



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**“ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE CORTE POR PLASMA CNC
DE ACUERDO CON LA NORMATIVA AWS C4.6M”**

Línea de investigación: Producción industrial y tecnología sostenible



AUTOR: Jerson Leonel Cevallos Tonguino

DIRECTOR: MSc Erik Paúl Hernández Rueda

Ibarra-Ecuador

2025



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS**
SUBDECANATO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	DE	1727234989	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	Cevallos Tonguino Jerson Leonel	
DIRECCIÓN:	Cayambe/ Ayora / Nueva Ayora		
EMAIL:	jlcevallost1@utn.edu.ec / jersoncevallos97@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:		TELF. MOVIL	0994962290

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE CORTE POR PLASMA CNC DE ACUERDO CON LA NORMATIVA AWS C4.6M
AUTOR (ES):	Cevallos Tonguino Jerson Leonel
FECHA:	15/04/2025
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
CARRERA/PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO AUTOMOTRIZ
DIRECTOR:	MSc Erik Paúl Hernández Rueda
ACESOR:	MSc Fausto Eduardo Tapia Gudiño



AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Jerson Leonel Cevallos Tonguino , con cédula de identidad Nro. 172723498-9, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 15 días del mes de abril de 2025

EL AUTOR:

Jerson Leonel Cevallos Tonguino



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 15 días, del mes de abril de 2025

EL AUTOR:

Jerson Leonel Cevallos Tinguino



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO**



**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**

Ibarra, 15 de abril de 2025

MSc Erik Paúl Hernández Rueda

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

MSc Erik Paúl Hernández Rueda

C.C.: 1002978060



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO**



APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “estudio de los parámetros de corte por plasma CNC de acuerdo con la normativa AWS C4.6M” elaborado por Cevallos Tonguino Jerson Leonel, previo a la obtención del título de Ingeniería Automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

Paúl Hernández

MSc Erik Paúl Hernández Rueda

C.C.: *1001978060*.....

Fausto Tapia

MSc Fausto Eduardo Tapia Gudiño

C.C.: *1002251351*.....



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO**



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres y hermanos, por el constante apoyo y amor me han dado la fuerza para seguir adelante en cada paso de este camino. A mis profesores, por su paciencia y dedicación, y a mis amigos, por su comprensión y motivación. Gracias a todos, este logro es tanto mío como de ustedes.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO**



AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo.

A mis docentes, por compartir sus conocimientos y brindarme su guía a lo largo del proceso.

A mis padres y hermanos, por su colaboración, ideas y palabras de aliento en los momentos más desafiantes.

Gracias a todos por formar parte de este logro.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO**



RESUMEN EJECUTIVO

Este estudio examina los parámetros de corte por plasma CNC basados en los estándares AWS C4.6M. La investigación enfatiza la optimización de la calidad de corte para aceros ASTM A36 y AISI 304 modificando variables como velocidad, amperaje y configuración de boquillas. Se realizaron pruebas experimentales con materiales de distintos espesores, analizando la precisión resultante, la calidad de la superficie y el cumplimiento de las normas internacionales. Los resultados clave incluyen documentación óptima de parámetros, eficiencia de corte mejorada y reducción de desperdicios, lo que contribuye a mejorar la productividad y el cumplimiento de las normas industriales. Los hallazgos proporcionan información valiosa para los fabricantes y talleres que buscan mejorar sus procesos de corte utilizando la tecnología de plasma CNC.

Palabras clave: Plasma CNC, Parámetros de Corte, AWS C4.6M, ASTM A36, AISI 304, Análisis Experimental.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO**



ABSTRACT

This study examines the CNC plasma cutting parameters based on AWS C4.6M standards. The research emphasizes optimizing cutting quality for ASTM A36 and AISI 304 steels by modifying variables such as speed, amperage, and nozzle settings. Experimental tests were conducted on materials of varying thicknesses, analyzing the resulting precision, surface quality, and adherence to international standards. Key outcomes include optimal parameter documentation, improved cutting efficiency, and waste reduction, contributing to enhanced productivity and compliance with industrial norms. The findings provide valuable insights for manufacturers and workshops seeking to improve their cutting processes using CNC plasma technology.

Keywords: CNC Plasma, Cutting Parameters, AWS C4.6M, ASTM A36, AISI 304, Experimental Analysis.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO**



LISTA DE SIGLAS

CNC. Control Numérico Computarizado

CAD. Computer Aided Design (Diseño asistido por computadora).

CAM. Computer Aided Manufacturing (Manufactura asistida por computadora).

NC. Numerical Control (Control numérico).

CAE. Computer Aided Engineer Ingeniería asistida por ordenador.

CIM. Computer Integrated Manufacturing Fabricación integrada por ordenador.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



Tabla de contenido

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	2
AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.....	3
CONSTANCIAS.....	4
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR.....	5
APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR.....	6
DEDICATORIA.....	7
AGRADECIMIENTO.....	8
RESUMEN EJECUTIVO.....	9
ABSTRACT.....	10
LISTA DE SIGLAS.....	11
ÍNDICE DE FIGURA.....	17
CAPITULO I.....	19
1. INTRODUCCIÓN.....	19
1.1 Problema de investigación.....	19
1.2 Objetivos.....	20
1.2.1 <i>Objetivo General</i>	20
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	20
1.3 Formulación del problema de investigación.....	21
1.3.1 <i>Alcance y delimitación</i>	21
1.4 Justificación.....	22
1.5 Hipótesis o preguntas de investigación.....	23
CAPÍTULO II.....	24
2. MARCO TEÓRICO.....	24
2.1 Antecedentes.....	24
2.2 Bases teóricas.....	27
2.2.1 <i>Procesos de corte térmicos</i>	27
Oxicorte.....	27
Plasma.....	27
Laser.....	28
2.2.2 <i>Corte por plasma</i>	28
Historia.....	29
Aplicaciones industriales.....	29



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



Avances tecnológicos	30
2.2.3 Control Numérico Computarizado (CNC)	30
Software	31
2.2.4 Elementos de corte por plasma	32
Fuente de energía	32
Mesa de corte	33
Antorcha de corte	33
Boquillas	33
Compresor	34
2.2.5 Parámetros de corte con plasma	34
2.2.5.1 Parámetros de entrada	35
Velocidad de corte	35
Amperaje de corte	35
Caudal y tipo de gas	35
Tiempo de penetración	36
Separación de la antorcha	37
2.2.5.2 Parámetros de salida	37
2.2.6 Normativa AWS C4.6M 2006	38
Parámetros de calidad	39
Materiales	39
Tolerancia	40
Rugosidad	40
2.2.7 Calidad de corte	41
2.2.8 Tipos de corte por plasma	42
Por aire	42
Por inyección de oxígeno	42
Por inyección de agua	43
Por doble flujo	44
Con alta tolerancia	44
2.2.9 Efectos metalúrgicos	45
CAPÍTULO III	47
3. MATERIALES Y MÉTODOS	47
3.1 Materiales	47
3.1.1 Acero ASTM A36	47



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



3.1.2	<i>AISI 304 acero inoxidable</i>	48
3.1.3	<i>Boquillas</i>	49
3.1.4	<i>Modelo de máquina de corte plasma CNC HEROCUT</i>	51
3.2	Metodología	52
3.2.1	<i>Investigación bibliográfica</i>	53
3.2.2	<i>Investigación experimental</i>	53
3.2.3	<i>Análisis y síntesis</i>	54
3.3	Técnicas.....	54
3.3.1	<i>Observación experimental</i>	54
3.3.2	<i>Recolección de datos</i>	54
3.3.3	<i>Enfoque de investigación mixto</i>	55
3.3.4	<i>Parámetros de entrada y salida</i>	55
	Parámetros de entrada	55
	Parámetros de salida.....	56
3.3.5	<i>Tablas de parámetros óptimos para los cortes</i>	57
3.4	Dimensionamiento de la probeta.....	60
3.5	Identificación de las probetas	62
3.6	Instrumentos de medición	63
3.7	Condiciones de medición	64
3.7.1	<i>Tolerancia de perpendicularidad, ángulo de corte negativo o positivo</i>	65
	Ángulo de corte es negativo	66
	Ángulo de corte es positivo.....	66
3.7.2	<i>Causa de Escoria</i>	67
	Escoria a alta velocidad.....	67
	Escoria por baja velocidad	68
	Escoria en la parte superior	69
3.7.3	<i>Aparición de asperezas en la superficie</i>	69
	Asperza causada por el proceso.....	69
	Asperza causada por la máquina	70
	El color	70
CAPITULO IV.....		71
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		71
4.1 Análisis y discusión de los resultados del acero ASTM A36.....		71
4.1.1	<i>Datos obtenidos por el corte</i>	71



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



Tolerancia de perpendicularidad o angularidad (<i>u</i>).....	71
4.1.2 <i>Discusión de resultados medidas externas</i>	80
Tolerancia a la perpendicularidad o angularidad (<i>u</i>) medidas externas	80
4.1.3 <i>Interpretación grafica de los resultados de tolerancia de perpendicularidad de medidas externas acero ASTM A36</i>	82
4.1.4 <i>Discusión de resultados perforaciones acero ASTM A36</i>	85
4.1.5 <i>Interpretación grafica de los resultados de tolerancia de perpendicularidad de perforaciones</i>	87
4.2 Nivel de escoria acero ASTM A36	89
4.3 Datos óptimos resultantes acero ASTM A36	91
4.4 Análisis y discusión de los resultados del acero inoxidable AISI 304	93
4.4.1 <i>Tolerancia de perpendicularidad o angularidad (<i>u</i>)</i>	94
4.4.3 <i>Interpretación grafica de los resultados de tolerancia de perpendicularidad acero AISI 304 medidas externas</i>	99
4.4.4 <i>Discusión de resultados de perforaciones acero AISI 304</i>	102
4.4.5 <i>Interpretación grafica de los resultados de tolerancia de perpendicularidad de perforaciones acero AISI 304</i>	103
4.5 Nivel de escoria de acero AISI 304.....	106
4.6 Datos óptimos resultantes acero AISI 304	108
CAPITULO V	110
5. Conclusiones y Recomendaciones	110
5.1 Conclusiones	110
5.2 Recomendaciones	114
Bibliografía.....	116



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Composición química de acero A 36 DIPAC</i>	48
Tabla 2 <i>Propiedades mecánica ASTM A36 DIPAC</i>	48
Tabla 3 <i>Composición química de acero inoxidable 304 ACEROS MG & DIPAC</i>	49
Tabla 4 <i>Propiedades mecánica Acero Inoxidable AISI 304 ACEROS MG</i>	49
Tabla 5 <i>Ficha técnica de cortadora plasma CNC HEROCUT</i>	51
Tabla 6 <i>Variables de corte plasma ASTM A36</i>	57
Tabla 7 <i>Parámetros para el análisis de probetas AISI 304</i>	58
Tabla 8 <i>Instrumentos de medición</i>	63
Tabla 9 <i>Valores de ángulos respecto a 90° de corte en las probetas ensayadas de acero ASTM A36</i>	74
Tabla 10 <i>Valores de los ángulos de perforaciones internas de las probetas ensayadas de acero ASTM A36</i>	75
Tabla 11 <i>Tolerancia de perpendicularidad [mm] en las probetas de acero ASTM A36</i>	77
Tabla 12 <i>Tolerancia de perpendicularidad [mm] de perforaciones interiores de las probetas</i>	78
Tabla 13 <i>Tolerancia a la perpendicularidad o angularidad (u)</i>	80
Tabla 14 <i>Colores de tolerancia a la perpendicularidad</i>	80
Tabla 15 <i>Rango de tolerancia de perpendicularidad para acero ASTM A36</i>	81
Tabla 16 <i>Clasificación de tolerancia a la perpendicularidad o angularidad acero ASTM A36</i>	81
Tabla 17 <i>Clasificación de tolerancia a la perpendicularidad de medidas internas acero ASTM A36</i>	85
Tabla 18 <i>Nivel de escoria y tipo de escoria acero ASTM A36</i>	90
Tabla 19 <i>Parámetros óptimos para el corte según la tolerancia de perpendicularidad de medidas externas, acero ASTM A36</i>	92
Tabla 20 <i>Parámetros óptimos para el corte según la tolerancia de perpendicularidad para medidas de perforación internas, acero ASTM A36</i>	93
Tabla 21 <i>Valores de ángulos respecto a 90° de corte en las probetas ensayadas de acero AISI 304</i>	95
Tabla 22 <i>Valores de los ángulos de perforaciones internas de las probetas ensayadas de acero AISI 304</i>	96
Tabla 23 <i>Rango de tolerancia de perpendicularidad para acero AISI 304</i>	98
Tabla 24 <i>Clasificación de tolerancia a la perpendicularidad o angularidad acero AISI 304 medidas exteriores</i>	98
Tabla 25 <i>Clasificación de tolerancia a la perpendicularidad de perforaciones acero AISI 304</i>	102
Tabla 26 <i>Nivel de escoria y tipo de escoria acero AISI 304</i>	107
Tabla 27 <i>Parámetros óptimos para el corte según la tolerancia de perpendicularidad de medidas externas, acero AISI 304</i>	108
Tabla 28 <i>Parámetros óptimos para el corte según la tolerancia de perpendicularidad para medidas de perforación, acero AISI 304</i>	109



ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1	<i>Estados de la materia</i>	28
Figura 2	<i>Diagrama de bloques del funcionamiento de una CNC</i>	31
Figura 3	<i>Perspectiva para proceso de corte plasma</i>	34
Figura 4	<i>Área para la determinación de la perpendicularidad</i>	40
Figura 5	<i>Picos y valles de superficie de corte</i>	41
Figura 6	<i>Esquema del proceso por aire</i>	42
Figura 7	<i>Inyección por oxígeno</i>	43
Figura 8	<i>Inyección de agua</i>	43
Figura 9	<i>Corte plasma de doble flujo</i>	44
Figura 10	<i>Corte por alta tolerancia</i>	45
Figura 11	<i>Boquilla exterior</i>	49
Figura 12	<i>Cubierta de retención, un anillo de gas, cuerpo de electrodo</i>	50
Figura 13	<i>Electrodo</i>	50
Figura 14	<i>Ingreso de parámetros en panel de control</i>	50
Figura 15	<i>Diagrama de flujos</i>	52
Figura 16	<i>Dimensiones exteriores de la probeta</i>	60
Figura 17	<i>Dimensiones de parte interior de la probeta</i>	60
Figura 18	<i>Código G de la probeta</i>	61
Figura 19	<i>Datos, tiempo y distancia de corte</i>	61
Figura 20	<i>Identificación de la probeta</i>	62
Figura 21	<i>Dirección de inicio y fin del corte</i>	62
Figura 22	<i>Goniómetro digital</i>	64
Figura 23	<i>Micrómetro de interiores</i>	64
Figura 24	<i>Zonas de medición</i>	65
Figura 25	<i>Corte de bisel</i>	66
Figura 26	<i>Ángulo negativo</i>	66
Figura 27	<i>Corte positivo</i>	67
Figura 28	<i>Escoria por alta velocidad</i>	68
Figura 29	<i>Corte por baja velocidad</i>	69
Figura 30	<i>Escoria superior</i>	69
Figura 31	<i>Boquilla desgastada</i>	70
Figura 32	<i>Aspereza de corte rugoso y liso</i>	70
Figura 33	<i>Color de la superficie</i>	70
Figura 34	<i>Tolerancia de perpendicularidad en cortes verticales (a=espesor, (Δa) reducción del espesor)</i>	72
Figura 35	<i>Utilización de goniómetro para la toma de medidas</i>	72
Figura 36	<i>Utilización micrómetro para la obtención de medidas de perforaciones</i>	73
Figura 37	<i>Vista interior de corte desde la cara frontal de la probeta</i>	73
Figura 38	<i>Tolerancia de perpendicularidad vs espesor del corte, acero ASTM A36 medidas externas</i>	84
Figura 39	<i>Tolerancia de perpendicularidad vs corte del espesor, acero ASTM A36 medidas de perforaciones internas</i>	88



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



Figura 40 Zonas donde se realiza la inspección visual acero ASTM A36.....	89
Figura 41 Zonas de medición de la probeta acero AISI 304.....	94
Figura 42 Tolerancia de perpendicularidad vs espesor del corte, acero AISI 304 medidas externas.....	101
Figura 43 Tolerancia de perpendicularidad vs corte del espesor, acero ASTM A36 medidas de perforaciones.....	105
Figura 44 Zonas donde se realiza la inspección visual acero AISI 304.....	106



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO**



CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de investigación

En la industria de fabricación y construcción, el corte por plasma CNC es una técnica ampliamente utilizada para dar forma y dimensionar componentes de acero, aluminio, entre otros tipos de materiales y metales. Sin embargo, la eficacia y la calidad del corte dependen en gran medida de la correcta configuración de los parámetros de corte.

A pesar de la creciente adopción del corte por plasma CNC, existe una falta de comprensión exhaustiva sobre cómo los parámetros de corte impactan en la calidad de corte de metales afectando al cliente como a la industria al tener el desconocimiento de cómo proceder en caso de diferentes espesores del material con la velocidad de corte, el arco eléctrico entre otras especificaciones, en concordancia con los estándares establecidos por la AWS C4.6M 2006. La falta de una guía clara y específica podría resultar en defectos de corte con la calidad de este, comprometiendo la integridad estructural y la seguridad en proyectos de construcción.



1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Estudiar parámetros de corte por plasma CNC De acuerdo con la normativa AWS C4.6M

1.2.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar los criterios establecidos en la norma AWS C4.6M 2006 para aplicarlos en el proceso de corte plasma en una máquina con control numérico computacional (CNC).
- Realizar ensayos experimentales de corte plasma CNC para la elaboración de probetas modificando los parámetros de corte según la norma AWS C4.6M 2006.
- Analizar los resultados obtenidos del corte plasma CNC de probetas según los lineamientos de la norma AWS C4.6M 2006.
- Elaborar la documentación de los parámetros óptimos de corte plasma CNC de acuerdo con los resultados experimentales analizados.



1.3 Formulación del problema de investigación.

1.3.1 Alcance y delimitación

El objetivo principal de este estudio es examinar, evaluar y mejorar los ajustes de corte mediante plasma controlado numéricamente (CNC) de acuerdo con las pautas establecidas en la normativa AWS C4.6M 2006. Se llevarán a cabo pruebas experimentales utilizando una máquina CNC de corte por plasma, donde se variarán los parámetros como corriente, voltaje, velocidad de corte. Para obtener resultados, se realizarán tres pruebas por cada material, con una distancia de corte continua de 50cm y realizar pruebas de perforaciones de orificios de una pulgada, con espesores de 3mm hasta 12mm, siguiendo las indicaciones de la normativa. Todos los resultados obtenidos en cada configuración serán registrados minuciosamente.

Se procederá a la identificación y selección de los materiales a cortar, considerando diferentes aleaciones y grosores especificados en la normativa. Se contemplarán acero al carbono y acero inoxidable.

Los datos recopilados durante las pruebas experimentales serán analizados para evaluar la calidad del corte, la precisión, la eficiencia y el cumplimiento de los estándares AWS. Se buscarán conexiones entre los parámetros ajustados y los resultados del corte. Además, se evaluarán y compararán los resultados de las pruebas con los estándares y recomendaciones establecidas por la normativa AWS C4.6M-2006.



1.4 Justificación

El estudio actual desempeña un papel crucial al establecer parámetros precisos en los procesos de corte por plasma realizados en máquinas de control numérico computarizado CNC. Su objetivo principal es alcanzar cortes de la mejor calidad y asegurar el cumplimiento de normativas específicas, marcando una clara diferencia con los métodos de corte usuales en la mayoría de las empresas [1].

Este enfoque tiene el potencial de impactar positivamente en la economía, el tiempo y la productividad de estas empresas. El conocimiento actual sobre la eficiencia de los procesos CNC es vital en el ámbito nacional de la industria de corte con tecnologías emergentes. Esta comprensión brinda una base sólida para ajustar de manera óptima los parámetros durante los cortes, tanto en el funcionamiento de la máquina como en la obtención de piezas mediante maquinaria CNC similar[2].

Estos métodos de corte por plasma son altamente eficientes y versátiles en la manufactura de diversas estructuras, como láminas, tolvas, rótulos, carcasas de dispositivos y componentes de maquinaria. La implementación de este estudio puede mejorar significativamente la calidad de los productos y reducir los tiempos de producción. A pesar de los desafíos inherentes, como el costo inicial de la maquinaria CNC y la necesidad de personal especializado, cualquier taller industrial puede beneficiarse de su empleo debido a su impacto positivo en la calidad y precisión de los productos[3].

Resulta esencial ajustar los detalles específicos de esta maquinaria, considerando la marca y el material a utilizar. Asimismo, es crucial analizar detalladamente la normativa AWS C4.6M:2006, que establece parámetros fundamentales y derivados para este tipo de corte.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO**



Asegurar el óptimo funcionamiento de la maquinaria, eliminando factores como vibraciones o desalineaciones, es esencial para obtener productos de alta calidad y cumplir con los estándares requeridos.

Este proyecto de investigación contribuirá de manera significativa al sector industrial, ofreciendo una ventaja competitiva a empresas y microempresas al tener acceso a tecnología y parámetros optimizados que cumplen con las normativas establecidas. Esto implica una mayor eficiencia en la producción, una reducción en los desperdicios y una mejora en los procesos, lo que se traducirá en una mayor rentabilidad y sostenibilidad a largo plazo para las empresas involucradas.

1.5 Hipótesis o preguntas de investigación

Las hipótesis de investigación son afirmaciones tentativas sobre las relaciones entre dos o más variables en un estudio. En otras palabras, son suposiciones que el investigador hace sobre lo que podría estar ocurriendo en el fenómeno que está estudiando. Las hipótesis son importantes porque proporcionan una guía para la recolección y análisis de datos, y ayudan a los investigadores a evaluar la validez de sus resultados.

Por otro lado, las preguntas de investigación son las preguntas que el investigador formula para guiar su estudio y buscar respuestas a un problema específico. Las preguntas de investigación deben ser específicas, claras y precisas para que el investigador pueda obtener información útil y relevante para su estudio. Las preguntas de investigación pueden ser abiertas o cerradas y se utilizan para guiar la búsqueda de información, la recolección de datos y el análisis de los resultados.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO**



CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

El corte con plasma emergió como respuesta a la necesidad generalizada de agilizar la fabricación de componentes mecánicos con gran precisión. Sus inicios se sitúan en el siglo XX, particularmente en la década de 1960, cuando se crearon las primeras máquinas exclusivamente diseñadas con este fin. Sin embargo, estas máquinas iniciales eran grandes y implicaban costos considerablemente altos[4].

La aparición de los sistemas computarizados de control numérico (CNC) trajo consigo la idea de integrar el corte con plasma con esta tecnología. La fusión de estos elementos condujo a un proceso unificado, eficiente, rápido y de alta calidad. Este avance permitió superar las limitaciones de las máquinas originales, brindando un método de corte más eficaz, rápido y con resultados más limpios[4].

El trabajo de investigación realizado por Maya Alejandra Suntaxi Álava sobre el “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE CORTE POR PLASMA CONTROLADA NUMÉRICAMENTE PARA LÁMINAS DE ACERO CON UN GROSOR DE 10 MM”, destaca la amplia demanda y uso en la industria de este tipo de sistemas automáticos. Estos sistemas son valorados por su potencia vinculada al plasma y su precisión, inherente a los sistemas de control numérico computarizado (CNC). Se hace énfasis en su versatilidad para trabajar con diferentes materiales y grosores, abarcando desde 2 mm hasta más de 10 mm. Además, se resalta la importancia de la protección durante su uso, ya que la generación de gases y la luz emitida pueden resultar perjudiciales para los operadores. Se hace hincapié en la



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO**



necesidad de usar herramientas específicas y trabajar en áreas amplias y bien ventiladas para garantizar la seguridad del personal[5].

El trabajo de investigación realizado por Freddy Eduardo Yáñez Tapia sobre el “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE CORTE POR PLASMA MEDIANTE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC” tiene como objetivo primordial de este proyecto consiste en fortalecer el sector industrial, específicamente en el área de producción, mediante la implementación de un sistema de corte por arco de plasma que incorpore el control numérico computarizado. Este sistema se orienta a la fabricación de piezas complejas en tiempos reducidos, lo que redundará en una disminución significativa de los costos de producción y en la obtención de productos finales de una calidad superior en comparación con los procesos manuales. Con esta implementación, será posible trabajar con láminas cuyo grosor oscile entre 2 y 12 mm, lo que brindará la flexibilidad necesaria para obtener las piezas metálicas deseadas según las especificaciones del usuario[6].

