

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO
WATERJET PARA USO INDUSTRIAL**

JUAN FELIPE ALBA GÓMEZ

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
TUNJA
2019**

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO
WATERJET PARA USO INDUSTRIAL**

JUAN FELIPE ALBA GÓMEZ

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGNIERO MECÁNICO**

DIRECTOR

CARLOS ANDRES AGUIRRE RODRIGUEZ

M.Sc. en Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

TUNJA

2019

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, Marzo de 2019

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a mi madre, Esp. GLORIA AMPARO GÓMEZ GUZMAN, que siempre ha estado pendientes de mí durante toda su vida, apoyándome, aconsejándome y ayudándome a ser mejor persona cada día. Gracias por tanto ejemplo y dedicación; Seguidamente a mi padre, el Esp. Ing. GUILLERMO LEÓN ALBA OROZCO, que siempre me motivó a dar más y más de mí como estudiante y ahora como futuro Ingeniero Mecánico.

Seguidamente, quisiera agradecer también a mi director de trabajo de grado M.Sc. Ing. CARLOS ANDRES AGUIRRE, que gracias a su dedicación y paciencia se logró hacer un trabajo investigativo y de diseño de gran calidad, enseñándome siempre a dar lo mejor de mí en la vida y como profesional.

A todos y cada uno de los ingenieros y docentes que a lo largo de mi carrera estuvieron enseñándome y dedicándome su tiempo para ser un mejor ingeniero, con cualidades éticas profesionales de alta calidad y un gran ser humano, no me queda sino darles mi total agradecimiento, porque en ellos encontré una gran fuente de conocimiento y varios modelos a seguir para ser mejor persona.

Por último quisiera agradecer a MARIA FERNANDA SALCEDO y a su padre, JORGE ABELARDO SALCEDO, que en los últimos años de mi carrera estuvieron siempre apoyándome, acoguéndome en su hogar y motivándome siempre a salir adelante.

DEDICATORIA

A mis abuelos Miguel Gómez y Alia Guzmán

Siempre fueron el motor de mi vida

CONTENIDO

	Pag
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	13
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	14
2. JUSTIFICACIÓN	15
3. OBJETIVOS	16
3.1. OBJETIVO GENERAL	16
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
4. MARCO REFERENCIAL	17
4.1. MARCO HISTORICO	17
4.2. MARCO TEÓRICO	19
4.2.1. Proceso de corte.	19
4.2.2. Variables en la selección del proceso de corte	21
4.2.3. Zonas afectadas termicamente (ZAT)	26
4.2.4. Ecuación de Bernoulli	28
4.2.5. Tipos de abrasivos	30
4.2.6. Bomba hidráulica de mediana presión	35
5. DISEÑO METODOLÓGICO	38
5.1. SELECCIÓN Y MODELACIÓN DE LAS PARTES DE LA MÁQUINA	38
5.1.1. Boquilla y orificio de estrangulación	38

5.1.2. Cabezal de corte	41
5.1.3. Selección de bomba y manguera	43
5.1.4. Selección del sistema de movimiento	45
5.1.5. Selección de estructuras y ensamble	47
5.2. FUERZAS NECESARIAS DE CORTE CON AGUA	50
5.3. VELOCIDAD DEL AGUA Y FUERZA DEL ABRASIVO	54
5.4. SIMULACIÓN, CONDICIONES Y PARAMETROS	57
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
7. CONCLUSIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	76

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Herramientas de corte mecánico más utilizadas en la industria	21
Tabla 2. Diferentes procesos de corte usados en empresas metalmecánicas	25
Tabla 3. Propiedades físicas y químicas de la arena sílice nacional	31
Tabla 4. Propiedades químicas y físicas de la granalla de Acero.	31
Tabla 5. Propiedades físicas del Granate Almandino $\text{Fe}_3 \text{Al}_2 (\text{Si O}_4)$	33
Tabla 6. Propiedades físicas del óxido de aluminio (Al_2O_3)	34
Tabla 7. Propiedades físico-químicas del olivino	34
Tabla 8. Bomba de émbolos vs bombas con intensificador de presión	37
Tabla 9. Propiedades de materiales a cortar	50
Tabla 10. Geometrías y condiciones de frontera de la simulación	60
Tabla 11. Tabla comparativa granito-granate	63

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ancho de corte y ángulo biselado	22
Figura 2. Zonas afectadas térmicamente por aporte de calor.....	27
Figura 3. Variación de diámetro. Ecuación de Bernoulli	29
Figura 4. Bomba de tres émbolos para el corte por chorro de agua	35
Figura 5. Descripción de una bomba con intensificador de presión simple.	36
Figura 6. Anatomía de la cabeza mezcladora de una waterjet.	38
Figura 7. Cabezal de corte u orificio	39
Figura 8. Modelamiento del orificio o tobera	39
Figura 9. Boquilla mezcladora.....	40
Figura 10. Cabezal de corte.....	41
Figura 11. Modelamiento del cabezal de corte	42
Figura 12. Modelamiento ensamble cabezal de corte.....	42
Figura 13. Detalle bomba intensificadora referencia SL-V 15.....	43
Figura 14. Bomba KMT de la línea STREAMLINE™ SL-V 15	44
Figura 15. Manguera de alta presión BPK - Blastopak ParLock Multiespiral	45
Figura 16. Rodamiento CPC 15 y SBR 16 UU.....	46
Figura 17. Guía lineal SBR16 N50.....	46
Figura 18. Ensamble del sistema de transmisión.....	47
Figura 19. Ensamble de la maquina	47
Figura 20. Estructura superior.....	48
Figura 21. Estructura de apoyo superior	49
Figura 22. Movimiento en Z del cabezal de corte	49
Figura 23. Tolla de alimentación del abrasivo.....	49
Figura 24. Tobera de estrangulación	53

Figura 25. Cámara de mezcla agua-abrasivo	54
Figura 26. Volumen de control en el cabezal de corte	57
Figura 27. Mallado de volumen de control de tamaño de 1mm	58
Figura 28. Mallado de volumen de control de tamaño de 0,1 mm	58
Figura 29. Malla de volumen de control con tamaño de 0,001 mm.....	59
Figura 30. Configuración del mallado automático en ANSYS	60
Figura 31. CAD del abrasivo y material a cortar	62
Figura 32. Comportamiento de la velocidad en 0,18 mm de diámetro.....	64
Figura 33. Gráfico de velocidad y presión con diámetro de 0,18 mm.	65
Figura 34. Comportamiento de la velocidad en 0,375 mm de diámetro.....	66
Figura 35. Gráfico de velocidad y presión con diámetro de 0,375 mm.	66
Figura 36. Comportamiento de la velocidad en 0,6 mm de diámetro.....	67
Figura 37. Gráfico de velocidad y presión con diámetro de 0,6 mm.	67
Figura 38. Comportamiento de la velocidad en 0,96 mm de diámetro.....	68
Figura 39. Gráfico de velocidad y presión con diámetro de 0,96 mm.	68
Figura 40. Mezcla de agua y abrasivo	69
Figura 41. Comportamiento de la partícula sólida en la cámara de mezcla.....	70
Figura 42. Deformación del material impactado.....	70
Figura 43. Deformación de la partícula abrasiva.....	71
Figura 44. Grafica de deformación sobre el material base	71
Figura 45. Esfuerzos sobre el material base.....	72
Figura 46. Esfuerzo sobre la partícula abrasiva.....	72
Figura 47. Gráfico de esfuerzo sobre el material base	73

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Conversión de tamaño de malla a micrones

ANEXO B. Criterios de selección del diámetro de orificio de Tobera

ANEXO C. Criterios de diseño y selección de diámetros de boquilla

ANEXO D. Manguera de ultra alta presión BPK Blastopak ParLock Multiespiral.

ANEXO E. Especificaciones Técnicas de la bomba KTM SL-V 15 PLUS

ANEXO F. Tabla de espesores y materiales para la bomba KTM SL-V 15 PLUS

ANEXO G. Proveedores de accesorios y piezas

ANEXO H. Planos de la máquina

RESUMEN

El corte por chorro de agua abrasivo (*AWJC*) es una tecnología moderna que tiene la capacidad de cortar cualquier tipo de material sin producir zonas afectadas térmicamente (*ZAT*). Este proyecto muestra y estudia, por medio de la dinámica de fluidos computacional (*CFD*), el comportamiento del agua y las partículas del abrasivo en el diseño de la máquina, con el fin de demostrar la factibilidad del diseño propuesto. Este análisis usa el modelo turbulencia $k-\epsilon$, así como la configuración de un fluido mezcla y la creación de una partícula sólida de arrastre y de impacto.

El diseño de la máquina se basa en la investigación de múltiples diseños de máquinas y artículos relacionados con la temática, con el fin de seleccionar las medidas y materiales adecuados, apoyándose en piezas estandarizadas de fácil obtención con proveedores y empresas fabricantes nacionales, con el fin de crear una maquina adecuada a las necesidades de pequeñas y medianas industrias.

El resultado del presente estudio demuestra la viabilidad del diseño de la máquina de corte y un óptimo comportamiento de trabajo durante las simulaciones realizadas.

INTRODUCCIÓN

Es conocido que el uso de nuevas tecnologías, así como la mejora en el aprovechamiento de los recursos y la tecnificación va en una constante evolución y crecimiento.¹

De este modo, en la historia de las herramientas de corte, se puede decir que han evolucionado muy poco hasta la llegada de la revolución industrial, donde se presentaban pocos problemas con respecto a los materiales que se mecanizaban en ese entonces (hierro forjado, bronce y fundición gris).

Las máquinas de corte del tipo *Waterjet* incursionan en la industria en 1980 y demuestran que traen beneficios como acabados muy finos y corte en materiales de mayor espesor de los que se podían hacer con anteriores máquinas. Su mayor ventaja es que no produce calor por fricción o por calentamiento del material, cuidando las propiedades mecánicas del material que eran alteradas por el aporte de calor de los anteriores métodos de corte, lo cual evita la creación de las ZAT.²

En 1993, la empresa Flow crea la primera línea comercial de esta tecnología, aumentando la gama de materiales que pueden ser cortados gracias a sus diferentes tipos de abrasivos.³

El método de corte por chorro de agua abrasivo (*Abrasive Waterjet Cutting*) es el método usado actualmente, con mayor eficiencia, en países industrialmente desarrollados, tanto en Europa como Norteamérica, lo cual motiva a incursionar en este tema de investigación, denotando la importancia del proyecto.

¹ KATZ, J. (1986). Desarrollo y crisis de la capacidad tecnológica Latinoamericana: el caso de la industria metalmecánica.

² KRAR, S. F., CHECK, A. F., & SMID, P. (2002). Tecnología de las máquinas-herramienta. Alfaomega.

³ FRANCO, A. F. V., & PAREDES, M. F. (2017). Corte mediante chorro de agua-abrasivo. Síntesis Tecnológica, (1), 36-38.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, los procesos de corte han incursionado en la industria con un mayor grado de importancia, hasta el punto de ser indispensables en casi todas las actividades diarias de las empresas, y no solo en sectores metalmecánicos, sino de toda empresa que requiera la transformación del material para diferentes usos.

En el proceso de elaboración y corte de piezas, ya sea por lote o pedido, las máquinas de corte más tradicionales (como el plasma, laser y oxicorte) usan el aporte de calor para fundir, derretir o evaporar el material. Estas zonas afectadas por el calor presentan procesos o cambios como la oxidación, nitruración, corrosión y corrosión intergranular, fragilización por hidrógeno y temple localizados lo cual hace que sea necesario el uso de operaciones secundarias de mecanizado en muchos casos.

Adicionalmente, como segunda problemática, los lugares de trabajo donde se encuentran ubicadas las industrias y empresas, se ven cada vez más afectados por problemas de presupuesto y/o ubicación, lo cual lleva a la reducción de las máquinas que se pueden emplear dentro de una fábrica, en especial de medianas y pequeñas empresas. Las *waterjet* son en su mayoría máquinas pequeñas o de mucho menor tamaño en comparación con otras máquinas de corte, ya que el diseño de la máquina puede ser adaptable, lo cual permite rediseñar y acoplar a diferentes espacios y medidas, según la necesidad, la presión de bomba y el material de corte que se maneje. A nivel comercial, las pocas empresas especializadas en el campo del diseño y venta de máquinas de corte mediante chorro de agua, utilizan diseños con medidas estandarizadas entre 3 a 6 metros de largo, 2 a 3 metros de profundidad y en su mayoría menos de 2 metros de altura, con lo cual pueden ser adaptadas a cualquier tipo de espacio y necesidad, con el único problema que dentro del país no se ha venido expandido esta nueva tecnología, siendo estos equipos económicamente muy difíciles de adquirir.

2. JUSTIFICACIÓN

Para la implementación de nuevas técnicas de corte, como lo son los cortes en frío, las *waterjet* tienen una gran ventaja ante otras máquinas de corte, como los son un corte limpio, acabado fino y evitar zonas afectadas térmicamente (ZAT) debido al aporte de calor, sin contar con el desarrollo y la tecnificación debido al uso de nuevas tecnologías más versátiles y modernas que esta misma genera en una empresa. Ésta técnica ofrece un incremento en la calidad del proceso, la variedad en los materiales de corte y espesores.

Así mismo, los equipos *waterjet* pueden ser utilizados para el corte de cualquier material, ya que no utilizan un campo conductor o atmósfera ionizada o gas especial para su proceso, puesto que el corte se genera por la erosión a alta velocidad del material, y siendo su calidad y eficacia igual o superior al corte por láser.

El presente trabajo analiza las posibilidades y viabilidad de establecer las especificaciones técnicas de una máquina cortadora de agua de tamaño compacto como herramienta de corte, mediante el cálculo, el diseño y la simulación de los resultados.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Calcular, diseñar y simular una cortadora de agua a presión de tamaño compacto o *waterjet*, la cual demuestre competir con sus similares de mayor tamaño a nivel industrial

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Investigar y recopilar información y estudios científicos enfocados en las nuevas tecnologías de corte y cortes por agua a presión.
- Calcular los parámetros hidráulicos requeridos para realizar el corte de materiales como aceros, metales y plásticos, usados a nivel industrial.
- Diseñar y seleccionar los componentes mecánicos que conformarán la máquina de corte, los materiales adecuados de construcción y su resistencia, las presiones soportadas y la fuerza de corte a manejar.
- Modelar y simular mediante un software de análisis numérico las condiciones reales de trabajo según lo propuesto en planos y diseños.
- Presentar y socializar los resultados y planos de la cortadora de agua o *waterjet*, incluyendo la interpretación de las simulaciones y análisis de viabilidad.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. MARCO HISTORICO

El proceso de corte en materiales no lleva mucho tiempo siendo tecnificado como lo es ahora, ya que solo hasta la revolución industrial hubo una verdadera aceleración para optimizar los procesos de mecanizado, pasando en el siglo XVIII por la madera, que era el material más usado en esa época, el cual usaba herramientas de acero con alto contenido de carbón, para eliminar en forma de viruta porciones de piezas de trabajo.

Para el siguiente siglo, se creó el proceso de oxicorte, una técnica que consiste en la fusión misma del material, el cual se funde a medida que avanza el soplete, volviendo complicado su aplicación en las aleaciones de materiales por su gran aporte de calor.

Por la década de los años 50, ingenieros de la empresa Unión Caribe Corp. crean el corte por plasma, un técnica de corte capaz de cortar en sus inicios placas de acero inoxidable y aluminio de 0,5 pulgadas hasta 6 pulgadas de espesor.

En 1965, surge el corte por láser, técnica capaz de enfocar el haz de un láser en un punto del material hasta alcanzar el punto de fusión. “Los láseres de CO2 convierten la energía eléctrica en luz láser dirigida que puede ser transmitida a grandes distancias. El rayo láser puede ser desviado mediante espejos y enfocado sobre un punto de menos de una décima de milímetro, el cual actúa como una herramienta puntual, logrando alcanzar densidades de potencia capaces de fundir o evaporar prácticamente cualquier material.”⁴ Un 60% de la aplicación del láser está enfocada al corte, en su mayoría de la industria automotriz.

⁴ R, H., & J, F. (2014). Diseño y construcción de una máquina de control numérico por corte CO2 láser de 40 watts para acrílico de hasta 4 mm (Bachelor's thesis, Quito/UIDE/2014).

La tecnología de corte por chorro de agua a presión data del año 1870, cuando los mineros de oro Californianos encuentran la necesidad de remover capas de arena para realizar sus excavaciones. Basándose en una antigua técnica romana de erosión de tierra por gravedad y presión de agua, los mineros descubren que con mangueras y bombas de alta presión y una boquilla de estrangulación es posible remover arena y capas de tierra en diferentes minas, no solo de oro, aumentando la velocidad de remoción y extracción del material⁵. Este uso generó un rudimentario descubrimiento de los efectos de la presión, estancándose en ese único proceso hasta ése entonces. Actualmente es conocido como hidrominería y es de las técnicas más modernas en este campo.

La primera patente comercial del uso de corte por agua a presión surge en la 1933 cuando Paper Patents Company desarrolla una boquilla de corte por chorro de agua a presión para realizar cortes en diagonal sin detener la producción de hoja de papel, bajo la patente US2006499A⁶. Posteriormente y a gran velocidad se introdujeron nuevos avances y patentes en este campo como el corte de formas plásticas por chorro fino de agua (patente US2881503A), cortes de materiales extra duros con chorro de agua a muy alta presión para la industria de la aviación norteamericana (patente US2985050A) en 1958, hasta llegar a cortes de paneles de extrema dureza, tipo panal de miel, usados en la industria aeroespacial, difíciles de procesar bajo métodos tradicionales de corte⁷.

Una falencia que se presentaba en anteriores diseños de waterjets era el no poder cortar materiales de dureza muy alta y mayores espesores con menores presiones, puesto que se llegaron a usar bombas de hasta 100.000 psi para cortar aleaciones de alta dureza de aceros inoxidable. Es así como gracias al equipo del Dr. Mohamed Hashish en 1982 y sus publicaciones de corte moderno por chorro de

⁵ GAUERT, C. D. K., VAN DER WESTHUIZEN, W. A., CLAASEN, J. O., VILJOEN, S., & GROBLER, J. (2013). A progress report on ultra-high-pressure waterjet cutting underground: the future of narrow reef gold and PGE mining. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 113(6), 0-0.

⁶ FOURNESS, C. A., & PEARSON, C. M. (1935). U.S. Patent No. 2,006,499. Washington, DC. Patent and Trademark Office.

⁷ S. A., DOMÍNGUEZ, A. B., SÁNCHEZ, M. C., LÓPEZ, R. L., MAÑAS, J. N., & HOLGUERAS, R. S. Herramientas de corte: desarrollo histórico y futuro

agua abrasivo, se expanden las oportunidades de cortar materiales de muy alta dureza agregando pequeñas partículas de abrasivos, llegando a cortar aceros y hormigón en ese año, ya para 1987 se realizaban cortes de titanio, aluminio, vidrio y piedra, recibiendo así la patente US4648215A por crear las hoy conocidas AWJC⁸ (Abrasive Waterjet Cutter, por sus siglas en ingles).

Desde su patente, se han realizados grandes avances en la técnica de corte por chorro de agua a presión, tanto en el WJC (siglas de Waterjet Cutter) como el AWJC.

En el último año, la empresa Wazer desarrolló la primera waterjet de escritorio, la cual comenzó su preventa en Junio del 2018 y se encontrará disponible a partir de Mayo del 2019 en los países de Canadá y Estados Unidos. Dicho proyecto comenzó un par de años atrás con estudiantes graduados de la UPenn Engineering, donde, actualmente cuenta con características de corte de espesores como aleaciones de aluminio 6061 hasta 12.5 mm, acero 4130 y 1008 hasta 4.5mm, titanio G5 hasta 4.5 mm fibra de carbono hasta 6 mm y diferentes plásticos y cerámicos hasta 12.5 mm⁹, toda una innovación en tecnología.

4.2. MARCO TEÓRICO

4.2.1. Proceso de corte.

Dentro del proceso de corte se pueden encontrar tres tipos de tecnologías principales usadas para este fin, estas pueden tener un principio térmico, abrasivo o mecánico.

4.2.1.1. Corte térmico. Un proceso térmico usa calor para cortar o fundir el material que se está cortando, entre los más comunes se encuentran¹⁰:

⁸ INFANTE, JENKIN, D. R & T. R. LANDIS, VALKYRIE: North American's Mach 3 Superbomber, Specialty Press, 2004.

⁹ Información recolectada de la página oficial de Wazer (<https://shop.wazer.com/pages/specs>) el día 28 de Julio del 2018.

¹⁰ ALTING, L., & BOOTHROYD, G. (1990). Procesos para ingeniería de manufactura. Alfaomega.

- **Oxicorte:** Crea una reacción química entre el oxígeno y el acero que está tan caliente (aproximadamente 982,2 °C) que el metal se ablanda y luego se funde.
- **Plasma:** Usa un gas ionizado a alta temperatura para producir un arco muy caliente y con alta densidad de energía que puede cortar cualquier material conductor.
- **Láser:** Enfoca un haz de luz concentrada de gran energía que calienta y funde el material.

4.2.1.2. Corte erosivo: Un proceso erosivo usa aire, agua u otros agentes naturales para ir retirando un material. El corte por chorro de agua pertenece a esta categoría.

- **Corte por chorro de agua:** Genera un volumen de agua a alta presión que pasa a través de un orificio muy pequeño para crear un flujo de agua a alta velocidad. En aplicaciones solo con agua, este flujo de alta velocidad erosiona el material que se está cortando. En un corte por chorro de agua abrasivo, el flujo de agua a alta velocidad acelera un abrasivo (normalmente granate) que se introduce y se mezcla; esta mezcla de abrasivo y agua acelerado erosiona el material que se está cortando. El corte por chorro de agua abrasivo es necesario para materiales de alta dureza, como metales y piedra.

4.2.1.3. Corte mecánico. Este proceso involucra el uso de fuerzas físicas para cortar un objeto. Ejemplos de este tipo de corte incluyen serrar, cortar por cizalla y taladrar. En la tabla 1 recopilatorio se puede ver algunas máquinas de corte mecánico utilizadas a nivel industrial¹¹.

- **Herramientas mecánicas:** Funcionan colocando el mecanismo de corte, como una hoja, en contacto físico con el objeto que se está cortando.

¹¹ KALPAKJIAN, S., & SCHMID, S. R. (2002). Manufactura, ingeniería y tecnología. Pearson Educación.

4.2.2. Variables en la selección del proceso de corte

4.2.2.1. Tipos de materiales. Determinados procesos solo cortarán algunos materiales en particular. Por ejemplo, el oxicorte solo puede cortar acero al carbono, el plasma solo puede cortar metales conductores eléctricos, mientras que un chorro de agua y un láser pueden cortar varios materiales, como metales, madera, polímeros, etc.

Tabla 1. Herramientas de corte mecánico más utilizadas en la industria

TIPO	USOS	IMAGEN	TIPO	USOS	IMAGEN
Sierra KBS II. Kaltenbach	Cortes iniciales de perfiles, cortes angulares y estampados de perfiles		Taladro BDL. Peddinghaus	Perforado	
Granalladora Sprint. Kaltenbach	Granallado y limpieza de Materia prima inicial		Taladro KDM. Kaltenbach	Perforado y marcado de Perfiles	
Sierra Voortman	Cortes iniciales de perfiles		Sierra KBS I. Kaltenbach	Cortes iniciales de perfiles, cortes angulares y estampados de perfiles	

Fuente: Autor

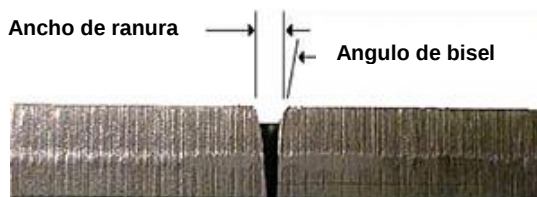
4.2.2.2. Espesor. Ciertos procesos destacan a diferentes espesores. Por lo general, el láser se usa con mayor frecuencia para cortar materiales delgados o de espesores menores a 3 pulgadas; el plasma se usa para un rango intermedio de espesores a materiales más gruesos, por lo general hasta 6 pulgadas; y el oxicorte se usa para mayores espesores y en especial para acero al carbono mucho más gruesos. El corte por chorro de agua a presión puede cortar en todo rango de espesores, ya que el material no es una limitación para este tipo de máquinas.

4.2.2.3. Calidad. Distintas aplicaciones de corte necesitan niveles diferentes de calidad de corte. El acabado es importante porque el borde cortado será visible al comprador de la pieza o producto terminado. En otros casos, la calidad de corte importa debido a su impacto en procesos intermedios, como soldar o pintar. Los cortes listos para soldar reducirán la necesidad de preparación para la soldadura, agilizando la producción y reduciendo los costos de mano de obra. También hay momentos en los que la calidad de corte es de menor importancia, y los operadores pueden optar por sacrificar calidad de corte a cambio de mayor producción. La calidad está determinada por factores como:

- Avance de la máquina de corte.
- Nivel de potencia de la máquina adaptado al espesor del material a cortar.
- Gases (o en el caso de chorro de agua, abrasivos) que se están utilizando.
- Ajustes de la máquina y consumibles de corte adecuados.

La valoración de la calidad se realiza bajo la inspección de los siguientes factores, expresados en la figura 1:

Figura 1. Ancho de corte y ángulo biselado



Fuente: FMA. Evolución del corte con plasma.

4.2.2.4. Productividad. La productividad suele equipararse incorrectamente solo con la velocidad de corte. Aunque es importante, también hay otros factores a considerar:

- Cantidad de tiempo de programación que se requiere.
- Tiempo que se requiere para configurar un trabajo en la máquina de corte.
- Tiempo que se requiere para reparar (o precalentar) el sistema para el corte.
- Cantidad de cabezales de corte que la máquina puede aceptar.
- Eficiencia del software de anidamiento y su capacidad de maximizar el tiempo de corte y reducir avances innecesarios del cabezal de corte.
- Posibilidad de descargar piezas mientras el sistema lleve a cabo el corte
- Capacidad de realizar múltiples procesos en una misma máquina: por ejemplo, cortar contornos, cortar ranuras y orificios interiores y biselar.
- Integración de sistemas para realizar tareas paralelas, por ejemplo, el pre-flujo durante el avance transversal puede mejorar el tiempo de proceso.
- El tiempo que se requiere para operaciones secundarias como rectificar, que puede reducirse o eliminarse al mejorar la calidad de las piezas que salen de la máquina de corte.

4.2.2.5. Costo de mano de obra. También es un factor importante en el costo operativo en la mayor parte del mundo; los salarios cada vez más altos y la falta de mano de obra capacitada continúan impulsando la demanda de soluciones de corte automatizadas. Para mejorar aún más los costos operativos, se consideran las soluciones completamente automatizadas que pueda reducir o eliminar:

- La necesidad de programar y configurar en el CNC.
- Las operaciones secundarias, como la rectificación para realizar trabajos de soldadura.

- Los requerimientos de más de una máquina para realizar operaciones de múltiples procesos, como cortar, marcar y biselar.

4.2.2.6. Costo material. Es otro factor importante que contribuye al costo operativo. Aunque en muchos casos es posible recuperar una parte del costo vendiendo materiales no utilizados o de desecho, es mucho más ventajoso aumentar la utilización de dicho material para que haya menos desperdicios. Varios factores contribuyen a la utilización del material, principalmente el software CAD/CAM, que determina la forma de la pieza y dirige el movimiento de corte. Al calcular el costo operativo, es importante evitar basarse únicamente en el costo por hora.

4.2.2.7. Condiciones medio/ambientales. Cada vez más empresas en todo el mundo están estableciendo metas de reducir el impacto ambiental, y el costo, de sus operaciones, en pro de la responsabilidad social y la conciencia medio ambiental¹². Para muchas, reducir el consumo energético y los desechos de materiales representa formas de reducir el impacto ambiental y reducir los costos operativos. Los sistemas de corte modernos de alta eficacia y con software CAD/CAM avanzado, pueden proporcionar ventajas considerables. Utilizar sistemas de bucle cerrado para reciclar agua y abrasivos en el corte por chorro de agua también puede reducir los costos ambientales y operativos. Además, los equipos que se pueden actualizar, vender o reciclar fácilmente pueden ayudar a reducir los costos totales de ciclo de vida del producto.

A continuación, como se muestra en la Tabla 2, se hace una comparativa entre los diferentes procesos de corte usados en empresas metalmecánicas y de transformación de material y materia, que se usan en mayor medida en el campo industrial.

¹² MORENO, L., & FERNANDO, F. (2005). La empresa ambientalmente responsable. Una visión de futuro. *Economía*, (21).

Tabla 2. Diferentes procesos de corte usados en empresas metalmecánicas

Proceso de corte	<u>Chorro de agua</u>	<u>Láser</u>	<u>Plasma</u>		<u>Oxicorte</u>	<u>Otras herramientas mecánicas</u> (<u>sierra, cizalla, etc.</u>)
			<u>Plasma convencional</u>	<u>Plasma de alto rendimiento</u>		
<u>Materiales</u>	Rango de materiales	Metal, madera, plástico, espuma, materiales	La mayoría de los metales conductores eléctricos	La mayoría de los metales conductores eléctricos	Acero al carbono	Metal, madera, plástico
<u>Espesor</u>	Rango de espesores	Tradicionalmente se usa en materiales más delgados, pero puede cortar hasta 31,75 mm (1-1/4 pulg.)	Hasta 76,20 mm (3 pulg.) manualmente Hasta 31,75 mm (1-1/4 pulg.) en perforación mecanizada	Hasta 76,20 mm (3 pulg.) (acero al carbono) Hasta 152,40 mm (6 pulg.) (acero inoxidable)	Rango de espesores	Típicamente hasta 2,54 mm (1 pulg.)
<u>Calidad de corte</u>	Calidad excelente con tolerancias altas	Calidad excelente con tolerancias altas	Calidad buena, puede requerir algunas operaciones secundarias	Calidad muy buena, prácticamente sin escoria	Va de calidad deficiente a muy deficiente dependiendo de la habilidad del operador	Calidad muy buena si el operador tiene buena habilidad y usa velocidades de corte bajas
<u>Productividad</u>	Baja a alta, dependiendo del material	Productividad alta en materiales más delgados	Media	Media a alta, dependiendo del espesor del material	Baja, pero se puede mejorar operando múltiples antorchas simultáneamente	Baja
<u>Velocidad</u>	Baja a alta, dependiendo del material	Velocidades de corte altas para materiales más delgados, velocidades de corte bajas para materiales más gruesos	Media	Velocidades de corte altas	Velocidades de corte lentas, múltiples antorchas pueden ayudar a aumentar la productividad	Velocidades de corte lentas
<u>Operaciones secundarias</u>			A veces es necesario esmerilar	De vez en cuando se necesita retirar la escoria	Casi siempre es necesario esmerilar y retirar el óxido de la superficie	Casi siempre es necesario lijar o esmerilar
<u>Portátil</u>	No	No	Sí (solo sistemas de plasma aire)	No	Sí	Sí
<u>Zona afectada por calor</u>	Ninguna	Sí	Sí	Sí	Sí	Posiblemente

Fuente: Autor

El primero de los cortes térmicos, el oxicorte, tradicionalmente empleado por la industria, se basa en la formación de óxidos de hierro, que al presentar puntos de fusión inferiores al del material base, son arrastrados por el impacto de un chorro de oxígeno a alta presión. El corte con plasma, en cambio, consigue la fusión del material al alcanzar temperaturas de hasta 30.000° C mediante el arco eléctrico formado entre la pieza y el elemento de corte. Por último, el corte con láser consigue la fusión del material gracias a la concentración de un haz con elevada densidad de energía en un punto sobre o inmediatamente bajo la superficie del material¹³

4.2.3. Zonas afectadas termicamente (ZAT)

Los cortes térmicos, ya mencionados en la sección 4.2.1., tienen grandes ventajas como la versatilidad y la elevada capacidad de producción que permiten alcanzar. Sin embargo, las altas temperaturas generadas y/o utilizadas para poder completar el proceso de corte producen cambios en el material, afectándolo especialmente frente a cargas dinámicas, reduciendo la vida útil del material.

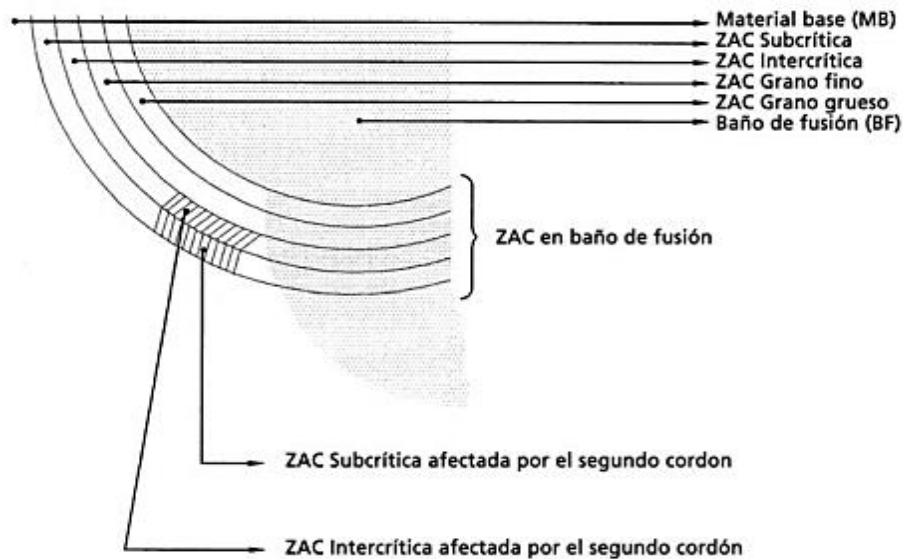
La ZAT no es simplemente un cambio de color del material a colores brillantes, sino que, estos colores indican la oxidación de la superficie y la temperatura que pudo alcanzar la zona que van desde amarillo claro (290 °C) hasta azul oscuro (600°C), según el material.¹⁴ Las ZAT, según su profundidad y sector, tienen una clasificación y una afectación en esa área, como se ve en la figura 2.

El corte por láser aplica calor en áreas restringidas y con gran rapidez, lo que lo hace entre los sistemas de cortes térmicos el que genera menos influencia térmica; por el contrario, el oxicorte, debido a su gran calor, baja velocidad y amplitud de chorro, produce una ZAT más amplia y extensa.

¹³ ANDRÉS, D., GARCÍA, T., CICERO, S., LACALLE, R., ÁLVAREZ, J. A., MARTÍN-MEIZOSO, A., & ALDAZÁBAL, J. (2015). Evaluación de las propiedades de tracción mediante ensayos Small Punch en la zona afectada por los cortes térmicos. In *Anales de Mecánica de la Fractura* (Vol. 32, pp. 593-598).

¹⁴ MEURLING, F., MELANDER, A., LINDER, J., LARSSON, M., "The influence of mechanical and laser cutting on the fatigue strengths of carbon and stainless sheet steels" *Scand J Metall*, vol. 30, no. 5, pp. 309-319

Figura 2. Zonas afectadas térmicamente por aporte de calor.



Fuente: Revista Metalúrgica. Procesos metalúrgicos de aceros microaleados de alta resistencia 450 EMZ tipo II en la zona afectada térmicamente.

Según varias empresas de corte por aporte de calor y soldadura, los efectos más usuales y notorios causados por las ZAT son¹⁵:

- Oxidación: Responsable de las bandas de colores.
- Nitruración de la superficie: La que aumenta la dureza del metal y disminuye la soldabilidad.
- Corrosión resultante de la sensibilización del acero inoxidable: El calor hace reaccionar el carbono con el cromo, generando carburos que precipitan en los bordes de los granos.
- Fragilización por hidrógeno: El gas se filtra dentro del metal y ejerce una fuerte presión intergranular, debilitándolo. Si el hidrógeno no se elimina en un corto

¹⁵ Recuperado de la página <https://www.gasparini.com/es/blog/que-es-zat-zona-afectada-termicamente/> el 05 de Marzo 2019

período de tiempo, puede producirse grietas espontáneas, incluso 24 horas después del calentamiento.

- Temple localizado: Bajo ciertas circunstancias, el acero inoxidable austenítico puede llegar a ser martensítico, aumentando su dureza y al mismo tiempo su fragilidad. En otros casos, el metal calentado puede someterse a un debilitamiento.

4.2.4. Ecuación de Bernoulli

En dinámica de fluidos, el principio de Bernoulli, también denominado ecuación de Bernoulli o trinomio de Bernoulli, describe el comportamiento de un líquido moviéndose a lo largo de una corriente de agua. Fue expuesto por Daniel Bernoulli en su obra Hidrodinámica (1738) y expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee permanece constante a lo largo de su recorrido.

Cuando el gradiente de velocidad es bajo, la fuerza de inercia es mayor que la de fricción, las partículas se desplazan pero no rotan, o lo hacen pero con muy poca energía, el resultado final es un movimiento en el cual las partículas siguen trayectorias definidas, y todas las partículas que pasan por un punto en el campo del flujo siguen la misma trayectoria. Este tipo de flujo fue identificado por O. Reynolds y se denomina “laminar”, queriendo significar con ello que las partículas se desplazan en forma de capas o láminas.¹⁶

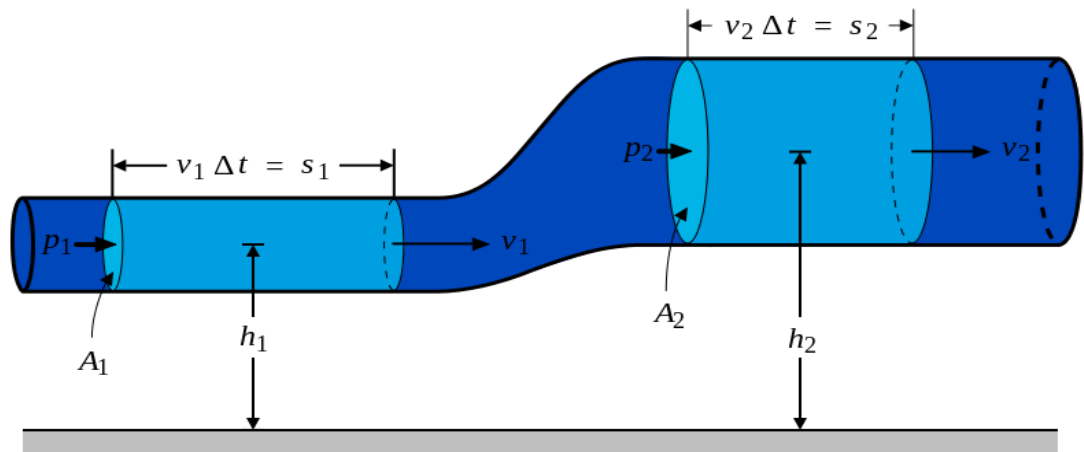
Al aumentar el gradiente de velocidad se incrementa la fricción entre partículas vecinas al fluido, y estas adquieren una energía de rotación apreciable, la viscosidad pierde su efecto, y debido a la rotación las partículas cambian de trayectoria. Al

¹⁶ MATAIX, C. (1982). Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. Oxford University Press.

pasar de unas trayectorias a otras, las partículas chocan entre sí y cambian de rumbo en forma errática. Éste tipo de flujo se denomina "turbulento".

En pocas palabras, la ecuación de Bernoulli y la ecuación de continuidad dicen que, si reducimos el área transversal de una tubería para que aumente la velocidad del fluido, se reducirá la presión y viceversa¹⁷, como se muestra en la figura 3.

Figura 3. Variación de diámetro. Ecuación de Bernoulli



$$\frac{P_1}{\gamma_{\text{agua}}} + H_1 + \frac{V_1^2}{2 \times g} = \frac{P_2}{\gamma_{\text{agua}}} + H_2 + \frac{V_2^2}{2 \times g}$$

V = velocidad del fluido en la sección considerada

γ = peso específico del agua (ρg)

P = presión a lo largo de la línea de corriente

g = aceleración gravitatoria

Fuente: Plataforma e-ducativa aragonesa. Ecuación de Bernoulli

¹⁷ SHAMES, I. H., MONEVA, J. M., & CRUSELLS, S. P. (1967). La mecánica de los fluidos (Vol. 2). McGraw-Hill.

4.2.5. Tipos de abrasivos

A nivel industrial se usan diferentes tipos de abrasivos como sintéticos, minerales, composiciones químicas, metales triturados, etc; sin embargo, cinco tipos de abrasivos son los más usados:

- Arena Sílice
- Granalla de Acero
- Granate
- Oxido de aluminio
- Olivino

4.2.5.1. Arena de Sílice: También conocida como arena de cuarzo o arena industrial, la arena de sílice es un componente importante de una variedad de usos industriales y de construcción. El uso de la arena de sílice está determinado por su estructura y propiedades físicas. Por ejemplo, la composición química de la arena de sílice es muy relevante cuando se usa en la fabricación de vidrio, mientras que la dureza del grano constituye una faceta importante cuando la arena se utiliza para fines de chorreado de arena.

La arena de cuarzo es un material sólido, inodoro y de color blanquecino, gris o marrón claro, dependiendo de su procedencia. La que habitualmente se maneja en el chorreado tiene un contenido de sílice cristalina de aproximadamente un 95 a 99 %, el resto son pequeñas cantidades de otros minerales, generalmente en forma de óxidos.

En Colombia “se produce arena de sílice por Industria de minerales INDUMIN LTDA Sogamoso – Boyacá. Con planta Ubicada en el km 13 vía Sogamoso (Puente Reyes/Gámeza). Lavada, secada y clasificada según granulometría definida, con condiciones de esfericidad que permite una adecuada porosidad y permeabilidad al fluido. Este tipo de arena es utilizada para la fabricación de vidrio, Moldes para

fundición, *sandblasting*, abrasivos y como arena para fracturas hidráulicas.”¹⁸ Sus propiedades se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Propiedades físicas y químicas de la arena sílice nacional

PROPIEDADES FÍSICAS		PROPIEDADES QUÍMICAS (%)	
Gravedad Específica (g/cm ³)	2,63	SiO ₂	99,86
Densidad Aparente (g/cm ³)	1,50	Na ₂ O	<0,01
(%) Humedad	0,02	K ₂ O	0,01
		Al ₂ O ₃	0,16
		TiO ₂	0,04
		Fe ₂ O ₃	0,09
		CaO	<0,01
		MgO	<0,10
		PERD. X CALC	0,15

Fuente: Catalogo de Indumin Ltda. Arena Sílice

4.2.5.2. Granalla de Acero: Es un abrasivo que se obtiene del acero a través de proceso de fusión con composiciones químicas controladas. Del proceso primario de fabricación se obtienen partículas redondeadas que constituyen las granallas de acero esféricas (*shot*). Estas partículas en el estado de mayor diámetro se parten formando así la granalla de acero angular (*grit*). Este material posee propiedades de alta dureza como se observa en la tabla 4.

Tabla 4. Propiedades químicas y físicas de la granalla de Acero.

PROPIEDADES FÍSICAS		PROPIEDADES QUÍMICAS	
Características		Composición Química	
Dureza	513 HV	C	0,85 – 1,20 %
Color	Acero	Mn	0,60 – 1,20 %
Densidad	7,4 g/cm ³	Si	0,40 – 1,50 %
Forma	esférica o angular	S	0,05 %
		P	0,05 %

Fuente: Abrasivos y maquinaria, S.A.: Granalla de Acero

¹⁸ CRISTANCHO SANCHEZ, L. D. (2018). Efecto de la Redondez de la Arena Sobre el Desgaste Abrasivo A 3 Cuerpos Según la Norma Astm G65.

Según CYM Materiales¹⁹, proveedores de abrasivos en Argentina, “Este abrasivo, puede ser seleccionado de acuerdo al trabajo a realizar, no solo por el tamaño de la partícula, uniforme en todas ellas, sino la dureza en determinados rangos. Es altamente reciclable, pudiendo ser proyectado desde 700 a 5000 veces conforme al diámetro, tipo y dureza de abrasivo utilizado. Al ser partículas de acero templado y revenido no provocan ningún problema de contaminación en la superficie de trabajo.”

4.2.5.3. Granate: El granate es un mineral natural químicamente inerte y no metálico de alta dureza que lo hace ser apreciado como abrasivo. Dada su alta densidad y resistencia es un producto adecuado para la filtración y el corte con agua a presión.

Para el mecanizado por chorro de agua abrasivo, la cantidad y carácter de las partículas llegan a ser parte importante de la ecuación de productividad donde el abrasivo realiza el 90 % del corte. El granate (*garnet*) es el abrasivo más usualmente aplicado con los tamaños de malla (*mesh*) que van del 36 al 150 (36, 46, 54, 60, 70, 80, 90, 100, 120 y 150).²⁰

Algunas ventajas del granate son:

- Muy baja generación de polvo, lo que facilita el chorreado, es más seguro para los trabajadores e ideal para su utilización en espacios confinados.
- Alta reutilización, de 5 a 10 ciclos de uso.
- Alta dureza.
- Muy baja transferencia de material al sustrato a limpiar.
- Eficiente y rápido.
- Baja degradación en tamaño.

