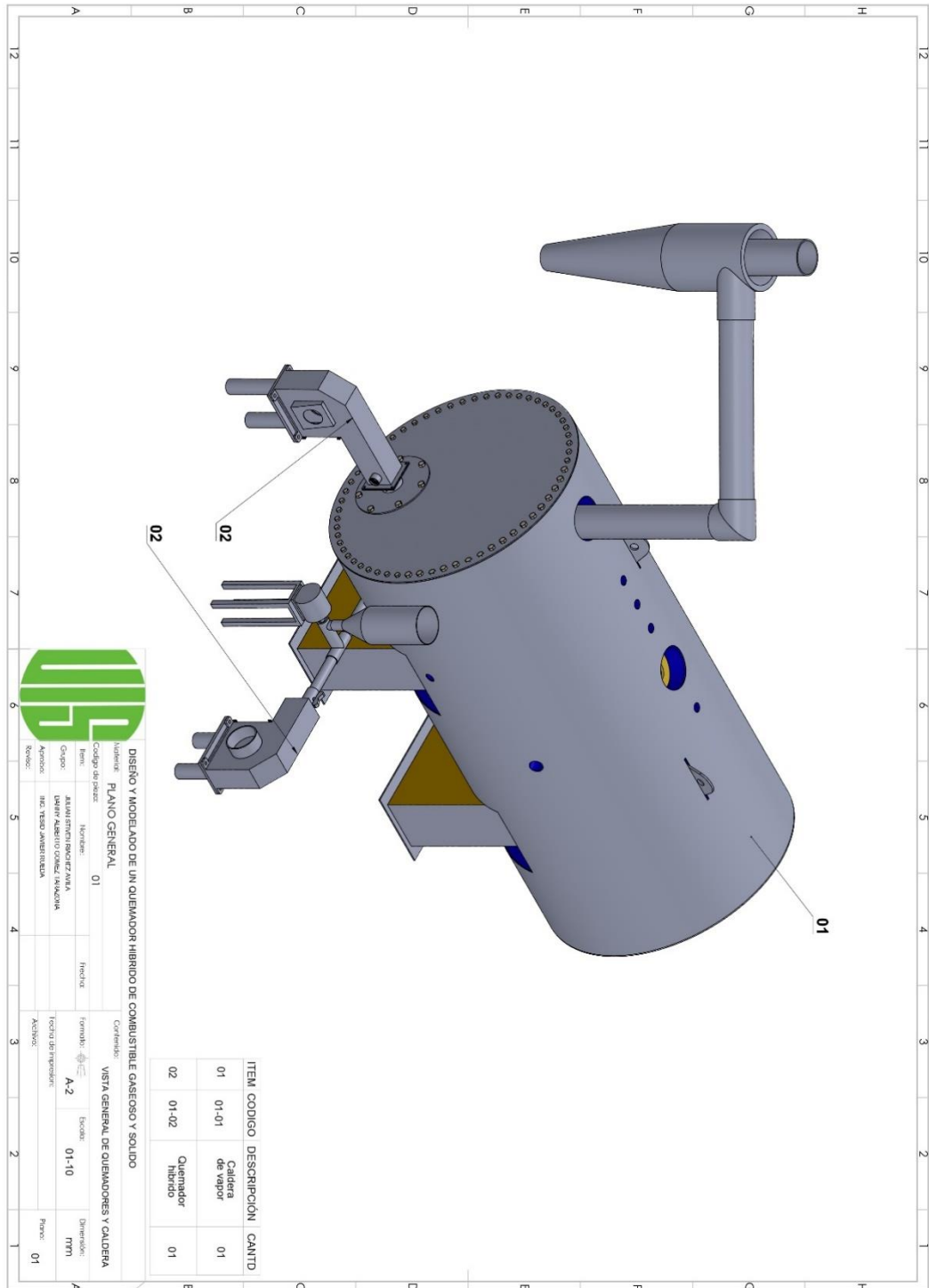
**Parametric Table: Table 1**

|         | RN  | T <sub>g1</sub> | T <sub>g2</sub> | dq    |
|---------|-----|-----------------|-----------------|-------|
| Run 179 | 178 | 1098            | 1092            | 52,98 |
| Run 180 | 179 | 1092            | 1086            | 52,48 |
| Run 181 | 180 | 1086            | 1080            | 51,98 |
| Run 182 | 181 | 1080            | 1074            | 51,49 |
| Run 183 | 182 | 1074            | 1069            | 51,01 |
| Run 184 | 183 | 1069            | 1063            | 50,52 |
| Run 185 | 184 | 1063            | 1058            | 50,05 |
| Run 186 | 185 | 1058            | 1052            | 49,58 |
| Run 187 | 186 | 1052            | 1047            | 49,11 |
| Run 188 | 187 | 1047            | 1041            | 48,65 |
| Run 189 | 188 | 1041            | 1036            | 48,19 |
| Run 190 | 189 | 1036            | 1030            | 47,74 |
| Run 191 | 190 | 1030            | 1025            | 47,29 |
| Run 192 | 191 | 1025            | 1020            | 46,85 |
| Run 193 | 192 | 1020            | 1015            | 46,41 |
| Run 194 | 193 | 1015            | 1010            | 45,97 |
| Run 195 | 194 | 1010            | 1004            | 45,54 |
| Run 196 | 195 | 1004            | 999,4           | 45,12 |
| Run 197 | 196 | 999,4           | 994,4           | 44,7  |
| Run 198 | 197 | 994,4           | 989,5           | 44,28 |
| Run 199 | 198 | 989,5           | 984,6           | 43,87 |
| Run 200 | 199 | 984,6           | 979,8           | 43,46 |
| Run 201 | 200 | 979,8           | 974,9           | 43,05 |



## MODELO CERO DIMENCIONAL

# ANEXO T. Planos del diseño de caldera y quemador híbrido.



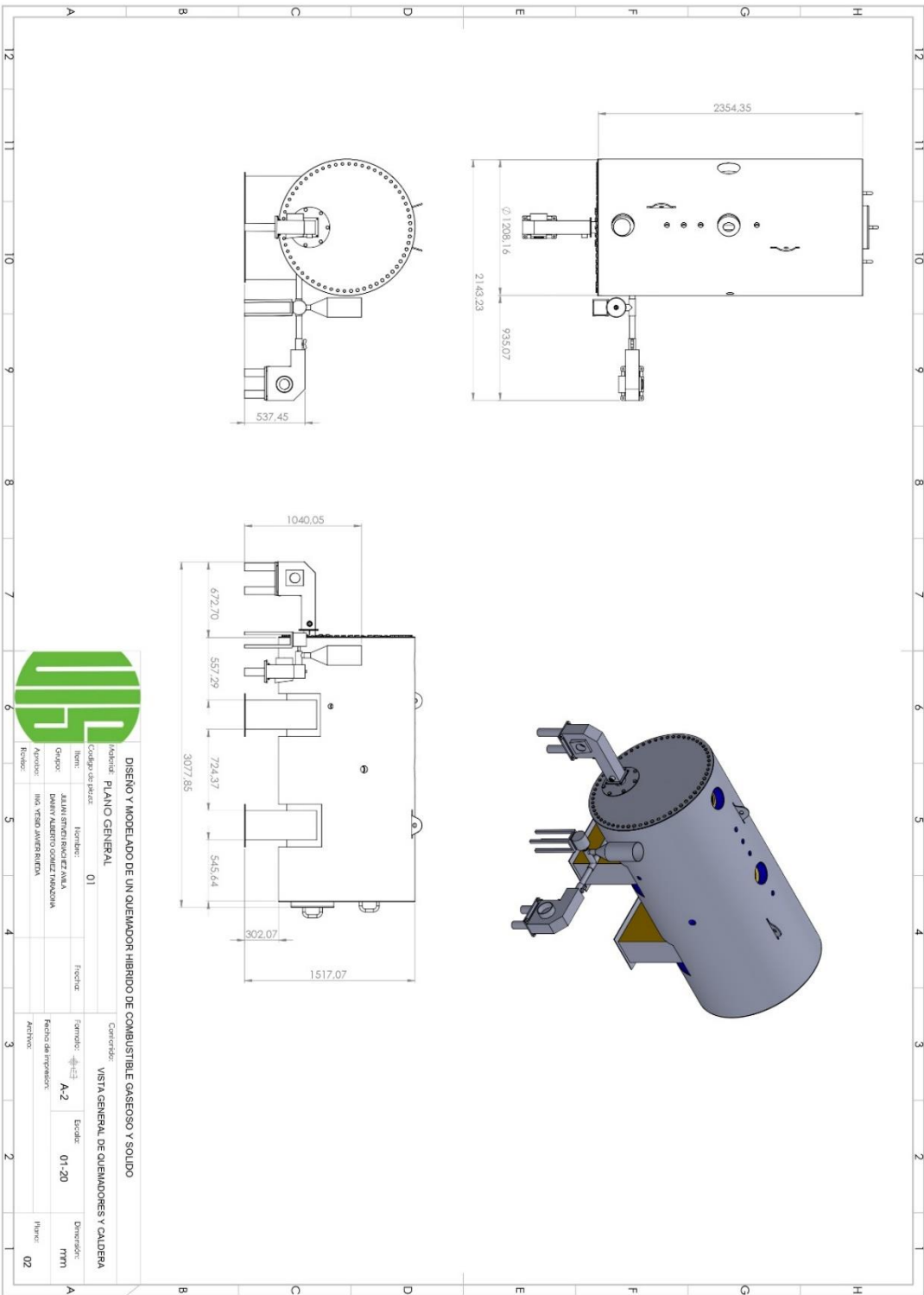
| ITEM | CODIGO | DESCRIPCION      | CANTD |
|------|--------|------------------|-------|
| 01   | 01-01  | Caldera de vapor | 01    |
| 02   | 01-02  | Quemador híbrido | 01    |



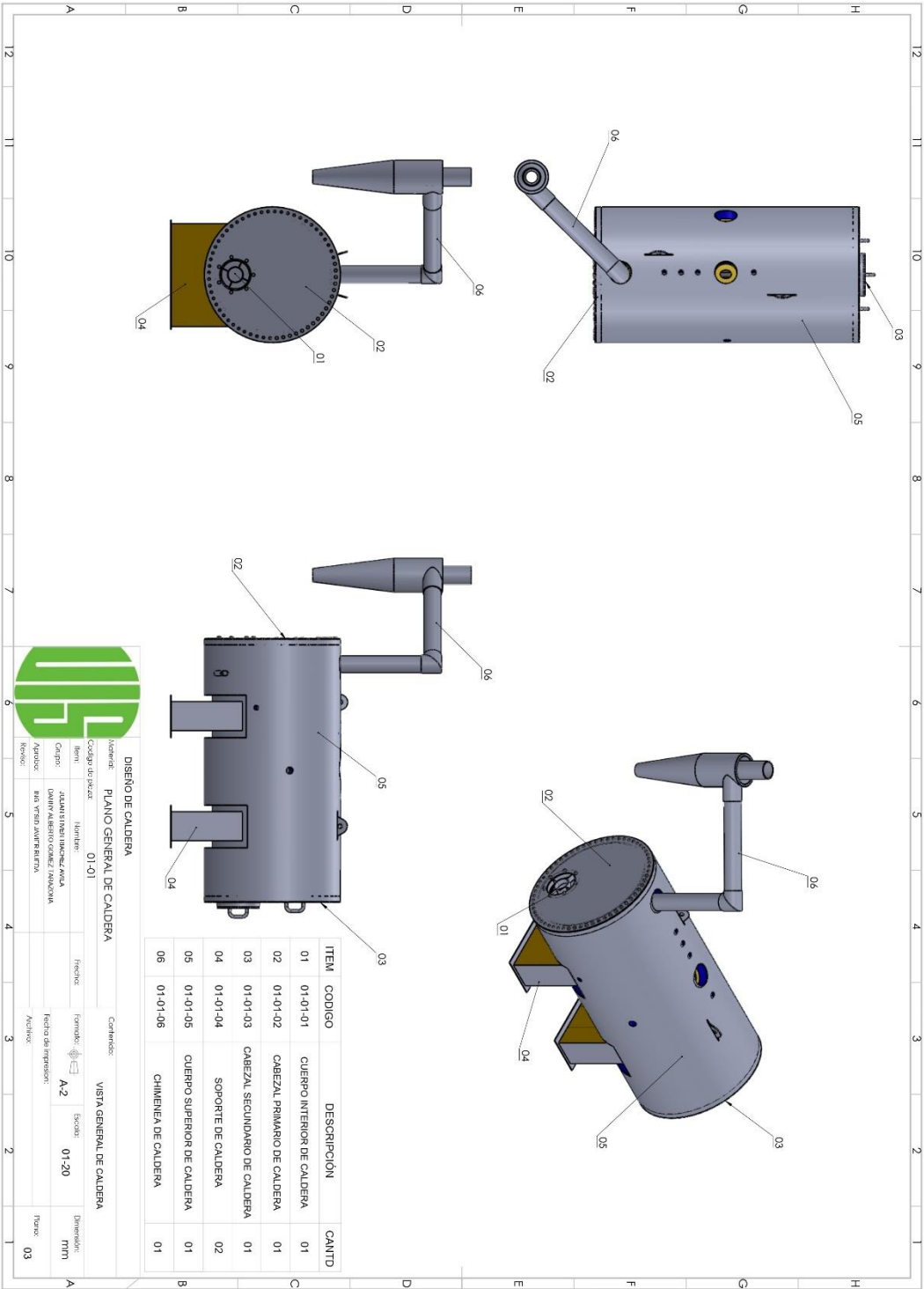
**DISEÑO Y MODELADO DE UN QUEMADOR HIBRIDO DE COMBUSTIBLE GASEOSO Y SOLIDO**

**PLANO GENERAL**

|                  |                             |                     |                                       |
|------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Número:          | 01                          | Contenido:          | VISTA GENERAL DE QUEMADORES Y CALDERA |
| Código de plaza: |                             | Formato:            | A-2                                   |
| Rem:             | JAVIER SANCHEZ MORA         | Escala:             | 01-10                                 |
| Grupo:           | DAVID ALBERTO GOMEZ RAMONEN | Fecha de impresión: |                                       |
| Asesor:          | ING. TESIS AVANCEADA        | Asesor:             |                                       |
| Revisor:         |                             | Página:             | 01                                    |



|  |                                |   |            |
|--|--------------------------------|---|------------|
| <b>DISEÑO Y MODELADO DE UN QUEMADOR HIBRIDO DE COMBUSTIBLE GASOSO Y SÓLIDO</b> |                                | Categoría: <b>VISTA GENERAL DE QUEMADORES Y CALDERA</b> |            |
| Nombre: <b>PLANO GENERAL</b>   |                                | Código de pieza: <b>01</b>                              |            |
| Item:  | Nombre:                        | Fecha:  | Escala:    |
| Grupo:   | JUAN FRANCISCO AZAÑA           | Proyecto:   | 01-20      |
| Autor:   | DANIEL ALBERTO GARCÍA TRINIDAD | Fecha de impresión:                                     | Dimensión: |
| Revisor:   | IBAÑEZ JAVIER RIVERA           | Activos:  | mm         |
|  |                                |   | Plano:     |
|  |                                |   | 02         |



| ITEM | CODIGO   | DESCRIPCION                   | CANTD |
|------|----------|-------------------------------|-------|
| 01   | 01-01-01 | CUERPO INTERIOR DE CALDERA    | 01    |
| 02   | 01-01-02 | CABEZAL PRIMARIO DE CALDERA   | 01    |
| 03   | 01-01-03 | CABEZAL SECUNDARIO DE CALDERA | 01    |
| 04   | 01-01-04 | SOPORTE DE CALDERA            | 02    |
| 05   | 01-01-05 | CUERPO SUPERIOR DE CALDERA    | 01    |
| 06   | 01-01-06 | CHIMENEA DE CALDERA           | 01    |

**DISEÑO DE CALDERA**

**PLANO GENERAL DE CALDERA**

**VISTA GENERAL DE CALDERA**

Modificaci: **01-01**      Contenedor: **01-20**

Código de pieza: **01-01**      Fecha: **01-20**

Item: **01-01**      Formato: **A-2**      Escala: **1:1**      Dimension: **mm**

Grupo: **INDUSTRIAL MECANICA**      Fecha de impresión: **01-20**      Tipo: **03**

Aprobado: **DAVID ALBERTO GOMEZ ZAMORA**

Asesorado: **MIGUEL ANTONIO BARRERA**

Revisado: **DAVID ALBERTO GOMEZ ZAMORA**





| ITEM | CODIGO      | DESCRIPCION         | CANTD |
|------|-------------|---------------------|-------|
| 01   | 01-01-01-01 | PLACA ASME A516 G70 | 01    |
| 02   | 01-01-01-02 | TUBO ASME A192      | 48    |
| 03   | 01-01-01-03 | PLACA ASME A516 G70 | 02    |
| 04   | 01-01-01-04 | TUBO ASME A106      | 01    |
| 05   | 01-01-01-05 | TUBO ASME A192      | 01    |



**CUERPO INTERIOR DE CALDERA**

Indicador: **INDICADOS**      Código de pieza: **01-01-01**

Norma: **01-01-01**

Función: **CONJUNTO 1: CUERPO INTERNO DE CALDERA**

Elaborado: **A-2**      Escala: **01-05**      Dimensiones: **mm**

Revisado: **04**

Nombre: **ALBERTO RAMIREZ RAMA**

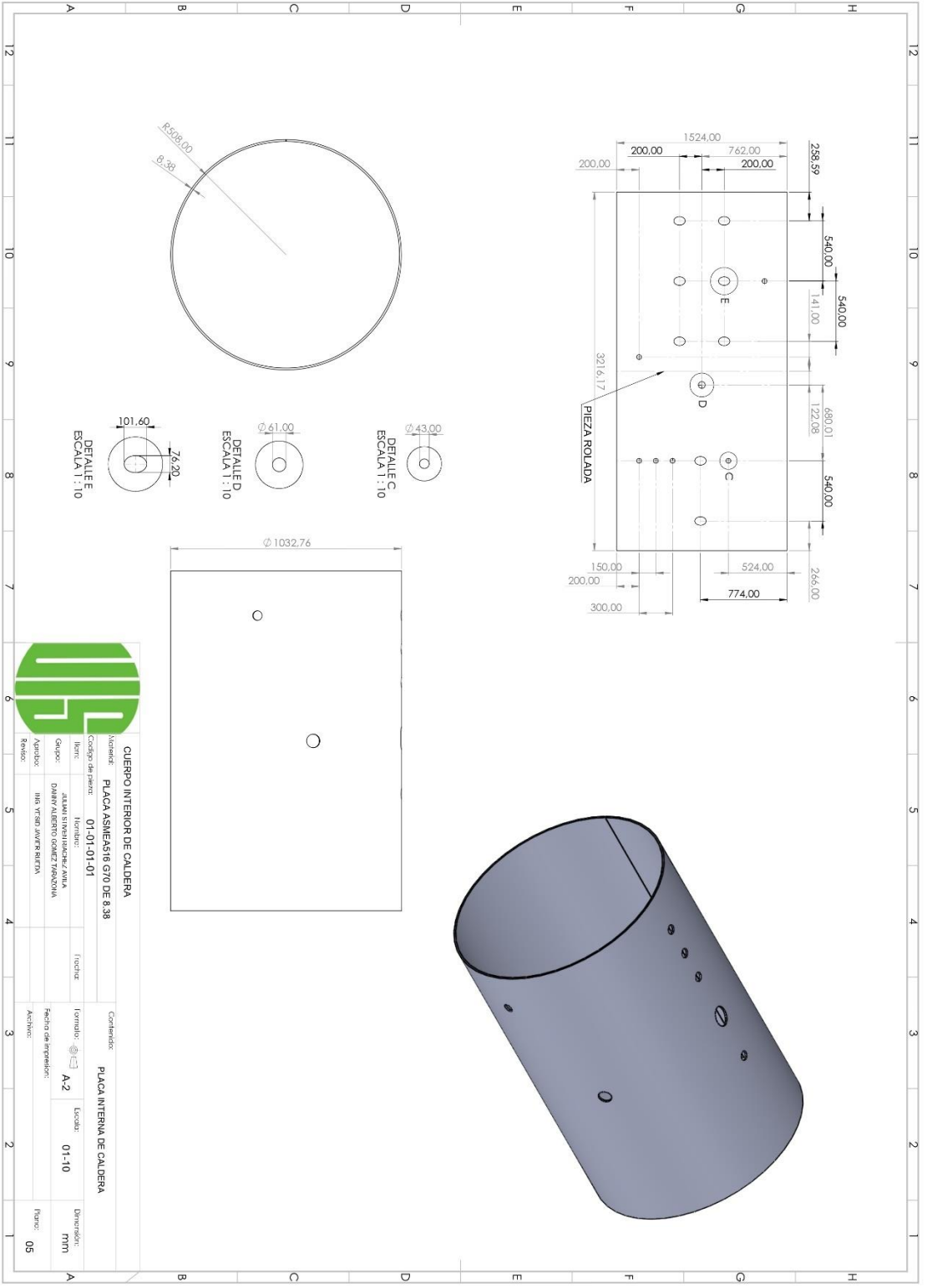
Apellido: **DAVEY RAMIREZ RAMA RAMA**

Nombre: **ING. YESSY JANSINI HERRERA**

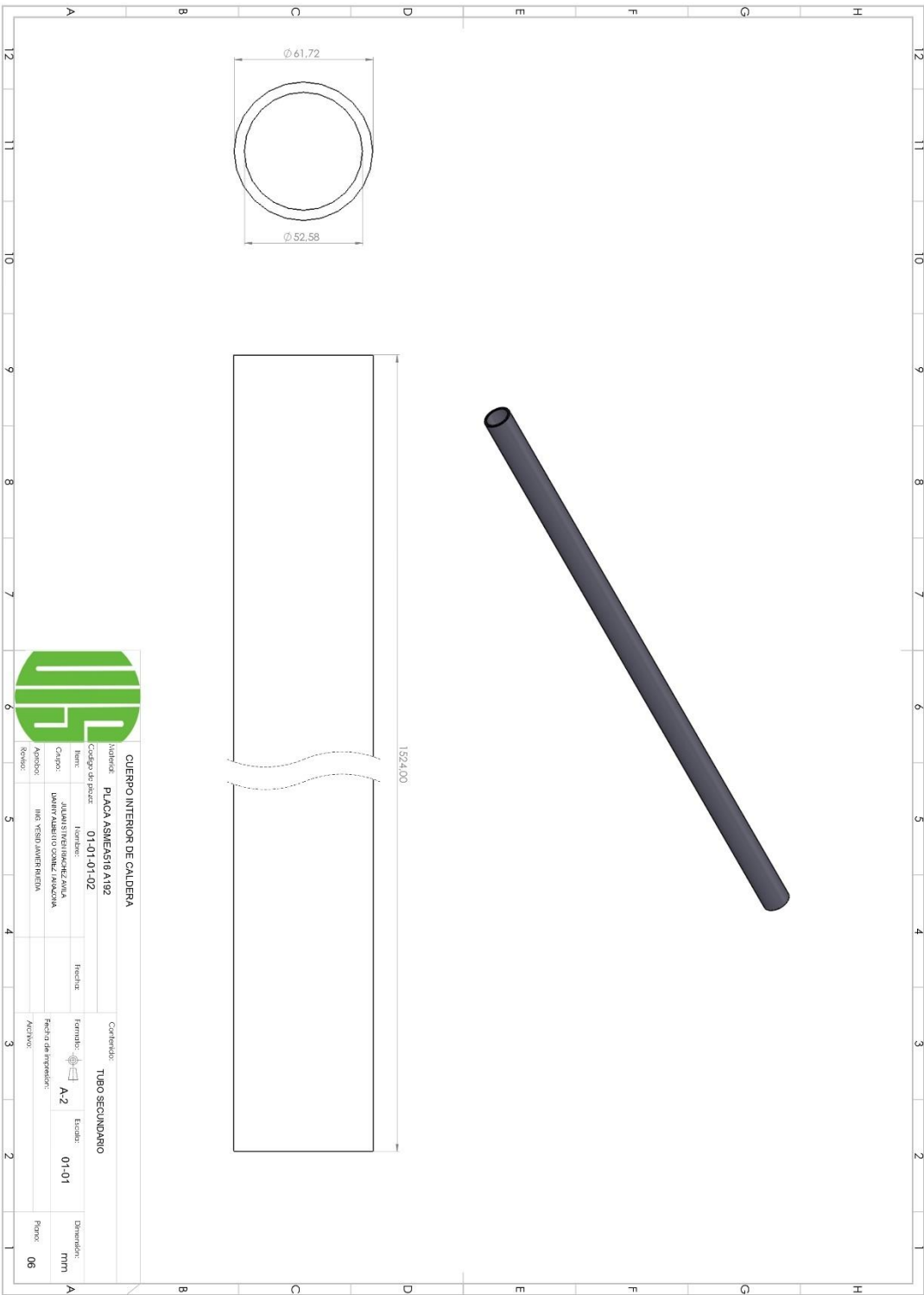
Apellido: **HERRERA**

Título de profesional: **A-2**

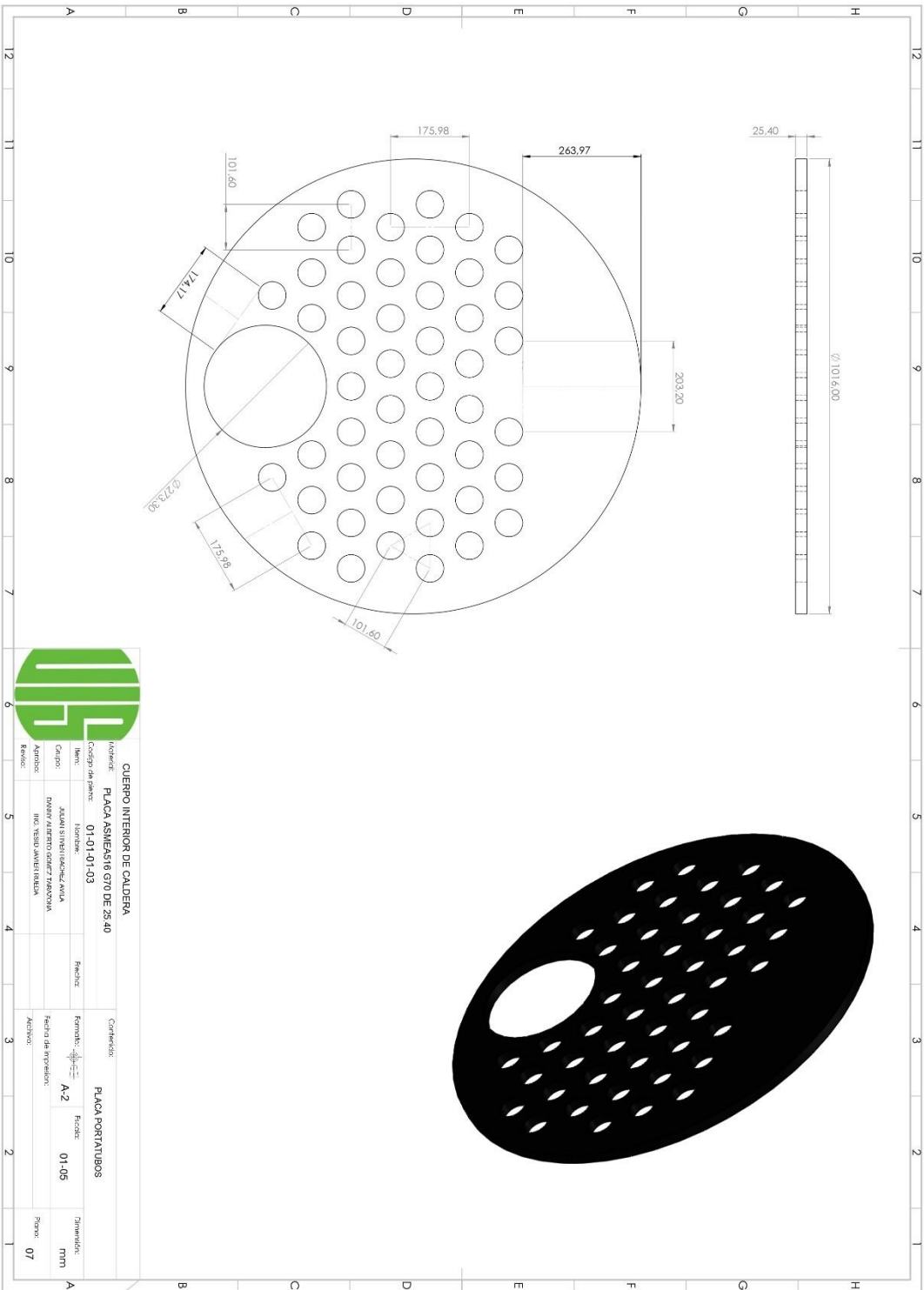
Activo: **04**



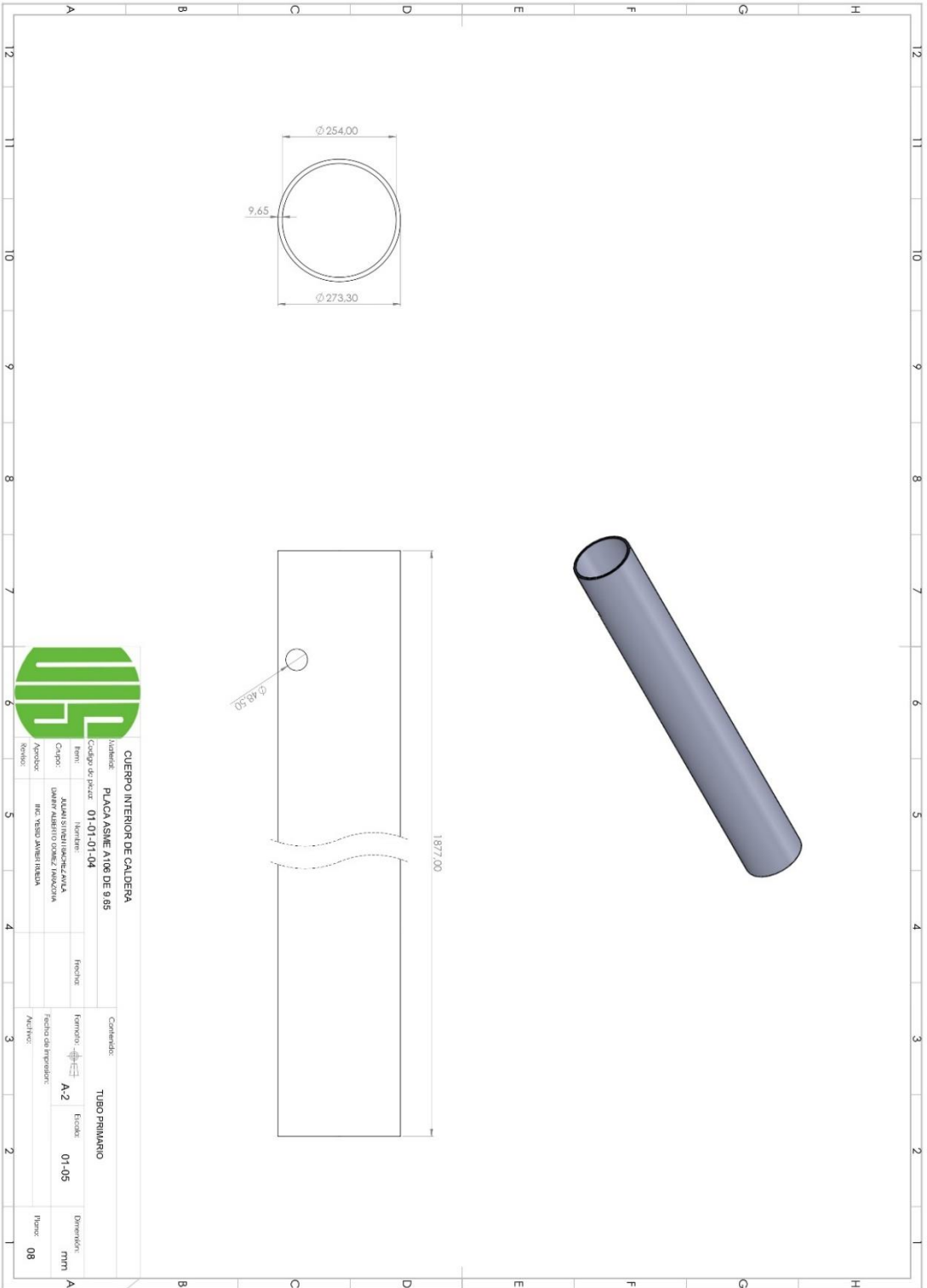
|                                     |                               |                                 |       |
|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------|
| <b>CUBIERTO INTERIOR DE CALDERA</b> |                               | <b>PLACA INTERNA DE CALDERA</b> |       |
| Nombre:                             | PLACA ASMEAS16 STD DE 8 38    | Forma:                          | A-2   |
| Código de parte:                    | 01-01-01-01                   | Fecha:                          | 01-10 |
| Item:                               | JUANES SINDICACION/JUNIA      | Fecha de impresión:             | mm    |
| Grupo:                              | DANIEL ALBERTO GOMEZ TRUJILLO | Archivos:                       | 05    |
| Ambos:                              | HIS Y SRO JAVIER BERTIN       |                                 |       |
| Revisor:                            |                               |                                 |       |