El trabajo de investigación realizado por Cruz Carrillo Néstor Xavier y Pérez Chicaiza Jhony Javier sobre el “DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA CNC DE CORTE POR LÁSER PARA OPTIMIZAR LA CALIDAD DE TRABAJOS EN ACRÍLICO DE HASTA 5 mm DE ESPESOR” tiene como objetivo de esta iniciativa es establecer y utilizar una máquina de control numérico computarizado (CNC) para realizar cortes láser en láminas de acrílico. Este enfoque permitirá eliminar las restricciones en los diseños y, por ende, ampliar la capacidad del taller. Además, se mejorará el proceso de producción al permitir el corte de láminas de hasta 5 mm de grosor. La investigación bibliográfica será fundamental para seleccionar los parámetros de diseño, tanto mecánicos como electrónicos, necesarios para el montaje final del proyecto[7].



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



La investigación de Alexis Israel Robalino Cáceres en su tesis “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CORTADORA CNC PLASMA PARA PLANCHAS METÁLICAS EN EL TALLER MECÁNICO INDUSTRIAL ROBALINO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA” justifica la necesidad de obtener piezas metálicas de distintos espesores en un tiempo más breve que el logrado con otros métodos. Además, se enfatiza que el uso de un sistema CNC asegura una baja variabilidad en los parámetros de entrada y salida durante el proceso de trabajo[8].

Del mismo modo para Paredes Balseca Marco Antonio en su investigación “ANÁLISIS DEL PROCESO DE CORTE POR PLASMA EN PLANCHAS DE ACERO EN LA EMPRESA ATU ARTÍCULOS DE ACERO S.A. Y SU INCIDENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD” indica que Este proyecto tiene como objetivo principal la automatización de las labores manuales en el proceso de corte de planchas de acero, con el fin de impulsar mejoras continuas en la productividad de la empresa. Su enfoque se dirige hacia un estudio detallado que busca implementar mejoras, ofreciendo dos oportunidades fundamentales: la aplicación de soluciones avanzadas mediante la Ingeniería Industrial en un entorno de producción real y la perspectiva de mejorar tanto la productividad como la calidad del corte. La empresa, orientada a fortalecer sus operaciones y cumplir con las normativas vigentes, tiene como meta principal aumentar su competitividad al optimizar sus recursos y sistemas de producción. Este proceso de investigación es esencial para identificar soluciones inteligentes en el ámbito del corte por plasma, lo cual beneficiará a ATU Artículos de Acero S.A. al mejorar su gestión y aumentar su productividad. Además, los operadores verán mejoras en sus condiciones laborales al reducir las tareas manuales. Cabe destacar que este estudio representa un hito importante al ser el primer registro escrito de información crucial para los procesos de la empresa, sirviendo como



referencia para futuras investigaciones en el área específica del corte por plasma en ATU Artículos de Acero S.A[9].

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Procesos de corte térmicos

Los procesos de corte térmico son métodos utilizados que se caracterizan por el uso de energía térmica a temperaturas muy altas suficientes para separar materiales mediante la aplicación controlada de calor que puede fundir, quemar o vaporizar el material, en lugar de procesarse mediante herramientas mecánicas. rebanada Estos métodos se utilizan en una variedad de industrias, desde la manufactura hasta la construcción, y destacan en el corte de materiales densos o de alta resistencia que son difíciles de manejar con los métodos de corte tradicionales[1].

Antes de la introducción de las técnicas de corte por plasma y láser, el oxicorte era ampliamente reconocido como el método predominante para cortar estructuras en placas y láminas de acero, desempeñando un papel crucial en la producción de diversos tipos de estructuras de acero [10].

Oxicorte

Se utiliza para cortar y separar materiales metálicos, especialmente acero, aplicando calor para fundir el metal y luego soplando oxígeno en el área calentada. Esta ráfaga de oxígeno oxida y elimina el metal fundido, creando así una separación entre las piezas [11].

Plasma

El corte por plasma es un proceso de corte térmico que utiliza un chorro de plasma para cortar metal conductor. En este método se genera un arco eléctrico entre el electrodo y el material a cortar. Los gases (como el argón, el nitrógeno o el aire) se ionizan y se convierten en plasma



mediante el calor del arco eléctrico, lo que da como resultado un chorro de plasma muy caliente[12]. Una fuente de alimentación externa produce un arco eléctrico, que se alimenta a una corriente de gas a alta presión, creando lo que se conoce como "chorro de plasma". Este chorro de plasma alcanza rápidamente temperaturas muy altas, hasta 22 000°C [40 000°F], que penetra rápidamente en la pieza y elimina el material fundido [13].

Laser

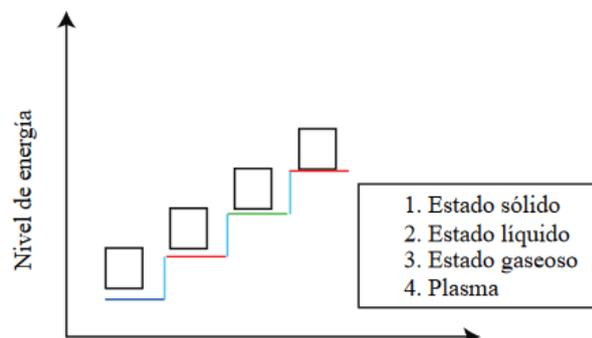
Utiliza luz láser altamente concentrada para derretir, vaporizar o quemar materiales. Muy preciso y comúnmente utilizado en la industria debido a su capacidad para cortar varios tipos de materiales con alta precisión[14].

2.2.2 Corte por plasma

La técnica de corte por plasma se basa en aumentar la temperatura del material a cortar, precisamente por encima de los 22 000 °C en una zona local, convirtiendo el gas utilizado en un cuarto material conocido como plasma, en a la figura 1 se muestra el nivel en el que se encuentra el plasma. En este estado, los electrones se separan de los átomos y el gas se ioniza para poder cortar el material[15]

Figura 1

Estados de la materia



Tomada de:[13]



Historia

Los inicios del proceso de corte por arco de plasma se remontan a 1909, cuando el alemán Schönherr desarrolló un dispositivo que utilizaba un pico de gas estabilizado. En esta configuración, el gas se introducía tangencialmente en un tubo por el que circulaba el arco. La fuerza centrífuga generada por el gas estabilizó la curvatura a lo largo del eje del tubo y creó un núcleo de baja presión axial[16].

Fue entonces cuando se inventó el primer método de protección con gas, que utilizaba un electrodo de tungsteno no consumible junto con helio como gas protector, al que se denominó Gas Inerte de Tungsteno (TIG). En 1954, los investigadores observaron que al aumentar el flujo de gas y disminuir la apertura de la boquilla en la soldadura TIG se producía un chorro de plasma. Este descubrimiento condujo al desarrollo del proceso de corte por plasma que se utiliza hoy en día para cortar metales[17].

Aplicaciones industriales

El corte por plasma es una tecnología versátil ampliamente utilizada en muchas industrias, incluidas la microelectrónica, la automoción, la aeroespacial y la médica. Su uso está dirigido a la limpieza y tratamiento de superficies, confiriéndoles propiedades especiales sin cambiar las características básicas del material. Este método es respetuoso con el medio ambiente debido a su bajo desperdicio y bajo consumo de energía. Ofrece una amplia gama de configuraciones de superficie, como limpieza, recubrimiento fino, funcionalización y grabado, todo lo cual se puede controlar en tiempo real. El propósito de este artículo es presentar los conceptos asociados a la tecnología de plasma y describir en detalle el procedimiento para la modificación de superficies mediante este método[4].



Avances tecnológicos

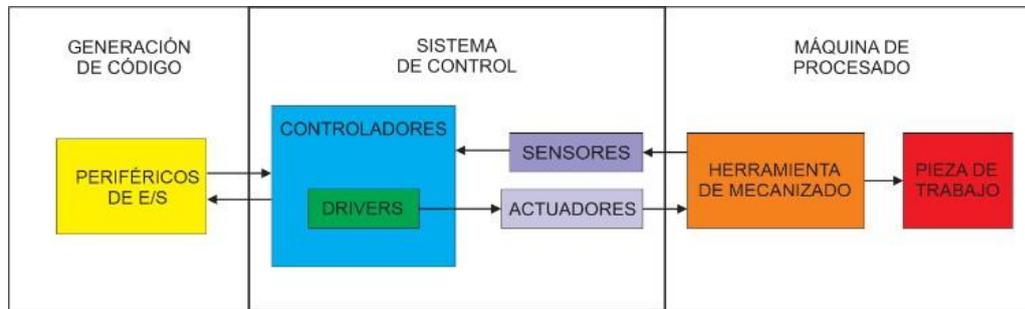
Durante los últimos 25 años, el corte por plasma ha evolucionado significativamente gracias a tecnologías como el control numérico por ordenador. El uso de gases se ha ampliado de tres a seis, lo que permite un biselado y un marcado más precisos. Las máquinas actuales utilizan diversas herramientas (como punzonado, plasma, láser, etc.) para personalizar piezas, identificarlas y añadir códigos de barras en cada eje [18]. Se espera que el mercado de corte por plasma crezca un 11,23% entre 2022 y 2027 debido a su alta precisión en su funcionamiento, lo que lo convierte en una opción muy buscada[19].

2.2.3 Control Numérico Computarizado (CNC)

Los sistemas controlados por computadora y programados numéricamente son tecnologías de fabricación capaces de realizar una serie de tareas técnicas de forma automática, sin intervención humana directa, utilizando instrucciones numéricas proporcionadas por una computadora. Las máquinas controladas numéricamente automatizan operaciones de mecanizado como cortar chapa, perforar agujeros o formar componentes. Algunas de estas máquinas pueden ejecutar múltiples procesos. La creación del diseño de piezas se realiza mediante software de diseño asistido por computadora (CAD), que luego se transfiere al sistema de mecanizado CNC. A continuación, la máquina realiza el proceso de fabricación, conformando la pieza según las especificaciones de diseño, en la figura 2 se observa un diagrama de cómo es el funcionamiento de la maquina CNC desde la generación del código G[20].

**Figura 2**

Diagrama de bloques del funcionamiento de una CNC



Tomada de:[20]

Estas máquinas CNC son fundamentales para la competitividad de las industrias de fabricación de piezas 2D y 3D, ya que representan una tecnología importante en la fabricación avanzada [21].

Los orígenes del control numérico se remontan a 1945, cuando los científicos John Munklin y J. Prester, creadores del primer superordenador ENIAC, sentaron las bases para el desarrollo del control numérico. Sin embargo, no fue hasta 1948 que el control numérico se aplicó efectivamente a la máquina herramienta [22].

Software

El software utilizado en el corte CNC puede variar según la máquina CNC y el tipo de tarea que se utilice, ya sea en máquinas o herramientas [23]. El avance del control numérico, desde el uso de cintas de papel perforadas para la codificación de programas hasta la implementación de sistemas CAD/CAM, ha creado la necesidad de familiarizarse con diversas áreas y terminologías[1]. Algunos ejemplos son:

- CAD: Computer Aided Design (Diseño asistido por computadora).
- CAM: Computer Aided Manufacturing (Manufactura asistida por computadora).
- NC: Numerical Control (Control numérico).



- CAE Computer Aided Engineer Ingeniería asistida por ordenador.
- CIM Computer Integrated Manufacturing Fabricación integrada por ordenador.

Estos son ejemplos de la gran variedad de software que existe hoy en día, pero algunos de ellos se encuentran entre los más conocidos y utilizados en la industria, estos programas son esenciales para el funcionamiento eficiente y preciso de máquinas CNC como fresadoras, tornos y cortadores (plasma, láser y presión de agua) [24].

2.2.4 Elementos de corte por plasma

Hay varios componentes esenciales involucrados en el oxicorte que contribuyen a un corte por plasma eficiente. Estos elementos, denominados consumibles, tienen una vida útil limitada y deben ser sustituidos periódicamente para evitar el deterioro del corte o deterioro de su calidad[25].

Fuente de energía

Para este proceso se requiere una fuente de alimentación de corriente continua constante. El voltaje del circuito abierto suele oscilar entre 240 y 400 voltios de corriente continua. La velocidad y la capacidad de cortar diferentes espesores dependen de la corriente de salida (amperios) y la potencia en kilovatios de esta fuente de energía. La función principal de esta fuente es proporcionar la energía necesaria para mantener el arco de plasma después de la ionización [26].

Hay varias fuentes disponibles que proporcionan una salida de corriente que oscila entre 20 y 200 amperios. Es útil para realizar procesos convencionales de corte por plasma, ya sea manual



o mecánico, cubriendo espesores que van desde 0,25 mm hasta 60 mm en acero al carbono, acero inoxidable y aluminio. Además, existen fuentes más potentes con una potencia de hasta 1500 Amperios, diseñadas específicamente para el procesamiento mecánico, capaces de cortar espesores de acero inoxidable de hasta 150 mm[15].

Mesa de corte

La mesa de corte por plasma es un componente importante del sistema de corte por plasma. Es una superficie plana diseñada para soportar el material que se está cortando y proporcionar una base segura y estable sobre la que trabajar mientras se realiza el corte[27]. Las mesas de corte por plasma pueden variar en tamaño y diseño según la aplicación específica y el tipo de material que se corta.

Antorcha de corte

La antorcha de corte por plasma juega un papel esencial en el proceso de corte. Se trata de un mecanismo que genera un chorro de plasma caliente y concentrado y lo dirige hacia el material a cortar. Su manejo preciso permite mantener la distancia correcta entre la punta del soplete y la superficie del material, lo que incide directamente en la calidad y precisión del corte [12].

Boquillas

Estos elementos permiten que se forme un arco entre el gas y el electrodo negativo. A medida que se amplía la abertura final, el arco se vuelve más ancho y definido. Al contrario: al reducir esta apertura, el arco se vuelve más preciso, lo que conlleva una mejora significativa en la calidad del corte[1].



Compresor

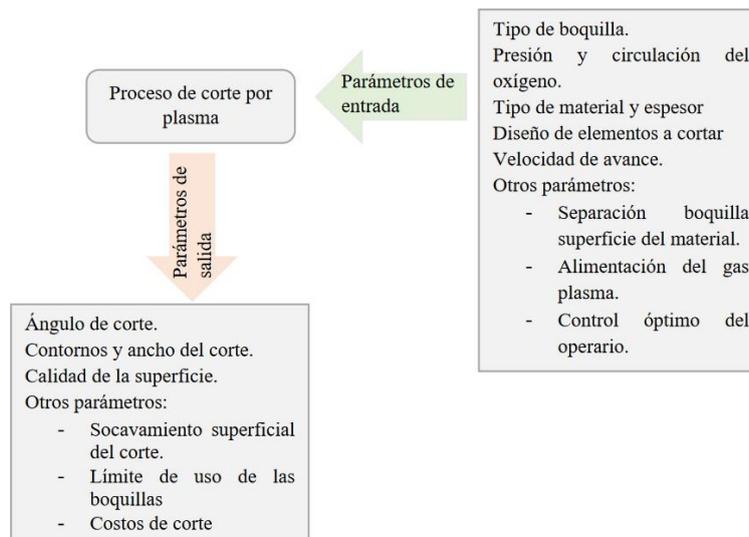
El objetivo principal del compresor en una cortadora de plasma es proporcionar el aire comprimido necesario para formar el chorro de plasma. Este gas, normalmente aire comprimido, es fundamental para el proceso de corte. El compresor se encarga de extraer aire de la atmósfera y aumentar su presión hasta unos valores determinados antes de enviarlo al generador de plasma. En él, el aire comprimido se convierte en plasma mediante ionización y luego se dirige mediante el soplete de corte por plasma hacia el material a cortar [28].

2.2.5 Parámetros de corte con plasma

El objetivo es identificar variables específicas que deben controlarse para lograr un proceso de corte eficiente. Además, se trata de determinar valores base con el fin de mejorar la productividad, optimizar procesos y reducir costos. Como se observa en la figura 3 los parámetros de entrada y salida que tiene una maquina CNC para un proceso de corte[29].

Figura 3

Perspectiva para proceso de corte plasma



Tomada de: [5]



2.2.5.1 Parámetros de entrada

Velocidad de corte

La velocidad de corte se refiere a qué tan rápido se mueve la antorcha en el plano XY durante el proceso de corte. Este parámetro varía según el material utilizado, su espesor y potencia de entrada. Aunque el espesor y el tipo de material permanecen constantes, la velocidad de corte está determinada únicamente por la potencia de entrada, por lo tanto, el rango de velocidad se puede establecer entre 10 ipm, 55 ipm y 100 ipm (pulgadas por minuto)[30]. Dependiendo de la intensidad de la corriente de corte y del espesor, se pueden alcanzar velocidades de hasta 15 m/min. En el corte mecánico se suele utilizar una velocidad media de 5 m/min [31].

Amperaje de corte

Están disponibles varios tipos de fuentes con potencias que varían de 20 a 200 Amperios, destinadas a procedimientos de corte por plasma convencionales, ya sea en modo manual o mecánico. Abarca una amplia gama de espesores, desde 0,25 mm hasta 60 mm, en materiales como acero al carbono, acero inoxidable y aluminio. Por otro lado, existen fuentes más potentes capaces de producir hasta 1500 Amperios, que están especialmente diseñadas para procesos de corte mecánico, permitiendo cortar acero inoxidable de hasta 150 mm de espesor[31]. Su alta velocidad se debe a que la corriente que fluye entre los electrodos puede alcanzar hasta 1000 amperios, permitiendo cortar materiales con espesores que van desde 0,5 a 160 milímetros[28].

Caudal y tipo de gas

En el proceso de corte por plasma, el caudal de gas o aire varía entre 100 y 200 litros por minuto, con una presión de 5 a 8 kg/cm², dependiendo del propósito específico.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



Para utilizar aire, simplemente use un compresor, seguido de un sistema de filtración para eliminar la suciedad. En condiciones de alta humedad, se puede agregar un desecante de enfriamiento. Si se utiliza nitrógeno, argón-hidrógeno, oxígeno, CO₂ o metano, estos gases se pueden obtener en cilindros o tanques, dependiendo de la demanda y la flexibilidad requerida[31].

En el corte de acero inoxidable, la cantidad de gas utilizada para producir plasma varía según el diámetro del orificio, desde 47 L/min (100 pies³/h) para un orificio de 1/8 de pulgada hasta 120 L/min (250 pies³/h) para 1/8 de pulgada. Agujero de 4 pulgadas. Gases como nitrógeno, argón e hidrógeno se suelen utilizar en diferentes proporciones, que pueden variar según el fabricante del equipo. En el corte de acero al carbono, la cantidad de gas utilizada para producir plasma también depende del diámetro del orificio, desde 47 L/min (100 pies³/h) para un orificio de 3,2 mm (1/8 de pulgada) hasta 94 L/min (200 pies³/h) para agujeros de 3/16 de pulgada. Además, se utiliza aire comprimido o una mezcla de nitrógeno y oxígeno, según las especificaciones del fabricante del equipo a utilizar[32].

Tiempo de penetración

El tiempo que tarda el plasma en penetrar un material durante el corte varía mucho debido a diversos factores, como el tipo y espesor del material, la corriente eléctrica aplicada y la velocidad de corte. Actualmente no existe un estándar de medición fijo, ya que depende de las condiciones específicas de corte y de las propiedades del material en cuestión. El corte por plasma se caracteriza por su capacidad para penetrar una amplia gama de espesores de materiales de manera rápida y eficiente, siendo



particularmente efectivo en materiales más gruesos como acero de gran espesor, acero inoxidable y aluminio, proporcionando resultados rápidos y precisos[13].

Separación de la antorcha

La distancia entre la punta del soplete y la pieza de trabajo se llama altura del soplete. Los espacios recomendados varían de 1/8 a 3/8 de pulgada. A nivel experimental para estas alturas se consideran medidas de 0,1, 0,2 y 0,3 pulgadas. Si el corte se realiza muy de cerca, normalmente la punta del soplete entrará en contacto con la pieza, lo que provoca la activación del mecanismo de seguridad, reduciendo así la corriente a 40 A. Al contrario, cuando se realiza el corte. realizado a una distancia demasiado larga, se observan resultados típicos como:

- Exceso de salpicadura en la parte superior.
- Pobre ángulo de inclinación.
- Corte incompleto que no penetra completamente en el espesor del material[33].

2.2.5.2 Parámetros de salida

Ángulo de corte.

El corte por plasma puede producir cortes rectos con un bisel de 0° y la mayoría de los sopletes de plasma son capaces de producir cortes de precisión en el lado derecho de la incisión. El ángulo de bisel varía entre 1 y 3 grados en el lado deseado del corte, y entre 4 y 8 grados en el lado menos deseable. Los sistemas de corte de mayor precisión pueden producir ángulos de bisel más pequeños. Aunque cierto grado de inclinación es inherente al proceso del plasma, esto puede minimizarse. Un ángulo de inclinación superior a 5 grados puede indicar un problema con los parámetros de control del arco piloto del motor[34].



Ancho de corte

El espacio que queda en el metal después de un corte con un cortador de arco de plasma suele ser mayor que con un corte con oxicorte. Varios factores influyen en el ancho de corte[34]. Algunos de ellos son los siguientes:

- 1.-La distancia de la boquilla afecta la amplitud: cuanto más cercana sea la distancia entre la punta de la boquilla y la pieza de trabajo, más estrecha será la fresa.
- 2.-Tamaño del orificio de la boquilla: Mantener el diámetro del orificio pequeño reducirá el ancho de corte.
- 3.-Ajuste de potencia: demasiada o muy poca potencia afecta el ancho del cortador.
- 4.-Velocidad de corte: aumentar la velocidad reducirá el ancho de corte, pero una velocidad demasiado alta puede provocar biseles y desperdicio.
- 5.-Tipo de gas: La elección del gas o combinación de gases afecta a la amplitud del corte afectando a la velocidad, potencia y concentración del plasma.
- 6.-Desgaste de boquillas y electrodos: Si estas piezas están desgastadas o dañadas, la calidad y amplitud del corte se verán afectadas negativamente.

2.2.6 Normativa AWS C4.6M 2006

Esta regulación global se aplica a materiales aptos para el proceso de corte mediante oxicorte, corte por plasma y corte por láser. Cubre rangos de espesor de corte específicos, de 3 mm a 300 mm para oxicorte, de 1 mm a 150 mm para plasma y de 0,5 mm a 40 mm para láser. Proporciona directrices precisas sobre las dimensiones geométricas del producto y los niveles de tolerancia de calidad aceptables. En casos excepcionales, esta regulación debería ampliarse



a piezas fabricadas mediante otros procesos de corte (por ejemplo, corte por chorro de agua a alta presión)[35].

Parámetros de calidad

Esta normativa recoge los criterios para evaluar la calidad superficial durante el corte térmico, independientemente del método utilizado, ya sea corte por oxiacorte, plasma o láser. Es importante tener en cuenta que no todos los estándares de tolerancia de calidad y especificaciones geométricas del producto se pueden lograr con todos los procesos o materiales. Sin embargo, debido a las diferentes condiciones de operación y a la tecnología utilizada, es posible obtener una amplia gama de calidades [1][35].

La calidad de la superficie del material cortado térmicamente se define a través de los siguientes indicadores:

1. Tolerancia de perpendicularidad o angularidad, representada por u ;
2. Altura media del perfil.

Asimismo, se pueden utilizar otros valores tales como:

1. Arrastre.
2. Fusión del borde superior.
3. Posible presencia de escoria o gotas de fusión en el borde inferior del corte[1][35].

Materiales

Normalmente los metales que pueden fundirse y son buenos conductores de la electricidad, como aceros puros y de baja aleación, compuestos de níquel, aleaciones de titanio, compuestos de cobre, aleaciones de aluminio, etc., son muy adecuados para su uso en procesos de plasma[34].