¹⁹ Recuperado de la página web <https://cym.com.ar/informes/abrasivos-granalla-de-acero-sablaciel/> el 4 de Abril de 2019

²⁰ ESPARZA HURTADO, R. F. (2004). Diseño de una máquina de corte de chapas de acero inoxidable por chorro de agua y abrasivos (Bachelor's thesis).

El granate Almandino es el más usado (por no decir que el único) a nivel industrial para procesos de corte y abrasivos de limpieza, en el caso del *sandblasting*, y posee propiedades como se observan en la tabla 5

Tabla 5. Propiedades físicas del Granate Almandino $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)$

Propiedades Físicas del Granate	
Dureza	1336 HV (7,5 (Mohs))
Densidad	4,05 (+.25, -.12) g/cm ³
Índice de refracción	1.790 (+/- .030)
Gravedad específica	3.93 – 4.30
Peso Molecular	497,75 g/mol
Peso específico	4,1 g/cm ³

Fuente: Museo mineralogía Universidad Autónoma de Madrid. Granate almandino

4.2.5.4. Óxido de Aluminio: También conocido como alúmina (Al_2O_3) es una sustancia cristalina sintética producida a partir de la bauxita, mineral natural.

El óxido de aluminio tiene la particularidad de ser más duro que el aluminio y con un punto de fusión de 2345,1 K, mucho mayor al aluminio, el cual es de 933,1 K. Así mismo, posee propiedades como gran dureza, como se muestra en la Tabla 6, las cuales lo hacen un excelente abrasivo para usos como acabado, pulido, mecanizado, corte, etc.²¹

Aunque posee propiedades muy buenas, su densidad y masa molar no le permite un uso adecuado para máquinas del tipo waterjet, al compararla con otros abrasivos que poseen mayor masa, como el granate.

²¹ LEVIN, I., & BRANDON, D. (1998). Metastable alumina polymorphs: crystal structures and transition sequences. Journal of the American Ceramic Society, 81(8), 1995-2012.

Tabla 6. Propiedades físicas del óxido de aluminio (Al₂O₃)

Propiedades Físicas del Óxido de Aluminio	
Densidad	3,961-4,051 g/cm ³
Masa molar	101,96 g/mol
Dureza	1500-1650 HV (7,5 – 8,0 Mohs)
Módulo de elasticidad	300-400 Gpa

Fuente: Revista de la Sociedad Americana de Cerámica: polimorfos de alúmina metaestable: Estructuras cristalinas y secuencias de transición.

Para CYM Materiales, “la dureza y las aristas vivas de las partículas de óxido de aluminio lo convierten en un abrasivo agresivo. Conforme la forma de uso, material a granallar, etc. Este abrasivo puede ser reciclado entre 10 hasta 40 veces.”²²

4.2.5.5. Olivino: Es uno de los primeros minerales que se forman al cristalizar un magma. Las variedades ricas en magnesio (forsterita) aparecen en rocas ultra básicas y en lamproitas, mientras que el término rico en hierro (fayalita) es más común en rocas carbonatadas metamórficas, en la Tabla 7 se muestran algunas de las propiedades físico-químicas del olivino.

Tabla 7. Propiedades físico-químicas del olivino

Propiedades Físicas		Propiedades Químicas	
Dureza	500-800 HV (6,5 – 7,0 Mohs)	Composición Química	
Densidad Específica	3,3 g/cm ³	MgO	48,80 – 49,70 %
Densidad aparente	1,7 g/cm ³	SiO ₂	41,50 – 41,90 %
Conductividad	Menor a 15mS/m	Fe ₂ O ₃	7,30 – 7,60 %
Solubilidad en agua	Menor al 0,001%	Al ₂ O ₃	0,40 – 0,50 %
		Cr ₂ O ₃	0,31 – 0,66 %

Fuente: Eurogrit. Olivino

²² CYM MATERIALES SA. Estudio comparativo de Costo-Rendimiento entre Granalla de Acero y Óxido de Aluminio

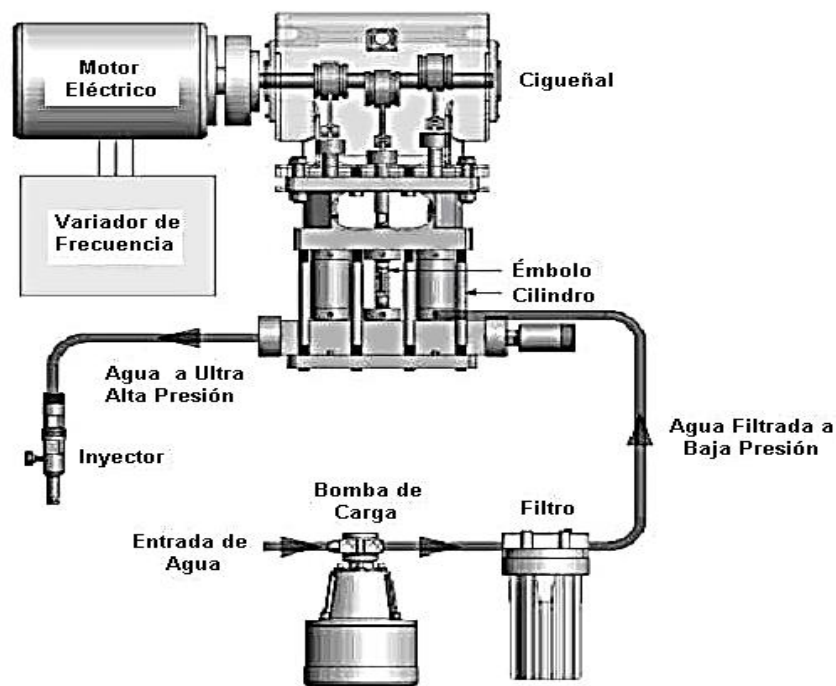
4.2.6. Bomba hidráulica de mediana presión

Un equipo de corte de esta clase requiere necesariamente el uso de una bomba hidráulica de mediana presión con flujos continuos a presiones constantes, por lo cual, en el campo comercial, es muy común el uso de bombas de desplazamiento positivo, también conocidas como bombas de potencia.

Una bomba de potencia o de émbolos, es una máquina alternativa de velocidad constante, par motor constante y caudal aproximadamente constante (dependiendo de su diseño), cuyos émbolos o pistones se mueven por medio de un cigüeñal, a través de una fuente motriz externa, logrando ofrecer presiones de hasta 344 MPa.

La presión desarrollada por la bomba es proporcional a la potencia disponible en el cigüeñal, y puede ser mayor que el rango del sistema de descarga o bomba, como se puede ver en la figura 4

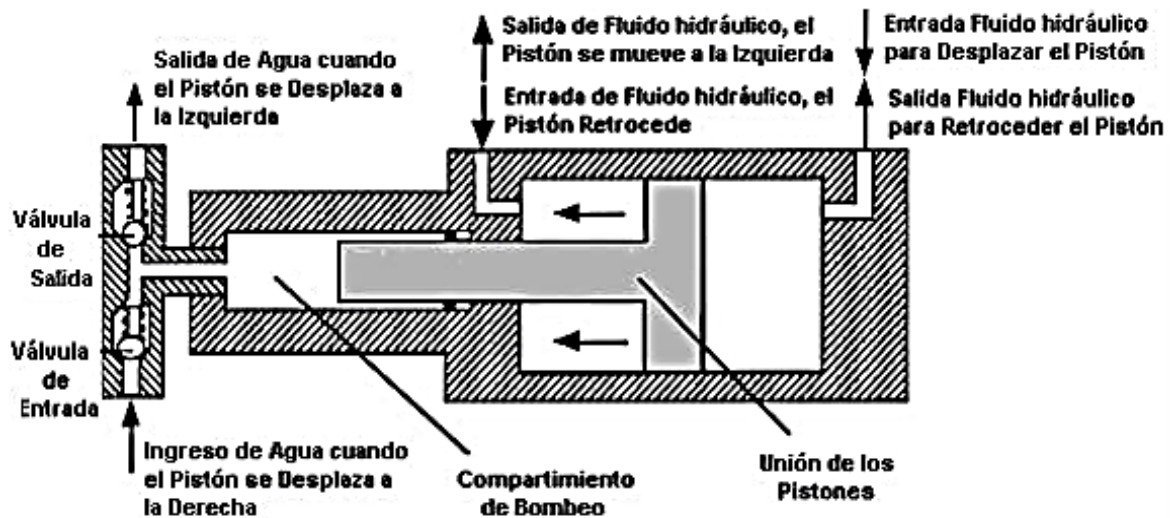
Figura 4. Bomba de tres émbolos para el corte por chorro de agua



Fuente: OMAX Corporation-USA. Funcionamiento bomba de émbolos en una waterjet.

Otra alternativa común, usada en la industria del corte por chorro de agua a presión son los intensificadores de presión o multiplicadores de presión, los cuales constan generalmente de dos cilindros con distintos diámetros internos, y un pistón con igual diferencia de diámetros, como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Descripción de una bomba con intensificador de presión simple.



Fuente: Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Richardson-Texas, USA. Intensificador Simple.

La ventaja principal del intensificador es la capacidad de hacer funcionar máquinas múltiples con una sola bomba. Los intensificadores son capaces de mantener una salida de presión constante en una máquina cuando un inyector en otra máquina es cambiado de posición; mientras que la ventaja principal de la bomba de impulsión directa con cigüeñal, es que proporciona más energía de corte por unidad de costo, y es por lo tanto más barata de adquirir y de mantener. La tabla 8 muestra una comparativa entre ambos tipos de bombas.

Tabla 8. Bomba de émbolos vs bombas con intensificador de presión

Característica	Bomba	Intensificador
Eficiencia	80 a el 95%	60-70%
Uso del agua	Buena	Pobre (se requiere agua adicional para enfriar). Sobre 3 veces la cantidad de las bombas de émbolo.
Nivel de ruido (sin blindaje de ruido)	Medio	Ruidoso
Presión de Funcionamiento	240Mpa-380Mpa (en últimos diseños)	275Mpa a sobre 413Mpa
Facilidad del mantenimiento	Fácil a medio	Medio
Corte velocidad	Similar al reforzador (más rápido para motores a igual potencia)	Similar a la bomba
Consistencia de Presión	Excelente	Pobres a bueno
Costo de Piezas	Bajo	Alto
Costo en energía eléctrica.	Bajo	Mucho más alto

Fuente: Waterjet Web Reference, USA. Comparativa bombas para waterjet.

A pesar de que las bombas de alta presión tienen una mejor eficacia del uso del agua, una mayor facilidad de mantenimiento y un costo de mantenimiento económicamente inferior, las presiones requeridas no son las idóneas o necesarias para este tipo de máquinas, por lo cual, la mayoría de máquinas de corte de este tipo utiliza bombas intensificadoras de muy alta presión, a pesar de sus elevados costos de adquisición y consumo de agua.

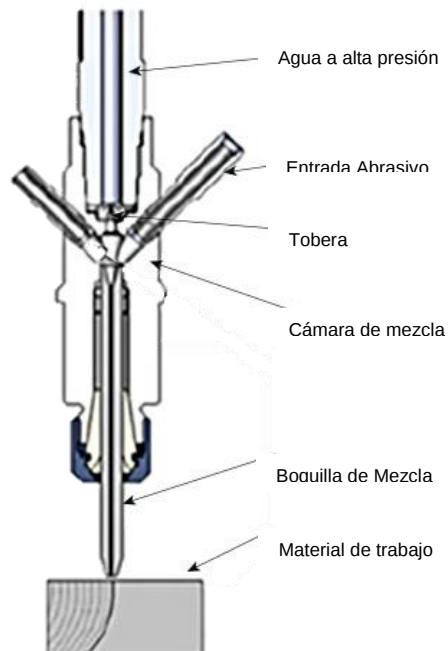
5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1. SELECCIÓN Y MODELACIÓN DE LAS PARTES DE LA MÁQUINA

5.1.1. Boquilla y orificio de estrangulación

El mayor nivel de importancia en una waterjet se encuentra en su cabeza de corte o mezcladora, ya que en sí misma, se encuentran colocadas la tobera y la boquilla, como se ve en la figura 6.

Figura 6. Anatomía de la cabeza mezcladora de una waterjet.



Fuente: FlowBlog. Impacto del tamaño de grano en el corte por chorro de agua abrasivo

La tobera u orificio de estrangulación, es donde la presión acelera el flujo de agua al pasar por un pequeño orificio como se muestra en la figura 7. Estos orificios están

hechos de material extremadamente duro, como diamante, zafiro o rubí. Este paso convierte la corriente de agua de alta presión a una corriente de alta velocidad²³,

Los diámetros de orificio van desde 0,003" (0,08mm) hasta 0,045" (1,143mm) según el fabricante. Cuanto más grande es el orificio mayor cantidad de agua y potencia que se requiere para mantener la presión constante. Su selección está ligada al caudal y presión de bomba, como lo muestra el Anexo B.

Figura 7. Cabezal de corte u orificio

Escala de la Imagen 2:1

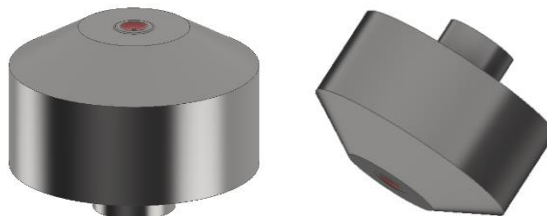


Fuente: Catalogo comercial virtual de Alibaba. Orificios de corte para waterjet

Las medidas de la tobera u orificio de estrangulación se basan en normas que definen la dureza y forma de la misma, pero variables en dimensiones según su proveedor. Así mismo, se contó con una parte experimental con la que se logró tomar medidas manualmente de la pieza. El resultado del modelamiento se muestra en la figura 8 y las medidas de la misma se encuentran en el anexo H de los planos de la máquina.

Figura 8. Modelamiento del orificio o tobera

Escala de la Imagen 4:1



Fuente: Autor

²³ Recuperado de <https://www.flowwaterjet.es/Recursos-es/Diccionario> el 14/11/18

A continuación, dentro del cabezal de corte, otra pieza importante de la máquina es la boquilla mezcladora, la cual posee unos estándares de medidas de diámetros y longitudes, como se muestra en el Anexo C.

El tubo de mezcla puede tener un diámetro interior de entre 0,38 y 1,8 mm y una longitud de entre 38 y 152 mm. El tubo de mezcla más común tiene un diámetro interior de 1 mm y una longitud de 100 mm. Este tubo utilizaría típicamente abrasivo de grano 80.

Durante el corte, un tubo de mezcla de un material de alta dureza (carburo compuesto de grano nanométrico de alta resistencia a la erosión) se desgasta hasta ensancharse aproximadamente 0,025 mm por cada 6 u 8 horas de tiempo de funcionamiento.²⁴

El diseño de la pieza se realizó con los tamaños disponibles a nivel comercial y los criterios de selección de diámetros y medidas del Anexo C. A continuación, la figura 9 a y 9 b muestran la imagen de las boquillas de corte utilizadas en la industria y propuestas por el autor respectivamente,

Figura 9. Boquilla mezcladora



a. Fuente: Waterjet Supplies África. Boquilla Mezcladora

b. Fuente: Autor

²⁴ Recuperado de la página web <https://www.flowwaterjet.es/Recursos-es/Diccionario> el 14/11/18

5.1.2. Cabezal de corte

En el cabezal de corte se tiene una sección llamada cámara de mezcla, en la cual el abrasivo es introducido para realizar una mezcla que se acelere las partículas sólidas del abrasivo. El modelado de la pieza se realizó bajo un escalamiento de imágenes reales, diseños y planos de cortes transversales de diferentes literaturas y autores²⁵ ²⁶ y catálogos comerciales²⁷. Las figuras 10 y 11 muestran la cabeza de mezcla del fabricante y el modelamiento realizado por el autor, respectivamente.

Figura 10. Cabezal de corte



Fuente: Waterjet Supplies Africa. Cabeza de Mezcla para Waterjet

El ensamble de la cabeza con la tobera, la boquilla y los tubos de ingreso del abrasivo se puede ver en la figura 12. El aseguramiento de la boquilla se hace mediante una tuerca y un empaque metálico que trabaja bajo la presión del cierre de la rosca, mientras que el ingreso del agua se hace por la parte superior, con una tubería en acero lo suficientemente gruesa para soportar la alta presión. El conjunto de piezas ensambladas lleva por nombre cabezal de corte y es el ensamble más importante de la máquina puesto que en ella se generará la velocidad necesaria con la cual la partícula impactará el material a cortar

²⁵ KAMARUDIN, NH, RAO, AP, Y AZHARI, A. (2016, febrero). Modelado por erosión basado en CFD de una boquilla de chorro de agua abrasiva utilizando el método de fase discreta. En la serie de conferencias IOP: Ciencia e Ingeniería de Materiales (Vol. 114, No. 1, p. 012016). Publicación de IOP.

²⁶ AHMADI-BROOGHANI, SY, HASSANZADEH, H., Y KAHHAL, P. (2007). Modelado del impacto de una sola partícula en el mecanizado con chorro de agua abrasivo Int J Mech Sys Sci Eng , 1 (4).

²⁷ Recuperado de página https://www.metalia.es/data/empresas/TCICutting_Agua/pdf/TCI_catalogo_agua.pdf el 06/04/2019

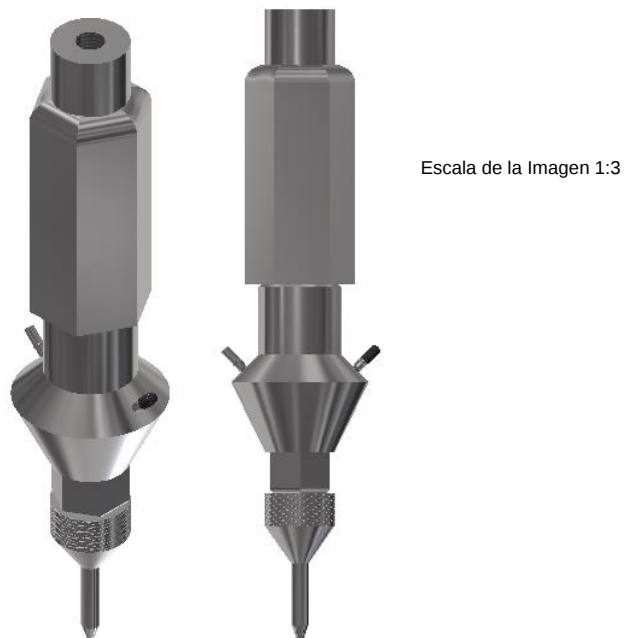
Figura 11. Modelamiento del cabezal de corte



Fuente: Autor

Las medidas del cabezal de corte se pueden observar a detalles en el anexo H de los planos de la máquina, los cuales poseen detalles de corte medio y sus medidas internas de diámetros.

Figura 12. Modelamiento ensamble cabezal de corte



Fuente: Autor

El acople superior con rosca hembra de 3/8" es para el acople de la manguera de alta presión, la cual posee unión en rosca macho.

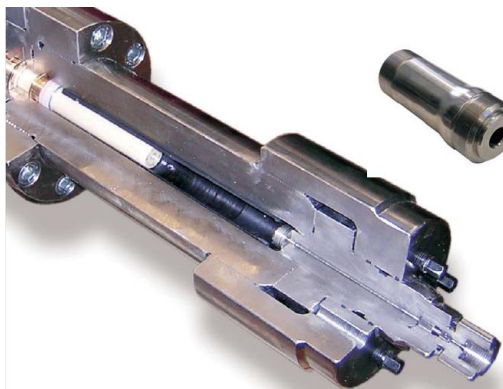
5.1.3. Selección de bomba y manguera

Para el diseño de la máquina se seleccionó una bomba de la marca KMT de 60000 psi de presión de diseño, la cual pertenece a la línea STREAMLINE™, diseñadas exclusivamente para máquinas de corte por chorro de agua a presión (ver todas las especificaciones en el anexo E).

Como criterio de selección se tubo encuentra el enfoque a pequeñas y medianas empresas de la industria manufacturera, así como la restricción de obtener un tamaño compacto y de menor consumo energético, por lo cual, se escoge la bomba STREAMLINE™ SL-V 15, capaz de usarse a 55000 psi para trabajar con un flujo de 0,3 gpm, con todas sus medidas de alto, ancho y largo inferiores a 1,5 m.

En la figura 13, se ve una imagen en detalle de su sistema de funcionamiento principal o bomba intensificadora, capaz de crear estas presiones extremadamente elevadas; así como en la figura 14, la bomba completa, con su intensificador en la parte superior.

Figura 13. Detalle bomba intensificadora referencia SL-V 15



Fuente: KMT. Catalogo comercial STREAMLINE™

Figura 14. Bomba KMT de la línea STREAMLINE™ SL-V 15



Fuente: KMT. Catalogo comercial STREAMLINE™

La manguera de alta presión BPK Blastopak ParLock Multiespiral, la cual se encuentra certificada para altísimas presiones de trabajo, se selecciona bajo el criterio de poder soportar la presión de trabajo de la bomba que es de 3000 psi en el sistema hidráulico.

Esta manguera de goma sintética cuenta con refuerzos de espirales de alambre de acero, como se ve en la figura 15; con una presión de trabajo hidráulico de 8100 psi y 32400 psi como la máxima presión para el estallido. Sus características completas se pueden observar en el Anexo D, el cual hace parte del catálogo comercial de Central de Mangueras S.A., empresa nacional.

Figura 15. Manguera de alta presión BPK - Blastopak ParLock Multiespiral



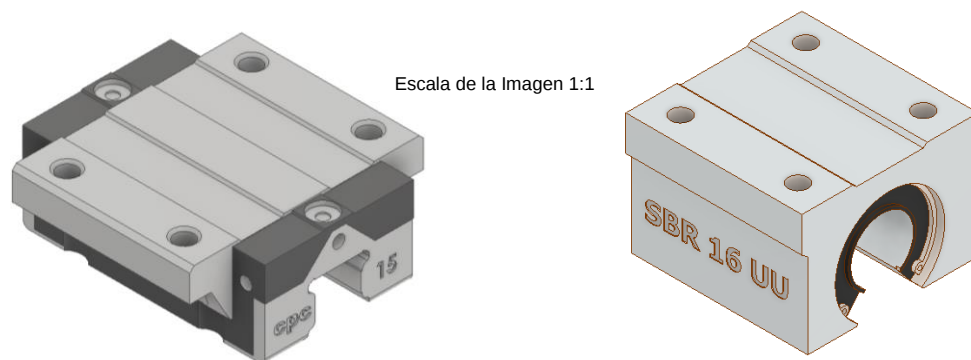
Fuente: Central de Mangueras S.A., Guía Rápida de mangueras de alta presión

5.1.4. Selección del sistema de movimiento

El patín o rodamiento rígido de bolas de guía lineal SBR 16 UU es comercializado en muchas empresas del país, dando una precisión muy buena en mecanismos como impresoras 3D y equipos de corte láser de tamaño compacto por CNC.

Este rodamiento cuenta con un bajo costo en el mercado ya que algunos de mayor precisión, como el rodamiento axial de rodillos cilíndricos CPC 15, tipo cola de milano, aunque son de muy alta precisión y efectividad, tiene un costo mucho mayor a los convencionales. La figura 18 esquematiza los rodamientos CPC 15 y SBR 16

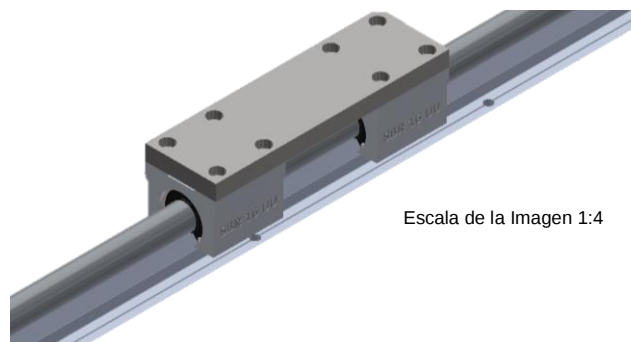
Figura 16. Rodamiento CPC 15 y SBR 16 UU



Fuente: GrabCad

El sistema cuenta con guías lineales SBR16 N50, como se ve en la figura 17, ubicadas en la estructura inferior de los perfiles de acero y otras dos en los laterales del perfil de aluminio extruido de la estructura superior.

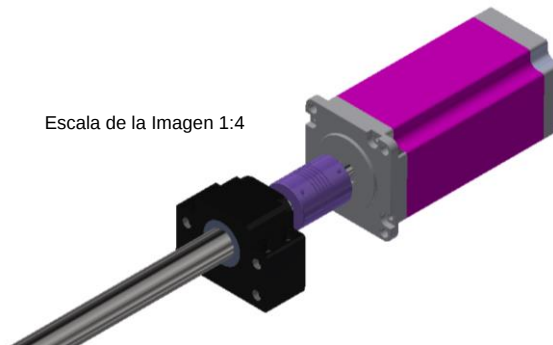
Figura 17. Guía lineal SBR16 N50



Fuente: Autor

La sección motriz y de transmisión de movimiento, se utilizó un eje roscado (o tornillo con tuerca) de 16 mm x 10 mm de referencia BSFU1610-1150-FS y BSFU1610-1550-FS con unidades de soportes de huesillos de bolas BK12 de lado fijo y BF12 de lado flotante. El motor de transmisión paso a paso es de referencia NEMA y un acople de motor flexible DR1-C-25X30-10X6, como se muestra en la figura 18, todo sobre un soporte de motor NEMA23-MB.

Figura 18. Ensamble del sistema de transmisión

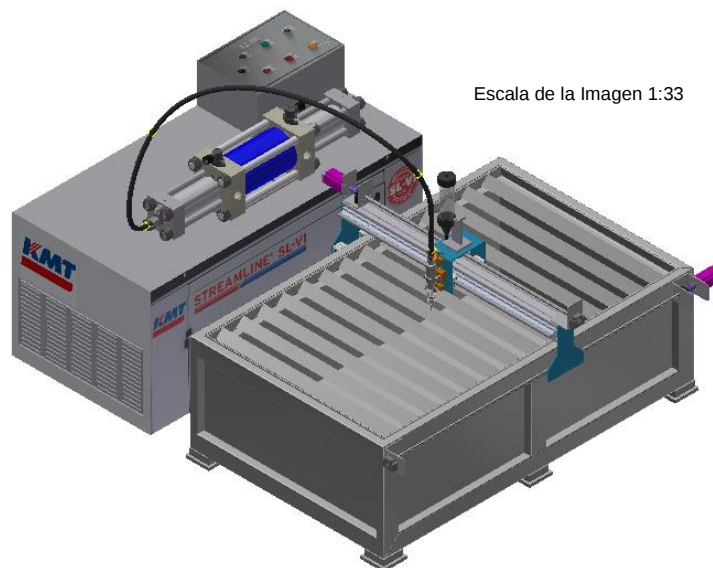


Fuente: Autor

5.1.5. Selección de estructuras y ensamble

El diseño de la estructura se basa en las dimensiones de la piscina del depósito de agua de la máquina la cual, ninguna de sus medidas supera los 2 metros. Los materiales de construcción son perfiles cuadrados DIN 40x40x2.9 en acero con apoyos cúbicos como apoyos de piso, como se ve en la figura 19.

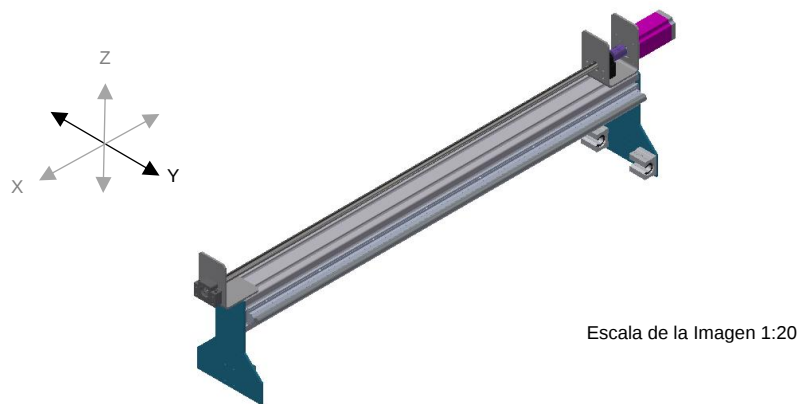
Figura 19. Ensamble de la maquina



Fuente: Autor

La estructura superior consta de dos secciones. La primera de ellas se mueve en el eje y de la maquina a través de un tornillo de 1550 mm y una guía lineal con dos rodamientos SBR16. En ella reposa un perfil extruido de aluminio de 80x40 con un sistema de transmisión con tornillo de 1150 mm y dos guías lineales, todo lo anterior sujeto por dos placas de 5mm cortadas y perforadas a medida para mantener y procurar el alineamiento con los rodamientos y el tornillo inferior, como lo muestra la figura 20.

Figura 20. Estructura superior

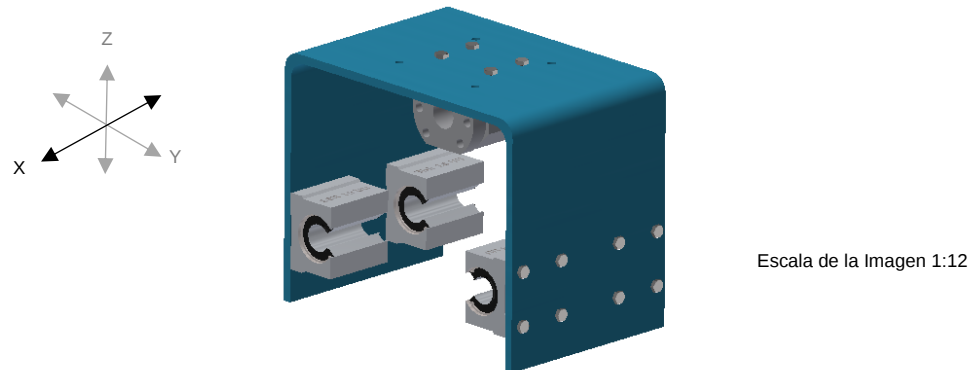


Fuente: Autor

La segunda sección superior consta de un placa en U perforada en acero HR pintado en la cual se encuentran 4 rodamientos SBR16 alineados y la nuez de modelo HD16, la cual está sujeta a la tuerca y al tornillo de 1150 mm, como se ve en la figura 21, permitiendo el movimiento en el eje X.

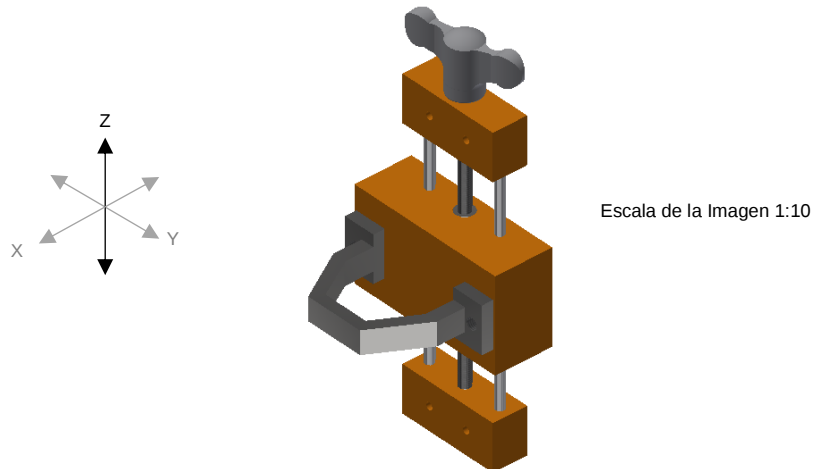
El sistema de movimiento en el eje z del cabezal de corte se encuentra sujeto a la estructura de apoyo superior la cual funciona mediante un eje roscado central y dos ejes guías laterales, con materiales en acero y aluminio, como lo muestran los planos del anexo H. El movimiento o giro del eje roscado se realiza manualmente mediante una perilla, igualmente de 5mm, como se muestra en la figura 22.

Figura 21. Estructura de apoyo superior



Fuente: Autor

Figura 22. Movimiento en Z del cabezal de corte



Fuente: Autor

El sistema de almacenaje y medición del abrasivo se hace con una tolva o tanque de almacenamiento ajustado en la parte superior. Existen comercialmente diferente marcas con diferentes funcionamientos (por gravedad o neumáticamente), por lo cual se diseñó un sistema básico de alimentación del abrasivo, basada en la *KMT EZ-Feedline*, como se ve en la figura 23.

Figura 23. Tolva de alimentación del abrasivo



Escala de la Imagen 1:7

Fuente: Autor

5.2. FUERZAS NECESARIAS DE CORTE CON AGUA

Bajo un planteamiento de salida de agua desde la tobera de estrangulación, sin añadir abrasivos, la fuerza necesaria para cortar un material se expresa como:

$$F_{\text{corte}} = \tau_{\text{corte}} * A_s \quad (1)$$

Donde F_{corte} es la fuerza necesaria para perforar una plancha, A_s el área superficial y τ_{corte} el esfuerzo cortante máximo.

A continuación, en la tabla 9, se evidencia una recopilación de las resistencias última a la tracción y el límite elástico de algunos materiales, con el fin de seleccionar el material más crítico o de mayor resistencia.

Tabla 9. Propiedades de materiales a cortar

MATERIAL	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)	LÍMITE ELÁSTICO (MPa)	DUREZA BRINELL
Aluminio forjado 1100 laminado en frío	165	152	44
Aluminio forjado 6061 tratamiento térmico	310	276	95
Cobre CA110	221	69	40
Fundición de hierro gris clase 20	-	152	156
Acero SAE 1020 recocido	500	294	150
ABS	69	42	-
Acrílico	69	103	-
Policarbonato	62	83	-

Fuente: Sociedad Americana de Metales. Ohio. Libro de Metales y Enciclopedia Moderna de Plásticos.

Teniendo en cuenta que el acero SAE 1020 es el de mayor resistencia, se selecciona como material crítico. Así mismo, es un material isotrópico (sus propiedades mecánicas y térmicas son las mismas en todas las direcciones, por lo cual el esfuerzo no varía en ninguna dirección.²⁸

El esfuerzo cortante según la composición y cantidad de carbono en el acero es variable. Para un acero de bajo porcentaje de carbono se tiene un esfuerzo cortante aplicando de la ecuación 2 así:

$$\tau_{\text{corte}} \cong 0,75 * \sigma \quad (2)$$

Siendo σ la resistencia última a la tracción del material, en este caso $59,14 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$, y reemplazando en 2 se obtiene.

$$\tau_{\text{corte}} \cong 0,75 * 59,14 = 44,355 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}.$$

Suponiendo que la sección transversal del chorro es circular y al perforar una lámina con espesor se produce un corte o perforación con forma cilíndrica, se dice que:

$$A_s = \pi * \emptyset * e \quad (3)$$

Donde $\emptyset$ es el diámetro de chorro de agua, y e es el espesor del material. Resolviendo la ecuación 3, para un espesor de 1/8" y asumiendo un diámetro de orificio de 0,178 mm, ya que bajo la investigación el catálogo de la misma sugiere este diámetro máximo del orificio de estrangulación:

$$A_s = \pi * 0,178\text{mm} * 3,175\text{mm} = 1,773\text{mm}^2$$

Sustituyendo 2 y 3 en la ecuación 1, F_{corte} se obtiene:

$$F_{\text{corte}} = 44,355 \frac{\text{Kg-f}}{\text{mm}^2} * 1,773\text{mm}^2 = 79,798\text{Kg} - \text{f} = 782,581\text{N}$$

Bajo un análisis de fuerza, el chorro o hilo de agua a presión debe de tener las condiciones necesarias para poder cortar el material, por lo cual se dice que:

²⁸ Rossi, M. (1971). Estampado en frio de la chapa. Editorial Científico-Médica.

$$F_{\text{corte}} = F_{\text{Agua}} \quad (4)$$

La fuerza del chorro de agua se obtiene bajo la ecuación hidráulica así:

$$F_{\text{Agua}} = Q * \rho * V_{\text{Agua}} \quad (5)$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal de agua} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

$$\rho = \text{densidad del agua} \left(1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$V = \text{Velocidad del agua} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

Ahora:

$$Q = A * V_{\text{Agua}} \quad (6)$$

Por lo que, al remplazar la ecuación 6 en 5, obtenemos que:

$$F_{\text{Agua}} = A * \rho * (V_{\text{Agua}})^2$$

Donde el área de la sección del chorro de agua es:

$$A = \pi * \frac{\phi^2}{4} = \pi * \frac{(0,178\text{mm})^2}{4} = 0,0248\text{mm}^2 \quad (7)$$

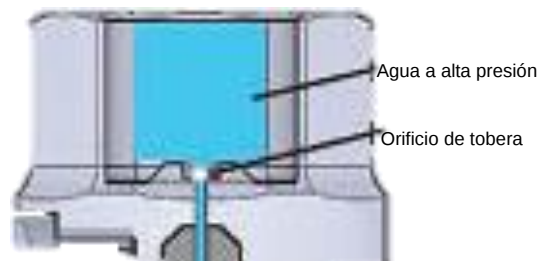
Con este resultado, logramos obtener la velocidad del chorro de agua de las ecuaciones 5, 6 y 7, logrando así despejar la velocidad necesaria del agua con la que se puede cortar el material, de la siguiente forma:

$$V_{\text{Agua}} = \sqrt{\frac{F_{\text{Agua}}}{A * \rho}} \quad (8)$$

$$V_{\text{Agua}} = \sqrt{\frac{782,581\text{N}}{(0,0248 * 10^{-6}\text{m}^2) * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}} = 5614,203 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La presión de entrada es muy superior a la de salida y la energía cinética es transformada en energía potencial gracias a la variación de los diámetros, como se expresa en la figura 24.

Figura 24. Tobera de estrangulación



Fuente: Multicam. Mirando al interior del cabezal de corte por chorro de agua.

Así mismo, bajo la ecuación de Bernoulli, siendo H igual en ambos lados de la ecuación, despejando la presión de entrada del agua, su peso específico ($9806 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$) y usando la velocidad hallada en la ecuación 8, teniendo en cuenta que la velocidad uno de entrada es casi nula, tenemos que, la presión manométrica es:

$$P_1 = \gamma * \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \right) \quad (9)$$

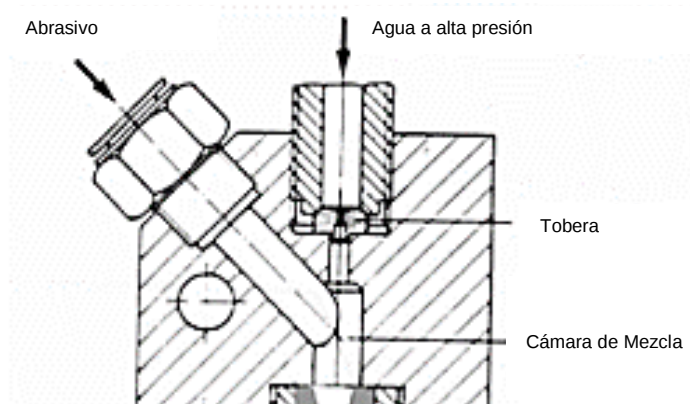
$$P_1 = 9806 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * \frac{(5614,203 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 15144,5 \text{ Mpa}$$

Dicha presión teórica es demasiado alta, ya que en la actualidad no existe la capacidad de crear tan altísima presión con una bomba apta para una máquina de corte del tipo *waterjet*.

5.3. VELOCIDAD DEL AGUA Y FUERZA DEL ABRASIVO

Al salir el agua de la tobera, sólo permanece estable un corto tramo, ya que luego su forma y diámetro dejan de ser uniformes. El ingreso del abrasivo se realiza en ese momento dentro de la cámara de mezcla, como se muestra en la figura 25.

Figura 25. Cámara de mezcla agua-abrasivo



Fuente: FlowTech Energy. Inyectar abrasivo en un chorro de agua

Para conocer la velocidad teórica del agua, es posible despejar de la ecuación de Bernoulli como se muestra a continuación:

$$V_{th} = \sqrt{\frac{2p}{\rho}} \quad (10)$$

Donde $p = 344,7 \text{ MPa}$ la presión de la bomba como se muestra en el anexo E y $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, la densidad del agua, por lo cual resolviendo la ecuación 10, se tiene:

$$V_{th} = \sqrt{\frac{2 * 344,7 \text{ MPa}}{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}} = \sqrt{689400 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = 830 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La compresibilidad del agua se puede calcular por medio de:

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \left(1 + \frac{P}{L}\right)^n \quad (11)$$

Al remplazar la ecuación 11 en 10, se obtiene como resultado:

$$V_j = \sqrt{\frac{2L}{(1-n)\rho_0} * \left[\left(1 + \frac{P}{L}\right)^{1-n} - 1\right]} \quad (12)$$

Donde V_j equivale a la velocidad del chorro y suponiendo que el agua está a 25°C, se obtiene los valores de $L = 300 \text{ MPa}$ y $n = 0,1368$, como lo presenta Mostofa²⁹. Resolviendo la ecuación 12 se obtiene que:

$$V_j = \sqrt{\frac{600 \text{ MPa}}{(1-n)\rho_0} * \left[\left(1 + \frac{344,7 \text{ MPa}}{300 \text{ MPa}}\right)^{1-0,1368} - 1\right]} = 806,33 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Usando el factor de compresibilidad para este tipo de máquinas hidráulicas³⁰

$$\varphi = \frac{V_j}{V_{th}} = \sqrt{\frac{L}{P(1-n)} \left[\left(1 + \frac{P}{L}\right)^{1-n} - 1\right]} \quad (13)$$

Resolviendo la ecuación 13 se obtiene que el factor de compresibilidad es:

$$\varphi = \frac{806,3}{830,3} = 0,97$$

Finalmente, la velocidad real de la waterjet se puede obtener por la ecuación 14:

$$V_j = C_d * \varphi * V_{th} \quad (14)$$

Teniendo un coeficiente de descarga global de la máquina, el cual es equivalente $C_d = 0.8$ para este tipo de máquinas, es posible obtener el resultado de la velocidad real de la waterjet, de la ecuación 14 así:

²⁹ Mostofa, M. G., Kil, K. Y., & Hwan, A. J. (2010). Computational fluid analysis of abrasive waterjet cutting head. Journal of mechanical science and technology, 24(1), 249-252.

³⁰ Ahmadi-Brooghani, S. Y., Hassanzadeh, H., & Kahhal, P. (2007). Modeling of single-particle impact in abrasive water jet machining. Int J Mech Sys Sci Eng,

$$V_j = (0,8) * (0,97) * \left(830 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) = 645,06 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ahora, basado en la investigación de artículos y modelos que utilizaron variables y procesos similares^{31 32}, se puede argumentar que la velocidad que alcanzaría partícula se encuentra entre un 40% y un 50% de la velocidad real generada por el agua a la salida de la boquilla, como se ve en la ecuación 15, la cual está relacionada directa con las densidades de los abrasivos. Por lo tanto, se puede decir que la velocidad de la partícula para un material de densidad media como el granate, es igual a:

$$V_{\text{par}} = (0,41) * 645,06 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 264,47 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (15)$$

Con respecto al tamaño del abrasivo, se selecciona una malla número 50, equivalente a 0,297 mm, en el anexo A. La geometría del abrasivo es considerada de forma esférica, coincidiendo con los datos de la literatura de las acitas 26 y 27, por lo cual, se puede obtener el volumen da la partícula así:

$$V = \frac{4}{3} * \pi * r^3 = 0,0068 \text{ mm}^3 \quad (16)$$

La masa de la partícula se obtiene con la ecuación 17, usando el volumen y la densidad del abrasivo:

$$m = V * \rho = 6,8 \times 10^{-12} \text{ m}^3 * 41000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 2,78 \times 10^{-7} \text{ kg} \quad (17)$$

Con las ecuaciones 15 y 17 se puede expresar la energía de impacto de la siguiente forma:

$$E_I = \frac{m * v^2}{2} = \frac{2,78 \times 10^{-7} \text{ kg} * \left(264,47 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} = 9,722 \times 10^{-3} \text{ J} \quad (18)$$

³¹ Mostofa, M. G., Kil, K. Y., & Hwan, A. J. (2010). Computational fluid analysis of abrasive waterjet cutting head. Journal of mechanical science and technology, 24(1), 249-252.