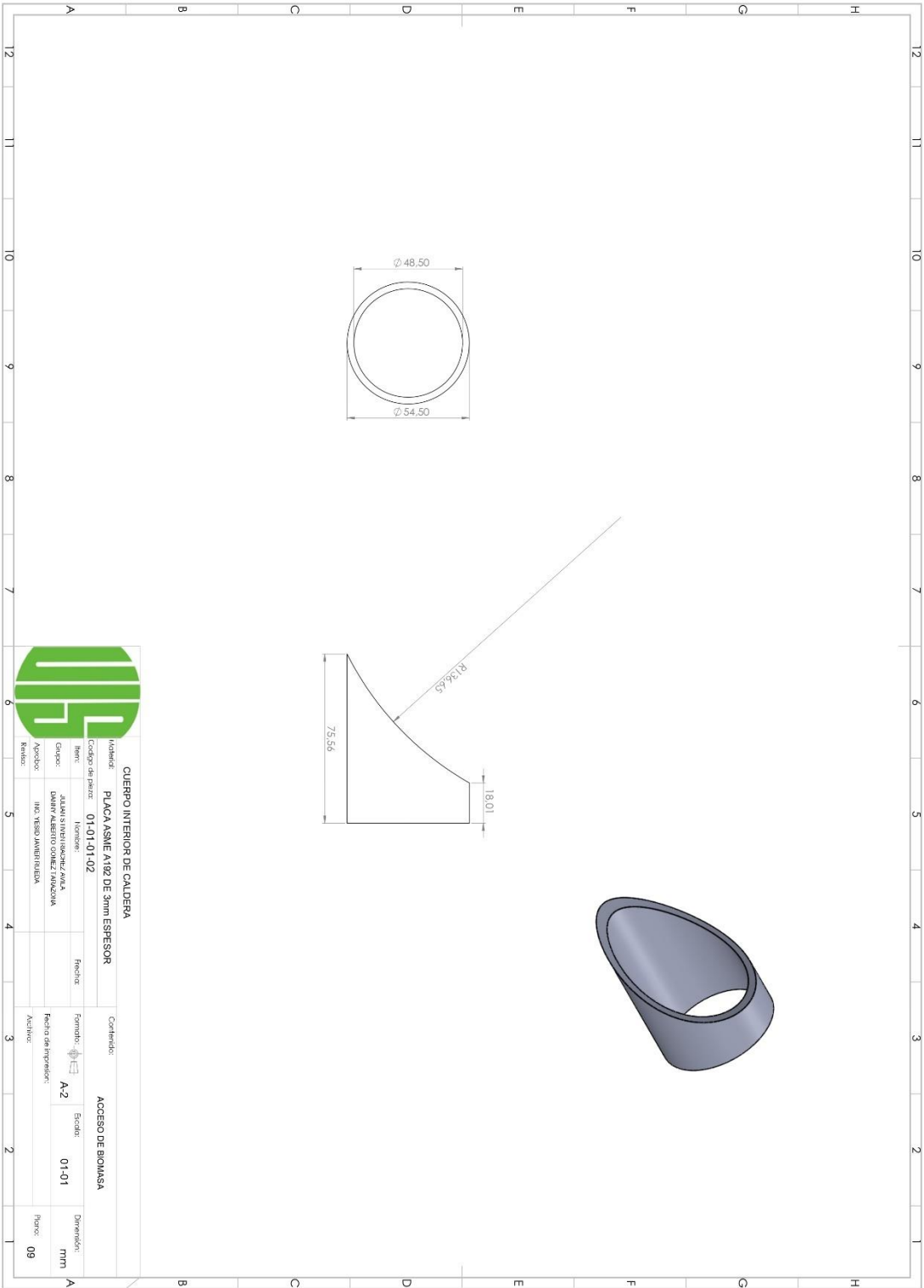
|                                   |                      |                                   |       |
|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-------|
| <b>CUERPO INTERIOR DE CALDERA</b> |                      | <b>Contenido:</b> TUBO SECUNDARIO |       |
| Nombre:                           | PLACA ASINENSIB A192 | Formato:                          | A-2   |
| Código de pieza:                  | 01-01-01-02          | Escala:                           | 01-01 |
| Item:                             | 01-01-01-02          | Fecha de impresión:               |       |
| Apellido:                         | IR                   | Activos:                          |       |
| Apellido:                         | JUAN PABLO GONZALEZ  | Dimensiones:                      | mm    |
| Apellido:                         | ING. VESPA AMBROSINI | Página:                           | 06    |



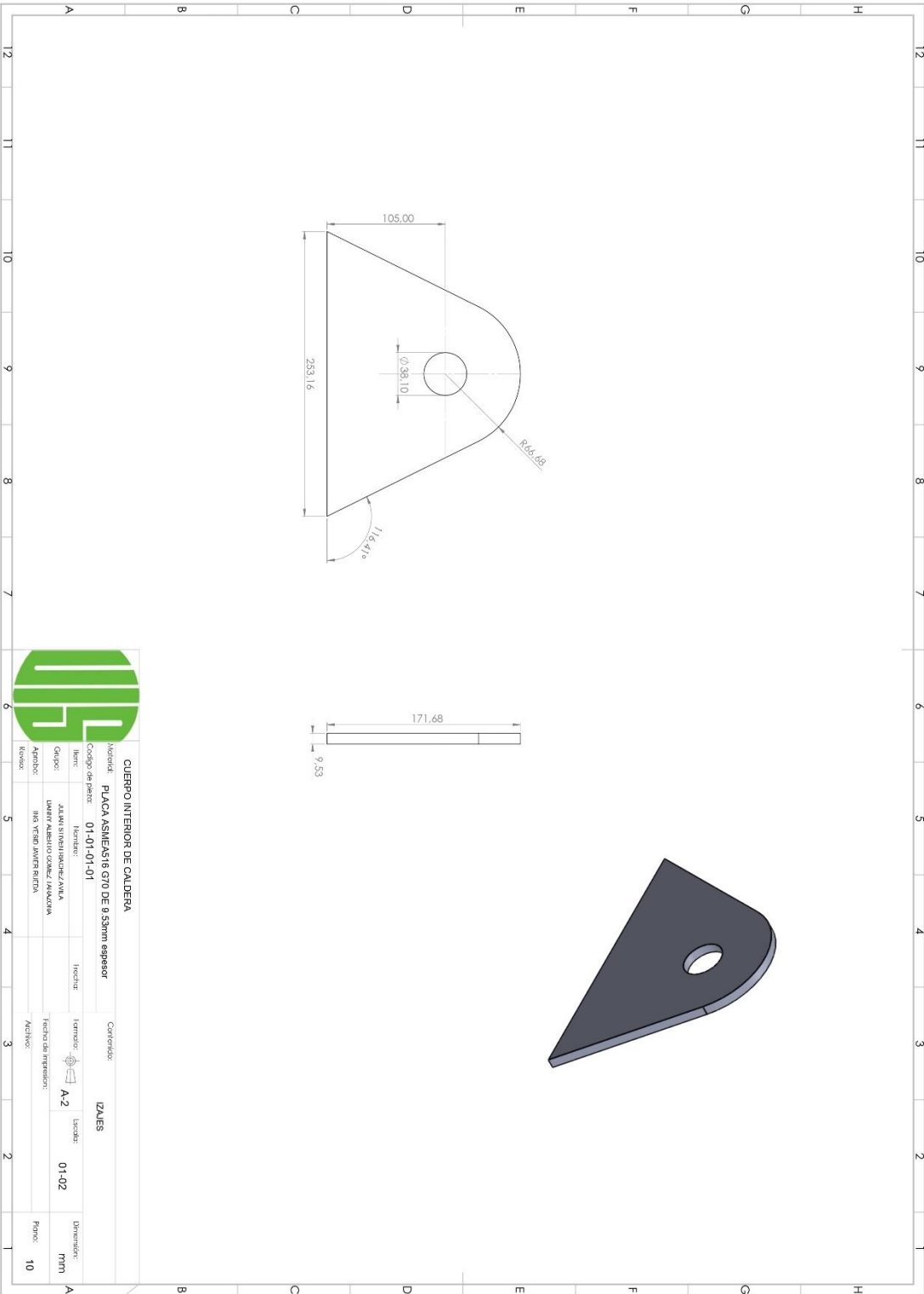
|                                   |                            |                         |       |
|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------|-------|
| <b>QUERPO INTERIOR DE CALDERA</b> |                            | <b>PLACA PORTATUBOS</b> |       |
| Nombre:                           | PLACA ASME516 GTM DE 25 40 | Forma:                  | A-2   |
| Código de parte:                  | 01-01-01-03                | Fecha:                  | 01-05 |
| Item:                             | ASAMBLAJA DE TUBERIAS      | Fecha de expedición:    |       |
| Categoría:                        | DAÑO AL TUBO DE LA TUBERIA | Activar:                |       |
| Asesor:                           | ING. VESIL JAVIER INELICA  | Dimensión:              | mm    |
| Revisó:                           |                            | Página:                 | 07    |



|                                   |                               |                      |       |
|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------|-------|
| <b>CUERPO INTERIOR DE CALDERA</b> |                               | <b>TUBO PRIMARIO</b> |       |
| Identific:                        | PLACA ASME A106 DE 9 85       | Forma:               |       |
| Código de pieza:                  | 01-01-01-04                   | Fecha:               |       |
| Item:                             | 01-01-01-04                   | Forma:               | A-2   |
| Nombre:                           | JUAN SANTIAGO ZAVILA          | Escala:              | 01-05 |
| Cargo:                            | DISEÑO ASISTIDO CON EL MANEJO | Fecha de impresión:  |       |
| Apellido:                         | IR. VESIO AMERIN RIVERA       | Auto:                |       |
| Revista:                          |                               | Plant:               | 08    |



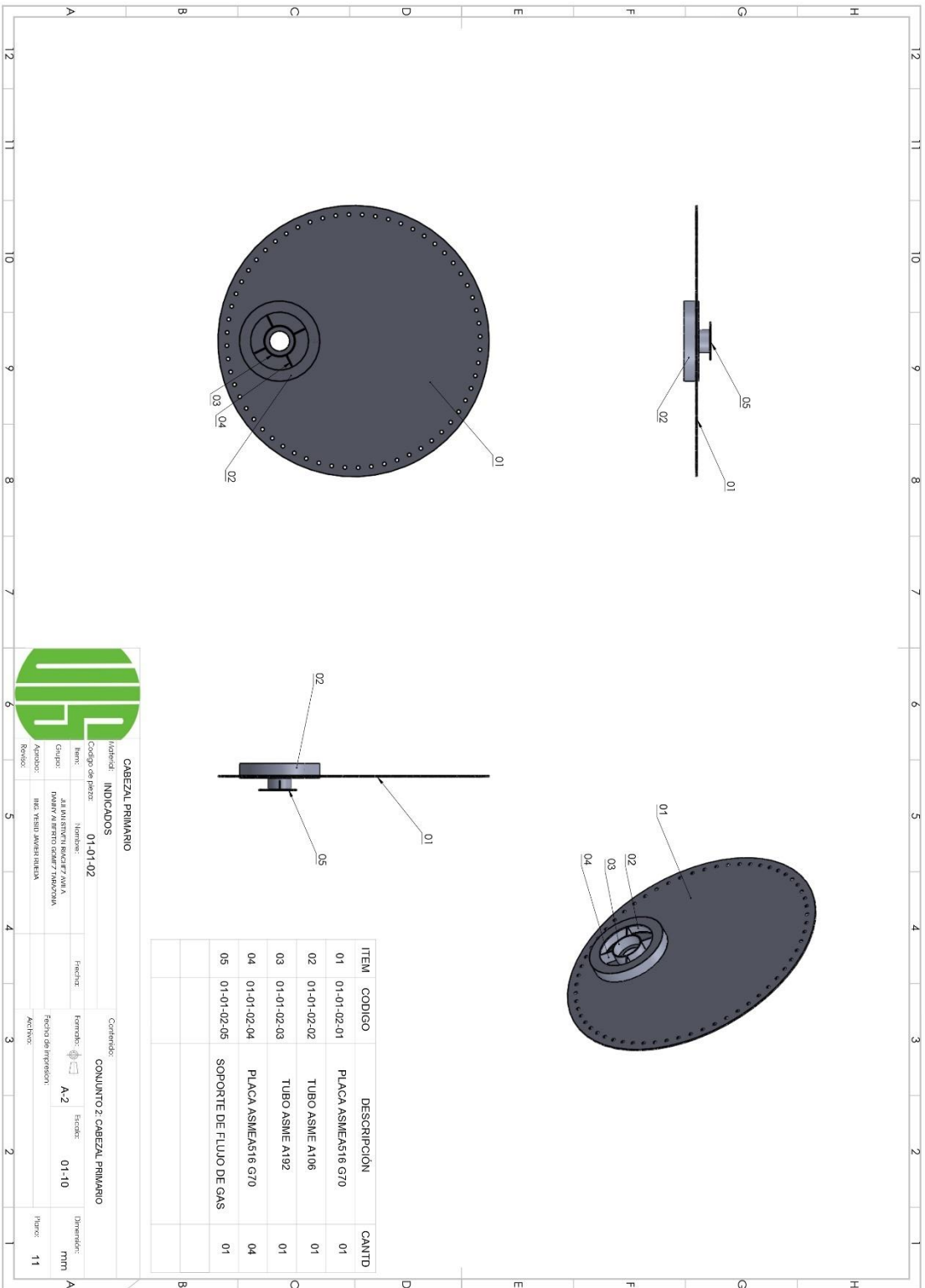
|                                   |                                |                        |       |
|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------|-------|
| <b>CUERPO INTERIOR DE CALDERA</b> |                                | <b>ACCESO DE BOMBA</b> |       |
| Material:                         | PLACA ASME A192 DE 3mm ESPESOR | Contenido:             |       |
| Código de parte:                  | 01-01-01-02                    | Formato:               | A-2   |
| Item:                             | JUAN MANRIQUEZ AVILA           | Fecha:                 | 01-01 |
| Grupo:                            | DANIEL ALBERTO GOMEZ TRAVEZOSA | Fecha de impresión:    |       |
| Aprobado:                         | ING. YESID AMBRIVIEJA          | Archivo:               |       |
| Revisado:                         |                                | Dimensiones:           | mm    |
|                                   |                                | Hoja:                  | 09    |



**CUERPO INTERIOR DE CALDERA**



|                  |                                      |                     |       |              |          |        |              |
|------------------|--------------------------------------|---------------------|-------|--------------|----------|--------|--------------|
| Material:        | PLACA ASMEASTe 670 DE 9.53mm espesor |                     |       | Comentarios: | IZALIES  |        |              |
| Código de parte: | 01-01-01-01                          |                     |       |              |          |        |              |
| Item:            | Item:                                | Item:               | Item: | Fecha:       | Formato: | Local: | Dimensiones: |
| Grupo:           | JUAN SIMON VAZQUEZ AVILA             | Fecha:              |       |              | A-2      | 01-02  | mm           |
| Ambio:           | JUAN ALBERTO GOMEZ LAMAZUNA          | Fecha de impresión: |       |              |          |        |              |
| Revis:           | ING YERBY JAVIER BERTIA              | Archivo:            |       |              |          |        | Papel: 10    |



| ITEM | CODIGO      | DESCRIPCION             | CANTD |
|------|-------------|-------------------------|-------|
| 01   | 01-01-02-01 | PLACA ASME A516 G70     | 01    |
| 02   | 01-01-02-02 | TUBO ASME A108          | 01    |
| 03   | 01-01-02-03 | TUBO ASME A192          | 01    |
| 04   | 01-01-02-04 | PLACA ASME A516 G70     | 04    |
| 05   | 01-01-02-05 | SOPORTE DE FLUJO DE GAS | 01    |

**CABEZAL PRIMARIO**

Indicador: **INDICADOS**

Código de parte: **01-01-02**

Nombre: **ABRAMANTE ROLCER FAMILIA**

Grupo: **IMPLANTACION DE EQUIPOS**

Asesor: **ING. YESID AMARREBENA**

Revisor:

Contenido: **CONJUNTO 2 CABEZAL PRIMARIO**

Formato: **A-2**

Escala: **01-10**

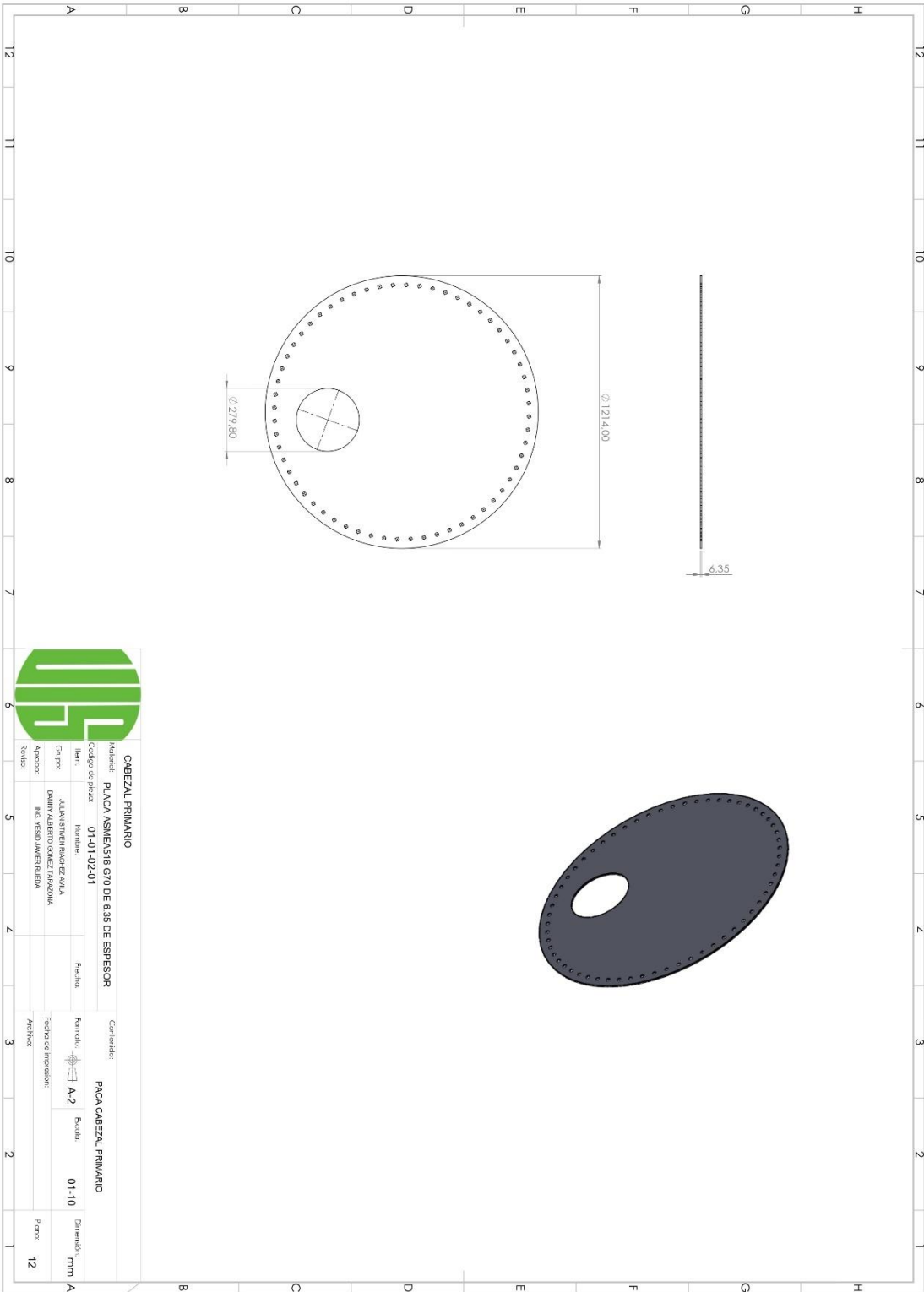
Fecha de impresión:

Activos:

Dimensiones: **mm**

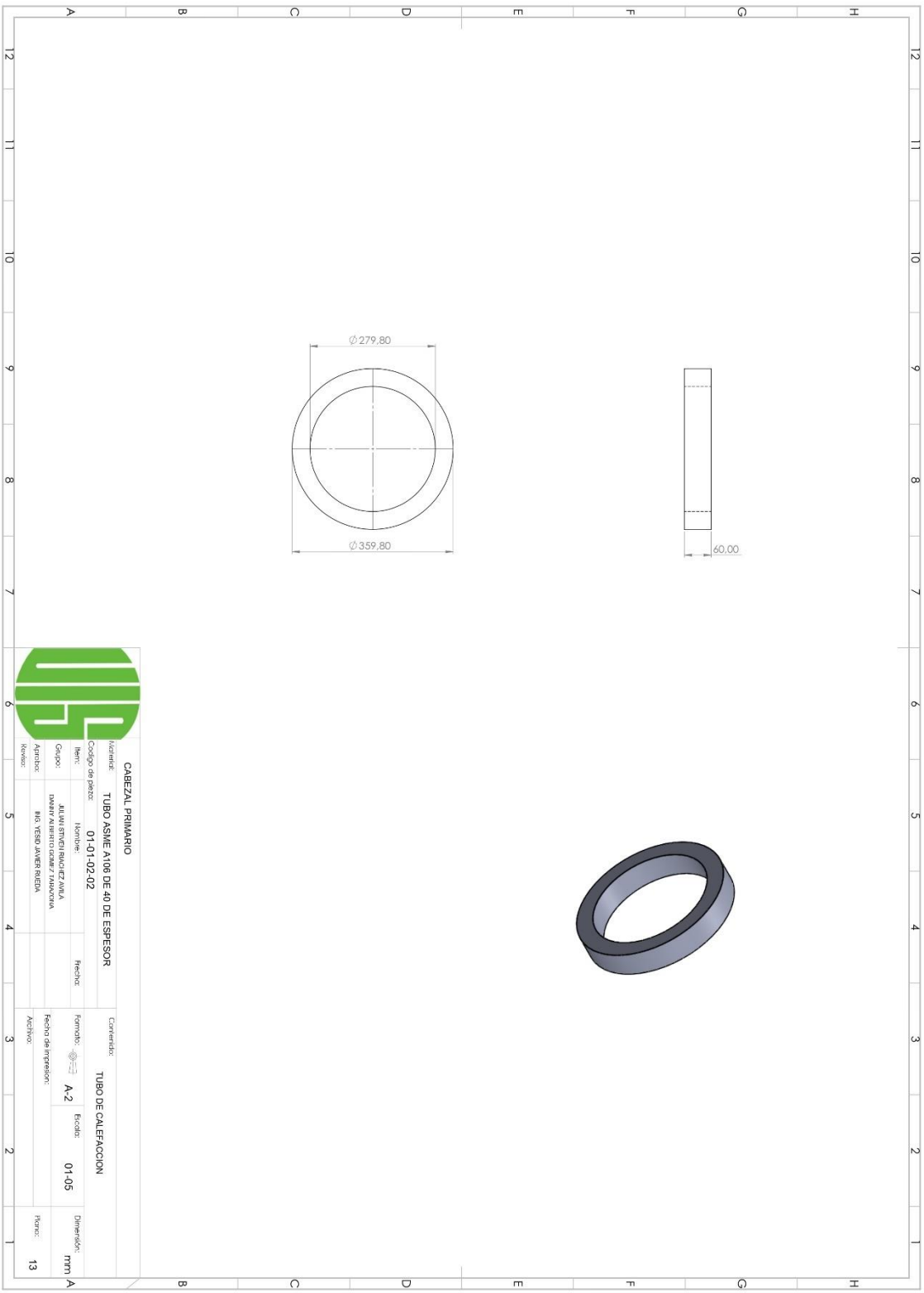
Hojas: **11**



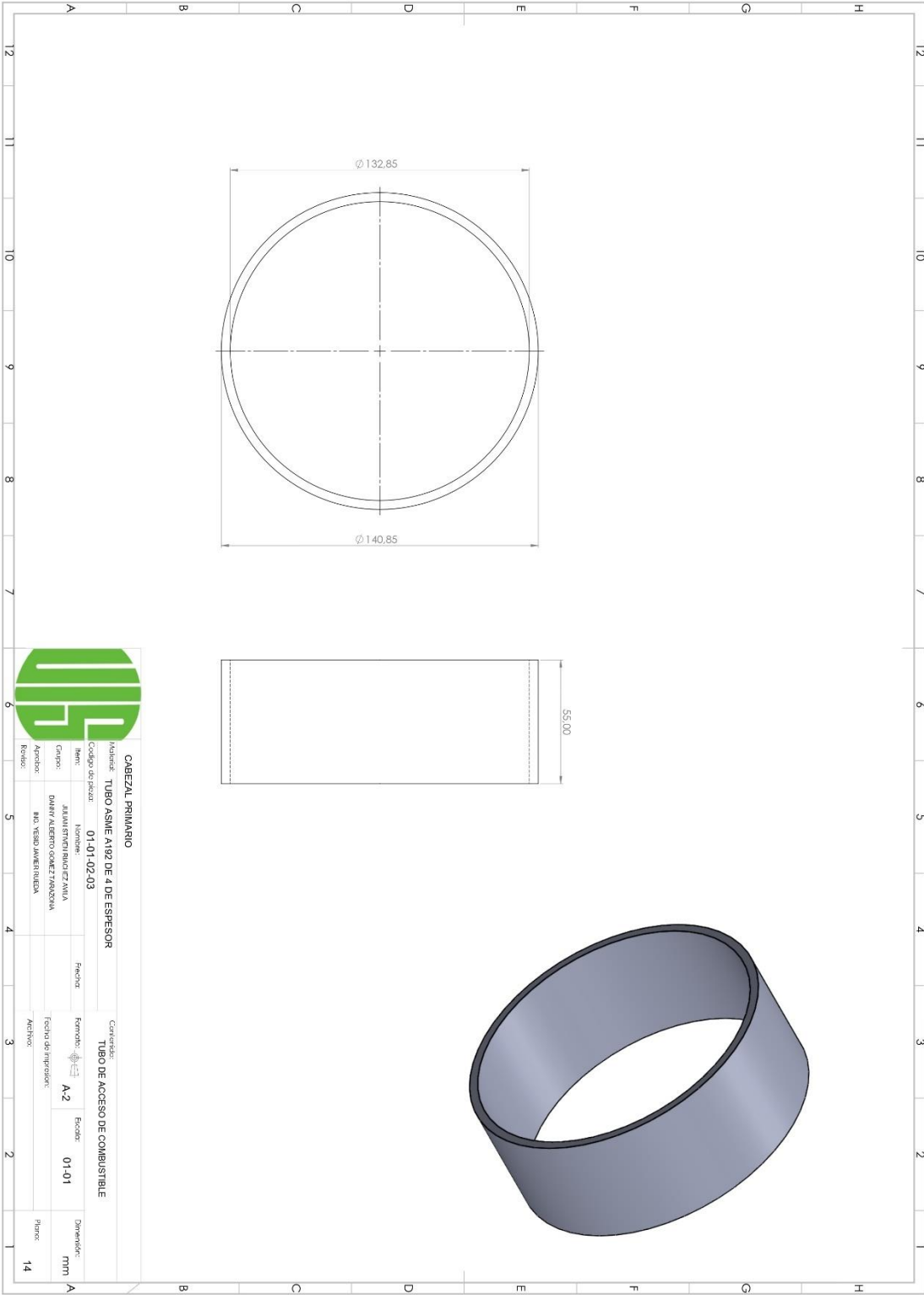


**CABEZAL PRIMARIO**

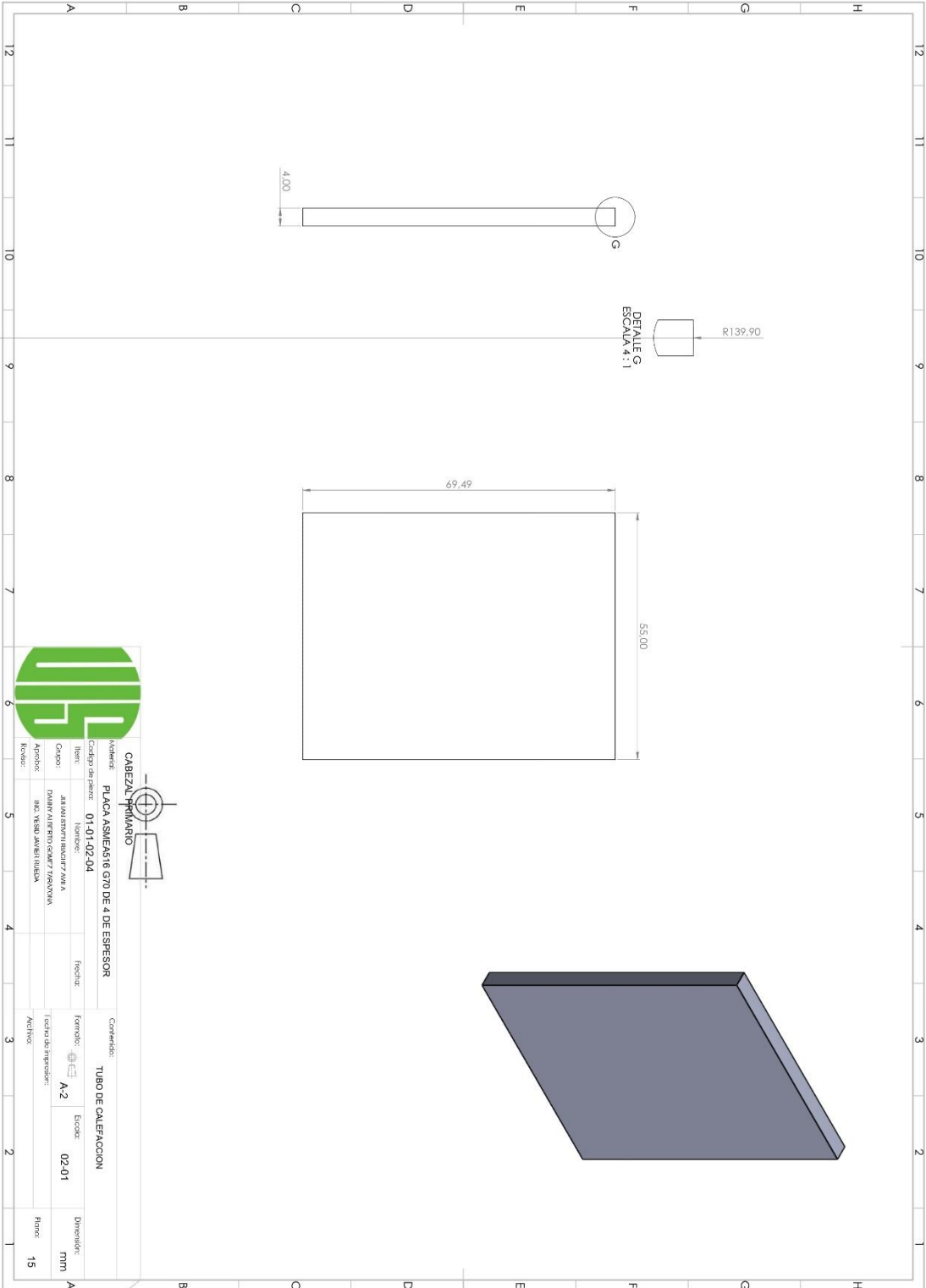
|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| Indicador: <b>PLACA ASME A516 GRD DE 6.35 DE ESPESOR</b> |  | Características: <b>PLACA CABEZAL PRIMARIO</b> |  |
| Codigo do projeto: <b>01-01-02-01</b>                    |  | Escala: <b>A2</b>                              |  |
| Item: <b>ALUMINIO RICHIEZ AVILA</b>                      |  | Formato: <b>01-10</b>                          |  |
| Grupo: <b>DAMIV ALBERTO OMEZ TANZONHA</b>                |  | Orientação: <b>TRM A</b>                       |  |
| Apelido: <b>RAO YESSO JAVIER RIBEIRA</b>                 |  | Folha: <b>12</b>                               |  |
| Revisão:   |  | Data de impressão:                             |  |
|  |  | Assinatura:                                    |  |



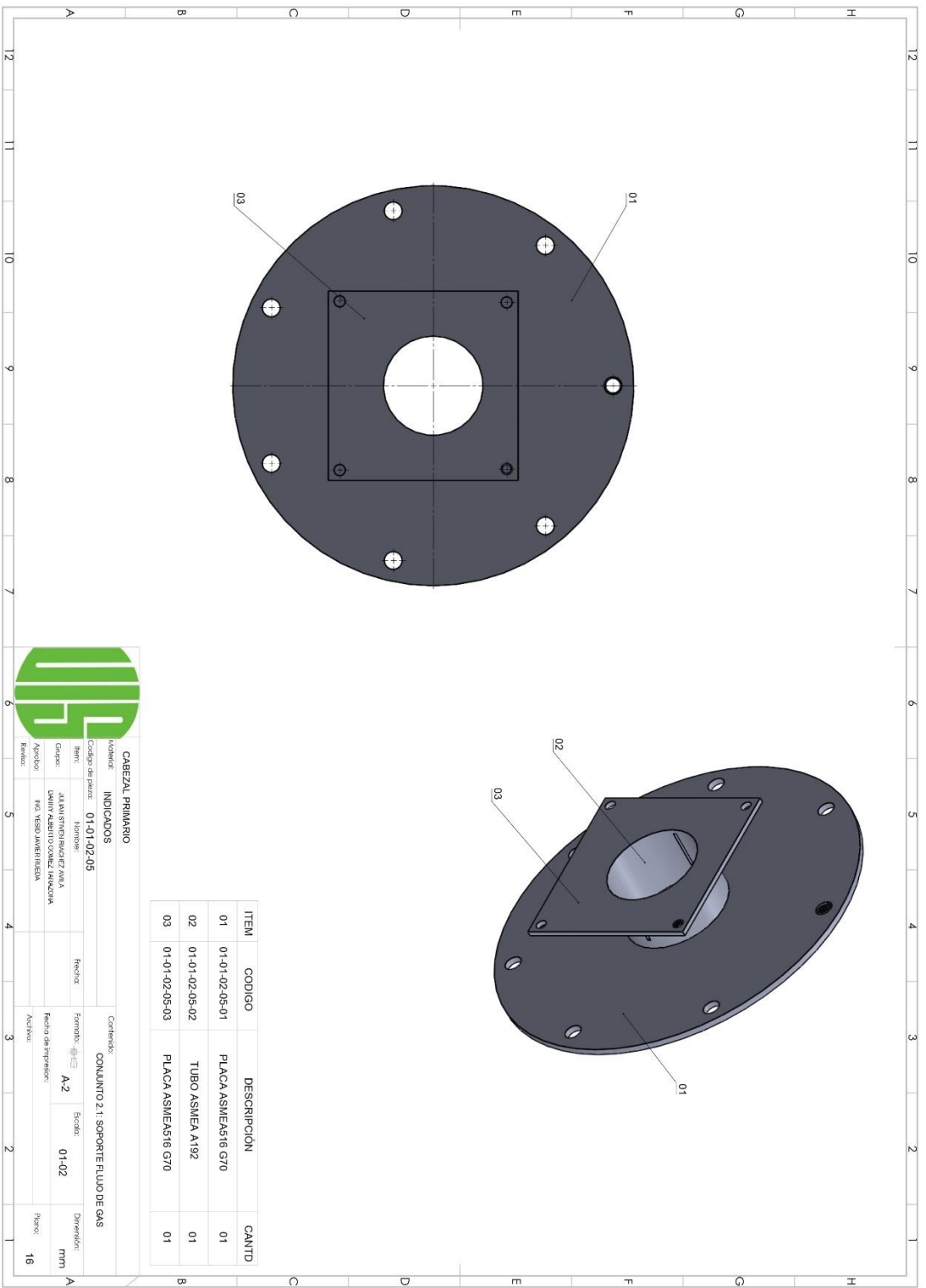
|                         |                                     |                            |       |
|-------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------|
| <b>CABEZAL PRIMARIO</b> |                                     | <b>TUBO DE CALEFACCION</b> |       |
| Nombre:                 | TUBO ASME A106 DE 40 DE ESPESOR     | Formato:                   | A-2   |
| Codigo de parte:        | 01-01-02-02                         | Fecha de revision:         | 01-05 |
| Item:                   | 01-01-02-02                         | Asesor:                    | 13    |
| Grupo:                  | JULIAN ESTEBAN BUCIARZ AVILA        |                            |       |
| Proveedor:              | INDUSTRIAL INGENIERIA Y FABRICACION |                            |       |
| Atendido:               | MRS. YESO JAVIER REILDA             |                            |       |
| Revisado:               |                                     |                            |       |



|                         |                                  |                         |                               |
|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| <b>CABEZAL PRIMARIO</b> |                                  | <b>Características:</b> |                               |
| Indicador:              | TUBO ASME A192 DE 4 DE ESPESOR   | Material:               | TUBO DE ACCESO DE COMBUSTIBLE |
| Código de pieza:        | 01-01-02-03                      | Fecha:                  |                               |
| Item:                   | JUAN MANRIQUEZ ANLA              | Formato:                | A-2                           |
| Grupo:                  | DANIEL ALBERTO GONZALEZ MARCONIA | Escala:                 | 01-01                         |
| Apellido:               | MR. YESID AMEN RUCIA             | Fecha de impresión:     |                               |
| Revisor:                |                                  | Arriba:                 |                               |
|                         |                                  | Diámetro:               | mm                            |
|                         |                                  | Hoja:                   | 14                            |



|  |                                     |                            |                      |
|--|-------------------------------------|----------------------------|----------------------|
| <b>CABEZAL PRIMARIO</b>                              |                                     | <b>TUBO DE CALEFACCION</b> |                      |
| Materia: <b>PLACA ASME/SA16 GR70 DE 4 DE ESPESOR</b> | Codigo de parte: <b>01-01-02-04</b> | Formato:                   | Escala: <b>02-01</b> |
| Item:  | Nombre:                             | Fecha:                     | Director:            |
| Cliente: <b>ALIAN STRINIBACER Y CIA S.A</b>          | Diseñador:                          | Estado de impresión:       | Dimension: <b>mm</b> |
| Aprobado: <b>DANIEL ALBERTO GONZALEZ TRUJILLO</b>    | Fecha:                              | Activo:                    | Folio: <b>15</b>     |
| Revisado: <b>IND. YERMO JAVIER RIVERA</b>            |                                     |                            |                      |



| ITEM | CODIGO         | DESCRIPCION         | CANTID. |
|------|----------------|---------------------|---------|
| 01   | 01-01-02-05-01 | PLACA ASME A516 G70 | 01      |
| 02   | 01-01-02-05-02 | TUBO ASME A192      | 01      |
| 03   | 01-01-02-05-03 | PLACA ASME A516 G70 | 01      |



