

ANALISIS Y MEJORA DEL PROCESO DE CORTE EN LOS PROCESOS
PRODUCTIVOS DE LA MEZCLADORA DE CONCRETO DE CERMAC S.A.S.

JONATHAN DAVID CASAS TIQUE
JUAN DIEGO HERNANDEZ MORENO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ D.C.
2024

ANALISIS Y MEJORA DEL PROCESO DE CORTE EN LOS PROCESOS
PRODUCTIVOS DE LA MEZCLADORA DE CONCRETO DE CERMAC S.A.S.

JONATHAN DAVID CASAS TIQUE
JUAN DIEGO HERNANDEZ MORENO

TRABAJO DE GRADO

DIRECTOR DE TESIS
JAVIER ORLANDO NEIRA RUEDA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ D.C.
2024

INDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	9
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
3.	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	12
4.	OBJETIVOS	12
4.1	OBJETIVO GENERAL	12
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
5.	ALCANCE O DELIMITACIÓN	13
6.	MARCO REFERENCIAL	14
6.1	MARCO ANTECEDENTES	14
6.1.1	<i>Primer Caso</i>	14
6.1.2	<i>Segundo Caso</i>	15
6.1.3	<i>Tercer Caso</i>	16
6.2	MARCO TEÓRICO.....	17
7.	MARCO METODOLÓGICO	21
7.1	ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	21
7.2	TIPO DE INVESTIGACIÓN	21
7.3	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	21
7.4	POBLACIÓN	22
7.5	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	22
7.6	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS.....	23
7.7	ETAPAS DE INVESTIGACIÓN	24
8.	CRONOGRAMA	26
9.	RECOLECCIÓN DE DATOS Y DESARROLLO.....	27
9.1	MAQUINARIA DE CERMAC S.A.S	27
9.2	DIAGRAMA DE PROCESOS.....	30
9.3	PROCESOS DE FABRICACIÓN DE LAS MEZCLADORAS DE CERMAC S.A.S.....	31
10.	RESULTADOS	34
10.1	TIEMPO EMPLEADO POR PROCESO	34
10.2	CÁLCULOS	35
10.3	CÁLCULOS CNC.....	37
10.4	PLANOS	38
10.5	PLANOS CNC.....	40
11.	CONCLUSIONES	45
12.	RECOMENDACIONES	46
13.	ANEXOS	48

14.	BIBLIOGRAFÍA.....	49
-----	-------------------	----

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. PROCESOS DE FABRICACIÓN CON TIEMPOS PARA LAS 13 PIEZAS FUNDAMENTALES DE LA FABRICACIÓN DE LA MEZCLADORA DE CONCRETO EN CERMAC S.A.S.	33
TABLA 2. TABLA DE TIEMPOS EMPLEADOS POR PROCESOS PRODUCTIVO SE IMPRODUCTIVOS DE CORTE EN LAMINA EN MINUTOS.....	35
TABLA 3. TASA DE REMOCIÓN DE LOS PROCESOS DE CORTE CON GAS SEGÚN EL ESPESOR DE LA LÁMINA DADO EN CM ³ /S.....	36
TABLA 4. CONSUMO ENERGÉTICO DE CADA MAQUINA	37
TABLA 5. CÁLCULOS OPERACIONES CON PLASMA CNC.....	38
TABLA 6. CÁLCULOS DE ÁREAS Y DESPERDICIO	39
TABLA 7. CÁLCULOS DE ÁREAS Y DESPERDICIO DE PLANOS PROPUESTOS.....	42
TABLA 8. TIEMPO DE CORTE POR PIEZA Y TOTAL EN LOS PLANOS PROPUESTOS PARA PLASMA CNC.¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
TABLA 9. TABLA COMPARATIVA DE TIEMPOS POR PROCESO DE CORTE.....	42

INDICE DE IMÁGENES

FIG 1. MEZCLADORA BASCULANTE DE CONCRETO	17
FIG 2. CORTADORA DE PLASMA MANUAL	18
FIG 3. CORTE CON ARCO DE PLASMA	19
FIG 4. PULSADOR.....	20
FIG 5. PLASMA CNC	20
FIG 6. EQUIPO DE PLASMA MANUAL QUE USA CERMAC S.A.S	28
FIG 7. CIZALLA HIDRÁULICA DE CERMAC S.A.S.	29
FIG. 8 EQUIPO DE OXICORTE QUE USA CERMAC S.A.S.	29
FIG 9. MAQUINA CNC PLASMA VCM 48.....	30

INDICE DE PLANOS

PLANO1. FONDO DE LA MEZCLADORA	38
PLANO 2. TRAZOS PARA CORTE CON PLASMA MANUAL	39
PLANO 2.1. TRAZO PARA CORTE CIZALLA DEL PLANO 2.....	39
PLANO 3. PRIMERA LAMINA CON TRAZOS DE ASPAS DE REVOLVER PARA PLASMA CNC	41
PLANO 4. TAPA DE CHUMACERA PARA PLASMA CNC.....	41
PLANO 5. ESCUADRA Y MEDIO DEL TAMBOR PARA PLASMA CNC.	42
PLANO 6. CORTES DE DESPERDICIO DE ASPAS DE REVOLVER.	47
PLANO 7. PLANO DE ASPA DE REVOLVER.	47

RESUMEN

El presente documento trata sobre la implementación de tecnología CNC en la empresa metalmecánica en CERMAC S.A.S., una empresa colombiana especializada en la fabricación de maquinaria para la construcción. La empresa ha experimentado un crecimiento en la demanda de su producto principal, la mezcladora de concreto, lo que ha generado la necesidad de mejorar la eficiencia en sus procesos productivos.

Para abordar los desafíos de eficiencia y desperdicio en la producción, CERMAC está evaluando la incorporación de un plasma CNC, que podría optimizar el tiempo de corte y reducir la dependencia de trabajo manual. Este equipo permitiría realizar cortes más precisos y con menor desperdicio de material, en comparación con el plasma manual y el oxicorte utilizados actualmente.

El proyecto incluye un análisis de los procesos actuales de producción, identificando los tiempos y costos asociados con las operaciones de corte. También se plantean propuestas para mejorar la logística y el diseño del área de trabajo con la implementación del plasma CNC. Los resultados sugieren que la tecnología CNC no solo reducirá los tiempos de producción, sino también los costos operativos y energéticos, al disminuir la cantidad de operarios necesarios y el tiempo de inactividad en los procesos.

ABSTRACT

This document deals with the implementation of CNC technology in the metalworking company at CERMAC S.A.S., a Colombian company specializing in the manufacture of construction machinery. The company has experienced a growth in demand for its main product, the concrete mixer, which has generated the need to improve efficiency in its production processes.

To address the challenges of efficiency and waste in production, CERMAC is evaluating the incorporation of a CNC plasma, which could optimize cutting time and reduce dependence on manual labor. This equipment would allow for more precise cuts with less material waste, compared to the manual plasma and oxyfuel currently used.

The project includes an analysis of the current production processes, identifying the times and costs associated with cutting operations. Proposals are also made to improve logistics and the design of the work area with the implementation of CNC plasma. The results suggest that CNC technology will not only reduce production times, but also operating and energy costs by reducing the number of operators required and downtime in processes.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria metalmecánica ha experimentado un impacto positivo debido a la innovación y la reciente creación de nuevos métodos de trabajo en el sector de la construcción, apoyados por programas de transformación. Este sector ha ganado una importancia significativa por sus contribuciones a la economía del país, siendo responsable del 13% del empleo en el PIB industrial [1][2].

Además, representa el 14% de la producción nacional, un logro impulsado por el desarrollo y la implementación de nuevas tecnologías que el mercado actual ofrece y demanda. Un aspecto fundamental de esta transformación es la automatización industrial, que se ha convertido en un objetivo clave dentro del sector [2].

Las empresas del sector están adoptando cada vez más nuevos sistemas y maquinaria de producción para mejorar el desarrollo de sus productos, ya que la eficiencia es esencial para mantenerse competitivas. La adopción de estas tecnologías está desplazando técnicas tradicionales, permitiendo una producción más autónoma y avanzada [3][4].

Sin embargo, el panorama para las PYMES en Colombia dentro del sector es distinto. Muchas de estas empresas operan bajo metodologías que descuidan los procesos de fabricación y desconocen aspectos fundamentales de los mismos, lo que implica falta de conocimiento en áreas clave como los procesos industriales, las normativas de herramientas y la maquinaria necesaria. Esta falta de preparación repercute en problemas de productividad, afectando los tiempos, costos, logística y diseño de sus productos [3][5].

Cermac SAS es una empresa de la industria metalmecánica reconocida por su capacidad de contratación, empleando actualmente a 42 personas en sus procesos de producción. La compañía se destaca en la fabricación de maquinaria liviana para el sector de la construcción, ofreciendo productos como plumas grúa, ranas compactadoras, mezcladoras basculantes de concreto, andamios, cerchas y parales, entre otros.

Este documento presenta un análisis del proceso de fabricación de la mezcladora de concreto de la referencia Cermac, con un enfoque especial en las operaciones de corte, particularmente en el proceso de corte con plasma manual. Este proceso será optimizado mediante la implementación de nueva maquinaria. Aunque Cermac tiene una trayectoria de aproximadamente 10 años en la fabricación de este producto, se adapta de manera más gradual a los cambios tecnológicos del mercado debido a su modelo de negocio y su enfoque en la oferta de empleo para diversos procesos. A pesar de no contar con la maquinaria más avanzada, la empresa dispone de bastante maquinaria estándar que permite la simultaneidad en las tareas, permitiendo que distintos equipos realicen procesos diferentes o, incluso, el mismo proceso.

Para el desarrollo de este análisis, se emplearon una serie de herramientas que permiten presentar la información de manera práctica y enfocada en el desarrollo y análisis del caso. Estas herramientas incluyen: I) la implementación de un nuevo proceso, II) propuestas de corte, y III) planos de referencia y sus respectivas propuestas. Las distintas propuestas y análisis están diseñados con un enfoque práctico, buscando evidenciar los beneficios de incorporar máquinas CNC en empresas de este tipo.

En consecuencia, este documento expone el análisis de operaciones realizadas con diferentes máquinas, y está estructurado en 12 secciones que permitirán no solo conocer a Cermac SAS y sus procesos para la fabricación de la mezcladora, sino también profundizar en una breve investigación sobre los procesos fundamentales y los beneficios que estas mejoras pueden aportar a la empresa.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años, Cermac ha experimentado un aumento significativo en la demanda de sus productos, impulsado por la implementación de nuevas estrategias comerciales que han fortalecido sus ventas a nivel nacional. Este crecimiento también ha llevado a la empresa a tomar la decisión de importar partes de sus máquinas, con el objetivo de reducir costos y mejorar su competitividad en el mercado.

El producto estrella de la empresa es la mezcladora de concreto, cuya demanda ha experimentado un notable incremento, llevando la producción a alrededor de 120 unidades mensuales. Sin embargo, la empresa enfrenta desafíos en su capacidad productiva, ya que sus esfuerzos se han concentrado principalmente en el área de ventas. La maquinaria actual utilizada en los procesos resulta poco eficiente, pues requiere una considerable cantidad de personal y un tiempo prolongado para completar cada operación, lo que impacta negativamente en la productividad general y en la entrega de pedidos.

Con el fin de optimizar la producción, se ha propuesto la adquisición de nueva maquinaria que, en primer lugar, ayude a reducir el desperdicio de materiales y, además, mejore la logística de fabricación y el diseño de sus productos.

Los procesos que se busca mejorar son principalmente los relacionados con el corte de las láminas. La empresa planea adquirir una máquina de corte Plasma CNC con el objetivo de reducir los costos de mano de obra en comparación con el uso de las máquinas de plasma manual. Este cambio es especialmente relevante dado que la producción de muchas de las piezas para las mezcladoras como el chasis o el tambor requieren bastantes procesos de corte.