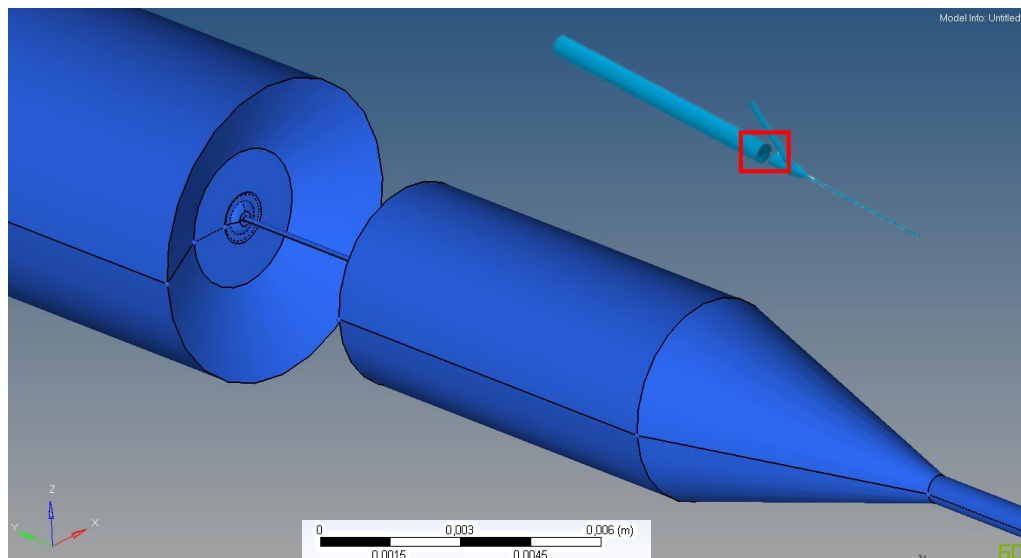
³² Ahmadi-Brooghani, S. Y., Hassanzadeh, H., & Kahhal, P. (2007). Modeling of single-particle impact in abrasive water jet machining. Int J Mech Sys Sci Eng,

El resultado de esta energía debe lograr la deformación y/o fragilización del material para lograr un corte.

5.4. SIMULACIÓN, CONDICIONES Y PARAMETROS

Para el proceso de simulación se crea primero el volumen de control 3D del fluido a analizar, mediante software CAD y se importa al CAE. Con una sección transversal en el ensamble del cabezal de corte, se obtienen las medidas internas necesarias para poder realizar el mismo, obteniendo como resultado el volumen expuesto en la figura 26.

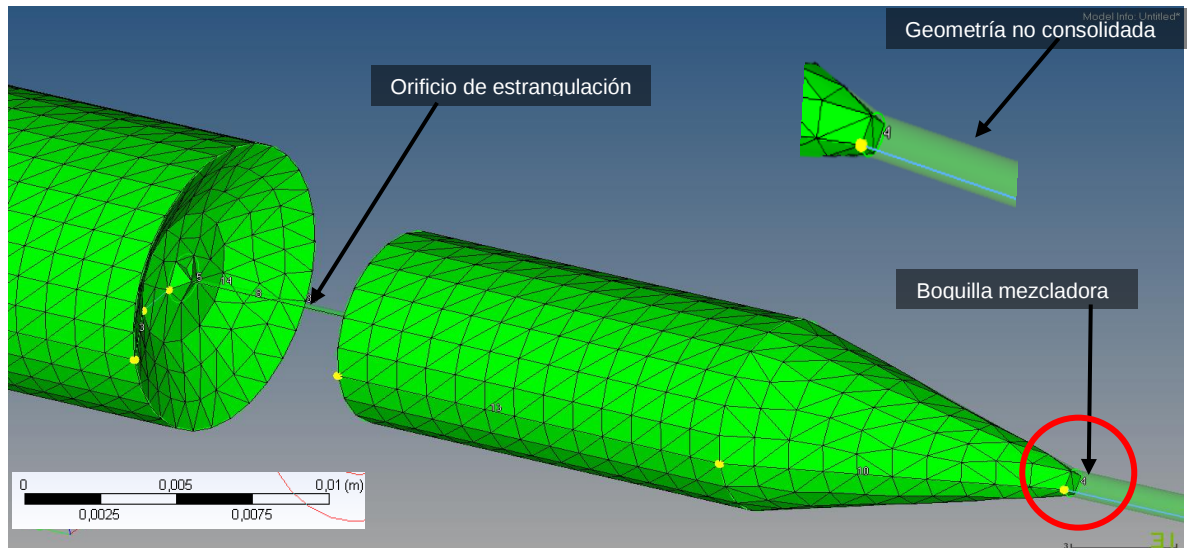
Figura 26. Volumen de control en el cabezal de corte



Fuente: Autor

El sólido 3D del volumen de control se importa en formato STEP a un programa de refinamiento de malla (*mesh*), ya que se debe definir un tamaño de malla que genere resultados más precisos reduciendo el tamaño del error en la solución numérica. En el primer intento que se realizó en la creación de la malla no se evidencia que en las secciones de estrangulamiento y del orificio se haya definido algún elemento de malla 3D, como se expone en la figura 27.

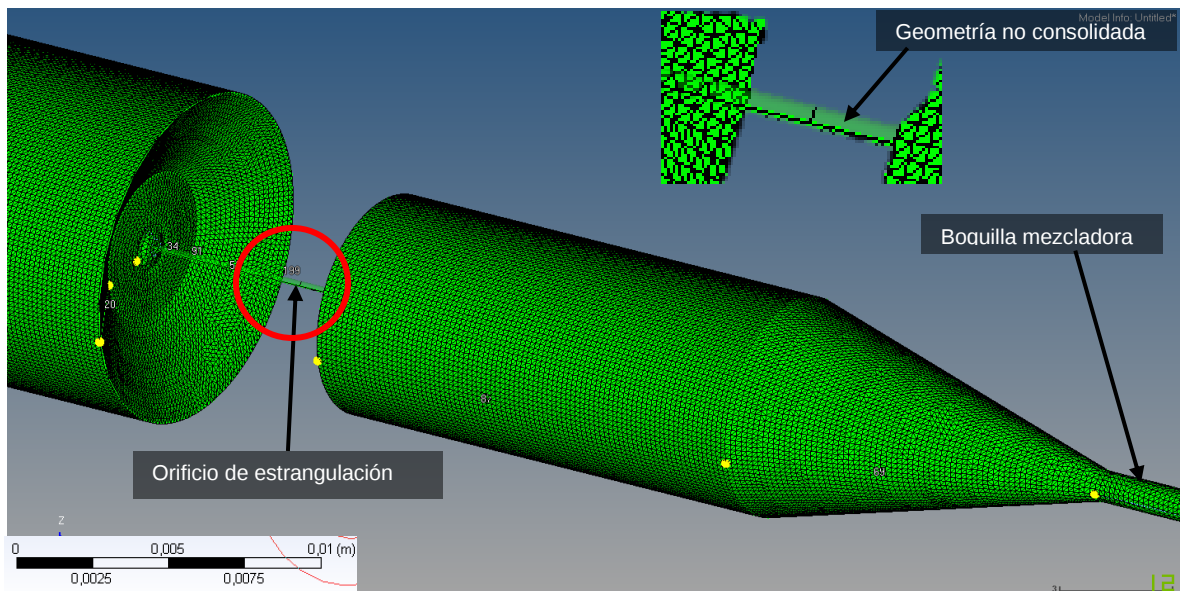
Figura 27. Mallado de volumen de control de tamaño de 1mm



Fuente: Autor

Ahora, en la figura 28, se procede a realizar un segunda malla de 0.1 mm, donde se observa que hay elementos en la boquilla pero no en la parte superior en el orificio de estrangulamiento.

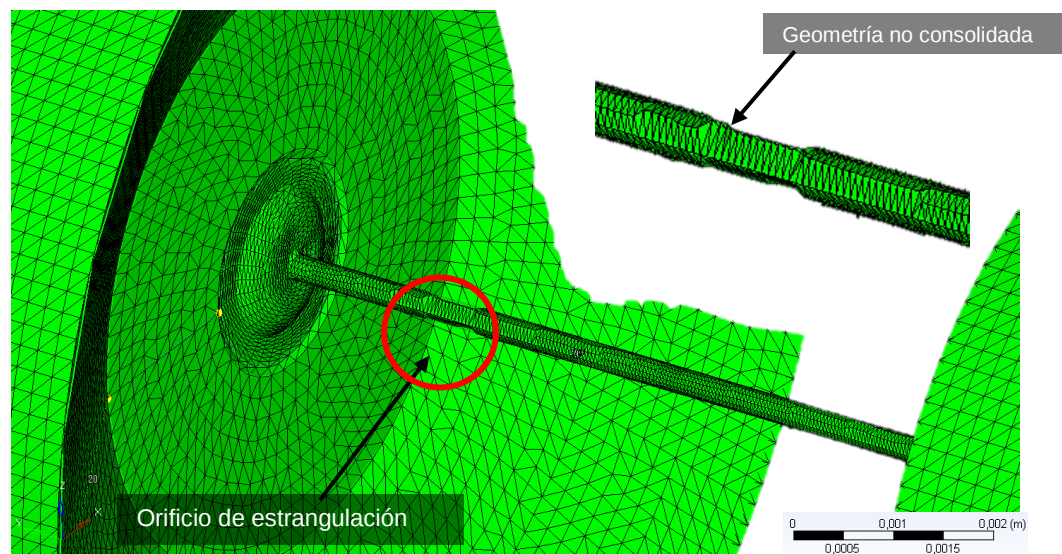
Figura 28. Mallado de volumen de control de tamaño de 0,1 mm



Fuente: Autor

Por último, se intenta realizar una malla con tamaño de elementos 3D de 0.001 mm y se presentan errores durante el enmallado ya que el tamaño del orificio es de 0.2 mm, y para el programa es difícil crea elementos tan pequeños por falta de capacidad computacional. Con respecto a esto, también se puede apreciar, en la figura 29, que la geometría cilíndrica del orificio de estrangulación se pierde o no se cubre completamente el volumen de control.

Figura 29. Malla de volumen de control con tamaño de 0,001 mm.

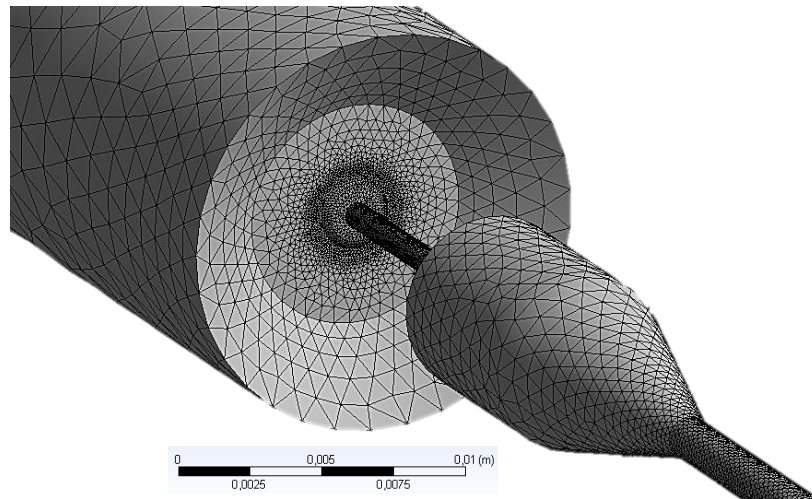


Fuente: Autor

Debido a estos problemas, se realiza un enmallado automático durante el pre proceso, al momento de realizar la malla en el CFD. Esta parte del pre procesamiento se realiza con función de proximidad y curvatura, por lo cual, a medida que encuentra una variación de diámetro o reducción, la malla genera tamaños de menor o mayor medida según corresponda, con refinación de ángulos agudos y relieves despreciables.³³ La figura 30 expone el resultado obtenido de la malla al realizar esta configuración.

³³ Guía de usuario de malla de fluido en ANSYS. Recuperado el 13/03/2019 de https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/17.0/en-us/help/wb_msh/ds_MeshCtrl_Tools.html

Figura 30. Configuración del mallado automático en ANSYS



Fuente: Autor

Todas las condiciones de contorno necesarias se aplicaron en ANSYS 17.0, como se describe en la Tabla 10; estas condiciones y restricciones son esenciales para poder obtener la simulación, ya que en ellas se encuentran todas las propiedades de los materiales y las condiciones iniciales a las cuales se encuentran en esta sección de la maquina a analizar.

Tabla 10. Geometrías y condiciones de frontera de la simulación

	PARAMETROS
Geometría	Diámetro de Orificio: 0,18 mm Coeficiente de descarga, $C_d = 0,8$ Diámetro cámara de mezcla = 4 mm Longitud cámara de mezcla = 10 mm Diámetro del tubo de enfoque = 4 mm Longitud del tubo de enfoque = 76,2 mm Diámetro salida tubo mezclador = 0,36 mm Diámetro de entrada abrasivo = 1,358 mm

Condiciones de Frontera	Caudal másico abrasivo = 6 g / s Densidad abrasiva = 4250 kg / m ³ Factor de forma abrasiva = 1 Presión de agua = 344,7 MPa Densidad del agua = 1000 kg / m ³ Paredes = Adiabáticas
-------------------------	--

El número de interacciones realizadas en las simulaciones fue de un mínimo de 500 por cada prueba realizada y máximo 1000 para la simulación del fluido (agua) únicamente.

Para la configuración de partícula sólida, en la simulación de arrastre de partícula, se realizó igualmente la importación del volumen de control y la creación de malla por curvatura y proximidad con un total de 24278 nodos y 111361 elementos

En el *Setup* se crea un material de partícula sólida con las propiedades del granate (abrasivo) y una mezcla de agua, aire y granate, como lo indica la guía de ANSYS para creación y edición de materiales³⁴. En el Inlet la mezcla lleva un factor porcentual de 1.0 para el agua y 0% para los demás componentes, añadiendo la velocidad de entrada que se generaban en las anteriores simulaciones.

Para el *inlet abras* se introduce la mezcla de nuevo con factores porcentuales de 0.7 para el abrasivo y 0.3 para el aire. El caudal de abrasivo es de 8 g/s y la velocidad del aire 2 m/s, como se encontró durante la investigación en algunas pruebas realizadas con variables y resultados similares en la literatura, para la configuración del pre-proceso.³⁵

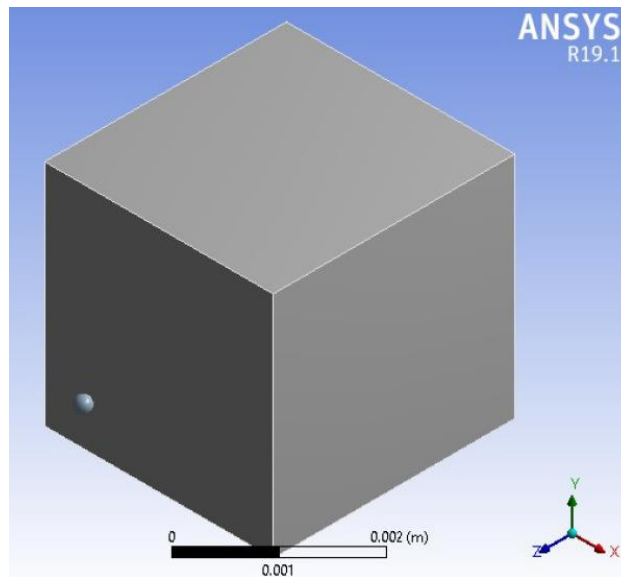
En el caso de la simulación de impacto o *Explicit Dynamics*, se crea en Inventor la partícula del material abrasivo y del material base, como se muestra en la figura 31, dentro del mismo archivo, ya que al momento de importar el archivo al software de

³⁴ Material didáctico de ayuda de ANSYS, sección 7.1.3. Crear / Editar Materiales. Recuperado el 13/03/19 de https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/fluid_ug/fluid_ug_materials_task_page_using_panel.html

³⁵ Mostofa, M. G., Kil, K. Y., & Hwan, A. J. (2010). Computational fluid analysis of abrasive waterjet cutting head. *Journal of mechanical science and technology*, 24(1), 249-252.

elementos finitos, se han preestablecido unas condiciones respecto a la separación o distancia entre los materiales. Por lo anterior, se deben generar mallas independientes ya que el tamaño y geometría de ambos materiales son muy diferentes, siendo esto último el causal de la mayoría de los errores que se podrían presentar durante el proceso.

Figura 31. CAD del abrasivo y material a cortar



Fuente: Autor

Se asigna un acero bajo carbono recocido al material 1 o material base; así como un material cerámico (*granito*) al material 2 o abrasivo, puesto que, aunque posee características y propiedades (dureza y densidad) inferiores a los aspectos relacionados con el granate, es el que más se asemeja al mismo, como se observa en la Tabla 11. El granate es un material que no se ha sido caracterizado totalmente (experimentalmente) por lo que no es posible generar este modelo en el software de elementos finitos, por consiguiente se realiza la simulación con el material mencionado anteriormente.

Tabla 11. Tabla comparativa granito-granate

PROPIEDAD	GRANITO	GRANATE
Dureza	7,0 Mohs	1336 HV (7,5 (Mohs))
Densidad	2,9 g/cm ³	4,05 (+.25, -.12) g/cm ³

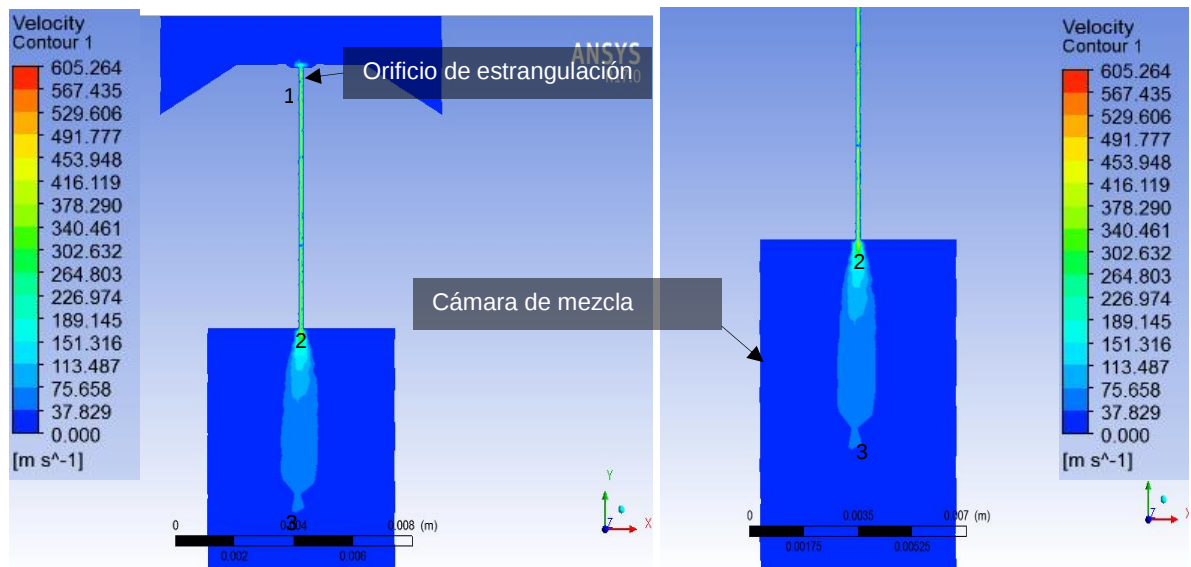
En el *Setup* se introducen todas las condiciones de contorno o condiciones iniciales del material, como por ejemplo, la velocidad a la que la partícula abrasiva impacta el material (264 m/s), la gravedad, así como los valores y graficas que se desean observar.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores obtenidos matemáticamente para una presión de 50000 psi son, para la velocidad teórica del agua obtenida mediante la ecuación de Bernoulli, $V_{th} = 830 \frac{m}{s}$ y para un chorro o hilo de agua, teniendo en cuenta la relación de densidades, $V_j = 806,33 \frac{m}{s}$. Sin embargo, teniendo en cuenta un coeficiente de descarga o pérdidas del 20%, más el factor de compresibilidad de $\varphi = 0,97$, se obtiene que el valor real del agua a la salida del orificio de estrangulación logra alcanzar $V_j = 645,06 \frac{m}{s}$, con una velocidad del abrasivo igual a $V_{par} = 264,47 \frac{m}{s}$.

Definiendo las condiciones de frontera expuestas en la tabla 10 y aplicándolas en el software de elementos finitos, se obtienen los resultados presentados en la figura 32, para los diámetros de 0,18 mm de orificio, 0,36 mm de boquilla, y cámara de mezcla de 6 mm, según como lo recomiendan los fabricantes de bomba y boquilla:

Figura 32. Comportamiento de la velocidad en 0,18 mm de diámetro

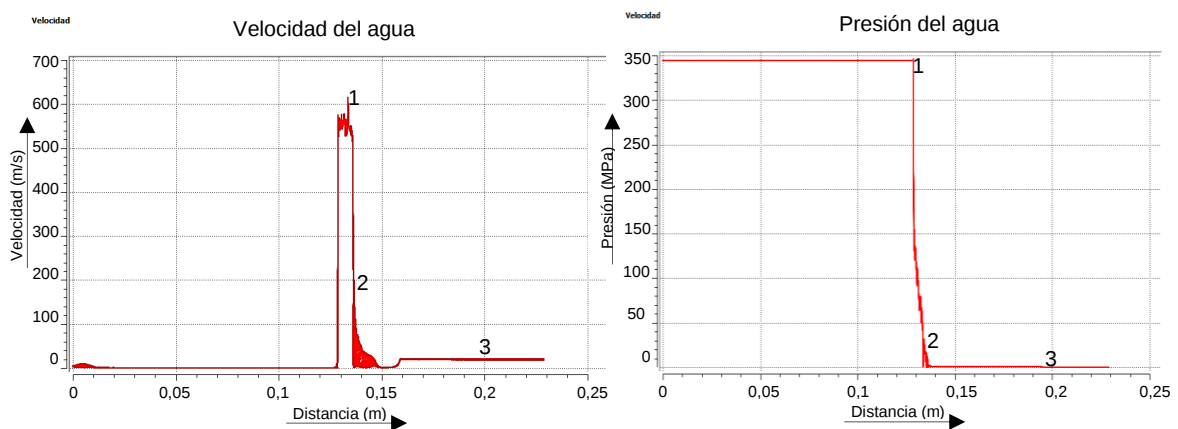


Fuente: Autor

A pesar de que el diagrama de colores muestra velocidades de hasta 600 m/s, el hilo de agua es aproximadamente 200 veces más pequeño que la cámara de mezcla, por lo cual, al momento de entrar en ella, se pierde el total de la velocidad, expandiéndose dentro de la misma, obteniendo velocidades de salida de solo 22 m/s, muy lejano a los más de 200 m/s requeridos.

Al graficar los resultados obtenidos de presión y velocidad obtenidas en la primera simulación respecto a la distancia avanzada se obtienen los resultados presentados en la figura 33.

Figura 33. Gráfico de velocidad y presión con diámetro de 0,18 mm.

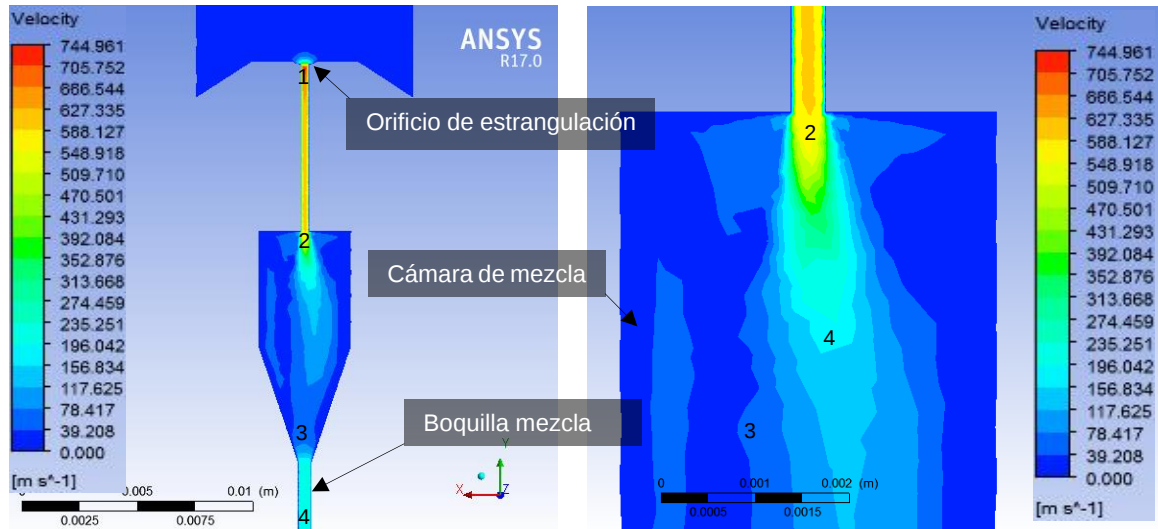


Fuente: Autor

La velocidad de salida es casi nula en este tipo de diseño, por lo cual, para poder encontrar un diseño, selección de diámetros de orificios y boquillas que cumpla con los requerimientos, se realizaron mas analisis, con diámetros de 0.375 mm, 0.6 mm y 0.96 mm en los orificios de extrangulación y sus respectivas equivalencias en las boquillas de salida de 0.6mm, 0.9mm y 1.5mm con una reducción en el tamaño de la camara de mezcla (planos en los anexos) como se observa de la figura 34 a la 39. Los resultados de la simulación muestran el comportamiento de la velocidad a la salida del orificio, dentro de la camara de mezcla, así como las respectivas graficas de velocidad y presión de cada uno de los analisis, con numero internos

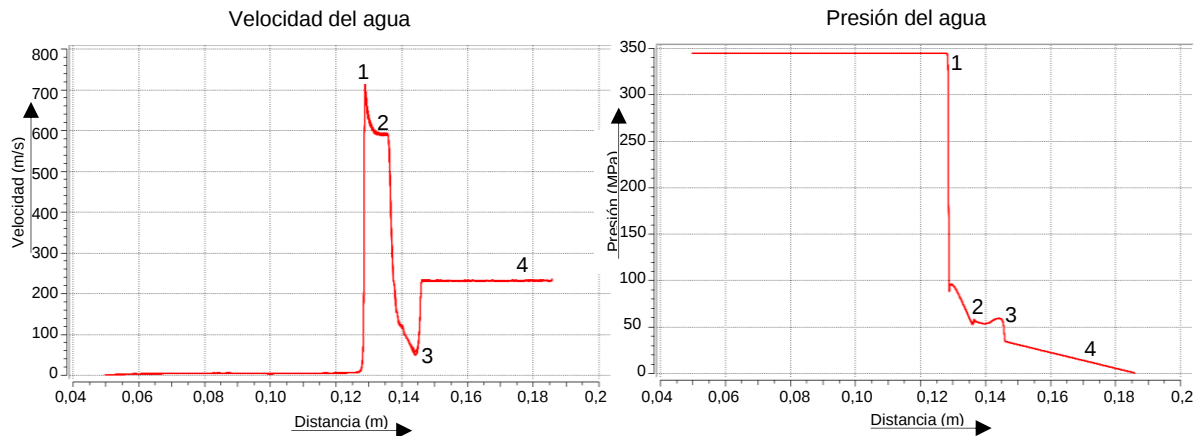
dentro de las imágenes que ubican las anteriores variables en las graficas tabuladas.

Figura 34. Comportamiento de la velocidad en 0,375 mm de diámetro.



Fuente: Autor

Figura 35. Gráfico de velocidad y presión con diámetro de 0,375 mm.

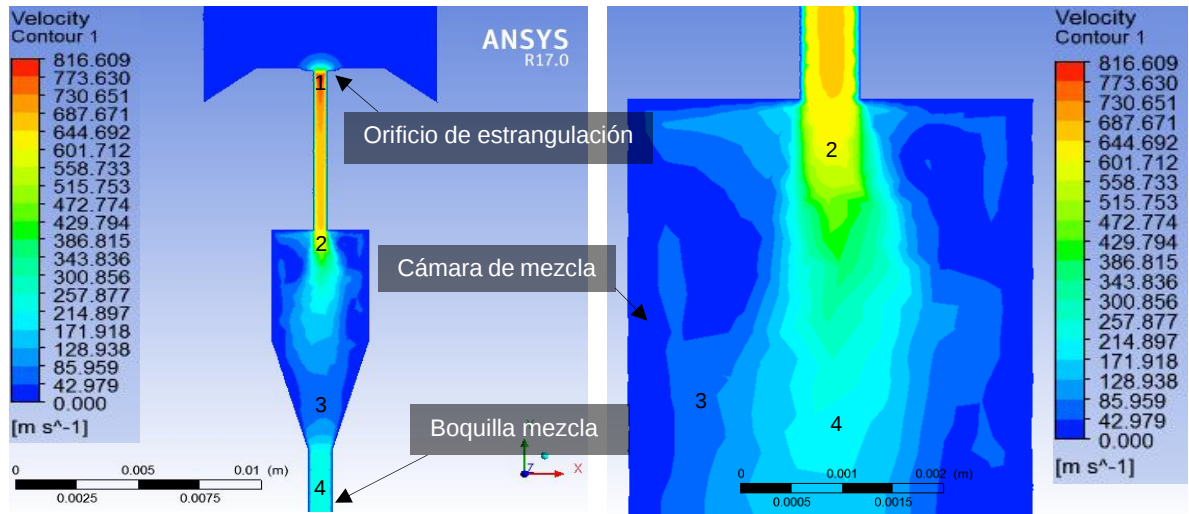


Fuente: Autor

La velocidad con diámetro de orificio de 0,375 mm, uno de los más usados en la industria, tiene un comportamiento aceptable respecto a la velocidad máxima generada de $744 \frac{m}{s}$ y una velocidad de salida de la boquilla de mezcla cercana a los

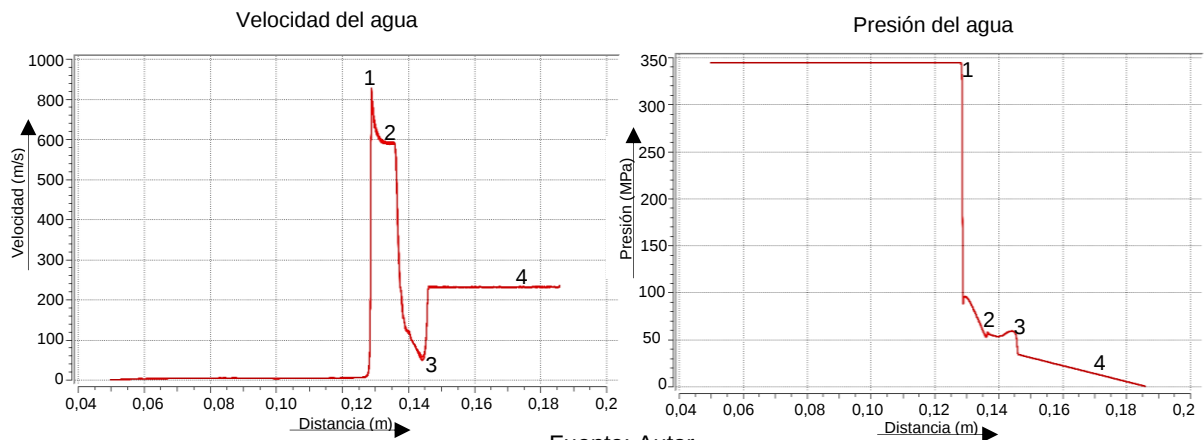
$240 \frac{m}{s}$, aunque, se expande en la cámara de mezcla más de lo recomendado según la investigación, creando demasiadas zonas con pérdidas de velocidad.

Figura 36. Comportamiento de la velocidad en 0,6 mm de diámetro.



Fuente: Autor

Figura 37. Gráfico de velocidad y presión con diámetro de 0,6 mm.

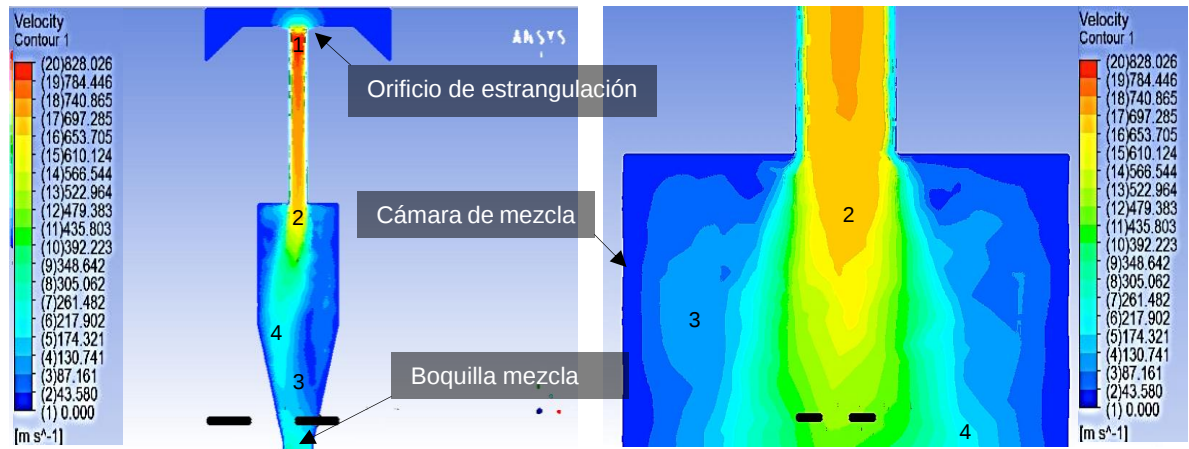


Fuente: Autor

La velocidad del agua, para un orificio de estrangulación de 0,6 mm, logra alcanzar una velocidad superior a los $800 \frac{m}{s}$ y velocidades de salida de la boquilla de mezcla de alrededor de $230 \frac{m}{s}$. Su expansión en la cámara de mezcla es menor a la del

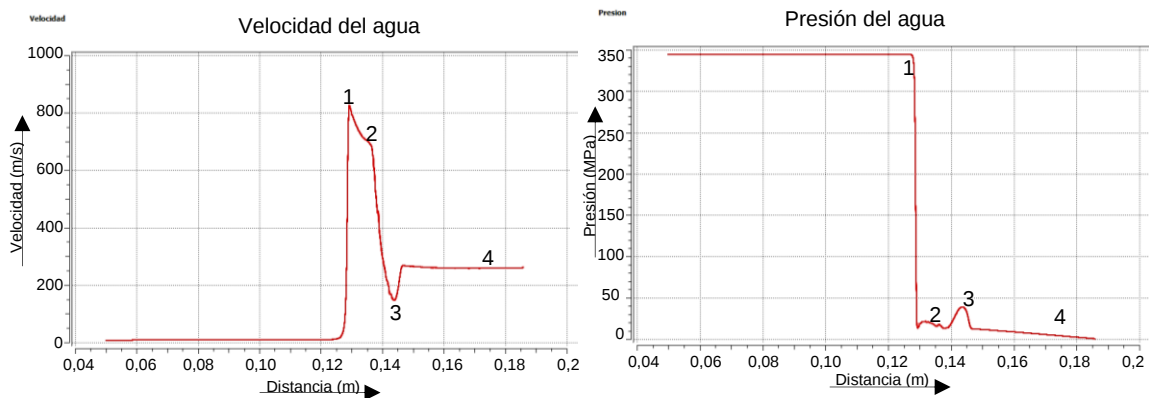
orificio de 0,375 mm, haciendo que la continuidad de la velocidad sea más adecuada, ofrecido menos perdidas.

Figura 38. Comportamiento de la velocidad en 0,96 mm de diámetro



Fuente: Autor

Figura 39. Gráfico de velocidad y presión con diámetro de 0,96 mm.



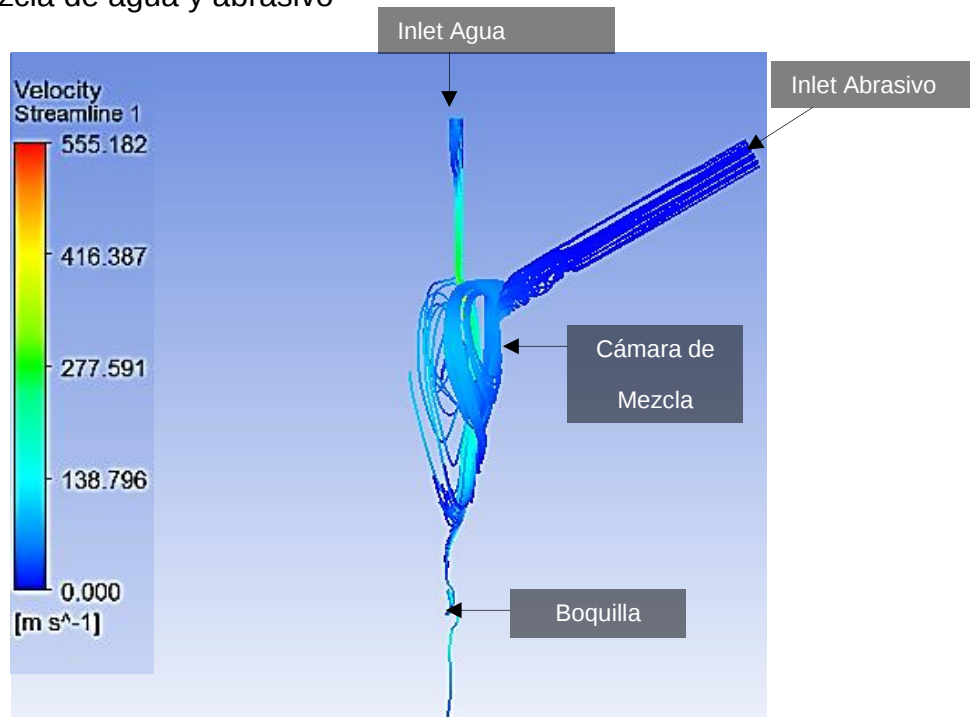
Fuente: Autor

El diametro de orificio de 0.96 mm, utilizado en investigaciones similares presenta un mejor comportamiento en la velocidad ya que, aunque su amento no es considerable ($828 \frac{m}{s}$), en la camara de mezcla mantiene una mayor uniformidad

en las velocidades, favoreciendo la entrada y mezcla del abrasivo, alcanzando velocidades de salida cercanas a los $250 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Al analizar la mezcla creada y el comportamiento de la partícula sólida, se logra corroborar que la presión creada dentro de la cámara de mezcla es inferior a la presión relativa exterior, por lo cual, el abrasivo entra dentro de la misma y es acelerado por el chorro de agua, como se ve en la figura 40.

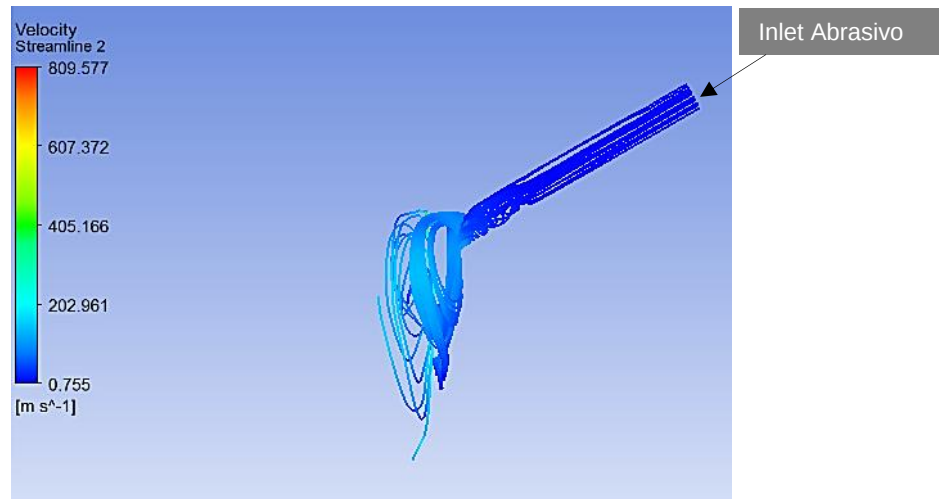
Figura 40. Mezcla de agua y abrasivo



Fuente: Autor

La entrada de la mezcla a la cámara muestra remolinos dentro de la misma, como se observa en la figura 41. El fluido entra de forma tan abrupta y veloz que se generan vórtices al momento de entrar la partícula sólida dentro de la cámara de mezcla antes de canalizarse dentro de la boquilla colectora, alcanzando velocidades de más de 200 m/s.

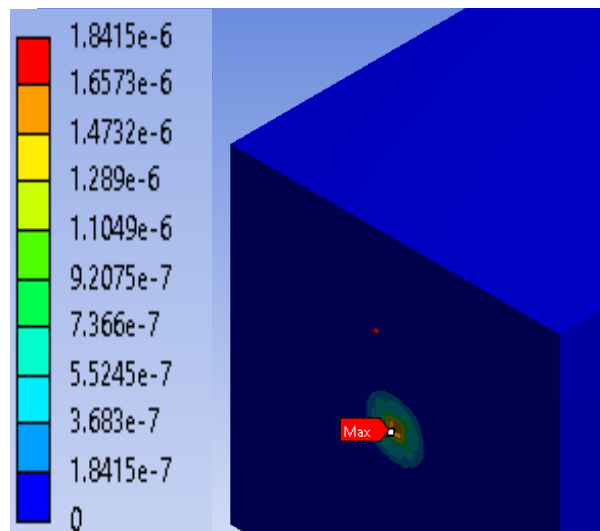
Figura 41. Comportamiento de la partícula sólida en la cámara de mezcla



Fuente: Autor

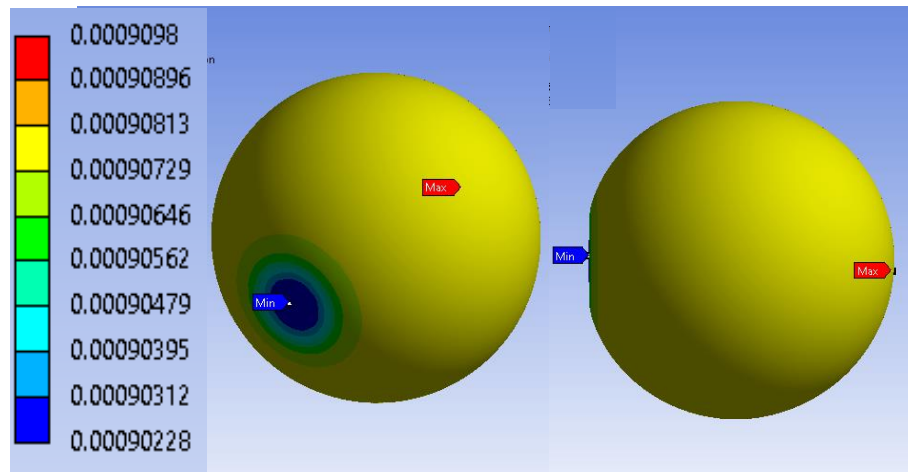
En la simulación de impacto se observan dos factores principales, deformación total y el esfuerzo equivalente. El primero, como se ve en la figura 42 y 43, muestra la deformación que sufre el material impactado y la deformación de la partícula abrasiva

Figura 42. Deformación del material impactado



Fuente: Autor

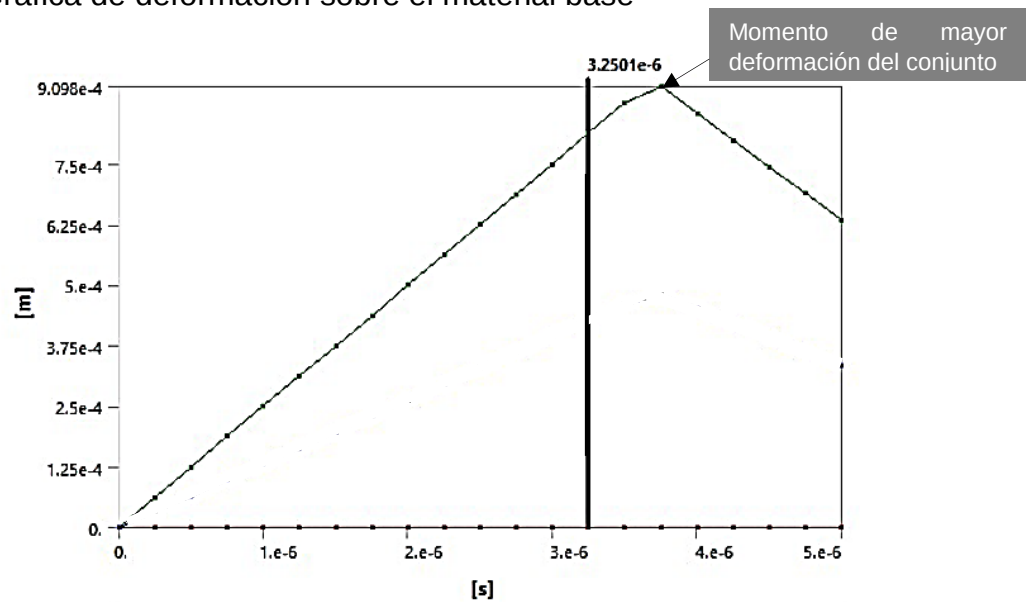
Figura 43. Deformación de la partícula abrasiva



Fuente: Autor

La deformación sufrida por el material alcanza un máximo de $1,8415 \times 10^{-6}$ m a lo largo del tiempo transcurrido mientras que la partícula sufre una deformación máxima de $9,0983 \times 10^{-4}$ m, afectando un área de como se muestra en la figura 44. Esto indica que, aunque no es una deformación considerable, logra afectar su superficie

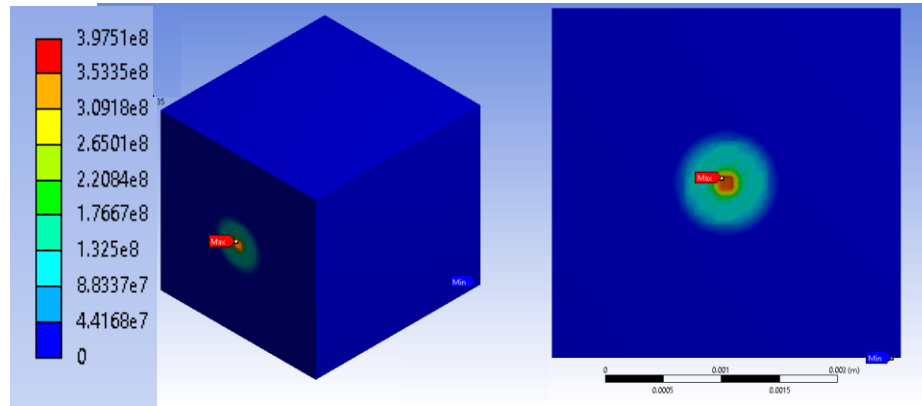
Figura 44. Grafica de deformación sobre el material base



Fuente: Autor

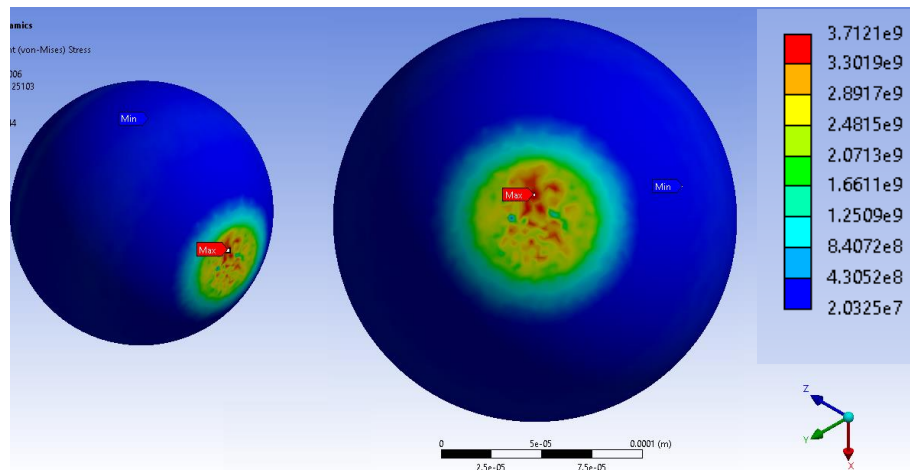
El esfuerzo equivalente sobre el material seleccionado garantiza el corte con el paso del tiempo y el múltiple golpe de más partículas abrasivas. En las figuras 45 y 46 se muestran los resultados del análisis de un solo impacto sobre el material base y los esfuerzos que se presentan tanto en el material como en la partícula abrasiva.