**CABEZAL PRIMARIO**

Indicados: INDICADOS

Código de pieza: 01-01-02-05

Item: 01-01-02-05

Homologo: ALBAÑILERIA

Grupo: DANIV ALBAÑILERIA

Aprobado: R.O. YESO JAMERENA

Revisado:

Contenido: CONJUNTO 2.1: SOPORTE FLUIDO DE GAS

Formato: A-2

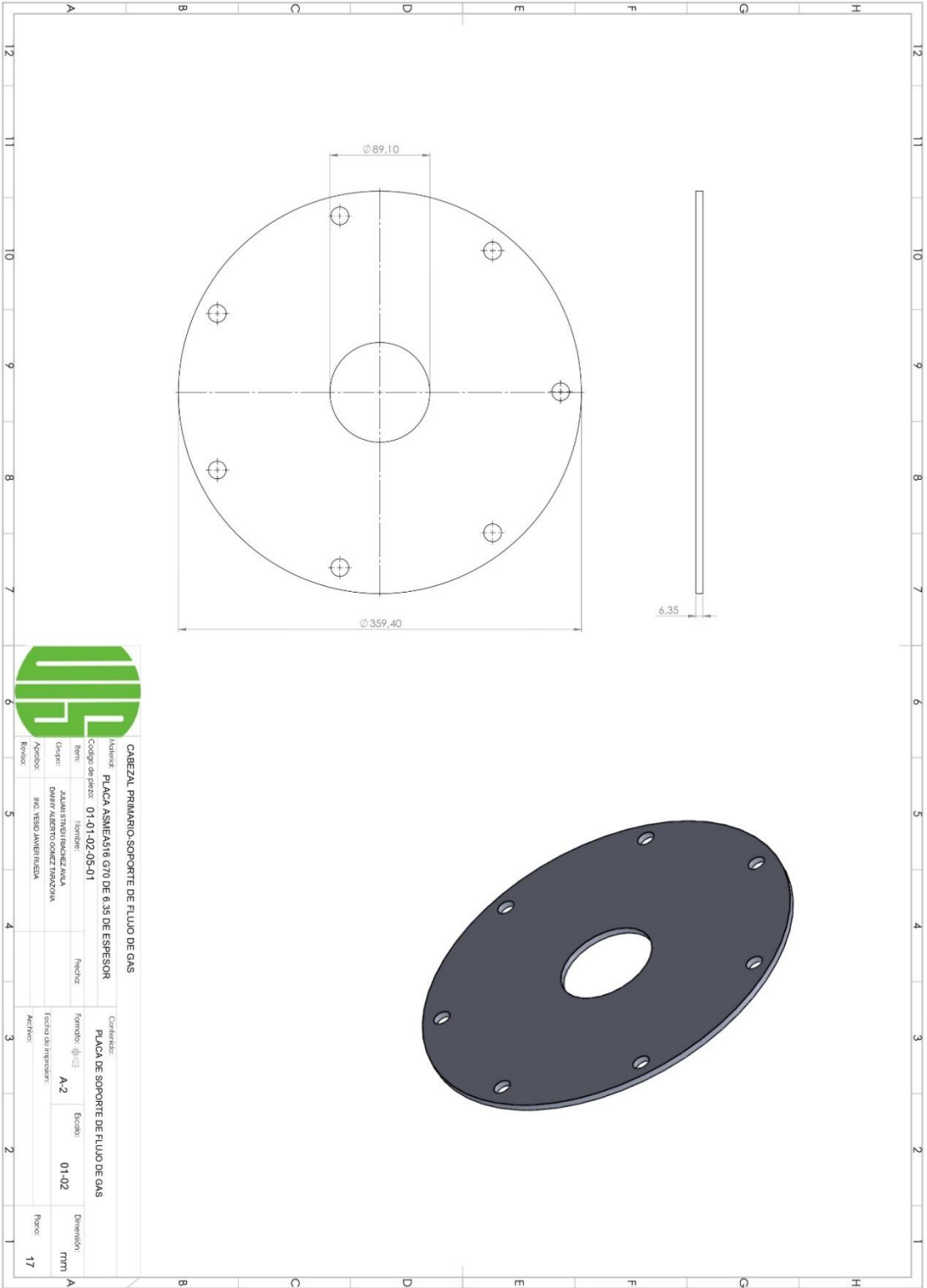
Escala: 01-02

Fecha de impresión:

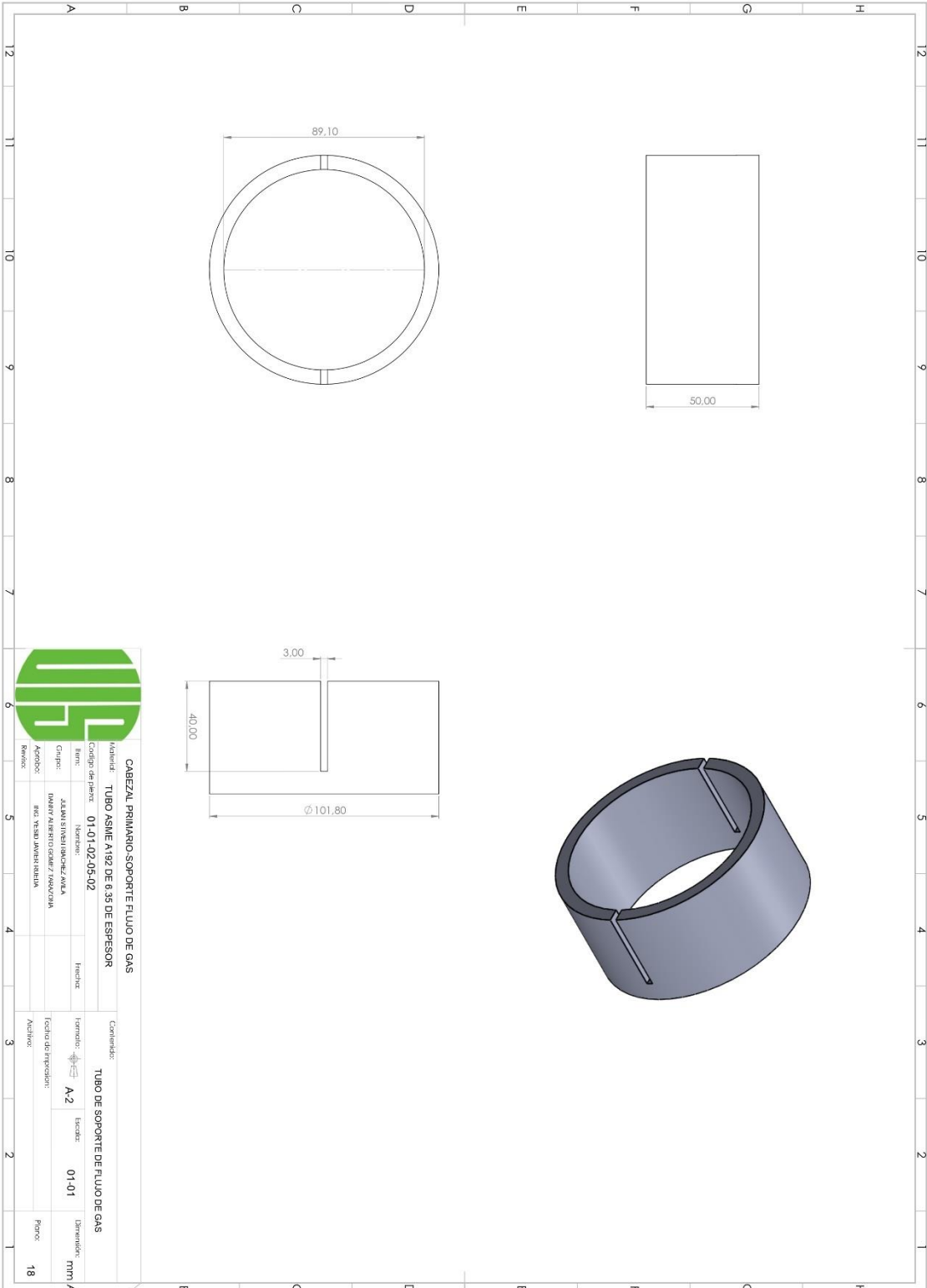
Autores:

Dirección: mm

Página: 16



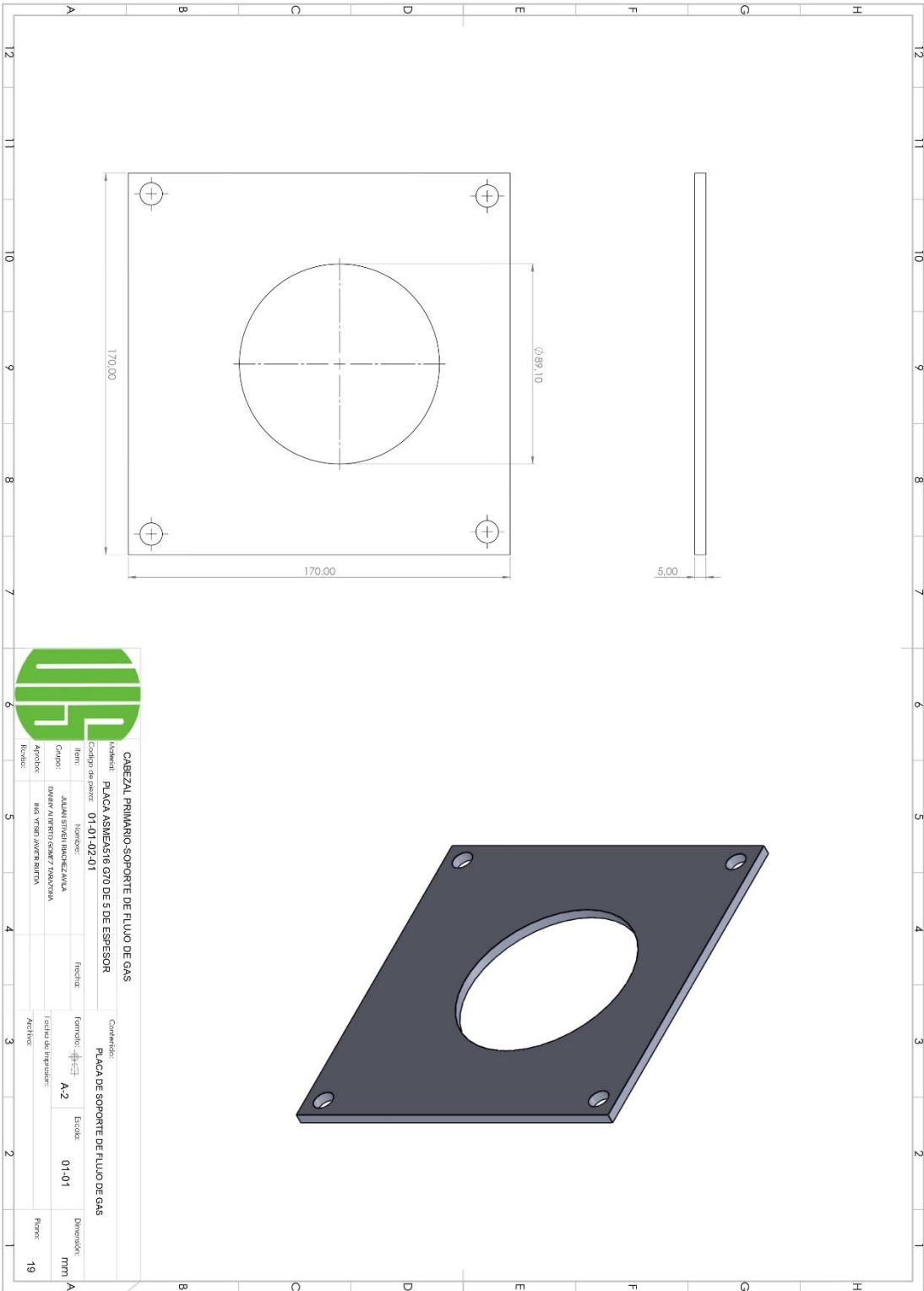
|  |                                       |  |     |
|--|---------------------------------------|--|-----|
| <b>CABEZAL PRIMARIO-SOPORTE DE FLUIDO DE GAS</b> |                                       | <b>PLACA DE SOPORTE DE FLUIDO DE GAS</b> |     |
| Modelo:  | PLACA ASMEAS16 G70 DE 6.35 DE ESPESOR | Formato:                                 | A-2 |
| Código de pieza:                                 | 01-01-02-05-01                        | Fecha de impresión:                      |     |
| Item:  | JULIANI ESTEBAN RIVERA                | Activos:                                 |     |
| Grupo:   | DANIEL ALBERTO GONZALEZ VASCONIA      | Paro:                                    | 17  |
| Aprobado:  | ING. YESID JARAMILLA                  |  |     |
| Revisó:  |                                       |  |     |



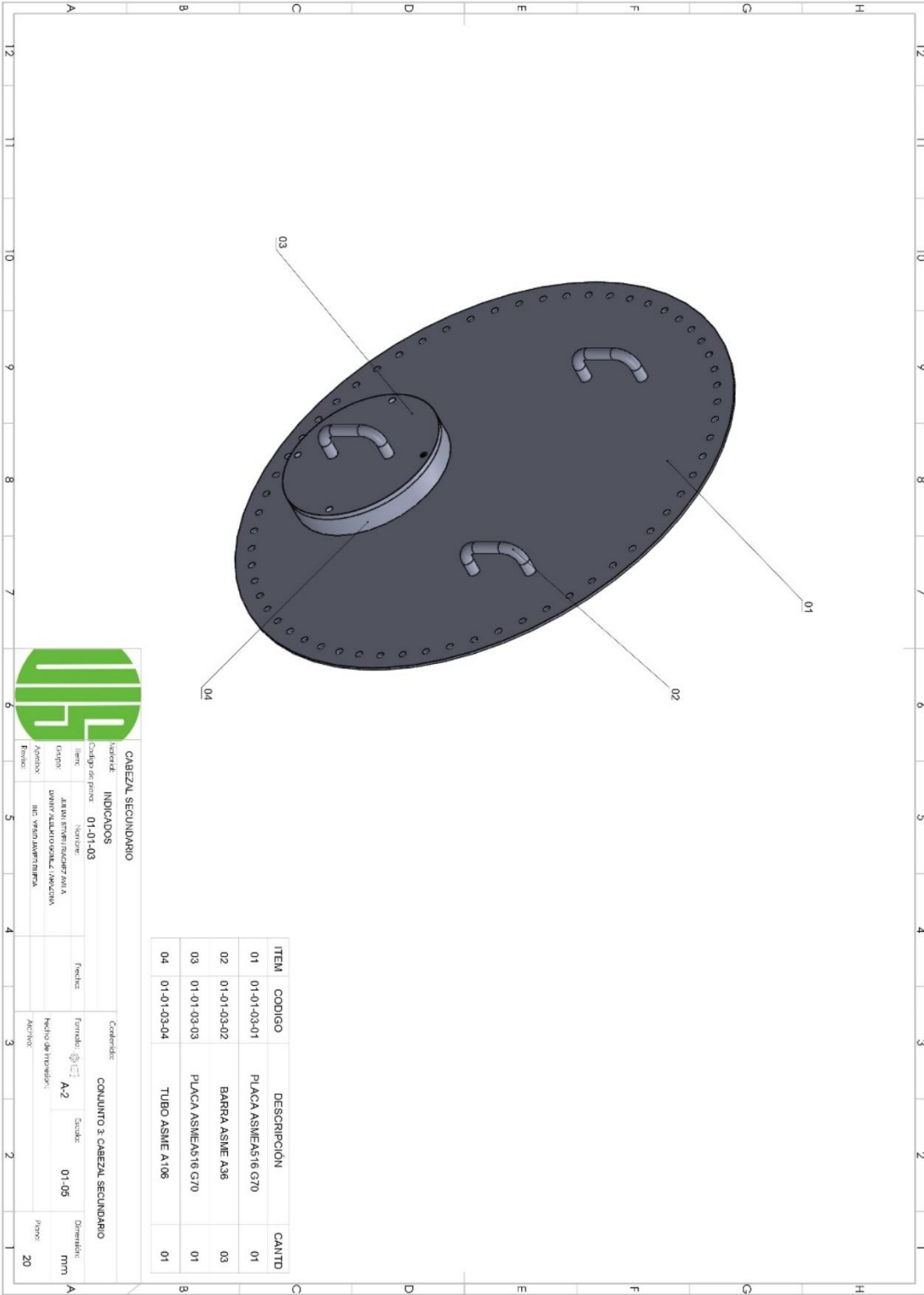
**CABEZAL PRIMARIO-SOPORTE FLUJO DE GAS**

|                  |                                   |                     |                                 |
|------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| Material:        | TUBO ASME A192 DE 6.35 DE ESPESOR | Conenido:           | TUBO DE SOPORTE DE FLUJO DE GAS |
| Código de parte: | 01-01-02-05-02                    | Escala:             | 01-01                           |
| Item:            |                                   | Fecha:              |                                 |
| Nombre:          | JALMI SIBENIBOCHAYAWLA            | Fecha de Impresión: |                                 |
| Grupo:           | DAWIV ALER RITO GOKER' TANAYTAW   | Analisis:           |                                 |
| Aprobado:        | RIC YESBA JAWARA BILWA            | Dependencia:        | mm/A                            |
| Revisio:         |                                   | Peso:               | 18                              |





|  |  |   |                    |
|--|--|---|--------------------|
| <b>CABEZAL PRIMARIO SOPORTE DE FLUJO DE GAS</b>  |  | <b>PLACA DE SOPORTE DE FLUJO DE GAS</b> |                    |
| Modelo:<br>Código de parte:                      | Nombre:<br>01-01-02-01                                     | Fecha:<br>                              | Escala:<br>01-01   |
| Grupo:<br>Proyecto:<br>Revisión:<br>Autor:       | Nombre:<br>JUAN STEVEN BOCHEZAMA<br>RING YERAP AMER BERTHA | Formato:<br>A-2                         | Dimensiones:<br>mm |
| Descripción:<br>PLACA DE SOPORTE DE FLUJO DE GAS |  | Estado de impresión:<br>APROBADO        | Folio:<br>19       |



| ITEM | CODIGO      | DESCRIPCION         | CANTD |
|------|-------------|---------------------|-------|
| 01   | 01-01-03-01 | PLACA ASME A516 G70 | 01    |
| 02   | 01-01-03-02 | BARRA ASME A36      | 03    |
| 03   | 01-01-03-03 | PLACA ASME A516 G70 | 01    |
| 04   | 01-01-03-04 | TUBO ASME A108      | 01    |



**CABEZAL SECUNDARIO**

Indicador: **INDICADOS**

Código de parte: **01-01-03**

Item: **01-01-03-01**

Nombre: **ANILAS ENVIENOS DE CABEZAL SECUNDARIO**

Grupo: **UNIV/VALVULAS/VALVULAS/ANILAS**

Activador: **REC. VISION/AM/RENTAL**

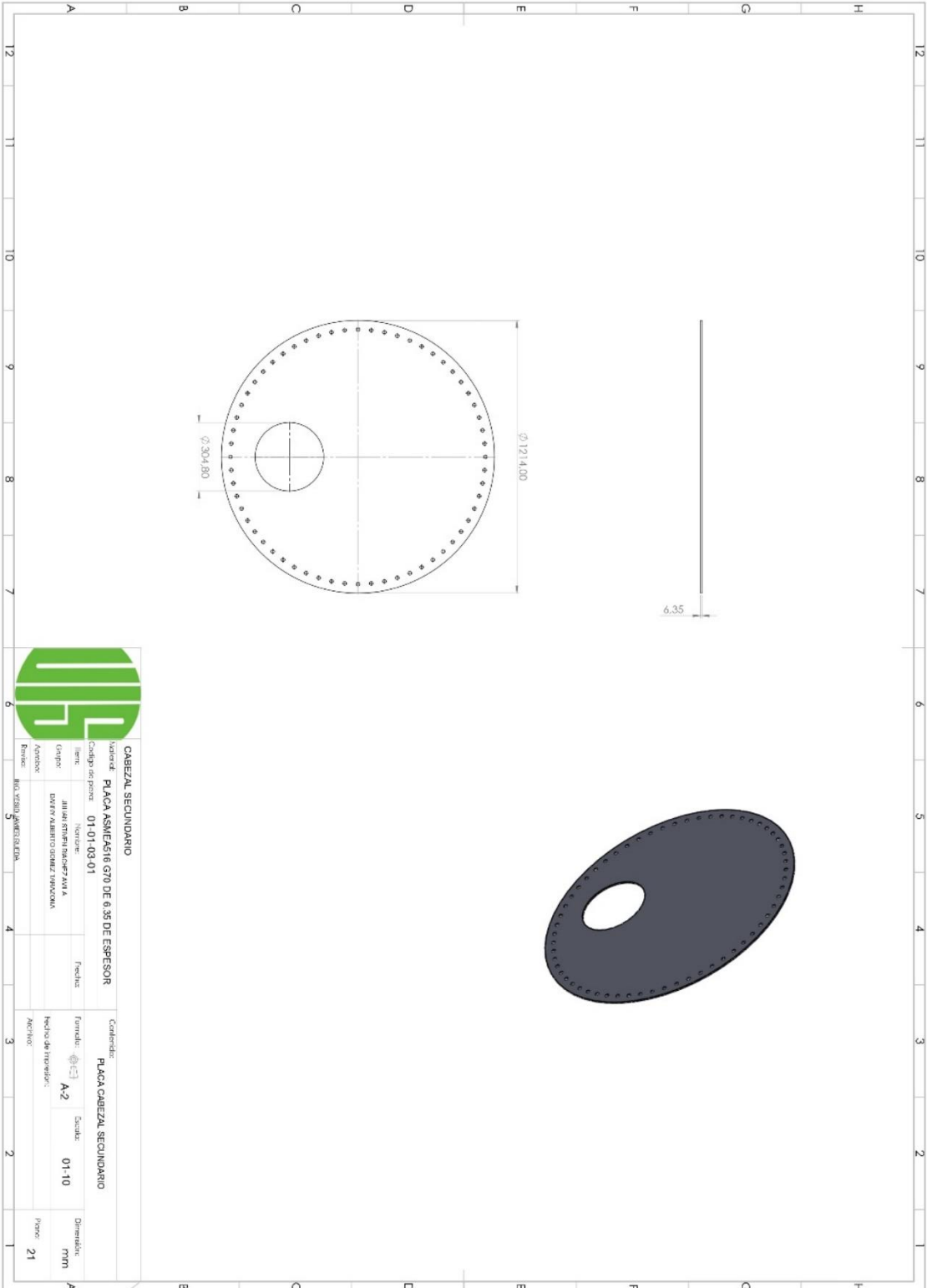
Fecha: **01-05**

Formato: **A-2**

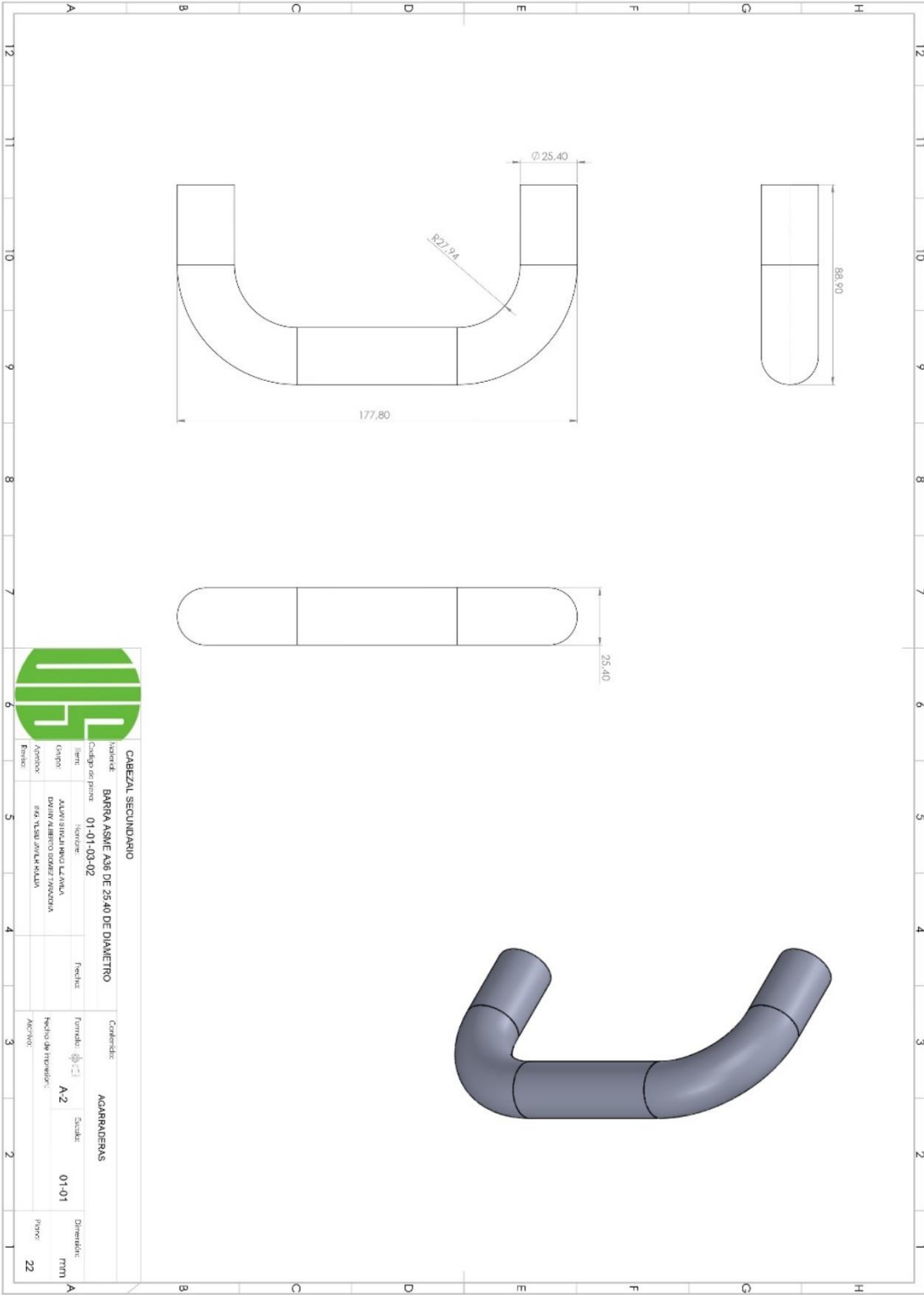
Dimensiones: **mm**

Método de impresión: **Auto**

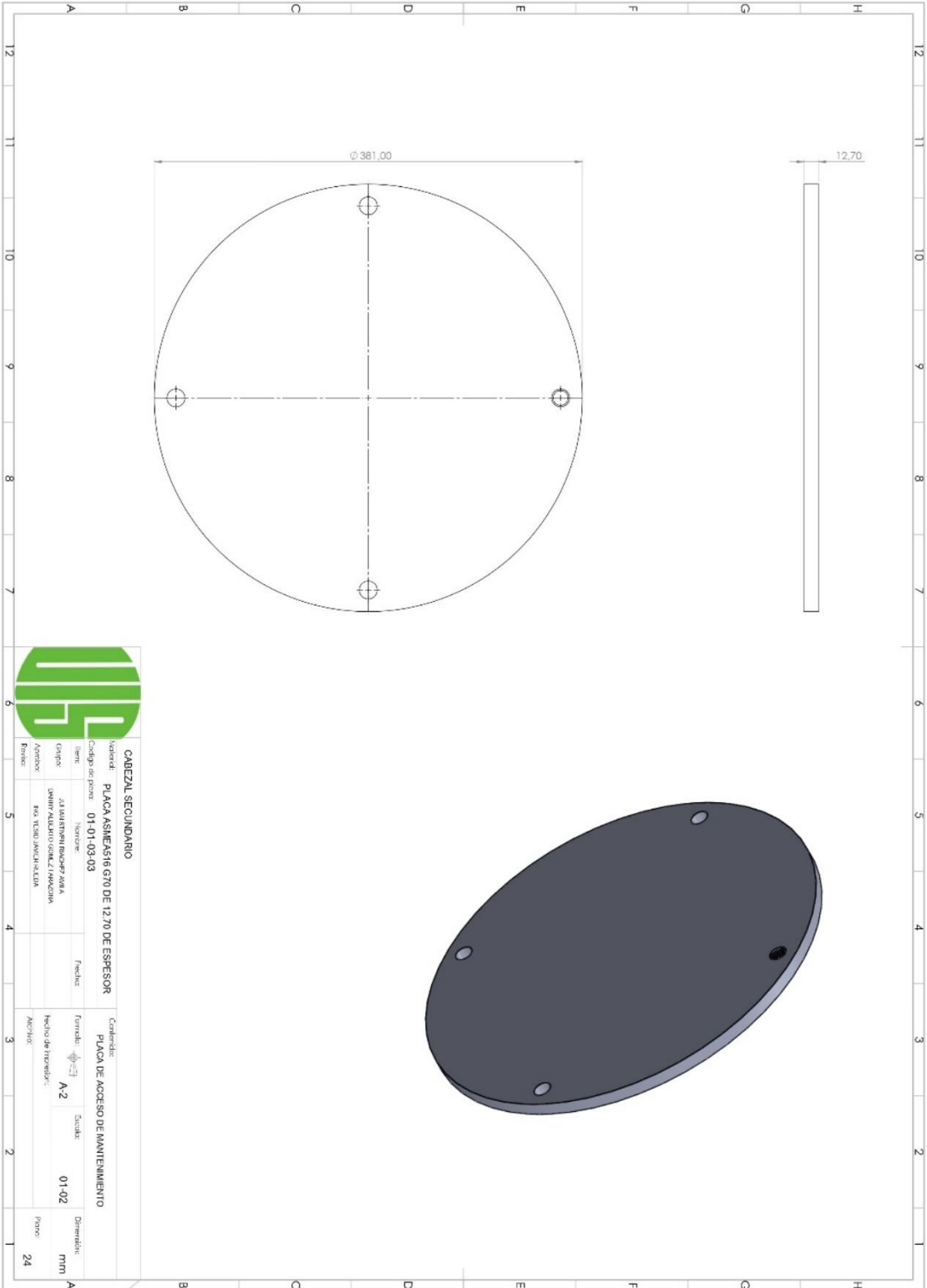
Página: **20**



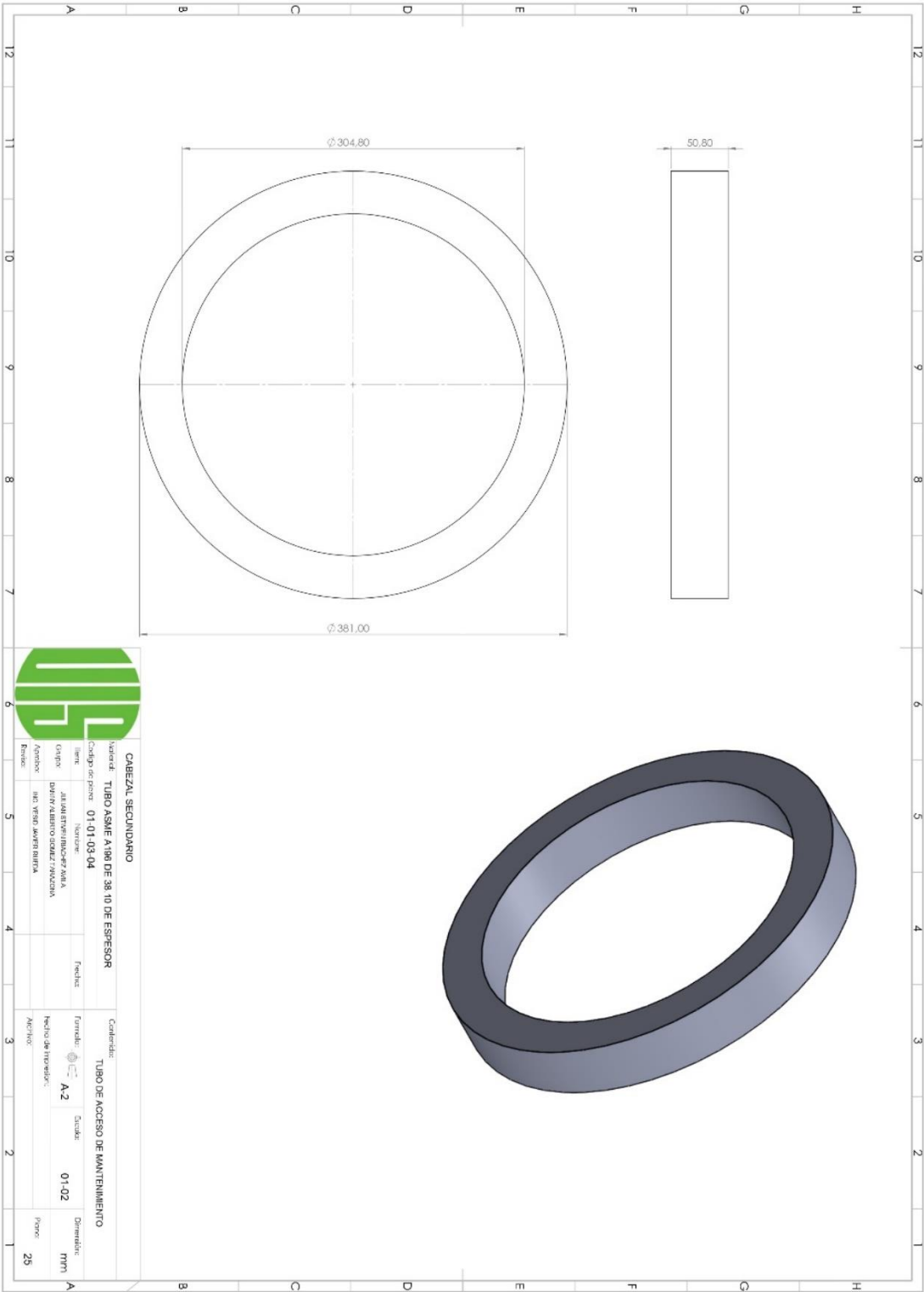
|                           |  |                                 |       |
|---------------------------|--|---------------------------------|-------|
| <b>CABEZAL SECUNDARIO</b> |  | <b>PLACA CABEZAL SECUNDARIO</b> |       |
| Unidad:                   | PLACA ASMEAST16 G70 DE 6.35 DE ESPESOR | Forma:                          |       |
| Código de parte:          | 01-01-09-01                            | Cantidad:                       | 01-10 |
| Item:                     | Nombre:                                | Fecha:                          |       |
| Tempo:                    | JUAN RAMON BACHERAN A                  | Fecha de inscripción:           |       |
| Ayudante:                 | DAVID ALBERTO GOMEZ TUNOZAKI           | Apellido:                       |       |
| Proveedor:                | MIGUEL ANGEL GARCIA                    | Proyecto:                       | 21    |