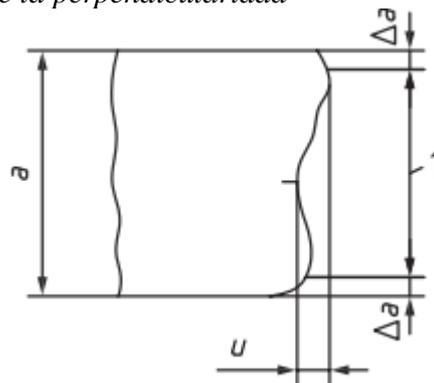


Tolerancia

El valor indicativo de la tolerancia perpendicular o angular, conocido como "u", se define en una zona restringida de la superficie de corte. Esto significa que no se aplica al comienzo del corte, al término de este, ni en radios reducidas o ángulos agudos, tanto en el corte por plasma como en el oxicorte [30]. Este valor se establece en el área especificada de la superficie de corte, tal como se evidencia en la figura 4, que muestra la zona empleada para el análisis de la perpendicularidad [32]. Igualmente, si se observa fusión en el borde, se establece la disminución de espesor (Δa) desde la parte superior e inferior de la superficie de corte [35].

Figura 4

Área para la determinación de la perpendicularidad



Tomada de: [35]

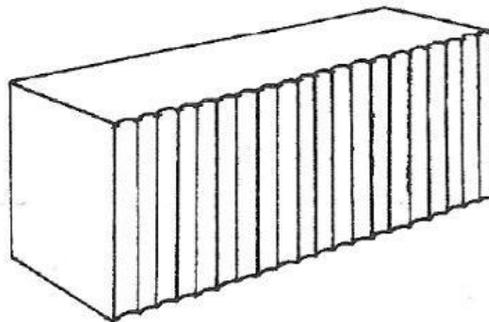
Rugosidad

La textura gruesa se caracteriza por la repetición de crestas y valles en la superficie cortada en caliente, evaluada a través de muestras que cumplen con estándares de calidad y un cierto rango de altura promedio del perfil ($Rz5$), o mediante comparación con los lineamientos establecidos en la AWS C4.6M[35], como se muestra en la figura 5.



Figura 5

Picos y valles de superficie de corte



Tomada de: [35]

2.2.7 Calidad de corte

Las pruebas de corte se utilizan a menudo para demostrar las capacidades de un equipo en particular. La evaluación de aspectos como el ángulo de bisel, la cantidad de residuos generados y la calidad de la superficie del borde proporciona una comprensión precisa de las capacidades del sistema de corte. Sin embargo, las decisiones de compra de tecnología no deben tomarse basándose únicamente en un muestreo de corte. Antes de realizar una compra, es muy importante comprender todos los factores que influyen en unos resultados satisfactorios[36].

El proceso de corte por plasma se apoya principalmente en tres elementos fundamentales:

1. Equipo de corte por plasma: Incluye la tecnología utilizada, el amperaje, el gas empleado para el corte, entre otros aspectos relevantes.
2. Material a cortar: Consideraciones como el tipo de material, su composición y el acabado superficial son cruciales.
3. 3. Movimiento de la máquina: Este aspecto incluye elementos como guías, motores, sistemas de transmisión, componentes mecánicos, control numérico computarizado (CNC) y la programación utilizada en el proceso[37].



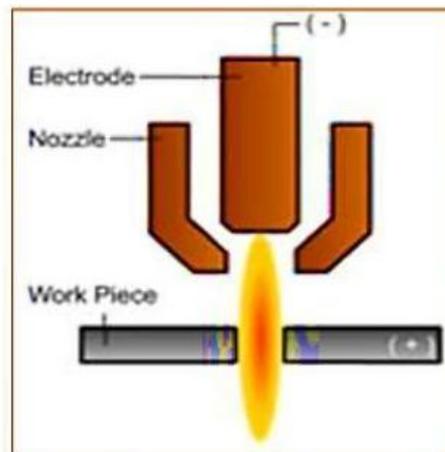
2.2.8 Tipos de corte por plasma

Por aire

La introducción del corte por plasma de aire se produjo alrededor de 1963. Este tipo de corte utiliza aire a muy alta velocidad, lo que aumenta la velocidad de corte hasta en un 25%. Esta característica difiere del corte por plasma seco convencional. Sin embargo, este método puede provocar una rápida corrosión del material y un desgaste significativo del electrodo. En la figura 6 se muestra un esquema del proceso por aire, ilustrando los componentes y flujo del corte [12].

Figura 6

Esquema del proceso por aire



Tomada de:[7]

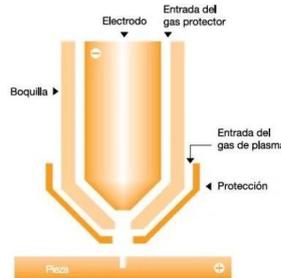
Por inyección de oxígeno

En 1983 se creó una tecnología innovadora que implicaba el uso de oxígeno como gas de corte junto con la introducción de agua a través de la punta de la boquilla. Este método, conocido como “corte por plasma con inyección de oxígeno”, se desarrolló para resolver problemas asociados con el rápido desgaste de los electrodos y la oxidación del metal, en la figura 7



muestra el esquema de la inyección por oxígeno, ilustrando cómo se incorpora el oxígeno para mejorar el rendimiento del corte[31].

Figura 7
Inyección por oxígeno

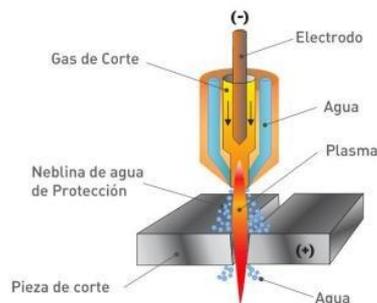


Tomada de: [31]

Por inyección de agua

En 1968, Dick Couch desarrolló un método de corte por inyección de agua que implicaba inyectar agua radialmente a través de una boquilla. Este método proporciona un corte más eficaz y rápido, reduciendo la cantidad de escoria. En este proceso, además del nitrógeno en forma de gas, se utiliza una capa de agua como agente protector, en la figura 8 ilustra el proceso de inyección de agua, mostrando cómo se aplica el agua radialmente para mejorar la eficacia del corte[38].

Figura 8
Inyección de agua



Tomada de: [38]

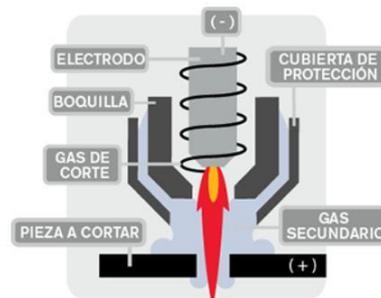


Por doble flujo

Utiliza un difusor cerámico que recubre la boquilla proporcionando un sistema de protección mediante aire, argón, CO₂, hidrógeno u otros gases. Además, su velocidad de corte es alta, lo que garantiza una calidad de corte significativamente alta, en la figura 9 muestra el sistema de corte plasma de doble flujo, destacando el uso del difusor cerámico y el flujo de gases protectores[1].

Figura 9

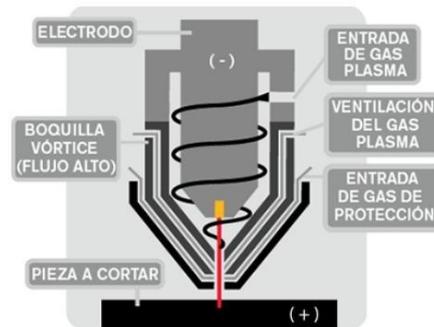
Corte plasma de doble flujo



Tomada de: [39]

Con alta tolerancia

La evolución de estos métodos de corte condujo al desarrollo de métodos de alta precisión y tolerancia conocidos como arco estrangulado. Este tipo de plasma ha sido aceptado como una alternativa más económica frente al sistema de corte por láser, especialmente para cortar materiales de menos de 10 milímetros de espesor, se observa en la figura 10 el sistema de corte por plasma de alta tolerancia, ilustrando su configuración para lograr cortes de alta precisión[12].

**Figura 10***Corte por alta tolerancia*

Tomada de: [3]

2.2.9 Efectos metalúrgicos

El corte mediante plasma puede provocar diversos efectos metalúrgicos en el material:

1. **Zona afectada por el calor:** Al producirse altas temperaturas en la zona adyacente al corte, el procedimiento de corte por plasma puede provocar modificaciones en la microestructura del material debido a la exposición a temperaturas elevadas, lo cual podría tener un impacto significativo en sus propiedades mecánicas.
2. **Endurecimiento y temple localizados:** La rápida transferencia de calor durante el corte por plasma puede provocar cierto endurecimiento y enfriamiento del material alrededor del área de corte, lo que puede afectar su dureza y resistencia en esa región.
3. **Generación de escoria:** Las altas temperaturas asociadas con el corte por plasma pueden causar deformación térmica de la pieza de trabajo, lo que puede afectar las dimensiones y la forma final de la pieza de trabajo.
4. **Deformación térmica:** Las altas temperaturas asociadas con el corte por plasma pueden causar deformación térmica de la pieza de trabajo, lo que puede afectar las dimensiones y la forma final de la pieza de trabajo[40].



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO**



El efecto metalúrgico sobre los aceros con bajo contenido de carbono (0,25%) no es tan significativo. Sin embargo, en aceros con alto contenido de carbono y aceros ligeramente aleados se observan efectos adversos. Se detectó un aumento en el porcentaje de carbono en la superficie de corte respecto al resto de la pieza[1].



CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

Se realizaron pruebas en probetas de acero ASTM A36 y AISI 304 en esta investigación. Las sondas cortadas con la máquina de CNC computarizada de plasma HEROCUT de acuerdo con la reglamentación AWS C4.6M: 2006 para la evaluación del acero mediante el parámetro de entrada y salida.

3.1.1 Acero ASTM A36

El acero ASTM A36 es una norma de acero estructural de carbono utilizada en la construcción e ingeniería debido a su economía y versatilidad. El ASTM A36 se caracteriza por su buena combinación de resistencia, ductilidad y soldabilidad, lo que le permite ser fácilmente formado, soldado y trabajado. Tiene un contenido de carbono inferior al 0,29% y hasta un 0,90% de manganeso, además, la resistencia a la tracción oscila entre 400 y 550 MPa con un límite elástico de 250 MPa[41]. Es conocido por su facilidad de mecanizado y posee una microestructura de ferrita y perlita. Debido a su equilibrio en resistencia mecánica, permite un mecanizado fácil y rápido sin tratamientos térmicos; es ampliamente utilizado en aplicaciones donde el peso y la resistencia no son de suma importancia, cumpliendo así con los factores requeridos como la homogeneidad, ductilidad, soldabilidad y resistencia a la corrosión estructural[42].

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, se optó por utilizar láminas de Acero ASTM A36 producidas por DIPAC, ya que se considera un acero estructural producido a gran escala y de fácil acceso en el mercado. Incluso DIPAC garantiza que el acero proporcionado



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS**
SUBDECANATO



cumple con altos estándares de calidad basados en su composición química y especificaciones mecánicas, tal como se muestra en las tablas 1 y 2.

Tabla 1

Composición química de acero A 36 DIPAC

Material	% C	% Mn	% P	% S	% Si	% Cu	Otros
ASTM	0,25	0,80	0,04	0,05	0,4	0,20	0
A36	0,29	1,2	Máx.	máx.	máx.	máx.	

Tomada de: [41]

Tabla 2

Propiedades mecánica ASTM A36 DIPAC

Material	Fluencia [MPa]	Esfuerzo máximo [MPa]	Norma equivalente
ASTM A36	250 mín.	400 mín. 550 máx.	SAE 1020 ASTM A-36

Tomada de: [41]

Estas tablas fueron la principal herramienta para verificar que el material cumpliera con los requisitos normativos y de desempeño necesarios, garantizando así su confiabilidad en la aplicación estructural estudiada.

3.1.2 AISI 304 acero inoxidable

La importancia del acero inoxidable 304 radica en su aplicación generalizada en varias industrias. Esto se debe a su resistencia a la corrosión, que es excelente en ambientes húmedos o factores químicos ligeramente agresivos. Como se señaló anteriormente, esta propiedad depende de un 18-20% de cromo y un 8-10.5% de níquel para el acero. Por lo tanto, en términos de resistencia, puede resistir una resistencia a la tracción de 515 MPa y un límite elástico 205 MPa, lo que hace de este material un material de construcción muy resistente[43]. Además, no es lo suficientemente plástico en un recocido y no magnético, por lo que es muy fácil de manipular. Por lo tanto, es una de las grandes fuentes de aplicaciones industriales que requieren resistencia física y útil[44].



Al igual que en el caso anteriores, se consideraron las planchas de acero inoxidable AISI 304 fue ensayada en este estudio. La composición química y los datos necesarios sobre las propiedades mecánicas del objeto se obtuvieron por parte de ACERO MG y DIPAC y se muestran en la tabla 3 y 4.

Tabla 3

Composición química de acero inoxidable 304 ACEROS MG & DIPAC

Material	% Cr	% C	% P	% S	% Ni	% Mn	% Si
AISI 304	17 -19.5	0,07	0,04	0,03	8 -10,5	2	1

Tomada de: [41]

Tabla 4

Propiedades mecánica Acero Inoxidable AISI 304 ACEROS MG

Material	Resistencia mecánica[psi]	Elongación (A5) min	Punto de fluencia[psi]	Pruebas de dureza(máx.) de	
				Rockwell B	Vickers
AISI 304	69500	≤45	25500	81,7	160

Tomada de: [45]

3.1.3 Boquillas

Para el equipo de plasma CNC se utilizó el modelo HEROCUT, las boquillas que se usaron, trabajan en función del amperaje que se utiliza durante la operación del corte, estas cuentan con un recubrimiento de cerámica exterior, una punta o cubierta de retención, un anillo de gas y un electrodo eléctrico como se muestra en las figuras 11, 12 y 13.

Figura 11

Boquilla exterior





Figura 12

Cubierta de retención, un anillo de gas, cuerpo de electrodo



Figura 13

Electrodo



El equipo permitió escoger la opción más adecuada al ingresar los parámetros iniciales de corte.

En pocas palabras, el diámetro de boquilla de la antorcha depende de la corriente de corte.

Además, toda esta información se muestra de manera clara en el panel de control como se muestra en la figura 14.

Figura 14

Ingreso de parámetros en panel de control





3.1.4 Modelo de máquina de corte plasma CNC HEROCUT

En la tabla 5 se muestra las especificaciones técnicas de la máquina para el funcionamiento de la máquina.

Tabla 5

Ficha técnica de cortadora plasma CNC HEROCUT

Especificación	Detalle
Modelo	HeroCut 80A
Tipo de equipo	Cortadora de plasma CNC
Corriente de corte	20A - 80A
Voltaje de entrada	220V, monofásico
Frecuencia	50/60 Hz
Capacidad de corte máximo	25-30 mm (acero al carbono)
Capacidad de corte limpio	20 mm (acero al carbono)
Capacidad de corte en acero inoxidable	Hasta 20 mm
Tipo de gas	Aire comprimido
Presión de gas recomendada	4.5 - 5.5 bar
Ciclo de trabajo	60% @ 80A, 100% @ 60A
Encendido del arco	Contacto pilotado
Refrigeración	Ventilación forzada
Tecnología	Inverter IGBT
Peso	25 kg
Dimensiones (LxAxH)	500 x 220 x 380 mm
Conexión CNC	Compatible con controladores CNC

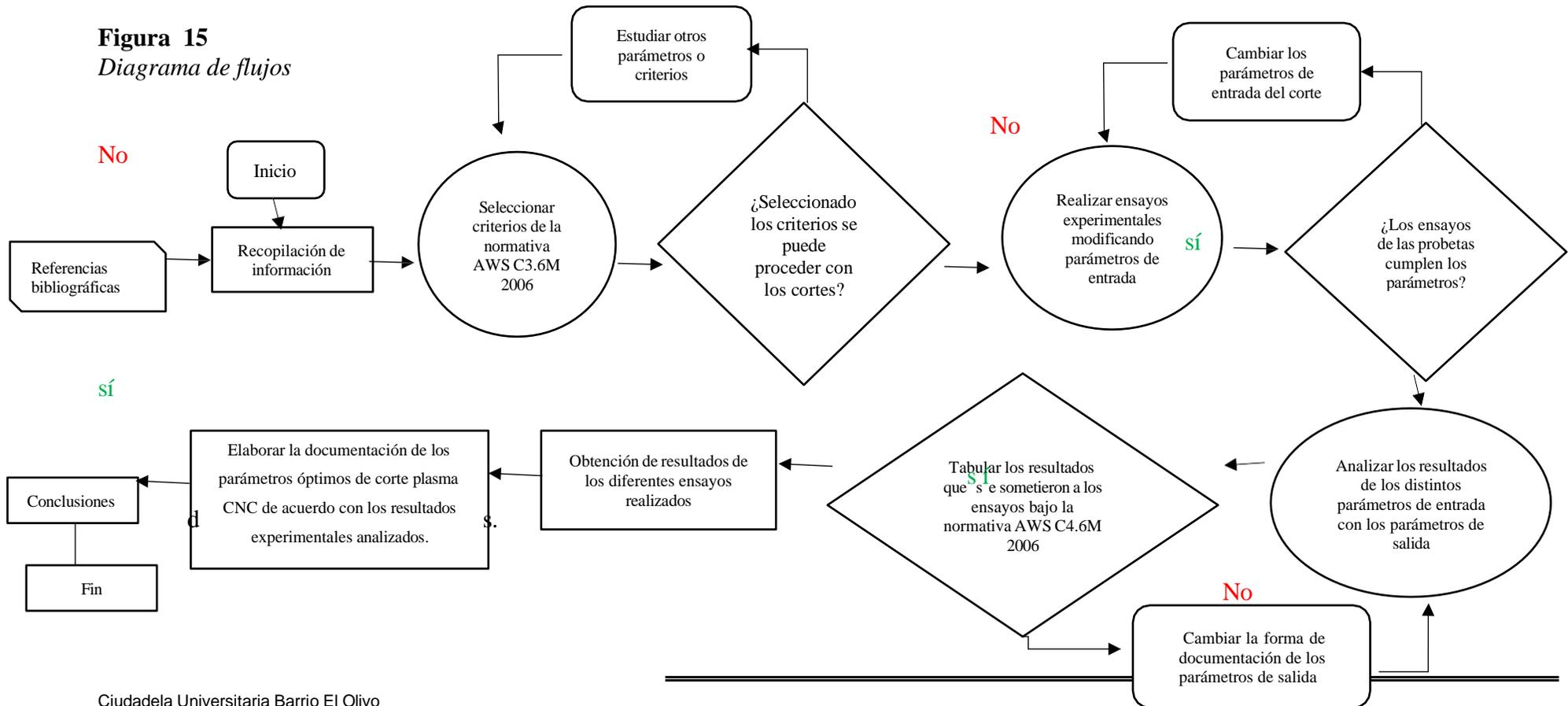
Tomada de: [46]



3.2 Metodología

En esta sección, se presenta un diagrama de flujos en la figura 15 que nos ilustra el método, proceso y práctica utilizados para alcanzar los objetivos propuestos previamente.

Figura 15
Diagrama de flujos





3.2.1 Investigación bibliográfica

El estudio utilizó diversas fuentes de información confiables como libros, tesis, revistas, catálogos, artículos científicos y normativas relevantes como la norma AWS C4.6M:2006, que establece criterios específicos para los procesos de corte y medición. Estas fuentes ayudaron a asegurar una comprensión adecuada del tema que se ha desarrollado.

Además, se utilizaron los manuales del fabricante de la máquina CNC para cada proceso de corte específico. Estos proporcionaron indicaciones detalladas y recomendaciones para optimizar el rendimiento de la máquina. El estándar AWS C4.6M:2006 se utiliza como base para determinar los parámetros de entrada, salida y medición apropiados para cada operación para garantizando que el trabajo tuviera respaldado por documentación técnica salida. Esto permitió un enfoque justificado para la correcta ejecución de las operaciones de corte.

3.2.2 Investigación experimental

Como el objetivo específico es estudiar los parámetros de corte por plasma CNC, se decidió diseñar unas probetas con las dimensiones que se explicarán más adelante. Se seleccionaron distintos espesores como: para el acero ASTM A36, espesores de 3 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm, 10 mm y 12 mm; y para el acero inoxidable AISI 304, espesores de 4 mm, 6 mm, 8 mm, 10 mm y 12 mm, La idea fue utilizar equipos de medición adecuados para evaluar la calidad de las superficies y las tolerancias dimensionales obtenidas en cada una de las pruebas realizadas con estas probetas.

Para estos espesores, se realizó un total de cinco seteos de la máquina, en los que se variaron parámetros de entrada como la velocidad de avance y el amperaje, con el fin de obtener una



validez estadística que ayudara al estudio a comparar cada una de las pruebas realizadas y a determinar cuál de ellas ofrecía una mejor calidad para la producción y la definición de detalles.

3.2.3 Análisis y síntesis

Cada una de las especificaciones que debe cumplir los ensayos mediante el corte por plasma con la máquina CNC modelo HEROCUT, estuvieron sujetas a los lineamientos establecidos por la norma AWS C4.6M:2006. La presente norma plantea los tipos de materiales para corte con plasma, oxicorte y laser, de igual manera establece los espesores para cada tipo de corte, es decir se estableció una documentación válida situada en los anexos, para poder utilizarla ya sea dentro de la institución o de tipo empresarial.

3.3 Técnicas

3.3.1 Observación experimental

Esta técnica permitió registrar cada una de las variables que fueron aplicadas para la realización de los ensayos en acero ASTM A36 y AISI 304 cuyos espesores están determinados en el punto 3.2.2, además dentro de este proceso se variaron diferentes parámetros para llegar a una calidad de corte deseada y que cumpla con los requisitos de la normativa, las observaciones que se obtuvieron son con el fin de explorar, comprender procesos, identificar errores y plantear hipótesis para futuros estudios.

3.3.2 Recolección de datos

Para la recolección de datos se basó en la información obtenida del desarrollo del estudio de los diferentes ensayos realizados, con el fin de presentar de una manera óptima los resultados que se sustraigan, esto incluye tablas que muestran los valores que se usaron para cortar el



material, los tipos de cortes que se hicieron y manuales que explicaron el funcionamiento de la máquina. Con todos estos datos, se puede tener una visión clara de la situación actual y buscar formas de mejorar el trabajo.

3.3.3 Enfoque de investigación mixto

La perspectiva metodológica del enfoque mixto, se empleó para realizar este estudio de investigación. Esta definición fue coherente con los requisitos de investigación y permitió tener una visión más detallada y amplia.

El enfoque mixto fue un grupo de métodos de investigación crítica, sistemática y empíricos que emplearon la recolección de datos cualitativos y cuantitativos. Estos procesos permitieron mostrar todas las características del fenómeno que se estudió [2]. El enfoque mixto utilizó un método cualitativo para recopilar información, así como un estudio de campo para identificar los parámetros que se consideraron convenientes antes del corte. Además, después de la recopilación de información, se integró un método cuantitativo para verificar cada uno de los parámetros mediante la elaboración de las probetas y con base en la investigación previa sobre el tipo de material y el espesor.

3.3.4 Parámetros de entrada y salida

Parámetros de entrada

El operador comprobó y modificó los parámetros de entrada de la Máquina de corte por plasma CNC, especialmente la velocidad, la corriente, el voltaje del arco, la distancia de la boquilla en relación con el material y el tipo de gas.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
SUBDECANATO



Estos valores son conocidos desde el inicio o fueron modificados de acuerdo con el tipo y espesor del material. El operador ajusta si es necesario la máquina para obtener un buen corte. Al asegurar una buena configuración de los parámetros mencionados previamente, el resultado del corte que se realice será de calidad, rápido y sin errores.

Parámetros de salida

La calidad del corte y la productividad del proceso están directamente relacionadas con los parámetros de salida, el ángulo de bisel, el nivel de escoria y la apariencia general del corte son los factores que determinan si se puede continuar con el proceso productivo, como la soldadura, sin realizar trabajos de acabado adicionales. Estos factores determinan la calidad del corte. Para garantizar buenos resultados, se deben controlar estos parámetros de salida a través de mediciones de ángulo y inspecciones visuales de corte, asegurándose de que las superficies sean limpias. Además, estos parámetros tienen un impacto en los costos de producción porque un corte inadecuado puede prolongar el tiempo de procesamiento y los recursos necesarios para corregir errores.

Sin embargo, la distancia de la antorcha al material, la velocidad de corte, el amperaje y la presión del gas son factores importantes en la calidad final del corte. Problemas como escoria excesiva, cortes con ángulos incorrectos o superficies rugosas pueden surgir si estos ajustes no se realizan adecuadamente. Estos problemas podrían dañar la apariencia y la precisión del corte. Por lo tanto, el control de ambos tipos de parámetros es fundamental para lograr una alta calidad en el proceso y reducir costos y tiempos de producción.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



3.3.5 Tablas de parámetros óptimos para los cortes

Previo a los valores que se estableció para los espesores en las aplicaciones del estudio en la tabla 6 y 7 se estableció los parámetros para el análisis de las probetas de acuerdo con el número de experimentos de terminados tanto para el ASTM A36 y AISI 304 en el proceso de corte por plasma.