Figura 45. Esfuerzos sobre el material base



Fuente: Autor

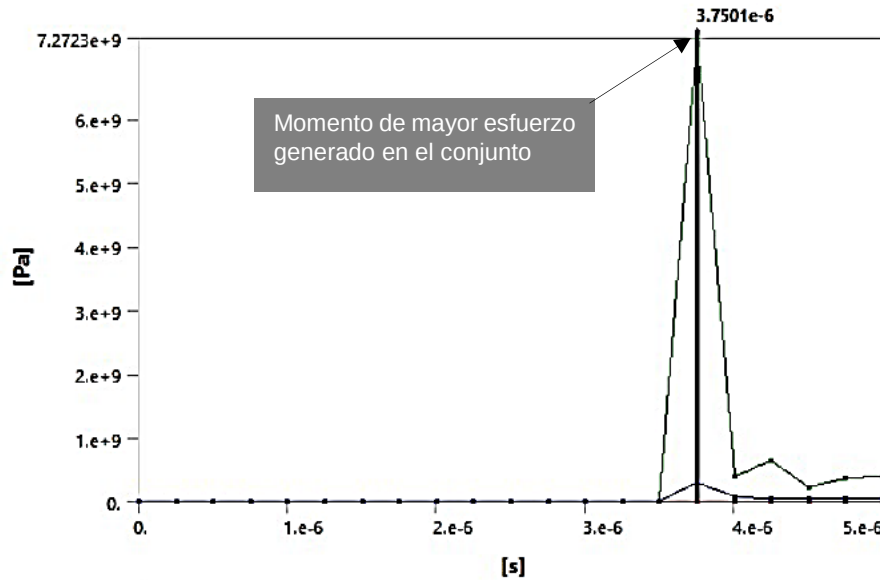
Figura 46. Esfuerzo sobre la partícula abrasiva



Fuente: Autor

Los esfuerzos encontrados sobre la partículas con de 3.712 GPa y 395.7 MPa para el material base. La figura 47 muestra el esfuerzo total generado por el conjunto a lo largo del transcurso de la simulación.

Figura 47. Gráfico de esfuerzo sobre el material base



Fuente: Autor

Los aceros de bajo carbono tienen un límite de fluencia inferiores a los resultados obtenidos en el grafico anterior, por ejemplo, el acero SAE 1020 recocido dentro de sus propiedades³⁶, tiene un límite elástico de 294 MPa, por lo cual, se garantiza una deformación permanente en el material con los resultados obtenidos en las simulaciones. De igual forma se cuenta con una velocidad necesaria ya que la deformación del material es lograda utilizando la partícula sólida de *granito*, un material con propiedades inferiores con respecto al *granate* en dureza y densidad como se mostró en la Tabla 11 anteriormente.

³⁶ Catalogo Compañía General de Aceros S.A. SAE 1020 y SAE 1045 Aceros ingeniería al carbono

7. CONCLUSIONES

Con la revisión bibliográfica se pudo concluir que el proceso de corte por chorro de agua a presión (AWJC) cuenta con mejores prestaciones que otros métodos como el oxicorte y el plasma ya que el aporte de calor al material es nulo y el acabado del corte es de gran calidad. Así mismo, supera los espesores que pueden ser cortados por otros procesos como el plasma, los cuales tiene un máximo de seis pulgadas en aceros inoxidables. Aunque el corte por láser presenta un buen acabado y una mayor velocidad, limita mucho su trabajo a espesores inferiores a dos pulgadas y su velocidad se reduce conforme aumenta si espesor.

El diseño seleccionado de tamaño compacto (2 m x 2 m) se acomoda a espacios reducidos de pequeñas y medianas industrias, con características semejantes a máquinas que se encuentran comercialmente en la actualidad con las mismas funcionalidades, como las que se pueden encontrar en catálogos de *MicroStep Spain*. El diseño de su estructura inferior rectangular en acero y acero inoxidable le da estabilidad y resistencia a las condiciones de trabajo, mientras que la estructura superior en perfil extruido de aluminio y placas de aluminio (7075) le proporciona un bajo peso pero firmeza durante el corte, como se puede observar en máquinas ya diseñadas y fabricadas en otros proyectos. La estructura de la máquina, la manguera y accesorios hidráulicos y los sistemas de movimiento pueden ser comprados en empresas distribuidoras nacionales, de las cuales algunas son ejemplificadas en el anexo G, por lo que es un proyecto viable y ajustado a las necesidades de la industria nacional.

Los cálculos físicos demostraron que el uso exclusivo de agua para este tipo de cortes requiere de presiones extremadamente altas (15000 MPa), las cuales no pueden ser logradas en máquinas y/o bombas de desplazamiento positivo ni bombas intensificadoras de este tipo, por lo cual es necesario el uso de abrasivos para cortar materiales como lo son el acero 1020 y otros metales.

Al concluir las simulaciones realizadas, se demuestra que datos obtenidos a partir de los cálculos analíticos son semejantes a los obtenidos numéricamente y que las velocidades alcanzadas por las boquillas de 0,375 mm, 0,6 mm y 0,96 mm cumplen con los requerimientos necesarios para lograr fragilizar (por deformación plástica) y cortar el material, ya que la energía de impacto del abrasivo encontrada en el software logra superar el límite elástico del acero utilizado como material base.

El abrasivo recomendado para este tipo de máquinas (granate) no se encuentra caracterizado en estos softwares o en artículos relacionados según la investigación (esfuerzos de fluencia, módulo de Young, módulo de compresibilidad, coeficiente de Poisson y el módulo de rigidez) por lo cual, se recomienda el estudio del mismo para obtener resultados más cercanos a la realidad, así como realizar un análisis de independencias de malla que logre adaptarse mejor a las geometrías usadas, ya que en ella radica la exactitud de los resultados y los problemas encontrados durante el pre-proceso y proceso de simulación.

Todos los planos de la máquina están adjuntos en el anexo H, donde se especifican las piezas diseñadas; las piezas estandarizadas en los ensambles cuentan con la referencia y especificaciones necesarias, así como un nombre y código. Todas las piezas diseñadas cuentan con sus respectivas medidas y materiales para el proceso de fabricación.

BIBLIOGRAFÍA

- AHMADI-BROOGHANI, S. Y., HASSANZADEH, H., & KAHHAL, P. (2007). Modeling of single-particle impact in abrasive water jet machining. *Int J Mech Sys Sci Eng*,
- ALDAZABAL, J., MARTÍN-MEIZOSO, A., BANNISTER, A., CICERO GONZÁLEZ, S., & KLIMPEL, A. (2016). Propiedades mecánicas de las zonas afectadas por un corte láser, corte por plasma y oxicorte de una chapa de acero S460M de 15 mm de espesor.
- ANCCA QUIROZ, E. M., & HUAMANI, R. H. (2017). Evaluación y determinación de la zona afectada por el calor en el acero A36 por efecto del corte térmico entre los procesos oxiacetilénicos y plasma.
- ARCOS VILLACÍS, P. A., & FIALLOS ORTIZ, J. D. (2010). Análisis comparativo de los procesos de corte por plasma, oxicorte y arc air aplicados a metales (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2010).
- CHAVEZ J., & RODRIGUEZ, J. (2016). Diseño de una Boquilla para corte por chorro de agua de bajo costo. (Tesis UNAM, Ciudad universitaria, Ciudad de México)
- CRISTANCHO SANCHEZ, L. D. (2018). Efecto de la Redondez de la Arena Sobre el Desgaste Abrasivo A 3 Cuerpos Según la Norma Astm G65.
- D., GARCÍA, T., CICERO, S., LACALLE, R., ÁLVAREZ, J. A., MARTÍN-MEIZOSO, A., & ALDAZÁBAL, J. (2015). Evaluación de las propiedades de tracción mediante ensayos Small Punch en la zona afectada por los cortes térmicos. In *Anales de Mecánica de la Fractura* (Vol. 32, pp. 593-598).
- FRANCO, A. F. V., & PAREDES, M. F. (2017). Corte mediante chorro de agua-abrasivo. *Síntesis Tecnológica*, (1), 36-38.

- GAUERT, C. D. K., VAN DER WESTHUIZEN, W. A., CLAASEN, J. O., VILJOEN, S., & GROBLER, J. (2013). A progress report on ultra-high-pressure waterjet cutting underground: the future of narrow reef gold and PGE mining. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 113(6), 0-0.
- GROOVER, M. P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. Pearson Educación.
- INFANTE, S. A., DOMÍNGUEZ, A. B., SÁNCHEZ, M. C., LÓPEZ, R. L., MAÑAS, J. N., & HOLGUERAS, R. S. *Herramientas de corte: desarrollo histórico y futuro*.
- KATZ, J. (1986). *Desarrollo y crisis de la capacidad tecnológica Latinoamericana: el caso de la industria metalmecánica*.
- KRAR, S. F., CHECK, A. F., & SMID, P. (2002). *Tecnología de las máquinas-herramienta*. Alfaomega.
- LEVIN, I., & BRANDON, D. (1998). Metastable alumina polymorphs: crystal structures and transition sequences. *Journal of the american ceramic society*, 81(8), 1995-2012.
- MARTÍN-MEIZOSO, A., ALDAZABAL, J., PEDREJÓN, J. L., & MORENO, S. (2014). Caracterización de la Zona Afectada por un Oxicorte. In *Anales de Mecánica de la Fractura* (Vol. 31, No. 04, p. 04).
- MATAIX, C. (1982). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Oxford University Press.
- MÉNDEZ, M. V. (1995). *Tuberías a presión en los sistemas de abastecimiento de agua*. Universidad Catolica Andres.
- MEURLING, F., MELANDER, A., LINDER, J., LARSSON, M., "The influence of mechanical and laser cutting on the fatigue strengths of carbon and stainless sheet steels" *Scand J Metall*, vol. 30, no. 5, pp. 309-319.

MOSTOFA, M. G., KIL, K. Y., & HWAN, A. J. (2010). Computational fluid analysis of abrasive waterjet cutting head. *Journal of mechanical science and technology*, 24(1), 249-252.

OSTILLA, M. B., BALDO, P. J. R., & MARINO, J. M. Estudio de prefactibilidad para la construcción de una máquina de corte con agua para láminas de acero inoxidable de ½" de espesor.

PADILLA, E. D. (1999). Aplicaciones de los aceros inoxidables. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica*, 2(3), 11-22.

PAGLIA, G. (2004). Determination of the structure of γ -alumina using empirical and first principle calculations combined with supporting experiments (Doctoral dissertation, Curtin University).

PEMAN, T. P. G. (2015). Comportamiento en fatiga de componentes estructurales obtenidos mediante oxicorte, corte por plasma y corte por láser: comparativa y definición de curvas SN de diseño (Doctoral dissertation, Universidad de Cantabria).

RAMÓN, H., & JAVIER, F. (2014). Diseño y construcción de una máquina de control numérico por corte CO2 láser de 40 watts para acrílico de hasta 4 mm (Bachelor's thesis, Quito/UIDE/2014).

REAL SALADRIGAS, E. (2001). Aportaciones al estudio del comportamiento a flexión de estructuras de acero inoxidable. *Universitat Politècnica de Catalunya*.

REYES-ORTIZ, Ó. J., & MILLÁN-MONTEJO, S. (2009). Influencia de la temperatura, la granulometría y el agua en la cohesión de mezclas asfálticas. *Ingeniería y Universidad*, 13(2), 309-324.

SHAMES, I. H., MONEVA, J. M., & CRUSELLS, S. P. (1967). *La mecánica de los fluidos* (Vol. 2). McGraw-Hill.

ANEXO A. Conversión de tamaño de malla a micrones



Padilla 321, 6º 2ª 08025 Barcelona
 ☎ 934 363 297 ✉ sunpowerspain@yahoo.es

US MALLA	PULGADAS	MICRONES	MILÍMETROS
3	0.2650	6730	6.730
4	0.1870	4760	4.760
5	0.1570	4000	4.000
6	0.1320	3360	3.360
7	0.1110	2830	2.830
8	0.0937	2380	2.380
10	0.0787	2000	2.000
12	0.0661	1680	1.680
14	0.0555	1410	1.410
16	0.0469	1190	1.190
18	0.0394	1000	1.000
20	0.0331	841	0.841
25	0.0280	707	0.707
30	0.0232	595	0.595
35	0.0197	500	0.500
40	0.0165	400	0.400
45	0.0138	354	0.354
50	0.0117	297	0.297
60	0.0098	250	0.250
70	0.0083	210	0.210
80	0.0070	177	0.177
100	0.0059	149	0.149
120	0.0049	125	0.125
140	0.0041	105	0.105
170	0.0035	88	0.088
200	0.0029	74	0.074
230	0.0024	63	0.063
270	0.0021	53	0.053
325	0.0017	44	0.044
400	0.0015	37	0.037

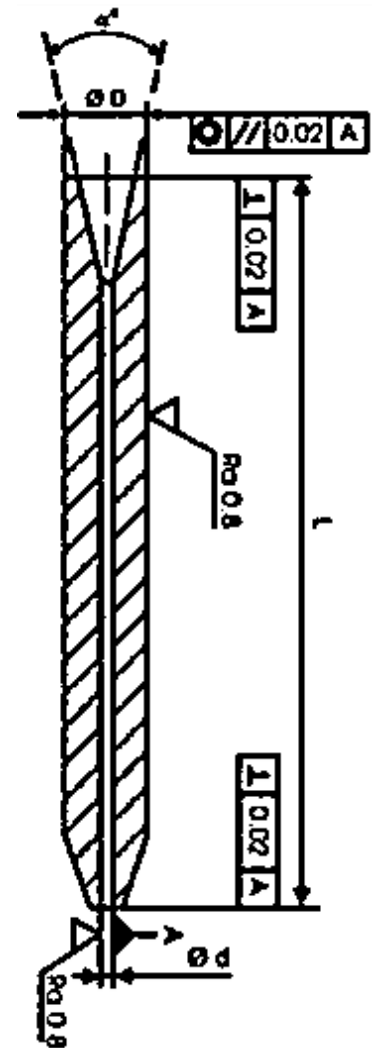
ANEXO B. Criterios de selección del diámetro de orificio de Tobera

Diámetro del orificio (pulgadas)	Presión (psi) x 1000								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
0.005	0.07	0.08	0.09	0.1	0.1	0.11	0.12	0.12	0.13
0.006	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.18
0.007	0.15	0.16	0.18	0.19	0.2	0.22	0.23	0.24	0.25
0.008	0.19	0.21	0.23	0.25	0.27	0.28	0.3	0.31	0.33
0.009	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.4	0.41
0.01	0.3	0.33	0.36	0.39	0.42	0.44	0.47	0.49	0.51
0.011	0.36	0.4	0.44	0.47	0.51	0.54	0.57	0.59	0.62
0.012	0.43	0.48	0.52	0.56	0.6	0.64	0.67	0.71	0.73
0.013	0.5	0.56	0.61	0.66	0.71	0.75	0.79	0.83	0.86
0.014	0.58	0.65	0.71	0.77	0.82	0.87	0.92	0.96	1
0.015	0.66	0.74	0.81	0.88	0.94	1	1.05	1.1	1.14
0.016	0.76	0.85	0.93	1	1.07	1.11	1.19	1.25	1.3
0.017	0.85	0.95	1.05	1.13	1.21	1.28	1.35	1.41	1.47
0.018	0.96	1.07	1.17	1.27	1.35	1.43	1.51	1.59	1.65
0.019	1.07	1.19	1.31	1.41	1.51	1.6	1.68	1.77	1.84
0.02	1.18	1.32	1.45	1.56	1.67	1.77	1.87	1.96	2.03
0.021	1.3	1.46	1.59	1.72	1.84	1.95	2.06	2.16	2.24
0.022	1.43	1.6	1.75	1.89	2.02	2.14	2.26	2.37	2.46

ANEXO C. Criterios de diseño y selección de diámetros de boquilla

MATERIAL:	Carburo de Tungsteno
DENSIDAD (g/cm ³):	15.76
DUREZA (HRA):	98.0
DUERZA (Vickers):	1700-2400
MODULO DE YOUNG (GPa):	550
MODULO DE COMPRESIBILIDAD (GPa):	439
COMPOSICIÓN QUÍMICA:	W ₃ C hasta W ₆ C

D		ød		L	
Mm	in	Mm	in	mm	in
6.00	.236	0.76	.030	76.2	3
6.00	.236	0.80	.031	70	2.756
6.00	.236	1.02	.040	40	2.756
6.00	.236	1.02	.040	76.2	3
6.35	.250	0.50	.019	76.2	3
6.35	.250	0.60	.023	76.2	3
6.35	.250	0.76	.030	50.8	2
6.35	.250	0.76	.030	76.2	3
6.35	.250	1.02	.040	50.8	2
6.35	.250	1.02	.040	76.2	3
6.35	.250	1.14	.044	76.2	3
6.35	.250	1.20	.047	76.2	3
6.35	.250	1.27	.050	76.2	3
6.69	.263	0.76	.030	76.2	3
6.69	.263	1.02	.040	76.2	3
6.70	.264	0.70	.028	70	2.756
6.70	.264	1.0	.039	70	2.756
7.14	.281	0.50	.019	76.2	3
7.14	.281	0.76	.030	76.2	3
7.14	.281	0.76	.030	101.6	4
7.14	.281	1.02	.040	76.2	3
7.14	.281	1.02	.040	101.4	4
7.14	.281	1.27	.050	76.2	3
7.62	.300	1.02	.040	76.2	3
7.62	.300	1.27	.050	76.2	3
7.97	.313	1.07	.042	101.6	4
7.97	.313	0.50	.019	101.6	4
7.97	.313	0.76	.030	101.6	4
9.43	.371	0.50	.019	76.2	3
9.43	.371	0.76	.030	76.2	3
9.43	.371	1.02	.042	76.2	3



Fuente: Catálogo comercial nmtmetals

ANEXO D. Manguera de alta presión BPK Blastopak ParLock Multiespiral

Alta presión
Chorro de agua

Manguera ParLock
BPK

BPK

Blastopak ParLock Multiespiral
DIN EN 1829-2



Aplicaciones primarias

Aplicaciones de hidrolavado, aplicaciones de corte por chorro de agua, limpieza y eliminación de pintura o corrosión.

Especificaciones aplicables

Excede ISO 3862 Tipo R15 – Especificación Parker

Construcción de manguera

Tubo interior: Goma sintética
Refuerzo: 4 ó 6 espirales de alambre de acero de alta resistencia
Cubierta: Goma sintética

Gama de temperaturas de servicio continuo
-10 °C hasta +70 °C

Rango de temperatura de servicio máx
-40 °C hasta +93 °C



- Tecnología interlock
- Cuatro o seis espirales de alambre de acero de alta tracción
- DIN EN 1829-2

Especificaciones aplicables
DIN EN 1829-2

Fluidos recomendados
Agua, emulsión de agua-jabón

Terminales serie
Pelado interno y externo



Referencia	Manguera D.I.				Manguera D.E.	Calificación de Presión				radio de doblado mínimo	peso
	DN	Pulg.	Tamaño	mm		presión de trabajo máx.		presión de estallido mín.			
					mm	MPa	psi	MPa	psi	mm	kg
R56TC-6	10	3/8	-6	9,5	21,8	56,0	8100	224,0	32400	130	0,95
R56TC-8	12	1/2	-8	12,7	25,5	56,0	8100	224,0	32400	180	1,25
R50TC-10	16	5/8	-10	15,9	28,50	50,0	7250	200,0	29000	225	1,48
R50TC-12	19	3/4	-12	19,1	32,00	50,0	7250	200,0	29000	270	1,85
R50TC-16	25	1	-16	25,4	38,40	50,0	7250	200,0	29000	300	2,70
R50TC-20	31	1 1/4	-20	31,8	52,60	50,0	7250	200,0	29000	450	5,00

Cambie la manguera cuando sea visible cualquier deformación o daño de la cubierta de la manguera.
La combinación de alta temperatura y presión podrían reducir la vida útil de la manguera.

Fuente: Catálogo comercial Parker: Mangueras Hidráulicas, Terminales y Equipos

Manguera ParLock

ANEXO E. Especificaciones Técnicas de la bomba KTM SL-V 15 PLUS

	SL-V 15 PLUS	SL-V 30 PLUS	SL-V 50 PLUS	SL-V 60 PLUS	SL-V 75 PLUS	SL-V 100 PLUS
System Informaton						
Nominal Power Rate	15hp (11kW)	30hp (22kW)	50hp (37kW)	60hp (45kW)	75hp (56kW)	100hp (75kW)
Maximum Pressure Range	60,000psi (4,137 bar)					
Max. Water Flow Rate @ 55,000psi (3,792 bar)	.30 gpm (1.14 lpm)	.60 gpm (2.27 lpm)	1.0 gpm (3.79 lpm)	1.2 gpm (4.54 lpm)	1.5 gpm (5.68 lpm)	2.0 gpm (7.57 lpm)
Maximum Single Orifice Diameter	0.007" (0.178mm)	0.011" (0.279mm)	0.014" (0.355mm)	0.015" (0.381mm)	0.017" (0.432mm)	0.020" (0.508mm)
Number of Language Options on Display	5					
Control Voltage & Power Supply	24V DC; 10 Amps DC					
Max. Noise Level	75.5 dB(A)	72.5 dB(A)	77.5 dB(A)			
Ambient Operating Temperature	Minimum: 40° F (5° C); Maximum: 104° F (40° C)					
Length	56" (1.4 m)	67.75" (1.7 m)		77.75" (2.0 m)		
Width	28" (711 mm)	36.00" (914 mm)	36.00" (914 mm)	36.00" (914 mm)	36.00" (914 mm)	36.00" (914 mm)
Height	33" (838 mm)	57.19" (1,453 mm)				
Weight	1,800 lbs (816 kg)	2,100 lbs (953 kg)	2,900 lbs (1,315 kg)	3,400 lbs (1,542 kg)	3,800 lbs (1,724 kg)	4,200 lbs (1,905 kg)
Cutting Water						
Minimum Inlet Cutting Water Flow	1.5 gpm (6.82 lpm)	2.5 gpm (9.5 lpm)	4.0 gpm (15.1 lpm)	4.8 gpm (18.2 lpm)	6.0 gpm (22.7 lpm)	8.0 gpm (30.3 lpm)
Minimum Inlet Cutting Water Pressure	35 psi (2.4 bar) flowing					
Plunger Diameter		0.875" (22.2mm)		1.125" (28.6mm)		
Max. Nominal Strokes per Minute (at 55,000 psi, 3,792 bar)	17	34	54	64	51	71
Accumulator Volume	0.11 gal (0.41 L)	0.25 gal (0.96 L)		0.51 gal (1.92 L)		
Hydraulic System						
Max. Hydraulic Pressure (operating at max water pressure)		3,000 psi (207 bar)		2,600 psi (179 bar)		
Hydraulic Reservoir Capacity	12 gal (45 L)	28 gal (106 L)		48 gal (182 L)		
Hydraulic Pump Flow Rate at 60Hz (@1,750 rpm)	12.9 gpm (49 lpm)	20.9 gpm (79 lpm)	33.0 gpm (125 lpm)	33.0 gpm (125 lpm)	53.4 gpm (202 lpm)	65.0 gpm (246 lpm)
Cooling System						
Cooling Water Consumption @ 75° F (24° C) Water Temp. (Max)	2 gpm (7.6 lpm)	2.5 gpm (9.5 lpm)	3 gpm (11.4 lpm)	3.5 gpm (13.2 lpm)	4 gpm (15.1 lpm)	4.5 gpm (17.0 lpm)
Minimum Cooling Water Pressure	35 psi (2.4 bar)					
Options & Other Features						
Booster Pump (adjustable & protected)	na	Included	Included	Included	Included	Included
Wye-Delta Starter or Soft Start	na	Optional	Optional	Optional	Wye Delta Included Soft Start Optional	Wye Delta Included Soft Start Optional
Oil / Air-Cooler	na	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Dual Pressure Compensator	na	Included	Included	Included	Included	Included
Redundant Topworks	na	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Proportional Control	na	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Remote Online Diagnostics (via Modem)	na	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
EQUALIZER Networking Kit Compatible	na	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional

Fuente: Catalogo comercial KTM: Bombas de alta presión serie SL-V

ANEXO F. Tabla de espesores y materiales cortador con bomba KTM SL-V 15

Abrasive Waterjet Cutting Speeds
Approximate inches per Minute
At 60,000 PSI (4,137 Bar)

MATERIAL	MATERIAL THICKNESS	ORIFICE DIAMETER		
		0.007"	0.010"	0.012"
Aluminum	0.25" (6mm)	12 - 19	23 - 34	30 - 47
	0.50" (13mm)	6 - 8	11 - 15	13 - 21
	0.75" (19mm)	3 - 4	5 - 7	6 - 10
Stainless Steel	0.25" (6mm)	4 - 6	8 - 12	10 - 16
	0.50" (13mm)	2 - 3	4 - 5	5 - 7
	0.75" (19mm)	1 - 2	2 - 3	2 - 3
Titanium	0.25" (6mm)	5 - 7	9 - 13	12 - 19
	0.50" (13mm)	2 - 3	4 - 6	5 - 8
	0.75" (19mm)	1 - 2	2 - 3	2 - 4
Marble	0.25" (6mm)	14 - 17	22 - 31	28 - 44
	0.50" (13mm)	6 - 8	10 - 14	13 - 20
	0.75" (19mm)	3 - 4	5 - 6	6 - 9
Glass	0.25" (6mm)	20 - 31	39 - 56	49 - 79
	0.50" (13mm)	9 - 14	18 - 25	22 - 35
	0.75" (19mm)	4 - 6	8 - 11	10 - 16
Abrasive Flow Rate (Pounds/minute Medium-Fine Grade)		0.4 - 0.6	0.7 - 1.0	0.9 - 1.5
				1.3 - 2.0

ANEXO G. PROVEEDORES DE ACCESORIOS Y PIEZAS

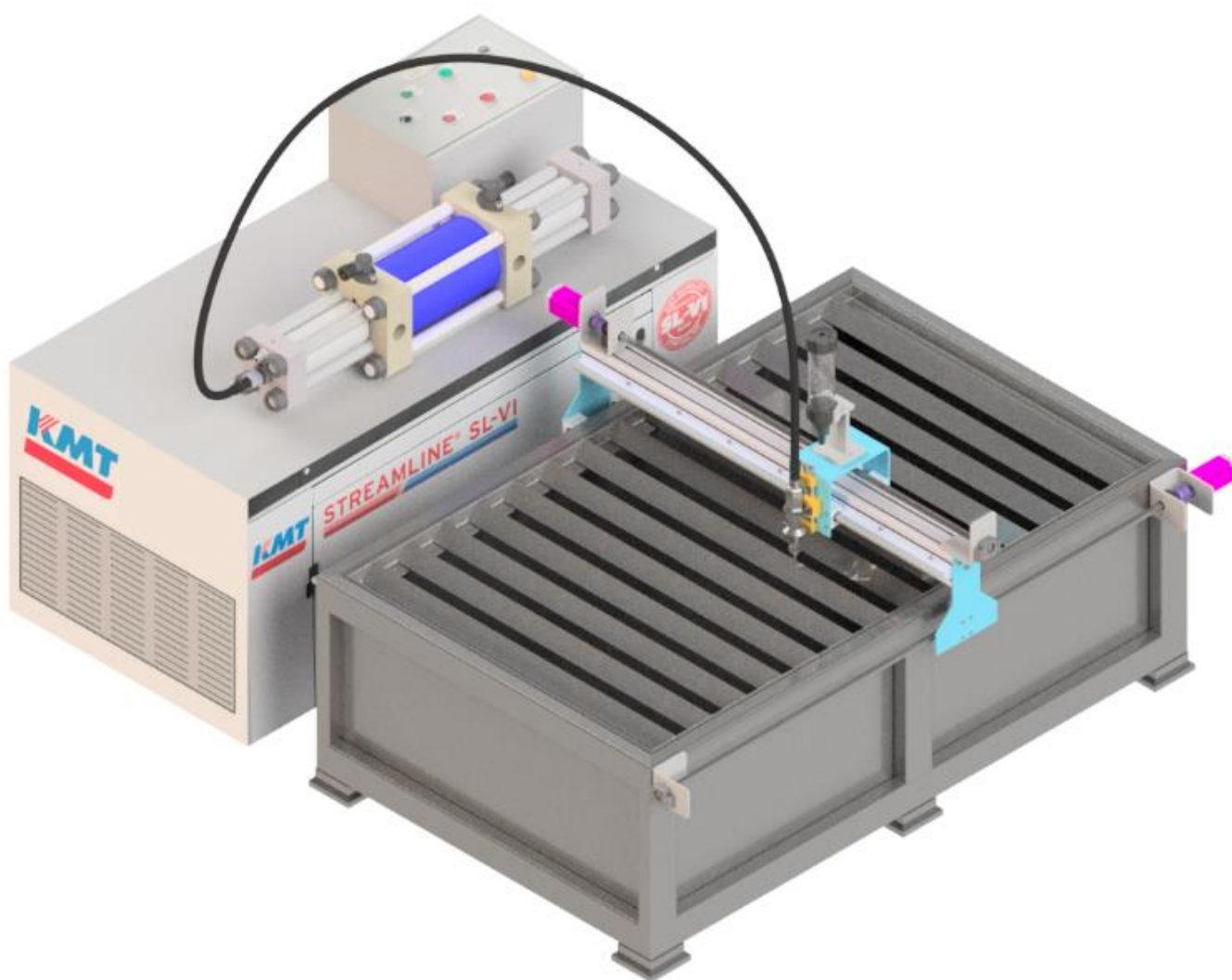
NACIONALES

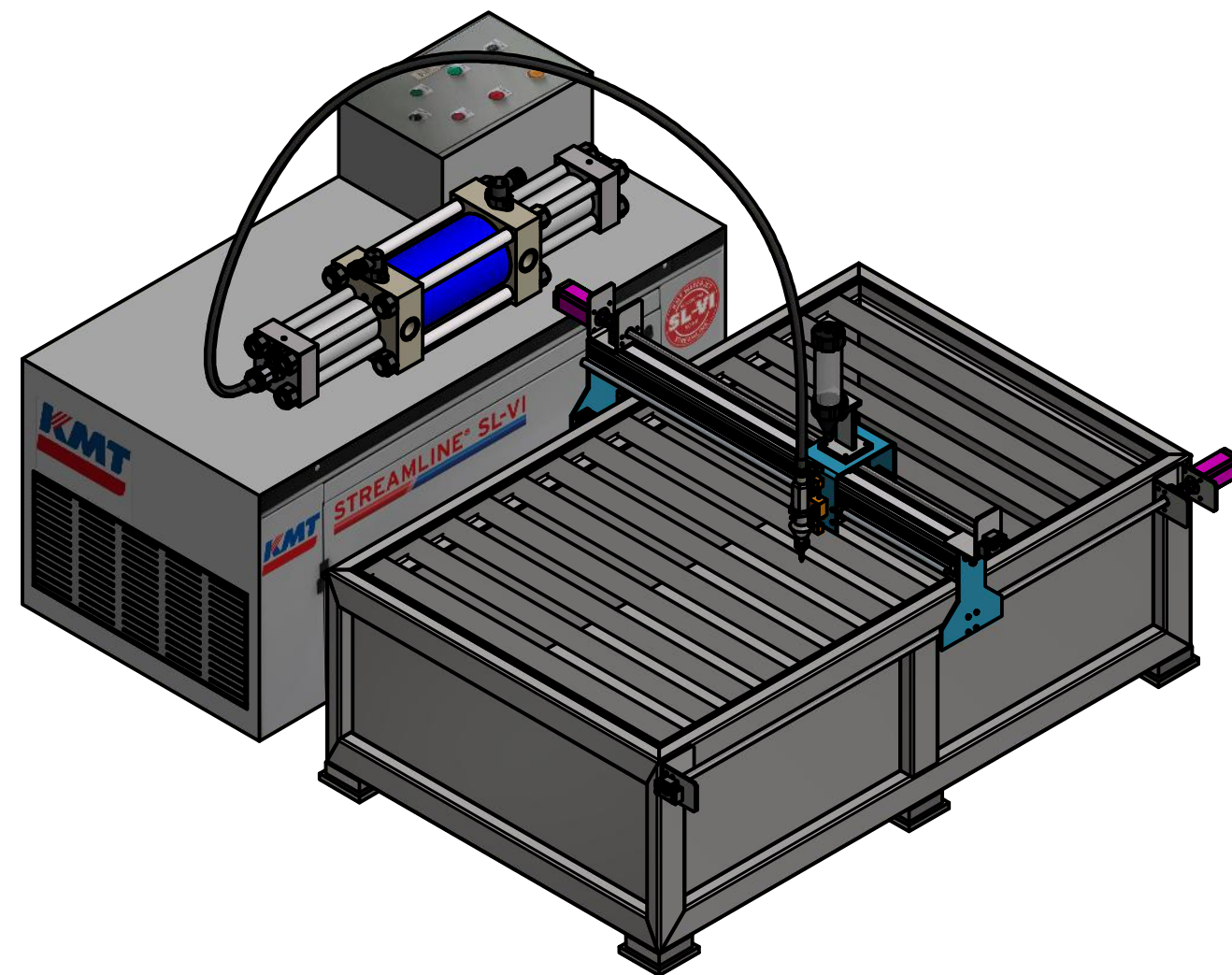
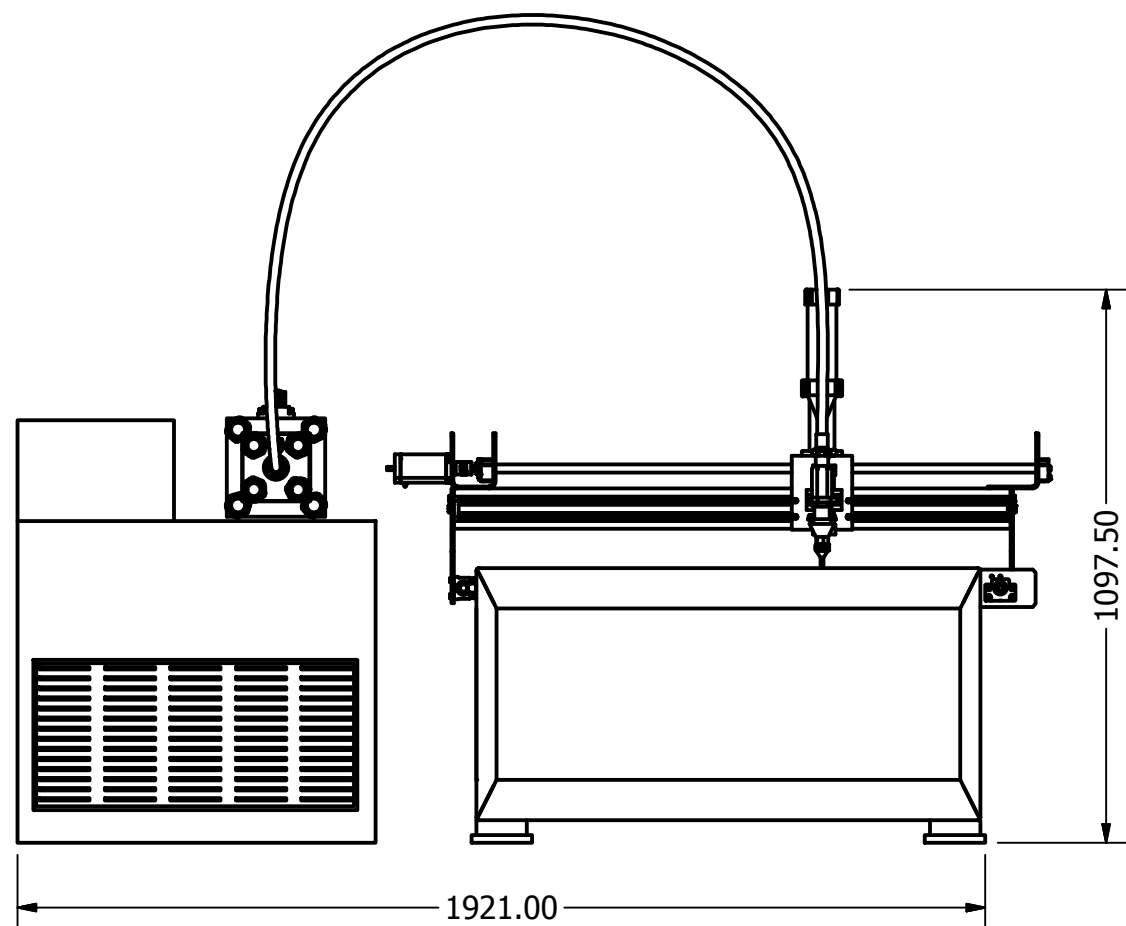
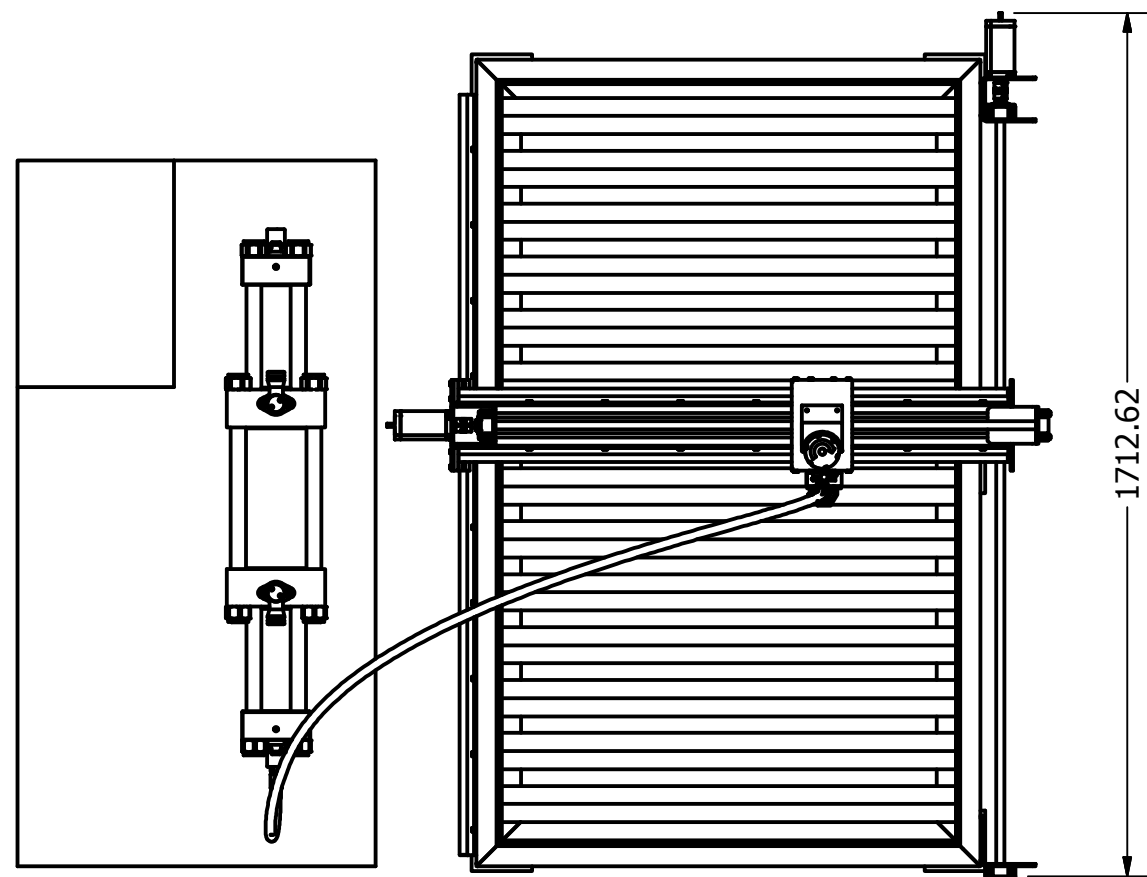
PROVEEDOR	PIEZA	CANTIDAD	COSTO
Central de Mangueras S.A.	Manguera Hidraulica BPK Parlock	5 m	-
Vistronica S.A.S.	SBR 16 UU	1	\$ 18.500
Vistronica S.A.S.	Guía lineal SBR 16	1 m	\$ 230.000
Vistronica S.A.S.	Soporte motor NEMA 23	1	\$ 20.000
Vistronica S.A.S.	Motor NEMA 23	1	\$ 225.000
MOVILTRONICS Ltda	Acople Flexible	1	\$ 15.000
Vistronica S.A.S.	Cojinete guía lineal	1	\$ 20.000
ALUCOL S. A.	Perfil Aluminio extruido	1,5 m	\$ 182.000
WESCO	Angulo acero inoxidable	6 m	-
ARNE	Tubo cudrado acero	6 m	\$ 100.000