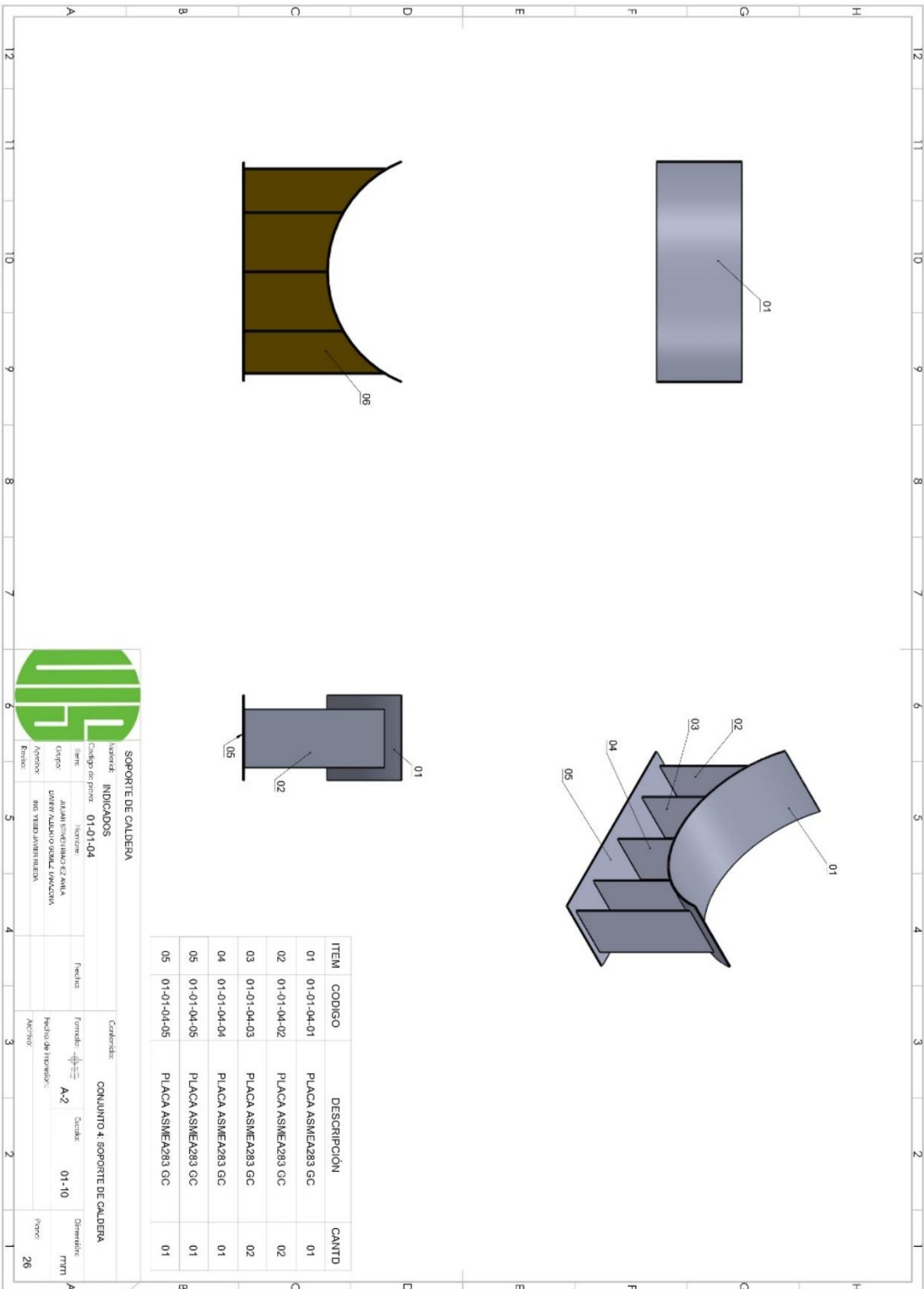
| CABEZAL SECUNDARIO |  | ACARRADERAS         |       |
|--------------------|--|---------------------|-------|
| Material:          | BARRA ASME A58 DE 25.40 DE DIAMETRO  | Forma:              |       |
| Código de pieza:   | 01-01-03-02  | Escala:             | A-2   |
| Item:              |  | Fecha:              |       |
| Grupo:             | ALUMINIO SINDRILADO L.A.M.A.S.A.   | Fecha de impresión: | 01-01 |
| Proveedor:         | DAVINI ALBERICI EDIZIONE S.P.A.  | Auto:               |       |
| Partes:            | 88A, 78, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122 | Dimensión:          | mm    |
|                    |  | Hoja:               | 22    |



|                           |                               |   |  |   |       |
|---------------------------|-------------------------------|---|--|---|-------|
| <b>CABEZAL SECUNDARIO</b> |                               | <b>PLACA ASMEZ516 G10 DE 12.70 DE ESPESOR</b> |  | <b>PLACA DE ACCESO DE MANTENIMIENTO</b> |       |
| Material:                 | 01-01-03-03                   | Norma:  |  | Forma:                                  | A-2   |
| Item:                     |                               | Proveedor:                                    |  | Fecha de recepción:                     |       |
| Compañía:                 | LA MANTENIEMTO BACHER S.A.S.A | Fecha:  |  | Orden:                                  | 01-02 |
| Usuario:                  | JHON ALBERTO GONZALEZ JIMENEZ | Asesor:                                       |  | Dimensión:                              | mm    |
| Proyecto:                 | PRO. TUBO AMPLIACION          |   |  | Forma:                                  | 24    |



| CABEZAL SECUNDARIO |                                    |        |                                 | CANTIDAD: |     |           |    |
|--------------------|------------------------------------|--------|---------------------------------|-----------|-----|-----------|----|
| Material:          | TUBO ASME A190 DE 38.10 DE ESPESOR | Forma: | TUBO DE ACCESO DE MANTENIMIENTO | Discale:  |     | Diámetro: | mm |
| Código de parte:   | 01-01-03-04                        | Fecha: |                                 | Hecho en: | A-2 | 01-02     | mm |
| Item:              | JUANITERRIBACER/MAA                | Fecha: |                                 | Hecho en: |     |           | mm |
| Grupo:             | DAI/IN/ALBERTO SOLAZ/INNOVA        | Fecha: |                                 | Hecho en: |     |           | mm |
| Ayuda:             | IND. VITA/ JAVIER BILTA            | Fecha: |                                 | Hecho en: |     |           | mm |
| Revis:             |                                    | Fecha: |                                 | Hecho en: |     |           | mm |



| ITEM | CODIGO      | DESCRIPCION        | CANTD |
|------|-------------|--------------------|-------|
| 01   | 01-01-04-01 | PLACA ASMEEA293 GC | 01    |
| 02   | 01-01-04-02 | PLACA ASMEEA293 GC | 02    |
| 03   | 01-01-04-03 | PLACA ASMEEA293 GC | 02    |
| 04   | 01-01-04-04 | PLACA ASMEEA293 GC | 01    |
| 05   | 01-01-04-05 | PLACA ASMEEA293 GC | 01    |



**SOPORTE DE CALDERA**

INDICADOS

Código de pieza: 01-01-04

Item: 01-01-04-01

Nombre: PLACA ASMEEA293 GC

Uso: PLACA ASMEEA293 GC

Acabado: PLACA ASMEEA293 GC

Finis: PLACA ASMEEA293 GC

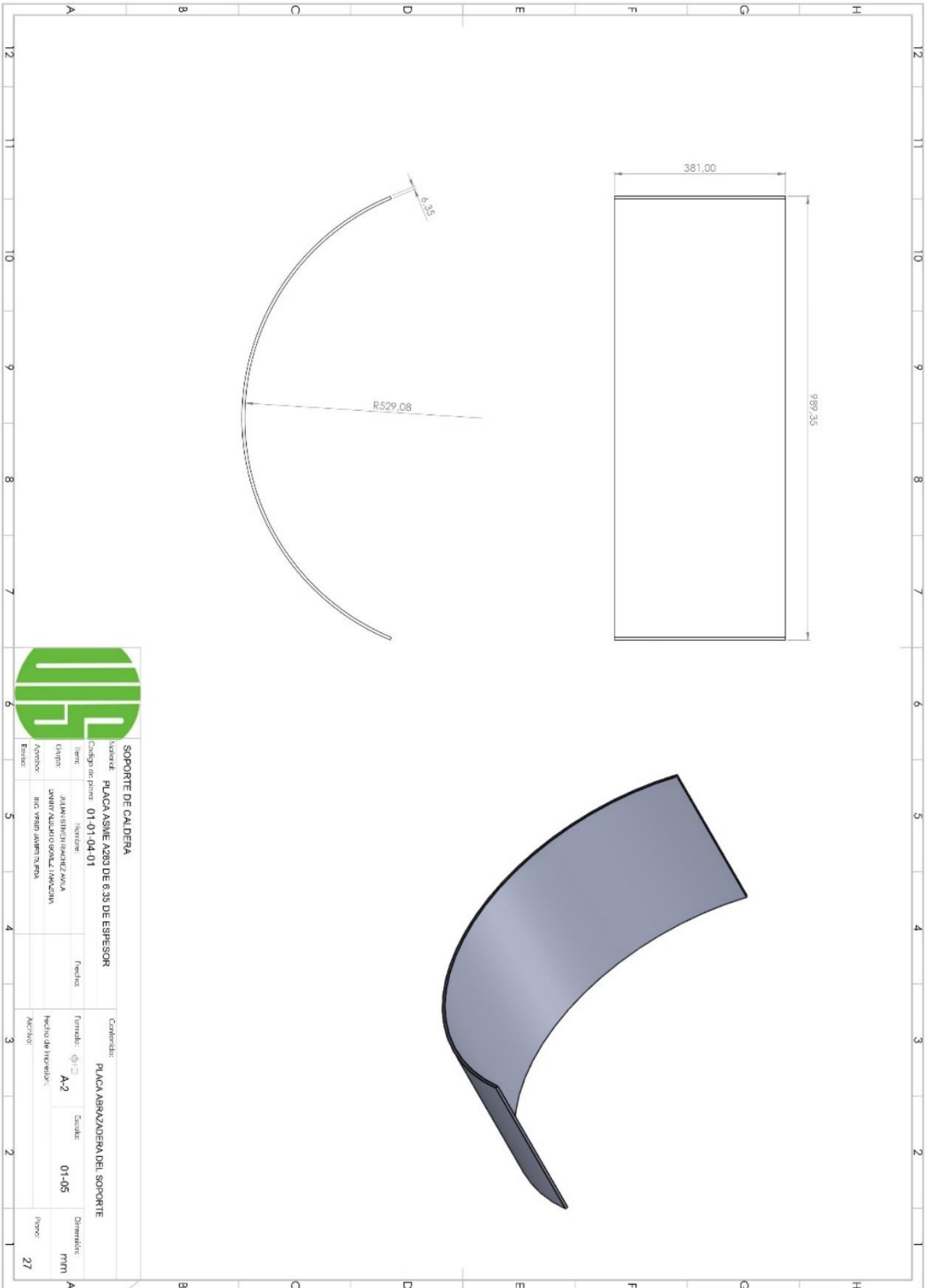
Características: CONJUNTO 4 SOPORTE DE CALDERA

Forma: A-2

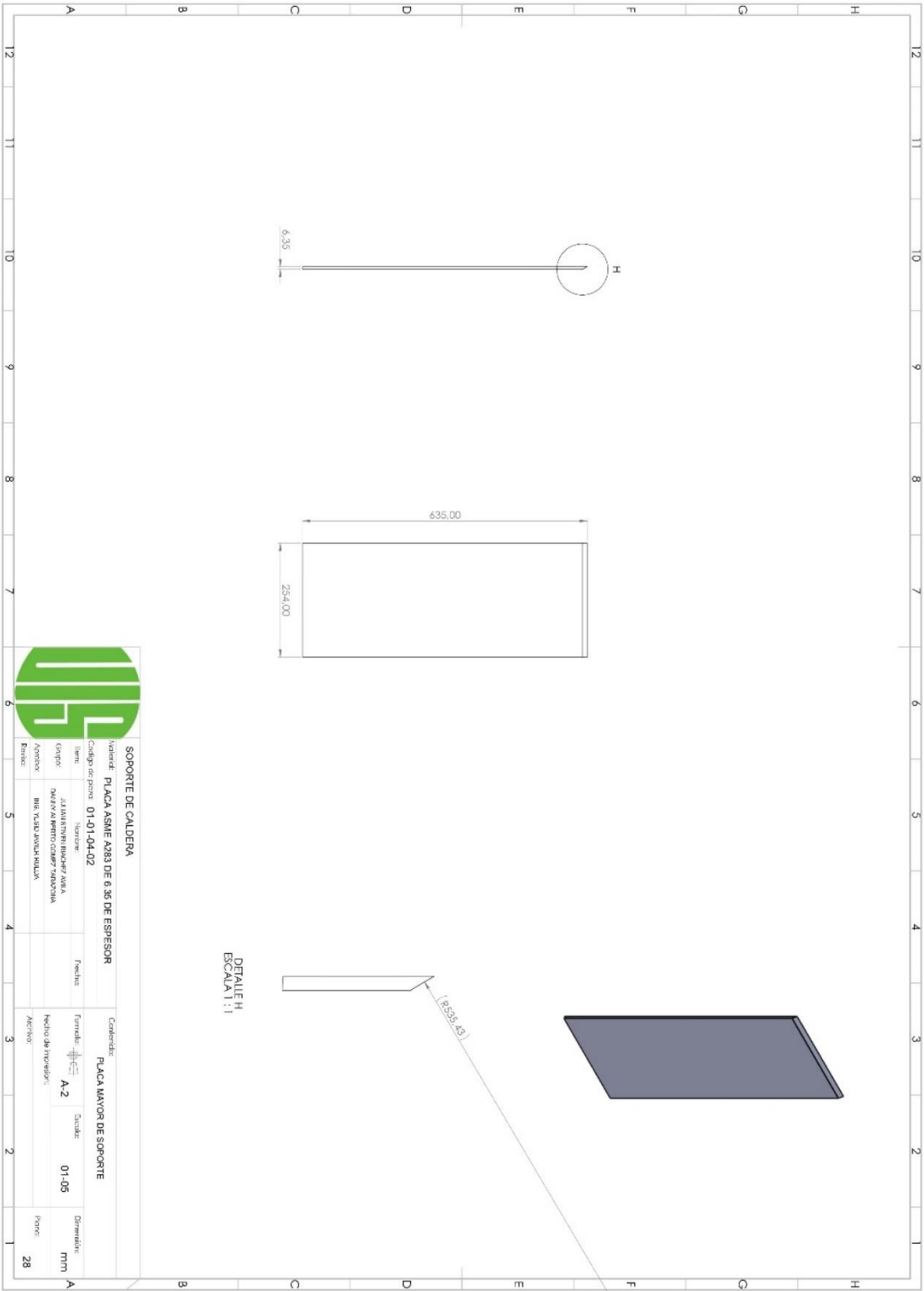
Grado: 01-10

Dimensiones: mm

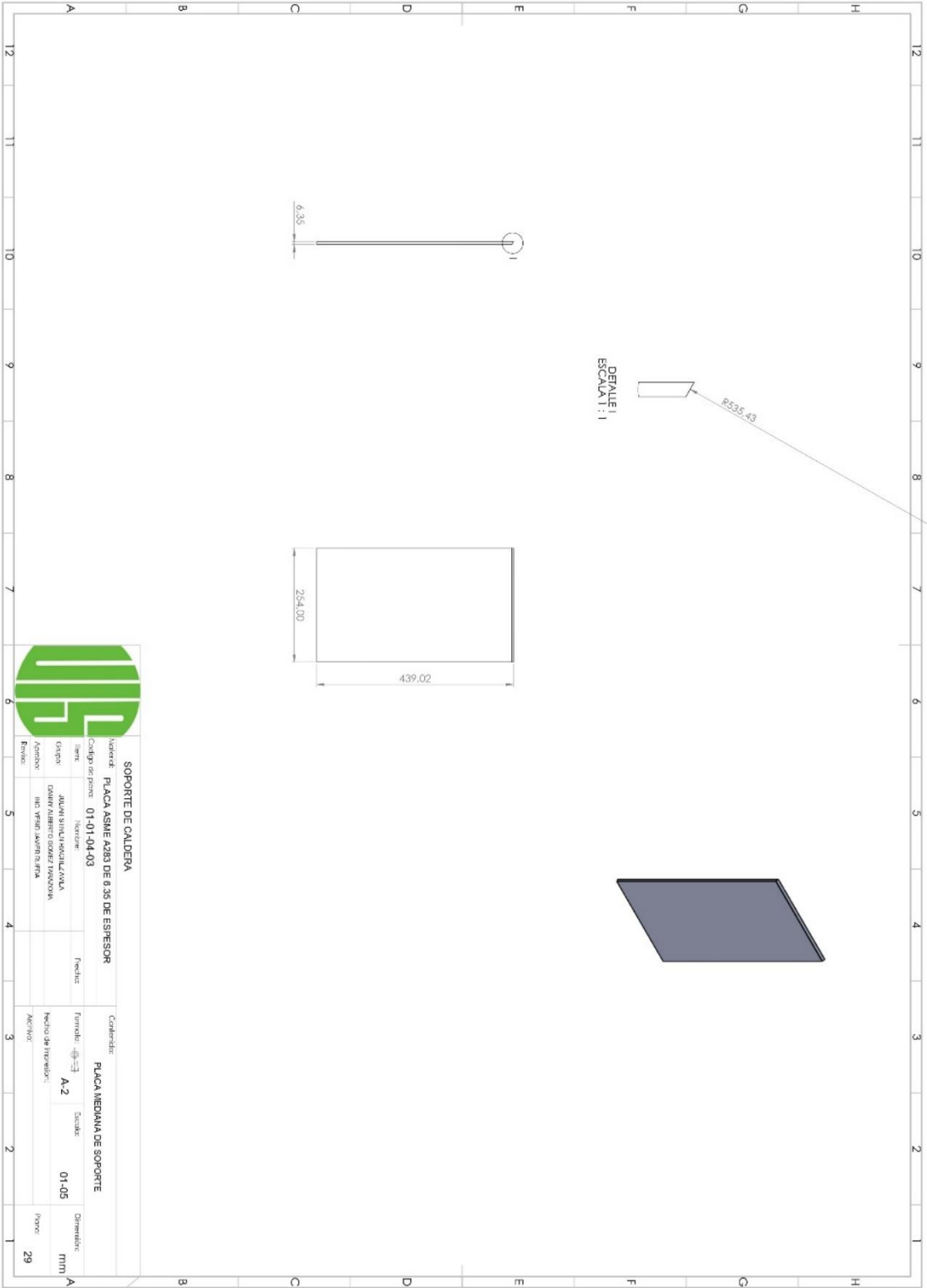
Peso: 26



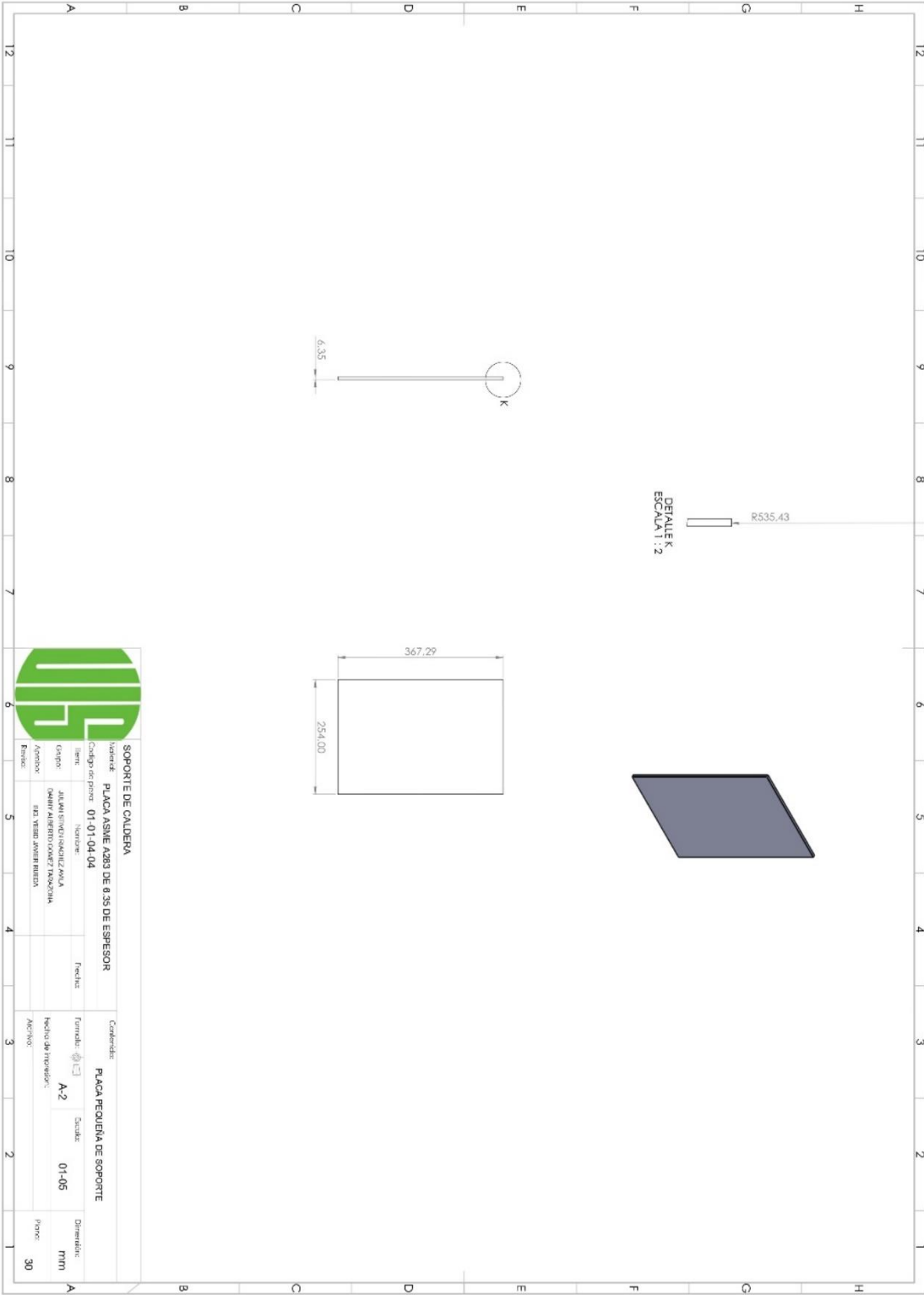
| SOPORTE DE CALDERA |                                    | Cantidad:           |                              |
|--------------------|------------------------------------|---------------------|------------------------------|
| Material:          | PLACA SINE A233 DE 6.35 DE ESPESOR | Forma:              | PLACA ABRAZADORA DEL SOPORTE |
| Código de pieza:   | 01-01-04-01                        | Estado:             | 01-05                        |
| Item:              | Nombre                             | Fecha:              |                              |
| Origen:            | JALAM SINGH SINGH AZIA             | Fecha de recepción: |                              |
| Aprobador:         | SHARV KALIA SINGH SINGH            | Aplicar:            |                              |
| Revisor:           | MR. VISHU JAYRAM RAJPA             | Dimensione:         | mm                           |
|                    |                                    | Peso:               | 27                           |



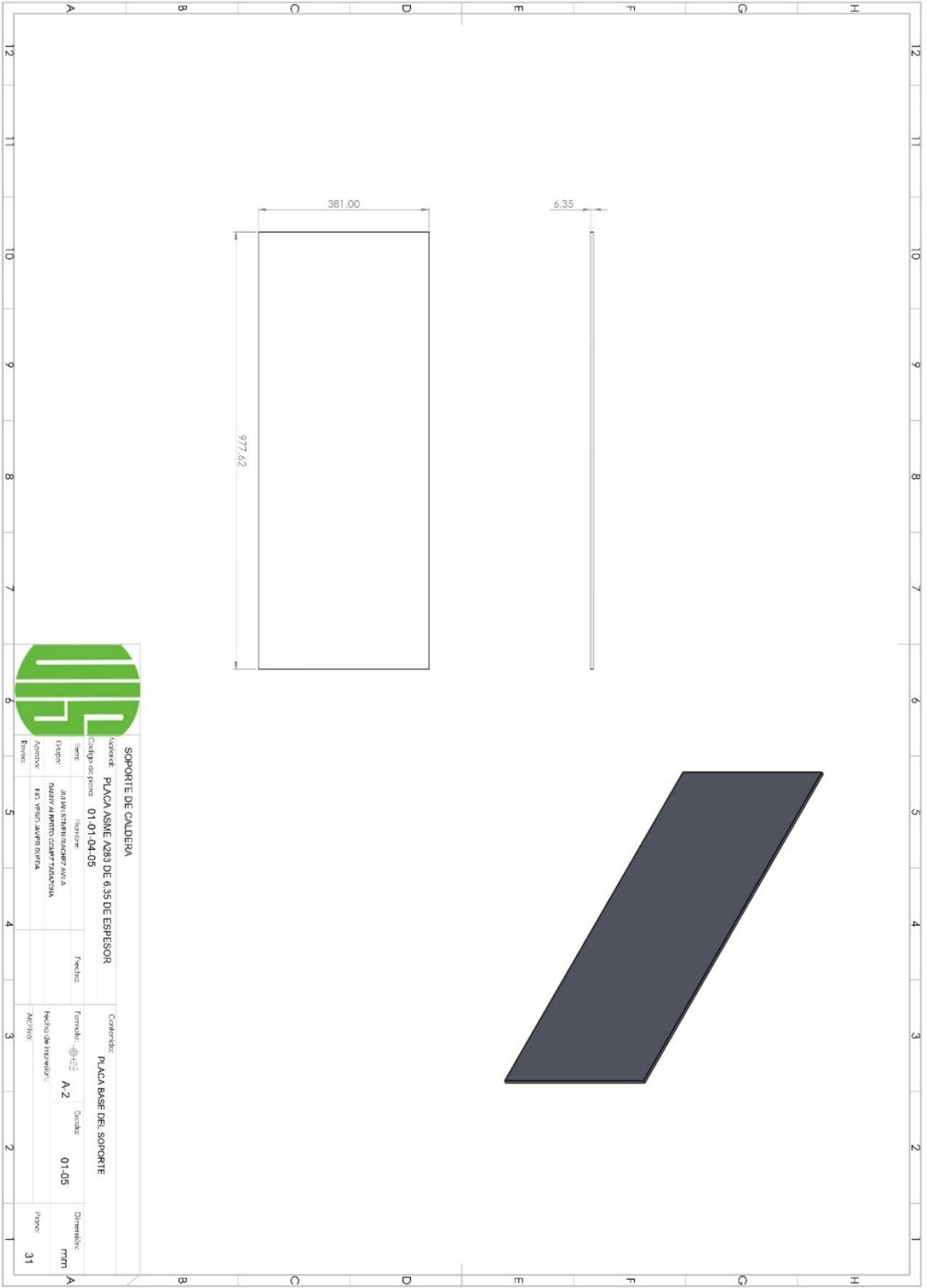
|   |        |  |   |
|---|--------|--|---|
| <b>SOPORTE DE CALDERA</b><br>Nombre: <b>PLACA ASME A983 DE 6.35 DE ESPESOR</b><br>Código de parte: <b>01-01-04-02</b>   |        | Cantidad: <b>PLACA MAYOR DE SOPORTE</b>      |   |
| Item: <b>01-01-04-02</b><br>Grupo: <b>ALAMINADO BANCOPANIA</b><br>Proyecto: <b>REPLAZO AL BARRIO COMAR TRODONTA</b><br>Empresa: <b>BBB TUBO MEXICA S.M. DE CV</b> | Fecha: | Formato: <b>A-2</b><br>Método de inspección: | Estado: <b>01-05</b><br>Dimensiones: <b>mm</b><br>Hoja: <b>28</b> |



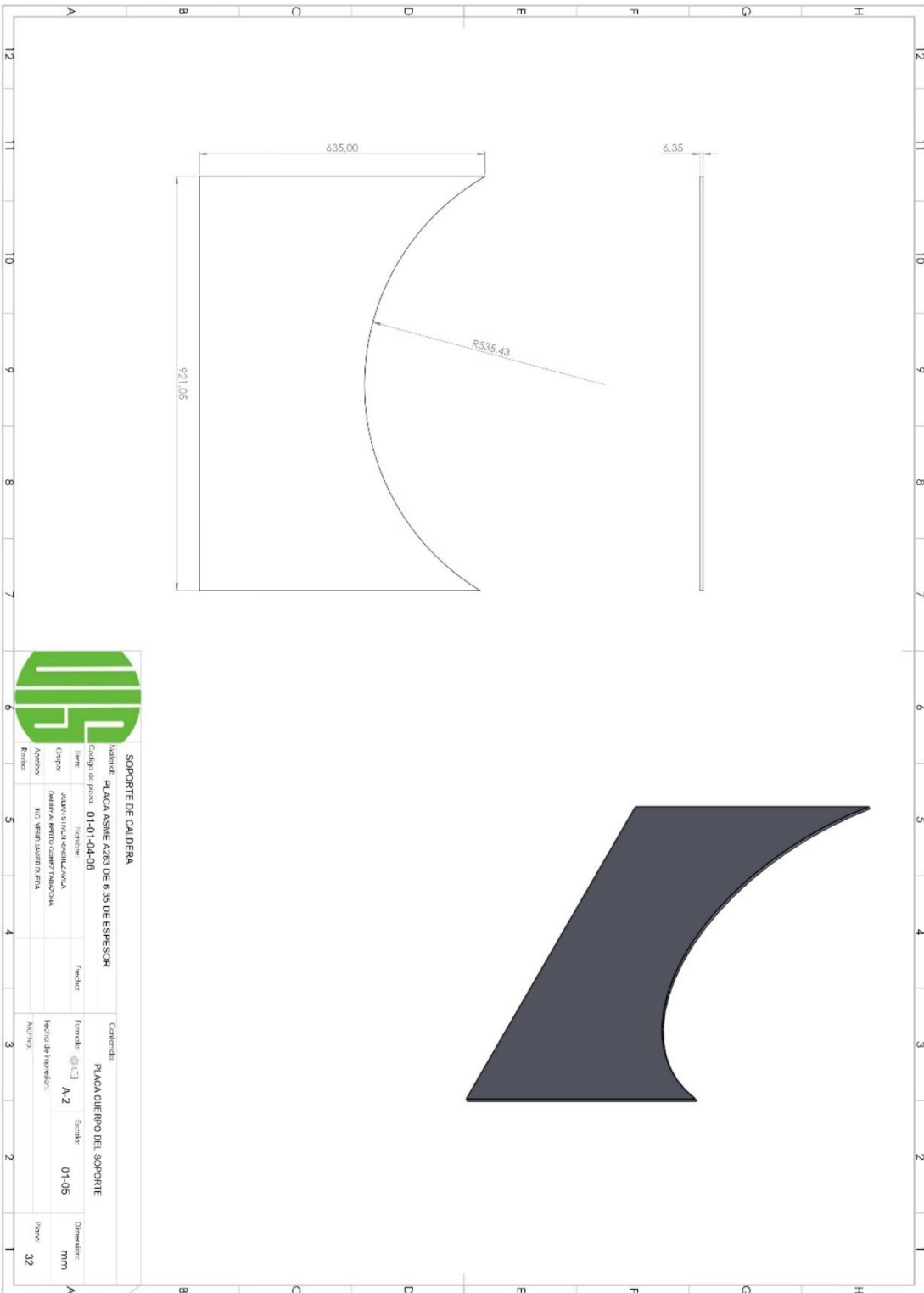
| SOPORTE DE CALDERA |                                    | PLACA MEDIANA DE SOPORTE |       |
|--------------------|------------------------------------|--------------------------|-------|
| Nombre:            | PLACA ASME A283 DE 8.35 DE ESPESOR | Forma:                   |       |
| Código de pieza:   | 01-01-04-03                        | Estado:                  | 01-05 |
| Item:              |                                    | Fecha de revisión:       |       |
| Grupo:             | ALUMINIO INDUSTRIAL/MANUA          | Dimensiones:             | mm    |
| Proveedor:         | DAWID RABIERO SODAZ THERMOVA       | Por:                     | 29    |
| Revisión:          | ING. VERÓNICA JAVIERA PERA         |                          |       |



|                           |                                    |                                 |       |
|---------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-------|
| <b>SOPORTE DE CALDERA</b> |                                    | <b>PLACA PEQUEÑA DE SOPORTE</b> |       |
| Nombre:                   | PLACA ASNE A289 DE Ø 35 DE ESPESOR | Forma:                          |       |
| Código de parte:          | 01-01-04-04                        | Fecha:                          |       |
| Item:                     | Nombre:                            | Fecha:                          |       |
| Grupo:                    | ALUMINIO SINOXIDIZANTE             | Fecha de impresión:             | A-2   |
| Proveedor:                | CAHAY ALBERTO OCAÑE TACAZUMA       | Escala:                         | 01-05 |
| Estado:                   | EN VEREDAVENIR BUENA               | Medida:                         | mm    |
|                           |                                    | Medida:                         | 30    |