Actualmente, la empresa utiliza diversas técnicas de corte, como oxicorte, plasma, cizalla, cortadora de ladrillo y, ocasionalmente, apoyo con pulidoras. Estas múltiples etapas son necesarias para obtener diferentes piezas a partir de una misma lámina. Sin embargo, este enfoque resulta ineficiente en términos de tiempo, ya que la falta de precisión en la determinación inicial de los detalles de una pieza a menudo requiere procesos adicionales. Esto no solo incrementa el tiempo de operación, sino que también introduce nuevas etapas, lo que representa un desafío significativo para la empresa en términos de optimización y productividad.

Con la implementación de la nueva máquina CNC en los procesos de corte, se espera que este aporte una solución más eficiente para optimizar la línea de producción de las mezcladoras. El proyecto incluye un estudio detallado para identificar los beneficios que podría generar esta maquinaria, así como propuestas que maximicen sus ventajas. Estas propuestas abarcarán tanto mejoras en la logística de la nueva área de trabajo, como impactos directos en la calidad y con la eficiencia de la producción de las mezcladoras.

3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son los beneficios potenciales de implementar un Plasma CNC en los procesos de corte de láminas de las mezcladoras de concreto fabricadas por CERMAC S.A.S.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar una propuesta que optimice los beneficios de la implementación de un plasma CNC en la línea de producción de la mezcladora de concreto de la empresa CERMAC S.A.S.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la maquinaria operativa de los procesos de corte de láminas para las mezcladoras de concreto, e identificar las características de estas.
- Evaluar la recolección de datos sobre la maquinaria de corte como velocidad de corte, desperdicio, aprovechamiento etc
- Desarrollar propuestas a partir de cálculos generados por la recolección de datos, para fortalecer los beneficios del uso de un Plasma CNC, enfocadas en mejorar la eficiencia y calidad en la fabricación de las mezcladoras de concreto.

5. ALCANCE O DELIMITACIÓN

El desarrollo de este proyecto se llevará a cabo en las instalaciones de CERMAC S.A.S, ubicadas en el barrio El Amparo, en la localidad de Kennedy, en la ciudad de Bogotá. El proyecto se realizará conforme a los parámetros establecidos por la empresa, respetando las limitaciones en cuanto a la provisión de información durante el proceso de investigación y desarrollo. Dicho proceso comenzó en la segunda semana de agosto y está previsto que finalice el 6 de noviembre. El documento estará enfocado en optimizar las operaciones mediante la implementación de la nueva máquina CNC, que CERMAC utilizará para reemplazar los equipos de corte de plasma manual.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1 Marco antecedentes

6.1.1 Primer Caso

Un ejemplo relevante es el caso de la empresa ESMELTAL S.A.C, que fue objeto de estudio por un grupo de estudiantes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad César Vallejo. El estudio reveló las consecuencias que puede enfrentar una empresa debido a la falta de una planta operativa eficiente. En este caso, se identificaron tiempos muertos significativos provocados por fallos en las máquinas de producción, lo que generaba problemas en diversas áreas de la empresa y, en última instancia, pérdidas económicas. El estudio se centró en tres áreas específicas: mecanizado, corte y fresado. Para efectos de este documento, la relevancia recae en las fallas observadas en el área de corte, particularmente en la máquina de sierra de corte [6].

Se detectó que los operarios no realizaban un uso adecuado de la sierra de corte, lo que generaba un promedio de 5 horas semanales de tiempo muerto, además de retrasos de alrededor de 21 horas en los procesos que dependían de los productos. Este mal uso de la maquinaria no solo afectaba la producción, sino también provocaba fallas en la propia máquina, lo que requería un promedio de 7 horas semanales de reparación, cuando lo ideal serían 0.75 horas.

El estudio fue concluyente al señalar que el uso de maquinaria anticuada en cualquier operación resulta ineficiente. A pesar de que las máquinas eran relativamente nuevas, ya presentaban problemas significativos. Con la solución propuesta, solo se logró optimizar parcialmente el tiempo muerto, reduciéndolo a 30 minutos, y el tiempo de reparación disminuyó un 50%, lo cual, aunque positivo, seguía siendo excesivo en comparación con el tiempo esperado.

Además, el estudio destacó que la máquina en cuestión tiene una duración muy variable de las cintas de sierra, lo que impide establecer un promedio confiable de tiempo de corte. Esta variabilidad, sumada a la dependencia del manejo por parte del operario, incrementa las probabilidades de fallas en la producción. Por otro lado, la máquina requiere un mantenimiento intensivo, no solo en la supervisión de las cintas, sino también en la limpieza de las virutas que podrían interferir con su funcionamiento. Incluso, si el motor está expuesto, puede sufrir problemas de sobrecalentamiento por falta de refrigeración o por la acumulación de virutas que afecten su rendimiento [6].

De este modo, se destaca la importancia de modernizar la maquinaria. Aunque eliminar por completo el error humano es difícil, su impacto puede reducirse considerablemente mediante la automatización de los equipos y la implementación de tecnologías avanzadas. La

maquinaria moderna no solo optimiza los tiempos de producción, sino que también reduce muchos de los riesgos asociados a la intervención humana, promoviendo procesos más seguros [7].

6.1.2 Segundo Caso

En este segundo caso se expone un análisis de un par de estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador, quienes basaron su caso de estudio en la empresa INMEDEC. En dicha empresa, analizaron los procesos de corte, identificando máquinas como cizallas, tronzadoras, perfiladoras y plasmas manuales como parte de la maquinaria utilizada. En su documento, justifican cómo la tecnología obsoleta de esta maquinaria expone a los operarios a diversos agentes de riesgo específicos según la operación realizada [8].

Este tipo de maquinaria presenta riesgos de aplastamiento o cortes en las extremidades, siendo las manos y los brazos las partes del cuerpo más vulnerables. La manipulación de piezas metálicas, ya sean láminas o tuberías, es una tarea que requiere que los operarios acomoden las piezas dentro de un rango específico de la máquina. La falta de tecnología de seguridad en estas máquinas aumenta el riesgo de accidentes para los trabajadores [8].

En el caso de las cortadoras de plasma, máquinas esenciales en ciertos procesos de corte específicos de diseño, la investigación en el documento resalta su relevancia para el caso de CERMAC S.A.S., pues esta empresa realizará la modernización de estas máquinas con tecnología de automatización y seguridad mejorada. Los estudiantes resaltan que las máquinas de plasma manuales representan un mayor riesgo para la salud y seguridad del operario, degradando tanto el ambiente de trabajo como su bienestar. Durante su operación, se desprenden gases ionizantes como dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO), cuya emisión depende del gas utilizado en el proceso. Aunque se usen protecciones reglamentarias, la exposición a estos gases es inevitable, y con el tiempo, puede ocasionar efectos nocivos de manera indirecta y prolongada debido a la exposición continua [8].

Adicionalmente, los operarios también enfrentan un riesgo considerable de cortes y amputaciones, especialmente de los dedos. Esto ocurre cuando deben manipular piezas en contacto con el arco de plasma, que puede alcanzar temperaturas de hasta $10,000^\circ\text{C}$, necesarias para cortar el metal. Dada esta situación, se ha propuesto la implementación de una herramienta o máquina más segura, como un plasma CNC. Este equipo no solo reduce significativamente los errores humanos en términos de productividad, sino que también disminuye los accidentes o enfermedades asociadas a la operación de plasmas manuales.

El plasma CNC cuenta con un sistema automatizado que permite, mediante una computadora programada, realizar cortes precisos en un tiempo determinado, minimizando

los accidentes. Durante su operación, el operario solo necesita supervisar el proceso, y en caso de cualquier irregularidad, puede detener la máquina con solo presionar un botón. Además, el CNC permite al operario mantener una distancia segura, evitando la exposición directa a los gases y al arco de plasma. Aunque sigue existiendo el riesgo de errores humanos, como en la colocación de la lámina o en la selección de la pieza a fabricar, estos errores se reducen drásticamente, ya que la mayoría de las tareas se limitan a la supervisión [8][9].

6.1.3 Tercer Caso

El diseño de la tecnología limita la operación de las máquinas debido a las características que se definen en su creación. Durante su desarrollo, se identifica un rango de operaciones en el que la máquina puede moverse. Es importante destacar que el proceso de corte no es uniforme para todos los tipos de láminas. En algunos casos, el calor generado podría deteriorar o crear imperfecciones en las ranuras de corte. Además, la insuficiencia de gas podría afectar la precisión y eficiencia del corte, especialmente en materiales más gruesos. Estas problemáticas fueron abordadas por estudiantes de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, quienes elaboraron un documento completo sobre el diseño de tecnología CNC, al cual aplicaron cuatro grados de libertad para optimizar su funcionamiento [10].

Este proyecto se desarrolla en Colombia, país en el que muchos sectores industriales aún utilizan métodos artesanales y rudimentarios. Ante esta realidad, surgió la necesidad de crear una máquina que acelerara los procesos en la industria metalmecánica, redujera costos y aumentara el valor agregado al producto final. El diseño de esta máquina se enfocó en introducir tecnología avanzada a estos sectores, integrando sistemas CAD/CAM para mejorar la precisión y la automatización.

Uno de los puntos más destacados del proyecto es la inclusión de tecnología avanzada en sectores que tradicionalmente han trabajado de manera rudimentaria. La implementación de máquinas CNC tiene el potencial de transformar la producción, mejorando la competitividad en los mercados regionales de Colombia. El documento técnico se enfoca principalmente en el uso de diferentes tipos de máquinas CNC en la industria metalmecánica, con especial énfasis en el plasma CNC.

El desarrollo del proyecto comenzó con el diseño de la máquina, donde se realizaron los cálculos de fuerza necesarios y se identificaron las piezas clave para su funcionamiento. Se analizaron tanto los componentes mecánicos como los materiales que permitirían a la máquina operar dentro de los límites de rendimiento requeridos. Además, se realizó un estudio exhaustivo de los materiales con los que se trabajaría, definiendo los rangos y dimensiones operativas, lo cual facilitó la relación entre material, piezas y tiempos de trabajo.

Una vez completada la fase de diseño e identificación de los materiales y piezas, el proceso continuó con el ensamblaje de la máquina. Durante esta etapa, se aplicaron estudios de rotación para determinar el rango de acción de la máquina, y se pasó a la programación de sus funciones, utilizando tecnología avanzada para garantizar un funcionamiento eficiente y preciso. Este enfoque no solo mejora la calidad y velocidad del trabajo, sino que también reduce los riesgos de errores humanos y aumenta la productividad en los sectores donde se implemente [10].

6.2 Marco Teórico

Mezcladora basculante de concreto: Esta herramienta es robusta y eficiente para la preparación de mezclas. Su tambor, soldado y ligeramente inclinado para optimizar el proceso, cuenta con tres aletas distribuidas a 120 grados, lo que garantiza una mezcla uniforme de los materiales. El diseño permite que el operario, con ayuda de parihuelas, vierta los agregados, el cemento y el agua dentro del tambor, aprovechando el propio peso del concreto para facilitar el mezclado [11].

Para la descarga, la mezcladora dispone de un sistema que permite al tambor girar en paralelo con el timón, facilitando el vaciado de los materiales. Para el proceso de mezclado, el tambor rota en dirección inversa, perpendicular al suelo. Estas mezcladoras están equipadas con ruedas fijadas al chasis y una barra de remolque, la cual puede estar ubicada en la parte frontal o posterior de la máquina, dependiendo del diseño [12].



Fig 1. Mezcladora basculante de concreto

CNC: El Control Numérico por Computadora (CNC) es una tecnología que automatiza el control de máquinas y herramientas mediante comandos programados por computadora. Este sistema permite controlar con precisión la posición y velocidad de los motores que mueven los ejes de la máquina, logrando movimientos complejos como círculos, líneas diagonales y figuras tridimensionales que serían imposibles de realizar manualmente [13].

Cortadora de plasma: Una cortadora de plasma es una herramienta que emplea la técnica de corte por plasma para cortar materiales metálicos conductores de electricidad, como acero inoxidable, aluminio, cobre o latón. Funciona aplicando calor mediante un gas ionizado a temperaturas superiores a los 30,000 grados centígrados. Este gas, que puede ser nitrógeno, oxígeno o argón, pasa a gran velocidad a través de un canal con un electrodo cargado negativamente. Al aplicar electricidad al electrodo y crear un circuito con el metal, el gas se ioniza y se convierte en plasma, un conductor electromagnético extremadamente caliente. El plasma atraviesa el metal, fundiéndolo y expulsando el material desprendido para generar un corte limpio y preciso. Esta tecnología ha revolucionado la forma de cortar metales, permitiendo cortes rápidos y eficientes en materiales de distintos grosores y formas complejas [14][15].



Fig 2. Cortadora de plasma manual

Corte con arco de plasma: El corte con arco de plasma es un proceso que utiliza una antorcha especializada para generar un chorro de plasma caliente, permitiendo cortar metales conductores de electricidad como el acero inoxidable, el aluminio, el cobre y el latón. En este proceso, se emplea una boquilla de cobre para estrechar y dirigir el flujo de gas ionizado, formando un arco piloto que fluye a través de la boquilla. Este arco luego salta desde el electrodo en la antorcha hasta el material que se está cortando, creando lo que se conoce como un arco transferido. Este arco calienta el metal, lo funde y el gas a presión expulsa el material fundido, generando un corte limpio y preciso. Aunque también existe el “arco no transferido”, este es menos común para aplicaciones de corte.

La boquilla y el electrodo suelen ser de cobre, pero el electrodo lleva un inserto de metal en el punto donde se forma el arco para evitar que el cobre se funda rápidamente. Comúnmente, este inserto es de tungsteno, un material capaz de soportar temperaturas extremadamente altas sin sufrir mucha erosión. Sin embargo, cuando se utiliza oxígeno o aire comprimido como gas de corte, el tungsteno se quema rápidamente. Por ello, en presencia de oxígeno, el inserto del electrodo suele estar hecho de hafnio, un metal que resiste altas temperaturas y es más duradero en estos ambientes, aunque se desgasta con cada encendido del arco.

Este diseño permite que las máquinas de corte por arco de plasma sean eficientes, precisas y duraderas, incluso en condiciones de corte exigentes. Además, esta tecnología ha revolucionado la industria del corte de metales, permitiendo realizar cortes rápidos y eficientes en materiales de distintos grosores y formas complejas, con mínima intervención humana [16][17].

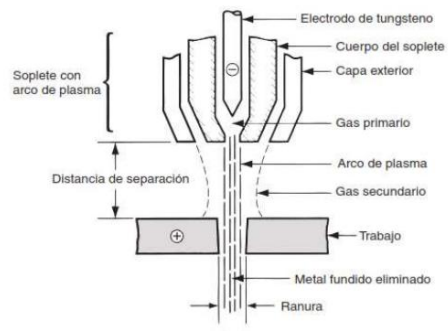


Fig 3. Corte con arco de plasma

Pulsadores: Un pulsador es un interruptor cuya función es permitir o interrumpir el paso de corriente eléctrica de manera momentánea. A diferencia de un interruptor común, un pulsador realiza su función solo mientras se mantiene presionado, sin enclavamiento. Existen dos tipos principales de pulsadores, normalmente cerrados (NC) y normalmente abiertos (NO). En un pulsador normalmente cerrado, el circuito está cerrado por defecto y se abre cuando se presiona el botón. En un pulsador normalmente abierto, el circuito está abierto por defecto y se cierra cuando se presiona el botón [18].

Los pulsadores se diferencian de los interruptores eléctricos comunes, que sirven para desviar u obstaculizar el flujo de corriente eléctrica de forma permanente. Los pulsadores son ideales para aplicaciones donde se requiere un control temporal o momentáneo del flujo eléctrico, como en timbres, botones de reset, y controles de maquinaria [18].

Además, los pulsadores pueden encontrarse en diversas formas y tamaños, adaptándose a diferentes necesidades y entornos. Algunos pulsadores están diseñados para ser resistentes al agua y al polvo, lo que los hace adecuados para su uso en exteriores o en ambientes industriales. Otros pueden tener iluminación incorporada para facilitar su localización y uso en condiciones de poca luz [19].



Fig 4. Pulsador

Plasma CNC: Es una máquina de corte que utiliza un chorro de plasma (un gas ionizado altamente energético que conduce electricidad) para cortar materiales metálicos. El plasma se genera calentando gas mediante un arco eléctrico, que lo convierte en un chorro a alta velocidad capaz de fundir y cortar el material.

La máquina CNC controla el proceso mediante una computadora, que mueve el cabezal cortador de plasma en los ejes X e Y según un diseño preprogramado, permitiendo realizar cortes precisos y complejos [20].



Fig 5. Plasma CNC

Oxicorte: Es un proceso de corte térmico usado principalmente para cortar aceros. Utiliza una mezcla de gas combustible (como acetileno) y oxígeno para generar una llama que calienta el metal hasta su temperatura de combustión (aproximadamente 870°C). Una vez alcanzada esta temperatura, se introduce un chorro de oxígeno puro que provoca una reacción exotérmica, oxidando el metal y expulsando los óxidos resultantes [21].

El éxito del oxicorte se debe a que los óxidos del acero se funden a temperaturas más bajas que el metal base, lo que permite un corte eficiente y continuo. Sin embargo, este proceso no es adecuado para metales cuyos óxidos se funden a temperaturas más altas que el propio metal [22][23].

7. MARCO METODOLÓGICO

7.1 Enfoque de Investigación

El presente proyecto adopta un enfoque cuantitativo, enfocado en la cuantificación y optimización de los beneficios derivados de la implementación de un sistema de corte de plasma CNC en la línea de producción de mezcladoras de concreto. Este enfoque permite analizar y medir variables críticas, tales como tiempos de operación, costos energéticos y tasas de desperdicio de material, con el fin de obtener resultados precisos que faciliten la toma de decisiones fundamentadas en datos. La investigación se basa en la recolección de datos de forma experimental, mediante la observación directa de los procesos de corte y el análisis de la eficiencia de la nueva maquinaria en comparación con los métodos manuales actualmente en uso.

7.2 Tipo de Investigación

El tipo de investigación que se emplea en este proyecto es de carácter descriptivo y experimental. Es descriptivo porque busca detallar y analizar los procesos de producción actuales de Cermac S.A.S., identificando las características y el rendimiento de los métodos de corte manual en comparación con el sistema de corte de plasma CNC. A su vez, es experimental al incluir pruebas y mediciones directas de las variables relacionadas con los tiempos de operación, eficiencia en el uso de materiales, y consumo energético. Estas pruebas experimentales permiten verificar el impacto y los beneficios de la implementación del plasma CNC en el proceso de producción, generando así resultados basados en evidencia concreta.

7.3 Diseño de investigación

El diseño de investigación empleado en este proyecto es de tipo cuasi-experimental con un enfoque comparativo. Este diseño permite evaluar los efectos de la implementación de un sistema de corte de plasma CNC en la producción de Cermac S.A.S., comparando los resultados obtenidos con los métodos de corte manual existentes. A través de la recolección de datos en condiciones controladas y la observación directa de los procesos, se analizan variables como el tiempo de corte, el desperdicio de material y el consumo energético. La estructura cuasi-experimental permite aplicar el cambio en el proceso sin manipular otros elementos externos, asegurando que los datos obtenidos reflejen únicamente el impacto del plasma CNC en comparación con las técnicas actuales.

7.4 Población

Para llevar a cabo este proceso de investigación, se recibió el apoyo de cinco trabajadores de Cermac S.A.S., específicamente del área de corte, quienes proporcionaron datos clave sobre el corte de láminas en la empresa. Cermac es una pyme colombiana reconocida por su interés en impulsar avances tecnológicos en su maquinaria. Actualmente, busca implementar nuevas tecnologías que mejoren sus procesos productivos, y en este caso, brinda apoyo para evaluar los beneficios de la incorporación de una maquinaria nueva para la fabricación de sus productos.

7.5 Instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos en este proyecto, se emplearon tres instrumentos principales, enfocados en la recopilación y organización de información relevante sobre los procesos de corte en Cermac S.A.S. A continuación, se describen cada uno de ellos:

- **Fichas Técnicas de las Máquinas:** Las especificaciones técnicas de las máquinas de corte fueron la fuente principal de datos para los cálculos de consumo energético y potencia operativa. A partir de la información proporcionada en estas fichas, como potencia en kW, voltaje y amperaje, se realizaron estimaciones de consumo bajo condiciones estándar de operación, lo cual permitió obtener una medida confiable para comparar el consumo energético entre los métodos de corte manual y el plasma CNC.
- **Tabla de Registro en Excel:** Se creó una tabla en Excel para organizar y registrar datos específicos relacionados con las piezas procesadas en los diferentes métodos de corte. Esta tabla incluye información detallada como el nombre de cada pieza, el proceso aplicado, sus dimensiones en centímetros, el tiempo de corte en segundos y el calibre (HR) de la lámina en milímetros. La estructura de esta tabla facilitó el análisis de los datos y permitió realizar cálculos adicionales para evaluar el rendimiento de cada método.
- **Diagrama de Procesos en Bizagi:** Se utilizó el software Bizagi para modelar un diagrama de flujo que representa tanto el proceso de corte actual como el proceso propuesto con la implementación del plasma CNC. Este diagrama permitió visualizar los flujos de trabajo, identificar puntos de mejora y comparar ambos procesos en términos de eficiencia y optimización del uso de materiales.

Estos instrumentos proporcionaron una base sólida para el análisis del proceso de corte en la empresa, permitiendo realizar comparaciones objetivas y fundamentadas entre el método de corte manual y el plasma CNC.

7.6 Técnicas de análisis de datos

El análisis de los datos recolectados en este proyecto se llevó a cabo aplicando diversas técnicas y fórmulas que permitieron evaluar el rendimiento de los procesos de corte en Cermac S.A.S., específicamente en la comparación entre el método manual y el sistema de plasma CNC. A continuación, se detallan las técnicas empleadas:

- Cálculo del ancho de la ranura (Kerf Width) [24]: Se utilizó la fórmula:

$$w = k \times I^{0.5}$$

w = Ancho de la ranura (kerf width, mm).

I = Intensidad de la corriente (amperios).

k = Constante que depende del tipo de material y el gas.

- Tasa de remoción de material (MRR) [25]: Para medir la cantidad de material eliminado durante el corte, se aplicó la siguiente fórmula:

$$MRR = V_c \times t \times w$$

MRR = Tasa de remoción de material (mm³/min o in³/min).

V_c = Velocidad de corte (mm/min o pulgadas/min).

t = Grosor del material (mm o pulgadas).

w = Ancho de la ranura de corte (kerf width, mm o pulgadas).

- Estimación de consumo energético: Basándose en las especificaciones técnicas de las máquinas, se calcularon los valores de consumo energético en kW utilizando las fichas técnicas, lo que permitirá una comparación del consumo energético entre los métodos de corte.
- Evaluación del desperdicio de material: A partir de las dimensiones de las láminas y el ancho de corte, se calcularon las áreas de material desperdiciado y aprovechado, lo cual fue fundamental para analizar la eficiencia del plasma CNC frente al corte manual.
- Análisis comparativo con diagramas de procesos: Se emplearon diagramas de flujo elaborados en Bizagi para comparar visualmente el proceso actual con el proceso propuesto, permitiendo una evaluación en términos de eficiencia de tiempo y reducción de desperdicio de material.

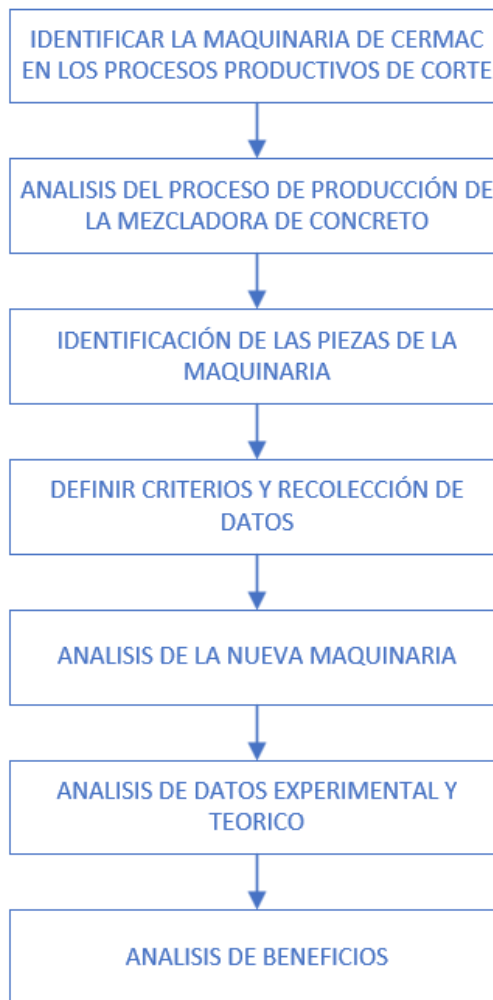
Estas técnicas y cálculos proporcionaron una visión de detallada de los beneficios que ofrece el plasma CNC, facilitando una toma de decisiones informada en el proceso de producción de Cermac S.A.S.

7.7 Etapas de investigación

La primera fase de la investigación se centró en la identificación de la empresa, comenzando por un análisis detallado de los procesos productivos en Cermac. En segundo lugar, para enriquecer la investigación, se realizó una identificación exhaustiva de la maquinaria utilizada en los procesos productivos de corte. Es importante señalar que, para evaluar los beneficios de la implementación de la nueva maquinaria, se debe contar con un punto de comparación, que en este caso será la maquinaria actualmente empleada en Cermac.

Posteriormente, se procederá con la identificación específica de la maquinaria que se desea implementar. Como se menciona en la introducción, este proyecto está relacionado con los procesos vinculados a la maquinaria principal de Cermac, la mezcladora de concreto. Por lo tanto, se analizará esta maquinaria, apoyándose en un diagrama de procesos y planos, para identificar las piezas clave involucradas en los procesos de corte.

Para fines analíticos, se recopilarán datos sobre tiempos de corte, tiempos de operación, tiempos muertos, entre otros. Casi al final del proceso, se realizará la identificación de la nueva maquinaria, respaldada por sus características técnicas. Finalmente, se llevará a cabo una comparación utilizando un diagrama de procesos proyectado que permita evaluar su posible implementación en la empresa.



Flujo 1. Proceso metodológico

8. CRONOGRAMA

Cronograma												
Semanas												
Actividades por seguir	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Análisis del estado actual de los procesos con lamina	X	X	X									
<u>Recolección de resultados y</u> Análisis Trabajos de corte de lamina			X	X	X							
Estudio de posibles mejoras				X	X	X	X					
Diseño de propuestas						X	X	X	X			
ajustes de la propuesta									X	X	X	
Documentación final. Evaluación final										X	X	X

9. RECOLECCIÓN DE DATOS Y DESARROLLO

El desarrollo de este proyecto se centrará en proporcionar información más detallada sobre algunos procesos de CERMAC, lo que permitirá cumplir con los objetivos planteados en este documento. La fabricación de las mezcladoras de concreto de CERMAC S.A.S. involucra una serie de procesos, principalmente de corte. Desde la llegada de la lámina a la bodega, el proceso comienza con su traslado a las áreas de corte de lámina, donde se utilizan cizalla y plasma manual, como se muestra en el diagrama 1 (Ir a anexos). Posteriormente, tras el ensamblaje de algunas piezas, es necesario realizar ajustes en los detalles de unión y diseño de la mezcladora mediante oxicorte. Estos tres métodos de corte —cizalla, plasma manual y oxicorte— son los principales en los que se enfocará esta investigación.

Además, en algunos casos se emplea la pulidora para realizar acabados en la soldadura o retoques en la lámina. Aunque se trata de un proceso de corte, no se le otorga mayor consideración, ya que, como se observa en el diagrama 1, su uso está orientado a resolver problemas de diseño en los procesos de ensamblaje y soldadura.

CERMAC tiene como objetivo optimizar sus procesos de corte, dado que esta área genera elevados costos de mano de obra debido a la cantidad de personal requerido. Las operaciones de corte representan aproximadamente el 40% de los procesos involucrados en la fabricación de las mezcladoras.

9.1 Maquinaria de CERMAC S.A.S

En Cermac, se utilizan tres tipos principales de procesos de corte para el procesamiento de la lámina para el ensamble de las mezcladoras: I) Corte con plasma, II) corte con cizalla hidráulica y III) corte con oxicorte. El corte por plasma manual se realiza con equipos de la marca Sweiss (Fig 6), los cuales solo pueden ser operados por una persona durante su uso. Para optimizar los procesos, se requiere un equipo de cinco empleados que gestionan las cinco máquinas de plasma disponibles en la empresa. Cada operador se encarga de abastecer a un grupo de empleados responsables del ensamblaje de la mezcladora.

Además, la empresa cuenta con una cizalla hidráulica de la marca Baykal (Fig 7), operada por un único trabajador, quien es responsable de suministrar todos los cortes necesarios para los distintos procesos de producción ya sea de ensamble o para la corrección de piezas que resulte de errores del proceso con el plasma.

Por último, se utilizan cinco máquinas de oxicorte marca Victor Journeyman (Fig 8), para los pasos finales en la fabricación de la mezcladora. Estas son especialmente útiles para realizar cortes de unión entre piezas o para corregir trabajos previos realizados con el

plasma, estas máquinas están distribuidas por los grupos de ensamble, cada grupo cuenta con una.

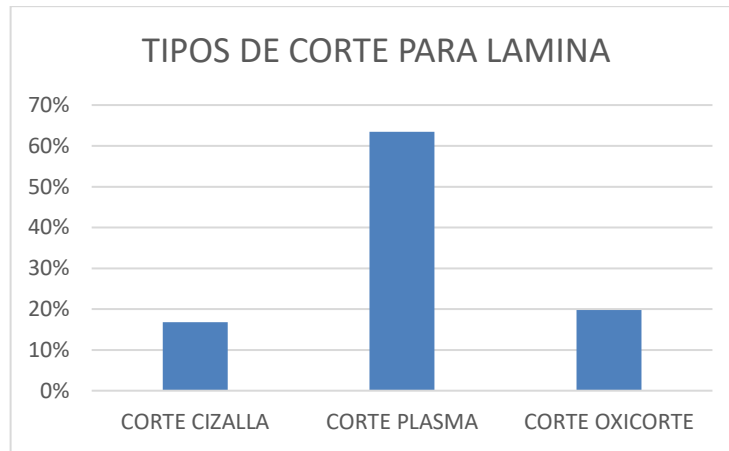


GRAFICO 1. Porcentaje del tiempo empleado por operación.

PLASMA MANUAL:



Fig 6. Equipo de Plasma manual que usa cermac s.a.s

Características [26]

- Marca: Sweiss
- Modelo: SKYCUT 660
- Voltaje: 220V
- Potencia: 10500W
- Espesor máximo de corte: 35mm

- Amperaje: 60^a
- Frecuencia: (50-60)Hz

CIZALLA:



Fig 7. Cizalla hidráulica de Cermac s.a.s.

Características [27]

- longitud máxima de la hoja: 3060 mm
- espesor máximo de la chapa: 6 mm
- número máximo de carreras: 20/min
- ángulo de corte: 1,6°
- carrera de tope trasero: 750 mm
- potencia del motor: 11 kW
- presión hidráulica: 200 bar
- capacidad del depósito de aceite: 160 l
- alimentación eléctrica: 3×400 V; 50 Hz
- dimensiones totales (largo x ancho x alto): 3860 x 2560 x 1560 mm
- peso total de la máquina **HGL 3106**: 5500 kg

EQUIPO DE OXICORTE:



Fig. 8 Equipo de oxicorte que usa Cermac s.a.s.

Características [28]

- Longitud de corte: 8"
- Calor: 1.118.000 BTUs/hora
- Voltaje: 345V
- Gas: Propano
- Angulo de corte: 90 grados
- Amperaje: 40^a
- Potencia: 8000

PLASMA CNC:



Fig 9. Máquina CNC plasma VCM 48

Características [29]

- Capacidad para laminas: 1300 mm x 2500 mm
- Desplazamientos: X 2500 mm, Y 1300 mm, Z 150 mm
- Velocidad de desplazamiento: 4000mm/min
- Motores paso a paso: 1200 oz
- Control de altura
- Software: MACH 3 (Operación de corte) y SHEETCAM (Proceso parte)
- Capacidad de parrilla y tina: 350kg
- Potencia: 9.6Kw

9.2 Diagrama de Procesos

Con el propósito de comprender el flujo de trabajo y las etapas involucradas en el proceso de corte manual en Cermac S.A.S., se desarrolló un diagrama que detalla cada fase y las interacciones entre los diferentes pasos de dicho proceso. Este diagrama, identificado como Diagrama 1 (ver anexos), permite a los investigadores identificar las áreas clave de mejora y establecer una base sólida para realizar comparaciones con el proceso propuesto, que incluirá la implementación del plasma CNC.

El Diagrama 1 divide el proceso de fabricación de las mezcladoras en cinco fases distribuidas en tres áreas de trabajo. Para este proyecto, se destacaron en color rojo las áreas específicas que serán modificadas con la incorporación de la nueva máquina plasma CNC, enfocándose principalmente en las operaciones de inspección y diseño de corte.

Estas modificaciones se reflejarán con mayor claridad en el proceso optimizado, representado en el Diagrama 2 (ver anexos), el cual ilustra el flujo de trabajo propuesto tras la implementación de la nueva tecnología.

NOTA: los diagramas completos se presentan como Anexos, permitiendo una referencia visual detallada del proceso actual.

9.3 Procesos de fabricación de las mezcladoras de CERMAC S.A.S

Los procesos de fabricación de Cermac SAS se dividen en diez etapas, de las cuales cuatro corresponden a corte. Los tres procesos mencionados anteriormente son los que dan inicio a la cadena de valor de las mezcladoras. El proceso inicia con corte de la lámina para obtener las diferentes piezas que se mencionan en la Tabla 1, en esta tabla se muestran los tiempos requeridos para cada uno de estos procesos de corte; Cabe aclarar que estos tiempos reflejan únicamente el tiempo de operación en la fabricación de la mezcladora y no incluyen tiempos muertos ni el tiempo de uso por máquina específica. Es importante señalar que los tiempos varían en función de factores como la distancia de corte, el calibre de la lámina y agilidad del operario.