EXTERNOS

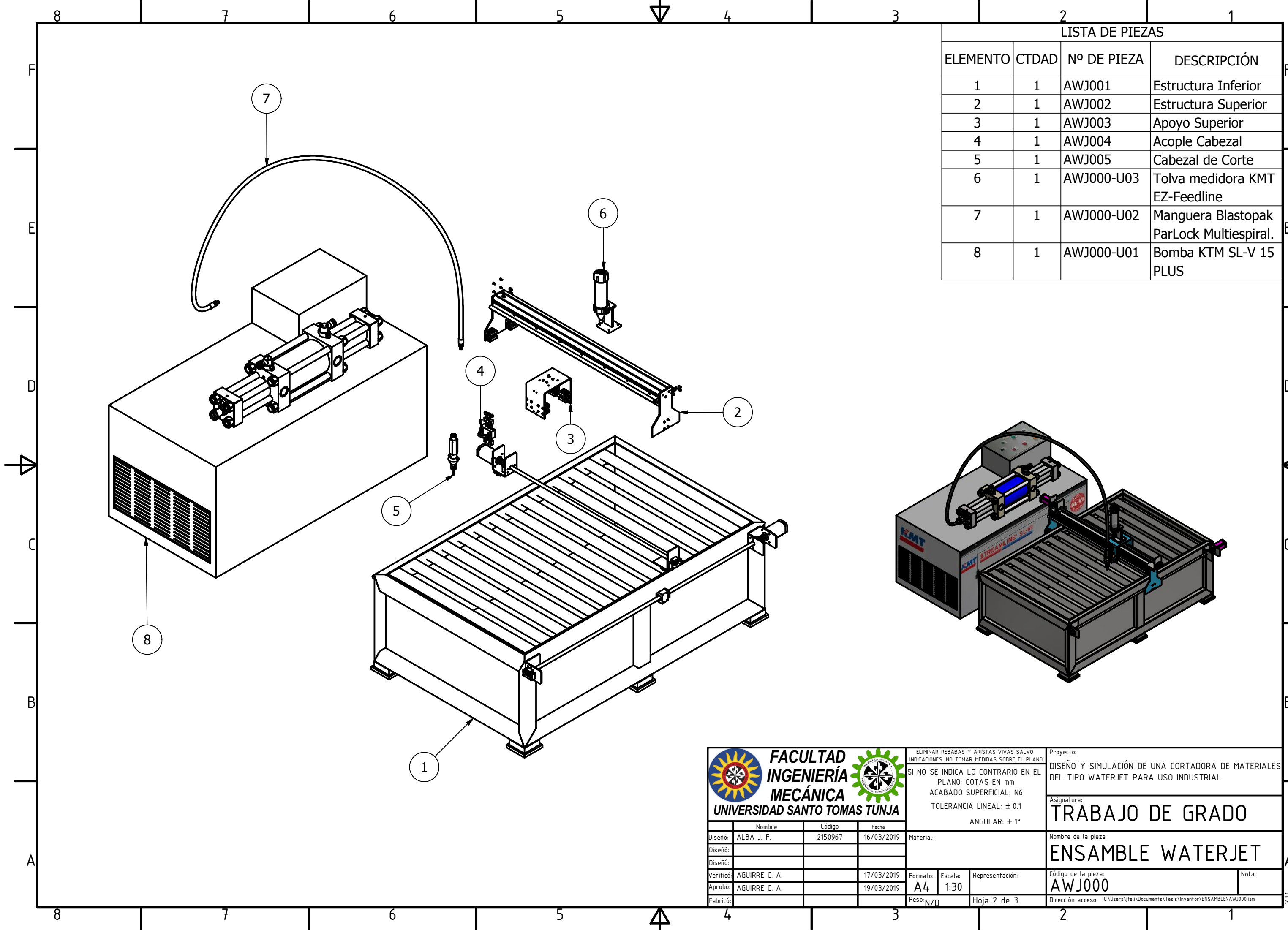
PROVEEDOR	PIEZA	CANTIDAD	COSTO
KMT	Bomba de alta presión serie SL.V	1	-
TCI Cutting	Bomba de alta presión serie SL-V	1	-
Flow	Cabezal de corte	1	-
WARD Jet	Tolva contenedora	1	-
Hypertherm	Cabezal de corte DiaLine	1	-

ANEXO H. PLANOS DE LA MÁQUINA



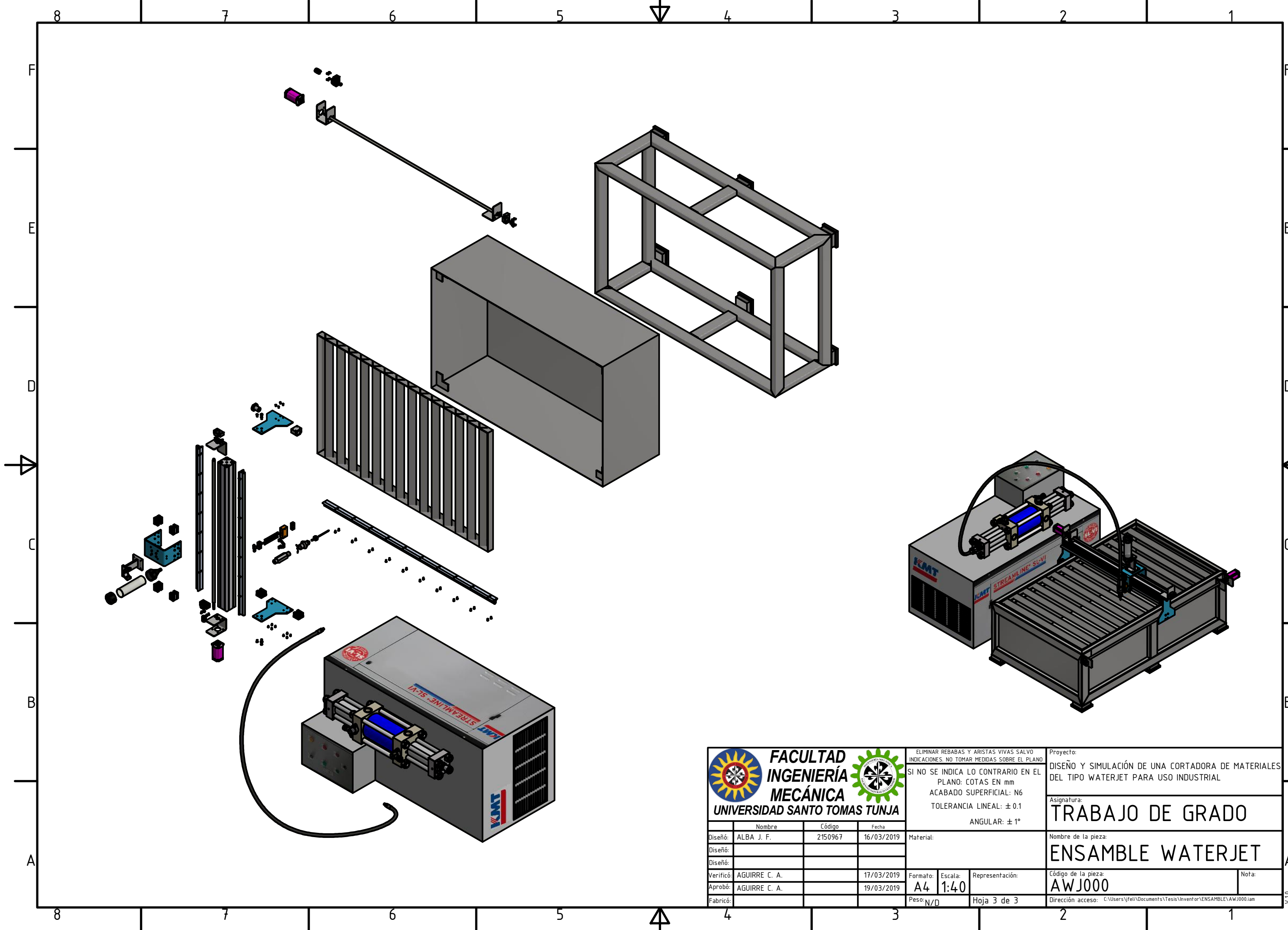


 FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA			ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm ACABADO SUPERFICIAL: N6 TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1 ANGULAR: $\pm 1^\circ$			Proyecto: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL	
Diseño: ALBA J. F.			Material:			Asignatura: TRABAJO DE GRADO	
Diseño:			Formato: A4			Nombre de la pieza: ENSAMBLE WATERJET	
Diseño:			Escala: 1:30			Código de la pieza: AWJ000	
Verificó: AGUIRRE C. A.			Representación:			Nota:	
Aprobó: AGUIRRE C. A.			Peso: N/D			Dirección acceso: C:\Users\jfel\Documents\Tesis\Inventor\ENSAMBLE\AWJ000.iam	
Fabricó:			Hoja 1 de 3				

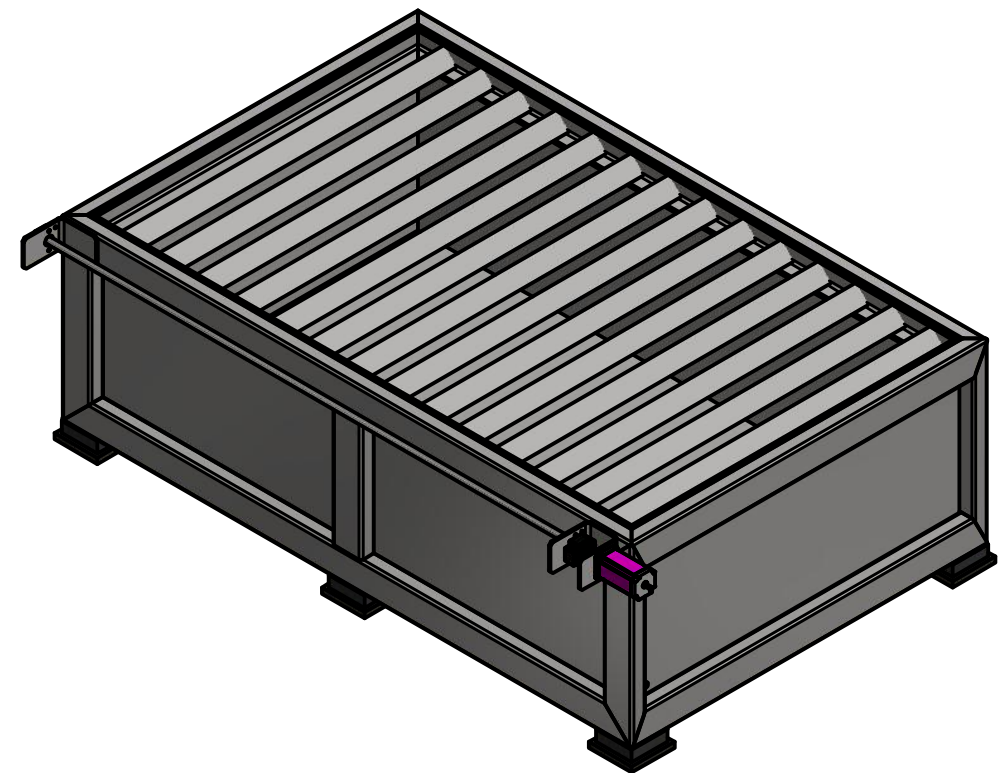
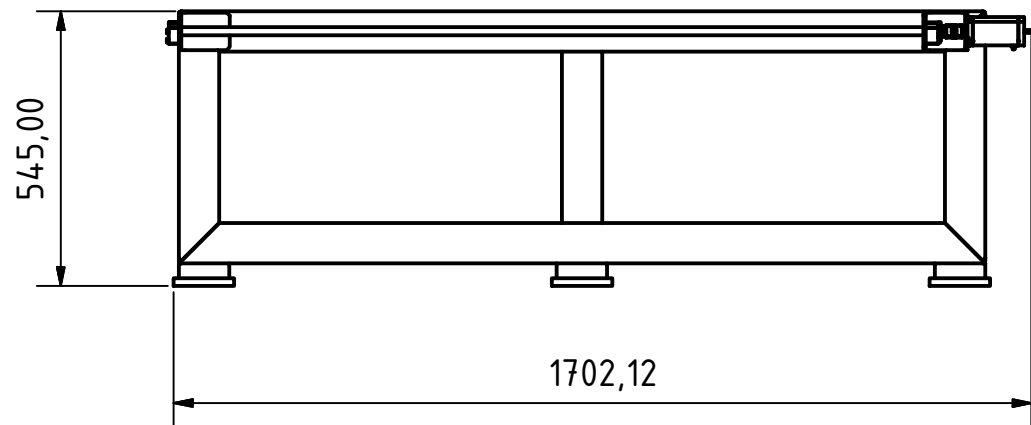
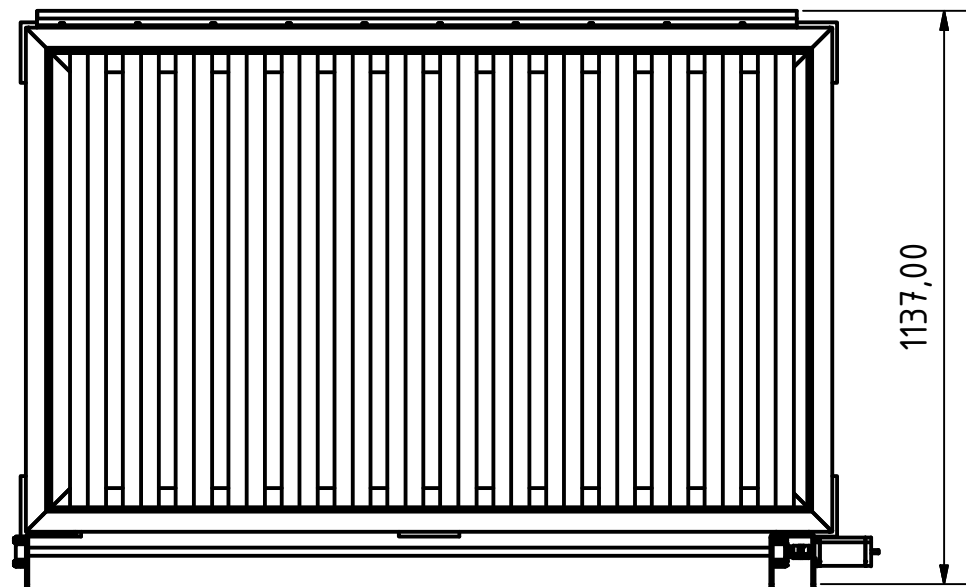


LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	AWJ001	Estructura Inferior
2	1	AWJ002	Estructura Superior
3	1	AWJ003	Apoyo Superior
4	1	AWJ004	Acople Cabezal
5	1	AWJ005	Cabezal de Corte
6	1	AWJ000-U03	Tolva medidora KMT EZ-Feedline
7	1	AWJ000-U02	Manguera Blastopak ParLock Multiespiral.
8	1	AWJ000-U01	Bomba KTM SL-V 15 PLUS

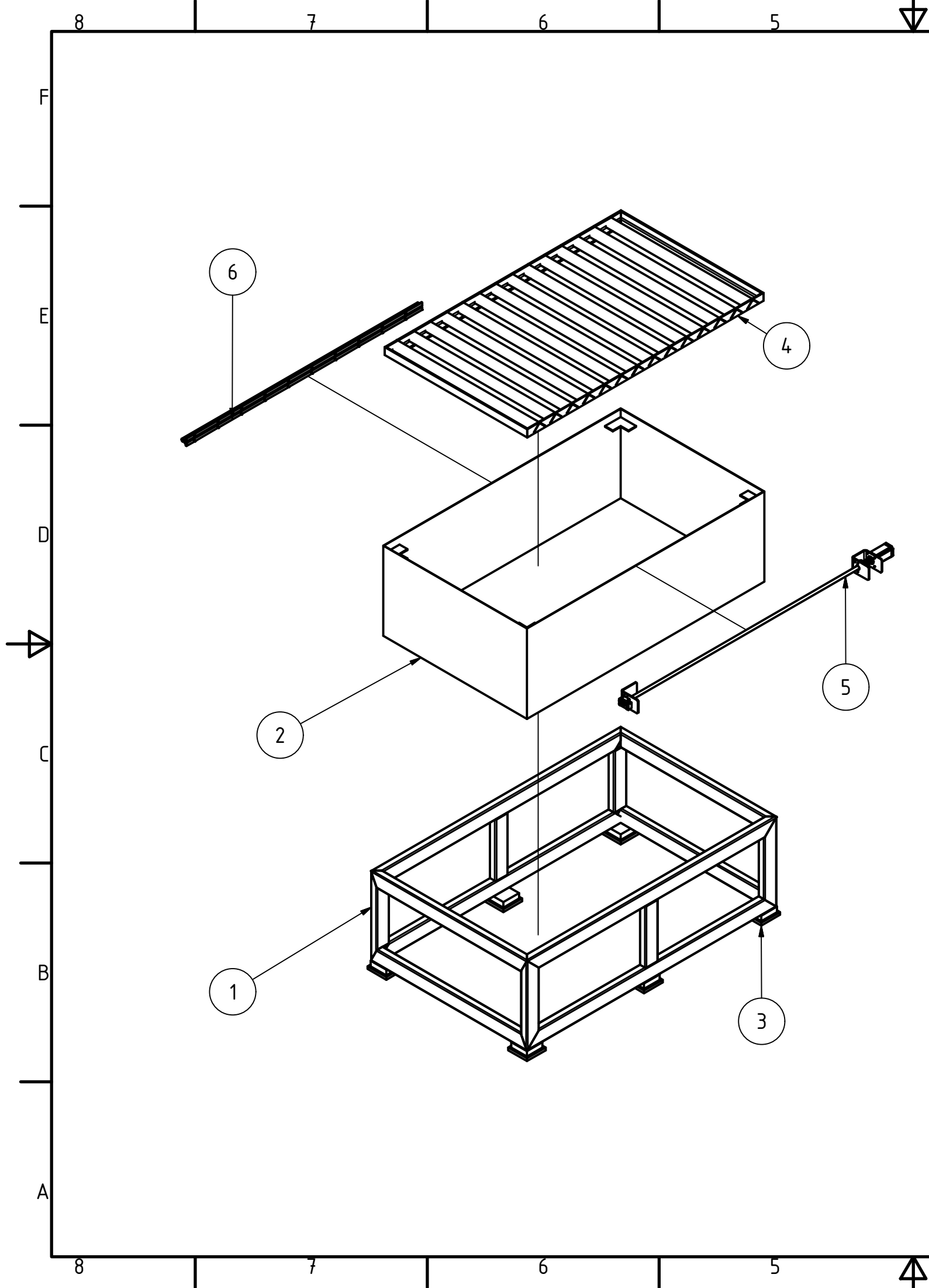
 FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA			Proyecto: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL		
ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm ACABADO SUPERFICIAL: N6 TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1 ANGULAR: ± 1°			Asignatura: TRABAJO DE GRADO		
Nombre de la pieza: ENSAMBLE WATERJET			Código de la pieza: AWJ000		
Dirección acceso: C:\Users\jfel\Documents\Tesis\Inventor\ENSAMBLE\AWJ000.iam			No: V:1.0		



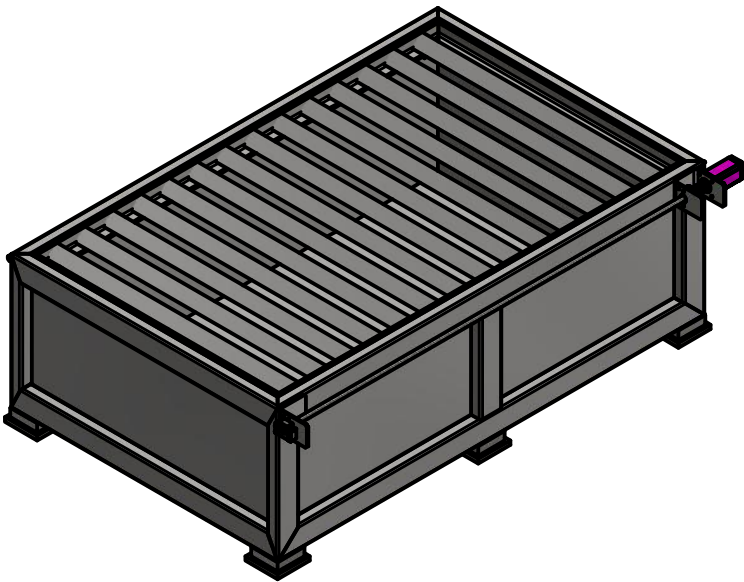
 FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNJA			ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm ACABADO SUPERFICIAL: N6 TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1 ANGULAR: ± 1°			Proyecto: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL		
						Asignatura: TRABAJO DE GRADO		
	Nombre		Código	Fecha		Material:		
Diseño:	ALBA J. F.		2150967	16/03/2019				
Diseño:								
Diseño:								
Verificó:	AGUIRRE C. A.			17/03/2019		Formato: A4		
Aprobó:	AGUIRRE C. A.			19/03/2019				
Fabricó:						Escala: 1:40		
						Representación:		
						Código de la pieza: AWJ000		
						Nota:		
			Peso: N/D			Hoja 3 de 3		
						Dirección acceso: C:\Users\jfel\Documents\Tesis\Inventor\ENSAMBLE\AWJ000.iam		



FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNJA				ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm ACABADO SUPERFICIAL: N6 TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1 ANGULAR: ± 1°				Proyecto: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL																											
						Asignatura: TRABAJO DE GRADO																													
<table><tr><td></td><td>Nombre</td><td>Código</td><td>Fecha</td></tr><tr><td>Diseño:</td><td>ALBA J. F.</td><td>2150967</td><td>16/03/2018</td></tr><tr><td>Diseño:</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Diseño:</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Verificó:</td><td>AGUIRRE C. A.</td><td></td><td>17/03/2019</td></tr><tr><td>Aprobó:</td><td>AGUIRRE C. A.</td><td></td><td>19/03/2019</td></tr><tr><td>Fabricó:</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>					Nombre	Código	Fecha	Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018	Diseño:				Diseño:				Verificó:	AGUIRRE C. A.		17/03/2019	Aprobó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019	Fabricó:				Material:		Nombre de la pieza: ESTRUCTURA INFERIOR	
	Nombre	Código	Fecha																																
Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018																																
Diseño:																																			
Diseño:																																			
Verificó:	AGUIRRE C. A.		17/03/2019																																
Aprobó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019																																
Fabricó:																																			
				Formato:	Escala:	Representación:	Código de la pieza: AWJ001	Nota:																											
				A4	1:30																														
				Peso: 226,383 kg	Hoja 1 de 7		Dirección acceso:																												



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	AWJ001-01	Estructura Base
2	1	AWJ001-02	Deposito Agua
3	6	AWJ001-03	Pie de Apoyo
4	1	AWJ001-04	Rejilla de Corte
5	1	AWJ001-05	Tornillo Movimiento
6	1	AWJ001-C1	Guía lineal SBR16 de 1508 mm





**FACULTAD
INGENIERÍA
MECÁNICA**
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA

ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm
ACABADO SUPERFICIAL: N6
TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1
ANGULAR: $\pm 1^\circ$

Proyecto:
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL

Asignatura:
TRABAJO DE GRADO

Nombre de la pieza:
ESTRUCTURA INFERIOR

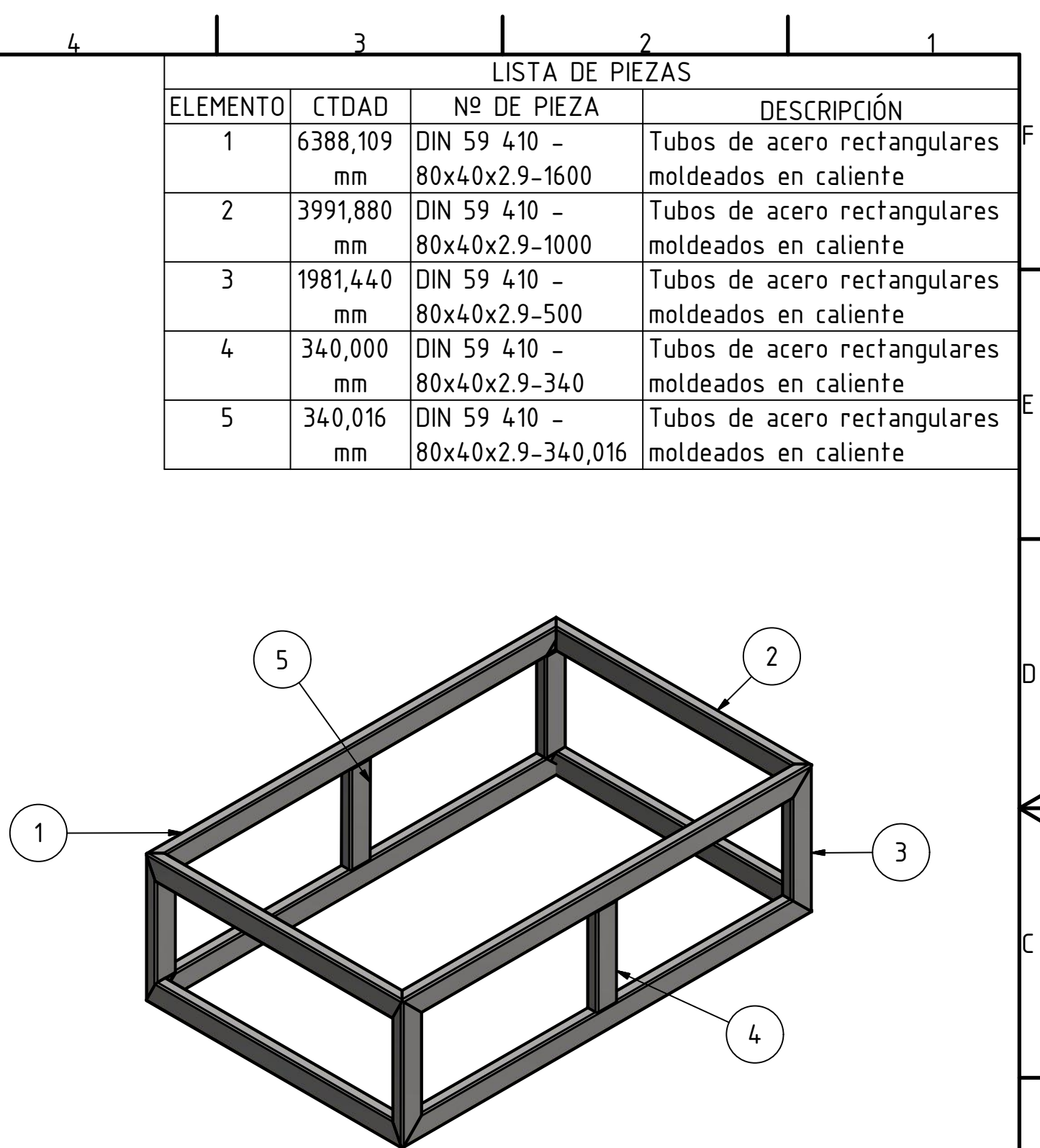
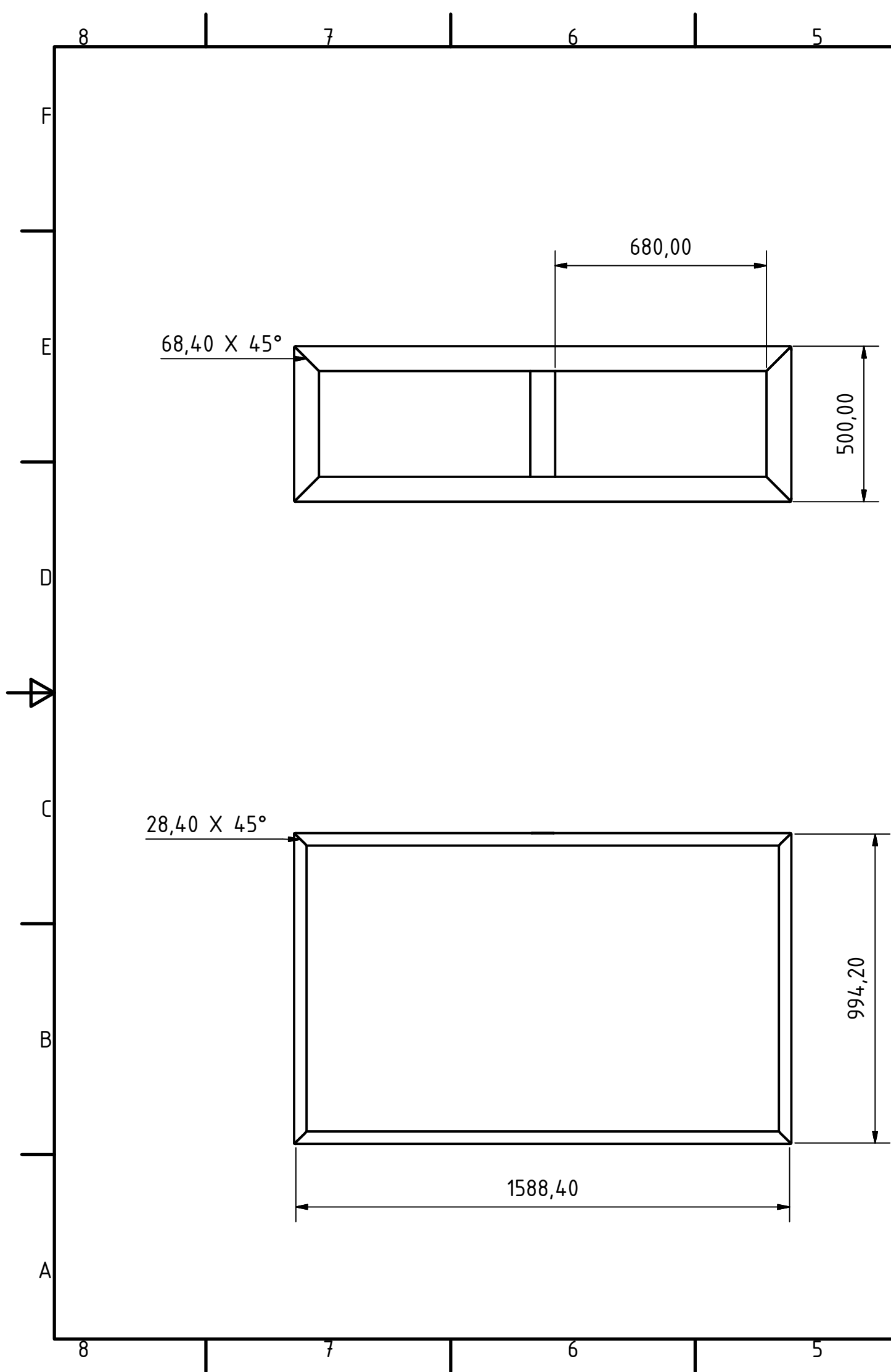
Código de la pieza:
AWJ001

Nota:

	Nombre	Código	Fecha	Material:	
Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018		
Diseño:					
Verificó:	AGUIRRE C. A.		17/03/2019	Formato:	Escala:
Aprobó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019	A4	1:40
Fabricó:				Peso: N/D	Representación:

Hoja 2 de 7

Dirección acceso:



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	6388,109 mm	DIN 59 410 - 80x40x2.9-1600	Tubos de acero rectangulares moldeados en caliente
2	3991,880 mm	DIN 59 410 - 80x40x2.9-1000	Tubos de acero rectangulares moldeados en caliente
3	1981,440 mm	DIN 59 410 - 80x40x2.9-500	Tubos de acero rectangulares moldeados en caliente
4	340,000 mm	DIN 59 410 - 80x40x2.9-340	Tubos de acero rectangulares moldeados en caliente
5	340,016 mm	DIN 59 410 - 80x40x2.9-340,016	Tubos de acero rectangulares moldeados en caliente



**FACULTAD
INGENIERÍA
MECÁNICA**
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA



ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm
ACABADO SUPERFICIAL: N6
TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1
ANGULAR: ± 1°

Proyecto:
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL

Asignatura:
TRABAJO DE GRADO

Nombre de la pieza:
ESTRUCTURA BASE

Código de la pieza:
AWJ001-01

Nota:

	Nombre	Código	Fecha
Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018
Diseño:			
Diseño:			
Verificó:	AGUIRRE C. A.		17/03/2019
Aprobó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019
Fabricó:			

Material:

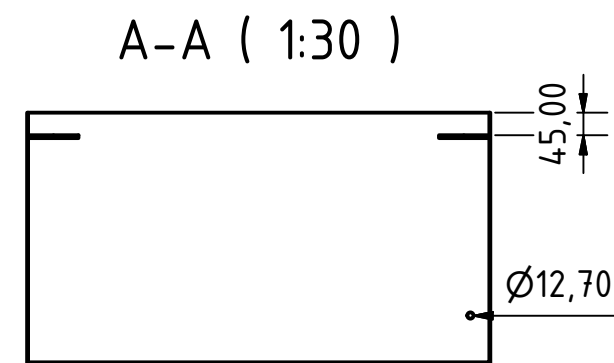
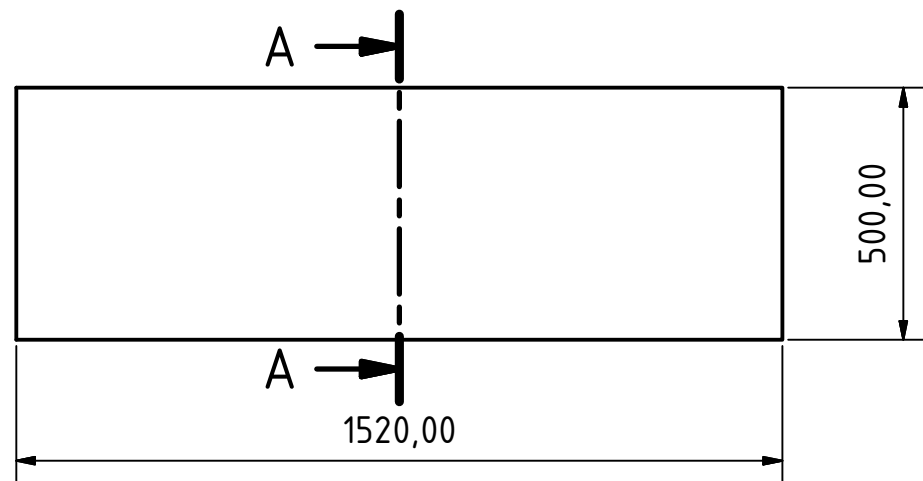
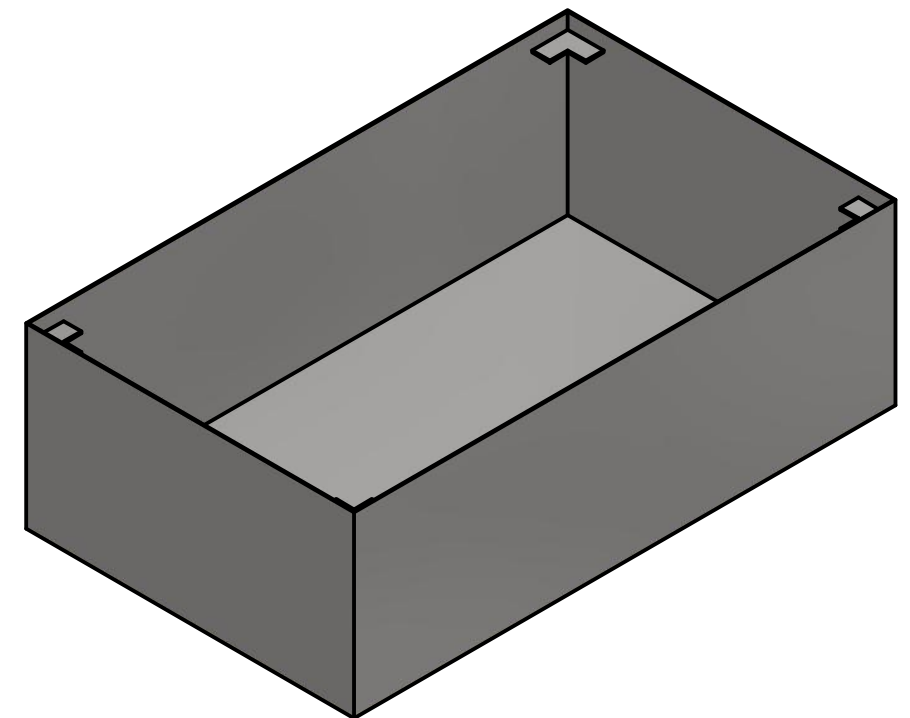
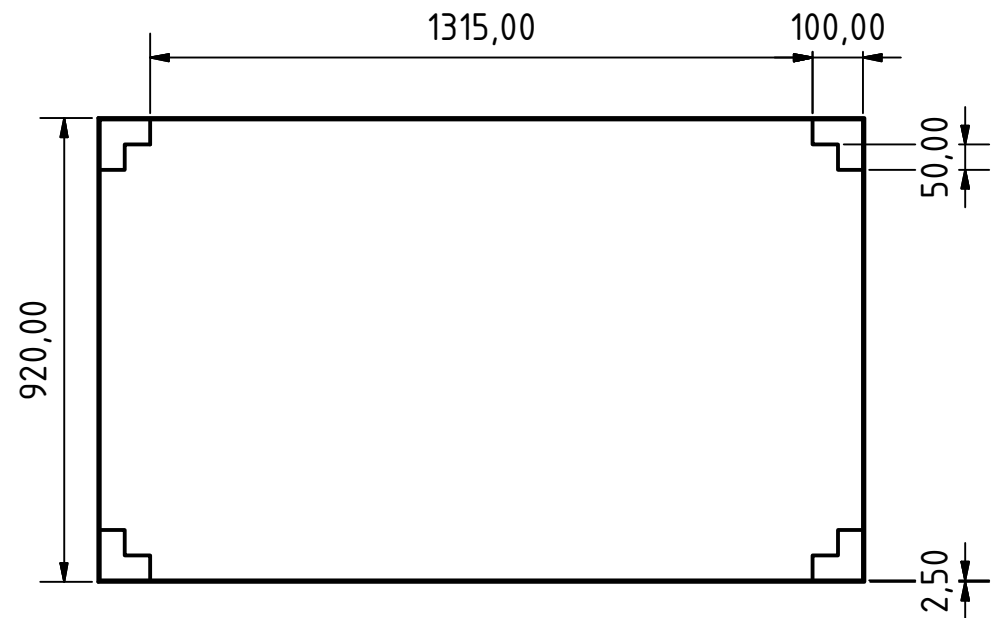
Formato: A4

Escala: 1:30

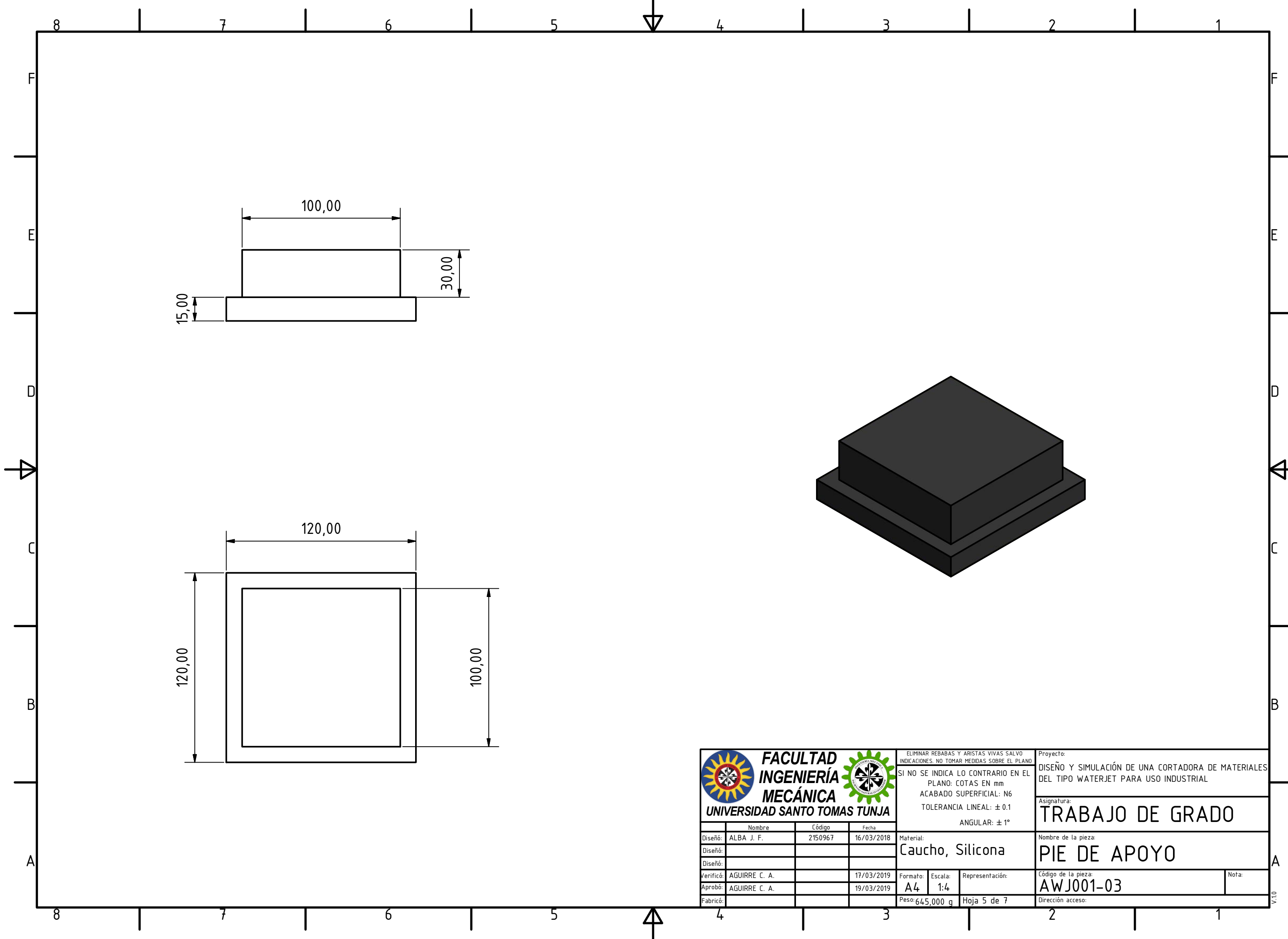
Representación:

Peso: 60,469 kg

Hoja 3 de 7



 FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNJA 				ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm ACABADO SUPERFICIAL: N6 TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1 ANGULAR: $\pm 1^\circ$				Proyecto: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL															
				Asignatura: TRABAJO DE GRADO																			
<table><tr><td></td><td>Nombre</td><td>Código</td><td>Fecha</td></tr><tr><td>Diseño:</td><td>ALBA J. F.</td><td>2150967</td><td>16/03/2018</td></tr><tr><td>Diseño:</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Diseño:</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>					Nombre	Código	Fecha	Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018	Diseño:				Diseño:				Material: Acero inoxidable		Nombre de la pieza: DEPOSITO AGUA	
	Nombre	Código	Fecha																				
Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018																				
Diseño:																							
Diseño:																							
<table><tr><td>Verificó:</td><td>AGUIRRE C. A.</td><td></td><td>17/03/2019</td></tr><tr><td>Aprobó:</td><td>AGUIRRE C. A.</td><td></td><td>19/03/2019</td></tr><tr><td>Fabricó:</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>				Verificó:	AGUIRRE C. A.		17/03/2019	Aprobó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019	Fabricó:				Formato:	Escala:	Representación:	Código de la pieza: AWJ001-02	Nota:			
Verificó:	AGUIRRE C. A.		17/03/2019																				
Aprobó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019																				
Fabricó:																							
				Peso: 105,346 kg	Hoja 4 de 7	Dirección acceso:																	





FACULTAD

INGENIERÍA

MECÁNICA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA



ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm

ACABADO SUPERFICIAL: N6

TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1

ANGULAR: ± 1°

Proyecto:

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL

Asignatura:

TRABAJO DE GRADO

Nombre de la pieza:

PIE DE APOYO

Verificó:

AGUIRRE C. A.

17/03/2019

Formato:

A4

Escala:

1:4

Representación:

Código de la pieza:

AWJ001-03

No:

Aprobó:

AGUIRRE C. A.

19/03/2019

Peso:

645,000 g

Hoja 5 de 7

Dirección acceso:

Diseño:

ALBA J. F.