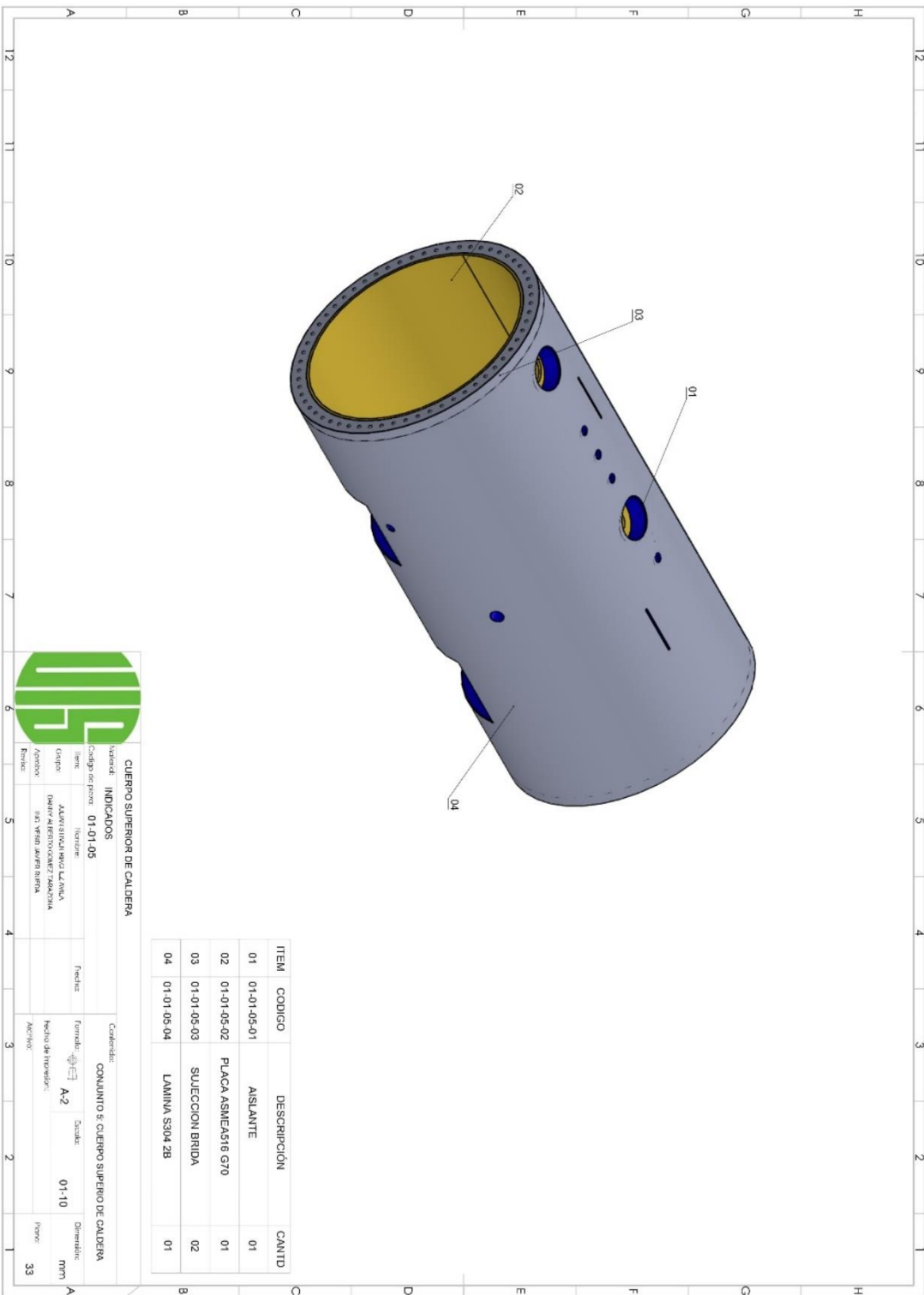


|                           |                          |   |  |                               |     |                    |       |
|---------------------------|--------------------------|---|--|-------------------------------|-----|--------------------|-------|
| <b>SOPORTE DE CALDERA</b> |                          | <b>PLACA ASME A283 DE 6.35 DE ESPESOR</b> |  | <b>PLACA BASE DEL SOPORTE</b> |     | <b>Dimensiones</b> |       |
| Material:                 | 01-01-04-05              | Fecha:                                    |  | Formato:                      | A-2 | Grado:             | 01-05 |
| Item:                     | 01-01-04-05              | Fecha:                                    |  | Hecho de: Invasión:           |     |                    | mm    |
| Grupo:                    | ADMINISTRACION GENERAL   | Fecha:                                    |  | Acronimo:                     |     |                    |       |
| Agencia:                  | RAMA ALIMENTO CANTINARIA | Fecha:                                    |  |                               |     |                    |       |
| Revisión:                 | 130 YERBA AZUL SA BETA   | Fecha:                                    |  |                               |     |                    | 31    |



**SOPORTE DE CALDERA**

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| Nombre: <b>PLACA ASME AZB DE 6.35 DE ESPESOR</b> |  | Cantidad: <b>PLACA CUERPO DEL SOPORTE</b> |  |
| Código de pieza: <b>01-01-04-06</b>              |  | Formato: <input type="checkbox"/> A 2     |  |
| Serie: <b>JALVISIUNIKUNIKULTZAKA</b>             |  | Estado: <b>01-05</b>                      |  |
| Grupo: <b>TRABAJA EN EL CENTRO CALDERAS</b>      |  | Método de revisión:                       |  |
| Aprobado: <b>ALC. YERIN JAVIERREZ PIA</b>        |  | Fecha:                                    |  |
| Emite:   |  | Aprobado:                                 |  |
| Dimensione: <b>mm</b>                            |  | Hoja: <b>32</b>                           |  |



| ITEM | CODIGO      | DESCRIPCION        | CANTID |
|------|-------------|--------------------|--------|
| 01   | 01-01-05-01 | ASLANTE            | 01     |
| 02   | 01-01-05-02 | PLACA ASMEASIS G70 | 01     |
| 03   | 01-01-05-03 | SUJECION BRIDA     | 02     |
| 04   | 01-01-05-04 | LAMINA S304 2B     | 01     |



**CUERPO SUPERIOR DE CALDERA**

Indicador: **INDICADOS**

Código de pieza: **01-01-05**

Fecha: \_\_\_\_\_

Forma: **A-2** Escala: **01-10** Dimensiones: **mm**

Nombre: **ALVARO RUIZ BORG LAZARUS**

Apellido: **DAVALOS BERNALDEZ RAMONIA**

Empresa: **S.R.L. VERDE JARDIN S.R.L.A**

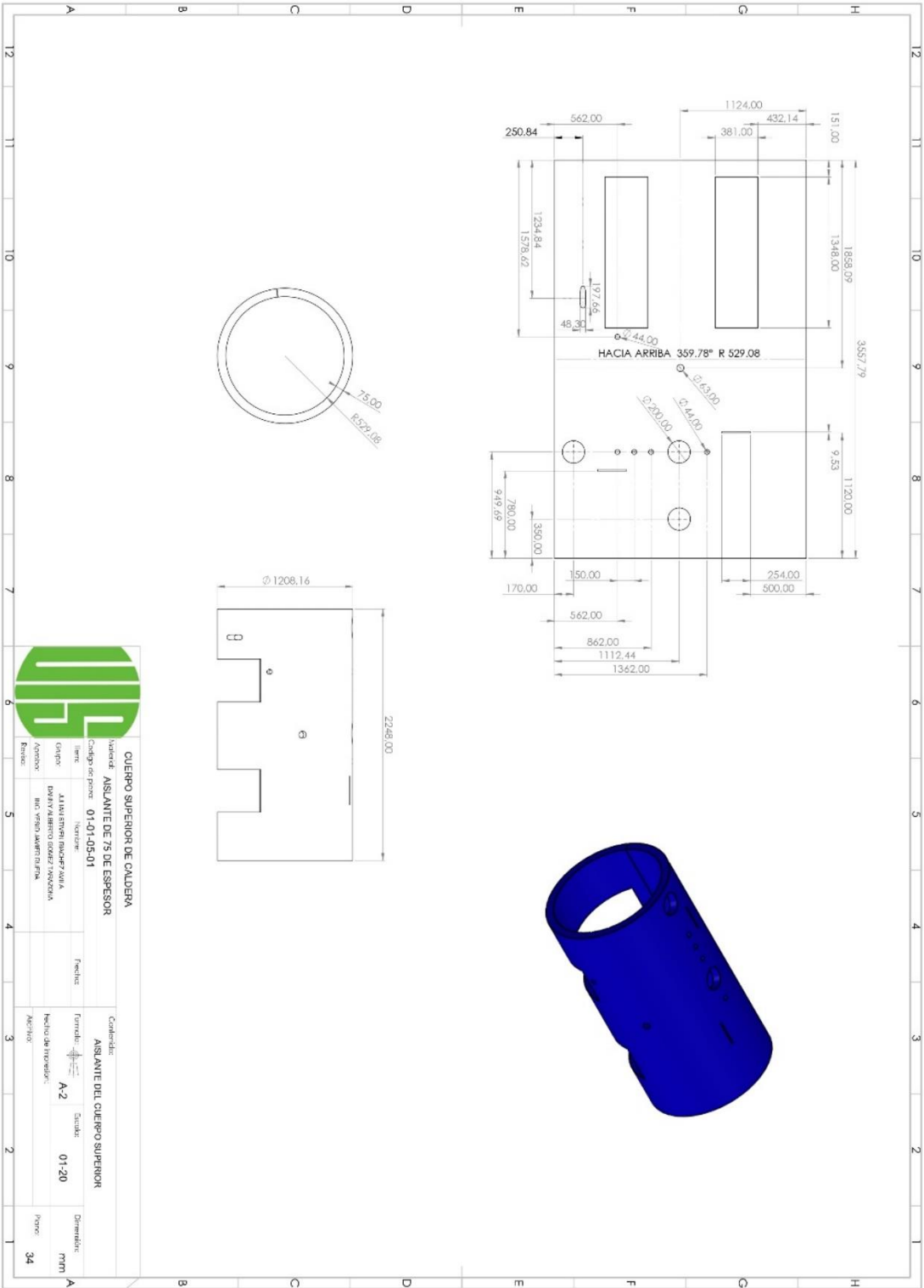
Fecha: \_\_\_\_\_

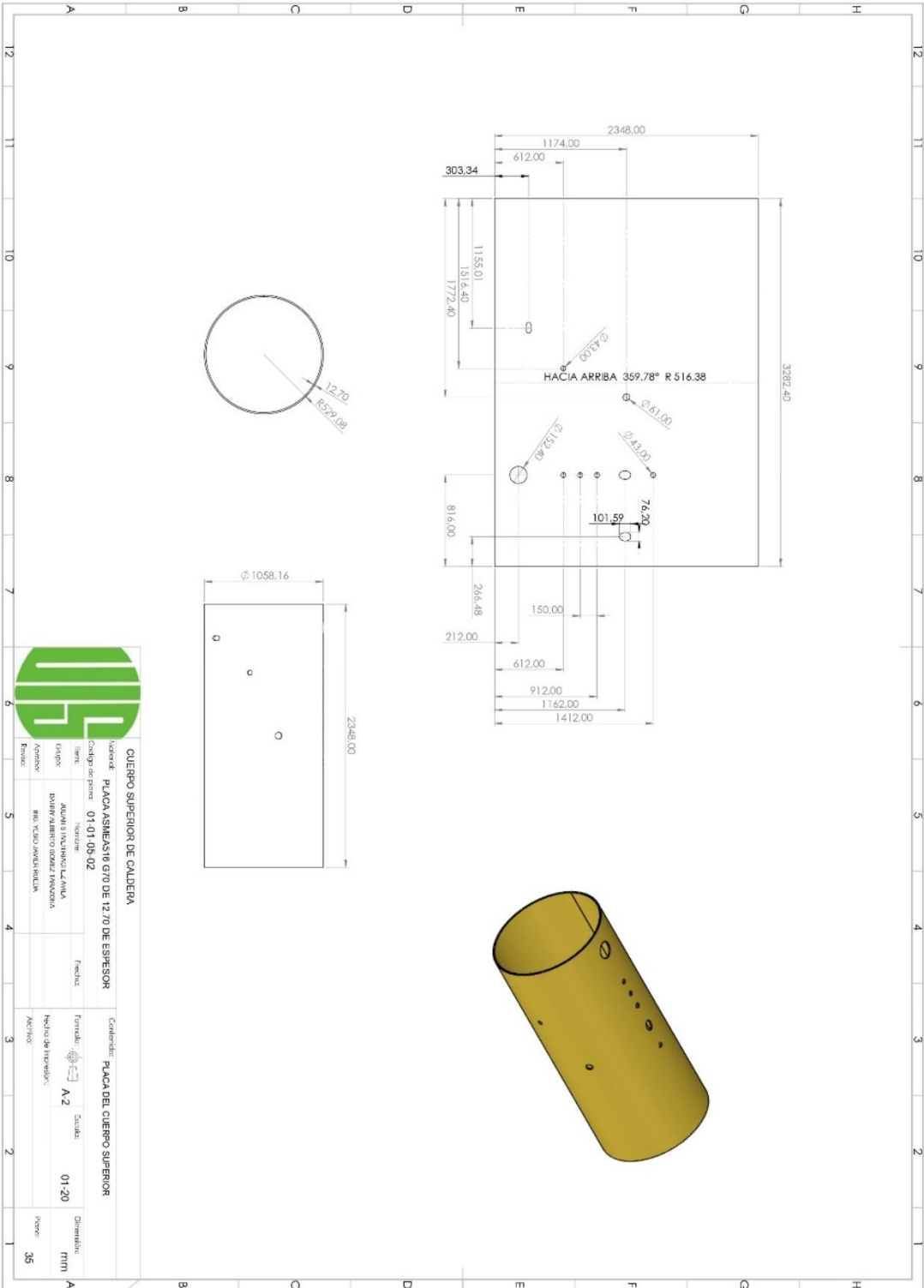
Modelo: \_\_\_\_\_

Hoja de revisión: \_\_\_\_\_

Revisión: \_\_\_\_\_

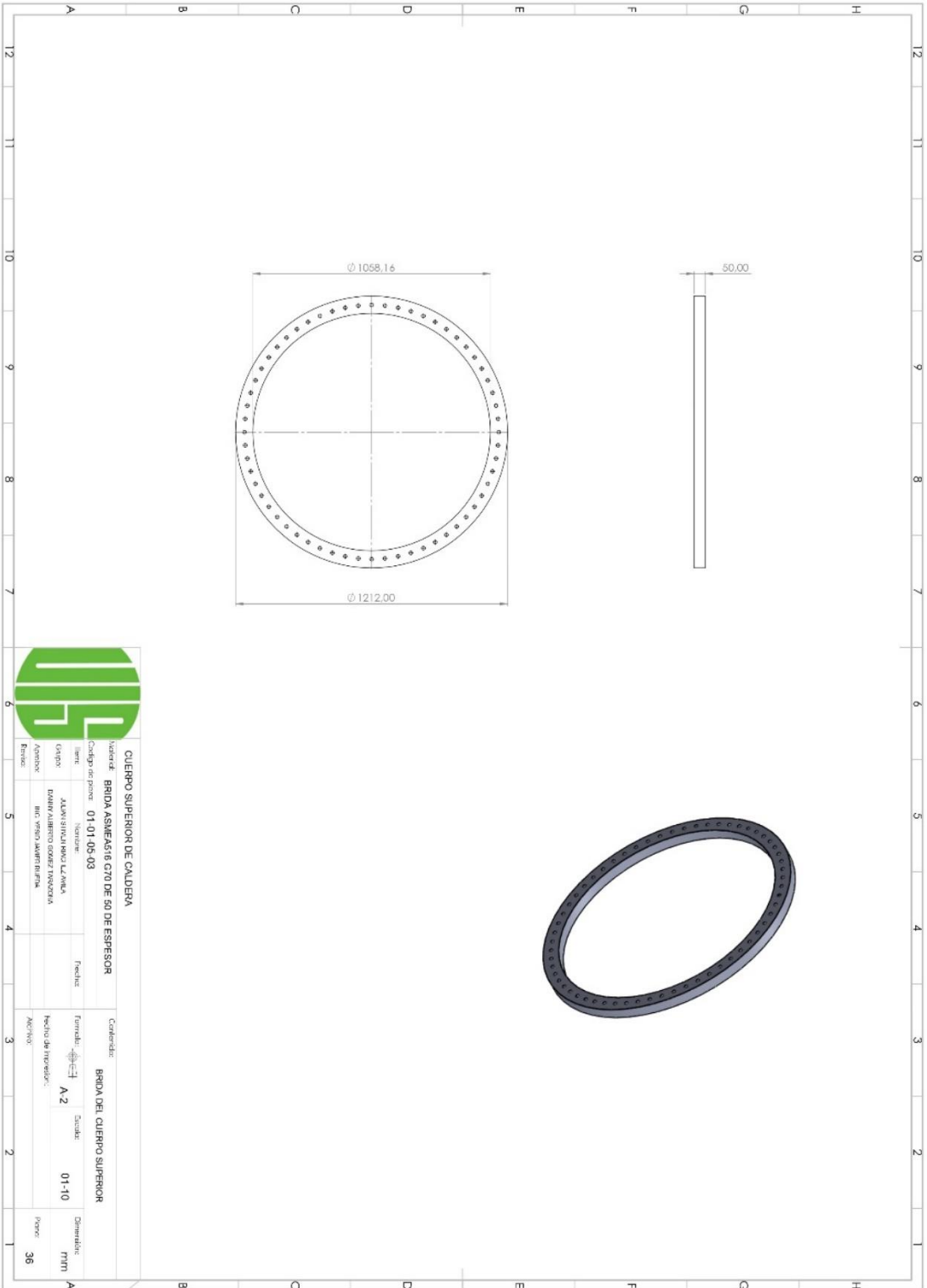
Page: **33**



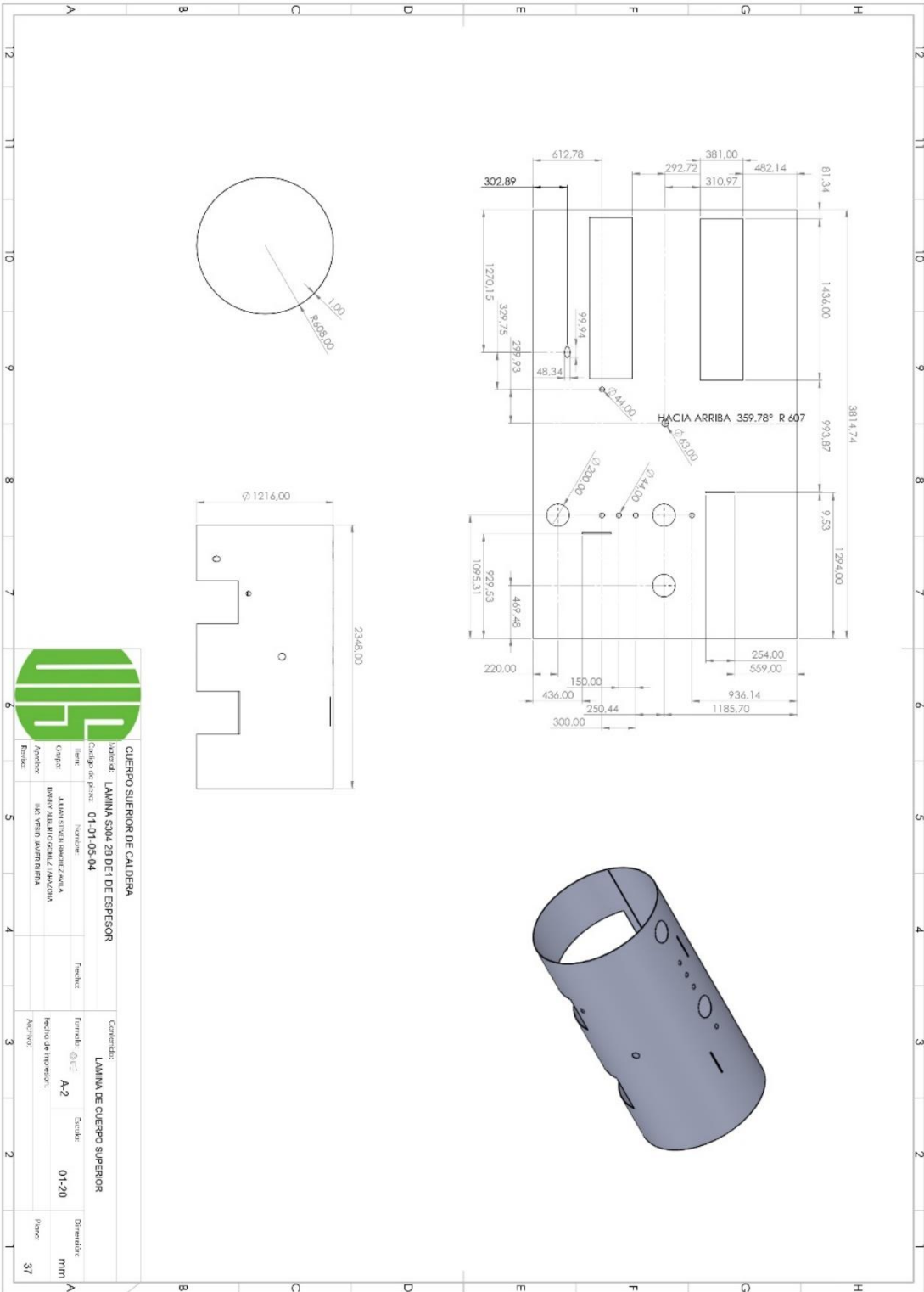


|                                   |  |                                  |             |
|-----------------------------------|--|----------------------------------|-------------|
| <b>QUERPO SUPERIOR DE CALDERA</b> |  | <b>PLACA DEL QUERPO SUPERIOR</b> |             |
| Ubicación:                        | PLACA ASMEASTA 670 DE 12.70 DE ESPESOR | Código de pieza:                 | 01-01-05-02 |
| Nombre:                           | ASMEASTA 670 DE 12.70 DE ESPESOR       | Fecha:                           |             |
| Usuario:                          | ADRIAN S. LOPEZ                        | Forma:                           | A-2         |
| Apellido:                         | LOPEZ                                  | Estado:                          | 01-20       |
| Empresa:                          | IND. CALDERAS Y MAQUINARIA             | Dimensiones:                     | mm          |
|                                   |  | Factor:                          | 35          |

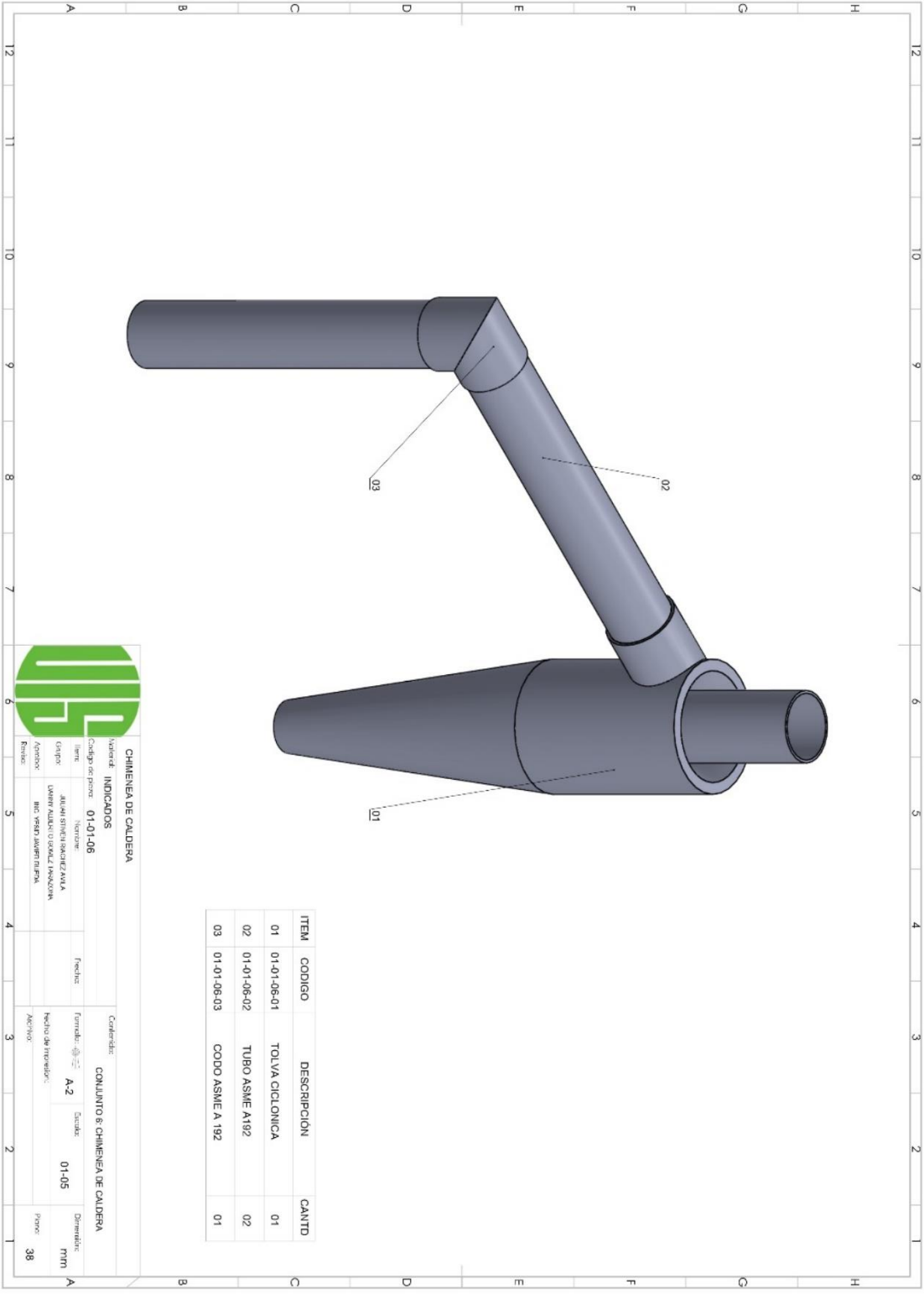




|   |  |   |                        |
|---|--|---|------------------------|
| <b>CUERPO SUPERIOR DE CALDERA</b><br>Material: BRIDA ASMEFAG16 C10 DE 50 DE ESPESOR<br>Código de parte: 01-01-05-03 |  | Cantidad: BRIDA DEL CUERPO SUPERIOR<br>Formato:  A 2<br>Escala: 01-10<br>Dimensiones: mm<br>Folio: 36 |                        |
| Item:<br>Grupo:<br>Ambiente:<br>Empresa:  | Nombre:<br>ALUMINUMUO L.A.M.B.A.<br>DANI ALBERTO GOMEZ TRONCOSA<br>INC. VEGAS JARDINERIA | Fecha:<br>Fecha de homologación:<br>Aprobado:   | Proyecto:<br>Proyecto: |



|                                   |                                |                     |       |
|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------|-------|
| <b>CUERPO SUPERIOR DE CALDERA</b> |                                | <b>Contenido:</b>   |       |
| Material:                         | LAMINA S304 2B DE 1 DE ESPESOR | Forma:              | A-2   |
| Item:                             | 01-01-05-04                    | Cantidad:           | 01-20 |
| Grupo:                            | ADMINISTRACION TECNICA         | Unidad de medida:   | mm    |
| Proveedor:                        | UNIV ALUMINOS DEL CAJON        | Numero de proyecto: | 37    |
| Revisor:                          | SIC YRIBI JAVIER BARRA         | Aprobado:           |       |



| ITEM | CODIGO      | DESCRIPCION      | CANTID |
|------|-------------|------------------|--------|
| 01   | 01-01-06-01 | TOLVA CICLONICA  | 01     |
| 02   | 01-01-06-02 | TUBO ASME A192   | 02     |
| 03   | 01-01-06-03 | COODO ASME A 192 | 01     |