No. Pieza	Nombre	Proceso	Dimensión	Valor (centímetros)	Tiempo de corte (segundos)	HR Calibre (milímetros)
1	Chasis inferior	Cizalla	Alto	92,50	3,76	3,00
			Largo	10,00	3,76	
			Ancho	5,00	3,76	
2	Chasis trasero	Cizalla	Alto	63,00	3,76	3,00
			Largo	10,00	3,76	
			Ancho	5,00	3,76	
3	Chasis Frontal	Cizalla	Alto	92,50	3,76	3,00
			Largo	10,00	3,76	
			Ancho	5,00	3,76	
4	Tapa chasis frontal	Cizalla	Alto	38,00	3,76	3,00
			Ancho	10,00	3,76	
5	Pata chasis frontal	Cizalla	Alto	20,00	3,76	3,00
			Ancho	11,00	3,76	
6	Angulo chasis trasero	Cizalla	Alto	60,00	3,76	2,50
			Ancho	8,50	3,76	
7	Platina volante	Cizalla	Alto	24,50	3,76	2,50
			Ancho	5,00	3,76	
8	Basculante	Cizalla	Alto	135,00	3,76	5,00

			Largo	10,00	3,76	
			Ancho	5,00	3,76	
9	Aspa de centro	Cizalla	Alto	29,00	3,76	3,00
			Ancho	5,00	3,76	
10	Aspa de revolver	Plasma	Longitud 1	11,00	4,93	3,00
			Longitud 2	12,18	5,46	
			Longitud 3	22,00	9,87	
			Longitud 4	23,36	10,47	
			Longitud 5	7,16	3,21	
			Longitud 6	55,50	24,89	
		Oxicorte	Radio 1	3,00	16,83	
			Radio 2	1,50	8,42	
			Radio 3	1,00	5,61	
			Longitud 1	8,79	7,85	
			Longitud 2	9,04	8,07	
11	Tapa de chumacera	Plasma	Radio 1	16,50	7,40	3,00
			Alto	5,00	2,24	
			Ancho	5,00	2,24	
			Longitud 1	1,42	0,64	
			Longitud 2	1,66	0,74	
			Longitud 3	5,59	2,51	
		Oxicorte	Radio 1	5,00	28,05	
			Radio 2	1,63	9,12	
			Arco	6,50	23,21	
			Longitud 1	4,18	3,73	
			Longitud 2	4,18	3,73	
12	Escuadra	Plasma	Longitud 1	27,50	12,33	2,50
			Longitud 2	27,50	12,33	
			Longitud 3	2,47	1,11	
			Longitud 4	2,47	1,11	
			Arco 1	2,57	1,15	
			Arco 2	31,98	14,34	
			Arco 3	2,57	1,15	
		Oxicorte	Alto	5,21	4,65	
			Ancho	6,00	5,36	
			Longitud 1	6,01	5,37	
			Longitud 2	1,69	1,51	
			Longitud 3	1,69	1,51	

13	Frente del tambor	Plasma	Longitud 1	38,00	17,04	2,50
			Longitud 2	38,00	17,04	
			Arco 1	140,00	62,78	
			Arco 2	235,00	105,38	
14	Medio del tambor	Plasma	Arco 1	1400,00	627,80	2,50
			Arco 2	2350,00	1053,81	
			Longitud 1	380,00	170,40	
			Longitud 2	380,00	170,40	

Tabla 1. Procesos de fabricación con tiempos para las 13 piezas fundamentales de la fabricación de la mezcladora de concreto en cermac s.a.s.

NOTA: La tabla presenta seis categorías con variables específicas para su diseño. Incluye el nombre de la pieza, el proceso necesario para su fabricación, y todas las dimensiones correspondientes, expresadas en centímetros. Estas dimensiones ya han sido estandarizadas previamente por el fabricante. Además, se detalla el tiempo de corte promedio para cada dimensión de las piezas, calculado a partir de un análisis en el que se registraron siete mediciones por operario para cada pieza mencionada en la tabla 1. Cabe destacar que en este estudio participaron cuatro operarios especializados en maquinaria de plasma.

Por último, la tabla incluye el calibre de la lámina requerido para cada pieza. Los datos recopilados se utilizarán para realizar cálculos específicos que permitirán generar planos para la operación del plasma CNC, optimizando así el proceso y reduciendo el nivel de desperdicio en el área total de la lámina.

10. RESULTADOS

10.1 Tiempo empleado por proceso

El tiempo es una la variable principal de estos procesos de producción, ya que representa una clave limitante para la fabricación de las mezcladoras. El conjunto de cada unidad puede variar entre uno y dos días de trabajo, lo cual depende en gran medida de la continuidad constante del proceso productivo. En términos prácticos, estos dos días representan alrededor de 12 horas de trabajo exclusivo en el ensamblaje.

La jornada laboral para cada trabajador es de 8 horas, las pausas frecuentes generan tiempo muerto, con un promedio de 2 horas diarias de inactividad. Además, las constantes inspecciones a lo largo del día producen pequeñas interrupciones adicionales, que reducen aún más el tiempo efectivo.

El conjunto de las mezcladoras y la producción de sus piezas son procesos que ocurren en simultáneo, ya que se mantiene un inventario mínimo para tres mezcladoras. Esto significa que siempre deben estar disponibles las piezas necesarias para el ensamblaje de al menos tres unidades.

La Tabla 2 muestra los tiempos empleados en la fabricación de todas las piezas de una mezcladora, desglosando tiempos de operación (OP), tiempos muertos por operación (TMO) y tiempos muertos por factores humanos (TMT). Los OP representan los períodos de operación plena en los que se lleva a cabo el proceso sin interrupciones menores; los TMO corresponden a pausas para inspecciones o micro pausas tomadas por el operario; y los TMT son tiempos en los que el operario se desvincula de la operación para asuntos no relacionados con la operación, como las frecuentes que se identificaron que son para refrigerios.

En cuanto a los tiempos de corte de cizalla, plasma manual y oxicorte, estos se llevan a cabo en 33, 103 y 21.16 minutos respectivamente. Cada proceso es realizado por un operario distinto y de forma secuencial y simultánea, esto se puede evidenciar en los diagramas propuestos en el anexo. La secuencia empieza con el corte en cizalla y plasma; la cizalla prepara la lámina para la fabricación de cortes rectangulares que irán más tarde a ensamble o pasarán a cortes con plasma manual. A continuación, el corte por plasma manual utiliza laminas enteras o las piezas precortadas de la cizalla para crear piezas específicas y únicas que solo se puedan usar para las máquinas de la empresa. Finalmente, el oxicorte se aplica durante el proceso de ensamble, esto con el finde crear cortes que permitan unir y ajustar las piezas previamente cortadas.

En resumen, el tiempo total requerido para los 2 primeros procesos son los de corte y producción de las piezas de una mezcladora es de 2,27 horas. Cabe destacar que el

oxicorte no se cuenta dentro de los primeros procesos, pues este corte es realizado por parte de los soldadores, ya que es un proceso de ajuste y unión que se realiza con las medidas que solo se pueden saber después de ciertos procesos de ensamble.

PROCESOS	O.P	T.M.O	T.M.T
Cizalla	33	34	12
Plasma	103	40,8	30,2
Oxicorte	21,16	22,6	10,4

Tabla 2. Tabla de tiempos empleados por procesos productivo se improductivos de corte en lámina en minutos

NOTA: Los datos presentados en la tabla 2 corresponden a los tiempos promedio, en minutos, de cada etapa del proceso de fabricación de una mezcladora de concreto en un día de trabajo típico. Estos tiempos fueron registrados considerando el total del tiempo productivo, descontando pausas y tiempos muertos, los cuales se contabilizaron por separado. Posteriormente, se sumaron los tiempos registrados y se calcularon los promedios de cada etapa del proceso. Este análisis se realizó sobre un total de 23 mezcladoras fabricadas en un período de 15 días.

10.2 Cálculos

Los cálculos que se implementarán tienen como objetivo optimizar la distribución de corte en las piezas, así como calcular los costos energéticos generados por cada máquina. Esto permitirá evaluar la eficiencia energética y comparar los procesos actuales con los nuevos que introducirá el plasma CNC. En el caso de la cizalla, el ancho de corte se determina por el grosor de la cuchilla y no por la intensidad de la corriente, lo cual lo excluye de esta fórmula.

- **Ancho de la ranura**

$$w = k \times I^{0.5}$$

w = Ancho de la ranura (kerf width, mm).

I = Intensidad de la corriente (amperios).

k = Constante que depende del tipo de material y el gas.

Aplicando esta fórmula, se obtuvieron los siguientes valores: el plasma manual genera un ancho de corte de aproximadamente 1.18 mm en los calibres que maneja la empresa para la mezcladora, mientras que el oxicorte produce un ancho de 4,11 mm. Estos resultados se basan en las características mostradas en las imágenes 6 y 8. Por otro lado la cizalla por datos proporcionados por la empresa se trabajará en este documento un ancho de ranura de 0.12mm, estos resultados se usan para la planificación de los planos de corte, con el fin de considerar una distancia prudente entre pieza y pieza.

- **Tasa de remoción**

Con el ancho de corte determinado, se puede calcular la tasa de remoción de material (MRR), que mide la cantidad de material eliminado durante el corte y se calcula como:

$$MRR = V_c \times t \times w$$

MRR = Tasa de remoción de material (mm³/min o in³/min).

V_c = Velocidad de corte (mm/min o pulgadas/min).

t = Grosor del material (mm o pulgadas).

w = Ancho de la ranura de corte (kerf width, mm o pulgadas).

Utilizando las velocidades de corte específicas de cada proceso (indicadas en la tabla 1) y considerando los grosores de 2.5 mm y 3 mm, también señalados en la misma tabla, se calcularon las tasas de remoción, cuyos resultados se presentan en la tabla 3 en unidades de mm³/s. Estos valores detallan la cantidad de residuos generados por segundo para cada tipo de corte y calibre. Dichos residuos representan la cantidad de viruta o material desperdiciado durante el proceso de corte. Este cálculo es fundamental para determinar la pérdida de material de la lámina al emplear cada método de corte y será un insumo clave en los análisis posteriores del nivel de desperdicio durante cada proceso.

PROCESO	CALIBRE MM		Unidades
	2,5	3	
Plasma	0,0055785	0,0078943	cm ³ /s
Oxicorte	0,0115080	0,0138096	cm ³ /s

Tabla 3. Tasa de remoción de los procesos de corte con gas según el espesor de la lámina dado en cm³/s

NOTA: El volumen del desperdicio en la cizalla está calculado con la longitud total permisible de la cuchilla la cual es de 2.5m, para cálculos con estos valores se tendrá que ajustar de acuerdo con la proporción de corte.

Por otro lado, las máquinas de corte actualmente operadas en Cermac arrojan los resultados de consumo energético detallados en la tabla 4. Considerando que el costo de energía para Cermac S.A.S. es de \$756.8 COP por kWh, el consumo energético total por máquina para estos tres procesos de corte asciende a \$50206.3 COP. Este cálculo toma en cuenta los datos operativos presentados en la tabla 2, y permite estimar los costos específicos asociados al consumo energético de cada proceso.

Proceso	Potencia	Consumo kW/h
Plasma	10,5 Kw	8,25363553
Oxicorte	8 kW	30,651341
Cizalla	11 kW	26,05606004

Tabla 4. Consumo energético de cada máquina

- **Calidad del borde [30]**

Ya proporcionados los valores de las variables de corte como lo son la velocidad, anchura de la ranura y tasa de remoción solo queda saber la calidad del corte, pues cabe destacar que el oxicorte siendo un proceso auxiliar de la soldadura no está hecho para cortes con alta calidad en el acabado, teniendo en cuenta lo anterior, la calidad del borde cuenta con la siguiente formula:

$$Ra = k \times Vc1$$

Ra = Rugosidad promedio del borde (µm o pulgadas).

Vc = Velocidad de corte (mm/min o pulgadas/min).

k = Constante que depende del material y las condiciones de corte.

Este cálculo permite entender la calidad del borde en función de la rugosidad, donde un valor mayor indica una superficie más rugosa. Utilizando los datos específicos de velocidad para oxicorte y plasma manual, se tienen los siguientes resultados:

- El corte por oxicorte tiene una rugosidad promedio de **1.34 µm**, reflejando un acabado adecuado para cortes de baja precisión.
- El plasma manual, con una rugosidad de **0,34 µm**, ofrece un acabado de mejor calidad y mayor suavidad.

Este cálculo nos permite evaluar la calidad de los dos procesos de corte analizados. Un valor de rugosidad $Ra > 1$ indica un corte con alta rugosidad, lo que podría requerir un proceso adicional de pulido para mejorar el acabado. Por esta razón, se busca mantener el valor de $Ra < 1$, ya que cuanto más cercano esté a 0, más fino será el corte, garantizando un acabado más preciso y de mayor calidad para el diseño final.

10.3 Cálculos CNC

La maquinaria CNC que se pretende adaptar a los procesos de producción a cermac s.a.s. es una VCN 48 como se puede ver en la Fig 9. Los cálculos realizados para esta máquina aparecen en la tabla 5 donde se podrán ver los resultados de la aplicación de las fórmulas usadas en el anterior apartado, donde estas se resolvieron para obtener cálculos teóricos sobre como sería su producción.

PROCESO	CALIBRE MM		Unidades
	2,5	3	
Ancho de la ranura	0,120	0,140	cm
Tasa de remoción	0,00175	0,00210	cm ³ /s
Calidad del borde	0,250	0,250	μm
Velocidad de corte	5,833	5,000	cm/s

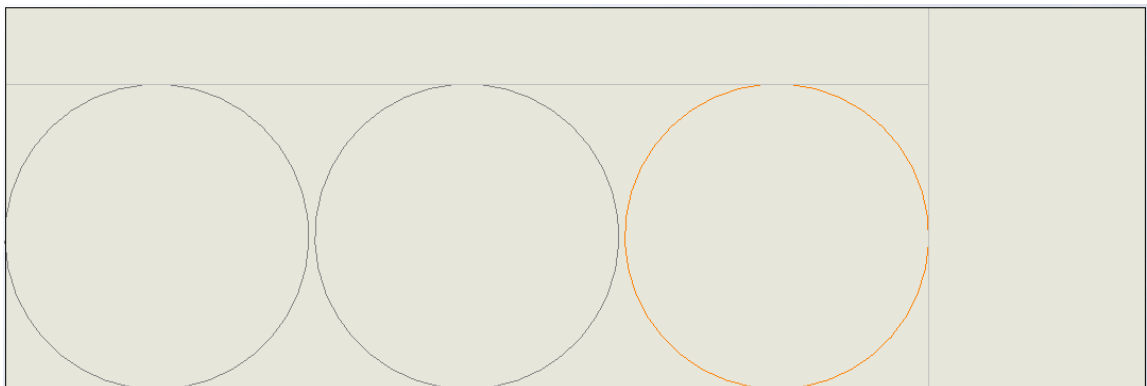
Tabla 5. Cálculos operaciones con Plasma CNC

NOTA: Esta tabla presenta los valores obtenidos tras la implementación de los cálculos descritos en el apartado 10.2. En ella se reflejan los resultados correspondientes a los dos calibres utilizados en la empresa, junto con una columna específica que detalla las unidades asociadas a cada cálculo.

10.4 Planos

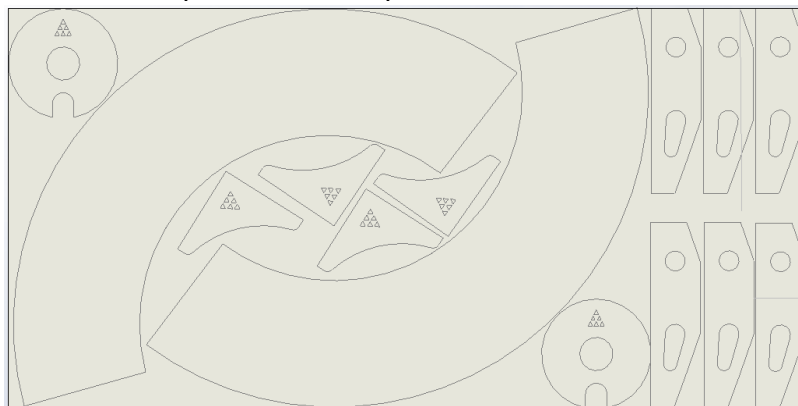
Actualmente, en CERMAC se trabajan dos tipos de planos en la lámina utilizada. El primero corresponde a los fondos de tambor, los cuales se elaboran a partir de una lámina de 3 mm con dimensiones de 1000 mm x 3000 mm. De esta lámina, es posible obtener tres fondos para tres mezcladoras, como se muestra en el plano 1. Este proceso se relaciona con las operaciones 4 y 6 descritas en el diagrama 1. Para ello, se utiliza primero la cizalla y luego el corte por plasma, ya que es necesario reducir la lámina. Con la cizalla, se rebajan 58 cm a lo largo del lado derecho y 18 cm a lo ancho en la parte superior, eliminando el exceso para aprovechar mejor el material y obtener piezas que se destinarán a la fabricación del chasis.

Nota: En cuanto a la lámina destinada al chasis, esta no genera desperdicio, ya que sus cortes se realizan íntegramente con cizalla y no requieren de planos específicos. Simplemente se ajustan a las medidas pautadas, logrando cortes precisos que coinciden con las dimensiones iniciales de la lámina siguiendo la línea de procesos del proceso 10 al 17 como se puede ver en el diagrama 1. Los sobrantes de material de otros procesos como lo es la lámina con destino para fondos se aprovechan para la fabricación de otras partes del chasis.

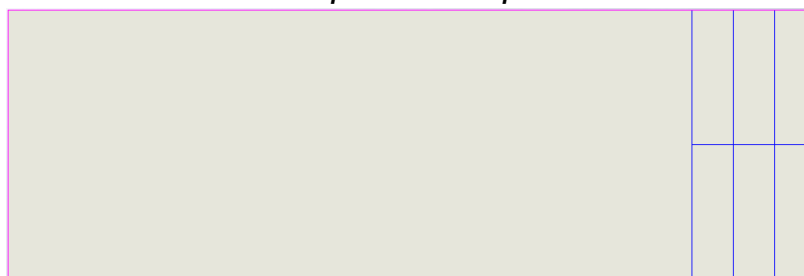


Plano1. Fondo de la mezcladora

En el plano 2 se puede observar la distribución de la segunda lámina que tiene dimensiones de 1.2 x 2.4 metros correspondiente a las piezas 10, 11, 12 y 14 planteadas en la tabla 1, este plano también requiere de los procesos de corte de cizalla teniendo como referencia el plano 2.1, donde se realizan cortes con cizalla para obtener 7 pedazos de lámina donde 6 de ellos serán destinados para realizar aspas de revolver.



Plano 2. Trazos para corte con plasma manual



Plano 2.1. trazo para corte cizalla del plano 2

A partir de los datos obtenidos en el apartado de los cálculos, se presentan en la tabla 6 los resultados sobre el área aprovechable de la lámina y el porcentaje de desperdicio generado tras los procesos de corte con la maquinaria anticuada de Cermac S.A.S. Se evidencia que el desperdicio de la lámina supera el 15%, lo que equivale a más de 4320 cm³ de material perdido.

	Plano 1	Plano 2	UNIDADES
% DESPERDICIO	16,54	19,09	%
Aprovechada	15079,64	19618,55	CM ³
Desperdicio	4764,36	5496,91	CM ³
Aprovechable	10228	3684,54	CM ³

Tabla 6. Cálculos de áreas y desperdicio

Nota: La tabla 6 muestra los desperdicios generados en cada plano, expresados como un porcentaje. Este porcentaje se calculó a partir de los datos previamente registrados, como el área aprovechada, que corresponde al área utilizada para fabricar piezas exclusivas para las mezcladoras. También incluye el área aprovechable,

que corresponde a cortes realizados con potencial uso en futuros productos de Cermac. Por último, se presenta el área de desperdicio, que representa el material que no se utilizará y será destinado a recolección y desecho. Este último valor se calcula considerando la parte de la lámina que no puede ser aprovechada y la tasa de remoción obtenida en el apartado 10.2, ajustada según las características de las piezas fabricadas en cada plano.

OBSERVACIÓN: Para maximizar el área aprovechable, se procura que los fragmentos de material sobrante tengan forma rectangular, lo que facilita su procesamiento en la cizalla y minimiza el desperdicio.

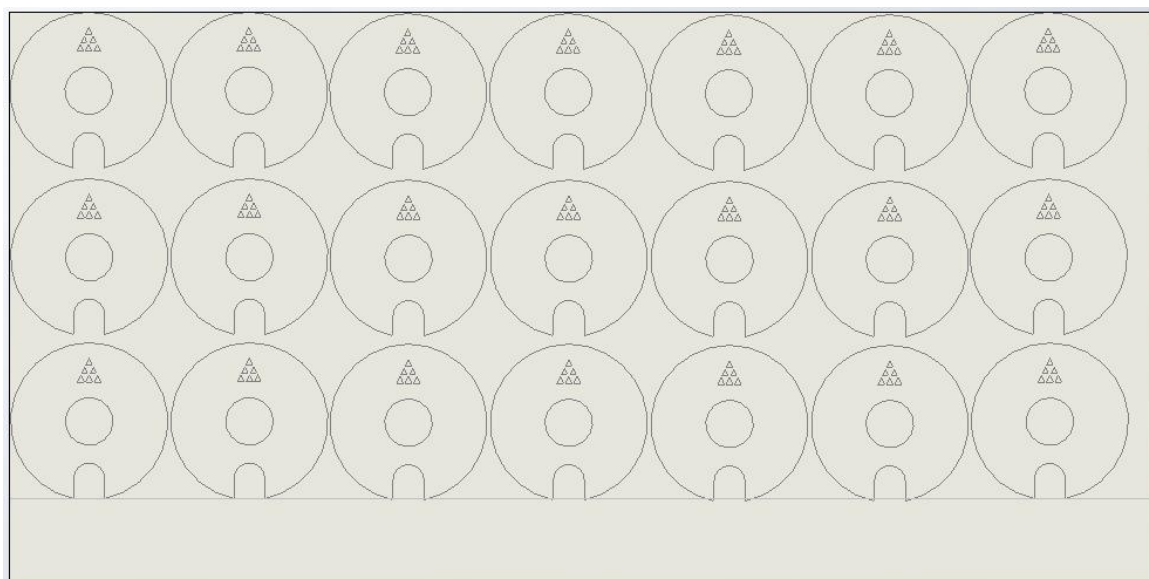
Según la tabla 6, se evidencia que los planos utilizados por CERMAC para los cortes de la lámina permiten aprovechar áreas sobrantes. Estas áreas corresponden a fragmentos que se reutilizan en otras máquinas, donde en su mayoría ya no es necesario el uso de plasma. Como se muestra en el diagrama 1 (Ir a anexos), este proceso forma parte de la operación 3, en la cual se vuelve a evaluar la necesidad de procesos con cizalla. Primero se recortan algunos fragmentos y luego se ajustan a las medidas requeridas para otras piezas. Por otro lado, el Plano 1 se destaca por tener un menor porcentaje de desperdicio (16,54% frente a 19,09 cm³ del plano 2), lo que indica una mejor optimización del material. En conjunto, el Plano 1 es más eficiente, con un menor desperdicio proporcional y un mayor aprovechamiento del material disponible.

10.5 Planos CNC

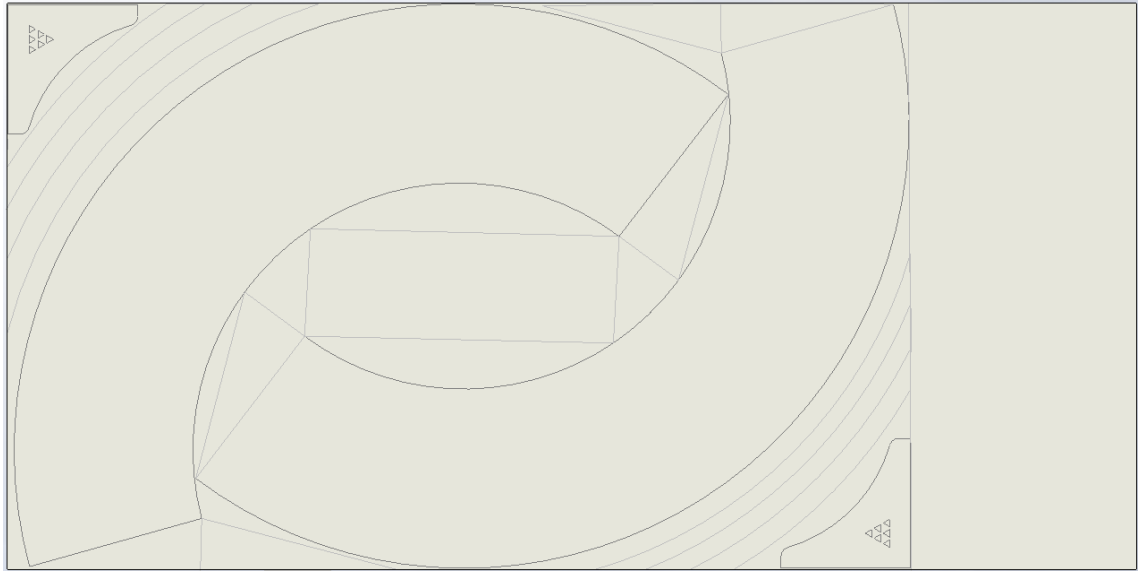
Se han creado la propuesta de tres planos en vez de 2, denominados Plano 3, Plano 4, y Plano 5, en la Tabla 7, los cuales presentan mejoras importantes en cuanto al aprovechamiento del material y la reducción del desperdicio, pues comparado con los planos 1 y 2, los desperdicios generados son menores al 15%, estos planos proponen manejar más la fabricación repetitiva, donde la lámina genere en su mayoría una secuencia de una misma pieza.