2150967

16/03/2018

Diseño:

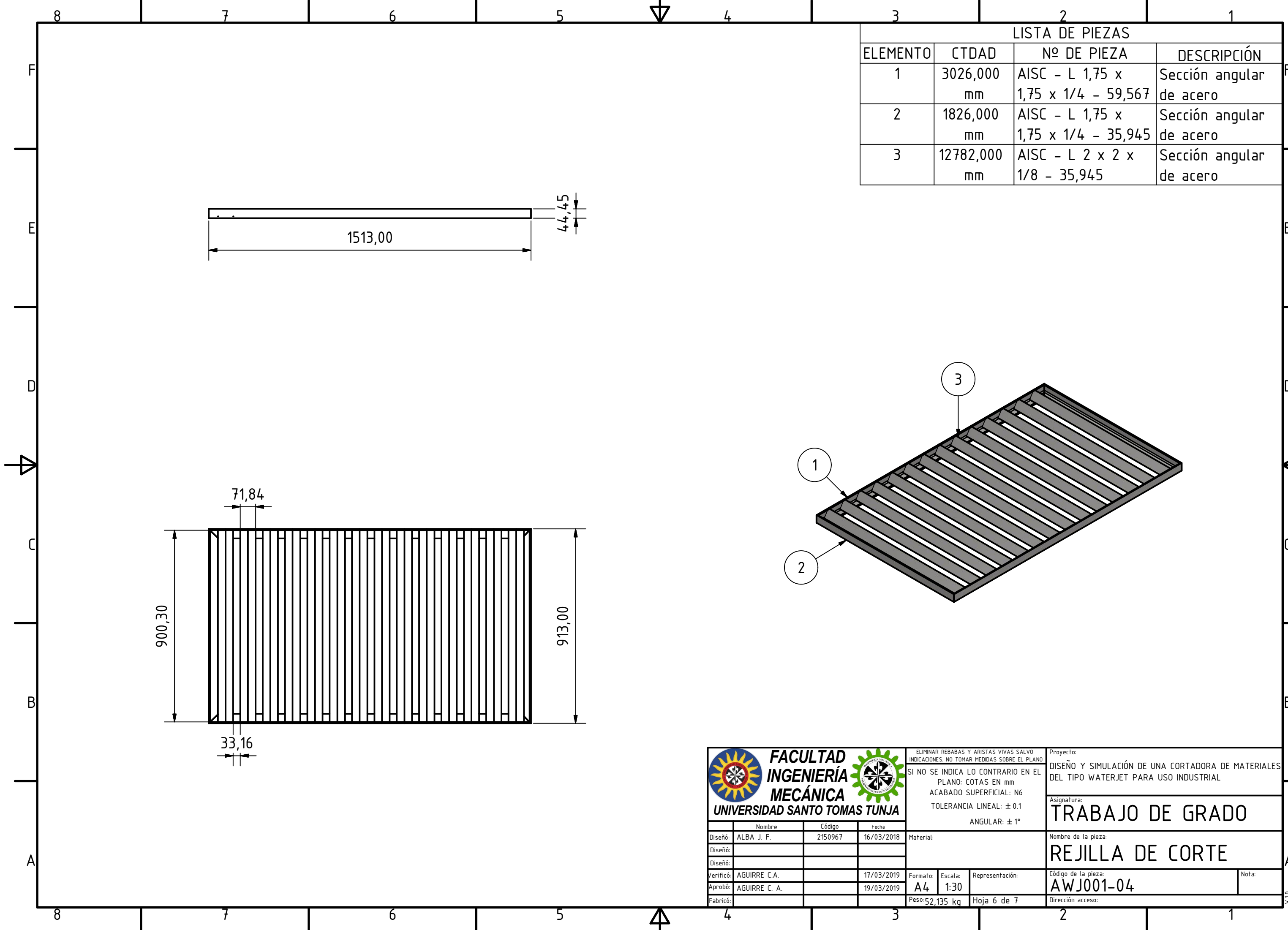
Diseño:

Fabricó:

Material:

Caucho, Silicona

V:10





**FACULTAD
INGENIERÍA
MECÁNICA**
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA



ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO.
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm
ACABADO SUPERFICIAL: N6
TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1
ANGULAR: ± 1°

Proyecto:
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL

Asignatura:
TRABAJO DE GRADO

Nombre de la pieza:
REJILLA DE CORTE

Verificó: AGUIRRE C.A.

Aprobó: AGUIRRE C. A.

Fabricó:

Código: 2150967

Fecha: 16/03/2018

Formato: A4

Escala: 1:30

Representación:

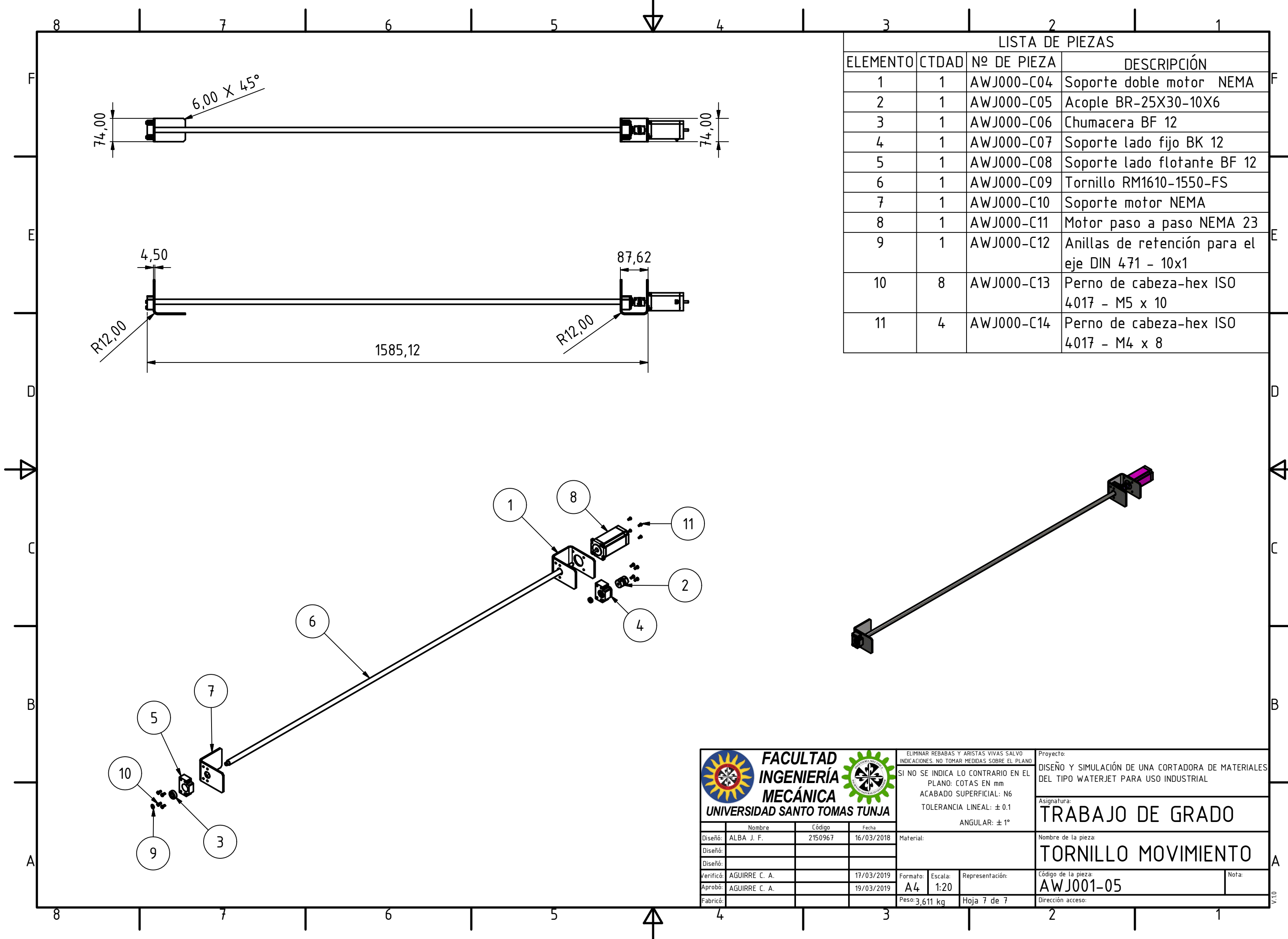
Código de la pieza: AWJ001-04

Nota:

Peso: 52,135 kg

Hoja 6 de 7

Dirección acceso:



**FACULTAD
INGENIERÍA
MECÁNICA**

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA

ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO.
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm
ACABADO SUPERFICIAL: N6
TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1
ANGULAR: ± 1°

Proyecto:
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL

Asignatura:
TRABAJO DE GRADO

Nombre de la pieza:
TORNILLO MOVIMIENTO

Código de la pieza:
AWJ001-05

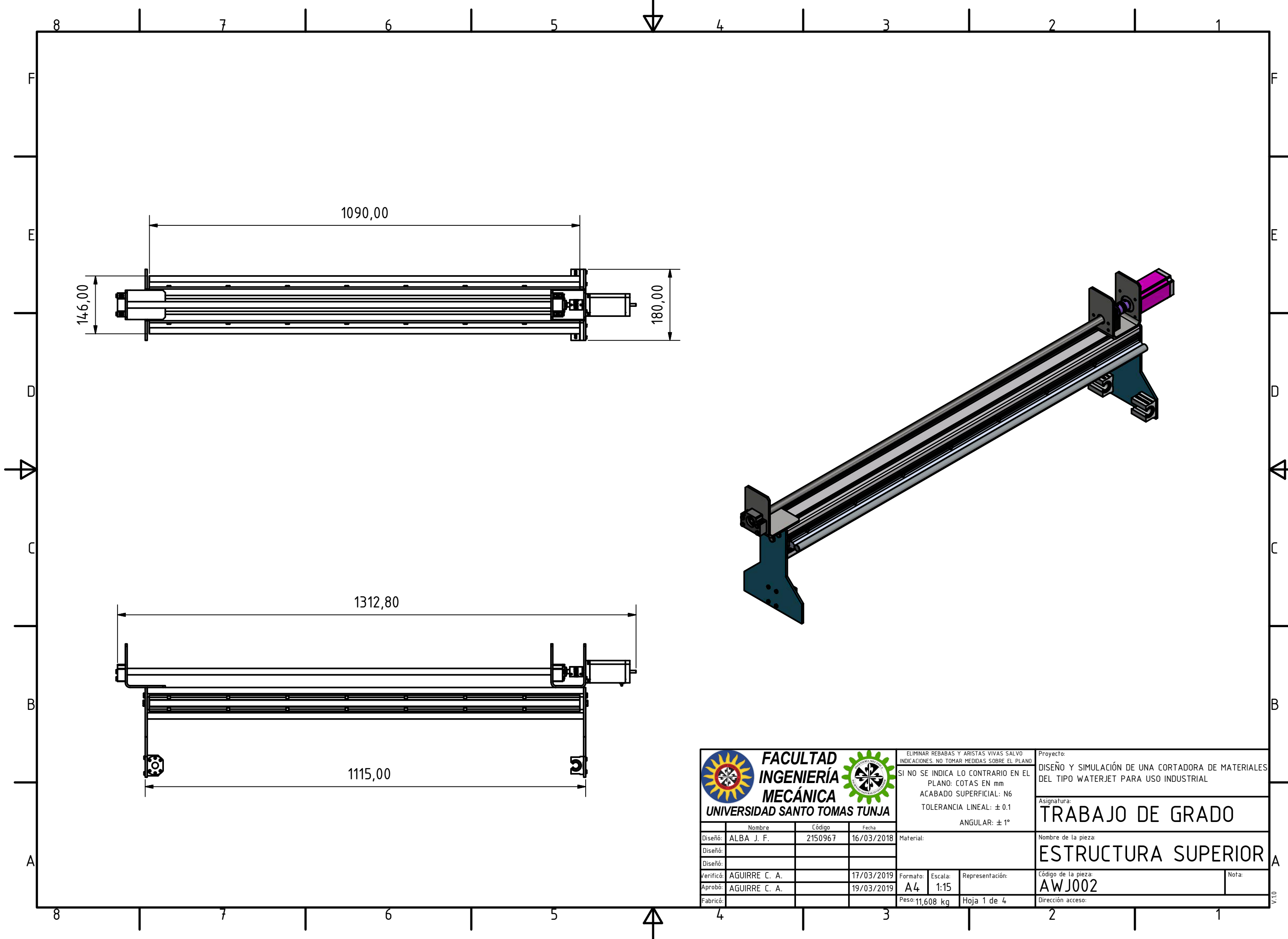
Nota:

Diseño:	Nombre	Código	Fecha
Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018
Diseño:			
Diseño:			
Verificó:	AGUIRRE C. A.		17/03/2019
Aprobó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019
Fabricó:			

Material:

Formato: A4 Escala: 1:20 Representación:

Peso: 3,611 kg Hoja 7 de 7





FACULTAD

INGENIERÍA

MECÁNICA

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNJA



ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm

ACABADO SUPERFICIAL: N6

TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1

ANGULAR: ± 1°

Proyecto:

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL

Asignatura:

TRABAJO DE GRADO

Nombre de la pieza:

ESTRUCTURA SUPERIOR

Código de la pieza:

AWJ002

No:

Dirección acceso:

	Nombre	Código	Fecha
Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018
Diseño:			
Diseño:			
Verificó:	AGUIRRE C. A.		17/03/2019
Aprobó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019
Fabricó:			

Material:

Formato:

A4

Escala:

1:15

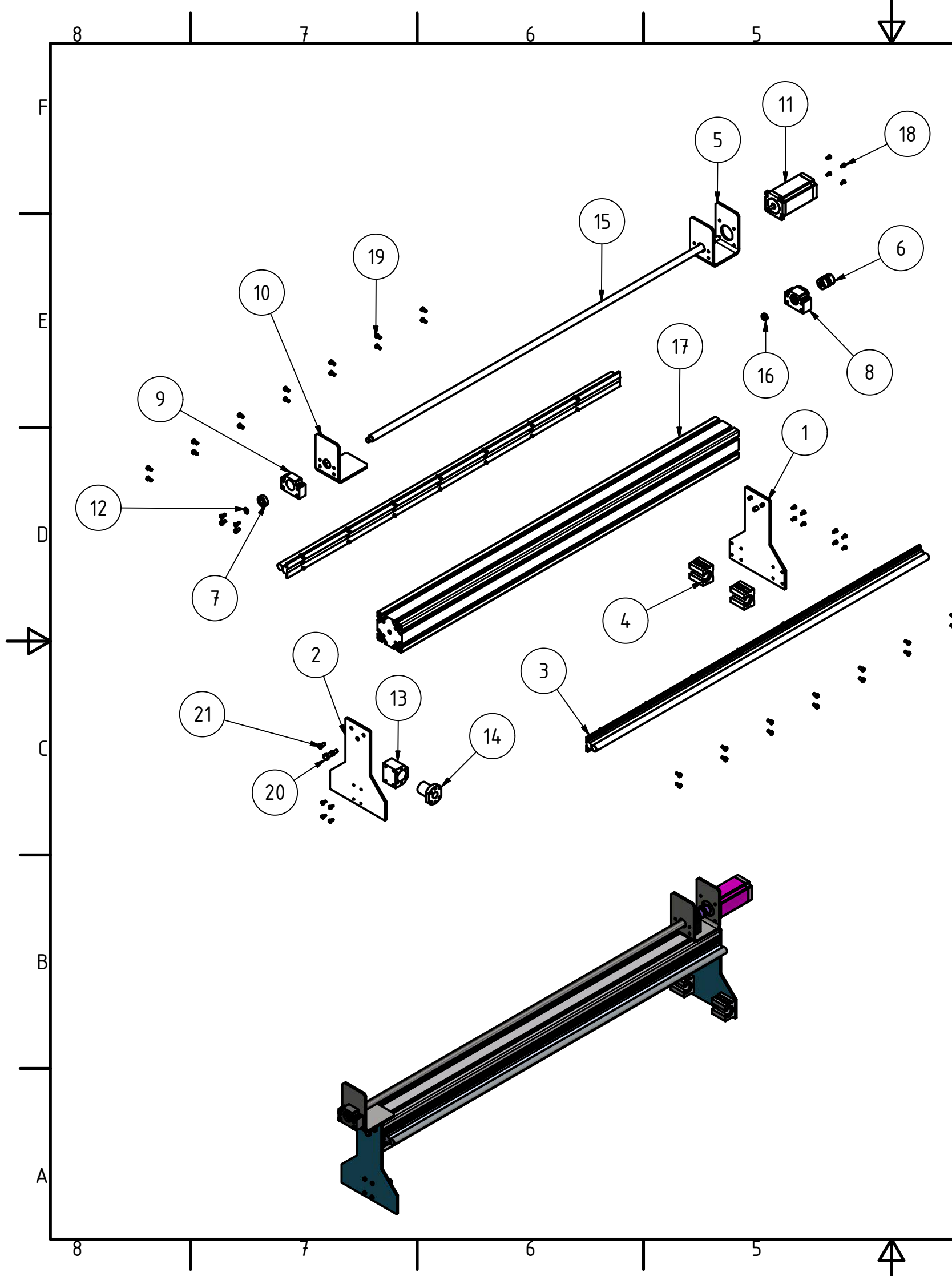
Representación:

Peso:

11,608 kg

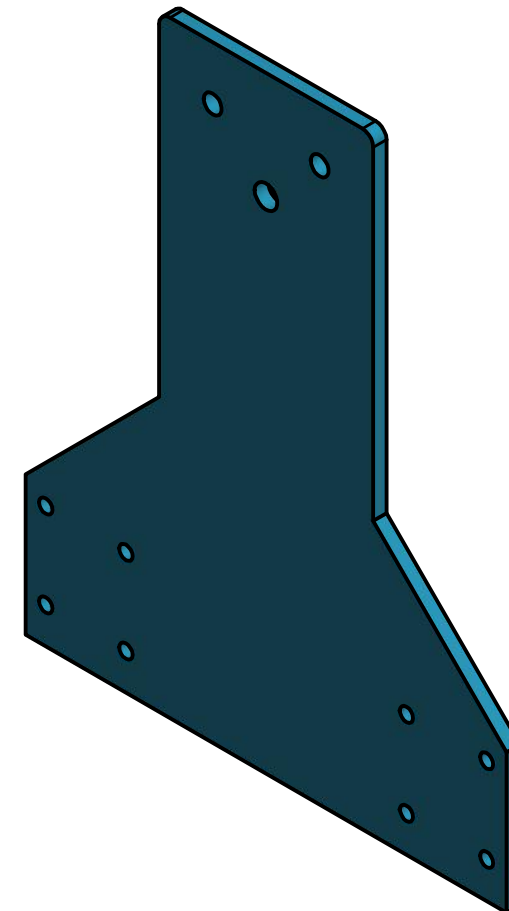
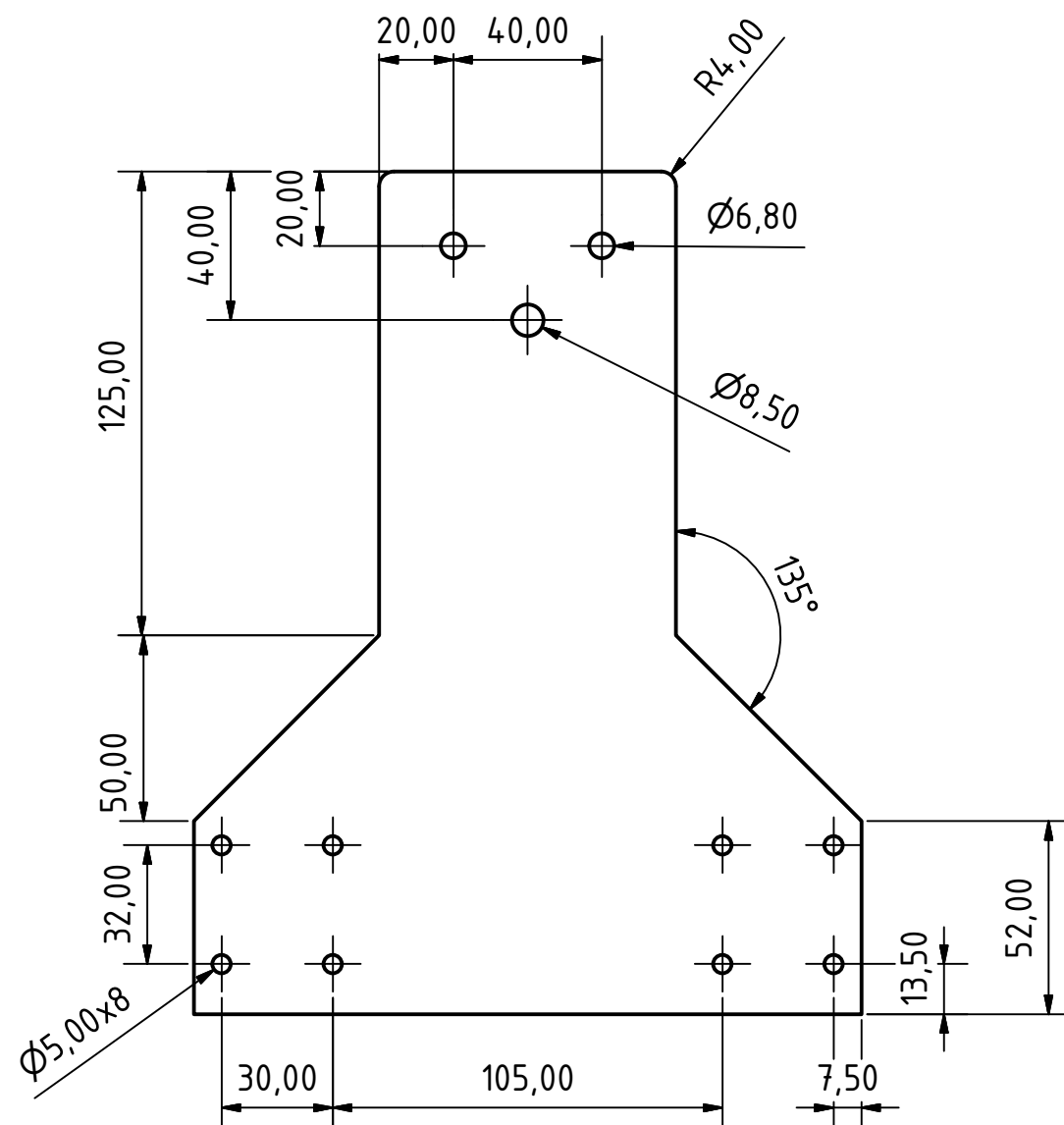
Hoja

1 de 4

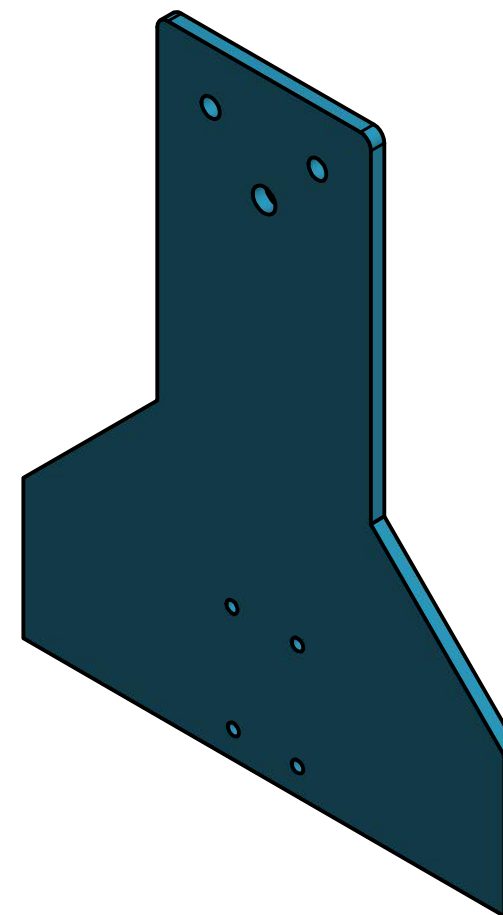
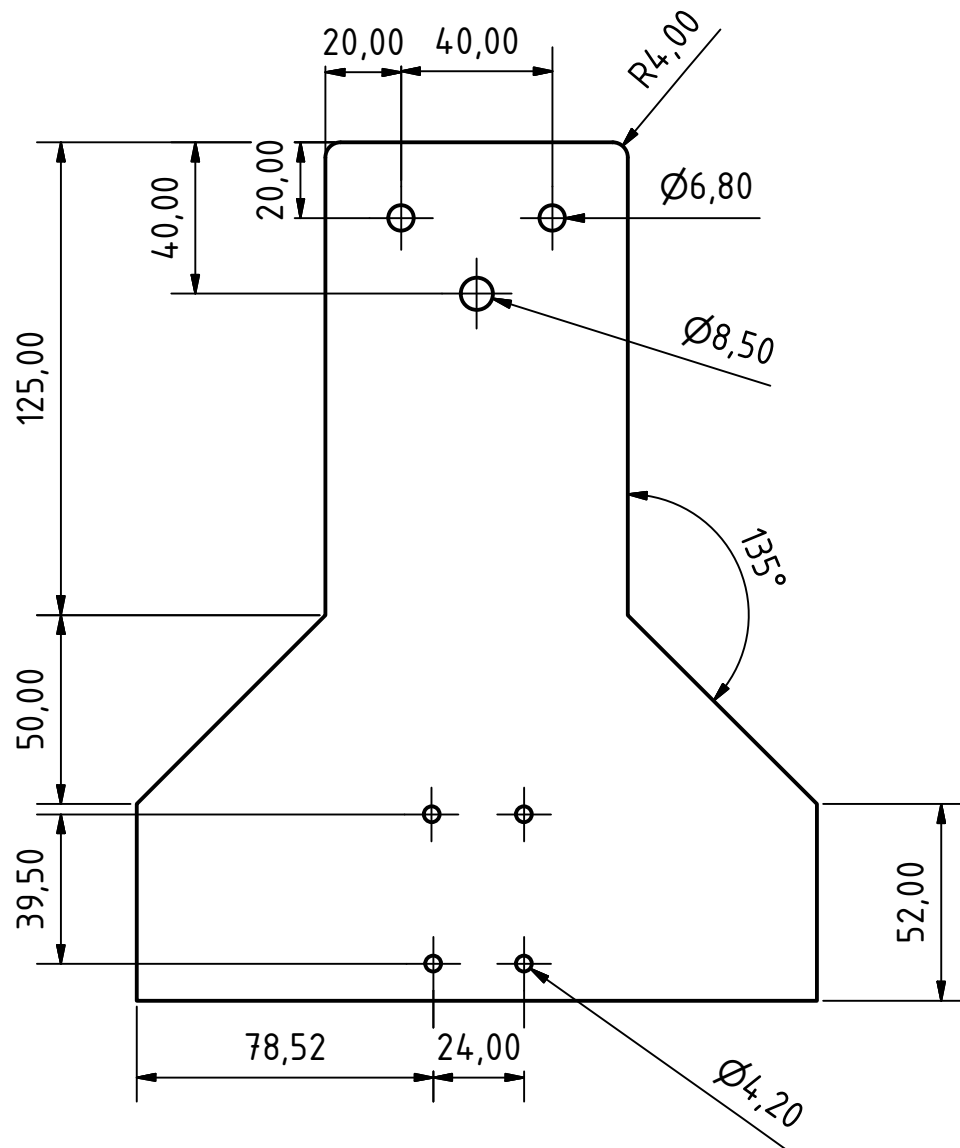
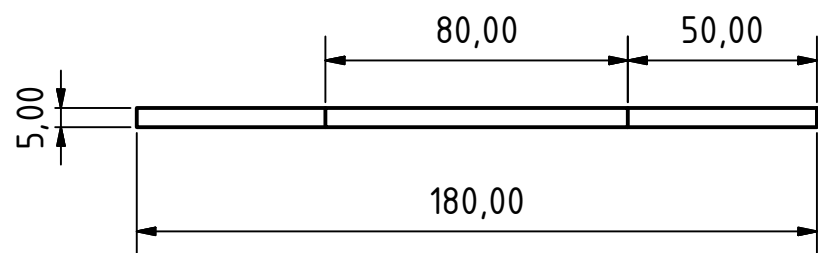


LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	AWJ002-01	Ver Plano
2	1	AWJ002-02	Ver Plano
3	2	AWJ000-C02	SBR16 1090L N=50 de 1085 mm
4	2	AWJ000-C03	Rodamiento SBR16
5	1	AWJ000-C04	Soporte doble motor Nema 23
6	1	AWJ000-C05	Acople BR-25X30-10X6
7	1	AWJ000-C06	Chumacera BF 12
8	1	AWJ000-C07	Soporte lado fijo BK 12
9	1	AWJ000-C08	Soporte lado flotante BF 12
10	1	AWJ000-C10	Soporte motor Nema 23
11	1	AWJ000-C11	Motor paso a paso Nema 23
12	1	AWJ000-C12	Anillas de retención para el eje DIN 471 - 10x1
13	1	AWJ000-C13	Acople tuerca HD16
14	1	AWJ000-C14	Tuerca BSFU1610
15	1	AWJ000-C15	Tornillo RM1610-1150-FS
16	1	AWJ000-C16	Collar BK 12
17	1	AWJ000-C17	Perfil en aluminio extruido 80X80X1105 mm
18	16	AWJ000-C18	Perno de cabeza-hex ISO 4017 - M4 x 8
19	64	AWJ000-C19	Perno de cabeza-hex ISO 4017 - M5 x 10
20	2	AWJ000-C20	Perno de cabeza-hex ISO 4017 - M8 x 16
21	4	AWJ000-C21	Perno de cabeza-hex ISO 4017 - M6 x 12

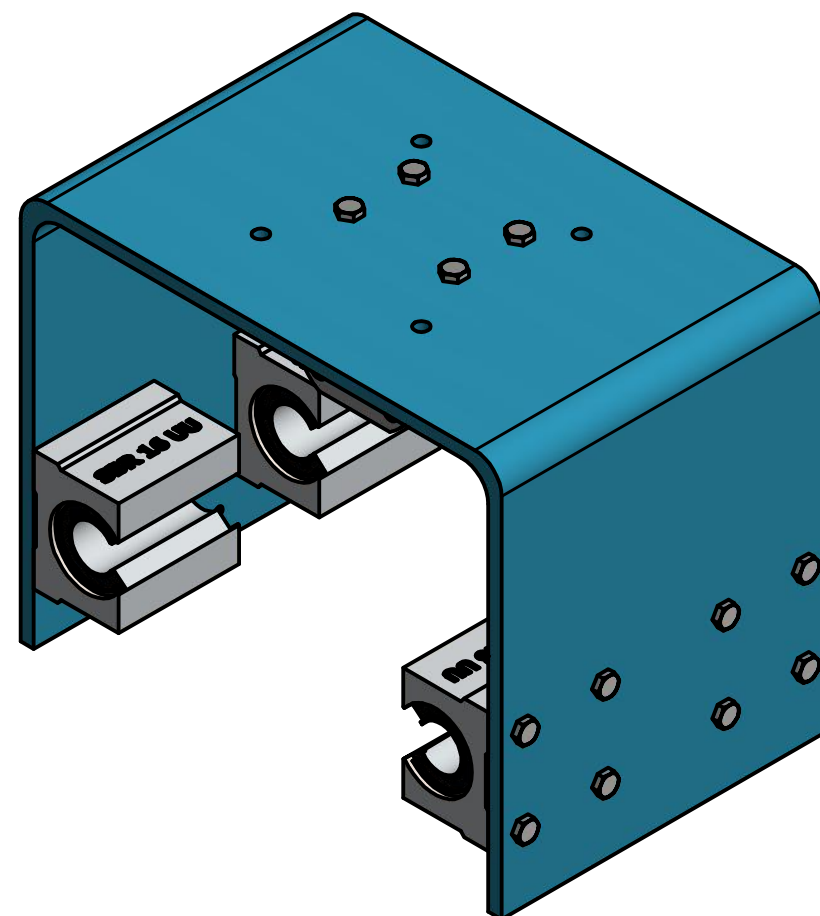
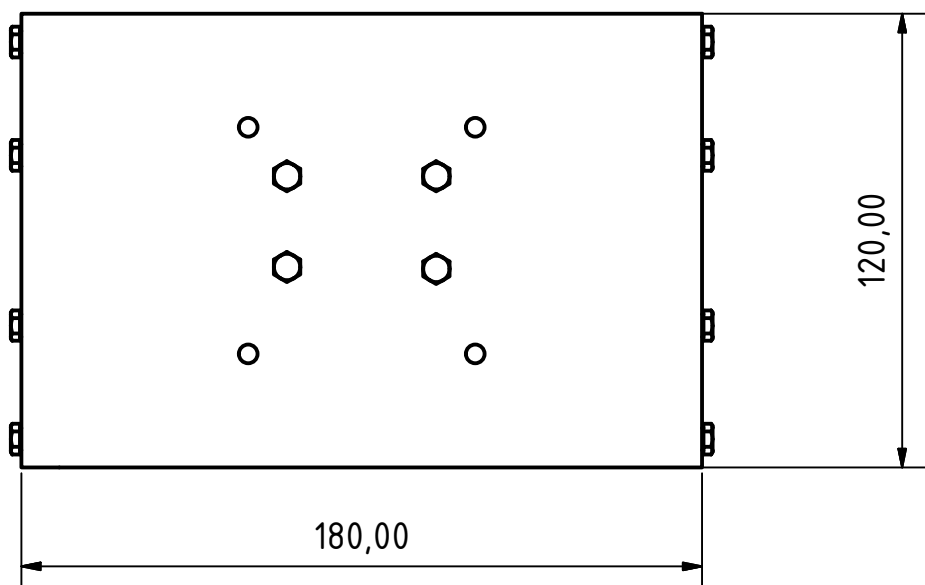
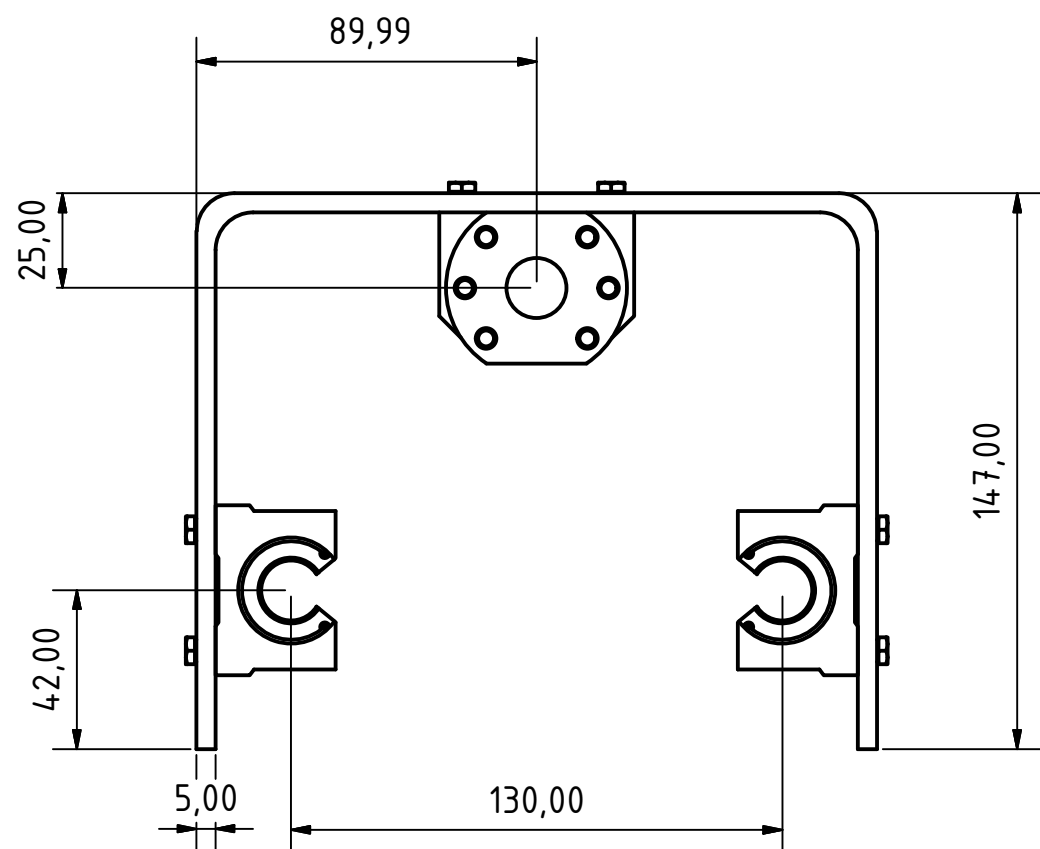
		ELIMINAR REBASAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO		Proyecto:	
		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm ACABADO SUPERFICIAL: N6 TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1 ANGULAR: $\pm 1^\circ$		DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL	
Nombre:		Código:		Fecha:	
Diseño:		Diseño:		Diseño:	
Verificó:		Aguirre C. A.		17/03/2019	
Aprobó:		Aguirre C. A.		19/03/2019	
Fabricó:					
Material:		Formato:		Escala:	
		A4		1:15	
		Representación:		Código de la pieza:	
				AWJ002	
		Peso: 11,608 kg		Hoja 2 de 4	
				Dirección acceso:	



 FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA 				ELIMINAR REBASAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES: NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm ACABADO SUPERFICIAL: N6 TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1 ANGULAR: ± 1°				Proyecto: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL																											
				Asignatura:		TRABAJO DE GRADO																													
<table><tr><td></td><td>Nombre</td><td>Código</td><td>Fecha</td></tr><tr><td>Diseño:</td><td>ALBA J. F.</td><td>2150967</td><td>16/03/2018</td></tr><tr><td>Diseño:</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Diseño:</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Verificó:</td><td>AGUIRRE C. A.</td><td></td><td>18/03/2019</td></tr><tr><td>Aprobó:</td><td>AGUIRRE C. A.</td><td></td><td>19/03/2019</td></tr><tr><td>Fabricó:</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>					Nombre	Código	Fecha	Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018	Diseño:				Diseño:				Verificó:	AGUIRRE C. A.		18/03/2019	Aprobó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019	Fabricó:				Material: Acero		Nombre de la pieza: SOPORTE RODAMIENTOS	
	Nombre	Código	Fecha																																
Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018																																
Diseño:																																			
Diseño:																																			
Verificó:	AGUIRRE C. A.		18/03/2019																																
Aprobó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019																																
Fabricó:																																			
				Formato:	Escala:	Representación:	Código de la pieza: AWJ002-01	Nota:																											
				A4	1:4																														
				Peso: 1 003 kg	Hoja 3 de 4		Dirección acceso:																												

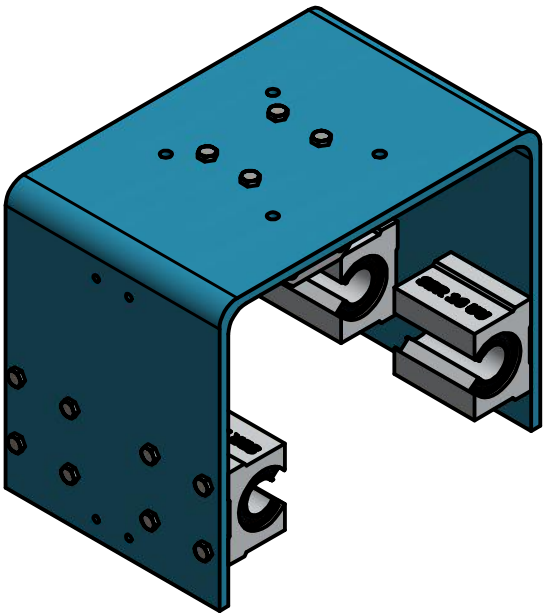
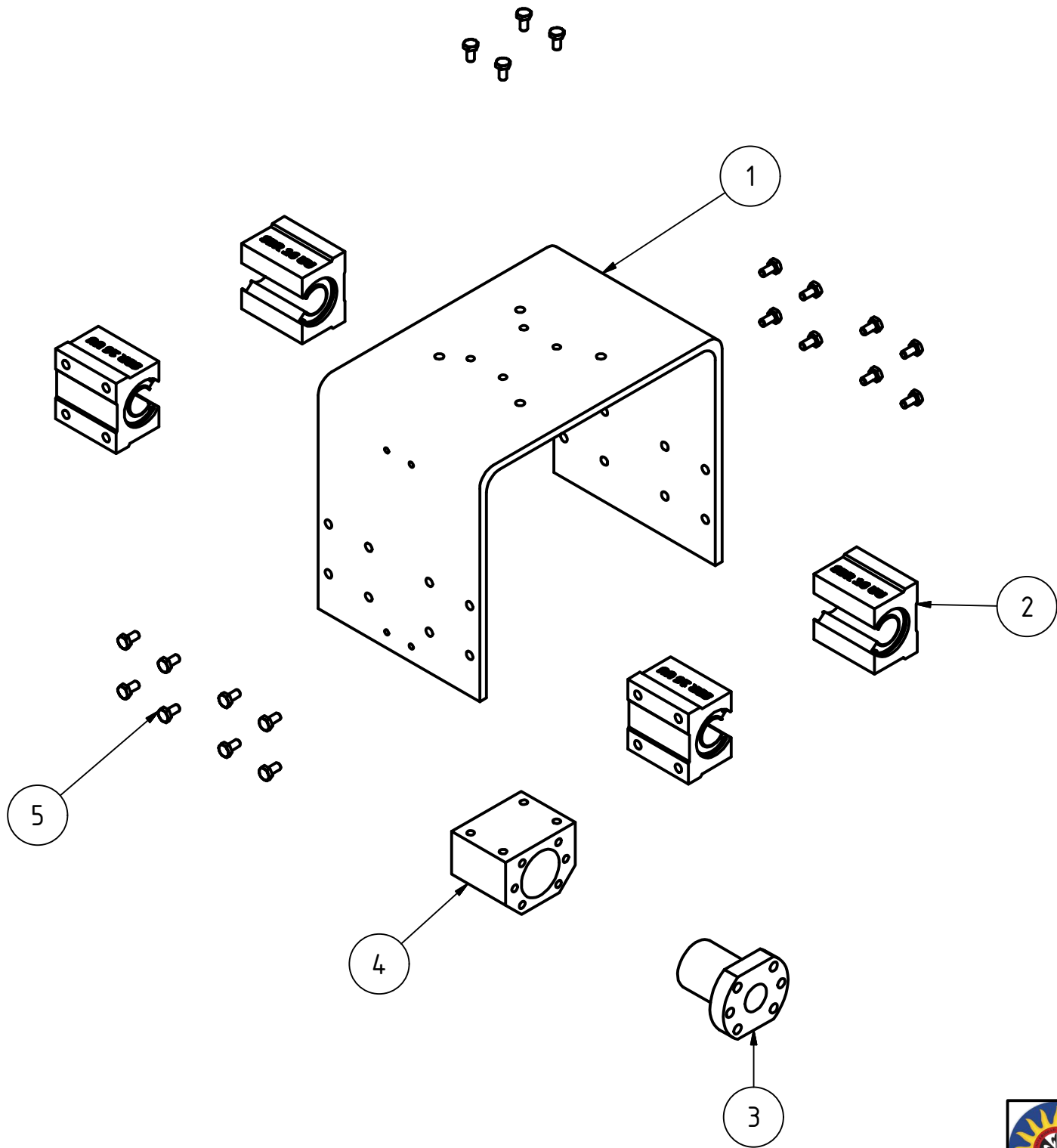


 FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNJA 				ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm ACABADO SUPERFICIAL: N6 TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1 ANGULAR: $\pm 1^\circ$				Proyecto: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL	
				Asignatura: TRABAJO DE GRADO					
				Material: Acero		Nombre de la pieza: SOPORTE HD16			
Diseño: ALBA J. F.				Código: 2150967		Fecha: 16/03/2018			
Diseño:									
Diseño:									
Verificó: AGUIRRE C. A.				18/03/2019		Formato: A4			
Aprobó: AGUIRRE C. A.				19/03/2019		Escala: 1:4			
Fabricó:						Representación:			
				Peso: 1,007 kg		Hoja 4 de 4			
						Código de la pieza: AWJ002-02			
						Nota:			
						Dirección acceso:			