**CHIMENEA DE CALDERA**

Indicador: **INDICADOS**

Código de parte: **01-01-06**

Item: **ALUMINIO INOXIDABLE**

Grupo: **UNIDAD ALUMINIO INOXIDABLE**

Proveedor: **IND. PESQU. JARAMA S.P.A.**

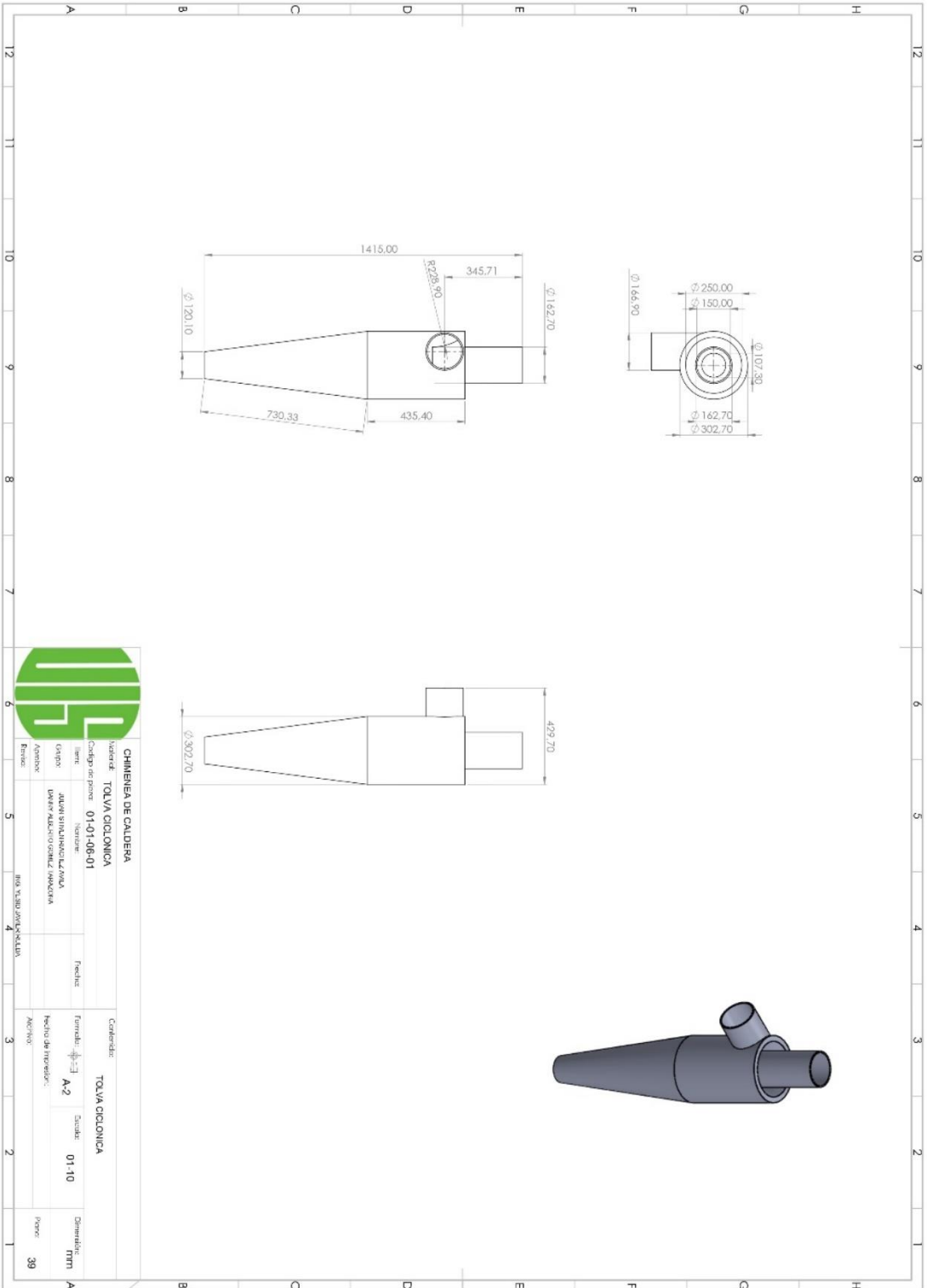
Fecha: **01-05**

Forma: **A-2**

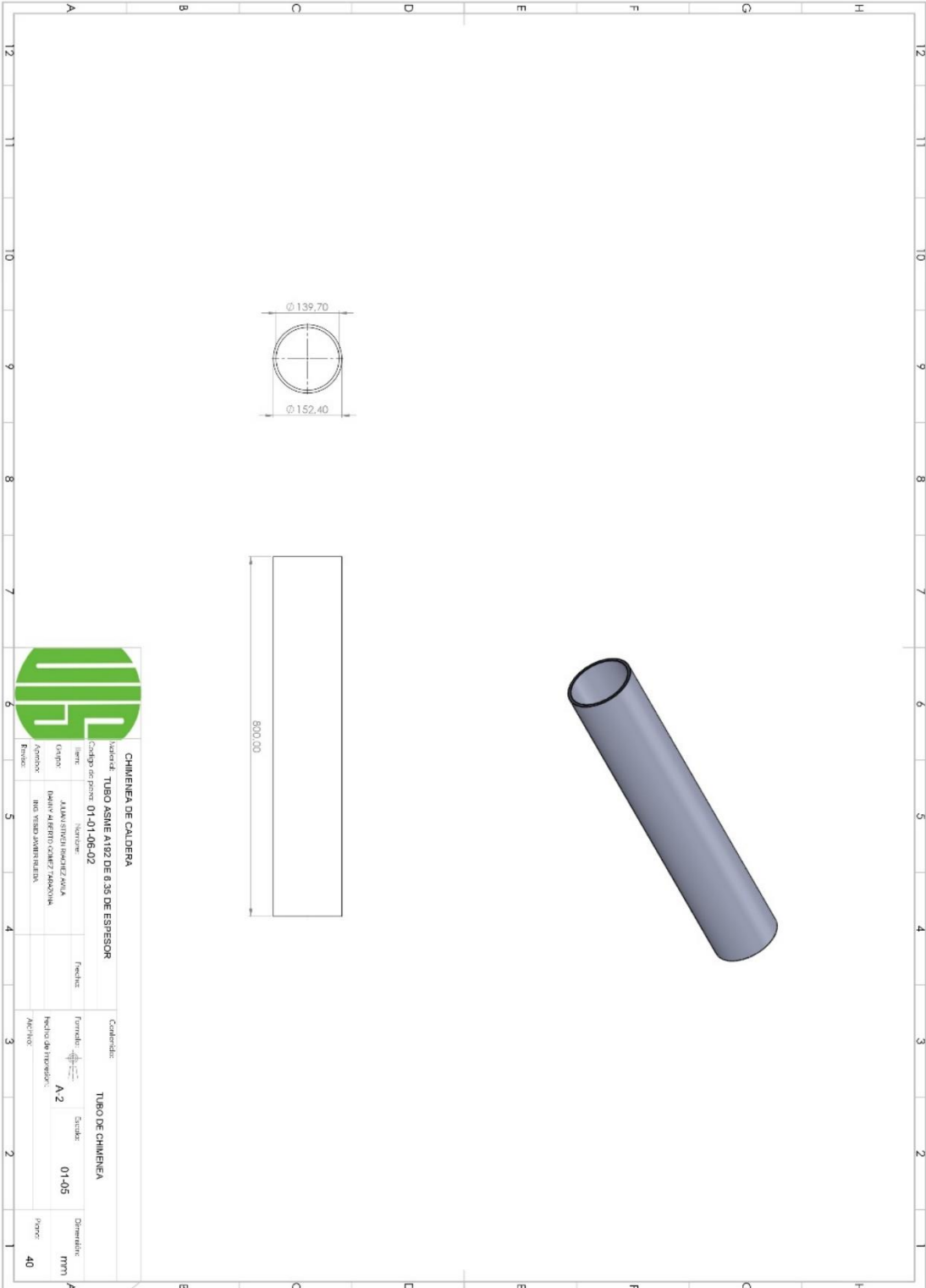
Detalle: **01-05**

Dimensiones: **mm**

Peso: **38**



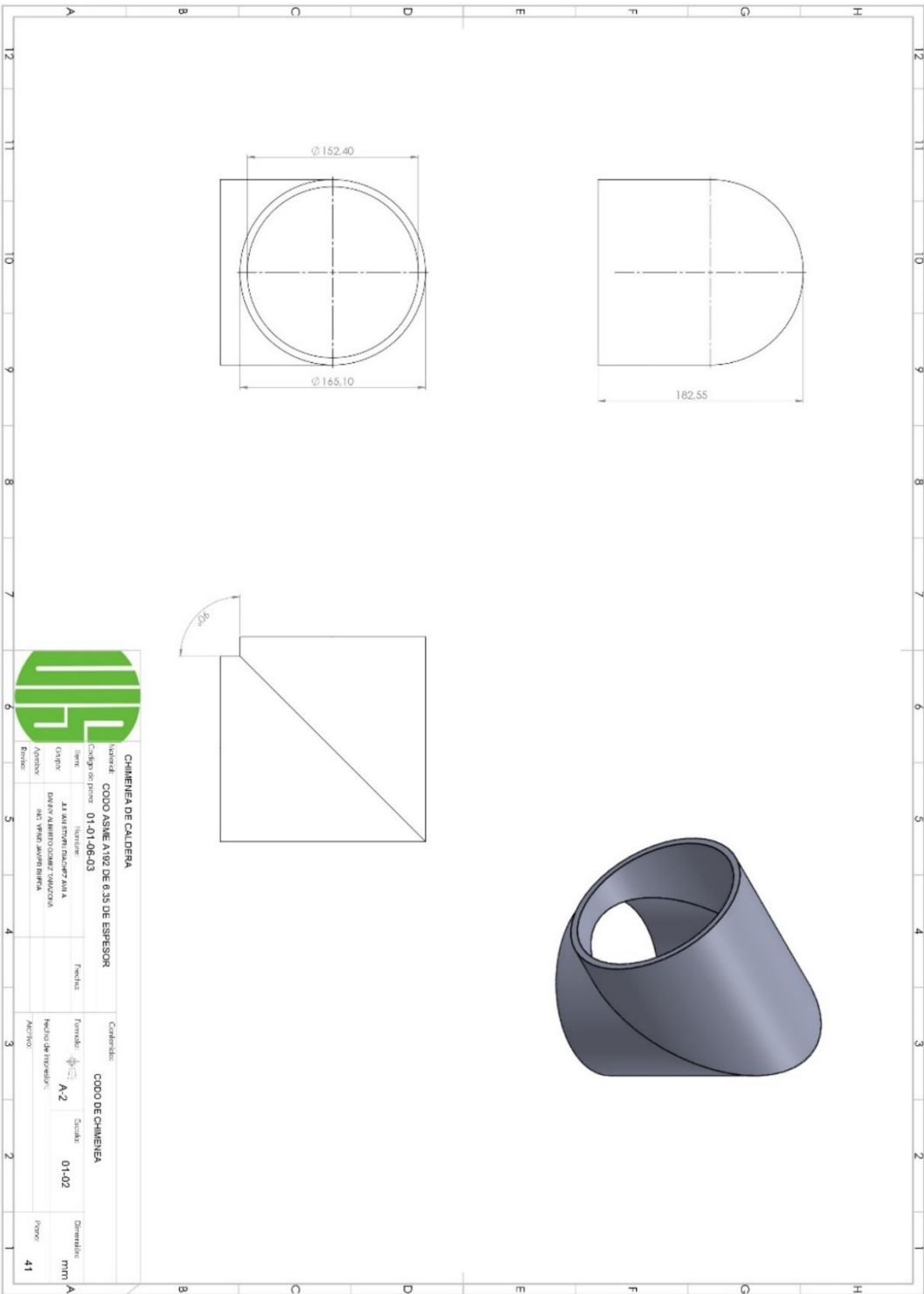
|                            |                            |                     |       |
|----------------------------|----------------------------|---------------------|-------|
| <b>CHIMENEA DE CALDERA</b> |                            | <b>CONDICIONES</b>  |       |
| Material:                  | TOLOVA CICLONICA           | Forma:              | A-2   |
| Calor de parral:           | 01-01-08-01                | Escala:             | 01-10 |
| Item:                      | 01-01-08-01                | Material proveedor: |       |
| Grupo:                     | ALUMINIO/ACERO/TOLOVA      | Acabado:            |       |
| Proveedor:                 | UNIV ALUMINIO/ACERO/TOLOVA |                     |       |
| Empresa:                   | INDUSTRIAL                 |                     |       |



**CHIMENEA DE CALDERA**

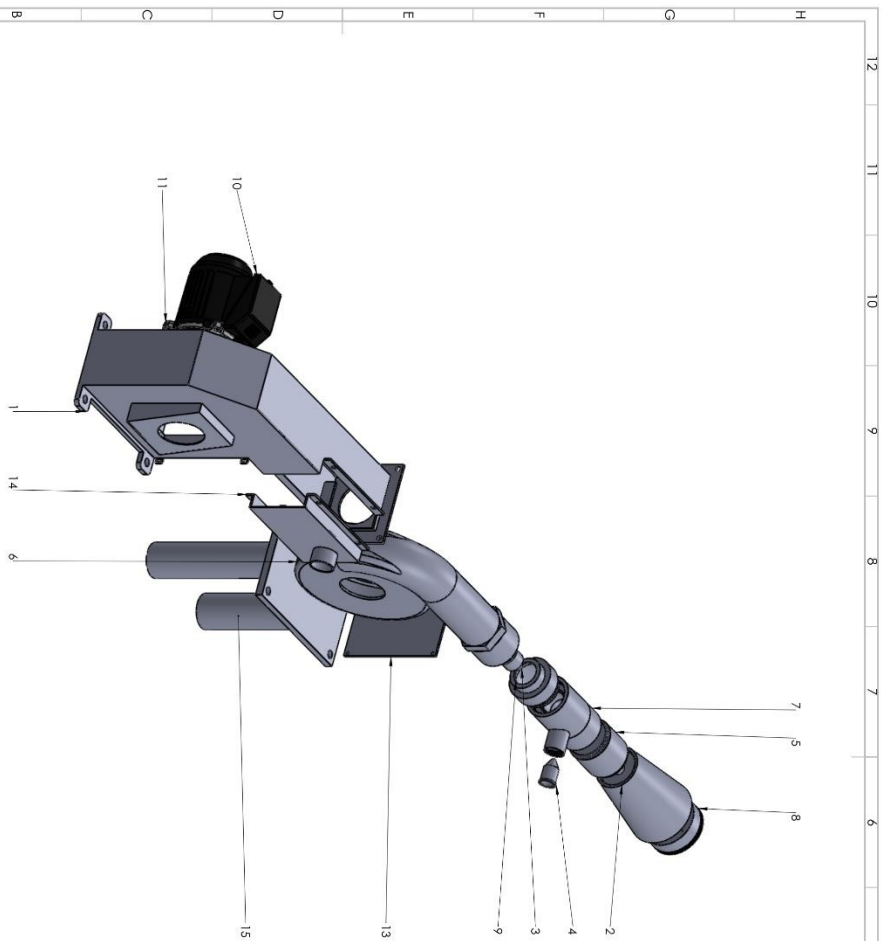
|   |        |  |                      |
|---|--------|--|----------------------|
| Unidad: <b>TUBO ASME A192 DE B.35 DE ESPESOR</b><br>Código de parte: <b>01-01-06-02</b> |        | Cantidad: <b>TUBO DE CHIMENEA</b>            |                      |
| Item: <b>01-01-06-02</b><br>Descripción: <b>ASME A192 DE B.35 DE ESPESOR</b>            | Fecha: | Formulario: <b>A-2</b><br>Fecha de revisión: | Dibujo: <b>01-05</b> |
| Autor: <b>DAVID ALBERTO CORTI TARDONIA</b><br>Revisor: <b>ING. YIBAO MONTAÑANA</b>      | Fecha: | Aprobado:                                    | Proceso: <b>40</b>   |





|  |  |                                  |  |                    |  |
|--|--|----------------------------------|--|--------------------|--|
| <b>CHIMENEA DE CALDERA</b>                       |  | <b>CODIGO DE CHIMENEA</b>        |  | <b>Dimensiones</b> |  |
| Nombre: <b>CODO ASME A192 DE 0.35 DE ESPESOR</b> |  | Forma:                           |  | mm                 |  |
| Codigo de parte: <b>01-01-06-03</b>              |  | Escala: <b>01-02</b>             |  | Papel: <b>41</b>   |  |
| Autor: <b>JUAN FERRER PALACER Y SIA</b>          |  | Fecha: <b>A2</b>                 |  |                    |  |
| Diseño: <b>EDUARD ALBERTO DOMÍNGUEZ VARGAS</b>   |  | Materia: <b>ACERO AL CARBONO</b> |  |                    |  |
| Aprobación: <b>ING. VIBOR JAVIER BARRA</b>       |  | Método de fabricación: <b></b>   |  |                    |  |
| Empresa: <b></b>                                 |  | Módulo: <b></b>                  |  |                    |  |





| NO. | PARTE                        | DESCRIPCION                              | CODIGO      |
|-----|------------------------------|--|-------------|
| 1   | CARCASA                      | ASTM A516 GR 70                          | 01-02-02-01 |
| 2   | DIFFUSOR                     | ACERO SA-312                             | 01-02-02-02 |
| 3   | INYECCOR DE AIRE             | ACERO SA-312                             | 01-02-02-03 |
| 4   | INYECCOR DE GAS              | ACERO SA-312                             | 01-02-02-04 |
| 5   | GARGANTA                     | ACERO SA-312                             | 01-02-02-05 |
| 6   | VENTILADOR 1                 | 180 M3/H                                 | 01-02-02-20 |
| 7   | MEZCLADOR                    | ACERO SA-312                             | 01-02-02-06 |
| 8   | ESTABILIZADOR                | SA-312 TP3105                            | 01-02-02-07 |
| 9   | ACOPLE DE VENTILADOR A MOTOR | ACERO SA-312                             | 01-02-02-08 |
| 10  | BASE DE SUJECION             | 1/2 HP A 60 HZ                           | 01-02-02-21 |
| 11  | COMPLEMENTO DE BASE MOTOR    | FABRICANTE                               | 01-02-02-22 |
| 12  | FABRICANTE                   | FABRICANTE                               | 01-02-02-23 |
| 13  | TAPA CARCASA                 | FABRICANTE                               | 01-02-02-09 |
| 14  | CARCASA 2                    | ASTM A514 GR 70                          | 01-02-02-10 |
| 15  | BASE QUEMADOR A GAS          | ASTM A514 GR 70 TUBO ASTM A53 ESPE 2.5mm | 01-02-02-11 |

**DISEÑO Y MODELADO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLE SOLIDO Y GASOSO**

**EN LA DESCRIPCION**

Material: **EN LA DESCRIPCION**

Código de parte: 01-02-02

Nombre: **JUAN STEVEN RIVERA BAZAÑA**

Grupo: **DAHNY ALBERTO COMAL RAMAZONA**

Asignatura: **ING. YSIDO JAVIER RIVERITA**

Revisor:

Fecha:

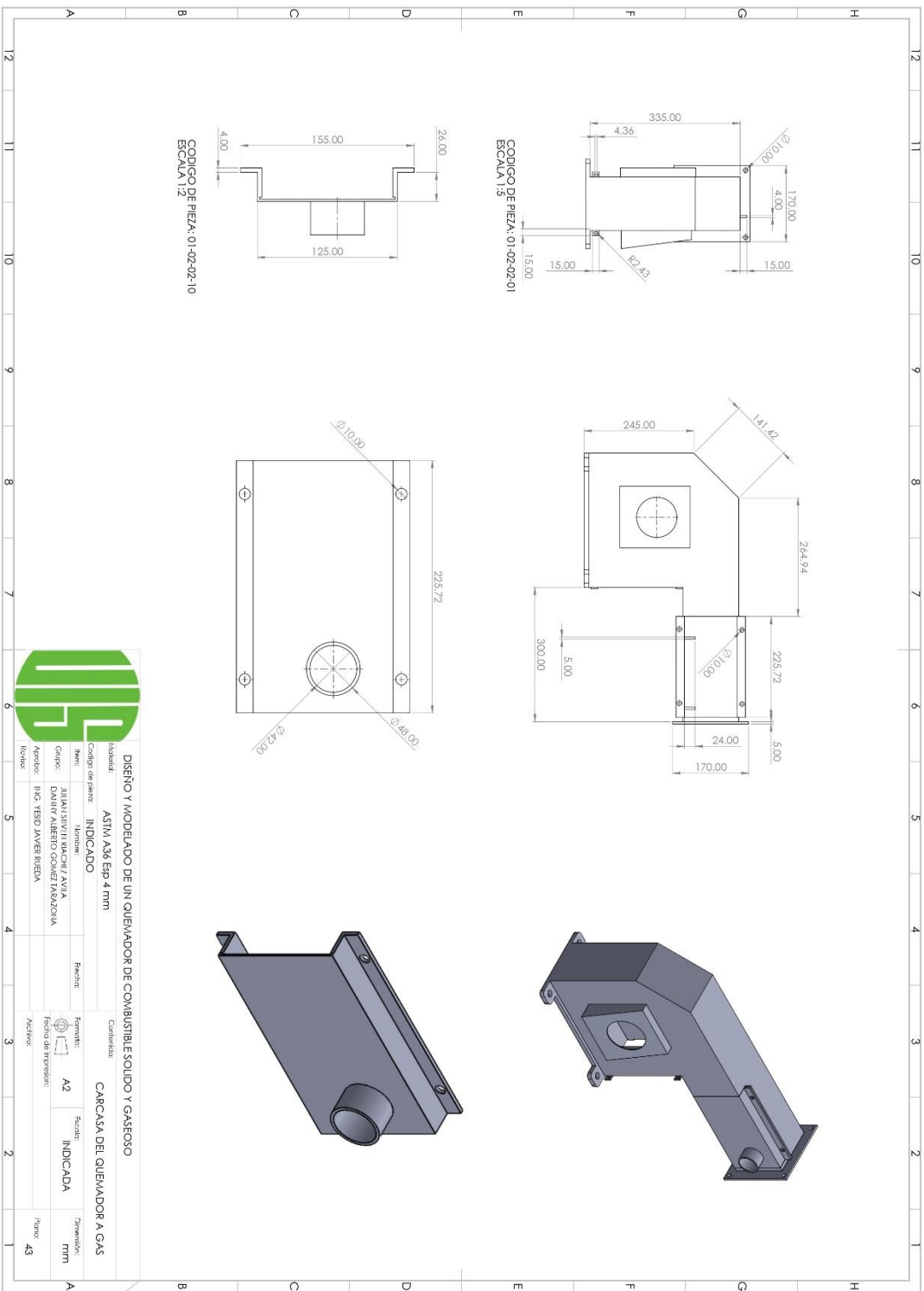
Formato: **A2**

Escala: **1:5**

Dimension: **mm**

Revisión: **42**

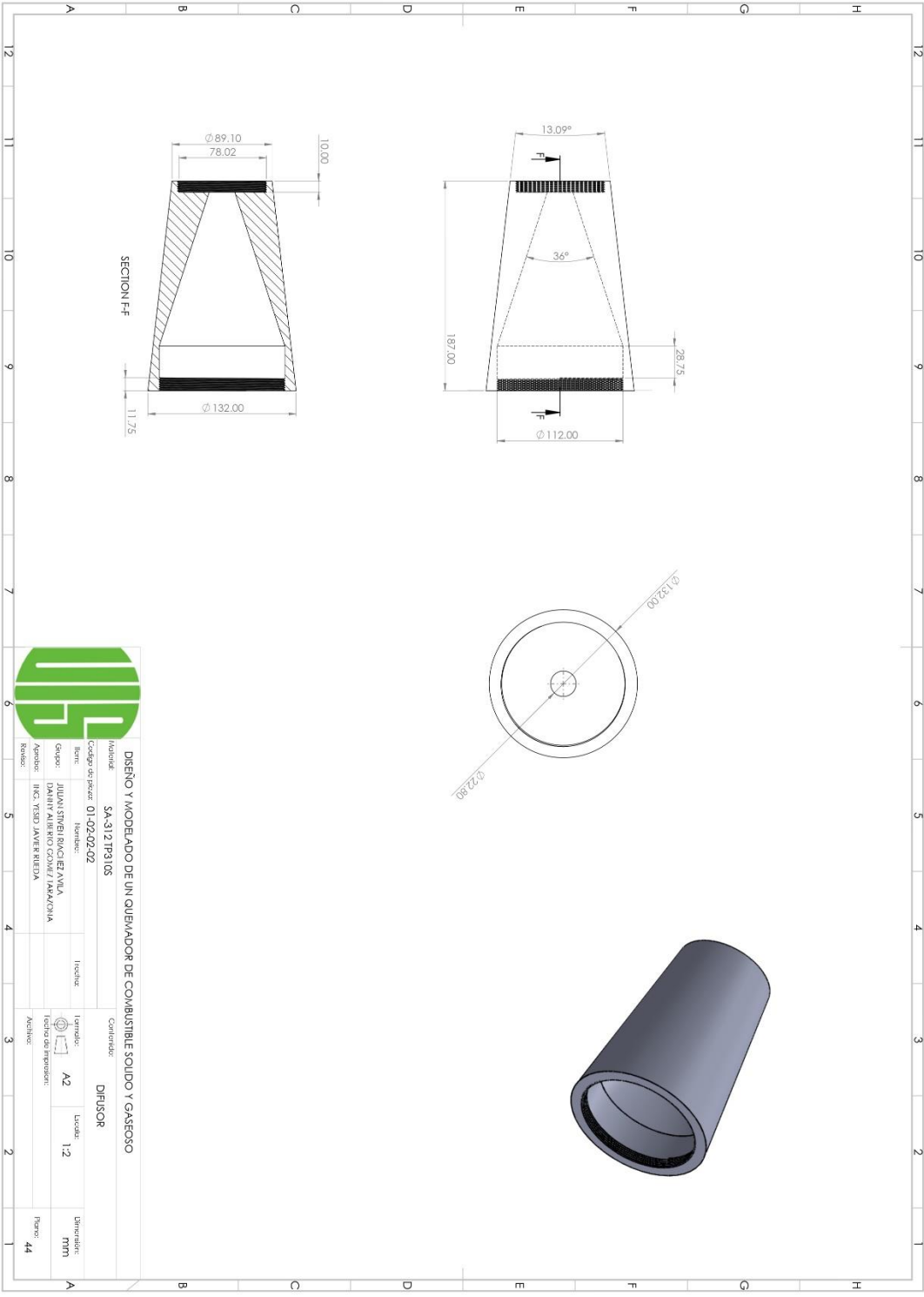
**UNIVERSIDAD**



CODIGO DE PIEZA: 01-02-02-01  
ESCALA: 1:3

CODIGO DE PIEZA: 01-02-02-10  
ESCALA: 1:2

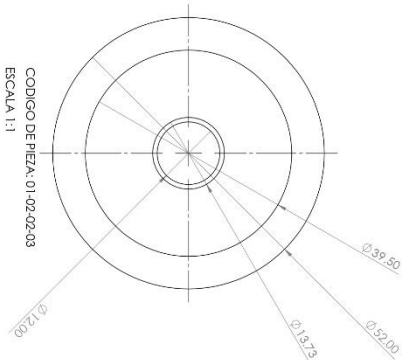




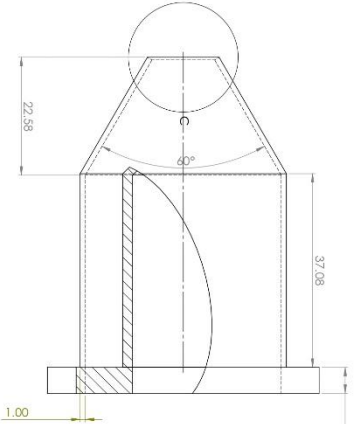
SECTION FF



|   |  |                |  |                        |  |
|---|--|----------------|--|------------------------|--|
| <b>DISEÑO Y MODELADO DE UN QUEBAMADOR DE COMBUSTIBLE SOLIDO Y CASEOSO</b> |  | <b>DIFUSOR</b> |  | Dimensiones: <b>mm</b> |  |
| Modelo: <b>SA-312TP9105</b>   |  | Configuración: |  | Hoja: <b>44</b>        |  |
| Código de pieza: <b>01-02-02-02</b>                                       |  | Fecha:         |  | Escala: <b>1:2</b>     |  |
| Grupo: <b>JULIAN STEVEN RIVERA ANA</b>                                    |  | Proyecto:      |  | Formato: <b>A2</b>     |  |
| Apellido: <b>DANIEL ALBERTO CONZUELO RAMA</b>                             |  | Cliente:       |  | Tipo de impresión:     |  |
| Revisor: <b>ING. YSIED JAMER RIVERA</b>                                   |  | Materiales:    |  | Fecha:                 |  |

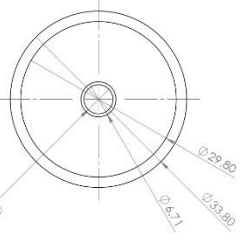


CODIGO DE PIEZA: 01-02-02-03  
ESCALA 1:1

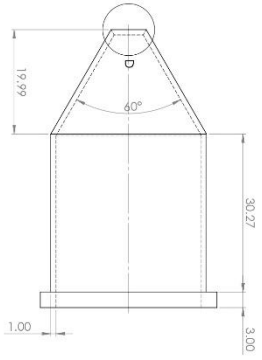


CHAFLAN 30°

DETAIL C  
SCALE 2:1

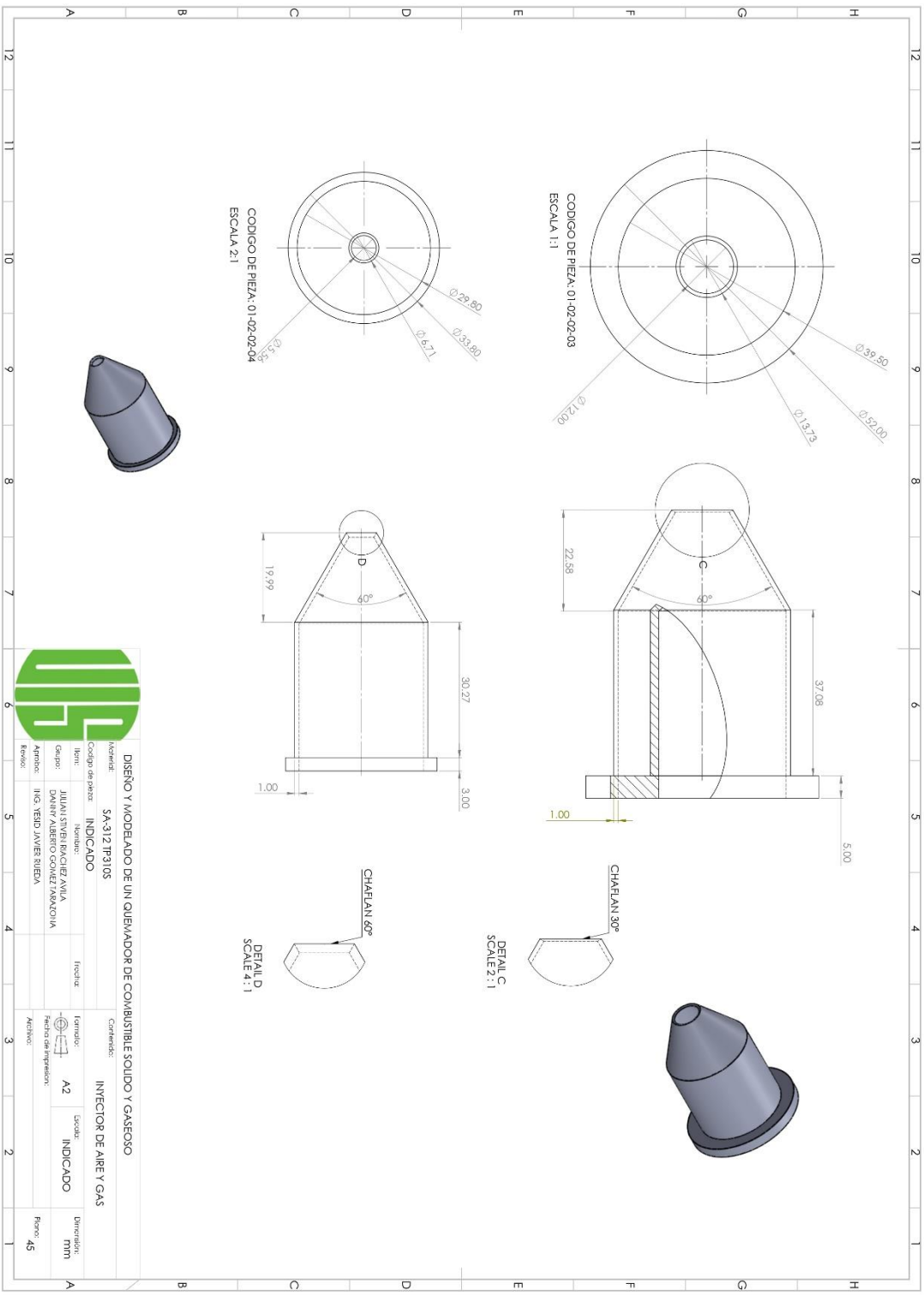


CODIGO DE PIEZA: 01-02-02-04  
ESCALA 2:1

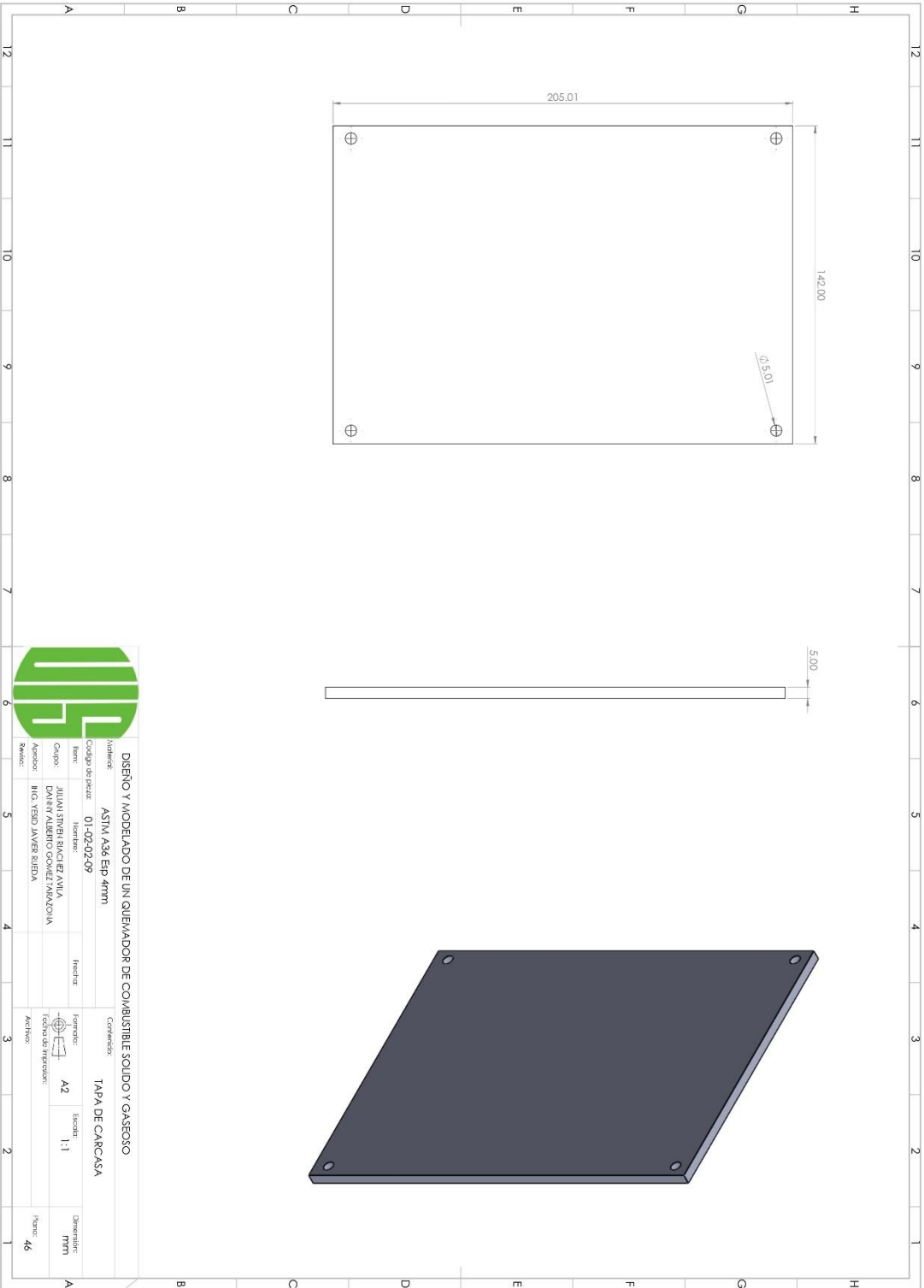


CHAFLAN 60°

DETAIL D  
SCALE 4:1

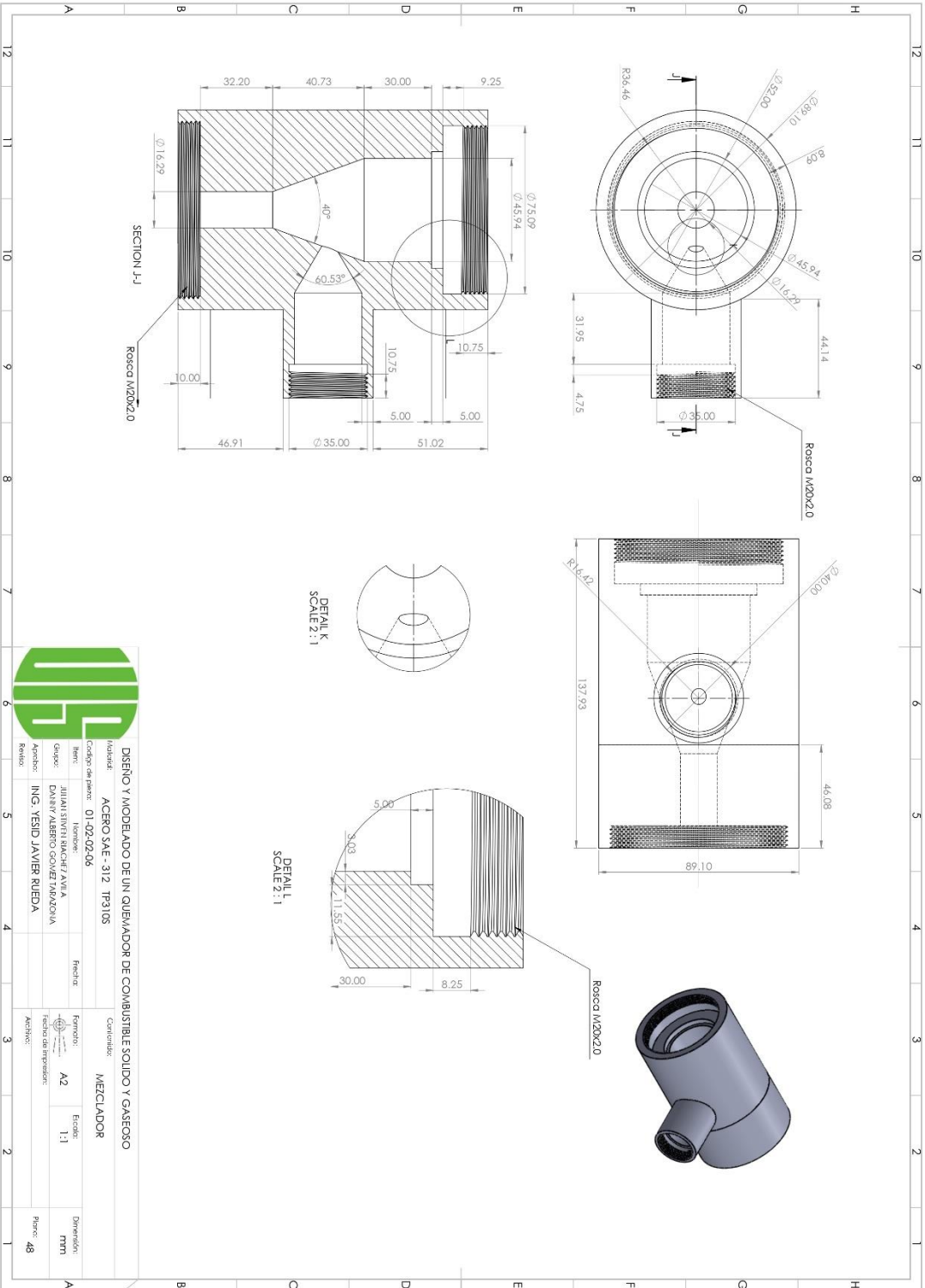


|   |                               |                               |          |
|---|-------------------------------|-------------------------------|----------|
| <b>DISENYO Y MODELLADO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLE SOLIDO Y GASEOSO</b> |                               | <b>INYECTOR DE AIRE Y GAS</b> |          |
| Modelo:   | SA-312 TP3105                 | Contenido:                    | INDICADO |
| Código de pieza:  | INDICADO                      | Formato:                      | A2       |
| Item:   | INDICADO                      | Fecha de impresión:           |          |
| Grupo:  | JULIAN SIVERI RIVACORZ ANJIA  | Escala:                       | INDICADO |
| Apellido:   | DANNY ALBERTO GOMEZ FARZANOIA | Formato:                      | mm       |
| Apellido:   | ING. YENDI JAVIER RUIEDA      | Formato:                      | 45       |
| Apellido:   |                               | Formato:                      |          |