Tabla 6

Variables de corte plasma ASTM A36

Espesor	Probeta	Velocidad de avance (mm/min)	Amperaje (A)
3	1	2500	50
	2	1200	40
	3	3800	50
	4	2000	50
	5	2200	40
4	1	800	40
	2	2500	50
	3	1600	45
	4	650	35
	5	1200	45
6	1	600	45
	2	1200	50
	3	2200	60
	4	600	55
	5	900	45
8	1	850	60
	2	600	50
	3	435	50
	4	1000	60
	5	600	40



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS**
SUBDECANATO



Tabla 6

Variables de corte plasma ASTM A36

Espesor	Probeta	Velocidad de avance (mm/min)	Amperaje (A)
10	1	600	60
	2	420	55
	3	800	60
	4	1000	60
	5	420	60
12	1	280	60
	2	335	60
	3	450	60
	4	235	55
	5	600	65

Tabla 7

Parámetros para el análisis de probetas AISI 304

Espesor	Probeta	Velocidad de avance (mm/min)	Amperaje (A)
4	1	800	40
	2	1200	40
	3	1200	45
	4	600	40
	5	1600	50
6	1	600	45
	2	600	50
	3	875	60
	4	400	45
	5	1100	60

**Tabla 7**

Parámetros para el análisis de probetas AISI 304

Espesor	Probeta	Velocidad de avance (mm/min)	Amperaje (A)
8	1	650	60
	2	825	60
	3	650	55
	4	400	55
	5	400	60
10	1	335	60
	2	500	60
	3	335	55
	4	500	65
	5	420	62
12	1	400	65
	2	280	60
	3	340	60
	4	500	65
	5	450	70

Hay que mencionar que dentro de este proceso de corte por plasma se aplica principalmente en aceros al carbono y aleaciones ferrosas menores a 1 pulgada que son 25mm de espesor como lo menciona la norma AWS C4.6M 2006[35].

Como se mencionó anteriormente, el enfoque mixto permitió realizar un estudio de campo y recopilar información sobre las condiciones de operación de los cortes térmicos, lo cual permitió tener una referencia para establecer los factores de control utilizando los parámetros de corte.



3.4 Dimensionamiento de la probeta

Las dimensiones de las probetas para los ensayos de corte por plasma no tienen normativa exacta que explique o justifique a detalle sus dimensiones, por lo que se realizó una búsqueda referencial, con la que se pudo definir y diseñar las probetas, que se muestran en las en las figuras 16 y 17, este diseño fue basado en la búsqueda y parte de nuestra autoría. Este diseño se aplicó para los diferentes espesores citados para los materiales ASTM A-36 y AISI 304.

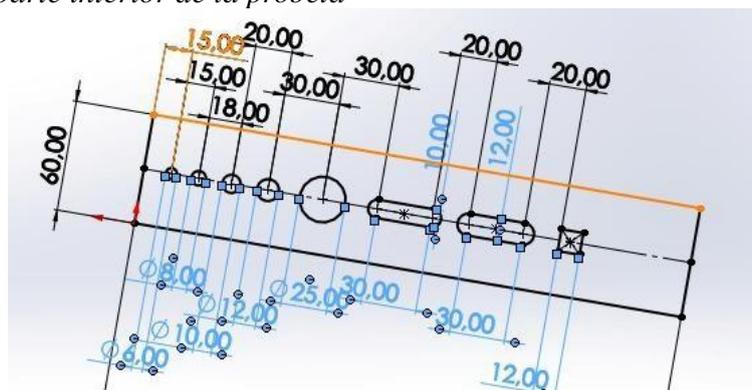
Figura 16

Dimensiones exteriores de la probeta



Figura 17

Dimensiones de parte interior de la probeta





La probeta fue diseñada con la ayuda del software SolidWorks para tener una precisión en las cotas tanto externas como internas y de igual manera gracias al programa SHEETCAM que se encarga de transformar a código G y colocar la dirección de avance de corte que tendrá la antorcha como se muestra la figura 18 y 19, también encargándose de contabilizar la distancia de corte que tendrá la probeta y para posteriormente a todo esto enviar al programa Mach3 que es el encargado de controlar la maquina CNC, realizar el corte.

Figura 18

Código G de la probeta

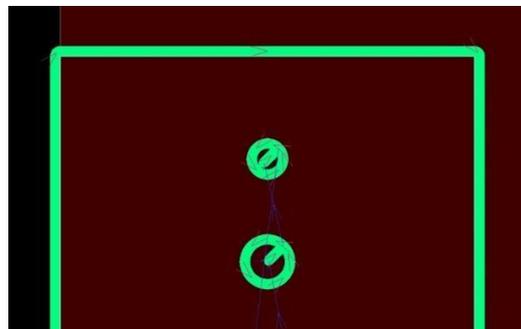
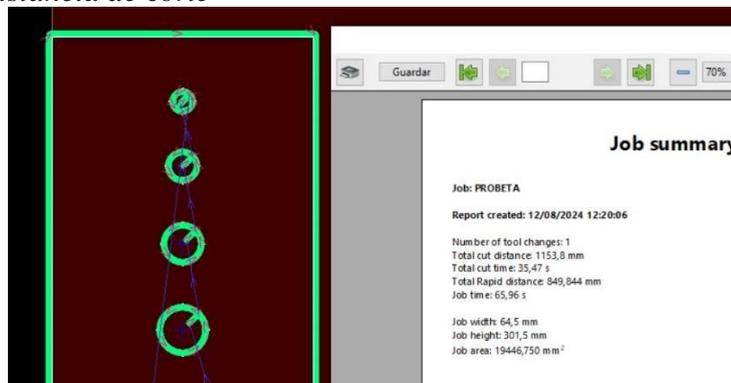


Figura 19

Datos, tiempo y distancia de corte





3.5 Identificación de las probetas

Para la identificación de las probetas se realizó el diseño de un membrete como se muestra en la figura 20, con esta identificación permitirá identificarlas y señalar los parámetros más importantes de entra que fueron utilizados para las pruebas de corte, siendo estos la velocidad de avance, amperaje y boquilla, esta identificación se colocara en la parte inferior de la probeta e indicara la dirección de corte del inicio y el final de la corte mostrada en la figura 21.

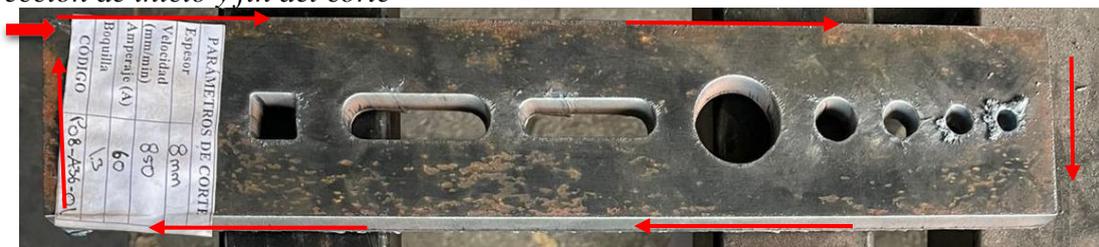
Figura 20

Identificación de la probeta

PARÁMETROS DE CORTE	
Espesor	8mm
Velocidad (mm/min)	850
Amperaje (A)	60
Boquilla	1.3
CÓDIGO	P08-A36-01

Figura 21

Dirección de inicio y fin del corte



En la figura 19, también nos indicara el código de identificación que tendrá cada una de las probetas que se realizó en los materiales de ASTM S34 e AISI 304, y los distintos espesores ya citados para cada material, el código que llevara cada una de las probetas será de la siguiente manera:



P04-A36-01

Donde:

- Corte Plasma y espesor respectivamente: P04
- Tipo de material: A36/ INOX = AISI 304
- Número de probeta: 01

3.6 Instrumentos de medición

Para este punto se utilizaron instrumentos de medición tanto milimétricos y de ángulos que nos ayudaron con la obtención de todos los datos que sirvieron para el registro y análisis de cada una de las probetas. La normativa AWS C4.6M 2006 nos indicó los instrumentos de medición que se requirieron para el estudio y los valores de tolerancia que están permitidos como se muestra en la tabla 8

Tabla 8

Instrumentos de medición

Símbolo	Incertidumbre máxima	Instrumentos de medición de media precisión Ejemplos
<i>u</i>	0,1 mm	Escuadra de perpendicularidad (escuadra de taller de calidad 1 ó 2) para cortes biselados, falsa escuadra o escuadra regulable para ajustar el ángulo nominal del bisel o el ángulo de corte, para este fin se requiere sonda de profundidad, varillas calibradas y galga espaciadora

Tomado de: [35]

Cuando se elijan los instrumentos de medición, es necesario tener en cuenta que los límites de error no superen el 20% del valor de los datos característicos a medir [3]. Para la toma de medidas externas de acuerdo con la tabla 3.4 se utilizaron una regla de ángulos o escuadra



falsa(goniómetro), en este caso digital para ser más preciso en las medidas como se muestra en la figura 22.

Figura 22
Goniómetro digital



De igual manera para la toma de medidas interiores se utilizaron micrómetros de interiores mostrados en la figura 23.

Figura 23
Micrómetro de interiores



3.7 Condiciones de medición

Las mediciones debieron ser realizadas en superficies cepilladas, exentas de óxidos de corte y de imperfecciones. Se pudo tomar, como elemento de referencia, los lados más alto y bajo de la pieza obtenida por corte térmico. Estos debieron estar igualmente lisos y limpios. Para definir la rectitud, el elemento de referencia y las líneas de medida rectas debieron estar alineadas la una a la otra, de tal modo que la máxima distancia entre las líneas de medición rectas y la



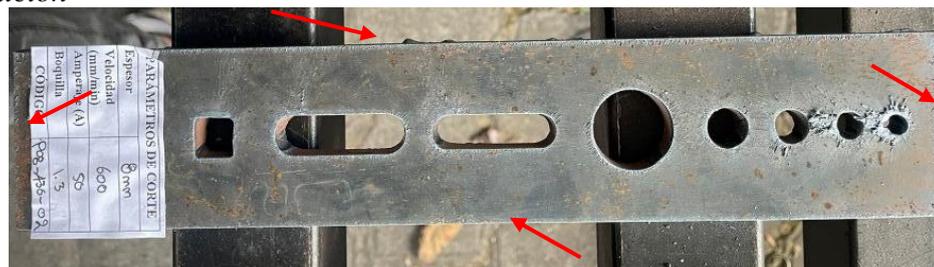
superficie real fuera mínima. La condición mínima se explicó detalladamente en la de la Norma AWS C4.6M 2006[35].

3.7.1 Tolerancia de perpendicularidad, ángulo de corte negativo o positivo

Según la norma AWS C4.6M-2006, el número y la ubicación de las zonas de medición dependen de la forma y medida de la pieza, por lo que las zonas o superficies de corte se clasifican según el lugar donde se esperan los valores máximos. Además, el ángulo dentro de la perpendicularidad debe ser de 90 grados. Para confirmar que la perpendicularidad se ajusta a la norma, se examinó toda la zona de corte de las probetas, que se muestra en la figura 24. Es importante destacar que cada área a medir tiene un nombre específico (u1, u2, u3, u4).

Figura 24

Zonas de medición

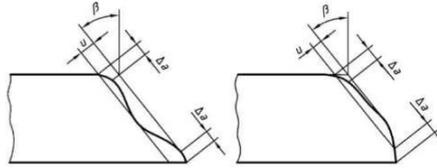


Esto para ambas caras de la probeta tanto superior e inferior.

Se requirió una distancia adecuada de la antorcha a la pieza de trabajo para producir un ángulo de biselado mínimo, ya que, en el plasma convencional, un corte de calidad tiene un ángulo de bisel entre 4° y 8°, como se muestra en la figura 25, indicado por la norma AWS C4.6M 2006.



Figura 25
Corte de bisel



Tomado de: [35]

Otros aspectos para la tolerancia de perpendicularidad se encuentran como:

Ángulo de corte es negativo.

La dimensión superior de la pieza es ligeramente mayor que la dimensión inferior,

como se muestra en la figura 26, y esto se debe a los siguientes factores:

- La distancia de la antorcha es demasiado corta.
- Baja velocidad de corte
- Antorcha que no está bien alineada.
- Consumibles que se han desgastado o han sufrido daños.
- Material que está doblado o combado.

Figura 26
Ángulo negativo



Ángulo de corte es positivo. La dimensión superior de la pieza es ligeramente menor

que la dimensión inferior, como se muestra en la figura 27, lo que da como resultado

este defecto:

- La pieza es demasiado alta para que la antorcha se separe.



- Alta velocidad de corte
- Antorcha que no está bien alineada.
- Consumibles que se han desgastado o han sufrido daños.
- Amperaje bajo o alto (Consulte la hoja de datos de proceso para los niveles de corriente recomendados y sus correspondientes consumibles).
- Material que está doblado o compuesto.

Figura 27

Corte positivo



3.7.2 Causa de Escoria

La escoria es subproducto desagradable que se acumula en la parte inferior de la pieza durante el corte por plasma, especialmente en situaciones en las que la técnica y los parámetros de operación no son adecuados. Aunque la escoria siempre se produce, es posible reducirla con habilidad. El amperaje y la velocidad de la antorcha son los principales factores que influyen en su formación. Hay una relación inversa entre ambos, por lo que se recomienda usar solo el amperaje necesario y reducir la velocidad. Es más difícil evitarlo en materiales calientes porque los cortes repetidos producen más escoria a medida que la pieza se calienta, puede acumularse escoria en los siguientes casos:

Escoria a alta velocidad.

Por lo general, se forma un pequeño cordón lineal de material fundido que se adhiere y endurece a lo largo del borde inferior del corte. Es muy fuerte y difícil de quitar, y

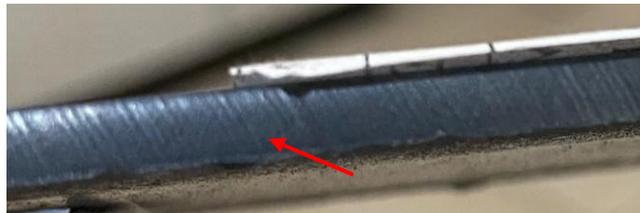


generalmente requiere esmerilado en lugar de simple raspado. Como se puede ver la figura 28 se muestran con líneas de corte en forma de S curvas. Las causas son:

- Velocidad de corte alta
- Amperaje alto.
- Consumibles desgastados o dañados.
- Presión de gas inadecuado.

Figura 28

Corte por alta velocidad



Escoria por baja velocidad

A lo largo del borde inferior del corte, se adhiere y endurece una acumulación globosa o globular de material fundido. La escoria puede ser suave o pesada, pero no se pega mucho al borde y se elimina fácilmente. Hay líneas de corte verticales. Se presenta principalmente a través de una velocidad de corte baja. Como se muestra en la figura 29.

Al cortar acero de alta aleación con plasma, puede ser beneficioso reducir la velocidad de corte para producir escoria de baja velocidad, ya que cualquier limpieza que resulte se puede lograr raspando en lugar de esmerilar.

**Figura 29***Corte por baja velocidad***Escoria en la parte superior**

Se presenta en la parte superior de la pieza y se presenta como salpicaduras, como se muestra en la figura 30. Por lo general, no es de gran importancia y se produce más frecuentemente en plasma de aire comprimido y generalmente se elimina fácilmente. Es debido a una velocidad de corte alta y una distancia de separación de la antorcha demasiado alta.

Figura 30*Escoria superior***3.7.3 Aparición de asperezas en la superficie**

De acuerdo con el tipo de material que se corta, es probable que se observe la aspereza, que describe la textura de la cara del corte que produce un corte no liso. Como se ve en la figura 32.

Aspereza causada por el proceso

La superficie del corte es uniformemente áspera. Son causados por una mezcla incorrecta de gases de protección.



Consumibles que se han desgastado y han sufrido daños como se muestra en la figura

31.

Figura 31

Boquilla desgastada

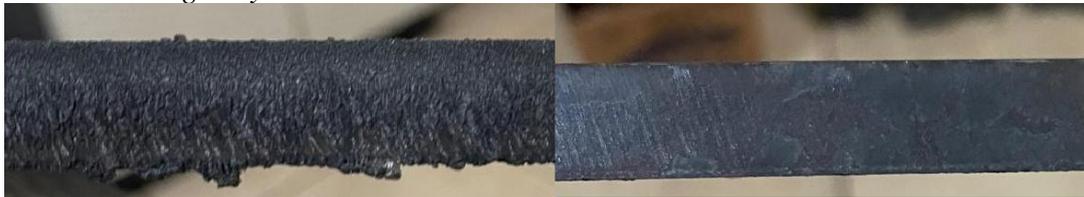


Aspereza causada por la máquina

La aspereza causada por el proceso puede ser difícil de diferenciar. La intensidad no es uniforme. Es el resultado de los rodamientos, los rodillos, las cremalleras y el engranaje de salida de avance sucios, como se ve en la figura 3.21.

Figura 32

Aspereza de corte rugoso y liso



El color

Es el resultado de una reacción química entre un metal y el gas plasma que se usa para cortarlo; los cambios de color son predecibles, y los de acero inoxidable son los más notables como se muestra en la figura 33.

Figura 33

Color de la superficie





CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Análisis y discusión de los resultados del acero ASTM A36

Para este punto ya se culminado con los ensayos en las probetas y se a realizado la toma de datos y los cuales fueron sometidos a la regulación establecida por la normativa mostrada en los siguientes puntos.

4.1.1 Datos obtenidos por el corte

Tras la implementación de los parámetros mencionados en el capítulo III de la metodología, en la sección de diseño del experimento de corte por plasma, se realizaron diversas modificaciones para optimizar la calidad de cada corte, incluyendo aspectos como la velocidad de avance, amperaje, calibre de la boquilla, tiempo de perforación, presión del aire y voltaje. De estos factores, los más relevantes para la anotación de datos fueron la velocidad de avance, el amperaje y la boquilla, tal como se ilustra en la figura 19 la identificación de las probetas citado en el capítulo anterior. Estos parámetros se utilizarán para registrar en cuadros la calidad de la superficie conforme a la normativa AWS C4.6M:2006. La cual detalla que para materiales cortados térmicamente se evalúa la tolerancia de perpendicularidad o angularidad, inspección visual, escoria resultante y definición del corte, lo que se califica más al momento de terminar un corte de este tipo.

Tolerancia de perpendicularidad o angularidad (u)

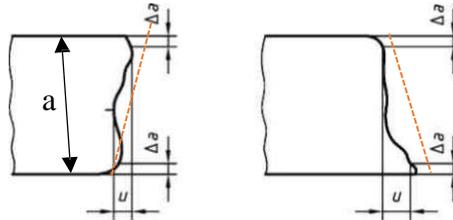
Se refiere a la separación entre dos líneas paralelas que marcan el límite de la zona de corte, tal como se muestra en la figura 34 con líneas entrecortadas, evidenciando también un ángulo negativo y ángulo positivo, en el presente estudio se realizó cortes verticales, por lo que el ángulo establecido por la normativa es de 90° . Es importante



señalar que las probetas examinadas no mostraron fusión de borde, por lo que no se tomó en cuenta la disminución de espesor (Δa), tal como se muestra en la misma figura 34.

Figura 34

Tolerancia de perpendicularidad en cortes verticales (a =espesor, (Δa) reducción del espesor)



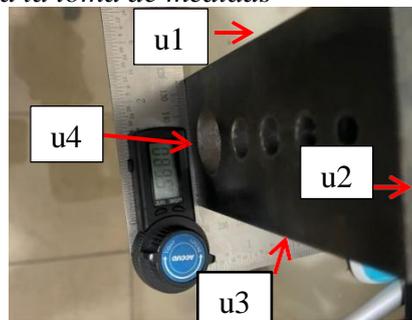
Obtenido de[35].

Mediante el empleo del goniómetro y los micrómetros de interiores se determina la tolerancia a la perpendicularidad, tomando de las medidas resultantes de la cara superior y la cara inferior y de medidas externas e internadas de cada una de las probetas cortadas.

La figura 35 se muestra la posición del goniómetro en la que se tomaron mediciones para las medidas exteriores, para (u_1, u_2, u_3, u_4). Esto nos proporciona el ángulo en grados del corte efectuado en relación con la horizontal, y luego se llevó a cabo la conversión que nos indica la norma para determinar la tolerancia de perpendicularidad.

Figura 35

Utilización de goniómetro para la toma de medidas





En la figura 36 se muestra cómo se utilizó los micrómetros, para la obtención de los datos internos de cada una de las probetas, tomando las medidas de la parte superior y posterior de las probetas para poder obtener la tolerancia de perpendicularidad.

Figura 36

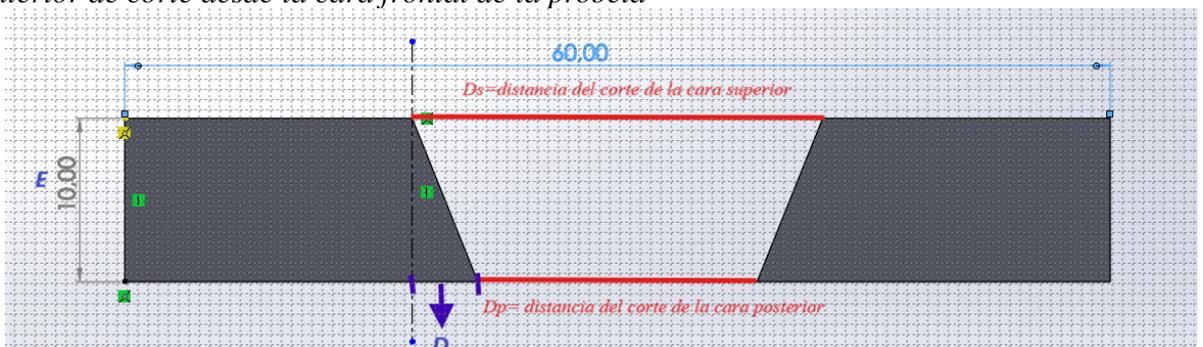
Utilización micrómetro para la obtención de medidas de perforaciones



En la figura 37 se muestra una vista interior del corte desde la cara frontal de la probeta, con la que se puede visualizar el ángulo que se va a obtener con la siguiente ecuación 1 y 2.

Figura 37

Vista interior de corte desde la cara frontal de la probeta

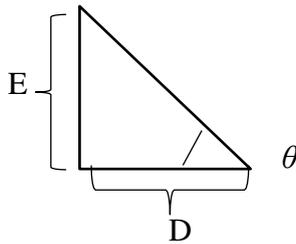




Donde:

$$D = \frac{D_s - D_p}{2} \tag{1}$$

$$\theta = \arctan \frac{E}{D} \tag{2}$$



E= espesor de la probeta

D_s=distancia del corte de la cara superior

D_p= distancia del corte de la cara posterior

D= distancia resultante de diferencia del corte de la cara superior e inferior

θ= ángulo del corte

Los valores obtenidos de los ángulos con respecto a la horizontal, de las medidas exteriores e interiores, si hay valores negativos esto indica que este ángulo es negativo, como se muestra en las tablas 9 y 10 en los espesores ya citados en el capítulo III.

Tabla 9

Valores de ángulos respecto a 90° de corte en las probetas ensayadas de acero ASTM A36

Probeta	Ángulo respecto a los 90° en la superficie del corte							
	u1		u2		u3		u4	
Espesor	Cara Superior	Cara Inferior	Cara Superior	Cara Inferior	Cara Superior	Cara Inferior	Cara Superior	Cara Inferior
3 mm								
1	3.5	2.5	4,7	2.5	10.5	0.1	11	1.6
2	2.3	0.3	1.1	0.1	2.8	2.8	nulo	nulo
3	0.6	3.8	3.6	0.7	9.5	2.5	16.33	8.8
4	1.4	2.1	1.2	1.3	10.3	1.3	10.6	2.3
5	1.1	2.5	2.3	1.2	5.4	1.1	3.8	2.5



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



4 mm								
1	4,4	4,7	0,8	0,2	10,3	4	6,9	3,1
2	2,2	1,6	1,4	3,8	5,1	0,3	5,2	0,5
3	2,9	0,1	5,9	0,2	5,2	4,7	1,5	1,1
4	0,7	0,1	2,8	0,8	2	3,1	0,7	0,5
5	6,2	2,8	0,7	0	3,3	1,5	0,6	1,5
6 mm								
1	0,6	0,4	1,8	1,1	1,2	2,8	0,7	1,5
2	3,5	1,7	1,8	1,8	4,8	2,6	2,8	0,5
3	nulo	nulo	5,9	7,7	7,8	6,3	nulo	nulo
4	0,4	0,3	1,9	0,9	0,9	1,2	3,3	1,8
5	0,1	0,1	1,3	0,2	1,7	1,3	1,7	0,9
8 mm								
1	3,1	2,4	2,1	1,4	5,1	4,7	3,5	0,1
2	1,4	0,2	1,2	0,3	0,2	0	2,5	1,7
3	1,2	0,5	3,5	3,5	2,9	2,5	2,8	3,2
4	2,8	3,3	0,7	1,4	1,5	1,2	4,4	0,9
5	3,8	3,4	0,7	0,8	2,9	3,5	1,7	1,1
10 mm								
1	3,5	2,7	0,3	1,5	2,5	1,7	1,4	2,9
2	0	0	2	2,1	2,8	2,1	1,4	1,7
3	2,7	2,2	0,8	0,6	2,6	2,1	2,3	0,2
4	No pasa el plasma							
5	1,2	1,6	0,4	1,7	0,6	2,5	1,4	0,6
12 mm								
1	2,1	1,4	1,9	0,7	2,3	1,4	0,8	1,4
2	1,4	0,4	0,1	1,1	0,3	2,2	0,1	1,4
3	2	1,8	0,3	0,1	2,2	0,5	2,1	1,2
4	0,7	0,1	2,8	2,8	0,5	0,7	1,1	1,7
5	3,8	3	0,2	0	1,3	0,4	3,2	2,1

Datos obtenidos de las mediciones de perforaciones para transformarlos a mm para posteriormente se calificaron según la normativa.

Tabla 10

Valores de los ángulos de perforaciones de las probetas ensayadas de acero ASTM A36

Ángulos de figuras internas con respecto a los 90°					
3mm					
Probeta	1	2	3	4	5
circulo 1	2,86	7,595	10,389	14,036	13,134
circulo 2	11,585	7,219	3,148	0	4,953
circulo 3	8,063	5,143	11,768	6,56	7,688
circulo 4	7,97	11,86	8,437	12,68	13,946



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



circulo 5	5,332	1,05	1,146	3,814	1,432
ranura 1	2,958	0,191	5,711	2,195	3,909
ranura 2	0,859	1,146	3,338	10,666	11,86
cuadrado	5,048	0,191	5,332	0	2,958
4mm					
circulo 1	8,321	5,852	10,758	7,125	11,379
circulo 2	2,291	1,074	4,432	3,576	1,933
circulo 3	8,531	8,601	7,477	5,285	7,477
circulo 4	1,003	5,356	5,923	3,79	5,214
circulo 5	4,503	4,432	4,075	1,361	3,933
ranura 1	1,718	2,648	3,576	-1,217	-5,569
ranura 2	1,504	0	1,432	-1,146	0,716
cuadrado	0,859	0	3,077	1,074	1,575
6mm					
circulo 1	5,758	4,574	5,947	6,843	5,521
circulo 2	7,548	8,811	8,437	8,391	10,666
circulo 3	7,595	7,548	8,11	6,23	7,876
circulo 4	6,466	8,781	8,25	4,004	6,749
circulo 5	2,624	4,716	Corte nulo	1,05	3,719
ranura 1	-3,338	3,053	Corte nulo	0,716	1,098
ranura 2	0,955	2,052	Corte nulo	0,621	1,05
cuadrado	2,624	3,957	Corte nulo	1,671	2,815
8mm					
circulo 1	6,136	6,207	6,631	6,065	5,923
circulo 2	8,005	8,391	8,916	9,613	7,829
circulo 3	7,16	6,631	5,604	8,461	7,934
circulo 4	6,03	5,001	5,711	8,005	4,396
circulo 5	2,862	2,791	2,541	5,143	1,611
ranura 1	1,861	1,539	2,183	1,683	-0,179
ranura 2	1,647	0,036	2,183	0,215	1,074
cuadrado	3,362	2,219	2,97	2,862	0,859
10mm					
circulo 1	4,944	5,994	4,318	4,403	5,966
circulo 2	6,532	5,625	5,881	7,125	6,504
circulo 3	5,739	4,83	7,548	9,286	6,306
circulo 4	1,861	1,604	5,058	10,148	4,688
circulo 5	2,462	1,06	1,432	Corte nulo	2,405
ranura 1	1,718	-0,945	1,604	Corte nulo	1,146
ranura 2	1,604	-0,401	1,547	1,575	0,716
cuadrado	2,634	2,233	3,69	4,915	2,977



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



Tabla 11

Valores de los ángulos de perforaciones de las probetas ensayadas de acero ASTM A36

12mm					
circulo 1	6,277	5,994	5,64	4,289	5,663
circulo 2	7,102	7,876	7,336	8,133	7,054
circulo 3	5,214	6,843	9,044	6,937	5,521
circulo 4	4,621	6,607	8,04	1,957	6,537
circulo 5	4,408	5,261	5,923	3,505	4,953
ranura 1	0,692	0,692	2,028	0,334	0,859
ranura 2	0,883	1,074	1,957	-0,382	1,528
cuadrado	4,218	3,814	4,194	2,291	4,598

Con todos estos datos se realizó una conversión a mm ya que la normativa nos muestra los rangos en los que se deberá evaluar los datos, la tabla 11 y 12 se indica estos valores ya transformados a mm para la evaluación de tolerancia de perpendicularidad en función a la normativa AWS C4.6M 2006.

Tabla 12

Tolerancia de perpendicularidad [mm] en las probetas de acero ASTM A36

Probeta	Tolerancia de perpendicularidad [mm]							
	u1		u2		u3		u4	
Espesor	Cara Superior	Cara Inferior	Cara Superior	Cara Inferior	Cara Superior	Cara Inferior	Cara Superior	Cara Inferior
3 mm								
1	0,183	0,131	0,247	0,131	0,556	0,005	0,583	0,084
2	0,12	0,002	0,058	0,005	0,147	0,147	nulo	nulo
3	0,031	0,199	0,189	0,374	0,502	0,131	0,879	0,464
4	0,073	0,11	0,063	0,068	0,545	0,068	0,561	0,12
5	0,058	0,131	0,12	0,063	0,284	0,058	0,199	0,131
4 mm								
1	0,308	0,329	0,056	0,014	0,727	0,28	0,484	0,217
2	0,154	0,112	0,098	0,266	0,357	0,021	0,364	0,035
3	0,203	0,007	0,413	0,014	0,364	0,329	0,105	0,077
4	0,049	0,007	0,196	0,056	0,14	0,217	0,049	0,035
5	0,435	0,196	0,049	0	0,231	0,105	0,042	0,105
6 mm								
1	0,063	0,042	0,189	0,115	0,126	0,293	0,073	0,157
2	0,367	0,178	0,189	0,189	0,504	0,272	0,293	0,052
3	nulo	nulo	0,62	0,811	0,822	0,662	nulo	nulo
4	0,042	0,031	0,199	0,094	0,094	0,126	0,346	0,189
5	0,01	0,01	0,136	0,021	0,178	0,136	0,178	0,094



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



8 mm								
1	0,433	0,335	0,293	0,196	0,714	0,658	0,489	0,014
2	0,196	0,028	0,168	0,042	0,028	0	0,349	0,237
3	0,168	0,07	0,489	0,489	0,405	0,349	0,391	0,447
4	0,391	0,461	0,098	0,196	0,209	0,168	0,616	0,126
5	0,531	0,475	0,098	0,112	0,405	0,489	0,237	0,154
10 mm								
1	0,612	0,472	0,052	0,262	0,437	0,297	0,244	0,507
2	0	0	0,349	0,367	0,489	0,367	0,244	0,297
3	0,472	0,384	0,14	0,105	0,454	0,367	0,402	0,035
4	El plasma no pasa							
5	0,209	0,279	0,07	0,297	0,105	0,437	0,244	0,105
12 mm								
1	0,44	0,293	0,398	0,147	0,482	0,293	0,168	0,293
2	0,293	0,084	0,021	0,23	0,063	0,461	0,021	0,293
3	0,419	0,377	0,063	0,021	0,461	0,105	0,44	0,251
4	0,147	0,021	0,587	0,587	0,105	0,147	0,23	0,356
5	0,797	0,629	0,042	0	0,272	0,084	0,671	0,44

Tabla 13

Tolerancia de perpendicularidad [mm] de perforaciones de las probetas

3mm	Tolerancia de perpendicularidad [mm]				
	1	2	3	4	5
Probeta					
circulo 1	1,50	0,4	0,55	0,75	0,7
circulo 2	0,615	0,38	0,165	0	0,26
circulo 3	0,425	0,27	0,625	0,345	0,405
circulo 4	0,42	0,63	0,445	0,675	0,745
circulo 5	0,28	0,055	0,06	0,2	0,075
ranura 1	0,155	0,01	0,3	0,115	0,205
ranura 2	0,045	0,06	0,175	0,565	0,63
cuadrado	0,265	0,01	0,28	0	0,155
4mm					
circulo 1	0,585	0,41	0,76	0,5	0,805
circulo 2	0,16	0,075	0,31	0,25	0,135
circulo 3	0,6	0,605	0,525	0,37	0,525
circulo 4	0,07	0,375	0,415	0,265	0,365
circulo 5	0,315	0,31	0,285	0,095	0,275
ranura 1	0,12	0,185	0,25	-0,085	-0,39
ranura 2	0,105	0	0,1	-0,08	0,05
cuadrado	0,06	0	0,215	0,075	0,11



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



Tabla 14

Tolerancia de perpendicularidad [mm] de perforaciones de las probetas

6mm					
circulo 1	0,605	0,48	0,625	0,72	0,58
circulo 2	0,795	0,93	0,89	0,885	1,13
circulo 3	0,8	0,795	0,855	0,655	0,83
circulo 4	0,68	0,925	0,87	0,42	0,71
circulo 5	0,275	0,495	Corte nulo	0,11	0,39
ranura 1	-0,35	0,32	Corte nulo	0,075	0,115
ranura 2	0,1	0,215	Corte nulo	0,065	0,11
cuadrado	0,275	0,415	Corte nulo	0,175	0,295
8mm					
circulo 1	0,86	0,87	0,93	0,85	0,83
circulo 2	1,125	1,18	1,255	1,355	1,1
circulo 3	1,005	0,93	0,785	1,19	1,115
circulo 4	0,845	0,7	0,8	1,125	0,615
circulo 5	0,4	0,39	0,355	0,72	0,225
ranura 1	0,26	0,215	0,305	0,235	-0,025
ranura 2	0,23	0,005	0,305	0,03	0,15
cuadrado	0,47	0,31	0,415	0,4	0,12
10mm					
circulo 1	0,865	1,05	0,755	0,77	1,045
circulo 2	1,145	0,985	1,03	1,25	1,14
circulo 3	1,005	0,845	1,325	1,635	1,105
circulo 4	0,325	0,28	0,885	1,79	0,82
circulo 5	0,43	0,185	0,25	Corte nulo	0,42
ranura 1	0,3	-0,165	0,28	Corte nulo	0,2
ranura 2	0,28	-0,07	0,27	0,275	0,125
cuadrado	0,46	0,39	0,645	0,86	0,52
12mm					
circulo 1	1,32	1,26	1,185	0,9	1,19
circulo 2	1,495	1,66	1,545	1,715	1,485
circulo 3	1,095	1,44	1,91	1,46	1,16
circulo 4	0,97	1,39	1,695	0,41	1,375
circulo 5	0,925	1,105	1,245	0,735	1,04
ranura 1	0,145	0,145	0,425	0,07	0,18
ranura 2	0,185	0,225	0,41	-0,08	0,32
cuadrado	0,885	0,8	0,88	0,48	0,965



4.1.2 Discusión de resultados medidas externas

Se analizaron los datos que se obtuvo de las probetas ensayadas y documentadas en tablas para facilitar el proceso de transformación y comprobación de la norma.

Tolerancia a la perpendicularidad o angularidad (u) medidas externas

La norma AWS C4.6M:2006 dicta que los rangos de tolerancia de perpendicularidad o angularidad (u), se determinan en base al espesor del material, donde "a" representa el valor del espesor requerido para el corte, tal como se ilustra en la tabla 13.

Tabla 15

Tolerancia a la perpendicularidad o angularidad (u)

Rango	Tolerancia a la perpendicularidad o angularidad "u" (mm)
1	0,05 +0,003a
2	0,15+0,007a
3	0,4+0,01a
4	0,8+0,02a
5	1,2+0,035a

Tomada de:[35]

Para identificar todos los cortes con un rango de menor índice de tolerancia y que cumplan con los parámetros de corte definidos por la norma AWS C4.6M 2006, se elaboró una tabla de colores tal como se presenta en la tabla 14, lo que simplificó la identificación de los resultados con una calidad de corte adecuada, especificada por los rangos.

Tabla 16

Colores de tolerancia a la perpendicularidad

Rango	Color
1	
2	
3	
4	
5	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



Para poder establecer los rangos de corte en los espesores que se designaron, se evaluó cada valor en función de la tabla 14, la cual nos permitió identificar el límite del rango respecto a cada espesor, como se muestra en la tabla 15.

Tabla 17
Rango de tolerancia de perpendicularidad para acero ASTM A36

Rango	Espesor					
	3	4	6	8	10	12
	Tolerancia de perpendicularidad o angularidad "u" mm					
1	0,059	0,062	0,068	0,074	0,08	0,086
2	0,171	0,178	0,192	0,206	0,22	0,234
3	0,43	0,44	0,46	0,48	0,5	0,52
4	0,86	0,88	0,92	0,96	1	1,04
5	1,305	1,34	1,41	1,48	1,55	1,62

Tras establecer los límites de cada rango, se realizó la categorización de cada resultado vinculado a la tolerancia de perpendicularidad en las muestras de acero ASTM A36, de acuerdo con la tabla 15, que presenta un patrón de color para cada rango, hay que resaltar que las celdas marcadas como (nulo o corte nulo) indica que los parameros de entradas no son correctos y la probeta ensayada no fue mecanizada ya que tuvo errores en el momento del corte y no se tiene una designación con un valor. Por lo tanto, los logros alcanzados se presentan en la tabla 16.

Tabla 18
Clasificación de tolerancia a la perpendicularidad o angularidad acero ASTM A36

Probeta	Tolerancia de perpendicularidad [mm]							
	u1		u2		u3		u4	
Espesor	Cara	Cara	Cara	Cara	Cara	Cara	Cara	Cara
3 mm	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
1	0,183	0,131	0,247	0,131	0,556	0,005	0,583	0,084
2	0,12	0,002	0,058	0,005	0,147	0,147	nulo	nulo
3	0,031	0,199	0,189	0,374	0,502	0,131	0,879	0,464
4	0,073	0,11	0,063	0,068	0,545	0,068	0,561	0,12
5	0,058	0,131	0,12	0,063	0,284	0,058	0,199	0,131



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



Tabla 19

Clasificación de tolerancia a la perpendicularidad o angularidad acero ASTM A36

4 mm								
1	0,308	0,329	0,056	0,014	0,727	0,28	0,484	0,217
2	0,154	0,112	0,098	0,266	0,357	0,021	0,364	0,035
3	0,203	0,007	0,413	0,014	0,364	0,329	0,105	0,077
4	0,049	0,007	0,196	0,056	0,14	0,217	0,049	0,035
5	0,435	0,196	0,049	0	0,231	0,105	0,042	0,105
6 mm								
1	0,063	0,042	0,189	0,115	0,126	0,293	0,073	0,157
2	0,367	0,178	0,189	0,189	0,504	0,272	0,293	0,052
3	nulo	nulo	0,62	0,811	0,822	0,662	nulo	nulo
4	0,042	0,031	0,199	0,094	0,094	0,126	0,346	0,189
5	0,01	0,01	0,136	0,021	0,178	0,136	0,178	0,094
8 mm								
1	0,433	0,335	0,293	0,196	0,714	0,658	0,489	0,014
2	0,196	0,028	0,168	0,042	0,028	0	0,349	0,237
3	0,168	0,07	0,489	0,489	0,405	0,349	0,391	0,447
4	0,391	0,461	0,098	0,196	0,209	0,168	0,616	0,126
5	0,531	0,475	0,098	0,112	0,405	0,489	0,237	0,154
10 mm								
1	0,612	0,472	0,052	0,262	0,437	0,297	0,244	0,507
2	0	0	0,349	0,367	0,489	0,367	0,244	0,297
3	0,472	0,384	0,14	0,105	0,454	0,367	0,402	0,035
4	El plasma no pasa							
5	0,209	0,279	0,07	0,297	0,105	0,437	0,244	0,105
12 mm								
1	0,44	0,293	0,398	0,147	0,482	0,293	0,168	0,293
2	0,293	0,084	0,021	0,23	0,063	0,461	0,021	0,293
3	0,419	0,377	0,063	0,021	0,461	0,105	0,44	0,251
4	0,147	0,021	0,587	0,587	0,105	0,147	0,23	0,356
5	0,797	0,629	0,042	0	0,272	0,084	0,671	0,44



4.1.3 Interpretación gráfica de los resultados de tolerancia de perpendicularidad de medidas externas acero ASTM A36

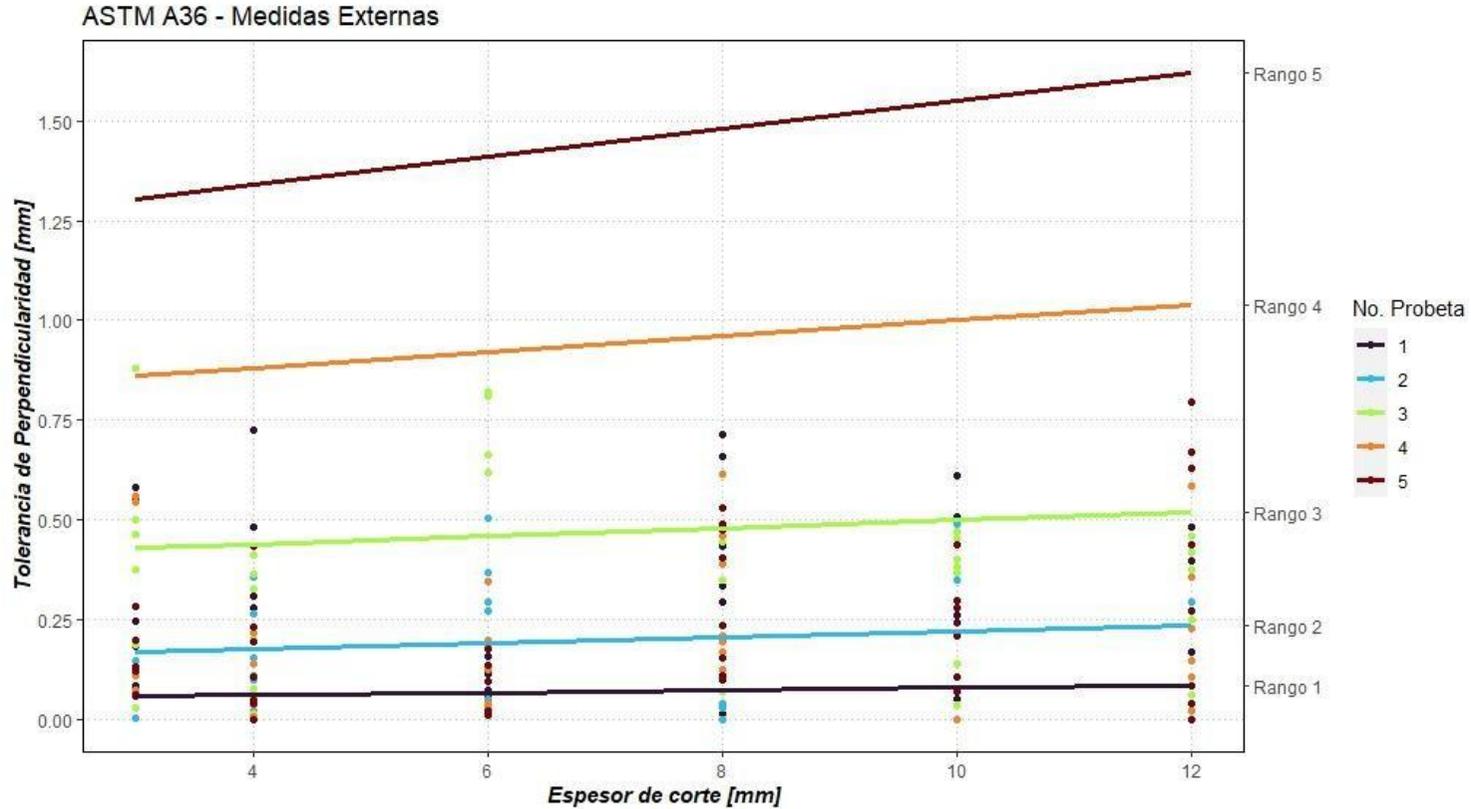
Después de haber mencionado a través de tablas los valores de perpendicularidad para cada probeta, la normativa AWS C4.6M:2006 define un solo gráfico, en el que cada rango de aceptación se representa de manera única, está delimitado por líneas delimitadoras, para examinar las áreas donde se sitúa cada uno valor conseguido, como se puede observar en la figura 38:

La siguiente gráfica se establece conforme a la normativa, ya que se basa en los datos obtenidos tras los ensayos realizados. Estos valores se representaron en la gráfica con el propósito de proporcionar una referencia más clara sobre cómo las medidas se ajustan a los límites establecidos por la norma. En este caso, correspondiente a las medidas externas del acero ASTM A36, se puede observar que el corte por plasma en este material es altamente adecuado para su mecanizado, dado que la mayoría de las mediciones se encuentran dentro de los rangos 1 a 3. Esto indica que los resultados son muy satisfactorios, con excepción de algunas mediciones que se sitúan en el último rango permitido por la norma para un corte de calidad. Aunque estas mediciones aún cumplen con los parámetros establecidos, existe la posibilidad de optimización ajustando los parámetros de entrada al inicio del mecanizado de la pieza o probeta a cortar.



Figura 38

Tolerancia de perpendicularidad vs espesor del corte, acero ASTM A36 medidas externas





4.1.4 Discusión de resultados perforaciones acero ASTM A36

Para el caso de las medidas internas de la probeta se realizó el mismo proceso que se utilizó para la tabla 16 y dio como resultados los siguientes datos presentados en la tabla 17 con la tolerancia de perpendicular de perforaciones, también en esta tabla se indica varios valores que están sin color son los que no están en los rangos establecidos por la normativa, o que están marcados con (nulo o corte nulo) lo que indica que los parameros de entradas no son correctos y la probeta ensayada no fue mecanizada ya que tuvo errores en el momento del corte.