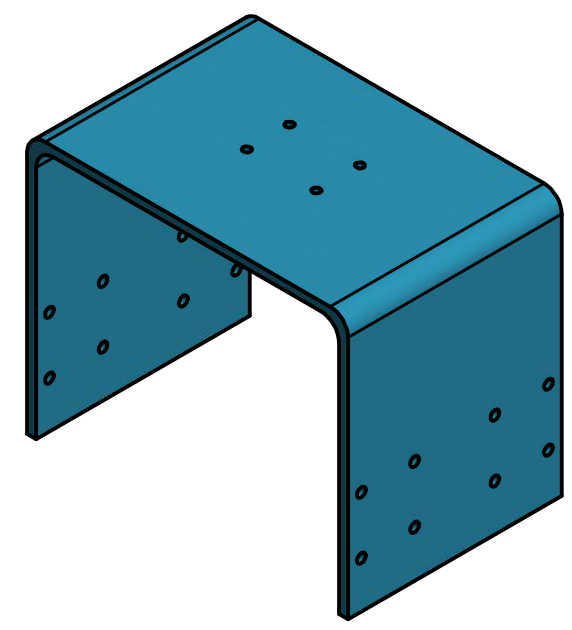
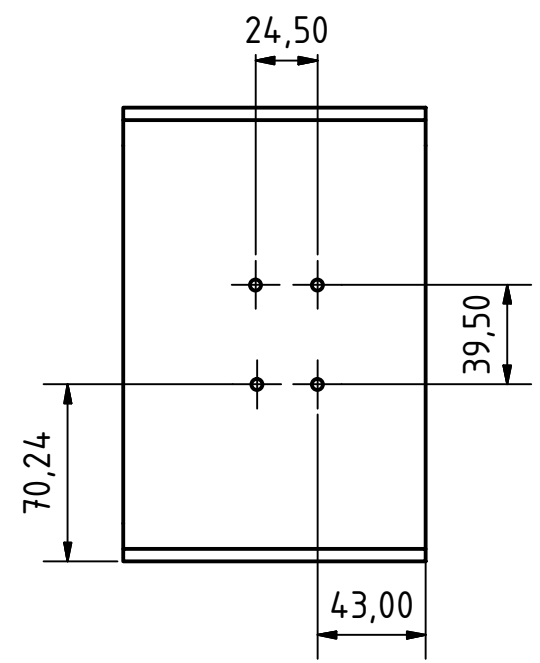
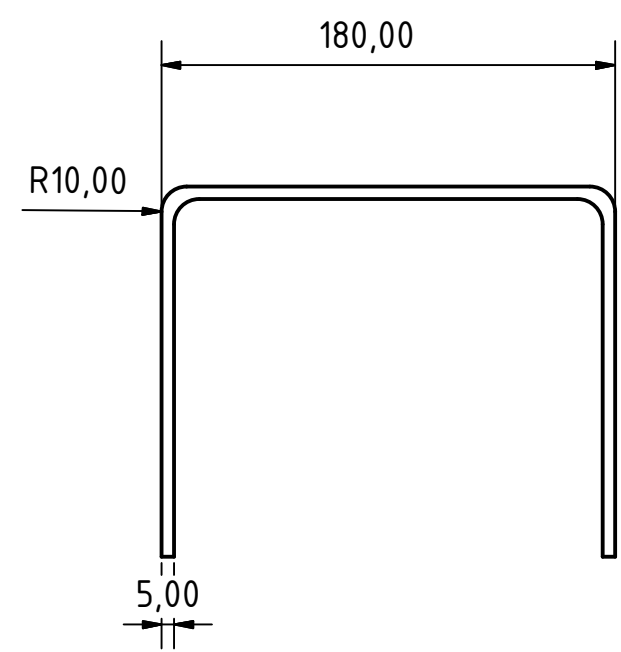
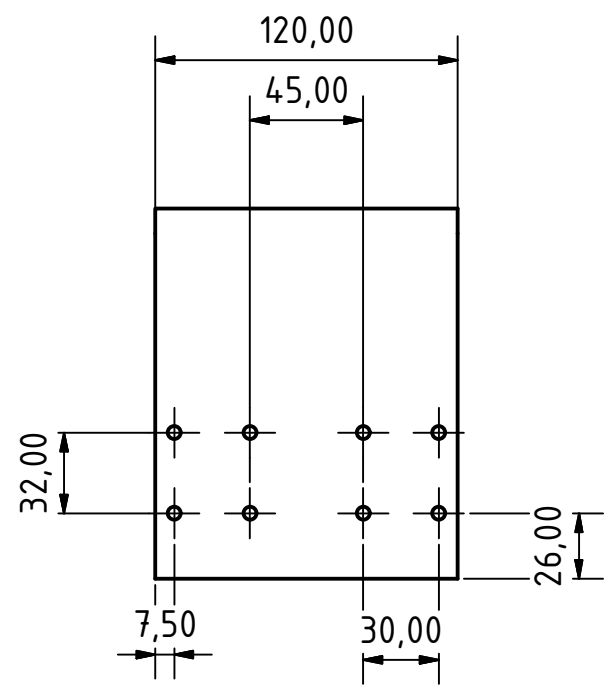


 FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNJA 				ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm ACABADO SUPERFICIAL: N6 TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1 ANGULAR: ± 1°				Proyecto: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL																									
				Asignatura: TRABAJO DE GRADO																													
<table><tr><td></td><td>Nombre</td><td>Código</td><td>Fecha</td></tr><tr><td>Diseño:</td><td>ALBA J. F.</td><td>2150967</td><td>16/03/2018</td></tr><tr><td>Diseño:</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Diseño:</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Verificó:</td><td>AGUIRRE C. A.</td><td></td><td>18/03/2019</td></tr><tr><td>Aprobó:</td><td>AGUIRRE C. A.</td><td></td><td>19/03/2019</td></tr><tr><td>Fabricó:</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>					Nombre	Código	Fecha	Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018	Diseño:				Diseño:				Verificó:	AGUIRRE C. A.		18/03/2019	Aprobó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019	Fabricó:				Material: Nombre de la pieza: APOYO SUPERIOR	
	Nombre	Código	Fecha																														
Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018																														
Diseño:																																	
Diseño:																																	
Verificó:	AGUIRRE C. A.		18/03/2019																														
Aprobó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019																														
Fabricó:																																	
				Formato: A4	Escala: 1:4	Representación:	Código de la pieza: AWJ003	Nota:																									
				Peso: 2,775 kg	Hoja 1 de 3		Dirección acceso:																										

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	AWJ003-01	Ver Plano
2	4	AWJ000-C03	Rodamiento SBR 16 UU
3	1	AWJ000-C18	Tuerca BSFU1610-3
4	1	AWJ000-C19	Acople tuerca HD16
5	20	AWJ000-C14	Perno de cabeza-hex ISO 4017 - M4 x 8



 FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNJA 			ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm ACABADO SUPERFICIAL: N6 TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1 ANGULAR: $\pm 1^\circ$			Proyecto: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL		
						Asignatura: TRABAJO DE GRADO		
	Nombre	Código	Fecha	Material:			Nombre de la pieza:	
Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018				APOYO SUPERIOR	
Diseño:								
Diseño:								
Verificó:	AGUIRRE C. A.		18/03/2019	Formato:	Escala:	Representación:	Código de la pieza:	Nota:
Aprobó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019	A4	1:4		AWJ003	
Fabricó:				Peso: 2,775 kg		Hoja 2 de 3		Dirección acceso:





FACULTAD

INGENIERÍA

MECÁNICA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA



ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm

ACABADO SUPERFICIAL: N6

TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1

ANGULAR: ± 1°

Proyecto:

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL

Asignatura:

TRABAJO DE GRADO

Nombre de la pieza:

SOPORTE APOYO SUP

Código de la pieza:

AWJ003-01

Nota:

Dirección acceso:

	Nombre	Código	Fecha
Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018
Diseño:			
Diseño:			
Verificó:	AGUIRRE C. A.		18/03/2019
Aprobó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019
Fabricó:			

Material:

Acero

Formato:

A4

Escala:

1:6

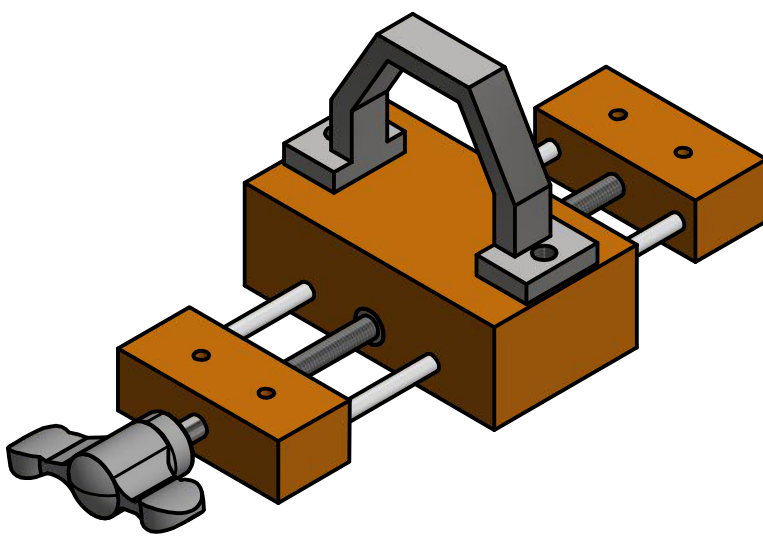
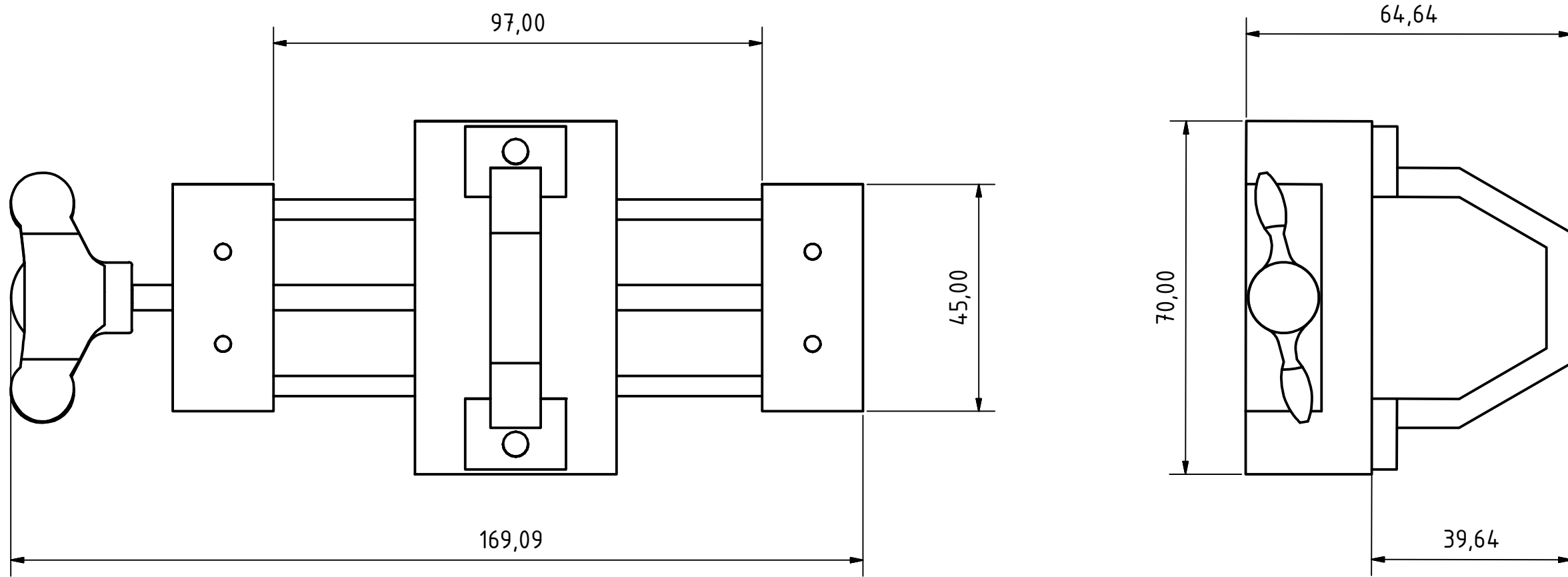
Representación:

Peso:

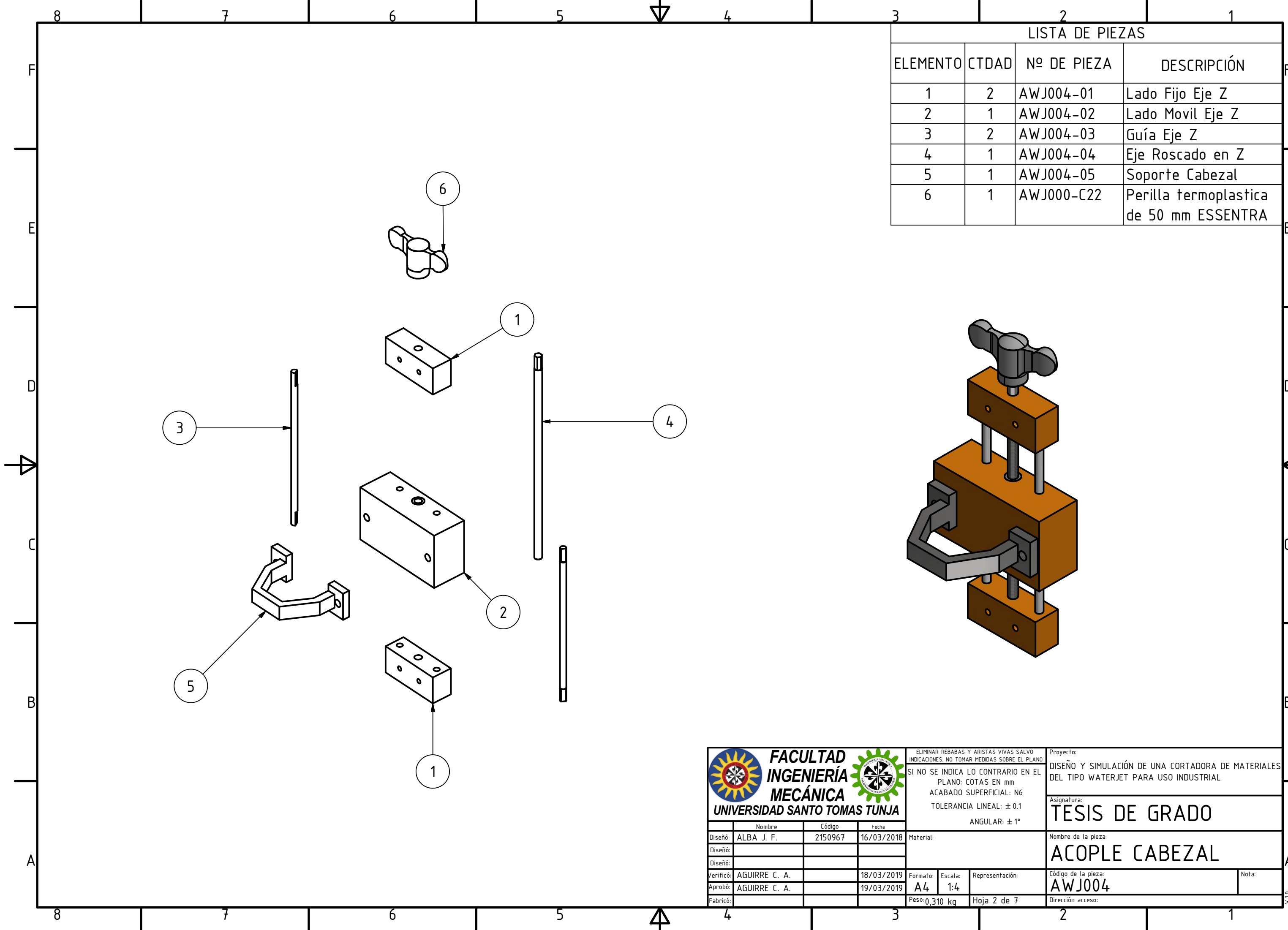
2,171 kg

Hoja

3 de 3



 FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNJA				ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm ACABADO SUPERFICIAL: N6 TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1 ANGULAR: ± 1°				Proyecto: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL	
				Asignatura: TESIS DE GRADO					
				Nombre de la pieza: ACOPLE CABEZAL					
Verificó: AGUIRRE C. A.				Formato:		Código de la pieza:		Nota:	
Aprobó: AGUIRRE C. A.				Escala: A4		Representación:		AWJ004	
Fabricó:				Peso: 0,310 kg		Hoja 1 de 7		Dirección acceso:	



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	AWJ004-01	Lado Fijo Eje Z
2	1	AWJ004-02	Lado Movil Eje Z
3	2	AWJ004-03	Guía Eje Z
4	1	AWJ004-04	Eje Roscado en Z
5	1	AWJ004-05	Soporte Cabezal
6	1	AWJ000-C22	Perilla termoplastica de 50 mm ESSENTA



**FACULTAD
INGENIERÍA
MECÁNICA**
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNJA



ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm
ACABADO SUPERFICIAL: N6
TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1
ANGULAR: ± 1°

Proyecto:
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL

Asignatura:
TESIS DE GRADO

Nombre de la pieza:
ACOPLE CABEZAL

Verificó: AGUIRRE C. A.

Aprobó: AGUIRRE C. A.

Fabricó:

Código: 2150967

Fecha: 16/03/2018

Formato: A4

Escala: 1:4

Representación:

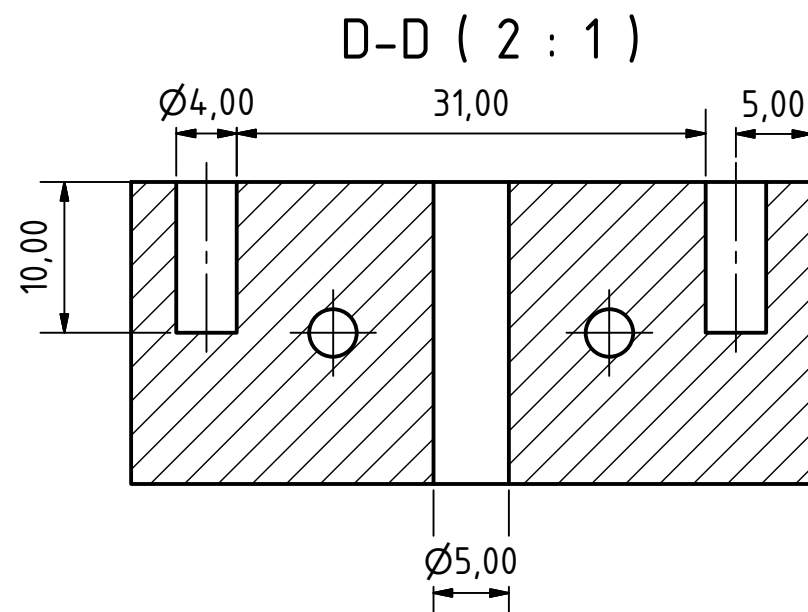
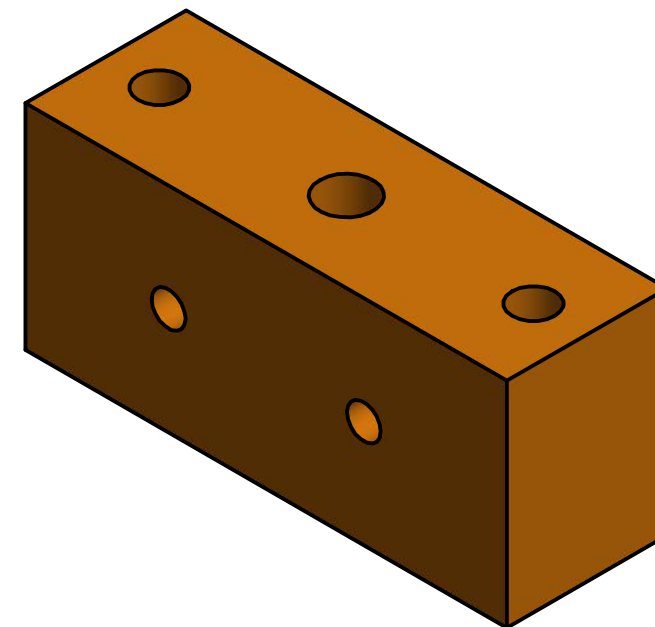
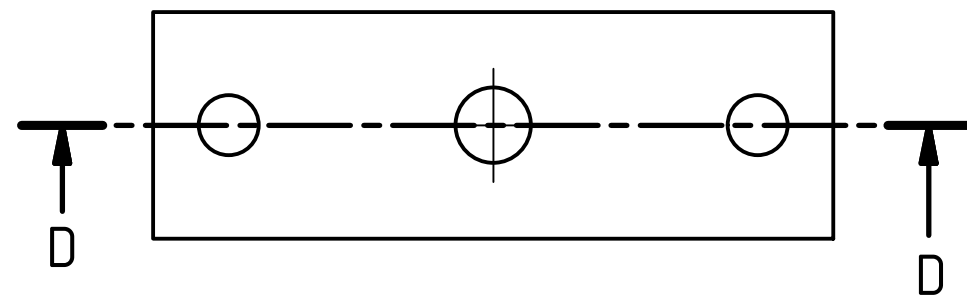
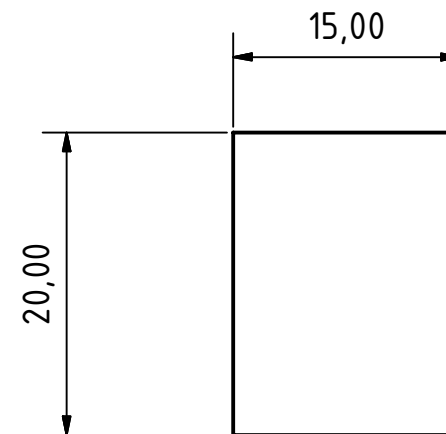
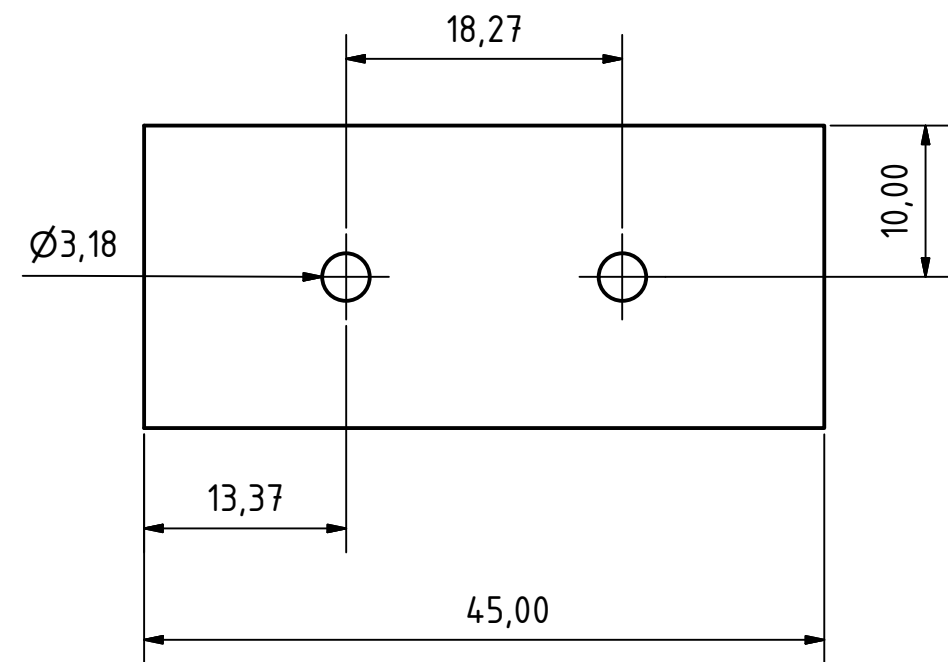
Código de la pieza: **AWJ004**

No:

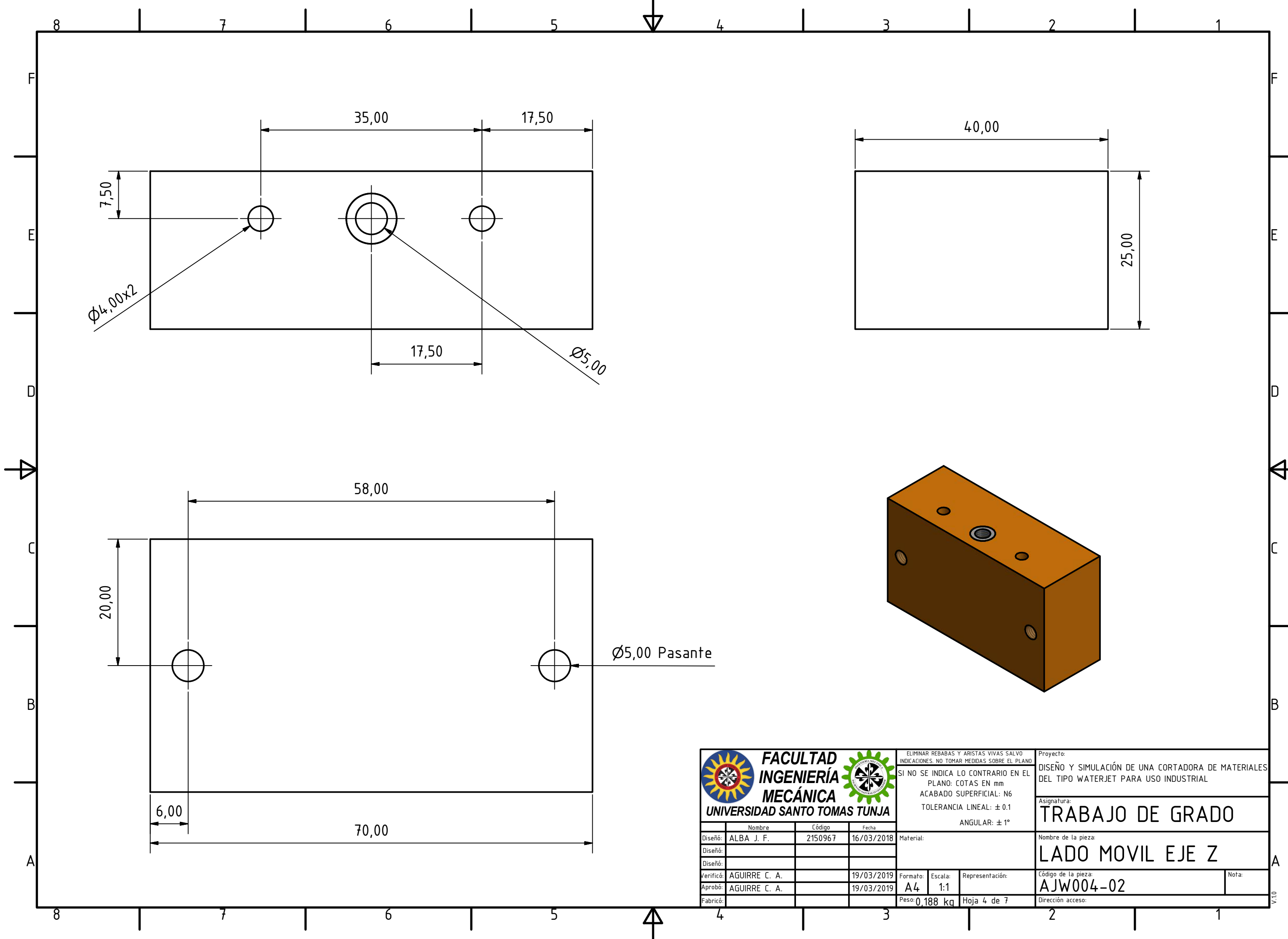
Peso: 0,310 kg

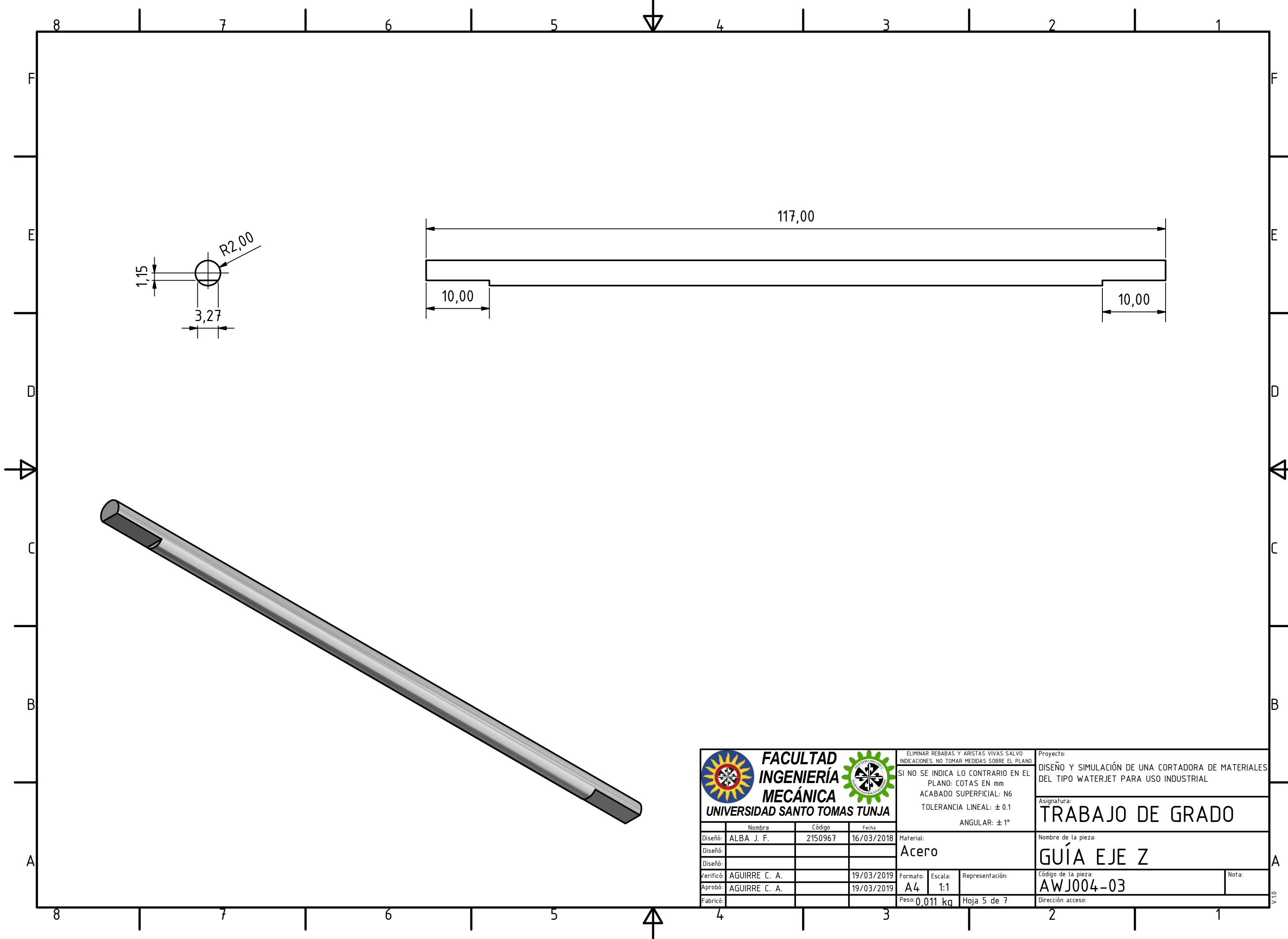
Hoja 2 de 7

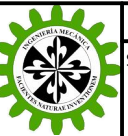
Dirección acceso:

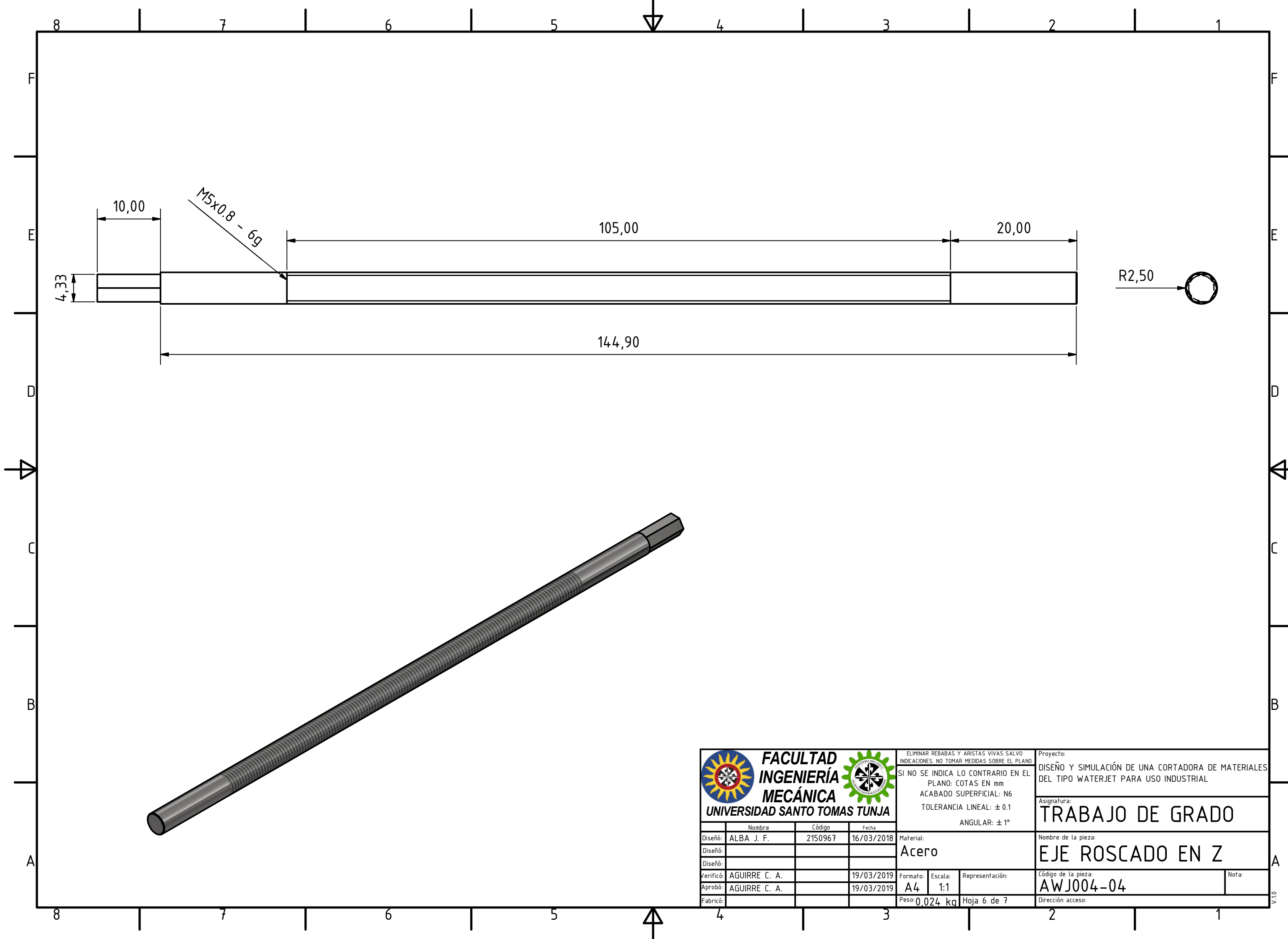


 FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA			ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm ACABADO SUPERFICIAL: N6 TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1 ANGULAR: $\pm 1^\circ$			Proyecto: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL	
Diseño: ALBA J. F.			Material: Aluminio			Asignatura: TRABAJO DE GRADO	
Diseño:			Formato: A4			Nombre de la pieza: LADO FIJO EJE Z	
Diseño:			Escala: 1:1			Código de la pieza: AWJ004-01	
Verificó: AGUIRRE C. A.			Representación:			Nota:	
Aprobó: AGUIRRE C. A.			Peso: 0,034 kg			Dirección acceso:	
Fabricó:			Hoja 3 de 7				





 FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA  ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm ACABADO SUPERFICIAL: N6 TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1 ANGULAR: ± 1° Proyecto: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL				Asignatura: TRABAJO DE GRADO																			
<table><tr><td></td><td>Nombre</td><td>Código</td><td>Fecha</td></tr><tr><td>Diseño:</td><td>ALBA J. F.</td><td>2150967</td><td>16/03/2018</td></tr><tr><td>Diseño:</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Diseño:</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>					Nombre	Código	Fecha	Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018	Diseño:				Diseño:				Material: Acero			
	Nombre	Código	Fecha																				
Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018																				
Diseño:																							
Diseño:																							
<table><tr><td>Verificó:</td><td>AGUIRRE C. A.</td><td></td><td>19/03/2019</td></tr><tr><td>Aprobó:</td><td>AGUIRRE C. A.</td><td></td><td>19/03/2019</td></tr><tr><td>Fabricó:</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>				Verificó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019	Aprobó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019	Fabricó:				Formato:	Escala:	Representación:	Código de la pieza: AWJ004-03	Nota:			
Verificó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019																				
Aprobó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019																				
Fabricó:																							
				Peso:	0,011 kg	Hoja 5 de 7	Dirección acceso:																





**FACULTAD
INGENIERÍA
MECÁNICA**
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA



ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO.
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm
ACABADO SUPERFICIAL: N6
TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1
ANGULAR: ± 1°

Proyecto:
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL

Asignatura:
TRABAJO DE GRADO

Nombre de la pieza:
EJE ROSCADO EN Z

Código de la pieza:
AWJ004-04

Nota:

Dirección acceso:

	Nombre	Código	Fecha
Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018
Diseño:			
Diseño:			
Verificó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019
Aprobó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019
Fabricó:			

Material:
Acero

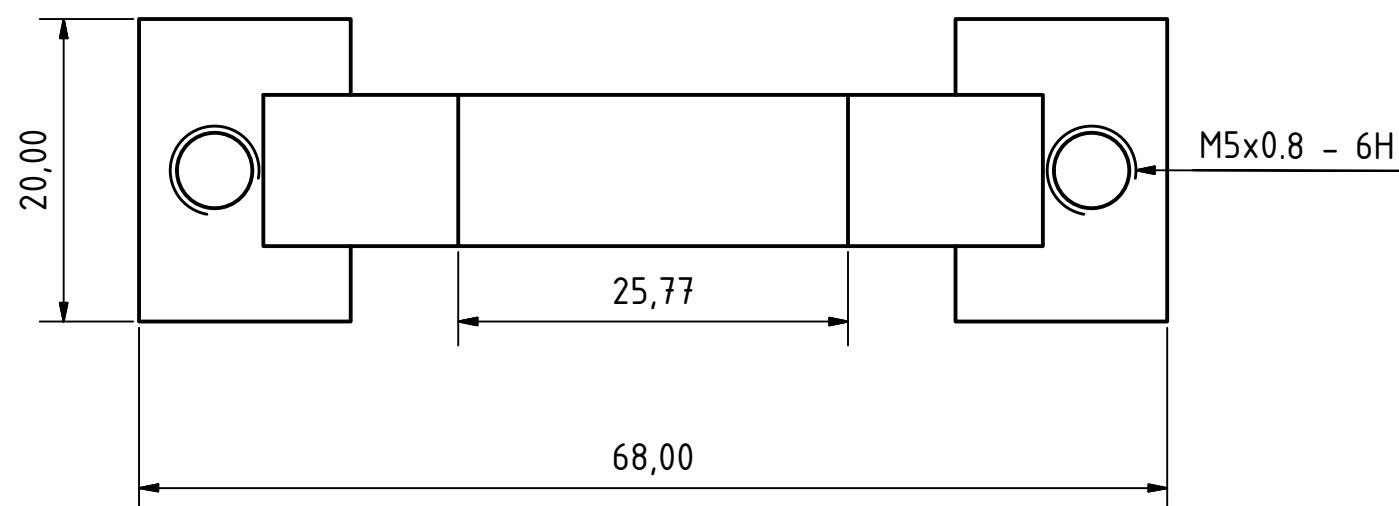
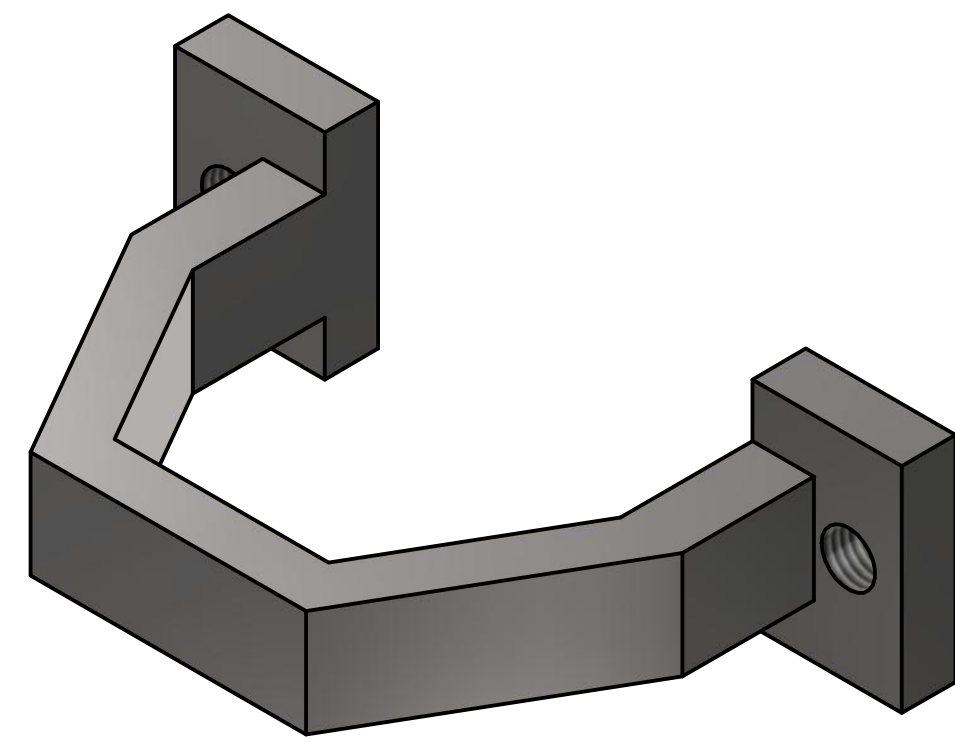
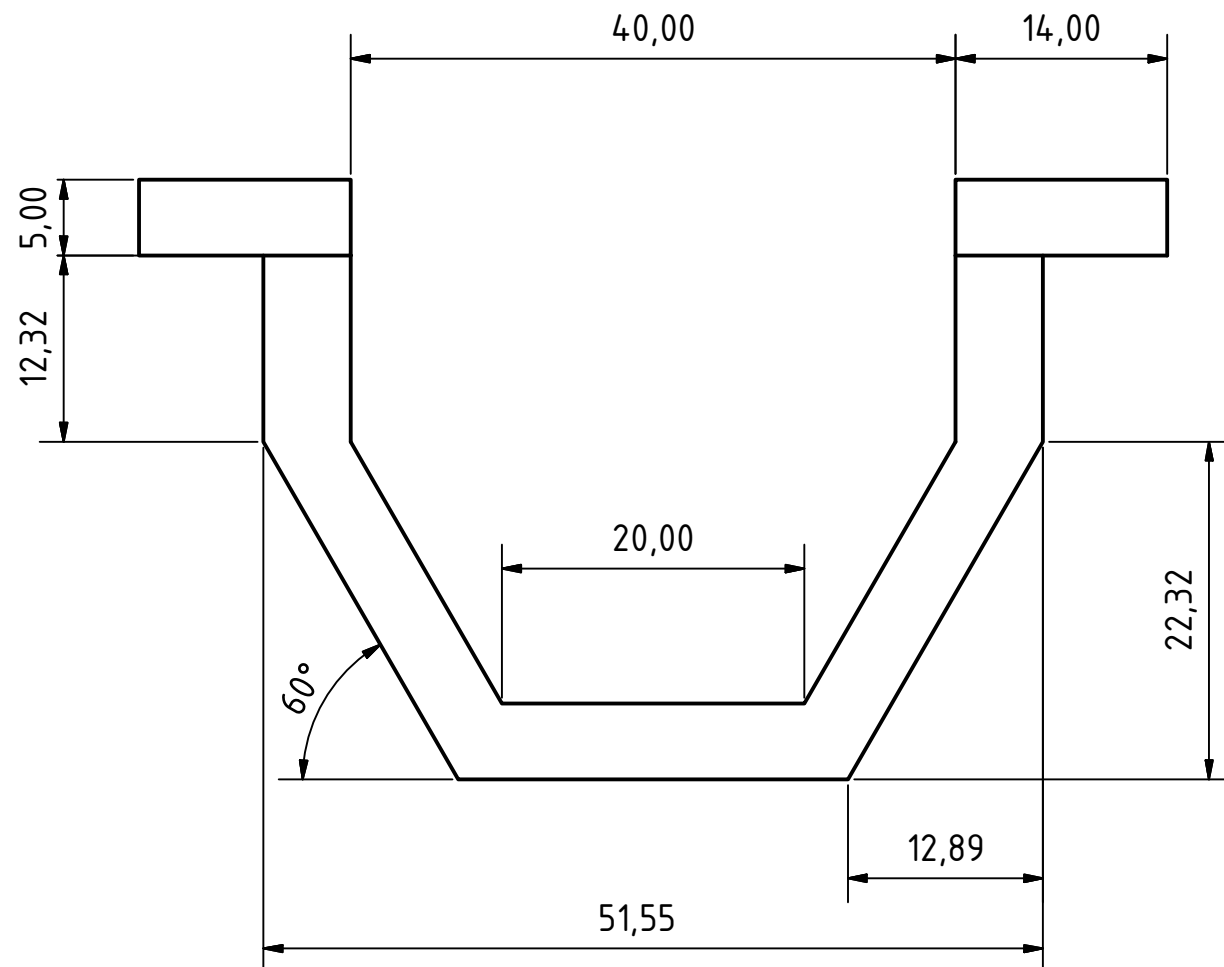
Formato:
A4