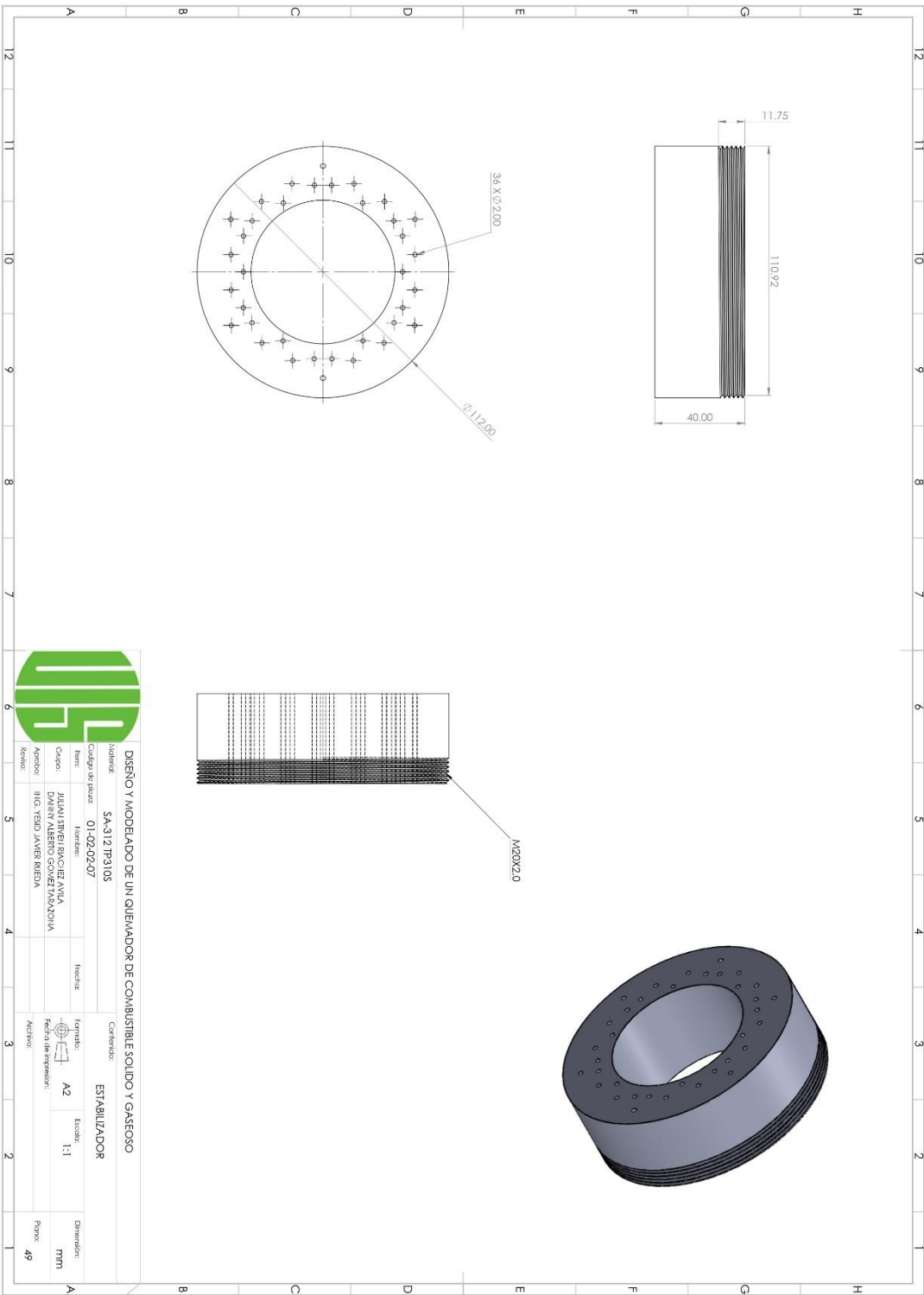


|   |                                       |                        |                    |                        |  |
|---|---------------------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--|
| <b>DISEÑO Y MODELADO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLE SOLIDO Y GASEOSO</b> |                                       | <b>TAPA DE CARCASA</b> |                    | Dimensiones: <b>mm</b> |  |
| Nombre: <b>ASTM A36 Esp 4mm</b>   | Fecha:                                | Formato:               | Escala: <b>1:1</b> | Hoja: <b>46</b>        |  |
| Código de pieza: <b>01-02-02-09</b>                                     | Número:                               | Tipo de impresión:     |                    |                        |  |
| Item:   | Grupo: <b>JUNISTIBEL BANCIE AVILA</b> |                        |                    |                        |  |
| Apellido: <b>DANN ALBERTO GOMEZ FAVAZOLA</b>                            | Nombre:                               |                        |                    |                        |  |
| Sexo: <b>M.O. YESID JAVIER RIEBA</b>                                    | Fecha:                                |                        |                    |                        |  |





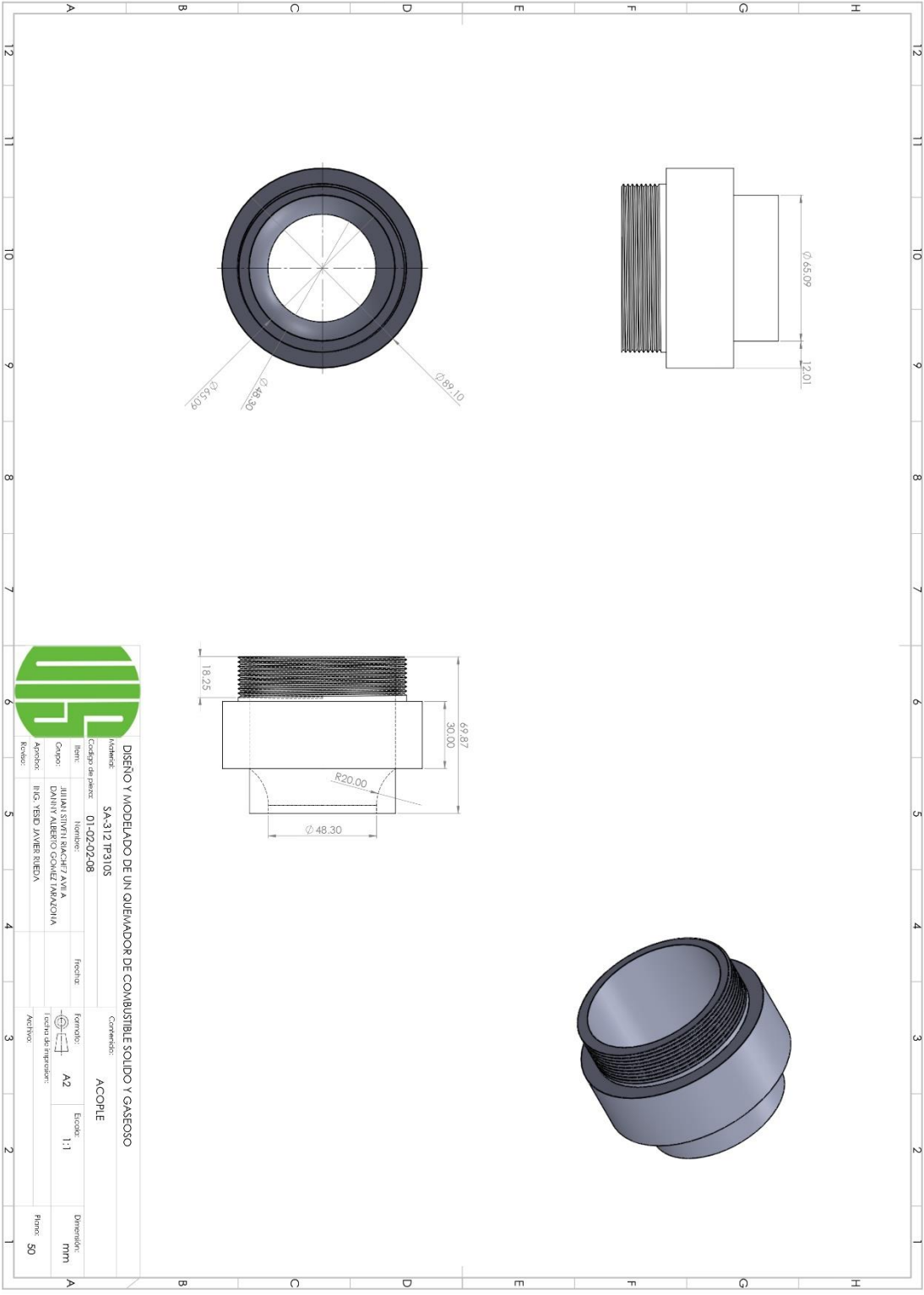
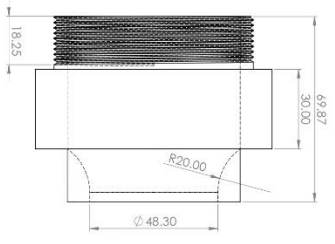
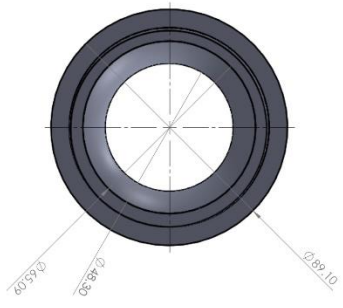
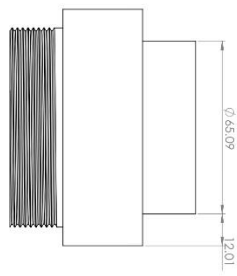
|   |   |
|---|---|
| <b>DISEÑO Y MODELADO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLE SÓLIDO Y GASEOSO</b> |   |
| Material: <b>ACERO SAE - 312 TP310S</b>                                 | Contenido: <b>MECLADOR</b>                  |
| Código del pieza: <b>01-02-02-06</b>                                    | Nombre: <b>JUAN ESTEBAN MACHO / AVILA A</b> |
| Grupo: <b>ING. YESID JAVIER RUEDA</b>                                   | Fecha:                                      |
| Apellido:   | Formato: <b>A2</b>                          |
| Fecha:  | Escala: <b>1:1</b>                          |
| Archivo:  | Dimensión: <b>mm</b>                        |
| Págo: <b>48</b>   |   |



DISÑO Y MODELADO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLE SOLIDO Y GASEOSO

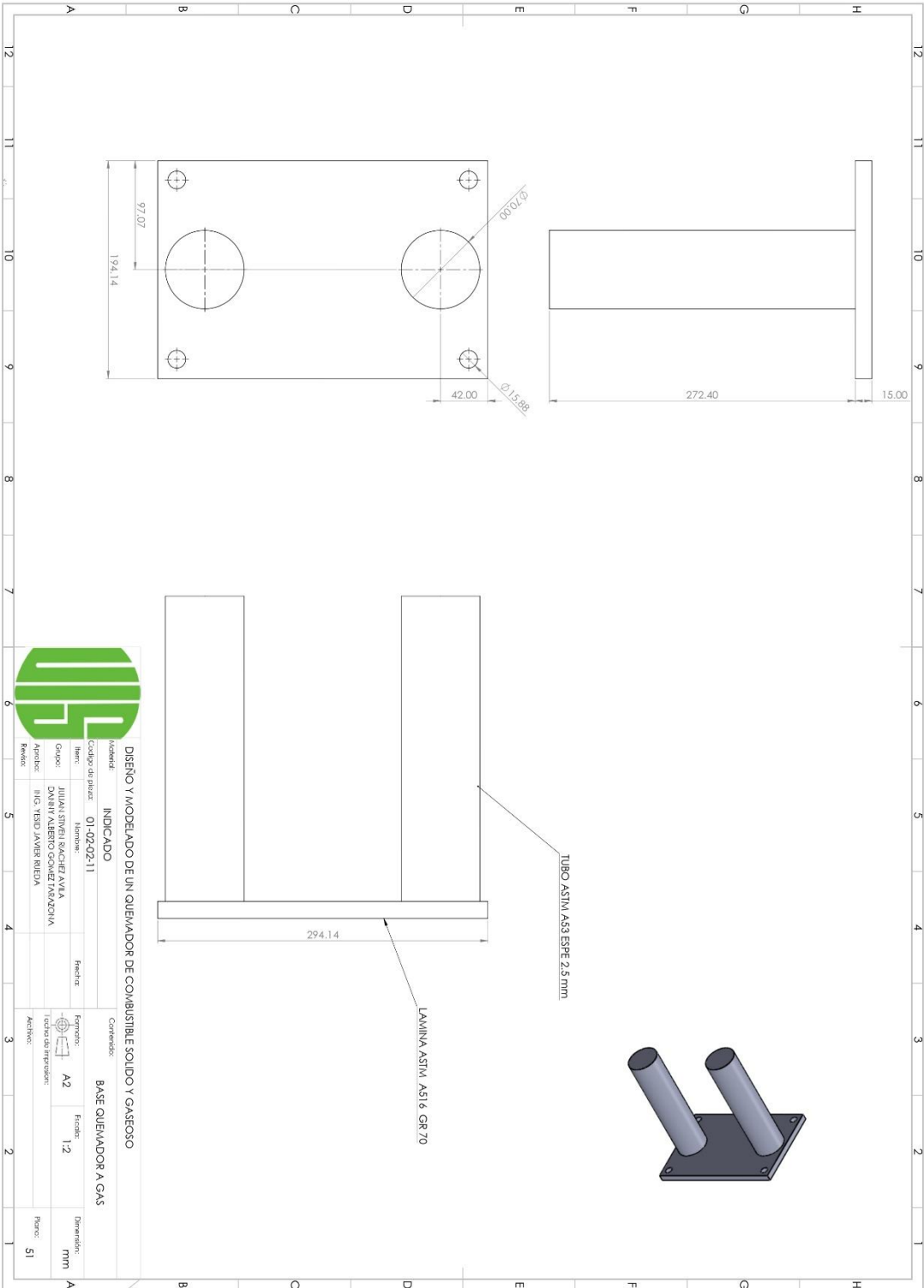


|                  |  |                             |  |                     |  |               |  |
|------------------|--|-----------------------------|--|---------------------|--|---------------|--|
| Nombre:          |  | SA-312 TP310S               |  | Categoría:          |  | ESTABILIZADOR |  |
| Código de pieza: |  | 01-02-02-07                 |  | Fecha:              |  |               |  |
| Autor:           |  | ING. YESID JAVIER RIEIDA    |  | Escala:             |  | 1:1           |  |
| Revisor:         |  |                             |  | Formato:            |  | A2            |  |
| Diseñador:       |  | DANNY ALBERTO GONZALEZ TORO |  | Fecha de impresión: |  |               |  |
| Fecha:           |  |                             |  | Activo:             |  |               |  |
| Dimensiones:     |  | MM                          |  | Página:             |  | 49            |  |



**DISEÑO Y MODELADO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLE SOLIDO Y GASEOSO**

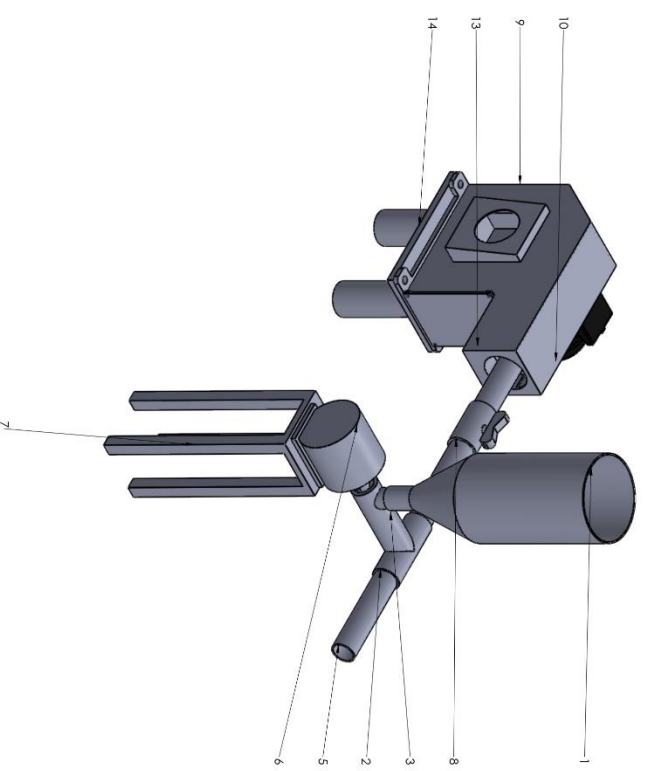
|                  |                              |           |        |
|------------------|------------------------------|-----------|--------|
| Modelo:          | SA-312 TP310S                | Convenio: | ACORDE |
| Código de pieza: | 01-02-02-08                  | Formato:  |        |
| Item:            |                              | Formato:  |        |
| Nombre:          | JHIMAI SANTI BACHER AVILA    | Formato:  |        |
| Apellido:        | DANNY ALBERTO GOMEZ RAMAJOYA | Formato:  |        |
| Apellido:        | ING. YESSI JAVIER RIVERA     | Formato:  |        |
| Fecha:           |                              | Formato:  |        |
| Estado:          | Activo                       | Formato:  |        |
| Escala:          | 1:1                          | Formato:  |        |
| Dimensiones:     | mm                           | Formato:  |        |
| Hoja:            | 50                           | Formato:  |        |



|   |                               |                                |     |
|---|-------------------------------|--------------------------------|-----|
| <b>DS</b><br>DISEÑO Y MODELADO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLE SÓLIDO Y GASEOSO |                               | Contenido: BASE QUEMADOR A GAS |     |
| Modelo:   | INDICADO                      | Formato:                       | A2  |
| Código de pieza:  | 01-02-02-11                   | Escala:                        | 1:2 |
| Nombre:   | JULIAN STEVEN SANCHEZ AYALA   | Indicador de iteración:        |     |
| Grupo:  | DANIEL ALBERTO COMBETARAZOCHA | Archivos:                      |     |
| Aprobado:   | ING. YESID JAVIER RIEDEA      | Referencia:                    | S1  |
| Revisado:   |                               |                                |     |

TUBO ASTM A53 ESPE 2.5mm

LAMINA ASTM A516 GR 70



| ITEM NO. | PART NUMBER               | DESCRIPTION                                    | COD.       |
|----------|---------------------------|--|------------|
| 1        | TOYVA ESTAMPADA           | ASTM A516 GR 70 Espes. 3mm                     | 01-0201-01 |
| 2        | CARISA                    | ASTM A53 GR 40 NPTON                           | 01-0201-02 |
| 3        | TORNILLO SIN FIN LARGA    | ASTM A53 GR 40 Espes. 3mm                      | 01-0201-03 |
| 4        | TUBO SECCION CORTA        | ASTM A53 GR 40 Espes. 3mm                      | 01-0201-04 |
| 5        | MOTOR BIOMASA             | 10V 115W/40Hz α 40RPM                          | 01-0201-05 |
| 6        | BASE MOTOR                | ASTM A516 GR 70 ASTM A53 TUBO ESP 3mm          | 01-0201-06 |
| 7        | VALVULA MARIPOSA          | VALVULA DE BOLA DE 48mm DE DIAMETRO FABRICANTE | 01-0201-07 |
| 8        | CARGASA BIOMASA           | 1/2 HP A 60 Hz                                 | 01-0201-08 |
| 9        | MOTOR BUJECION            | FABRICANTE                                     | 01-0201-24 |
| 10       | MOTOR                     | FABRICANTE                                     | 01-0201-25 |
| 11       | COMPLEMENTO DE BASE MOTOR | FABRICANTE                                     | 01-0201-26 |
| 12       | PAPA CARGASA              | ASTM A516 GR 70                                | 01-0201-31 |
| 13       | VALVULA PARA BIOMASA      |  | 01-0201-08 |

**DISEÑO Y MODELAO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLE SOLIDO Y GASEOSO**

**INDICADO**

Modulad: **SUBSISTEMA DE SUMINISTRO DE BIOMASA**

Código de parte: 01-0201

Nombre: **JULIAN STEVEI SANCHEZ AYALA**

Grado: **DABNEY ALBERTO COHEN JAVAZOCHA**

Apoyador: **ING. VIBRO JAVIER RIVERITA**

Revisor:

Fecha:

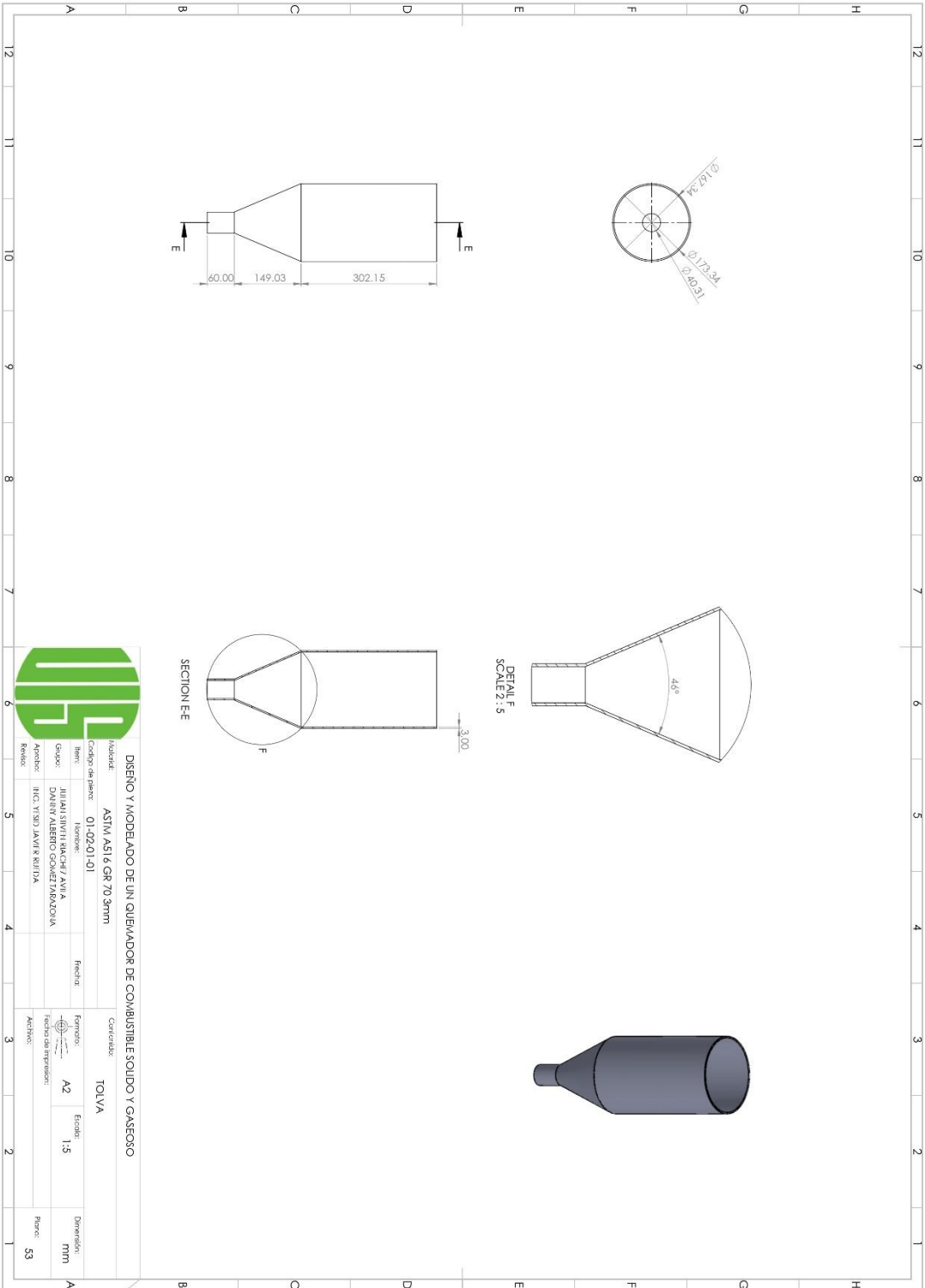
Formato: **A2** Escala: **1:5** Dimension: **mm**

Fecha del Impresión:

Archivo:

Refer: **52**

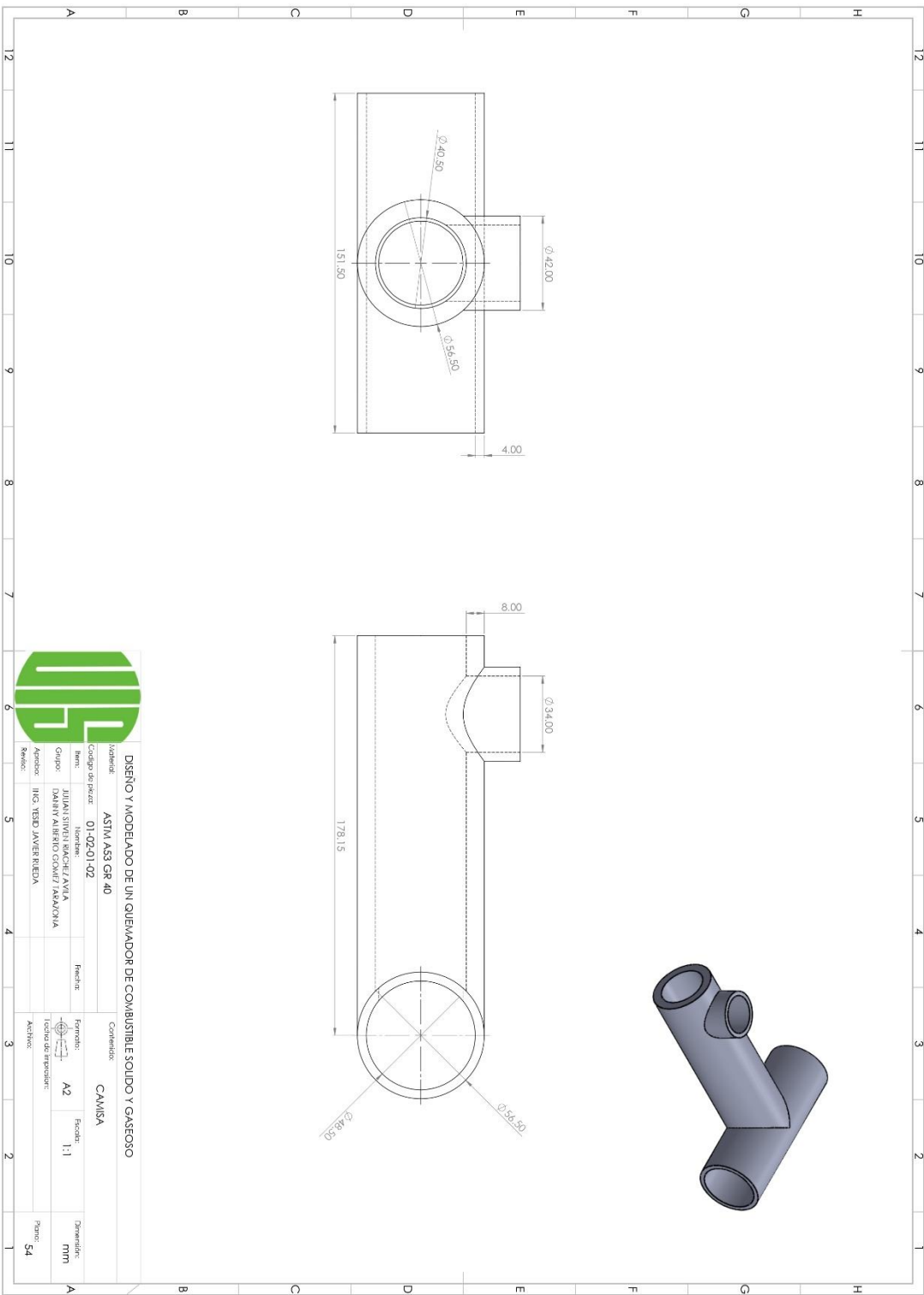
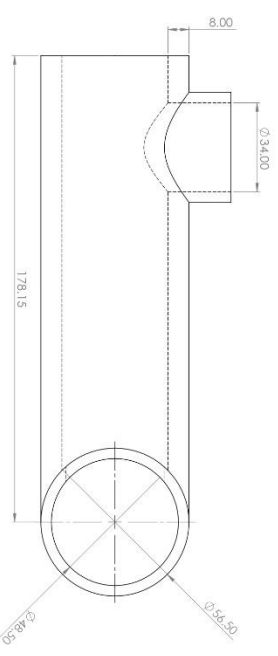
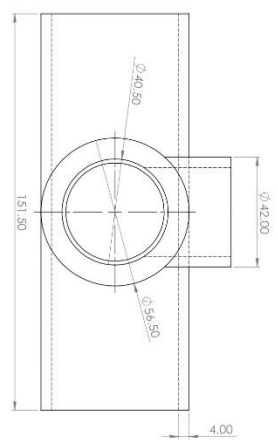
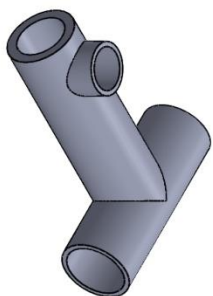




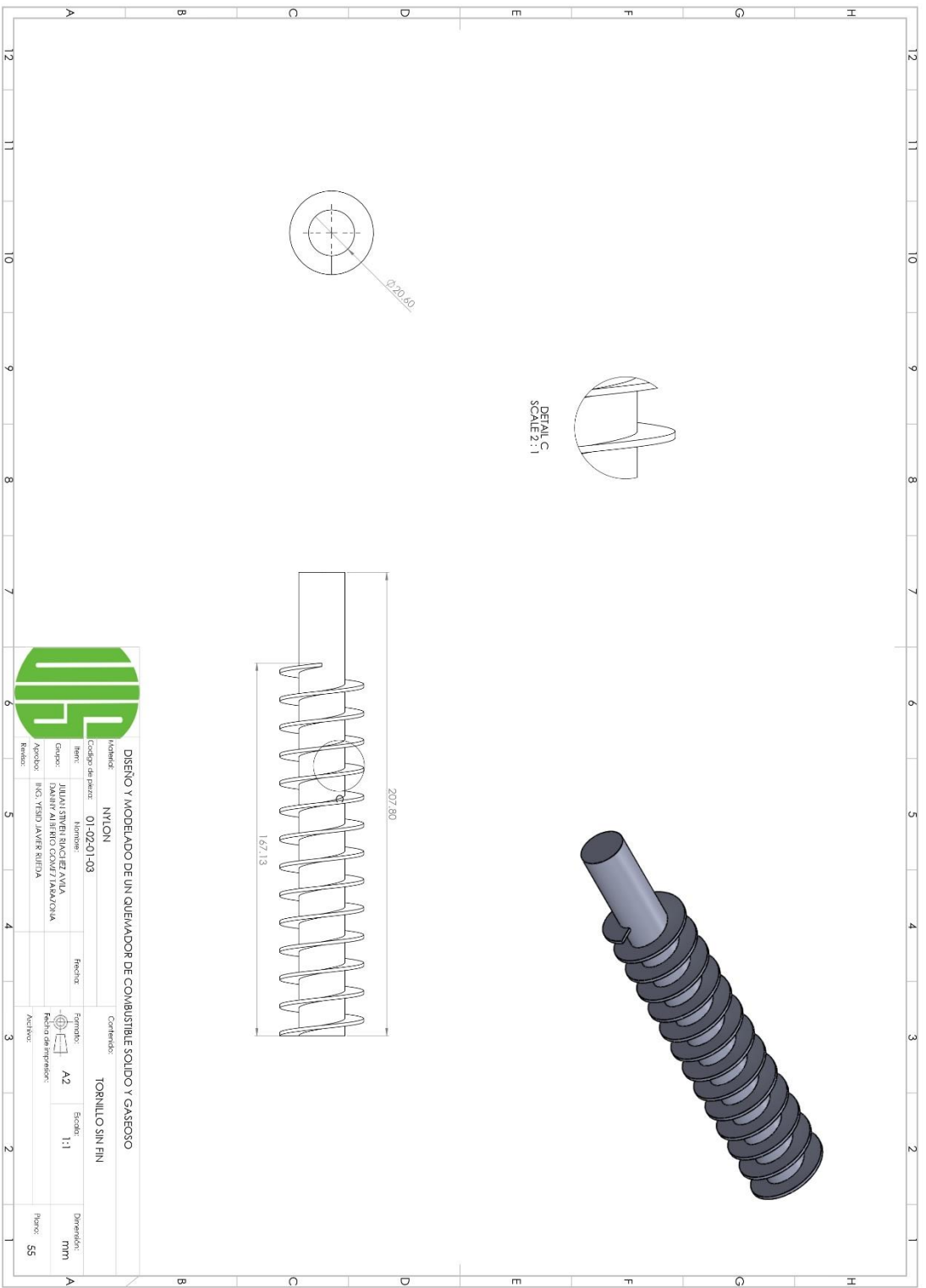
**DISEÑO Y MODELAO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLE SOLIDO Y GASEOSO**

|                  |                                 |           |       |                     |     |
|------------------|---------------------------------|-----------|-------|---------------------|-----|
| Material:        | ASTM A516 GR 70 3mm             | Caracter: | TOLVA | Dimension:          | mm  |
| Código de parte: | 01-02-01-01                     | Formo:    | A2    | Escala:             | 1:5 |
| Nombre:          | JULIAN IVILHIMACHI / ANIA       | Fecha:    |       | Fecha de impresión: |     |
| Grupo:           | DANIEL ALBERTO GONZALEZ FARZANO | Archivo:  |       | Paper:              | S3  |
| Aprobador:       | HIC. YSIDO JAVIER KENTIA        |           |       |                     |     |
| Revisor:         |                                 |           |       |                     |     |



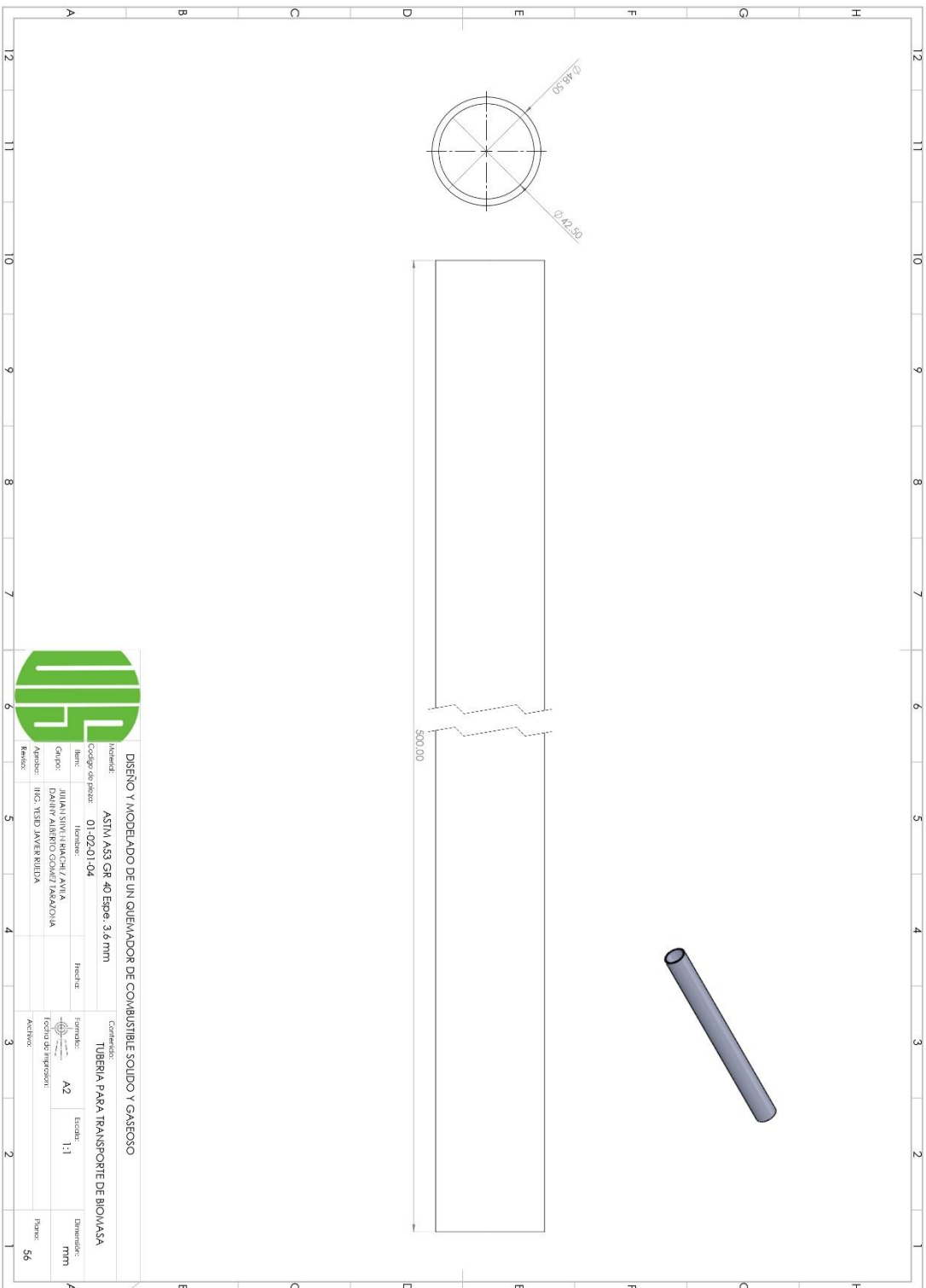


|  |   |                         |             |                 |  |
|--|---|-------------------------|-------------|-----------------|--|
| <b>DS</b><br>DISEÑO Y MODELADO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLE SOLIDO Y GASOSO |   | Contenido: CAMISA       |             | Dimensiones: mm |  |
| Nombre: ASTIM A53 GR 40  | Código del pieza: 01-02-01-02           | Formato: A2             | Escala: 1:1 | Referencia: S4  |  |
| Autor: JULIAN SIVIERI SANCHEZ AVILA  | Grupo: DAMIAN ALBERTO GONZALEZ RAMAZOYA | Tercera del fabricante: |             |                 |  |
| Revisor: IHC VIBO JAVIER REBEDA  |   | Archivo:                |             |                 |  |

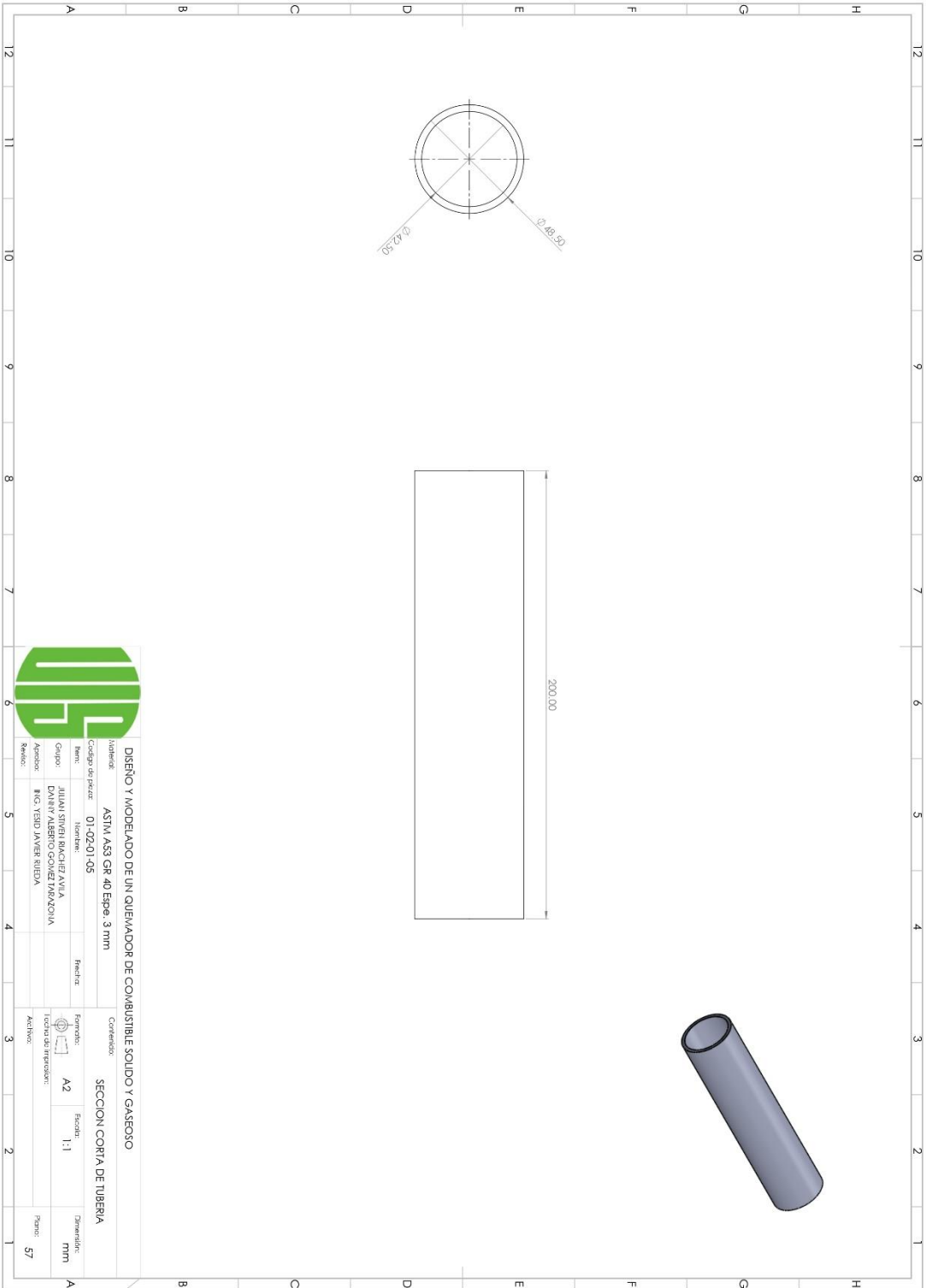


**DISEÑO Y MODELADO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLE SOLIDO Y GASEOSO**

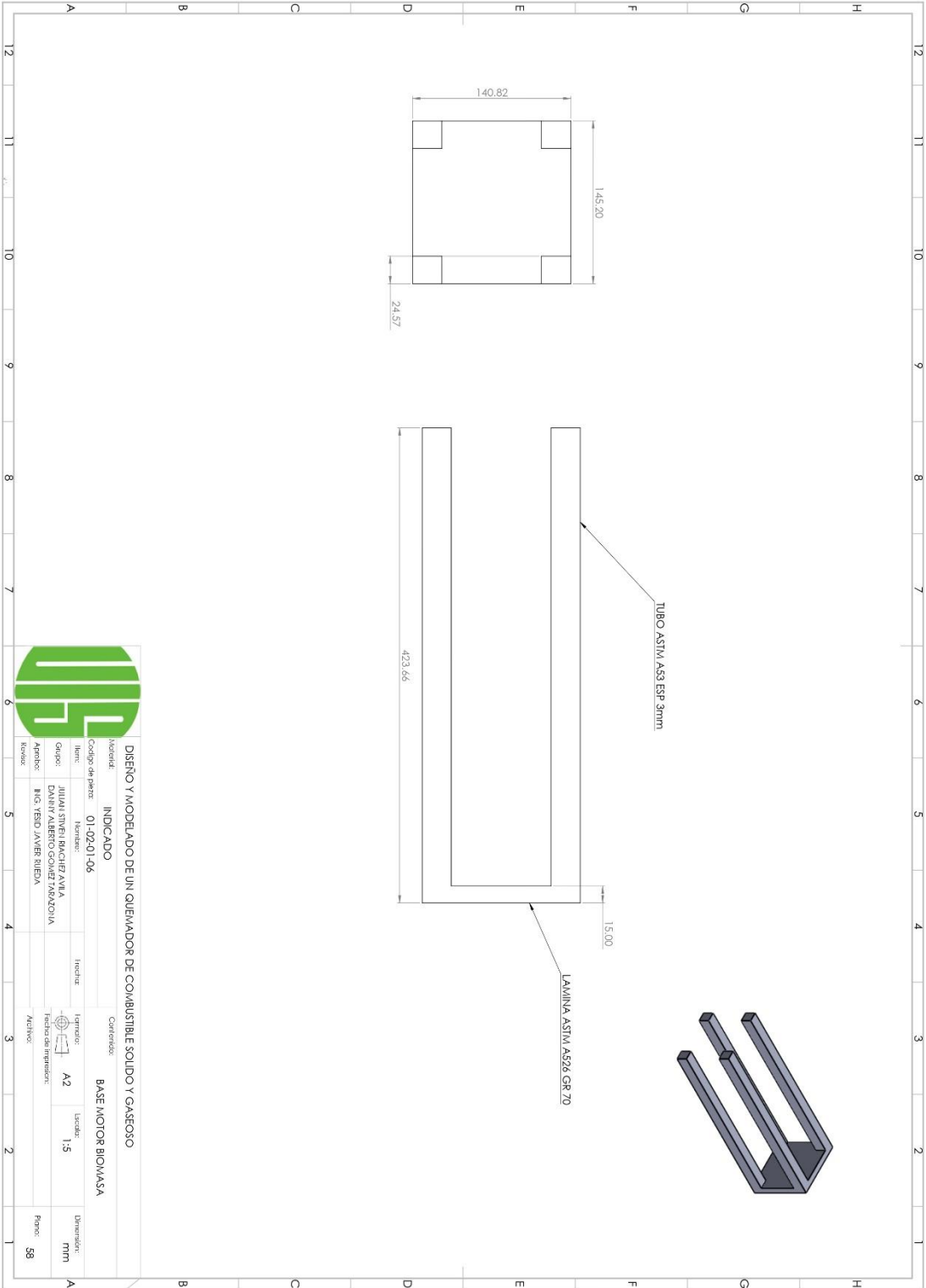
|  |   |                                    |                      |
|--|---|------------------------------------|----------------------|
| Material: <b>NYLON</b>                       |   | Contenido: <b>TORNILLO SIN FIN</b> |                      |
| Código de pieza: <b>01-02-01-03</b>          | Item: <b>NYLON</b>                        | Formato: <b>A2</b>                 | Escala: <b>1:1</b>   |
| Grupo: <b>DANNY ALBERTO COVATTA YABACKUA</b> | Nombre: <b>JULIAN STEVEN BACIEZ AVILA</b> | Fecha: <b>16/03/2023</b>           | Dimension: <b>mm</b> |
| Apellido: <b>ICO, YESID JAVIER RIVERA</b>    | Apellido: <b>ICO, YESID JAVIER RIVERA</b> | Fecha: <b>16/03/2023</b>           | Plano: <b>55</b>     |



|  |   |                     |                           |
|--|---|---------------------|---------------------------|
| <b>DISEÑO Y MODELADO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLE SOLIDO Y GASOSO</b> |   | <b>Comentarios:</b> |                           |
| <b>Intitulado:</b><br>ASTIM, A53 GSR 40 Eje: 3,6 mm                    | <b>Item:</b><br>01-02-01-04               | <b>Forma:</b><br>   | <b>Escala:</b><br>1:1     |
| <b>Grupo:</b><br>JULIAN SIVINI RAMACHE / AVILA                         | <b>Asesor:</b><br>ING. YESID JAVIER RIEDA | <b>Activos:</b><br> | <b>Dimensiones:</b><br>mm |
| <b>Fecha:</b>  |   |                     | <b>Plano:</b> 56          |

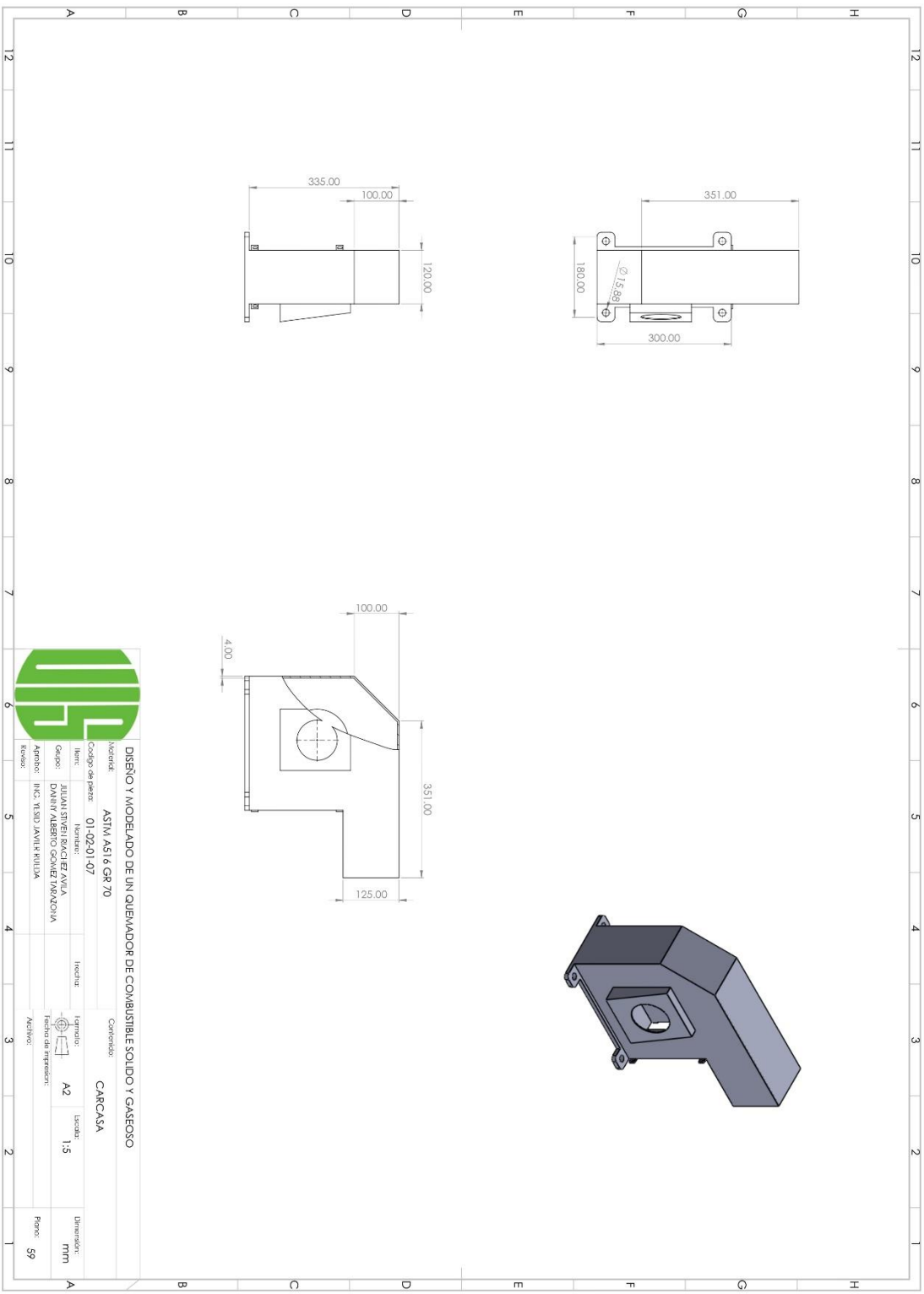


|  |  |                                   |                          |
|--|--|-----------------------------------|--------------------------|
| <b>DISEÑO Y MODELADO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLE SOLIDO Y GASOSO</b> |  | <b>SECCION CORTA DE TUBERIA</b>   |                          |
| Unidad:<br>Código del pieza:   | ASTM A53 GR 40 Espes. 3 mm<br>01-02-01-05  | Contenido:<br>Formato:            | A2<br>Tipo de impresión: |
| Item:<br>Nombre:<br>Grupo:<br>Apellido:<br>Revisto:                    | 01-02-01-05<br>JULIAN SIBERU BACHEZ AVILA<br>DANIEL ALBRERO GONZALEZ MORALES<br>IRLC YESID JAVIER RIVERA | Fecha:<br>Escala:<br>Dimensiones: | 1:1<br>mm<br>57          |



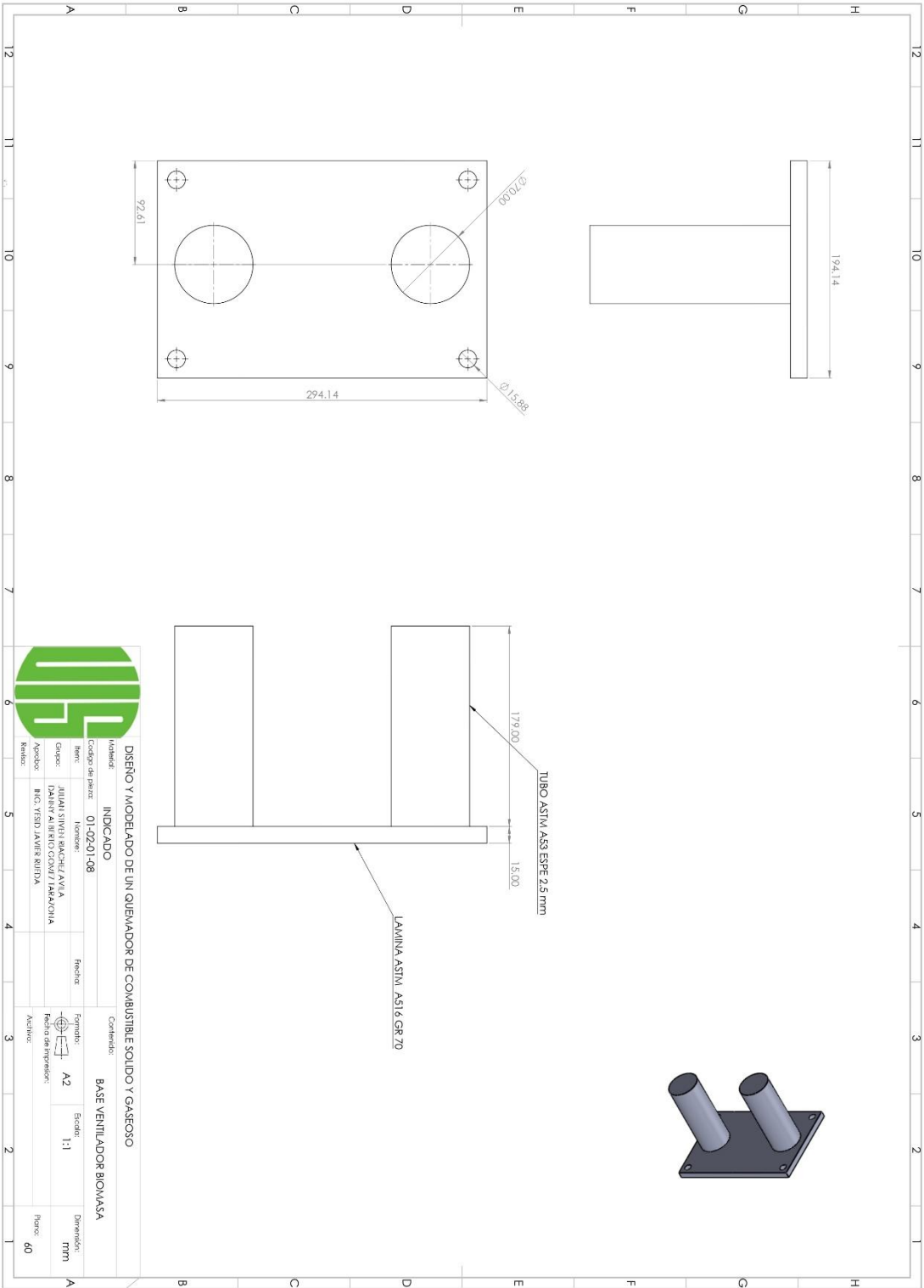
| INDICADO         |                                 | Categorías            |                    |
|------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Modelo:          | INDICADO                        | Proyecto:             | BASE MOTOR BIOMASA |
| Código de parte: | 01-02-01-06                     | Escala:               | 1:5                |
| Item:            |                                 | Formato:              | A2                 |
| Nombre:          | JULIAN STEVEN BACHAZ AVILA      | Técnica de impresión: | ACTIVO             |
| Oficio:          | DANNY ALBERTO GONZALEZ TABAZOLA |                       |                    |
| Aprobador:       | RIC. YESID JAVIER RIEDEA        |                       |                    |
| Revisor:         |                                 |                       |                    |
| Dimensiones:     | mm                              | Papel:                | 89                 |

DISEÑO Y MODELADO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLE SOLIDO Y GASEOSO



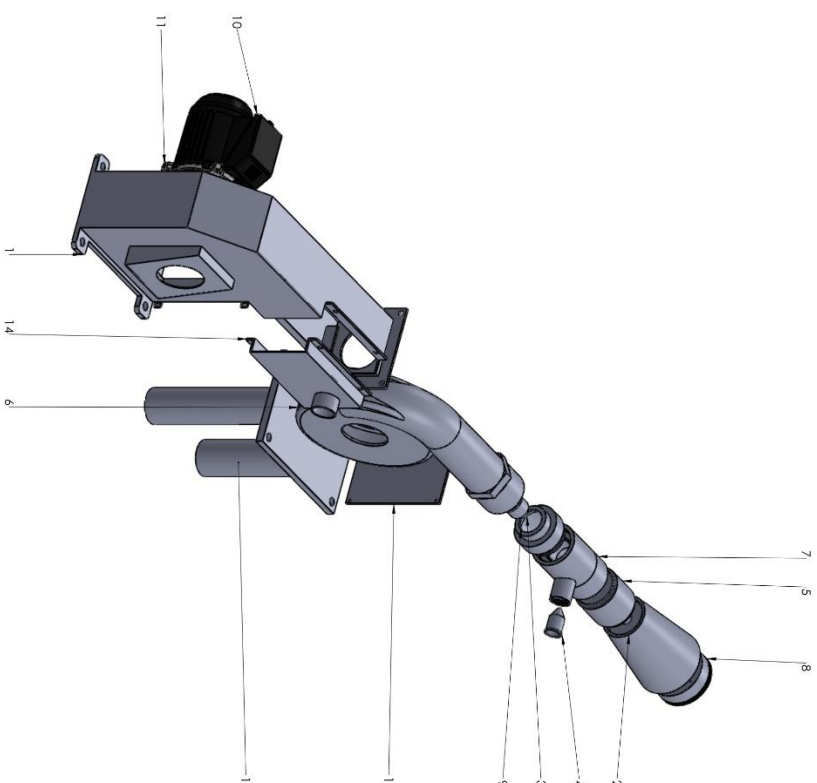
**DISEÑO Y MODELADO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLE SOLIDO Y GASEOSO**

|                  |                               |                         |         |                       |           |
|------------------|-------------------------------|-------------------------|---------|-----------------------|-----------|
| Material:        | ASTM A516 GR 70               | Contenido:              | CARCASA | Dimensión:            | mm        |
| Código de pieza: | 01-02-01-07                   | Fecha:                  |         | Formato de impresión: | A2        |
| Item:            |                               | Hecho:                  |         | Escala:               | 1:5       |
| Grupo:           | JULIAN STEVEN BANCHEZ AVILA   | Formato de transmisión: |         |                       |           |
| Ámbito:          | DANNY ALBERTO GOMEZ TAVANZOLA | Archivo:                |         |                       |           |
| Revisión:        | INIC, MISD, JAVIER, KRISTIA   |                         |         |                       | Papel: S9 |



**DISEÑO Y MODELAO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLE SOLIDO Y GASOSO**

|                  |                               |                     |                         |
|------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------|
| Material:        | INDICADO                      | Contenido:          | BASE VENTILADOR BIOMASA |
| Código de pieza: | 01-02-01-08                   | Formato:            | A2                      |
| Item:            | 01-02-01-08                   | Fecha:              |                         |
| Grupo:           | JULIAN SIMON RACHEZ AVILA     | Radio de impresión: | 1:1                     |
| Apellido:        | DANIEL ALBERTO COVAZ LAMACHIA | Auto:               |                         |
| Nombre:          | RICARDO JAVIER BUITA          | Dimension:          | mm                      |
| Apellido:        |                               | Numero:             | 60                      |



| NO. | PORTE                           | DESCRIPCION                              | CODIGO      |
|-----|---------------------------------|--|-------------|
| 1   | CARCARSA                        | ASTM A516 GR 70                          | 01-02-02-01 |
| 2   | DIUSOR                          | ACERO SA-312                             | 01-02-02-02 |
| 3   | INIECTOR DE AIRE                | ACERO SA-312                             | 01-02-02-03 |
| 4   | INIECTOR DE GAS                 | ACERO SA-312                             | 01-02-02-04 |
| 5   | GARGANTA                        | ACERO SA-312                             | 01-02-02-05 |
| 6   | VENTILADOR 1                    | 180 M3/Hr                                | 01-02-02-20 |
| 7   | MECLADOR                        | ACERO SA-312                             | 01-02-02-06 |
| 8   | ESTABILIZADOR                   | SA-312 TP310S                            | 01-02-02-07 |
| 9   | ACORNE DE VENTILADOR A QUEMADOR | ACERO SA-312                             | 01-02-02-08 |
| 10  | MOTOR                           | 1/2 HP A 60 Hz                           | 01-02-02-21 |
| 11  | BASE DE SUECION MOTOR           | FABRICANTE                               | 01-02-02-22 |
| 12  | COMPENIMENTO DE MOTOR           | FABRICANTE                               | 01-02-02-23 |
| 13  | TAPA CARCARSA                   | FABRICANTE                               | 01-02-02-09 |
| 14  | CARCARSA 2                      | ASTM A516 GR 70                          | 01-02-02-10 |
| 15  | BASE QUEMADOR A GAS             | ASTM A516 GR 70 TUBO ASTM A53 ESPE 2.5mm | 01-02-02-11 |

**DISEÑO Y MODELADO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLE SOLIDO Y GASEOSO**

**EN LA DESCRIPCION**

Modelo: EN LA DESCRIPCION

Código de pieza: 01-02-02

Nombre: JULIAN STEVEN BALACIET AVILA

Grupo: DAHNY ALBERTO COMUETABAZONIA

Aprobado: ING. YESID JAVIER RIVERA

Revisado:

Convenciones:

Formato: A2

Escala: 1:5

Derivado: mm

Formato: A2

Escala: 1:5

Derivado: mm

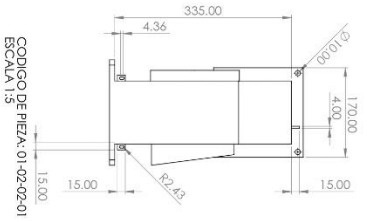
Formato: A2

Escala: 1:5

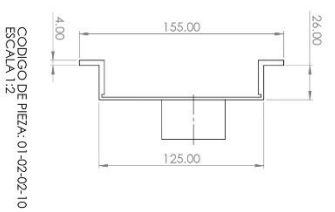
Derivado: mm

12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

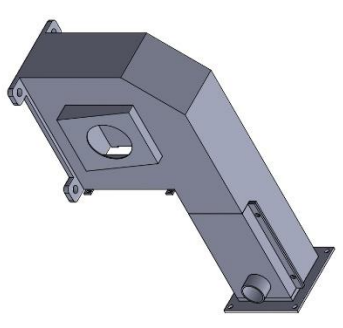
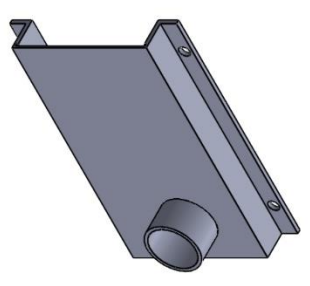
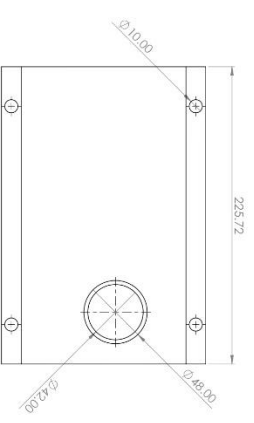
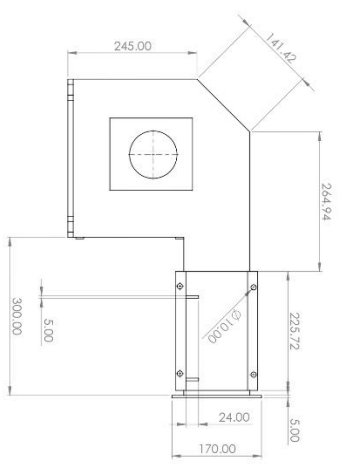
A B C D E F G H



CODIGO DE PIEZA: 01-02-02-01  
ESCALA 1:5



CODIGO DE PIEZA: 01-02-02-10  
ESCALA 1:2



|  |                               |
|--|-------------------------------|
| DISEÑO Y MODELADO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLE SOLIDO Y GASEOSO |                               |
| Material:  | ASTM A36 Esp 4 mm             |
| Código de pieza:   | INDICADO                      |
| Item:  | INDICADO                      |
| Nombre:  | JULIAN STEVEN BACIET AVILA    |
| Grupo:   | DANNY ALBERTO GOMEZ TABAZOCHA |
| Apellido:  | IND. YESID JAVIER RIVERA      |
| Fecha:   |                               |
| Formato:   | A2                            |
| Fecha de impresión:  |                               |
| Escala:  | INDICADA                      |
| Dirección:   | mm                            |
| Folio:   | 43                            |