Tabla 20

Clasificación de tolerancia a la perpendicularidad de medidas de perforaciones acero ASTM A36

3mm	<i>Tolerancia de perpendicularidad [mm]</i>				
Probeta	1	2	3	4	5
circulo 1	1,5	0,4	0,55	0,75	0,7
circulo 2	0,615	0,38	0,165	0	0,26
circulo 3	0,425	0,27	0,625	0,345	0,405
circulo 4	0,42	0,63	0,445	0,675	0,745
circulo 5	0,28	0,055	0,06	0,2	0,075
ranura 1	0,155	0,01	0,3	0,115	0,205
ranura 2	0,045	0,06	0,175	0,565	0,63
cuadrado	0,265	0,01	0,28	0	0,155
4mm					
circulo 1	0,585	0,41	0,76	0,5	0,805
circulo 2	0,16	0,075	0,31	0,25	0,135
circulo 3	0,6	0,605	0,525	0,37	0,525
circulo 4	0,07	0,375	0,415	0,265	0,365
circulo 5	0,315	0,31	0,285	0,095	0,275
ranura 1	0,12	0,185	0,25	-0,085	-0,39
ranura 2	0,105	0	0,1	-0,08	0,05
cuadrado	0,06	0	0,215	0,075	0,11



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



Tabla 21

Clasificación de tolerancia a la perpendicularidad de medidas de perforaciones acero ASTM A36

6mm					
circulo 1	0,605	0,48	0,625	0,72	0,58
circulo 2	0,795	0,93	0,89	0,885	1,13
circulo 3	0,8	0,795	0,855	0,655	0,83
circulo 4	0,68	0,925	0,87	0,42	0,71
circulo 5	0,275	0,495	Corte nulo	0,11	0,39
ranura 1	-0,35	0,32	Corte nulo	0,075	0,115
ranura 2	0,1	0,215	Corte nulo	0,065	0,11
cuadrado	0,275	0,415	Corte nulo	0,175	0,295
8mm					
circulo 1	0,86	0,87	0,93	0,85	0,83
circulo 2	1,125	1,18	1,255	1,355	1,1
circulo 3	1,005	0,93	0,785	1,19	1,115
circulo 4	0,845	0,7	0,8	1,125	0,615
circulo 5	0,4	0,39	0,355	0,72	0,225
ranura 1	0,26	0,215	0,305	0,235	-0,025
ranura 2	0,23	0,005	0,305	0,03	0,15
cuadrado	0,47	0,31	0,415	0,4	0,12
10mm					
circulo 1	0,865	1,05	0,755	0,77	1,045
circulo 2	1,145	0,985	1,03	1,25	1,14
circulo 3	1,005	0,845	1,325	1,635	1,105
circulo 4	0,325	0,28	0,885	1,79	0,82
circulo 5	0,43	0,185	0,25	Corte nulo	0,42
ranura 1	0,3	-0,165	0,28	Corte nulo	0,2
ranura 2	0,28	-0,07	0,27	0,275	0,125
cuadrado	0,46	0,39	0,645	0,86	0,52
12mm					
circulo 1	1,32	1,26	1,185	0,9	1,19
circulo 2	1,495	1,66	1,545	1,715	1,485
circulo 3	1,095	1,44	1,91	1,46	1,16
circulo 4	0,97	1,39	1,695	0,41	1,375
circulo 5	0,925	1,105	1,245	0,735	1,04
ranura 1	0,145	0,145	0,425	0,07	0,18
ranura 2	0,185	0,225	0,41	-0,08	0,32
cuadrado	0,885	0,8	0,88	0,48	0,965



4.1.5 Interpretación gráfica de los resultados de tolerancia de perpendicularidad de perforaciones

Después de haber mencionado a través de tablas los valores de perpendicularidad para cada probeta, la normativa AWS C4.6M:2006 define un solo gráfico, en el que cada rango de aceptación se representa de manera única, está delimitado por líneas delimitadoras de cada rango establecido, para examinar las áreas donde se sitúa cada uno valor conseguido, en este caso como es para perforaciones internas de la probeta, como se puede observar en la figura 39.

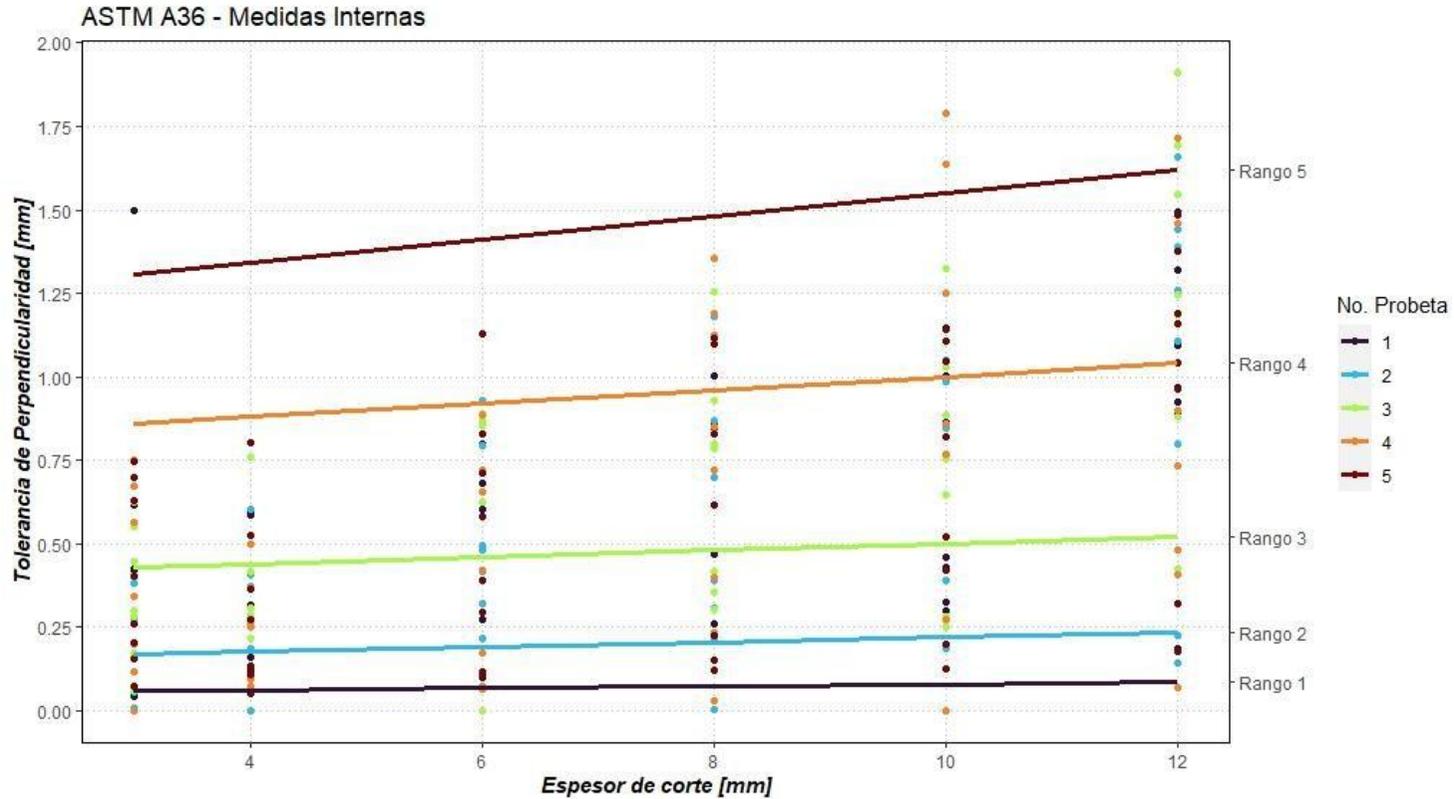
De manera similar al caso anterior en las medidas externas, se presenta una gráfica para la perforación, con resultados altamente fluctuantes, como se puede observar en la imagen. Las mediciones están dispersas en todos los rangos establecidos, lo que indica que los parámetros de entrada utilizados durante el mecanizado deben ser más precisos. La mayoría de las mediciones se encuentran dentro de los rangos 3 a 5, lo que significa que están en el límite de lo permitido por la norma. Esta situación sugiere que, si bien el proceso de perforación aún cumple con los requisitos establecidos, es necesario realizar ajustes en los parámetros de corte, como la velocidad, la presión del gas o la potencia del equipo, para mejorar la precisión y reducir la dispersión de los valores obtenidos.

Además, se identifican mediciones que exceden los rangos establecidos, lo que indica que algunas perforaciones no cumplen con los estándares de calidad exigidos. Estas probetas fueron descartadas en su totalidad durante la evaluación de los parámetros óptimos, ya que no garantizaban un desempeño adecuado en términos de perpendicularidad y dimensión de tolerancia.



Figura 39

Tolerancia de perpendicularidad vs corte del espesor, acero ASTM A36 medidas de perforaciones internas





4.2 Nivel de escoria acero ASTM A36

Se determinó el grado de escoria en las piezas cortadas mediante una inspección visual, centrada en identificar la cantidad de residuos o rebaba que se había adherido a la superficie de corte. En el estudio, se llevó a cabo esta inspección en la superficie inferior y superior de las probetas como se muestra en la figura 40, dado que es el espacio donde usualmente se acumula más escoria durante el procedimiento de corte, también se calificó si esta escoria resultante es adherente o frágil.

Figura 40

Zonas donde se realiza la inspección visual acero ASTM A36



En la figura 40 también se indican las áreas inspeccionadas con líneas rojas. Estas áreas, ubicadas en los bordes de las probetas, fueron seleccionadas por ser las más susceptibles a la adherencia de residuos, esto para la superficie inferior y en el caso de la superior el área de los cortes dentro de la probeta que son las zonas donde puede haber aparición de residuos, y el nivel de escoria se registró para cada probeta conforme a la escala de calificación siguiente.

Para llevar a cabo una categorización objetiva y coherente del nivel de escoria, se implementó un sistema de puntuación visual en una escala de 1 a 5, en la que:

1. Corte limpio, sin aparición de escoria perceptible.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



2. Escoria mínima, con minúsculas partículas enganchadas en los bordes, de fácil eliminación.
3. Existe una presencia moderada de escoria, con una acumulación significativa en los bordes, pero sin afectar la forma y dimensiones de la pieza.
4. Escoria significativa, con una acumulación densamente acumulada que modifica parcialmente la forma del corte.
5. Elevado nivel de escoria, con una acumulación amplia que impacta de manera considerable la calidad del borde, necesitando una eliminación adicional.

Los resultados que se obtuvo del nivel de escoria se muestran en la tabla 18 donde se detalla la calificación de cada probeta ensayada, y si la escoria es frágil o adherente.

Tabla 22
Nivel de escoria y tipo de escoria acero ASTM A36

		Espesor 3 mm							
Probetas	Superficie inferior					Tipo de escoria		Superficie Superior	
	Calificación					Adherente	Frágil		
	1	2	3	4	5				
1			x				x	2/frágil	
2				x			x	2/frágil	
3		x					x	2/frágil	
4					x		x	2/frágil	
5			x				x	2/frágil	
		Espesor 4 mm							
Probetas	Superficie inferior					Tipo de escoria		Superficie Superior	
	Calificación					Adherente	Frágil		
	1	2	3	4	5				
1				x			x	2/frágil	
2		x					x	2/frágil	
3					x		x	2/frágil	
4			x				x	2/frágil	
5					x		x	2/frágil	
		Espesor 6 mm							
Probetas	Superficie inferior					Tipo de escoria		Superficie Superior	
	Calificación					Adherente	Frágil		
	1	2	3	4	5				
1			x				x	2/frágil	
2					x		x	2/frágil	
3				x		x		3/adherente	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



4					x		x	2/frágil
5					x		x	1
Probetas	Espesor 8 mm							
	Superficie inferior					Tipo de escoria		Superficie Superior
	1	2	3	4	5	Adherente	Frágil	
1		x					x	2/frágil
2				x			x	2/frágil
3			x				x	4/frágil
4		x					x	4/frágil
5					x		x	5/frágil
Probetas	Espesor 10 mm							
	Superficie inferior					Tipo de escoria		Superficie Superior
	1	2	3	4	5	Adherente	Frágil	
1		x					x	2/frágil
2					x		x	3/frágil
3				x			x	3/frágil
4					x	x		3/adherente
5					x	x		3/frágil
Probetas	Espesor 12 mm							
	Superficie inferior					Tipo de escoria		Superficie Superior
	1	2	3	4	5	Adherente	Frágil	
1					x		x	5/frágil
2					x		x	5/frágil
3					x		x	5/frágil
4					x		x	5/frágil
5			x				x	5/frágil

4.3 Datos óptimos resultantes acero ASTM A36

Se establecieron los parámetros ideales para el corte en el acero ASTM A36, basándose en la información vinculada a la tolerancia de perpendicularidad o angularidad. Para ello, se otorgaron prioridad a los índices de menor valor y se tomaron en cuenta los límites de corte hasta el del rango 3, que en rango más algo que las probetas llegaron a tener, los cuales fueron reconocidos como óptimos para alcanzar una calidad superficial excelente. La tabla 19 se detallan los parámetros que demostraron un mejor grado de perpendicularidad en las probetas evaluadas, indicando los datos que se presentaron en la identificación de cada probeta indicada por la figura 19.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



Cabe recalcar que de las probetas estudiadas se descartó en su totalidad a las probetas que no tuvieron mediciones como se muestre en las tablas presentadas, con celdas de color blanco que están vacías sin ningún dato obtenido, las celdas marcadas de estos colores no están en los rangos establecidos por la normativa, de esta manera fueron descartadas en su totalidad.

Tabla 23

Parámetros óptimos para el corte según la tolerancia de perpendicularidad de medidas externas, acero ASTM A36

Probetas	Velocidad de avance	Amperaje (A)	Boquilla
Espesor 3 mm			
4	2000	50	1.3
5	1200	40	1.3
Espesor 4mm			
4	650	35	1.3
5	1200	45	1.3
Espesor 6mm			
1	600	55	1.3
5	900	45	1.3
Espesor 8mm			
2	600	50	1.3
3	435	50	1.3
Espesor 10			
1	600	60	1.3
5	420	60	1.3
Espesor 12mm			
1	280	60	1.3
5	600	60	1.3

De la misma forma presentada anteriormente se escogió las mejores probetas, con los mejores datos de las perforaciones internas de las probetas y descartando en su totalidad a las probetas que tuvieron medidas fuera de los rangos establecidos y se presenta la siguiente tabla 20, con los parámetros óptimos, que dieron mejores resultados en los ensayos realizados.



Tabla 24 *Parámetros óptimos para el corte según la tolerancia de perpendicularidad para medidas de perforación internas, acero ASTM A36*

Probetas	Velocidad de avance	Amperaje (A)	Boquilla
Espesor 3 mm			
1	1200	40	1.3
5	1200	40	1.3
Espesor 4mm			
1	800	40	1.3
2	2500	50	1.3
Espesor 6mm			
4	600	45	1.3
5	900	45	1.3
Espesor 8mm			
2	600	50	1.3
4	1000	60	1.3
Espesor 10			
2	420	55	1.3
3	800	60	1.3
Espesor 12mm			
1	280	60	1.3
2	335	60	1.3

Con las tablas presentadas ya se puede mencionar que son las que presentan los parámetros adecuados para los cortes, para las medidas externas que pueden servirnos para cortes de producción con periodos de cortes que requieran distancias amplias y las medidas de perforaciones que necesitan una mejor definición en el corte final para evitar reprocesos.

4.4 Análisis y discusión de los resultados del acero inoxidable AISI 304

Tras la implementación de los parámetros mencionados en el capítulo III de la metodología, en la sección de diseño del experimento de corte por plasma, se realizaron diversas modificaciones para optimizar la calidad de cada corte, incluyendo aspectos como la velocidad de avance, amperaje, calibre de la boquilla, tiempo de perforación, presión del aire y voltaje. De estos factores, los más relevantes para la anotación de datos fueron la velocidad de avance, el

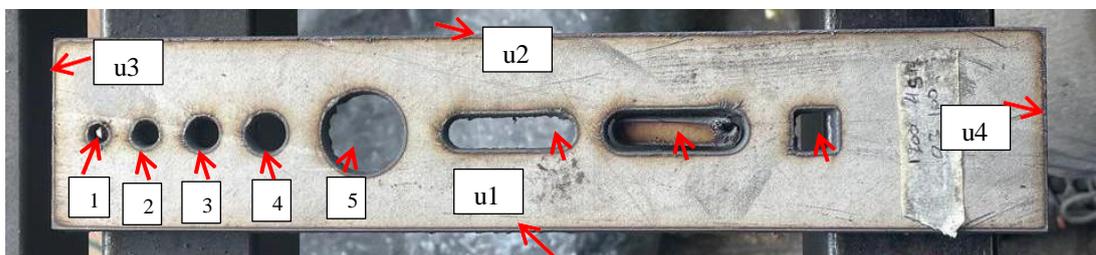


amperaje y la boquilla, tal como se ilustra en la figura 19 la identificación de las probetas citado en el capítulo anterior. Estos parámetros se utilizarán para registrar en cuadros la calidad de la superficie conforme a la normativa AWS C4.6M:2006. La cual detalla que para materiales cortados térmicamente se evalúa la tolerancia de perpendicularidad o angularidad, inspección visual, escoria resultante y definición del corte, lo que se califica más al momento de terminar un corte de este tipo.

4.4.1 Tolerancia de perpendicularidad o angularidad (u)

Para el registro de datos de este material es muy similar a la toma de datos del acero ASTM A36 el cual detalla las condiciones que se tomó para la recolección de medidas como se muestra en la figura 41, se destaca las superficies de corte empleadas para examinar la tolerancia de perpendicularidad. En este caso, "u" representa los puntos de muestreo para medir tal tolerancia, o sea, las mediciones efectuadas en la parte superior e inferior de cada extremo del corte. Por lo tanto, "u1" en el lado izquierdo, "u2" en el lado, "u3" derecho a la parte alta y "u4" se refiere a la parte baja de la etiqueta y con números se marca el número de perforaciones que se realizó en la probeta en las cuales se llevara a cabo el muestreo.

Figura 41
Zonas de medición de la probeta acero ASIS 304



En la tabla 21 y 22 se presenta los ángulos obtenidos de con respecto a los 90° en cada superficie, tanto como para la superficie superior e inferior de la misma manera que realizo para la toma de datos del acero AISI A36.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



Tabla 25

Valores de ángulos respecto a 90° de corte en las probetas ensayadas de acero AISI 304

Probeta	Ángulo respecto a los 90° en la superficie del corte							
	u1		u2		u3		u4	
Espesor	Cara	Cara	Cara	Cara	Cara	Cara	Cara	Cara
4 mm	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
1	6,6	4,8	11,4	10,4	13,5	11,8	10,7	9,4
2	8,1	4,9	nulo	nulo	nulo	nulo	5,6	3,7
3	0,7	0,3	3,9	0,2	3,9	2,6	4,2	3,1
4	8,2	9,6	4,6	5,1	5,3	3,5	7,9	4,4
5	2,1	3,6	1,4	2,7	5,8	3,5	4,2	4,3
6 mm								
1	4,6	3,3	4,1	4,8	7,1	3,4	3,8	0,2
2	10,2	0,1	4,8	3,8	10,3	1,6	3,1	1,3
3	12,1	0,2	4,2	4,3	12,2	0,1	3,2	1,4
4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,9	1,9	8,2	1,8
5	5	3,6	5,6	1,6	4,7	0,7	12,8	1,1
8 mm								
1	8,9	0,6	7,8	3,7	8,3	1,3	2,2	1,6
2	8,6	0,1	3,5	0,5	5,7	7,9	2,9	1,6
3	12,5	0,1	9,6	0,3	9,1	6,2	22,6	20,6
4	3,2	0,2	6,9	4,2	4,2	3,5	0,3	10,8
5	1,5	0,4	4,6	5,3	9,2	8,5	1,7	0,1
10 mm								
1	0	0	8,1	6,8	4,7	4,4	2,9	2,1
2	4,6	5,9	6,3	5,3	10,2	9,5	7,3	3,7
3	4,6	2,3	12,5	12,8	5,7	6,4	5,9	0,4
4	0,1	0	7,5	6,4	5,5	7,1	5,7	0,8
5	0	0	3,7	0	7,1	7,6	0,8	0,2
12 mm								
1	4,6	0	3,5	3,8	10,7	3,6	3,9	1,5
2	7,4	7,7	4,2	3,9	4,4	4,1	4,2	3,5
3	6,5	0	7,1	7,1	0,5	0,5	2,8	0
4	3,5	0	4,3	0,1	6,1	0,1	9,1	0,3
5	11,2	0,3	8,9	0,2	6,6	0	3,8	0,2



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



Tabla 26

Valores de los ángulos de perforaciones internas de las probetas ensayadas de acero AISI 304

4 mm	<i>Tolerancia de perpendicularidad [mm]</i>				
Probeta	1	2	3	4	5
circulo 1	8,321	8,601	8,951	4,36	11,86
circulo 2	15,443	18,198	20,115	16,831	12,544
circulo 3	13,901	14,842	12,202	12,953	12,749
circulo 4	9,648	11,928	4,147	8,18	11,654
circulo 5	9,3	Corte nulo	10,689	6,56	11,654
ranura 1	7,477	Corte nulo	8,391	5,569	7,688
ranura 2	8,741	Corte nulo	6,277	5,214	8,951
cuadrado	7,336	10,758	10,065	5,852	1,217
6 mm					
circulo 1	19,375	16,524	17,398	13,676	16,962
circulo 2	28,295	18,864	17,398	20,807	20,723
circulo 3	27,924	27,324	27,248	24,545	20,64
circulo 4	23,749	22,62	25,641	19,205	21,471
circulo 5	14,126	11,951	11,034	10,758	11,677
ranura 1	3,243	6,277	4,858	5,616	6,749
ranura 2	5,143	5,805	9,276	5,805	6,843
cuadrado	11,126	13,586	16,084	9,462	15,287
8 mm					
circulo 1	3,541	4,289	2,791	8,215	5,852
circulo 2	13,935	10,896	11,86	10,03	8,496
circulo 3	8,811	12,749	10,931	8,285	6,984
circulo 4	11,413	15,642	10,55	9,195	6,277
circulo 5	6,913	4,787	3,755	3,897	4,396
ranura 1	4,965	3,005	1,611	2,862	2,112
ranura 2	0,107	0,752	2,255	0,215	2,612
cuadrado	6,843	8,11	5,852	3,148	3,862
10mm					
circulo 1	4,944	4,574	5,398	5,086	7,266
circulo 2	6,447	7,829	6,56	9,314	10,037
circulo 3	7,125	9,898	9,146	10,896	7,801
circulo 4	10,315	10,537	11,86	9,982	8,923
circulo 5	8,486	8,559	Corte nulo	5,569	5,625
ranura 1	7,322	3,748	4,232	2,805	3,348
ranura 2	7,913	11,613	10,176	5,313	4,602
cuadrado	4,688	8,895	8,447	6,475	7,942

**Tabla 27**

Valores de los ángulos de perforaciones internas de las probetas ensayadas de acero AISI 304

12mm					
circulo 1	5,19	5,237	4,764	4,052	3,862
circulo 2	9,253	10,111	9,88	9,625	3,386
circulo 3	7,524	8,904	10,088	11,539	11,86
circulo 4	9,486	8,694	11,631	10,227	9,648
circulo 5	4,669	3,79	4,669	0	4,242
ranura 1	4,218	5,45	9,926	0	5,143
ranura 2	0,836	1,193	7,313	6,866	2,934
cuadrado	7,571	7,477	6,301	6,018	6,843

Con todos estos datos se realizó una conversión a mm ya que la normativa nos muestra los rangos en los que se deberá evaluar los datos obtenidos de los ensayos de la probetas de acero inoxidable AISI 304, presentados en la tabla 21 y 22, estos valores ya transformados a mm para la evaluación de tolerancia de perpendicularidad en función a la normativa AWS C4.6M 2006, esto tanto para medidas externas como para las perforaciones internas de la probeta ,al igual que se realizó en la acero ASTM A36.

4.4.2 Discusión de los resultados acero AISI 304 medidas exteriores

Para el acero AISI 304 de misma manera que para el acero ASTM A36, se utilizó la misma metodología, en donde los rangos establecidos por la normativa presentados en la tabla 14 que detalla los límites a los que se deben someter, y de tal modo que los valores obtenidos se evaluaron en función de la tabla de colores presentada en la tabla 15 la cual permite identificar el límite del rango establecido por la normativa, para cada espesor como se muestra en la tabla 23.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



Tabla 28

Rango de tolerancia de perpendicularidad para acero AISI 304.

Rango	Espesor				
	4	6	8	10	12
	Tolerancia de perpendicularidad o angularidad				
1	0,062	0,068	0,074	0,08	0,086
2	0,178	0,192	0,206	0,22	0,23
3	0,44	0,46	0,48	0,5	0,52
4	0,88	0,92	0,96	1	1,04
5	1,34	1,41	1,48	1,55	1,62

Una vez definidos los límites de cada rango, se llevó a cabo la clasificación de cada resultado relacionado con la tolerancia de perpendicularidad para las muestras de acero AISI 304, mostrados en la tabla 24, la cual muestra un patrón de color para cada rango. Así pues, los resultados logrados se muestran en la tabla 24.

Tabla 29

Clasificación de tolerancia a la perpendicularidad o angularidad acero AISI 304 medidas exteriores

Probeta	Tolerancia de perpendicularidad [mm]							
	u1		u2		u3		u4	
Espesor	Cara	Cara	Cara	Cara	Cara	Cara	Cara	Cara
4 mm	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
1	0,463	0,336	0,807	0,734	0,96	0,836	0,756	0,662
2	0,569	0,343	nulo	nulo	nulo	nulo	0,392	0,259
3	0,049	0,021	0,273	0,014	0,273	0,182	0,294	0,217
4	0,576	0,677	0,322	0,357	0,371	0,245	0,555	0,308
5	0,147	0,252	0,098	0,189	0,406	0,245	0,294	0,301
6 mm								
1	0,483	0,346	0,43	0,504	0,747	0,356	0,399	0,021
2	1,08	0,01	0,504	0,399	1,09	0,168	0,325	0,136
3	1,286	0,021	0,441	0,451	1,297	0,01	0,335	0,147
4	0,262	0,262	0,262	0,262	0,304	0,199	0,865	0,189
5	0,525	0,377	0,588	0,168	0,493	0,073	1,363	0,115



Tabla 30

Clasificación de tolerancia a la perpendicularidad o angularidad acero AISI 304 medidas exteriores

8 mm								
1	1,253	0,084	1,096	0,517	1,167	0,182	0,307	0,223
2	1,21	0,014	0,489	0,07	0,799	1,11	0,405	0,223
3	1,774	0,014	1,353	0,042	1,281	0,869	3,33	3,007
4	0,447	0,028	0,968	0,587	0,587	0,489	0,042	1,526
5	0,209	0,056	0,644	0,742	1,296	1,196	0,237	0,014
10 mm								
1	0	0	1,423	1,192	0,822	0,769	0,507	0,367
2	0,805	1,033	1,104	0,928	1,799	1,673	1,281	0,647
3	0,805	0,402	2,217	2,272	0,998	1,122	1,033	0,07
4	0,017	0	1,317	1,122	0,963	1,246	0,998	0,14
5	0	0	0,647	0	1,246	1,334	0,14	0,035
12mm								
1	0,965	0	0,734	0,797	2,267	0,755	0,818	0,314
2	1,559	1,622	0,881	0,818	0,923	0,86	0,881	0,734
3	1,367	0	1,495	1,495	0,105	0,105	0,587	0
4	0,734	0	0,902	0,021	1,282	0,021	1,922	0,063
5	2,376	0,063	1,879	0,042	1,388	0	0,797	0,042

4.4.3 Interpretación grafica de los resultados de tolerancia de perpendicularidad acero

AISI 304 medidas externas

Después de haber mencionado a través de tablas los valores de perpendicularidad para cada probeta, la normativa AWS C4.6M:2006 define un solo gráfico, en el que cada rango de aceptación se representa de manera única, está delimitado por líneas delimitadoras, para examinar las áreas donde se sitúa cada uno valor conseguido, como se puede observar en la figura 42.

Al igual que en el caso anterior con el acero ASTM A36, se utilizó la misma gráfica para analizar el comportamiento del acero AISI 304, representando los datos obtenidos tras los ensayos realizados. Estos valores fueron incorporados con el propósito de proporcionar una



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO**



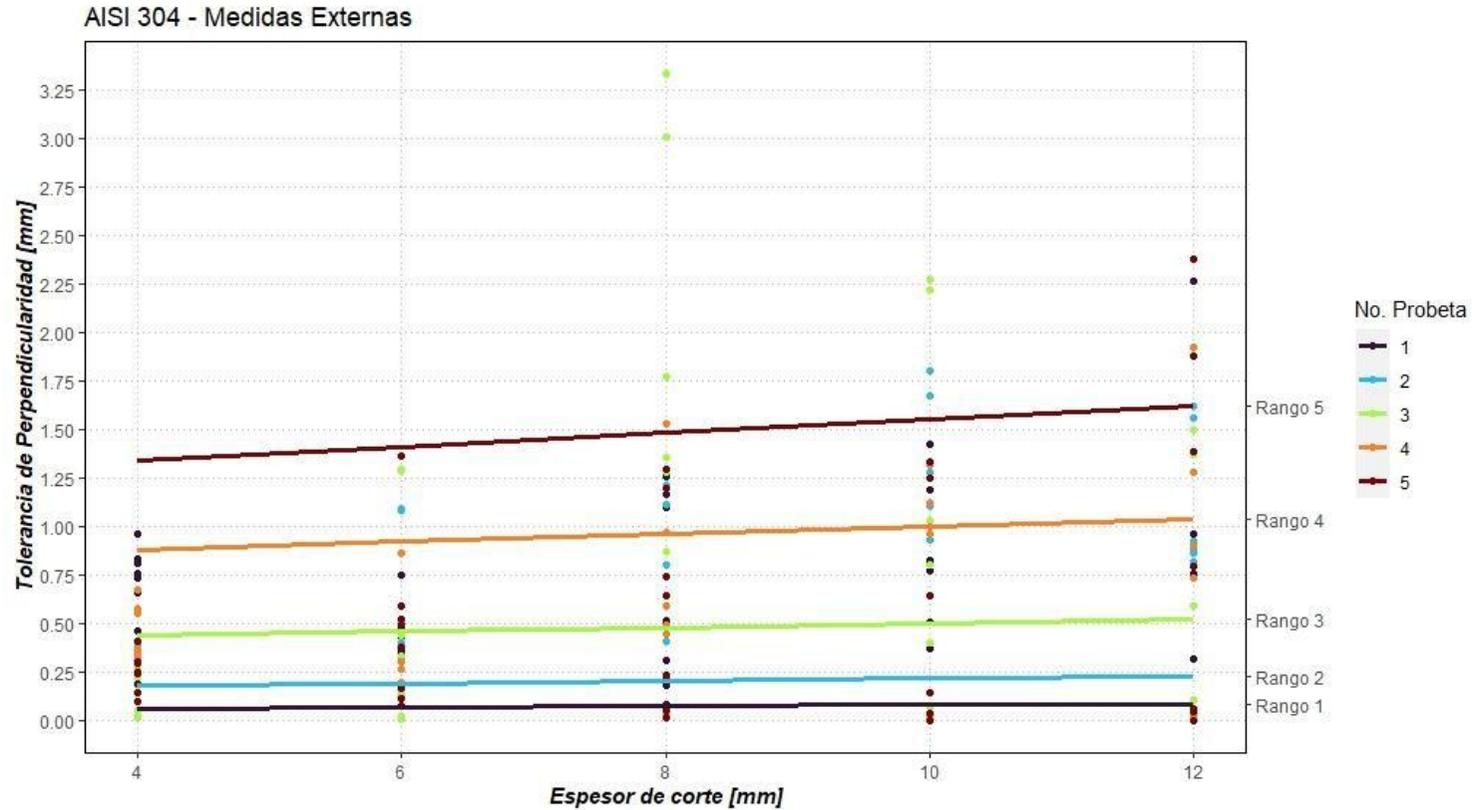
referencia más clara sobre cómo las mediciones se ajustan a los límites. Se observa que, en el corte por plasma de este material, los resultados tienden a aumentar a medida que el espesor del material es mayor. Esto sugiere que, debido a la composición química del acero AISI 304, es necesario realizar una evaluación más precisa de los parámetros de entrada para optimizar el mecanizado. La mayoría de las mediciones para espesores más grandes se encuentran en los rangos 3 a 5, mientras que, en los espesores de 4 mm y 6 mm, los valores se ubican únicamente en los rangos 1 y 2.

Este comportamiento indica que los resultados son altamente satisfactorios para espesores menores a 6 mm, ya que se mantienen dentro de los rangos más bajos de tolerancia. Sin embargo, en los espesores más robustos, las mediciones se sitúan en los tres últimos rangos, alcanzando los límites establecidos por la norma. Para mejorar la tolerancia en estos casos, se podría incrementar el amperaje del equipo de corte, lo que permitiría obtener una mayor estabilidad y precisión



Figura 42

Tolerancia de perpendicularidad vs espesor del corte, acero AISI 304 medidas externas





4.4.4 Discusión de resultados de perforaciones acero AISI 304

Después de documentar en tablas los valores de perpendicularidad de cada probeta, la normativa AWS C4.6M:2006, dicta que estos valores deben ser ilustrados de manera gráfica en relación con el espesor. En este gráfico, cada rango de aceptación se define por líneas, lo que facilita la identificación de las áreas donde se ubican los valores adquiridos, como se muestra en la figura 15.

En el estudio del acero inoxidable AISI 304 a través del corte por plasma, se recurre a la figura 15, originalmente creada para el acero ASTM A36, que vincula la tolerancia de perpendicularidad con el grosor de corte y se obtuvo como resultado los siguientes valores mostrados en la tabla 25.

Tabla 31

Clasificación de tolerancia a la perpendicularidad de perforaciones acero AISI 304

4mm	Tolerancia de perpendicularidad o angularidad				
Probeta	1	2	3	4	5
circulo 1	0,585	0,605	0,63	0,305	0,84
circulo 2	1,105	1,315	1,465	1,21	0,89
circulo 3	0,99	1,06	0,865	0,92	0,905
circulo 4	0,68	0,845	0,29	0,575	0,825
circulo 5	0,655	Corte nulo	0,755	0,46	0,825
ranura 1	0,525	Corte nulo	0,59	0,39	0,54
ranura 2	0,615	Corte nulo	0,44	0,365	0,63
cuadrado	0,515	0,76	0,71	0,41	0,085
	6mm				
circulo 1	2,11	1,78	1,88	1,46	1,83
circulo 2	3,23	2,05	1,88	2,28	2,27
circulo 3	3,18	3,1	3,09	2,74	2,26
circulo 4	2,64	2,5	2,88	2,09	2,36
circulo 5	1,51	1,27	1,17	1,14	1,24
ranura 1	0,34	0,66	0,51	0,59	0,71
ranura 2	0,54	0,61	0,98	0,61	0,72
cuadrado	1,18	1,45	1,73	1	1,64



Tabla 32

Clasificación de tolerancia a la perpendicularidad de perforaciones acero AISI 304

8mm					
circulo 1	0,495	0,6	0,39	1,155	0,82
circulo 2	1,985	1,54	1,68	1,415	1,195
circulo 3	1,24	1,81	1,545	1,165	0,98
circulo 4	1,615	2,24	1,49	1,295	0,88
circulo 5	0,97	0,67	0,525	0,545	0,615
ranura 1	0,695	0,42	0,225	0,4	0,295
ranura 2	0,015	0,105	0,315	0,03	0,365
cuadrado	0,96	1,14	0,82	0,44	0,54
10mm					
circulo 1	0,865	0,8	0,945	0,89	1,275
circulo 2	1,13	1,375	1,15	1,64	1,77
circulo 3	1,25	1,745	1,61	1,925	1,37
circulo 4	1,82	1,86	2,1	1,76	1,57
circulo 5	115,135	1,505		0,975	0,985
ranura 1	1,285	0,655	0,74	0,49	0,585
ranura 2	1,39	2,055	1,795	0,93	0,805
cuadrado	0,82	1,565	1,485	1,135	1,395
12mm					
circulo 1	1,09	1,1	1	0,85	0,81
circulo 2	1,955	2,14	2,09	2,035	0,71
circulo 3	1,585	1,88	2,135	2,45	2,52
circulo 4	2,005	1,835	2,47	2,165	2,04
circulo 5	0,98	0,795	0,98	0	0,89
ranura 1	0,885	1,145	2,1	0	1,08
ranura 2	0,175	0,25	1,54	1,445	0,615
cuadrado	1,595	1,575	1,325	1,265	1,44

4.4.5 Interpretación grafica de los resultados de tolerancia de perpendicularidad de perforaciones acero AISI 304

Después de haber mencionado a través de tablas los valores de perpendicularidad para cada probeta, la normativa AWS C4.6M:2006 define un solo gráfico, en el que cada rango de aceptación se representa de manera única, está delimitado por líneas que nos indican el rango máximo al que puede llegar, para examinar las áreas donde se sitúa cada uno valor conseguido,



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO**



en este caso como para perforaciones internas de la probeta, como se puede observar en la figura 43.

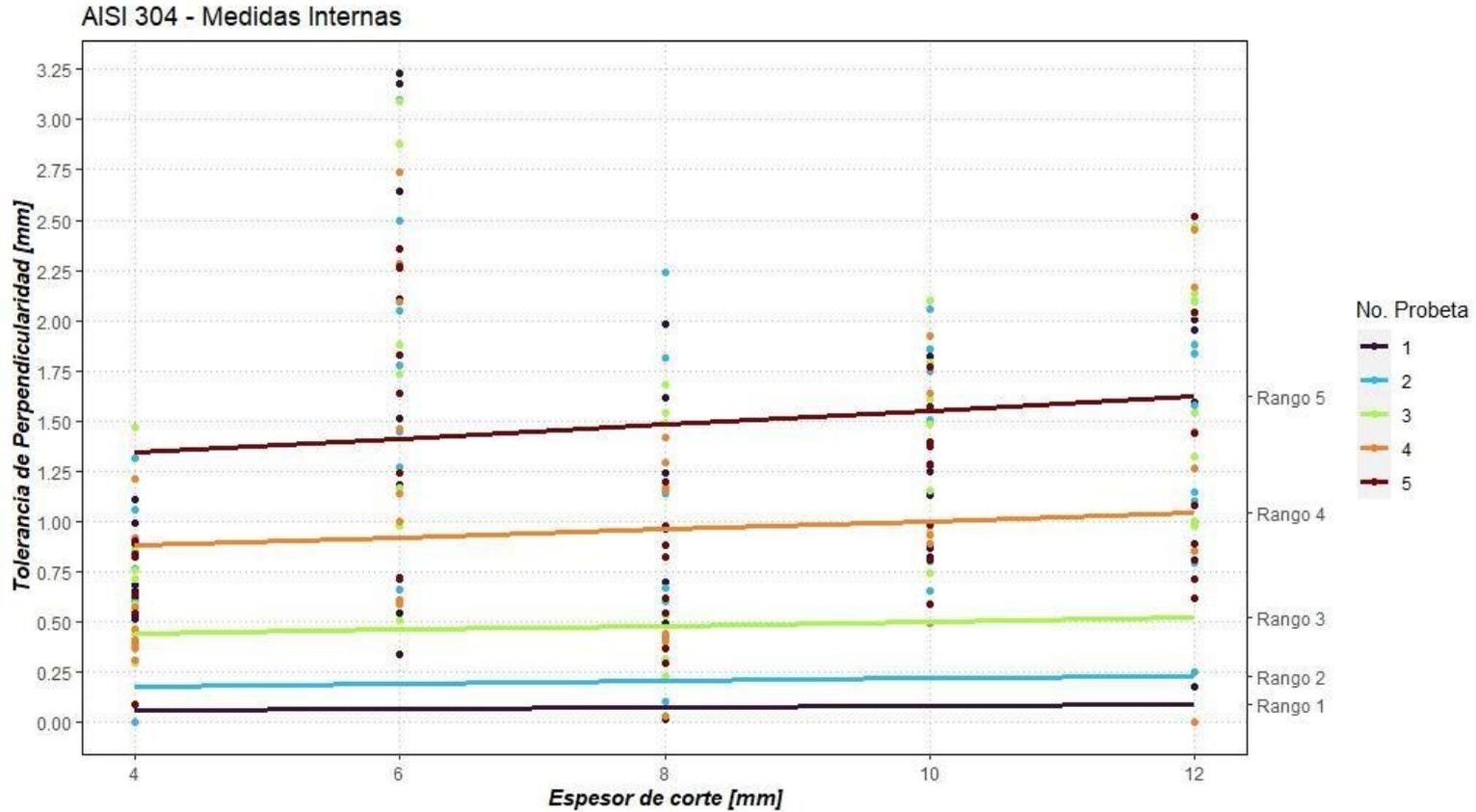
En este caso, para las perforaciones en acero AISI 304, al igual que en sus medidas exteriores, la gráfica indica que las dimensiones de las probetas ensayadas se encuentran mayormente en el rango de 3 a 5. Sin embargo, algunas medidas exceden el límite máximo establecido por la norma. Se observa que el espesor de 6 mm presenta una mayor fluctuación en sus dimensiones, con varios puntos dispersos y, en su mayoría, fuera del rango de 5. Esto sugiere la necesidad de ajustar aún más los parámetros de entrada para obtener perforaciones más precisas en los cortes. Como se mencionó en el caso de las medidas externas, esta variabilidad se debe a la composición del metal, que contiene un mayor porcentaje de Cr (17-19.5%), Ni (8-10.5%) y Mn (2%), así como a las características de la máquina de corte por plasma, cuyo amperaje máximo es de 80 A.

Para mejorar la calidad del corte y asegurar que las dimensiones cumplan con los estándares normativos, el amperaje debería ser superior. No obstante, con esta máquina es posible obtener resultados favorables ajustando diversos parámetros de entrada, como el tiempo de penetración, la altura de la antorcha, el tipo de boquilla, entre otros.



Figura 43

Tolerancia de perpendicularidad vs corte del espesor, acero ASTM A36 medidas de perforaciones



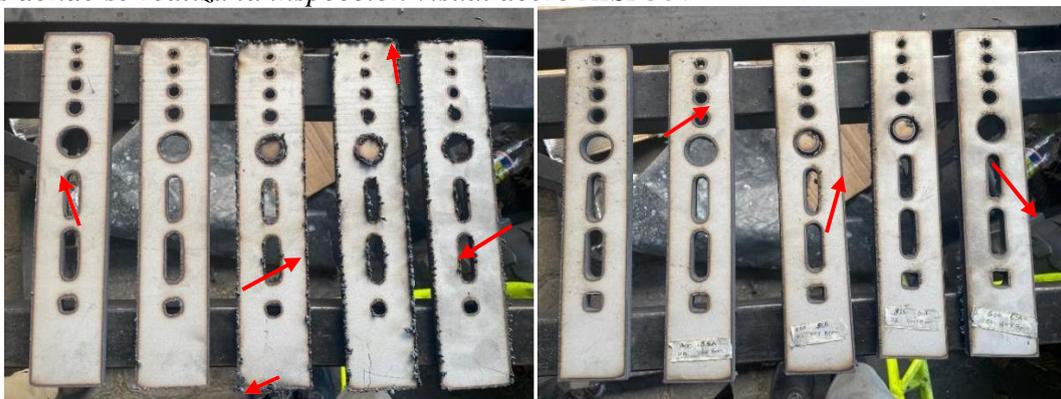


4.5 Nivel de escoria de acero AISI 304

De la misma forma que se realizó en el acero ASTM A36 se determinó el grado de escoria en las piezas cortadas mediante una inspección visual, centrada en identificar la cantidad de residuos o rebaba que se había adherido a la superficie de corte. En el estudio, se llevó a cabo esta inspección en la superficie inferior y superior de las probetas como se muestra en la figura 44, también se muestra las zonas en donde se realizó la inspección marcada con líneas rojas, estas zonas fueron seleccionadas por ser las más susceptibles a la adherencia de la escoria durante el procedimiento de corte y también se calificó si esta escoria resultante es adherente o frágil.

Figura 44

Zonas donde se realiza la inspección visual acero AISI 304



Para la calificación se utilizó la misma metodología que para el acero ASTM A36 teniendo como resultados de escoria la siguiente tabla 26 donde se detalla la calificación de cada probeta ensayada, y si la escoria es frágil o adherente.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



Tabla 33 Nivel de escoria y tipo de escoria acero AISI 304

Espesor 4 mm								
Probetas	Superficie inferior					Tipo de escoria		Superficie Superior
	Calificación							
	1	2	3	4	5	Adherente	Frágil	
1		x					x	Nula
2			x			x		3/frágil
3				x		x		Nula
4	x						x	Nula
5					x	x		2/frágil
Espesor 6 mm								
Probetas	Superficie inferior					Tipo de escoria		Superficie Superior
	Calificación							
	1	2	3	4	5	Adherente	Frágil	
1			x			x		2/frágil
2		x				x		2/frágil
3				x		x		2/frágil
4		x					x	Nula
5					x	x		2/frágil
Espesor 8 mm								
Probetas	Superficie inferior					Tipo de escoria		Superficie Superior
	Calificación							
	1	2	3	4	5	Adherente	Frágil	
1			x			x		2/frágil
2				x		x		2/frágil
3					x	x		3/frágil
4	x						x	Nula
5	x						x	Nulo
Espesor 10 mm								
Probetas	Superficie inferior					Tipo de escoria		Superficie Superior
	Calificación							
	1	2	3	4	5	Adherente	Frágil	
1		x					x	2/frágil
2				x		x		2/frágil
3		x					x	2/frágil
4		x					x	Nula
5	x						x	2/frágil
Espesor 12 mm								
Probetas	Superficie inferior					Tipo de escoria		Superficie Superior
	Calificación							
	1	2	3	4	5	Adherente	Frágil	
1		x				x		2/frágil
2	x						x	2/frágil
3		x					x	2/frágil
4				x		x		2/frágil
5					x	x		2/frágil



4.6 Datos óptimos resultantes acero AISI 304

Se determinaron los parámetros óptimos para el corte en el acero AISI 304, basándose en los datos relacionados con la tolerancia en términos de perpendicularidad o angularidad. Por lo tanto, se otorgó prioridad a los índices de menor valor y se consideraron los límites de corte hasta el del rango 5, que es el rango más alto que alcanzaron las probetas. Estos fueron identificados como los más adecuados para lograr una excelente calidad superficial. La tabla 27 se detallan los parámetros que demostraron un mejor grado de perpendicularidad en las probetas evaluadas.

Cabe recalcar que de las probetas estudiadas se descartó en su totalidad a las probetas que no tuvieron mediciones como se muestre en las tablas presentadas anteriormente, en este caso para el acero AISI 304 se obtuvo varias medidas que no entraron en los rangos como se observó en la tabla 26, con celdas de color blanco que están vacías sin ningún dato obtenido, las celdas marcadas de este colore no están en los rangos establecidos por la normativa, de esta manera fueron descartadas en su totalidad.

Tabla 34

Parámetros óptimos para el corte según la tolerancia de perpendicularidad de medidas externas, acero AISI 304

Probetas	Velocidad de avance	Amperaje (A)	Boquilla
Espesor 4mm			
3	1200	45	1.3
5	1600	50	1.3
Espesor 6mm			
1	600	50	1.3
4	400	45	1.3
Espesor 8mm			
2	825	60	1.3
5	400	60	1.3
Espesor 10mm			
1	335	60	1.3
5	420	62	1.3
Espesor 12mm			
3	340	60	1.3



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



De la misma forma presentada anteriormente se escogió las mejores probetas, con los mejores datos de las perforaciones internas de las probetas y descartando en su totalidad a las probetas que tuvieron medidas fuera de los rangos establecidos y se presenta la siguiente tabla 28, con los parámetros óptimos, que dieron mejores resultados en los ensayos realizados.

Tabla 35 *Parámetros óptimos para el corte según la tolerancia de perpendicularidad para medidas de perforación, acero AISI 304*

Probetas	Velocidad de avance	Amperaje (A)	Boquilla
Espesor 4mm			
4	600	40	1.3
5	1600	50	1.3
Espesor 6mm			
Resultados defectuosos			
Espesor 8mm			
4	400	55	1.3
5	400	60	1.3
Espesor 10mm			
Resultados defectuosos			
Espesor 12mm			
Resultados defectuosos			

En ese caso con los ensayos realizados en los espesores 6, 10 y 12 mm hubo datos favorables para poder presentarlos como buenos, ya que los ratios sometidos a la normativa superaban los rangos establecidos por la misma.

Con las tablas presentadas ya se puede mencionar que son las que presentan los parámetros adecuados para los cortes, para las medidas externas que pueden servirnos para cortes de producción con periodos de cortes que requieran distancias amplias y las medidas de perforaciones que necesitan una mejor definición en el corte final para evitar reprocesos.



CAPITULO V

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- La aplicación de los estándares de la norma AWS C4.6M:2006 facilitó la estandarización de los parámetros de entrada en el corte por plasma, consiguiendo resultados uniformes y de calidad. Esto contribuyó a prevenir inconvenientes como cortes torcidos o ángulos equivocados, al establecer y modificar variables fundamentales como los parámetros de entrada vinculados a la máquina y el procedimiento. En los ensayos, se evidenció que estos cambios eran esenciales para asegurar cortes eficaces y homogéneos. Se deduce de los resultados, una adecuada disposición inicial disminuyó la acumulación de escoria y posibilitó la realización de cortes exactos en bordes exteriores e interiores. Adicionalmente, la correcta aplicación de los parámetros mejoró la calidad en materiales complejos como el acero inoxidable.
- Con respecto a lo anterior, los aceros ASTM A36 y AISI 304 fueron escogidos como materiales aptos para los ensayos de corte por plasma CNC bajo requisitos de la norma AWS C4.6M:2006. Se eligieron debido a su composición fisicoquímica y cualidades mecánicas, factores que les permiten cumplir con las normas de calidad imprescindibles para el estudio. Así, la aportación en cromo (17-19.5%), níquel (8-10.5%) y silicio (1%) del acero inoxidable AISI 304 garantizó su idoneidad para resistir las altas temperaturas del plasma. Por su parte, el bajo carbono y aporte de manganeso del ASTM A36 se destacó por ser adaptable y sencillo de cortar. Finalmente, los equipos de medición establecieron sus umbrales de error, como una incertidumbre mayor al 20% lo cual



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO**



aseguró la certeza en la valoración de la tolerancia a la perpendicularidad y acumulación de escoria, que son factores imprescindibles para medir la calidad del corte.