Escala:
1:1

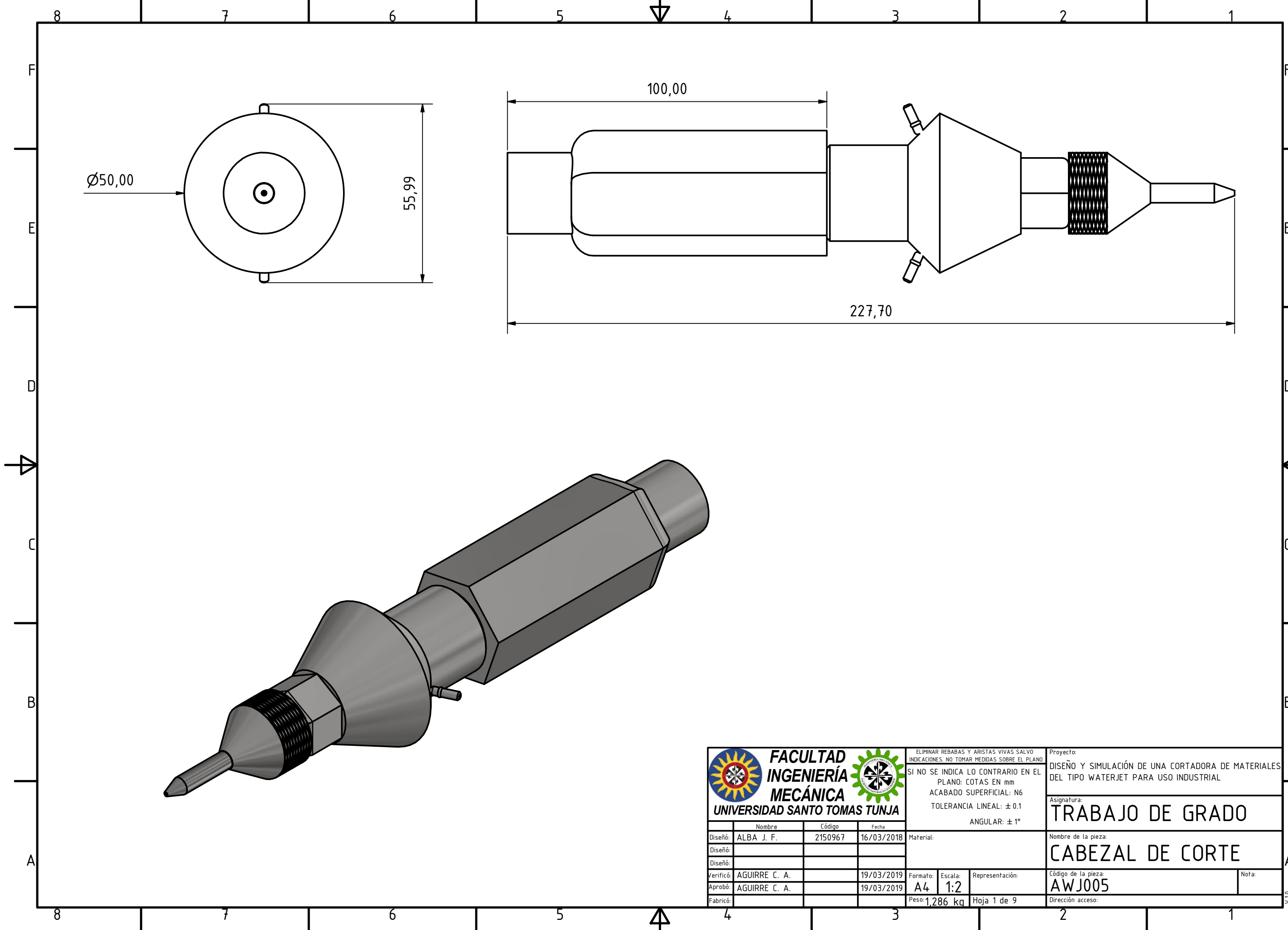
Representación:

Peso:
0,024 kg

Hoja 6 de 7



 FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA 				ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm ACABADO SUPERFICIAL: N6 TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1 ANGULAR: ± 1°				Proyecto: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL															
				Asignatura: TRABAJO DE GRADO																			
<table><tr><td></td><td>Nombre</td><td>Código</td><td>Fecha</td></tr><tr><td>Diseño:</td><td>ALBA J. F.</td><td>2150967</td><td>16/03/2018</td></tr><tr><td>Diseño:</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Diseño:</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>					Nombre	Código	Fecha	Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018	Diseño:				Diseño:				Material: Acero		Nombre de la pieza: SOPORTE CABEZAL	
	Nombre	Código	Fecha																				
Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018																				
Diseño:																							
Diseño:																							
<table><tr><td>Verificó:</td><td>AGUIRRE C. A.</td><td></td><td>07/04/2019</td></tr><tr><td>Aprobó:</td><td>AGUIRRE C. A.</td><td></td><td>07/04/2019</td></tr><tr><td>Fabricó:</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>				Verificó:	AGUIRRE C. A.		07/04/2019	Aprobó:	AGUIRRE C. A.		07/04/2019	Fabricó:				Formato:	Escala:	Representación:	Código de la pieza: AWJ004-05	Nota:			
Verificó:	AGUIRRE C. A.		07/04/2019																				
Aprobó:	AGUIRRE C. A.		07/04/2019																				
Fabricó:																							
				Peso:	0.059 kg	Hoja 7 de 7	Dirección acceso:																





**FACULTAD
INGENIERÍA
MECÁNICA**
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA



ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO
INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL
PLANO: COTAS EN mm
ACABADO SUPERFICIAL: N6
TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1
ANGULAR: ± 1°

Nombre			Código	Fecha	Material:		
Diseño: ALBA J. F.			2150967	16/03/2018			
Diseño:							
Diseño:							
Verificó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019	Formato:	Escala:	Representación:	
Aprobó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019	A4	1:2		
Fabricó:				Peso: 1,286 kg	Hoja 1 de 9		

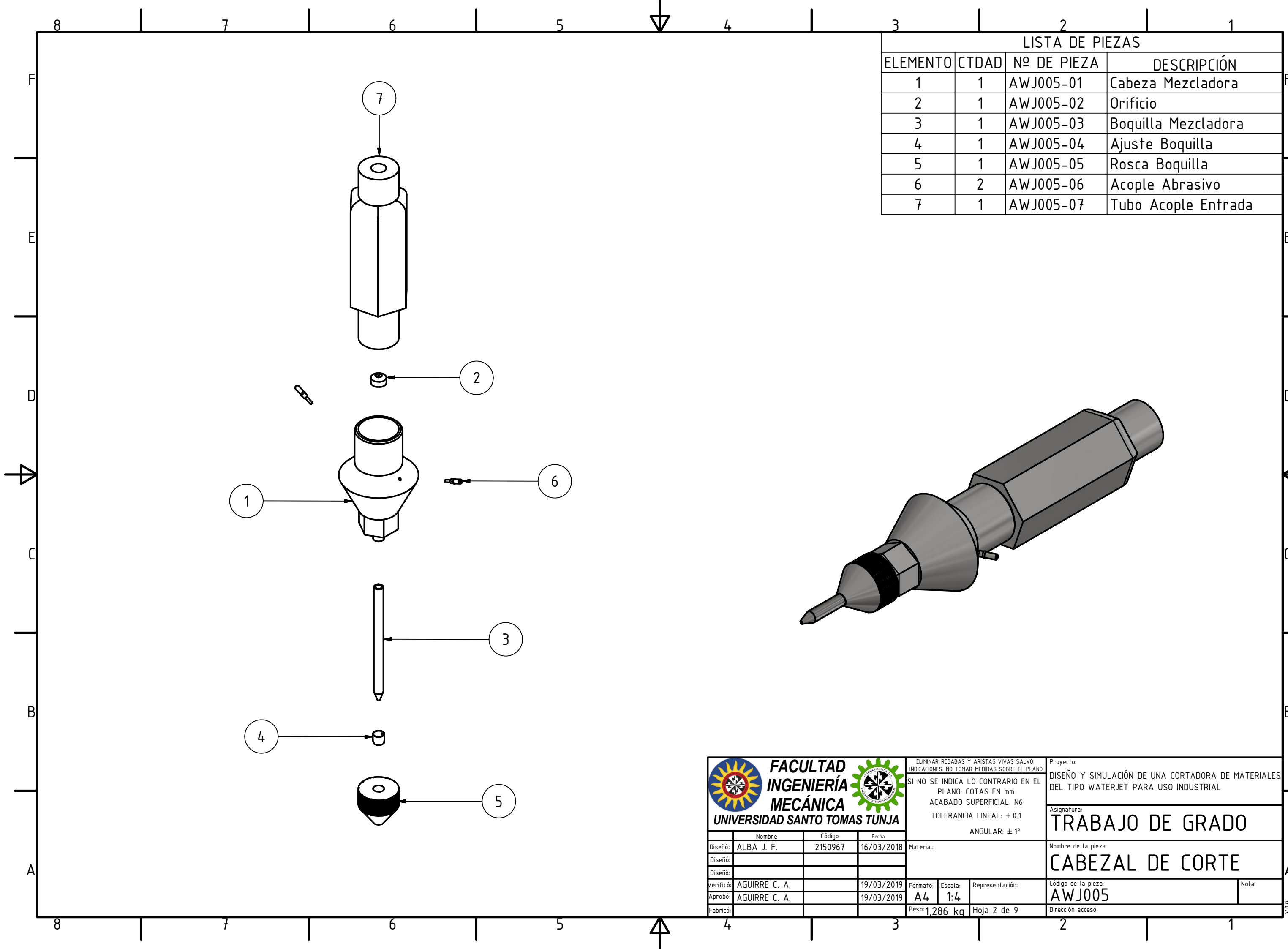
Proyecto:
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES
DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL

Asignatura:
TRABAJO DE GRADO

Nombre de la pieza:
CABEZAL DE CORTE

Código de la pieza:
AWJ005

No:



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	AWJ005-01	Cabeza Mezcladora
2	1	AWJ005-02	Orificio
3	1	AWJ005-03	Boquilla Mezcladora
4	1	AWJ005-04	Ajuste Boquilla
5	1	AWJ005-05	Rosca Boquilla
6	2	AWJ005-06	Acople Abrasivo
7	1	AWJ005-07	Tubo Acople Entrada



FACULTAD

INGENIERÍA

MECÁNICA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA



ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm

ACABADO SUPERFICIAL: N6

TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1

ANGULAR: ± 1°

Proyecto:

DISÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL

Asignatura:

TRABAJO DE GRADO

Nombre de la pieza:

CABEZAL DE CORTE

Verificó:

AGUIRRE C. A.

19/03/2019

Formato:

A4

Escala:

1:4

Representación:

Código de la pieza:

AWJ005

Nota:

Aprobó:

AGUIRRE C. A.

19/03/2019

Peso:

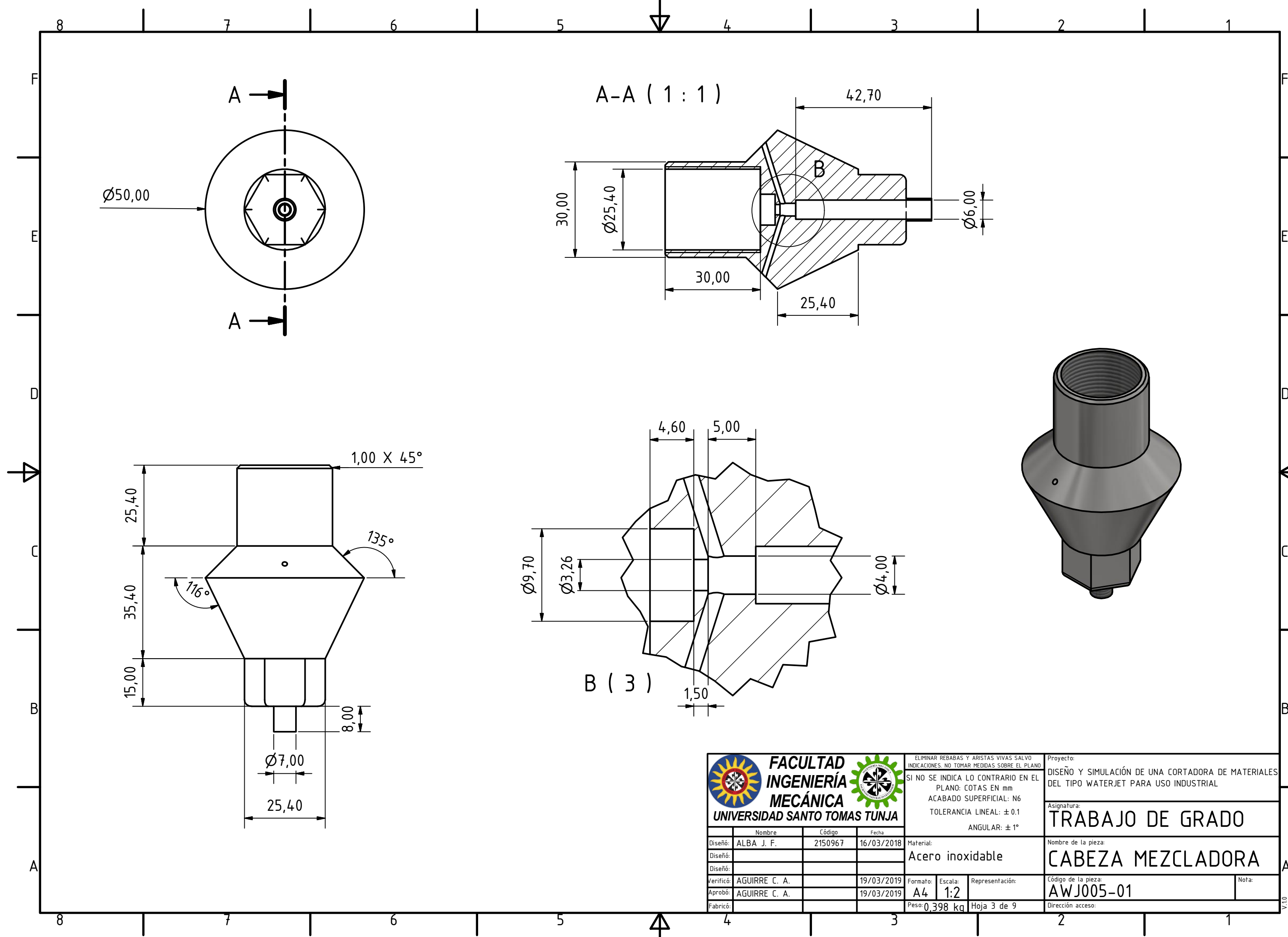
1,286 kg

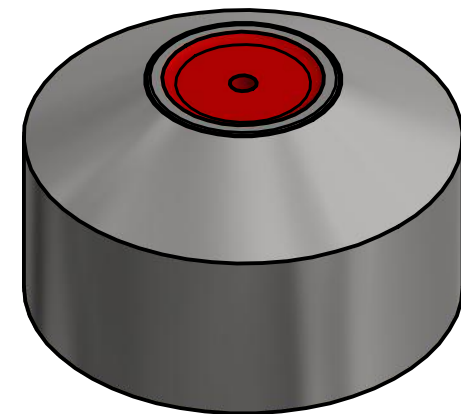
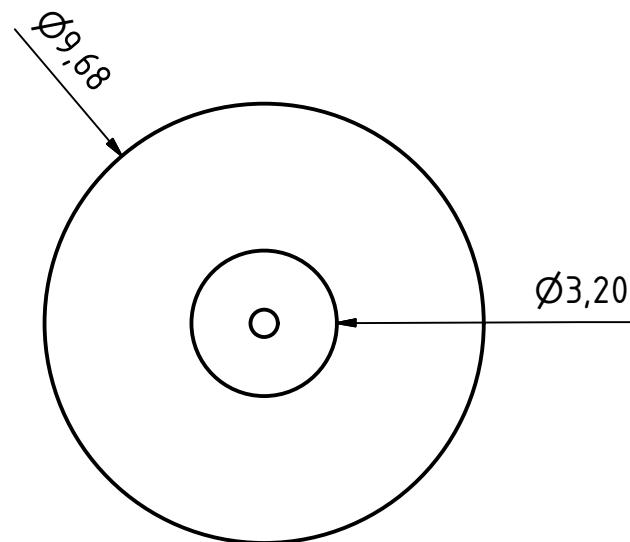
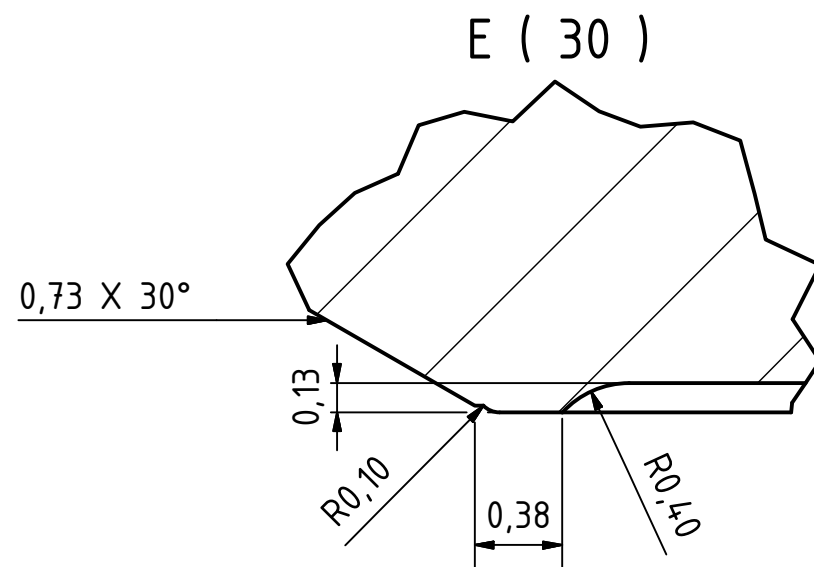
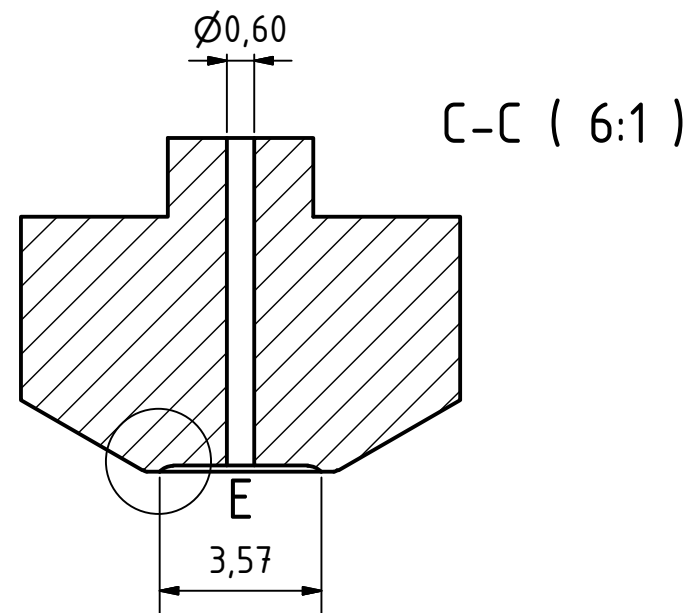
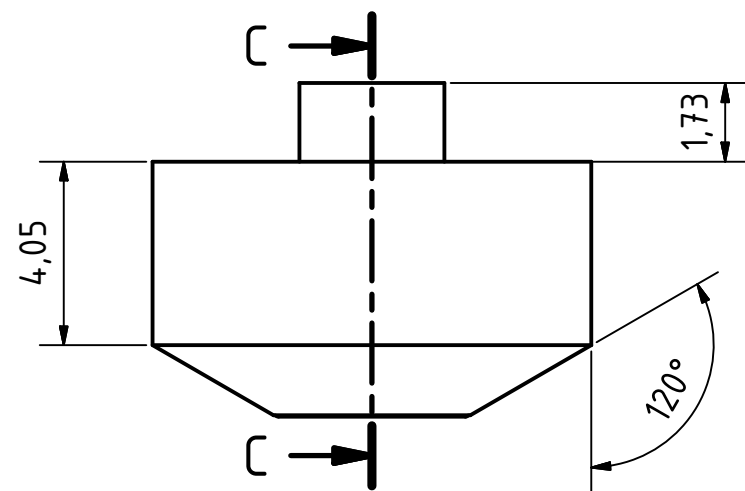
Hoja

2 de 9

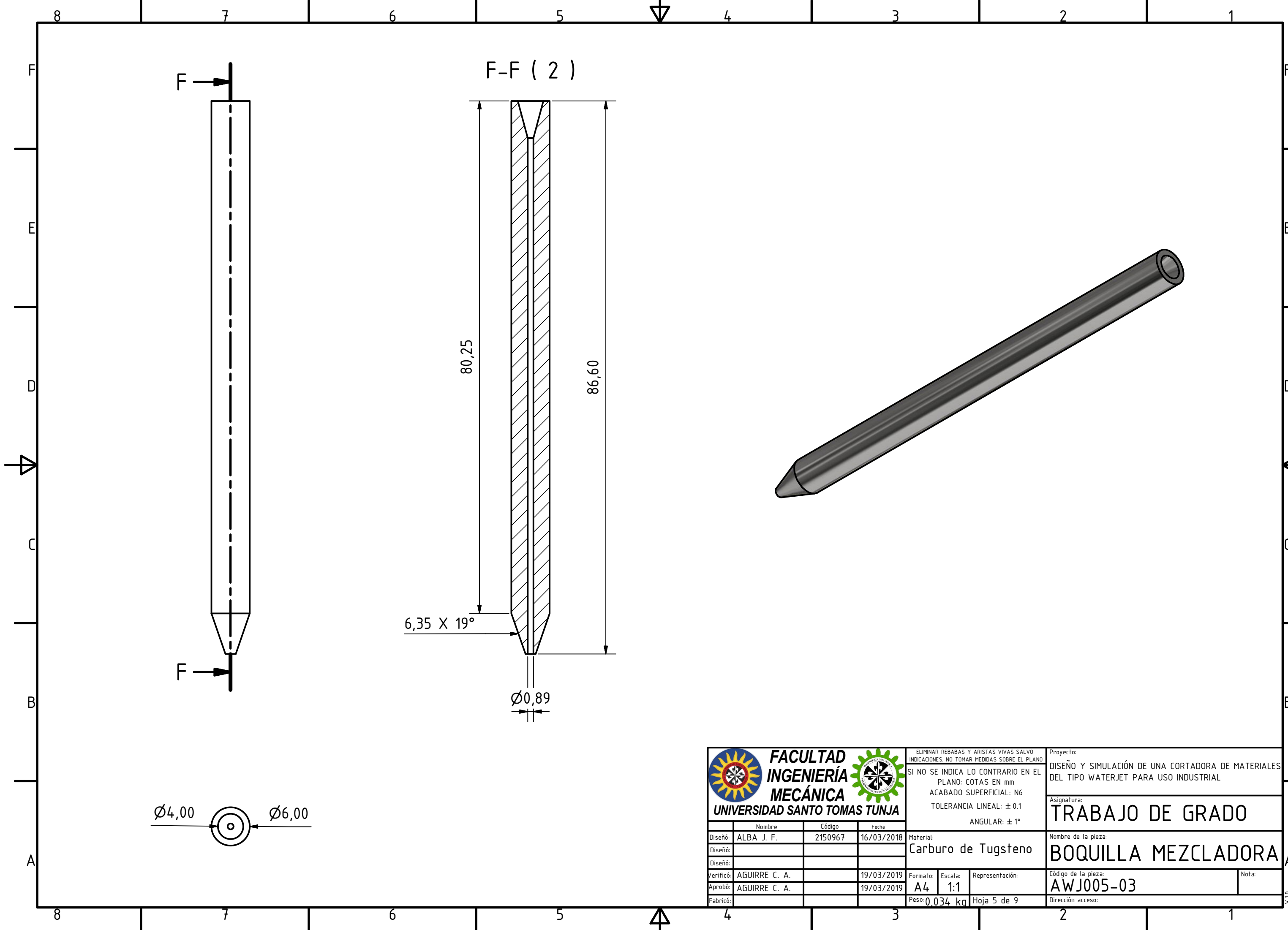
Dirección acceso:

Fabricó:





 FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNJA 				ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm ACABADO SUPERFICIAL: N6 TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1 ANGULAR: $\pm 1^\circ$				Proyecto: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL	
				Asignatura: TRABAJO DE GRADO					
	Nombre	Código	Fecha	Nombre de la pieza:					
Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018	Acero inoxidable					
Diseño:				ORIFICIO					
Diseño:									
Verificó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019	Código de la pieza:					
Aprobó:	AGUIRRE C. A.		19/03/2019	AWJ005-02					
Fabricó:				Nota:					
				Dirección acceso:					





**FACULTAD
INGENIERÍA
MECÁNICA**
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA

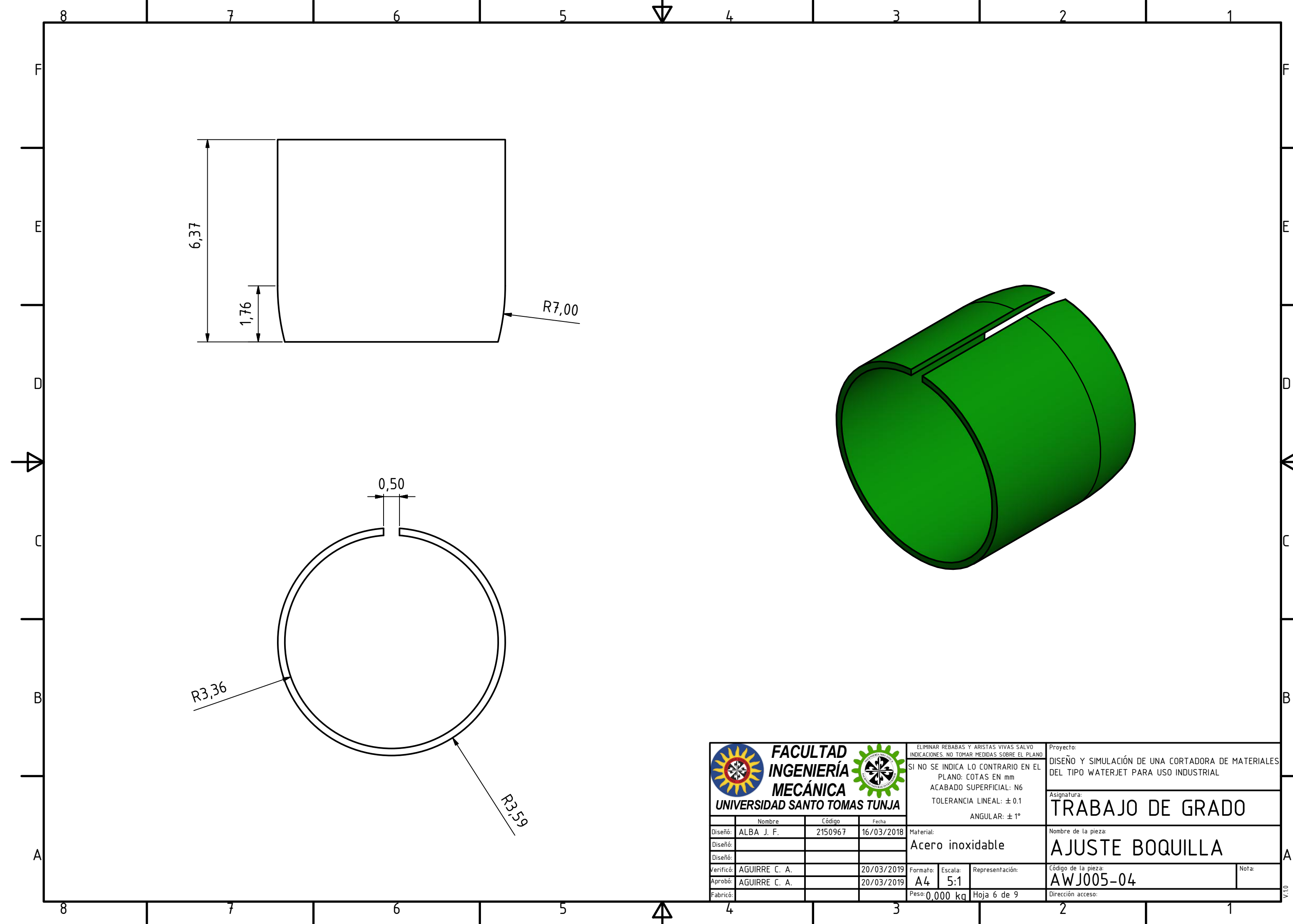


ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO
INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL
PLANO: COTAS EN mm
ACABADO SUPERFICIAL: N6
TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1
ANGULAR: ± 1°

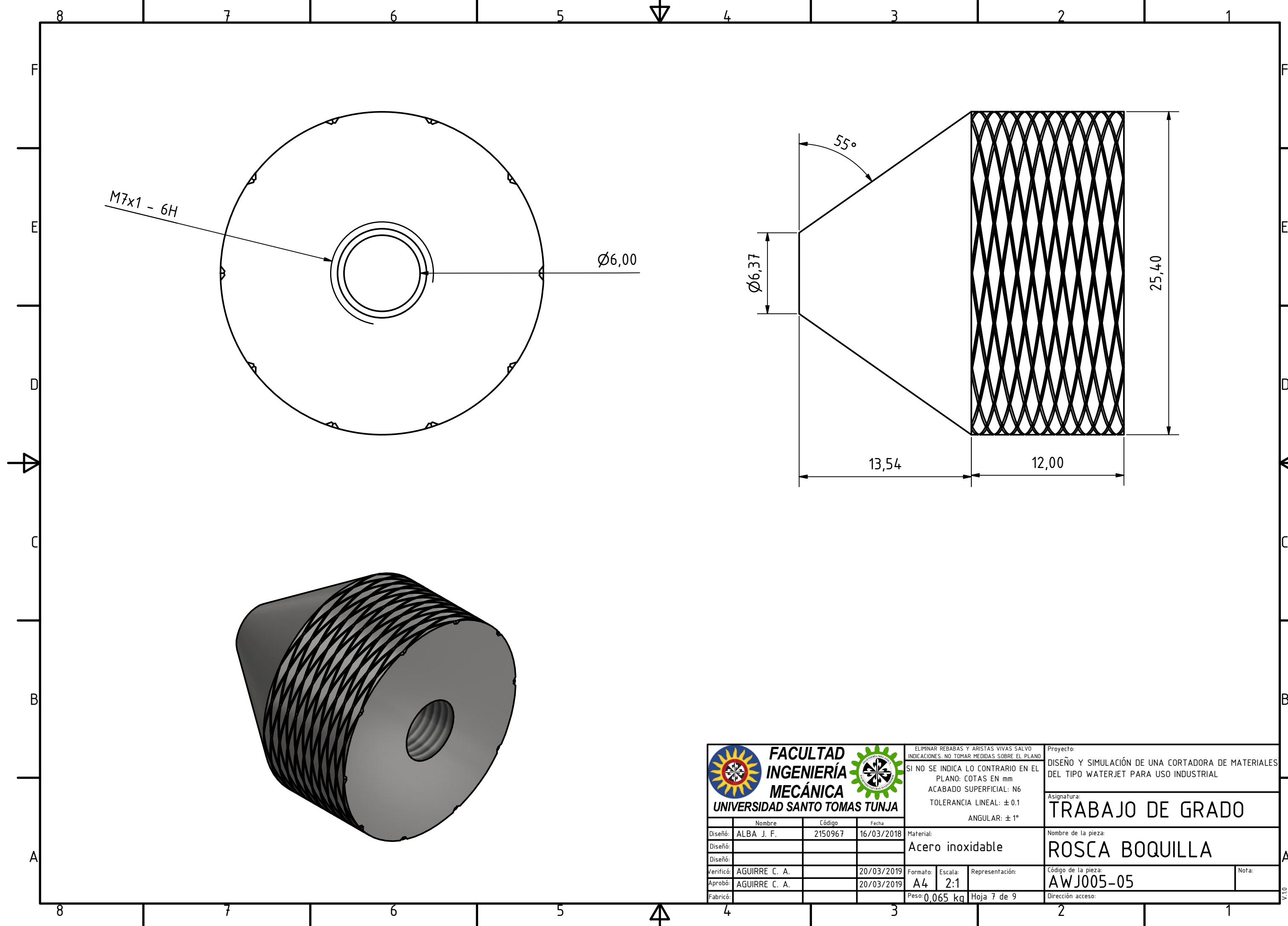
Proyecto:			DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL		
Asignatura:			TRABAJO DE GRADO		
Nombre de la pieza:			BOQUILLA MEZCLADORA		
Código de la pieza:			AWJ005-03		
Dirección acceso:					

Nombre	Código	Fecha
Diseño: ALBA J. F.	2150967	16/03/2018
Diseño:		
Diseño:		
Verificó:	AGUIRRE C. A.	19/03/2019
Aprobó:	AGUIRRE C. A.	19/03/2019
Fabricó:		

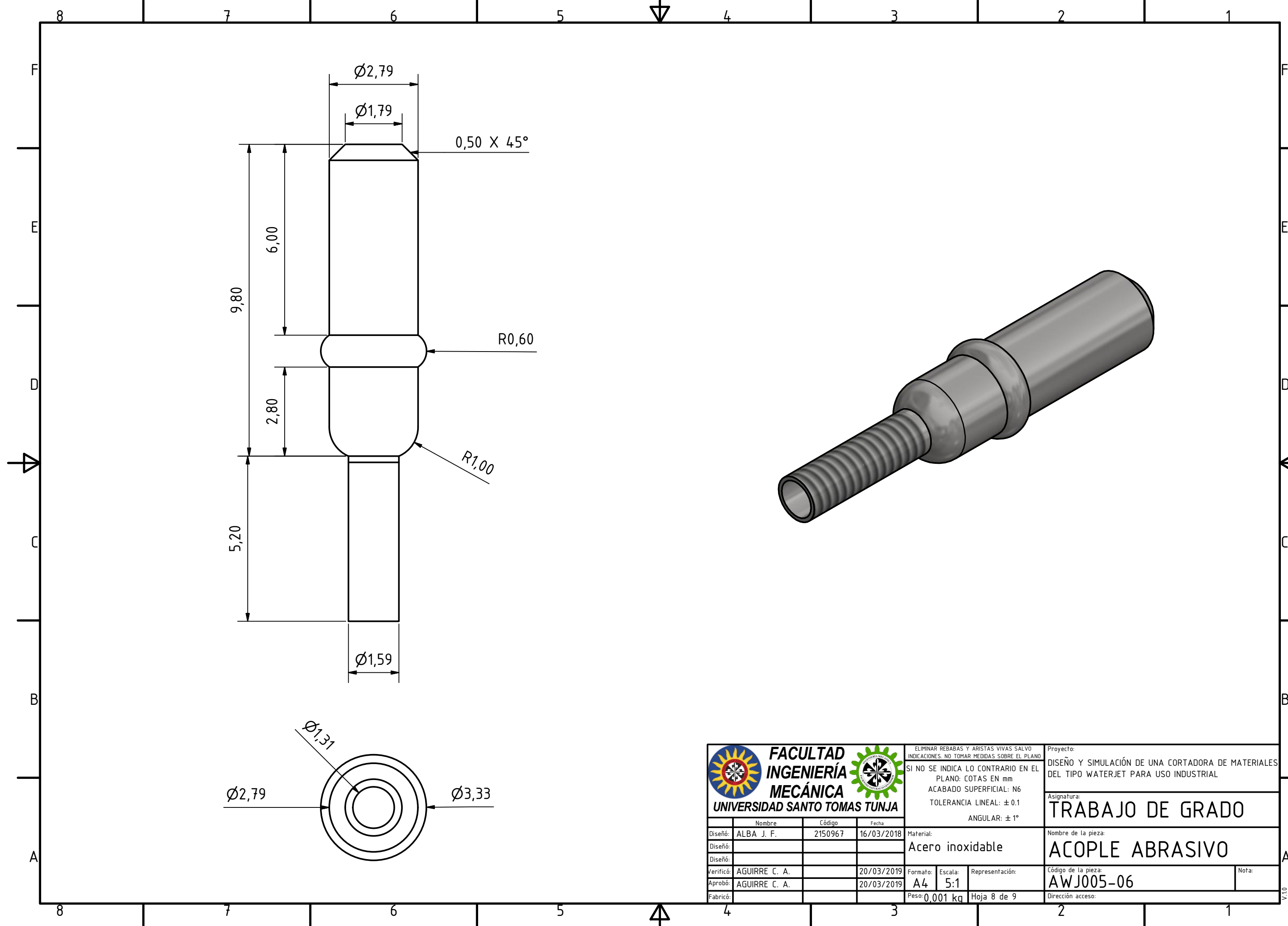
Material:	Carburo de Tugsteno	
Formato:	Escala:	Representación:
A4	1:1	
Peso: 0,034 kg	Hoja 5 de 9	

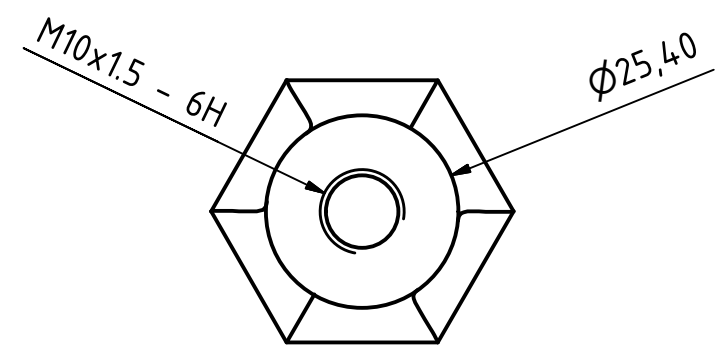
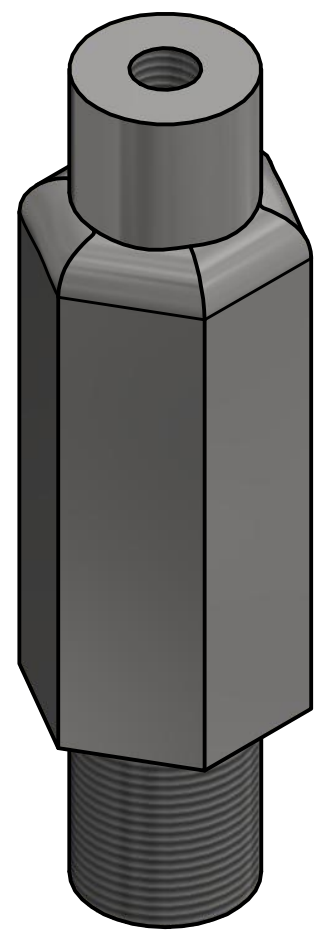
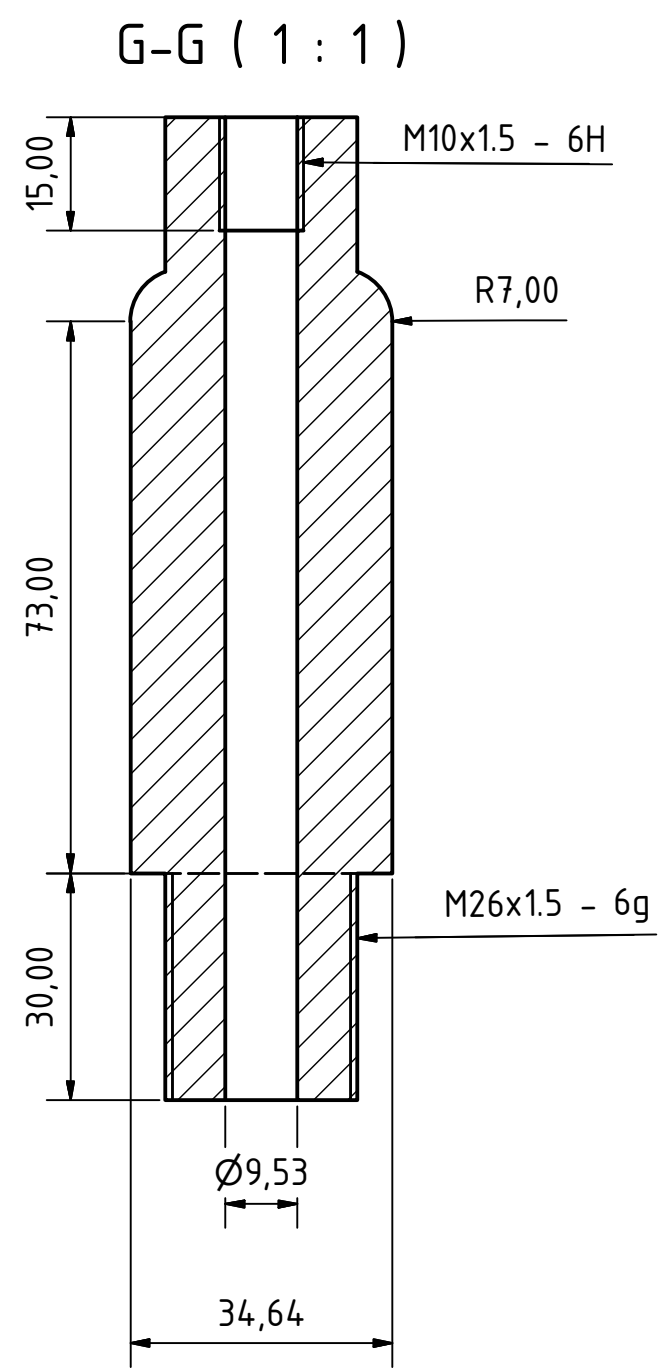
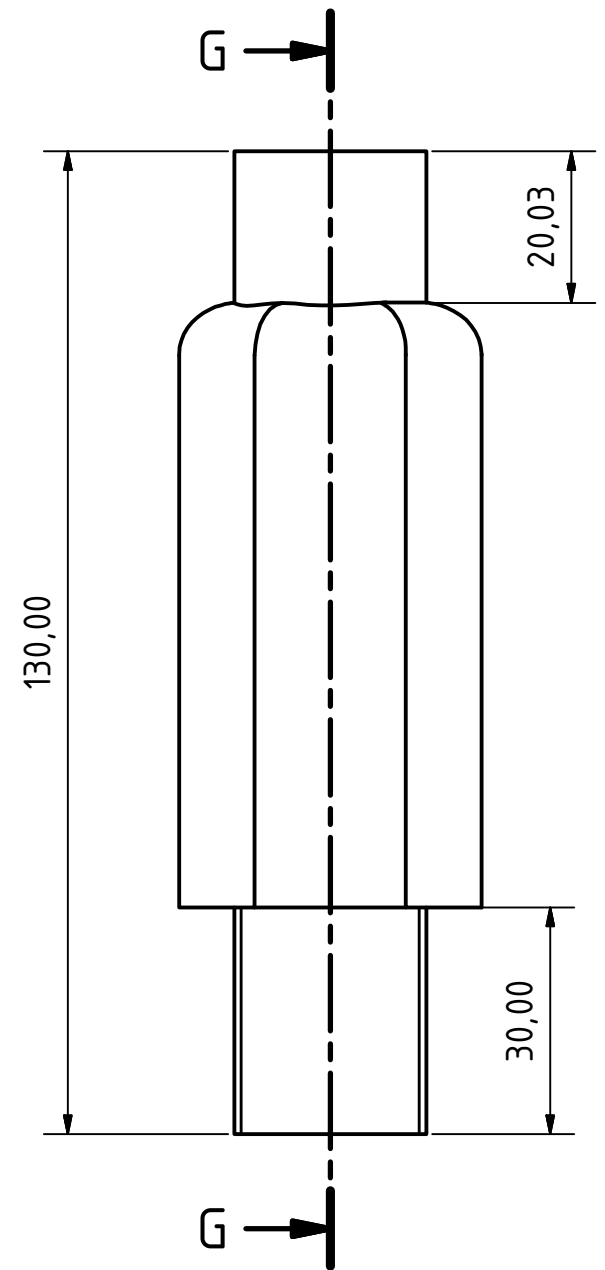


 FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA 				ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO				Proyecto: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL							
				SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm				Asignatura: TRABAJO DE GRADO							
				ACABADO SUPERFICIAL: N6											
				TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1				TRABAJO DE GRADO							
				ANGULAR: $\pm 1^\circ$											
	Nombre	Código	Fecha	Material: Acero inoxidable				Nombre de la pieza: AJUSTE BOQUILLA							
Diseño:	ALBA J. F.	2150967	16/03/2018												
Diseño:				Formato:				Escala:		Representación:		Código de la pieza: AWJ005-04		Nota:	
Diseño:															
Verificó:	AGUIRRE C. A.		20/03/2019	Peso:		0,000 kg		Hoja 6 de 9		Dirección acceso:					
Aprobó:	AGUIRRE C. A.		20/03/2019												
Fabricó:															



 FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA			ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm ACABADO SUPERFICIAL: N6 TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1 ANGULAR: $\pm 1^\circ$			Proyecto: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL	
			Material: Acero inoxidable			Asignatura: TRABAJO DE GRADO	
			Formato: A4 Escala: 2:1 Representación: Hoja 7 de 9 Peso: 0,065 kg			Nombre de la pieza: ROSCA BOQUILLA	
			Verificó: AGUIRRE C. A. Aprobó: AGUIRRE C. A. Fabricó:			Código de la pieza: AWJ005-05	
			Diseño: ALBA J. F. Diseño: Diseño:			Nota:	
			Código: 2150967 Fecha: 16/03/2018			Dirección acceso:	





			ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO			Proyecto: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CORTADORA DE MATERIALES DEL TIPO WATERJET PARA USO INDUSTRIAL	
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm			ACABADO SUPERFICIAL: N6			Asignatura: TRABAJO DE GRADO	
TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1			ANGULAR: ± 1°			Nombre de la pieza: TUBO ACOUPLE ENTRADA	
Diseño:		Nombre	Código	Fecha	Material:		Código de la pieza: AWJ005-07
Diseño:		ALBA J. F.	2150967	16/03/2018	Acero inoxidable		
Diseño:							
Verificó:		AGUIRRE C. A.		20/03/2019	Formato:	Escala:	Nota:
Aprobó:		AGUIRRE C. A.		20/03/2019	A4	1:2	
Fabricó:					Peso: 0,785 kg		Dirección acceso: