

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

Experiencia de prácticas profesionales en la empresa WEG Colombia

Santiago Gallego Arroyave

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Electromecánico

Asesor
Carlos Andrés Vargas Isaza

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM
Facultad de Ingenierías
Departamento de Antioquia
Medellín, Colombia
2021

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

RESUMEN

En el siguiente informe, mostraré como fue mi experiencia como practicante de ingeniería electromecánica en la empresa WEG Colombia, desarrollando mis labores en el área de mantenimiento. Haciendo énfasis en el apoyo que realice como programador cnc para la creación de peines para transformadores en seco y aisladores en madera.

Basados en la manipulación de programas de diseño CAD y CAM, como son aspire vectric. mejorando tiempos de producción, mejoras en la salud de colaboradores y calidad en las piezas elaboradas.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

ACRÓNIMOS

CNC: Control numérico computarizado

TRAFO: Transformador

CAD: traducido del inglés se refiere a diseño asistido por computadora

CAM: traducido del inglés se refiere a la fabricación asistida por computadora

AUTOCAD: AutoCAD es una aplicación comercial de software de diseño y dibujo asistido por computadora. Desarrollado y comercializado por Autodesk.

las trayectorias de las herramientas de corte.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	5
	Objetivo general	6
	Objetivos específicos.....	6
2.	MARCO TEÓRICO	7
	Contexto Histórico de WEG Colombia sede sabaneta	7
	¿Qué es un transformador?.....	8
	Tipos de transformadores elaborados en WEG Colombia	8
	transformador seco tipo abierto clase H.....	8
	transformadores inmersos en liquido aislante	11
	transformador secos tipo en capsulados en resina clase F	13
	¿Qué es una CNC Router?	14
	Conocimientos para la manipulación de una CNC Router.	15
	¿Por qué se realiza la adquisición de una cnc router?	15
	¿Qué es un peine?.....	16
3.	METODOLOGÍA	17
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
	Implementación de Aspire como software CAM.	20
	Rendimiento de la herramienta de corte.....	22
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	25
	Recomendaciones	25
	REFERENCIAS	26

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

1. INTRODUCCIÓN

En este informe se realiza con el fin de presentar mi experiencia como practicante en el área de mantenimiento en la empresa WEG Colombia, haciendo énfasis en mis conocimientos como programador CNC que adquirí en mi proceso de formación como ingeniero electromecánico y que puse en práctica en la implementación de la tecnología CNC en la empresa WEG Colombia , lo cual ha facilitado la elaboración de peines y de aisladores en madera para transformadores en aceite, mejorando la calidad y ambiente de trabajo de los colaboradores.

La empresa WEG COLOMBIA sede sabaneta, se dedica a la elaboración de transformadores de media y alta potencia, produciendo transformadores sumergidos en aceite o en seco. La materia prima de WEG es sus colaboradores, pues desde el diseño hasta el ensamble de las diferentes partes del transformador, se necesita de intervención humana.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

Objetivo general

Desarrollar un proyecto que permita a través de la práctica involucrar los conceptos adquiridos durante la formación académica, teniendo una participación activa y adecuada en el área de mantenimiento de la empresa WEG Colombia, en lo referido a la programación CNC para poder llevar a cabo la producción de peines en fibra de vidrio con una nueva tecnología.

Objetivos específicos

- Aplicar los conocimientos adquiridos durante todo proceso de formación como ingeniero Electromecánico, mediante el desarrollo de actividades de mantenimiento en la planta de producción WEG Colombia.
- Poner en práctica principios de dibujo técnico y programación CNC para ayudar a implementar una CNC router para la fabricación de peines en fibra de vidrio.
- Aportar ideas de mejoramiento en el manejo y ejecución de planes de mantenimiento para un mejor desempeño de la maquinaria de planta
- Unificar la importancia que tiene el saber y hacer, a la hora de manipular equipos que requieran una intervención electromecánica.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

2. MARCO TEÓRICO

Contexto Histórico de WEG Colombia sede sabaneta.

WEG COLOMBIA S.A.S., unidad de transformadores sede Sabaneta, es el resultado exitoso de una adquisición empresarial por parte de WEG, reconocido fabricante de equipos y sistemas para el manejo de la energía.

WEG inicia su historia en 1979 como TRANSFORMADORES SIERRA, teniendo como meta la satisfacción de cada cliente a través del suministro de productos de alta calidad respaldada con asistencia técnica.

A partir del 2003 la empresa cambia su razón social por TRANSFORMADORES SUNTEC, caracterizados por la fabricación de equipos “Uno a Uno” para responder satisfactoriamente a las exigentes cargas industriales, comerciales, aplicaciones especiales y alumbrado público.

En el año 2015 se formalizó la adquisición de SUNTEC por parte del grupo empresarial WEG, compañía líder en equipos y sistemas para el manejo eficiente de la energía; fabricante experimentado en transformadores de distribución, mediana potencia y gran potencia de hasta 400 MVA – 550 kV; con amplia presencia en los países de América y plantas de fabricación en Brasil, México y Colombia.

WEG es la asociación de 3 emprendedores; Werner Ricardo Voigt, Eggon João da Silva y Geraldo Werninghaus, que desde el año de 1961 unieron sus conocimientos, experiencias y planes de vida para darle origen al mayor fabricante de motores eléctricos del mundo; posteriormente, el grupo WEG avanza en nuevas líneas de fabricación y soluciones para generación, transmisión, transformación y distribución de energía, reductores y motorreductores, sistemas de control de mando y maniobra, accionamientos electrónicos, tintas y barnices; presente desde los pequeños a grandes proyectos. WEG está siempre atenta a los detalles y es proactiva en la resolución de problemas mientras mantiene una relación abierta y honesta con los clientes.

En marzo de 2019 la sociedad WEG COLOMBIA S.A.S. absorbe a FTC ENERGY GROUP S.A.S. y a WEG TRANSFORMADORES COLOMBIA S.A.S., unificándose bajo una sola razón social.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

¿Qué es un transformador?

Un transformador es un dispositivo que cambia la potencia eléctrica alterna con un nivel de voltaje a potencia eléctrica alterna con otro nivel de voltaje mediante la acción de un campo magnético. Consta de dos o más bobinas de alambre conductor enrolladas alrededor de un núcleo ferromagnético común (Chapman, S. J, 2012).

Tipos de transformadores elaborados en WEG Colombia

En la sede de WEG Colombia sabaneta se construyen 3 tipos de transformadores, que varían según la potencia requerida por el cliente.

Estos tipos de trafos son: transformador seco tipo abierto clase H, transformadores inmersos en liquido aislante y transformador secos tipo en capsulados en resina clase F.

Transformador seco tipo abierto clase H

características principales de construcción de sus devanados:

- Los devanados primario y secundario se fabrican en aluminio o cobre.
- Las bobinas que conforman los devanados del transformador son de sección circular, lo cual garantiza la mayor resistencia a los esfuerzos de corto circuito a que pueda someterse el transformador durante su vida útil.
- En la ilustración 1 se puede ver los peines los cuales permiten separar las espiras de la bobina y también sirven como canales de enfriamiento que garantizan una excelente refrigeración. El tamaño es tal que no se obstruyen fácilmente y permiten un adecuado y fácil mantenimiento por soplado de aire seco y aspirado del polvo

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

Ilustración 1
bobina de transformador seco tipo abierto clase H



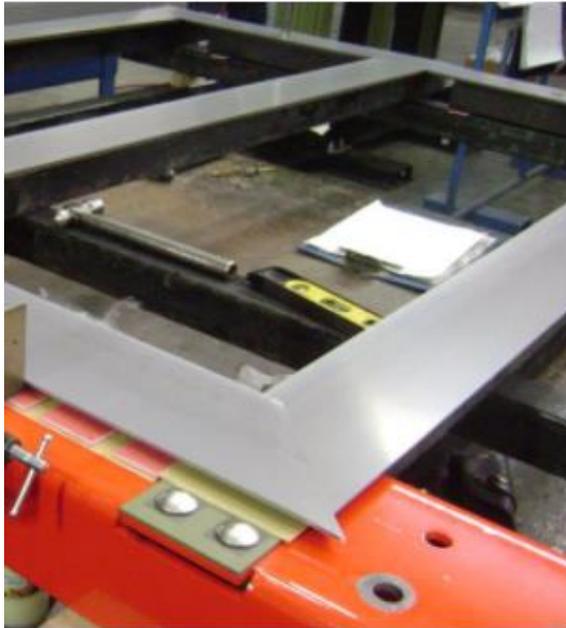
Nota: La imagen muestra la conformación de una bobina de un Transformador abierto clase H elaborado en la empresa WEG
fuente: autor.

Características principales de la construcción del núcleo:

- El núcleo magnético del transformador se fabrica en lámina de acero al silicio de grano orientado que garantiza unas bajas pérdidas. Consiste de un paquete de laminaciones realizadas con hojas de acero muy delgadas, aisladas en ambas caras con un recubrimiento inorgánico, libre de envejecimiento. Las láminas están cuidadosamente cortadas de manera que no presentan rebabas y permiten un armado ajustado y con mínimos entrehierros, lo cual garantiza una baja corriente de excitación.
- Las láminas de acero al silicio son cortadas en una máquina de corte de marca mtm Canadá, la cual es programada por el operario el cual le asigna las medidas de cada espira que lleva el núcleo.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

*Ilustración 2
formación de núcleo*



Nota: La formación del núcleo se logra apilando láminas de acero al silicio, weg Colombia. (2021). Recuperado 24 de octubre de 2021, de fabricación, website: <http://www.suntec.com.co/transformadores-secos-tipo-abierto-clase-h>

*Ilustración 3
núcleo finalizado*



Nota: producto final del apilamiento de láminas de silicio, formando el núcleo ferromagnético weg colombia. (2021). Recuperado 24 de octubre de 2021, de fabricación website: <http://www.suntec.com.co/transformadores-secos-tipo-abierto-clase-h>

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

Ilustración 4
Ensamble de bobinas y núcleo ferromagnético



Nota: Transformador con bobinas y núcleo unificados, weg colombia. (2021). Recuperado 24 de octubre de 2021, de fabricación website: <http://www.suntec.com.co/transformadores-secos-tipo-abierto-clase-h>

Transformadores inmersos en liquido aislante

Características principales de construcción de sus devanados:

- Se fabrican con cobre o aluminio de alta conductividad en forma de conductor de secciones redonda o rectangular, con doble capa de esmalte aislante o desnudo o en forma de hoja de sección delgada sin recubrimiento; con aislamientos en papel y cartón de celulosa libres de contaminantes, que garantizan un excelente nivel dieléctrico una vez impregnado con el aceite.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

Ilustración 5
Enrollamiento de alambre de cobre para formar bobina de trafo inmerso en liquido aislante



Nota: *formación de bobina en alambre cobre,*
weg colombia. (2021). Recuperado 24 de octubre de 2021, de fabricación website:
<http://www.suntec.com.co/transformadores-inmersos-en-liquido-aislante-aceite-mineral-o-aceite-vegetal>

Ilustración 6
Bobinas de trafo trifásico puestas a punto



Nota: *formación de bobina en alambre cobre,*
weg colombia. (2021). Recuperado 24 de octubre de 2021, de fabricación website:
<http://www.suntec.com.co/transformadores-inmersos-en-liquido-aislante-aceite-mineral-o-aceite-vegetal>

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

características principales de construcción de su núcleo:

- Al igual que los transformadores secos tipo abierto clase H ver ilustración 2, el núcleo de los transformadores inmersos en liquido aislante, se construyen de la misma manera. El acero al silicio de grano orientado es cortado en una maquina programada que saca una a una las láminas que conforman el núcleo y estas luego son apiladas por los operarios, teniendo como resultado final un núcleo uniforme y con el menor de los espacios entre lámina y lámina.

Construcción de tanque:

- El tanque es la unión de láminas de acero de gran calibre, las cuales van a contener las bobinas y el núcleo junto con el aceite aislante.

*Ilustración 7
Trafo inmerso en aceite 25MVA*



Nota: transformador finalizado con refrigeración forzada instalada y listo para su entrega,weg colombia. (2021). Fuente: autor

Transformador secos tipo en capsulados en resina clase F

Este tipo de transformadores es lo que ha hecho de WEG una empresa aún más competitiva, ya que esta tecnología hace poco inicio en Latinoamérica.

Características generales de estos trafos:

- Los transformadores tipo seco son equipos que utilizan el aire ambiente como medio de refrigeración.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

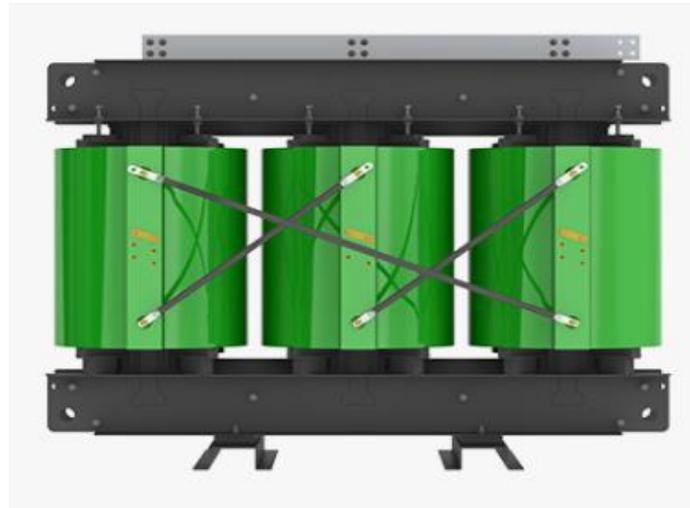
- minimización del impacto ambiental y de los riesgos de incendio, además de menores costos de instalación y mantenimiento.
- Alta tensión encapsulada en resina epoxi adecuada para exigencias térmicas de hasta 200 °C.

Aplicaciones:

- Condominios residenciales y empresariales
- Shopping centers y centros de entretenimiento
- Hospitales
- Edificios comerciales e industrias en general
- Data centers
- Aeropuertos

Al igual que los trafos sumergidos en aceite aislante y los trafos en seco clase H, los trafos clase F parten del mismo principio, una bobina en aluminio o cobre enrolladas en un núcleo en común, la diferencia es que estas bobinas van impregnadas en una resina epoxi.

*Ilustración 8
Render de trafo en resina fabricados en WEG*



Nota: animación de trafo en resina, weg colombia. (2021). Recuperado 24 de octubre de 2021, de fabricación website: <http://www.suntec.com.co/transformadores-secos-tipo-encapsulados-en-resina-clase-f>

¿Qué es una CNC Router?

El Router CNC funciona con una máquina de fresado equipada con motores en cada uno de sus ejes. Estos son controlados por una computadora mediante un CNC, que es un proceso de desbaste mediante una broca que gira para cortar el material y darle forma a la pieza (Mattson, 2010). Esta es una máquina de corte o grabado que trabaja con una herramienta de fresado o broca que puede tallar con precisión y exactitud los materiales en tres o más

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

dimensiones a la vez. Gracias al respaldo y manejo del cabezal por computadora (control numérico), el Router CNC puede trabajar piezas de madera o plásticos, además de producir piezas complejas. El Router CNC sigue las líneas de los vectores. Dado que cada broca tiene un diámetro diferente, se debe especificar cómo desea que la máquina interprete sus vectores (Albert, 2010).

Conocimientos para la manipulación de una CNC Router.

Para la utilización de este tipo de máquinas se necesita varios conocimientos aplicados, como lo son sistemas de medición, principales funciones de mecanizado, dibujo técnico, manejo de programas CAD y CAM. Tales conocimientos fueron adquiridos durante el estudio de ingeniería electromecánica en el ITM.

*Ilustración 9
Maquina cnc router*



*Nota:cnc adquirida por la empresa WEG Colombia.
fuente: autor*

¿Por qué se realiza la adquisición de una cnc router?

Las empresas de manufactura de la actualidad tienen exigencias muy grandes como lo son crear productos en buena cantidad y buena calidad, por esto muchas de ellas se ven en la obligación cada vez más de implementar la automatización, existiendo dentro de esta última el uso de las máquinas de Control Numérico Computarizado.

El CNC ha sido uno de los más importantes desarrollos en manufactura en los últimos 50 años, al pasar de los procesos manuales y semiautomáticos aplicados; a las máquinas de herramientas convencionales que facilitan el trabajo del operario. Esta tecnología es usada

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

en empresas de fabricación de piezas y conjuntos de estas para distintas áreas de producción.

La adquisición de esta máquina por parte de la empresa WEG Colombia se hizo con varios objetivos, el principal es quitar un proceso artesanal de corte de fibra de vidrio el cual es muy perjudicial para la salud y seguridad del operario ya que se utilizan maquinas circulares y cuchillas sinfín, por otro lado, este proceso de corte de peines se tenía que realizar en la noche por el alto ruido de los extractores y el alto polvo que el corte de fibra de vidrio produce, además con la adquisición de esta máquina la empresa gana tiempos de producción y esta máquina no se necesita que el operario este siempre pendiente porque ella sola realiza el paro cuando termina su recorrido.

¿Qué es un peine?

Los peines son una pieza clave en la construcción de las bobinas de un trafo en seco clase H, es el elemento que permite la separación de espiras y “peinar” los cables en cobre que forman parte en varias veces de las bobinas de alta y de baja de un transformador en seco. Además, ayudan a crear los canales por donde el aire forzado circulará para refrigerar el trafo y además los canales de limpieza de polvo. Su longitud y su espesor son directamente proporcional a la potencia del trafo (ver ilustración 10 – 11).

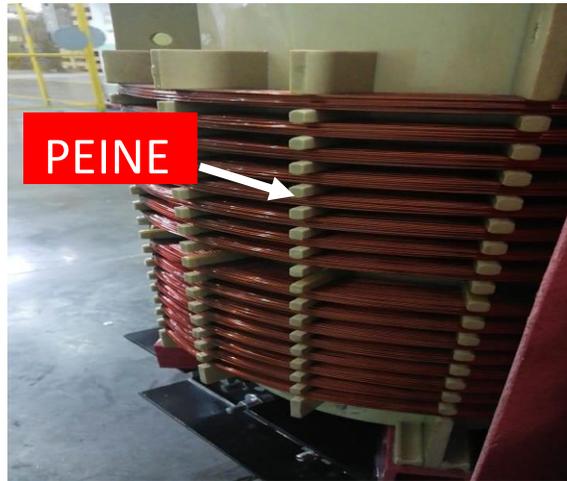
*Ilustración 10
Ilustración de aislador peine*



*Nota: geometría de peine
fuente:(Fitria, 2013)*

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

*Ilustración 11
Posicionamiento de peine en bobina*



*Nota: bobina de transformador en seco con peines
fuente: autor*

3. METODOLOGÍA

Para la implementación de este nuevo proceso de mecanizado 3D en la empresa WEG, el cual mucha parte estuvo a mi cargo junto con mis compañeros de mantenimiento, fue necesario varios fundamentos de diseño 3d y mecanizado, la planeación y ejecución se logró en varias etapas las cuales se menciona y se explica a continuación.

1. Adecuación de área de trabajo.

Para iniciar este nuevo proceso fue necesario sacar varias máquinas circulares, que ya no eran necesarias y que la CNC reemplazó, se dedicó 1 semana completa para evacuar el área. Además, se limpió, se pintó pisos y paredes y se finalizó con la instalación de acometidas eléctricas necesarias para el funcionamiento de la máquina.

2. Instalación de CNC.

Luego de tener el área lista, se procedió a ingresar máquina CNC router traída de china.

3. Capacitación.

Continuando con este proceso de adaptación de una nueva área de trabajo en la empresa WEG Colombia, se llama a la casa matriz a quien se realizó la compra, la cual queda en Bogotá D.C, y se pidió que un técnico visitara nuestra compañía y nos capacitara en el funcionamiento de la máquina. La capacitación duro 2 horas, lo cual

para muchos fue poco tiempo, pero con mi ayuda por tener bases sobre mecanizado cnc, fue de mucha ayuda para poner operativa la máquina.

4. Adquisición de programa CAD-CAM.

Para la familiarización con la máquina, se obtuvo un programa llamado aspire, el cual en un programa que permite leer los vectores de un dibujo 2D y 3D, y generar el código G que es los movimientos en el espacio que la maquina realiza.

5. Estudio de herramientas adecuadas.

Elegir una herramienta adecuada fue una tarea difícil, porque no se tenía una ficha técnica que nos indicara las propiedades de la fibra de vidrio que estábamos tratando, entonces fue una búsqueda en tablas y catálogos. Se seleccionó brocas helicoidales de 4mm,6mm,8mm,10mm y 12mm, elaboradas en tungsteno para altas temperaturas.

Ilustración 12

Avances para maquinar materiales específicos

Tabla de velocidades de Corte y Avance	Fresas Standard							
	Ø de Fresa	1mm	2mm	3mm	4mm	6mm	8mm	10mm
Fresas Standard	Inox.	Rpm. 9900/14400 Avance mm/min. 140	4950/6600 140	3300/4400 160	2420/3300 175	1650/2200 175	1250/1650 175	990/1320 185
	Aluminio	Rpm. 1800/2160 Avance mm/min. 180	960/1200 220	5520/7200 230	4200/5400 230	2760/3600 230	2160/2760 230	1680/2160 230
	Al	Rpm. 33000 Avance mm/min. 300	19800/30800 350	11000/19800 390	9900/15400 390	6600/9900 390	4950/7700 390	3960/6050 390
	Plásticos	Rpm. 25000 Avance mm/min. 530	16000/25000 540	10000/16000 570	8000/12000 600	5000/8000 600	4000/6000 600	3200/5000 650
	Resinas	Rpm. 33000 Avance mm/min. 1000	22000/27500 1100	16500/19800 1300	11000/16500 1300	6600/9900 1500	5500/8250 1500	4400/6600 1500
Fresas SpeedCut alto Rendimiento	Ø de Fresa	3mm		4mm	6mm	8mm	10mm	
	Inox.	Rpm. 7200 Avance mm/min. 180	5400 230	3600 230	2700 230	2200 250		
	Aluminio	Rpm. 10000 Avance mm/min. 250	7500 280	5000 280	3750 280	2000 300		
	Al	Rpm. 24000 Avance mm/min. 1200	20000 1600	13000 2000	10000 2000	8500 2800		
	Plásticos	Rpm. 18000 Avance mm/min. 2000	13000 2000	9000 2500	8000 3000	6000 3000		
Resinas	Rpm. 24000 Avance mm/min. 4000	22000 4000	18000 5000	15000 5000	12000 5000			

Avances referidos a profundidad de corte de:

- Inox. y Fe. 0,5 x Diámetro.
- Aluminio 1 x Diámetro.
- Plástico 2,5 x Diámetro.
- MDF 3 x Diámetro.

En algunos casos se deberá disminuir o incrementar estos valores dependiendo de:

- Dureza o compuestos especiales de los materiales a tratar.
- Corte en seco o con emulsiones refrigerantes.
- Condición general de la máquina.
- Sujeción y rigidez de los materiales a cortar.
- Fresas series larga o extra larga.