- Se eligieron cinco muestras por espesor para cada material, dado que la reglamentación no especifica el número de muestras para llevar a cabo el estudio. Por lo tanto, fue una elección de nuestra autoría para una validez estadística y se examinaron configuraciones particulares de velocidad de avance y amperaje, elementos cruciales en la calidad del corte. Los hallazgos evidenciaron que una velocidad desmedida provocaba la acumulación de escoria en la parte baja del corte y perjudicaba la uniformidad de la superficie, mientras que velocidades excesivamente bajas aumentaban el tiempo de corte y propiciaban el deterioro de los consumibles. El amperaje tuvo un impacto directo en la habilidad del plasma para superar espesores más grandes, demostrando una conducta ideal en rangos medios que redujeron imperfecciones y aseguraron cortes limpios.
- En el acero ASTM A36, los hallazgos revelaron una tolerancia de perpendicularidad de 0.021 mm a 0.052 mm, dentro de los límites fijados por la reglamentación. Este acuerdo evidencia que las configuraciones elegidas de velocidad y amperaje posibilitaron cortes uniformes y de gran exactitud en todos los anchos evaluados (3 mm a 12 mm). Adicionalmente, el grado de escoria en las perforaciones exteriores fue reducido, lo que demuestra un correcto control del proceso y una efectiva interacción entre los parámetros de entrada y las propiedades del material. Este comportamiento homogéneo permite la transmisión directa de estos parámetros a usos industriales, asegurando acabados nítidos y disminuyendo la necesidad de rehacer trabajos.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
SUBDECANATO



- En el acero AISI 304, pese a que los cortes exteriores también se mantuvieron dentro de las normas, se registraron valores que se aproximaban al límite máximo de la tolerancia de perpendicularidad, particularmente en espesores de mayor tamaño. Esto señala que, debido a su composición más compleja (cromo, níquel y silicio), el acero inoxidable necesita un ajuste más preciso en los parámetros para prevenir la acumulación excesiva de escoria en su parte baja. No obstante, los bordes superiores se conservaron ordenados y claros, resaltando la exactitud del equipo CNC en las cortes exteriores.
- En el ASTM A36, las perforaciones interiores, que comprendieron perforaciones y formas geométricas como círculos, ranuras y cuadrados, cumplieron totalmente la tolerancia de perpendicularidad establecida. Los valores logrados se ajustaron a los rangos establecidos, lo que muestra un control eficaz de las variables del procedimiento incluso en configuraciones más sofisticadas. El grado de escoria en las perforaciones fue moderado, pero controlable con facilidad, garantizando superficies interiores apropiadas para procesos futuros de montaje o terminación.
- Para el AISI 304, los cortes interiores exhibieron un rendimiento más fluctuante. Aunque la mayoría de las figuras (principalmente en espesores de 4 mm a 8 mm) respetaron los límites fijados por la reglamentación, en espesores más grandes algunos cortes interiores mostraron valores que excedían el rango permitido. Esto puede deberse a la elevada dureza y resistencia al calor del acero inoxidable, lo que incrementa la susceptibilidad del material a cambios mínimos en los parámetros de entrada. Igualmente, la acumulación de escoria fue más notable en estos cortes, especialmente



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO**



en configuraciones de alta velocidad, lo que indica que una mayor exactitud en la configuración del amperaje y la velocidad podría optimizar los resultados.

- La capacidad de los cortes exteriores e interiores para ajustarse a los estándares establecidos demuestra la precisión lograda en el proceso de corte por plasma CNC. Esto no solo confirma que el equipo y la metodología utilizada funcionan bien, sino que también destaca lo crucial que es controlar aspectos como la velocidad, el amperaje y la distancia de la boquilla para obtener resultados de calidad. Los resultados en los cortes interiores son especialmente importantes, ya que implican retos adicionales debido a su forma más compleja y la necesidad de mantener medidas exactas en espacios reducidos. Cumplir con la normativa AWS C4.6M:2006 asegura que los resultados puedan reproducirse en aplicaciones industriales, mejorando tanto la calidad del trabajo como la eficiencia al reducir problemas como residuos de escoria o cortes desviados.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO**



5.2 Recomendaciones

- Es crucial continuar empleando esta regulación como punto de referencia principal para los procedimientos de corte por plasma, dado que posibilita mantener los parámetros de entrada normalizados y garantizar resultados uniformes y de alta calidad.
- Es imprescindible que los operadores sean formados en el correcto ajuste de los parámetros de entrada, tales como velocidad, amperaje y separación de la boquilla, con el fin de reducir problemas como la acumulación de escoria y cortes fallidos, mejorando de esta manera el control del proceso.
- En materiales como el acero inoxidable AISI 304, que requiere mayor exactitud debido a su sensibilidad al calor, es necesario ajustar meticulosamente la configuración para prevenir la acumulación de desechos y asegurar cortes homogéneos.
- Antes de comenzar el corte, es crucial analizar las características del material y su grosor para elegir parámetros de entrada apropiados, previniendo configuraciones que puedan provocar imperfecciones o perjudicar los materiales de consumo.
- Es necesario emplear instrumentos de medición calibrados y con errores menores al 20%, garantizando valoraciones precisas, especialmente en la tolerancia a la perpendicularidad y en la gestión de residuos de escoria.
- Es vital llevar a cabo revisiones regulares al equipo de corte por plasma, particularmente en elementos esenciales como las boquillas y los compresores, para preservar su operatividad y minimizar los fallos en el corte.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
SUBDECANATO



- Es aconsejable registrar las configuraciones ideales logradas en este análisis y utilizarlas en contextos industriales, con la finalidad de duplicar los resultados y potenciar la eficiencia y calidad en las aplicaciones prácticas.



Bibliografía

- [1] J. Alvarez, «“Estudio de los parámetros de corte por oxicorte y plasma CNC de acuerdo a la norma AWS C4.6M:2006 para la empresa maquinarias espín.”», 2022. Accedido: 6 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/36089>
- [2] L. Toalombo *et al.*, «Diseño de una máquina de corte por plasma con Control numérico computarizado para planchas de acero», [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/393b75dd-6f93-4191-931b-2855e0d63be3/content>
- [3] M. Cristian Fernando Calupiña Jácome y D. Mauricio Oña Rivas, «Mejoramiento de los parámetros de trabajo para una máquina de corte por plasma y oxiacetilénica tipo CNC-4000 marca Hugong Welder. Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero», [En línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5340/1/CD-4571.pdf>
- [4] I. García Tsai, M. Ing Montero Juan, I. Calle Wilson Quinde Marlon, y S. Paula, «Plasma: una tecnología de gran potencial para la industria y la ciencia». [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/5055/505554807008.pdf>
- [5] M. Suntaxi, «Diseño y Construcción de una máquina CNC cortadora por plasma para planchas de acero de hasta 10mm de espesor.», [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2439/1/T-UIDE-1735.pdf>
- [6] H Guanoluisa y F Yáñez, «Diseño y construcción de un sistema automático de corte por plasma mediante control numérico computarizado CNC», [En línea]. Disponible en: <https://redi.cedia.edu.ec/document/153271>
- [7] C. Carrillo, N. Xavier, P. Chicaiza, J. Javier, y J. Paredes, «Dimensionamiento e implementación de una máquina CNC de corte por láser para optimizar la calidad de trabajos en acrílico de hasta 5 mm de espesor», 2017, [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4061>
- [8] A Robalino, «Diseño y Construcción de una máquina CNC cortadora por plasma para el corte de planchas metálicas en el taller mecánico industrial Robalino de la ciudad de Riobamba.», [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/1074/1/TESIS.pdf>
- [9] M Paredes, «Análisis del proceso de corte por plasma en planchas de acero en la empresa ATU artículos de acero s.a. y su incidencia en la productividad», [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/444/1/TESIS%20DE%20INGENIERIA%20INDUSTRIAL%20DE%20PAREDES%20BALSECA%20MARCO%20ANTONIO%20.pdf>
- [10] Lucicá Ivana, «THERMAL CUTTING», 2020. Accedido: 6 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.eolss.net/sample-chapters/c05/E6-171-18-00.pdf>
- [11] L. Shi, R. Song, · Xincheng Tian, y X. Tian, «Plasma beam radius compensation-integrated torch path planning for CNC pipe hole cutting with welding groove», *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 88, pp. 1971-1981, 2017, doi: 10.1007/s00170-016-8915-7.
- [12] Carvajal Cabrera Renato Joaquín, «Diseño y construcción de una máquina cortadora plasma CNC en la empresa mecánica industrial “MOYA HNOS”», 2018, [En línea].



- Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/9aa1f918-8dc0-4390-ac59-4ea2631b9d77/content>
- [13] PythonX, «PythonX-Guide-to-Plasma-Cutting_Spanish», vol. 1, 2022, [En línea]. Disponible en: <https://pythonx.com/wp-content/uploads/2022/05/2022-05-PythonX-Guide-to-Plasma-Cutting-Spanish-BC01.pdf>
- [14] Luis Murillo¹, Diego Bustillos¹, Oscar Lara², José Achote¹, y Felipe Rovayo, «DISEÑO DE UNA CORTADORA DE PLASMA COMO HERRAMIENTA DE APOYO PARA LA ENSEÑANZA EN CARRERAS DE INGENIERÍA.», [En línea]. Disponible en: <https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/2855/1782>
- [15] D. Kumar Naik y K. Maity, «Experimental analysis of the effect of gas flow rate and nature on plasma arc cutting of hardox-400», doi: 10.1007/s40194-019-00836-8.
- [16] İ. Tekauit, «Experimental investigation of the effects of cutting parameters on the cutting surface quality and heat affected area (HAZ) width in plasma arc cutting processes», *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 35, n.º 3, pp. 1509-1518, 2020, doi: 10.17341/gazimmfd.610288.
- [17] J. Javier y I. Gonzaga-Ilicona, «Mesa de corte por plasma automatizada mediante LabVIEW Automated plasma cutting table using LabVIEW», *Junio*, vol. 6, pp. 1-10, 2019, doi: 10.35429/JEA.2019.19.6.1.10.
- [18] W. Carlos Gómez Hurtado, A. Alberco Medina, y I. Leopoldo Marcos Gutiérrez Vargas, *Corte por Plasma con la Técnica de Control Numérico Computarizado, para Mejorar la Calidad de Corte de Metales Del I.E.S.T.P. Nueva Esperanza*.
- [19] F. C. Gâdea, A. Vas, A. Vas, y T. Machedon-Pisu, «ASPECTS REGARDING MECHANIZED THERMAL PLASMA CUTTING OF METALLIC MATERIALS-CARBON STEEL», pp. 24-26, 2011.
- [20] O. Jefferson, G. López, I. Mg, M. Geovanni, y G. Carrillo, «Sistema automatizado para corte por plasma para la empresa invenios 3D», 2019. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/29895>
- [21] L. Kudrna, J. Fries, y M. Merta, «Influences on plasma cutting quality on CNC machine», *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, vol. 2, n.º 1, pp. 108-117, sep. 2019, doi: 10.2478/mape-2019-0011.
- [22] G. Reyes-Morales, V. Guerrero-Hernandez, B. N. Ríos-Ataxca, O. Ortiz-Aguilar, y E. Cruz-Lázaro, «Metodología para la restauración y puesta en marcha de una máquina fresadora CNC», *Nexo Revista Científica*, vol. 32, n.º 02, pp. 179-189, dic. 2019, doi: 10.5377/nexo.v32i02.9267.
- [23] Cusicagua Espinosa Lenin David y Jumbo Ramos Anderson Steven, «Análisis cuantitativo de los parámetros de deshumidificación del aire comprimido para el plasma CNC», [En línea]. Disponible en: https://www.istct.edu.ec/gia_nuevo/titulacion/1726616269/1726616269_informeTutor.pdf
- [24] Cusicagua L y Jumbo A, «Análisis cuantitativo de los parámetros de deshumidificación del aire comprimido para plasma CNC». [En línea]. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85135808330&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28CNC+and+Cutting+and+plasma%29&sessionSearchId=d8853003804f42d97773071692c3740e&relpos=8>



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



- [25] N. S. Melaku y T. Mulatie Bogale, «Parameters optimization in plasma arc cutting of AISI 1020 mild steel plate using hybrid genetic algorithm and artificial neural network», doi: 10.1051/smdo/2023012.
- [26] İ. Tekait, «Experimental investigation of the effects of cutting parameters on the cutting surface quality and heat affected area (HAZ) width in plasma arc cutting processes», *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 35, n.º 3, pp. 1509-1518, 2020, doi: 10.17341/gazimmfd.610288.
- [27] R. Wilfredo *et al.*, «Diseño y Construcción de un sistema para corte por plasma, usando técnicas de control numérico computarizado». [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/38949196/DISE%C3%91O_Y_CONSTRUCCI%C3%93N_DE_UN_SISTEMA_PARA_CORTE_POR_PLASMA_USANDO_TECNICAS_DE_CONTROL_NUM%C3%89RICO_COMPUTARIZADO_INGENIERO_MEC%C3%81NICO
- [28] S. Bhowmick, J. Basu, G. Majumdar, y A. Bandyopadhyay, «Experimental study of plasma arc cutting of AISI 304 stainless steel», en *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2018, pp. 4541-4550. doi: 10.1016/j.matpr.2017.12.024.
- [29] K. Daniel, M. Secaira, P. Jonathan, y P. Rojas, «Diseño de una Máquina Cortadora por Plasma CNC». [En línea]. Disponible en: [file:///C:/Users/DELL/Downloads/D-CD88200%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/DELL/Downloads/D-CD88200%20(2).pdf)
- [30] B. Asiabanpour, D. Tejaswani Vejandla, J. Jimenez, y C. Novoa, «Optimising the automated plasma cutting process by design of experiments», 2009. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/17625848/Optimising_the_automated_plasma_cutting_process_by_design_of_experiments
- [31] BAW soldadura & corte, «Nociones Sobre Corte Plasma». [En línea]. Disponible en: <https://www.baw.com.ar/descargas/nociones-sobre-corte-por-plasma.pdf>
- [32] J. I. C. Reyes, J. E. O. Chávez, O. F. B. Sampedro, D. F. M. Pérez, E. F. V. Nuñez, y C. M. V. Bernal, «Degradación Del Acero Astm A36 Sometido Al Fenómeno De Termofluencia», *European Scientific Journal, ESJ*, vol. 13, n.º 6, p. 173, feb. 2017, doi: 10.19044/esj.2017.v13n6p173.
- [33] E. Cuesta, C. Rico, y G. Valiño, «El corte de Chapa mediante Oxicorte y Plasma». [En línea]. Disponible en: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/Articulo.asp?A=1831>
- [34] S. Bhowmick, J. Basu, G. Majumdar, y A. Bandyopadhyay, «Experimental study of plasma arc cutting of AISI 304 stainless steel», en *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2018, pp. 4541-4550. doi: 10.1016/j.matpr.2017.12.024.
- [35] Disaic, «Norma AWS C4.6M 2006 Thermal cutting-Classification of thermal cuts-Geometrical product specification and quality tolerances». [En línea]. Disponible en: www.nc.cubaindustria.cu
- [36] Motocono, «Corte plasma ¿Qué determina la calidad del corte? - Motocono». Accedido: 26 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://motocono.com/corte-plasma-que-determina-la-calidad/>
- [37] K. Giasin, G. Gorey, C. Byrne, J. Sinke, y E. Brousseau, «Effect of machining parameters and cutting tool coating on hole quality in dry drilling of fibre metal laminates», *Compos Struct*, vol. 212, pp. 159-174, mar. 2019, doi: 10.1016/j.compstruct.2019.01.023.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



- [38] A. F. Vhymeister Franco y M. Fuentes Paredes, «CORTE MEDIANTE CHORRO DE AGUA - ABRASIVO», *Síntesis Tecnológica*, n.º 1, pp. 36-38, nov. 2004, doi: 10.4206/SINT.TECNOL.2004.N1-06.
- [39] HyPerformance, «HyPerformance ® Plasma HPR130». [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/20224274/Manual_del_operador_equipo_de_corte_de_plasma_Hypertherm
- [40] C. Hernández González, P. Rodríguez, Z. Robledo, y G. Mata, «Efectos de corte y velocidad de corte en el desgaste de corte mecanizado», vol. 29, n.º 1, pp. 61-83, 2011, Accedido: 26 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85222642006>
- [41] DIPAC, «DIPAC productos de acero». [En línea]. Disponible en: <https://dipacmanta.com/wp-content/uploads/2022/07/Catalogo-actualizado-JULIO-2022.pdf-3.pdf>
- [42] R. Becerra, N. Arzola, y O. Araque, «Fatigue Behavior of ASTM A36 Steel Considering the Influence of Cutting Parameters», *Journal of Engineering Science and Technology Review*, vol. 12, n.º 3, pp. 155-163, 2019, doi: 10.25103/jestr.123.21.
- [43] Europer, «Ficha técnica Acero Inoxidable». Accedido: 26 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://europer.cl/wp-content/uploads/2021/11/FICHAS-TECNICA-ACERO-INOX.304-304L.pdf>
- [44] L.German Special steel, «AISI 304 | 1.4301 ficha técnica - Aceros inoxidable». Accedido: 26 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.gss-spain.com/productos/aceros-inoxidables/1-4301-aisi-304-aceros-inoxidables/>
- [45] Aceros MG, «Aceros MG». Accedido: 26 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://acerosmg.com/>
- [46] ESAB, «Product picture can be multiple ESAB Cutmaster 80 Equipos manuales industriales de plasma», Accedido: 26 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://solysol.com.es/wp-content/uploads/2019/12/ESAB-Cutmaster-80_ES.pdf



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



Anexos

Tabla de resultados de cortes externos acero ASTM A36

Probeta	ESPESOR (MM)	PROBETA	CALIBRE BOQUILLA (MM)	VELOCIDAD AVANCE(MM/MIN)	AMPERAJE (A)	ALTURA (V)	TIEMPO DE PERFORACIÓN (s)	ALTURA INICIAL (mm)	PRESION DE AIRE (PSI)	CICLO DE TRABAJO (%)
P03-A36-05	3	4	1,3	2200	40	100	3.0	12	90	99
P03-A36-06	3	5	1,3	1200	40	115	3.0	12	90	99
P04-A36-04	4	1	1,3	650	35	123	3.0	13	70	99
P04-A36-05	4	3	1,3	1200	45	118	3.0	13	70	100
P06-A36-01	6	1	1,3	600	45	130	3.2	13	70	100
P06-A36-05	6	5	1,3	900	45	130	3.2	13	70	100
P08-A36-02	8	2	1,3	600	50	135	3.5	13	70	100
P08-A36-03	8	3	1,3	435	50	135	3.8	13	70	100
P10-A36-01	10	1	1,3	600	60	140	4.5	13	70	100
P10-A36-01	10	1	1,3	600	60	140	4.5	13	70	100
P12-A36-01	12	1	1,3	280	60	145	5.0	13	70	100
P12-A36-05	12	5	1,3	600	65	145	5.0	13	70	100



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



Tabla de resultados de perforaciones acero ASTM A36

Probeta	ESPESO R (MM)	PROBETA	CALIBRE BOQUILLA (MM)	VELOCIDAD AVANCE(MM/MIN)	AMPERAJE (A)	ALTURA (V)	TIEMPO DE PERFORACIÓN (s)	ALTURA INICIAL (mm)	PRESION DE AIRE (PSI)	CICLO DE TRABAJO (%)
P03-A36-01	3	1	1,3	2500	50	100	3.0	12	90	100
P03-A36-06	3	5	1,3	1200	40	115	3.0	12	90	99
P04-A36-01	4	1	1,3	800	40	118	3.0	13	70	100
P04-A36-02	4	2	1,3	2500	50	108	3.0	13	70	99
P06-A36-04	6	4	1,3	600	55	130	3.2	13	70	100
P06-A36-05	6	5	1,3	900	45	130	3.2	13	70	100
P08-A36-02	8	2	1,3	600	50	135	3.5	13	70	100
P08-A36-04	8	4	1,3	1000	60	135	3.8	13	70	100
P10-A36-02	10	2	1,3	420	55	140	4.5	13	70	100
P10-A36-03	10	3	1,3	800	60	140	4.5	13	70	100
P12-A36-01	12	1	1,3	280	60	145	5.0	13	70	100
P12-A36-02	12	2	<u>1,3</u>	335	60	145	5.0	13	70	100



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



Tabla de resultados de cortes externos ASTM 304

Probeta	ESPESOR (MM)	PROBETA	CALIBRE BOQUILLA A (MM)	VELOCIDAD AVANCE(MM/MIN)	AMPERAJE (A)	ALTURA (V)	TIEMPO DE PERFORACIÓN (s)	ALTURA INICIAL (mm)	PRESION DE AIRE (PSI)	CICLO DE TRABAJO (%)
P04-INOX-03	4	3	1,3	1200	45	118	3.0	13	70	100
P04-INOX-05	4	5	1,3	1600	50	118	3.0	13	70	100
P06-INOX-01	6	1	1,3	600	45	130	3.2	13	70	100
P06-INOX-04	6	4	1,3	400	45	130	3.2	13	70	100
P08-INOX-02	8	2	1,3	825	60	135	3.5	13	70	100
P08-INOX-05	8	5	1,3	400	60	135	3.8	13	70	99
P10-INOX-01	10	1	1,3	335	60	140	4.5	13	70	100
P10-INOX-05	10	5	1,3	420	62	140	4.5	13	70	100
P12-INOX-03	12	3	1,3	340	60	145	5.0	13	70	100



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO



Tabla de resultados de perforaciones acero AISI 304

Probeta	ESPESOR (MM)	PROBETA	CALIBRE BOQUILLA (MM)	VELOCIDAD AVANCE(MM/MIN)	AMPERAJE (A)	ALTURA (V)	TIEMPO DE PERFORACIÓN (s)	ALTURA INICIAL (mm)	PRESION DE AIRE (PSI)	CICLO DE TRABAJO (%)
P04-INOX-04	4	1	1,3	600	40	123	3.0	13	70	99
P04-INOX-05	4	3	1,3	1600	50	118	3.0	13	70	100
P08-INOX-04	8	4	1,3	400	55	135	3.8	13	70	100
P08-INOX-05	8	5	1,3	400	60	135	3.8	13	70	99

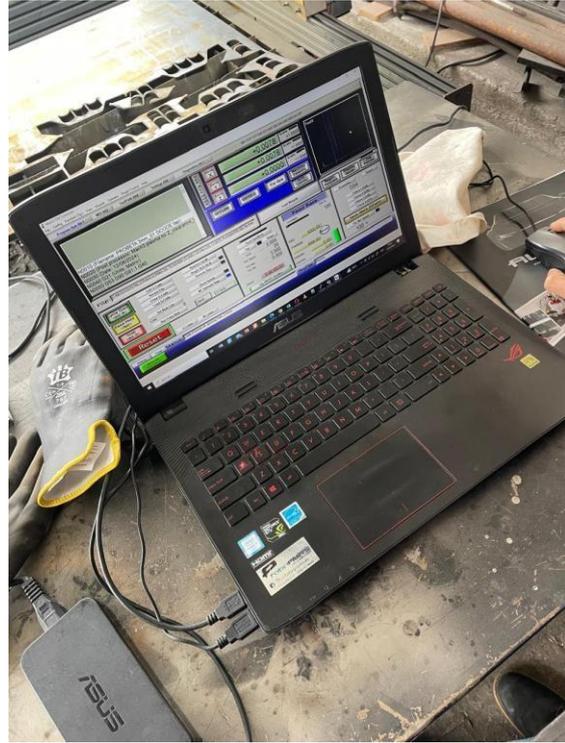


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
SUBDECANATO





UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO





UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-ES-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO





UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-ES-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS
APLICADAS
SUBDECANATO

The logo of the Universidad Técnica del Norte, which is a circular emblem containing a building, a book, and a gear, surrounded by the text 'UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE' and 'IBARRA - ECUADOR'.