Plano 3. lámina con trazos de aspás de revolver para plasma CNC (Para 10 mezcladoras)



Plano 4. Tapa de chumacera para plasma CNC (Para 21 mezcladoras)



Plano 5. Escuadra y medio del tambor para plasma CNC (Para 1 mezcladora)

Con ayuda de los calculos y resultados plasmados en la tabla 5, se genera la tabla 7 donde se evidencia el desperdicio de la lamina con respecto a la propuesta de estos planos, como primera observación es que los datos de los planos 3 y 4 correponde a lamina con longitudes de 1.2x1.4 metros y el plano 5 corresponde a una lamina de longitud de 3x1 metro.

	PLANO 3	PLANO 4	PLANO 5	UNIDADES
% Desperdicio	12,27	12,65	4,33	%
Aprovechada	16448,03	15128,37	13409,99	CM ³
Desperdicio	3532,73	3642,30	1246,58	CM ³
Aprovechable	8819,24	10029,33	14143,43	CM ³

Tabla 7. Cálculos de áreas y desperdicio de planos propuestos

Nota: La tabla 7 presenta los valores correspondientes al área aprovechada, aprovechable y desperdiciada, calculados tras la implementación del plasma CNC y considerando el área total disponible. En este análisis, los planos 3 y 4 tienen un área total de 16,800 cm³, mientras que el plano 5 cuenta con un área de 30,000 cm³. Al igual que en la tabla 5, se detalla el área destinada exclusivamente a la fabricación de piezas para las mezcladoras, el área aprovechable para posibles futuros productos, y el área desperdiciada, que incluye tanto el material inutilizable para cualquier fabricación como la remoción generada durante los cortes.

Los nuevos planos muestran una mejora clara en la optimización del material, destacando especialmente el Plano 5, que tiene un desperdicio muy reducido (4.33%) y un volumen aprovechable de 14143.43 cm³, lo que lo convierte en la opción más eficiente comparado con los planos 1 y 2. Por su parte, el Plano 4 también es bastante favorable, con un desperdicio bajo del 12.65% y un buen aprovechamiento del material y aunque el Plano 3

tiene un desperdicio algo mayor (12.27%), sigue presentando un buen balance entre uso del material y volumen aprovechable.

PIEZA / VARIABLE	Distancia (CM)	Tiempo de corte (S)	Tiempo total de corte (Min)	Plano
Aspas de revolver	178,869	30,665	15,333	Plano 3
Tapa de chumacera	210,629	36,110	12,638	Plano 4
Medios	451,000	77,319	2,577	Plano 5
Escuadra	127,477	21,854	0,728	Plano 5
Fondo	753,984	150,797	7,540	Plano 1

Tabla 8. Tiempo de corte por pieza y total en los planos propuestos para plasma CNC.

Nota: En la Tabla 8 se muestran los tiempos de corte, los cuales se refieren al tiempo específico en el que la llama de la boquilla de plasma realiza el corte sobre la lámina. No se incluyen los tiempos de desplazamiento entre cortes, ya que estos dependerán de la secuencia de corte programada para la pieza.

En la Tabla 8 se presentan los tiempos de corte, los cuales excluyen los tiempos de desplazamiento entre cortes, ya que estos están sujetos a la codificación del programa de corte. En el apartado de sugerencias se proporciona una recomendación sobre la estructuración del programa. Según los datos, el uso exclusivo del plasma para corte es de aproximadamente 39 minutos.

Considerando los planos propuestos para la implementación de la nueva máquina de plasma CNC y los cálculos realizados con relación a la velocidad de corte, se obtiene que el tiempo de operación (O.P.) ha disminuido un 52.73%. Además, los tiempos (T.M.T.) se eliminan en todos los procesos menos en el corte con cizalla, logrando una reducción del 77.18%. Aunque no se tiene una relación exacta para los tiempos de desplazamiento debido a la variabilidad en los movimientos de la máquina, se estima que la CNC necesitaría aproximadamente 3 minutos para los desplazamientos en los planos propuestos, y otros 15 minutos repartidos en 5 minutos entre planos para la ubicación de la lámina (suponiendo que la mesa esté equipada con guías) y 1 minuto adicional para la selección del plano de corte en el panel de la máquina, con esto se logra una reducción total de tiempo (T.M.O) del 48.35% en comparación con los tiempos registrados para el plasma manual, todo lo anterior evidenciado en la tabla 9.

Proceso	Cizalla		Plasma Manual		Oxicorte		Plasma CNC		TOTAL	
Tiempos	Actuales	Futuros	Actuales	Futuros	Actuales	Futuros	Actuales	Futuros	Actuales	Futuros
O.P	33	33,106	103	0	21,16	2,36	0	38,816	157,16	74,282
T.M.O	34	36,89	40,8	0	22,6	1,23	0	19	97,4	57,12
T.M.T	12	12	30,2	0	10,4	0	0	0	52,6	12
TOTAL	79	81,996	174	0	54,16	3,59	0	57,816	307,16	143,402

Tabla 9. Tabla comparativa de tiempos por proceso de corte.

NOTA: La tabla 9 muestra los tiempos totales de corte correspondientes a cada tipo de operación y a los diferentes procesos de corte previamente descritos, comparando los métodos actuales con la implementación del plasma CNC. Cada uno de estos tiempos representa la duración estimada para completar las operaciones necesarias durante el proceso de fabricación de una mezcladora.

En la tabla se detalla el tiempo total por tipo de operación (O.P., T.M.O. y T.M.T.) para los procesos actuales y los proyectados con la incorporación del plasma CNC, lo cual se evidencia en la última fila. Además, en la última columna, se presenta el tiempo total acumulado para cada tipo de operación, sumando todos los procesos.

Los dos recuadros resaltados en amarillo destacan el tiempo total necesario para la fabricación de las piezas de una mezcladora utilizando los procesos actuales y el tiempo total estimado con el nuevo método basado en el plasma CNC.

A partir de la Tabla 9, se puede observar cómo la implementación de la maquinaria CNC genera una notable reducción en la mayoría de los tiempos de producción. Además, esta mejora no solo reduce los tiempos de corte, sino que también incrementa la producción de piezas para las mezcladoras. En la tabla, se evidencian los tiempos de corte para todos los planos; algunos de estos muestran un aumento en la capacidad de fabricación, permitiendo producir piezas para hasta 21 mezcladoras en el mismo tiempo que anteriormente se requería para una menor cantidad. Esto implica una significativa reducción en el tiempo necesario para la fabricación de la siguiente mezcladora. Cabe destacar que se logra establecer una relación aproximada de 3 a 1 en cuanto a la eficiencia de producción entre el proceso de corte con plasma manual y el corte con plasma CNC (ver diagramas en los anexos).

En cuanto a los costos, considerando los cálculos presentados en el apartado 10.2 y los datos energéticos de la máquina descritos en el apartado 9.1, se establece que el tiempo de operación de la maquinaria CNC es de 38.816 minutos. Con esta información, se calcula un consumo energético total de 6.21056 kWh. Este consumo refleja un costo aproximado de \$4,700.15 por el corte de las piezas correspondientes a los planos 3, 4 y 5. En comparación, esta cifra representa una reducción del 88.51 % en los costos energéticos frente a los costos asociados al uso del plasma manual para los planos 1 y 2, considerando también la relación de producción antes mencionada.

Además, gracias a la eficiencia del plasma CNC y la relación de producción de 3 a 1, es posible reducir significativamente los costos de mano de obra. Actualmente, el proceso con plasma manual requiere tres operarios, mientras que con el plasma CNC sería suficiente con un solo operario. Esto implica un ahorro aproximado de 6 millones de pesos mensuales en salarios, manteniendo únicamente al operador encargado de la máquina CNC. Este operador estaría sujeto a un salario mínimo, y el mantenimiento mensual de la máquina requeriría un gasto adicional de \$50,000 en implementos.

11. CONCLUSIONES

En conclusión, se ha identificado el principal problema práctico en la maquinaria actual de Cermac S.A.S. Más allá de los posibles problemas mecánicos que las máquinas puedan presentar, el verdadero desafío radica en la alta dependencia de los trabajadores, quienes generan tiempos muertos significativos en sus operaciones y en sus hábitos, como se puede evidenciar en la tabla 2.

El tiempo de producción también se reduce significativamente con la implementación de la máquina CNC. Su capacidad para operar de manera autónoma destaca, reduciendo más del 50% el tiempo necesario para la fabricación de piezas por mezcladora y disminuyendo la necesidad de mano de obra en la empresa como se puede evidenciar en la tabla 8 y comparando los tiempos proporcionados por la tabla 2.

La implementación de la tecnología CNC reduce costos relacionados con el consumo energético además de costos de nómina. Dado que la máquina requiere un solo operario y reduce el tiempo de producción en comparación con los métodos anteriores, puede suplir el trabajo de hasta tres operarios, generando una notable disminución en los costos operativos como se puede observar en el apartado de los cálculos.

Además, se observó que la distribución para el corte de piezas de las mezcladoras no es óptima, ya que las prácticas actuales y la maquinaria empleada por Cermac S.A.S. generan un desperdicio de más del 15% del área total de las láminas como se evidencia en la tabla 6. Sin embargo, se pudo evidenciar que con el uso de un plasma CNC, se puede optimizar la distribución de las piezas, reduciendo considerablemente el porcentaje de desperdicio a menos del 13% evidenciado en la tabla 7.

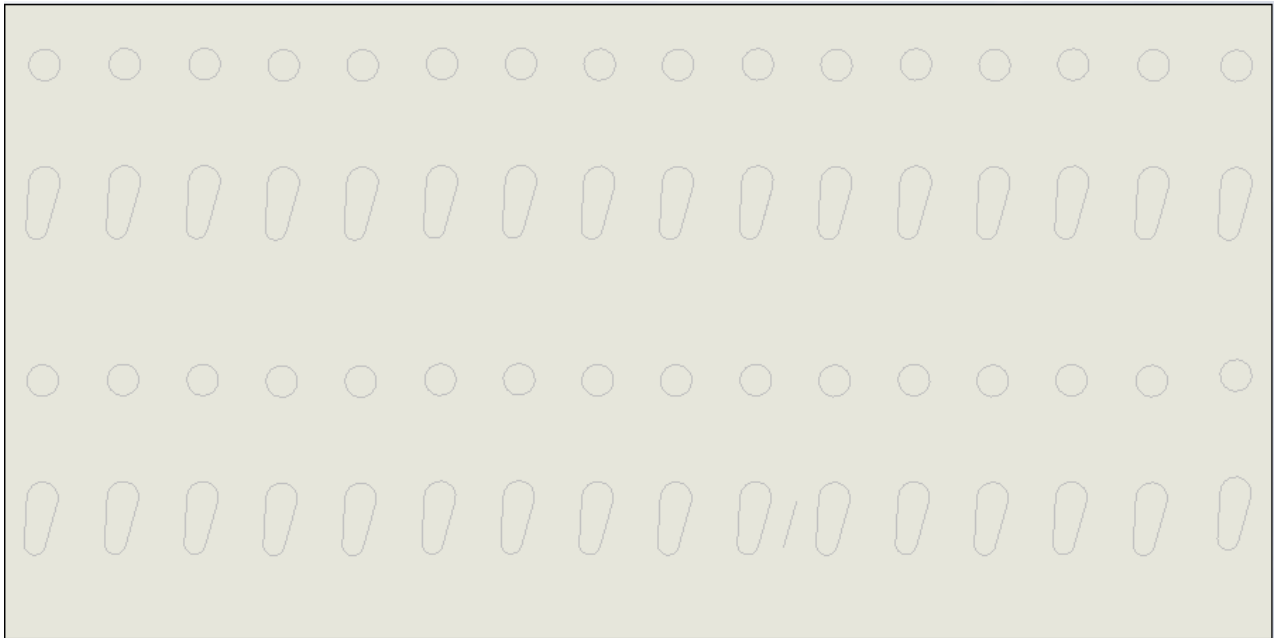
12. RECOMENDACIONES

Para los cortes en el plasma CNC, es fundamental prestar especial atención a la posición de la lámina en la mesa de corte. Se recomienda utilizar guías para asegurar que se trabaje de acuerdo con los parámetros codificados. Además, el código de programación debe estar configurado para iniciar los cortes desde las áreas más pequeñas hacia las más grandes, con el fin de evitar movimientos indeseados en el resto de la lámina al desprenderse una pieza.

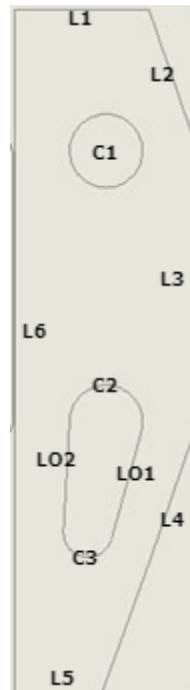
Como ejemplo, tomamos el plano número 3, que corresponde al corte de las aspas de la mezcladora. Se sugiere realizar los cortes siguiendo el plano 6, donde primero se ejecutan los cortes de las figuras centrales de las aspas, que permiten el paso del concreto entre ellas. Como se muestra en el diagrama de flujo, este es uno de los procesos que debe pasar primero por el plasma y luego por la cizalla, para maximizar el aprovechamiento de la lámina.

Los cortes deben realizarse de menor a mayor área para evitar vibraciones que puedan provocar un movimiento excesivo de la lámina. El programa debe definir una secuencia de corte escalonada, comenzando con las áreas más pequeñas y avanzando hacia las más grandes. Además, es importante iniciar los cortes por los segmentos más cortos y proceder gradualmente hacia los más largos, lo que permitirá una división eficiente de las piezas. Si se desea cortar varias piezas de una lámina, el corte debe comenzar desde el punto más alejado del área mayor, de modo que el último corte separe la pieza principal del resto de la lámina, que tendrá una mayor área.

Siguiendo el ejemplo del aspa de la mezcladora, se debe tomar en cuenta el plano número 7, que detalla la figura del aspa y enumera sus segmentos y circunferencias, cuyas están en la tabla 1. Para esta pieza, es ideal programar los primeros cortes en los segmentos L1, L2 y L5, que son los más cortos después de eliminar los desperdicios. A continuación, se procederá con los cortes de L4 y L3, para finalmente realizar el corte en L6, que será el definitivo, separando la pieza del resto de la lámina y completando el proceso.



Plano 6. Cortes de desperdicio de aspas de revolver.



Plano 7. Plano de aspa de revolver.
Nota: (L=Longitud; LO=Longitud en proceso con oxicorte)

13. ANEXOS

Los anexos de este documento incluyen dos diagramas que ilustran los procesos productivos en Cermac. El primer diagrama muestra cómo se realiza actualmente la producción y fabricación de piezas y mezcladoras utilizando la maquinaria existente. El segundo diagrama presenta el flujo de trabajo y los cambios en el proceso productivo tras la implementación de la tecnología de corte con plasma CNC.

Ambos diagramas están disponibles para consulta en el siguiente enlace:

https://usantotomaseduco-my.sharepoint.com/:f/g/personal/jonathancasas_usantotomas_edu_co/Eiut7u_g-LFHlyKwzKHfY7cBas6CQtw-Np8Vp592qWS45w?e=ILQjXM

14. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “8 avances de la industria metalmecánica en Colombia”. Marca país. Accedido el 4 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible: <https://colombia.co/pais-colombia/hechos/8-avances-de-la-industria-metalmecanica-en-colombia>
- [2] “Avances y Desafíos en el Sector Metalmecánico para 2024 - Centro aceros, Cable vías, Aceros calibrados”. Centro aceros, Cable vías, Aceros calibrados. Accedido el 4 de septiembre de 2024. [En línea].
Disponible: <https://www.centroaceros.com/2024/02/23/avances-y-desafios-en-el-sector-metalmecanico-para-2024/#:~:text=El%20año%202024%20inició%20de,la%20producción%20de%20componentes%20metálicos.>
- [3] “Tendencias 2024 para la industria metalmecánica | Metalmecánica”. Metalmecánica. Accedido el 4 de septiembre de 2024. [En línea].
Disponible: <https://www.metalmecanica.com/es/noticias/tendencias-2024-para-la-industria-metalmecanica>
- [4] W. D. Quezada-Torres, “Gestión de la tecnología y su proceso de transferencia en Pequeñas y Medianas Empresas metalmecánicas del Ecuador”, Trabajo de grado, Univ. Central Marta Abreu Villas, santa clara, 2017.
- [5] J. P. Castiblanco Aldana, “Articulación de cinco empresas metalmecánicas del sector de Pensilvania en la ciudad de Bogotá para mejorar la disposición de residuos peligrosos y mitigar los efectos negativos que genera en la salud de los trabajadores”, Especialización de gerencia, Univ. ECCI, Bogota, 2017.
- [6] Obando Peñafiel, E., Torres Quijano, M., Vilca Pari, J.L. (2019). *Mantenimiento preventivo en el área de corte del sector metalmecánica en la empresa ESMETAL SAC. LURÍN-LIMA. 2019.* [Trabajo de Investigación, Universidad César vallejo]. Repositorio UCV.
- [7] O. Bernal Payares, “EVOLUCION DEL PROCESO ADMINISTRATIVO DESDE LOS ORÍGENES DE LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL Y SU FUNDAMENTO COMO UNA FUNCIÓN DEL ADMINISTRADOR”, Trabajo de grado, Corporacion Univ. Rafael Nunez., 2017.
- [8] FLORES BRITO, M. A. (2022). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROUTER CNC PARA EL CORTE DE TOL DE ESPESOR DE HASTA 5MM PARA LA EMPRESA INMEDEC SA* [Trabajo de titulación, Universidad Politecnica Salesiana]. Repositorio UPS.

- [9] M. A. Paredes Balseca, "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.", Trabajo de grado, Univ. Tecnol. Indoamerica, QUITO, 2017.
- [10] J. S. Torres Arenas, "Diseño e implementación de una maquina CNC de 4 grados de libertad", Trabajo de grado, CORPORACION UNIV. AUTON. DEL CAUCA, CAUCA, 2019.
- [11] F. R. Condo Colcha, "Diseño de Mezcladora de Concreto," *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL*, 2016, Accessed: May 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/97159/D-CD88348.pdf>
- [12] S. Montoya Bedoya, "Rediseño y construcción de una mezcladora de concreto con capacidad de 12ft3," Instituto Tecnológico Metropolitano. Accessed: May 15, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/141>
- [13] Autycom. (2023, 3 de septiembre). *¿Qué es el Control Numérico Computarizado o CNC? - AUTYCOM*. AUTYCOM - AUTYCOM. <https://www.autycom.com/que-es-el-control-numerico-computarizado-o-cnc/>
- [14] *corte por plasma manual de ESAB*. (2024). WEST ARCO. https://esab.com/co/sam_es/products-solutions/categories/manual-plasma-cutting/
- [15] M. LYNCH. "CNC o control numérico por computadora: qué es y cómo funciona". MMS-MEXICO. [En línea]. Disponible: <https://www.mms-mexico.com/articulos/cnc-o-control-numerico-por-computadora-que-es-y-como-funciona>
- [16] West Arco. (s.f.). *¿Qué es el corte por arco de plasma?* [https://esab.com/co/sam_es/esab-university/blogs/what-is-plasma-arc-cutting/#:~:text=Para%20el%20corte%20por%20arco,conoce%20como%20\"arco%20transferido\".](https://esab.com/co/sam_es/esab-university/blogs/what-is-plasma-arc-cutting/#:~:text=Para%20el%20corte%20por%20arco,conoce%20como%20\)
- [17] N. HARRISON. "Comprender el corte por plasma: principio de funcionamiento y ventajas". rapiddirect. [En línea]. Disponible: <https://www.rapidirect.com/es/blog/what-is-plasma-cutting/>
- [18] *Que son los Interruptores, Pulsadores, Conmutadores*. (s.f.). Shoptronica.com. Tienda líder en miles de componentes electrónicos. - Shoptronica S.L. <https://www.shoptronica.com/curiosidades-tutoriales-y-gadgets/4079-que-son-los-interruptores-pulsadores-conmutadores-0689593950512.html#:~:text=Un%20pulsador%20es%20un%20interruptor,presionado,%20es%20decir%20sin%20enclavamiento.>

- [19] “¿Qué son y para que sirven los pulsadores eléctricos?” SyZ Cominsa. [En línea]. Disponible: <https://syzcominsa.pe/blog/que-son-y-para-que-sirven-los-pulsadores-electricos>
- [20] ¿Qué es un CNC Plasma? Definición, modelos y aplicaciones. (s.f.). SIDEKO | Máquinas CNC. <https://sideco.com.mx/que-es-un-cnc-plasma/>
- [21] ¿Qué es el oxicorte? (s.f.). Air Liquide. <https://es.airliquide.com/soluciones/corte-industrial/que-es-el-oxicorte>
- [22] ¿Qué es el oxicorte y qué utilidades tiene? - Oxiplant. (s.f.). Oxiplant. <https://oxiplant.com/oxicorte-y-que-utilidades-tiene/>
- [23] “Oxicorte - Qué es, cómo se hace y para qué sirve - Venetank”. Venezolana de Tanques C.A. [En línea]. Disponible: <https://venetank.com/oxicorte-que-es-como-se-hace-y-para-que-sirve/>
- [24] JF Powell, *Corte por láser de CO2*, 2.^a ed. Londres, Reino Unido: Springer-Verlag, 2009.
- [25] A. Pandey y S. Singh, "Tendencias actuales de investigación en corte por arco de plasma: una revisión", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 53, núm. 1, págs. 35-45, 2011.
- [26] “Soldador. SWEISS. SKYCUT 660”. Ferretería y construcción. [En línea]. Disponible: <https://www.valnipacc.com.co/producto/soldador-sweiss-skycut-660/>
- [27] “Cizalla de guillotina BAYKAL HGL 3106”. Maszyneria. [En línea]. Disponible: <https://maszyneria.com/es/producto/cizalla-de-guillotina-baykal-hgl-3106/>
- [28] “Oxicorte: Una guía completa - Codinter América”. Codinter América. [En línea]. Disponible: <https://www.codinter.com/es/oxicorte-una-guia-completa/>
- [29] “MAQUINA CNC PLASMA VCM 48 - COLMAQUINASCNC”. COLMAQUINASCNC. [En línea]. Disponible: <https://colmaquinasnc.com/maquina-cnc-plasma-vcm-48/>
- [30] BP Patel y PK Brahmankar, "Efecto de los parámetros de corte en la rugosidad de la superficie en el corte por arco de plasma", *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 226, núm. 7, págs. 1173-1183, 2012.