*Nota: tabla de avances y rpm
fuente: proveedor de herramientas de corte*

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

*Ilustración 13
Fresa helicoidal de tungsteno*



*Nota: fresa de corte de 6mm, helicoidal de 4 filos
fuente: autor*

6. Diseño.

El diseño de todas las piezas viene de la oficina de ingeniería, donde ingenieros eléctricos y mecánicos, realizan el dibujo en programas como AutoCAD o SolidWorks.

7. Mecanizado.

Se tomo el producto final de diseño y se introdujo en el programa CAM y se crearon las rutas de la herramienta y el código G.

8. Puesta a punto de máquina.

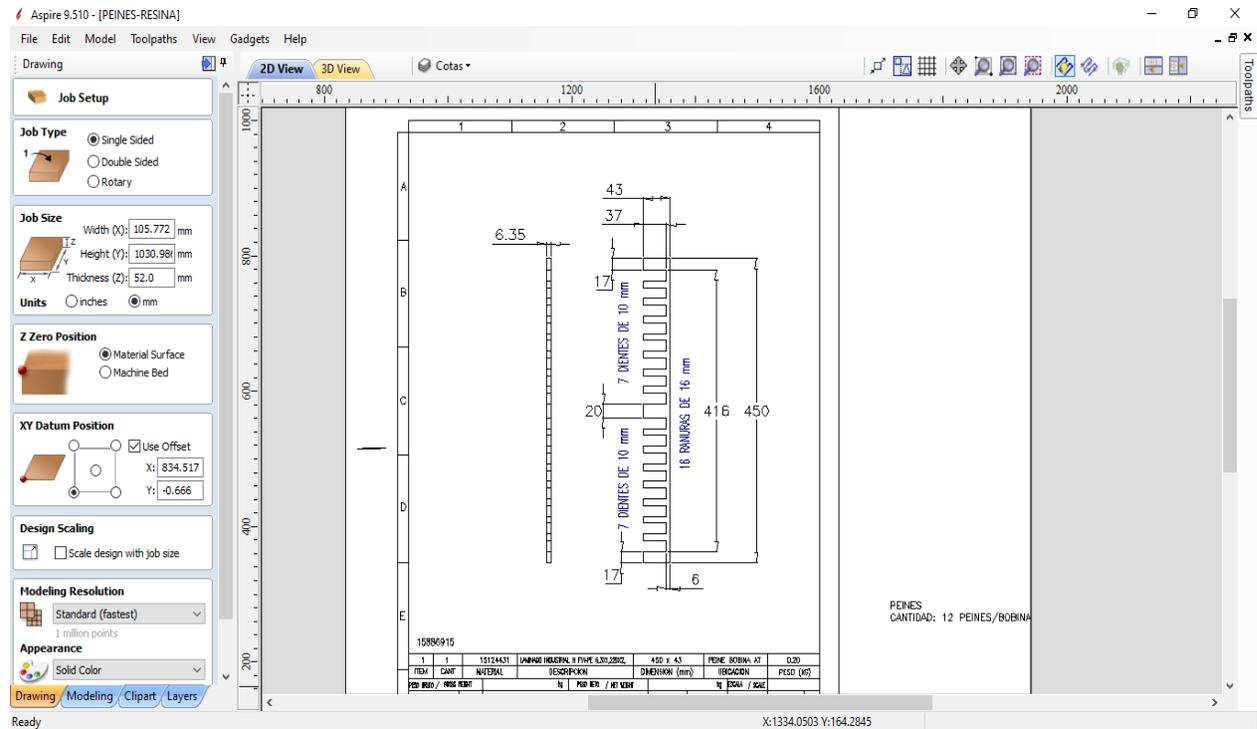
Se le indico el cero de pieza a la máquina, esto quiere decir donde inicia el material para que la máquina pueda realizar el corte y estar tranquilos que no lo hará en el aire o en parte de la cama de la máquina donde no hay material. Luego de esto se buscó el archivo guardado en una USB, y se le dio ejecutar y la máquina empezó a realizar los movimientos que se programaron.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Implementación de Aspire como software CAM.

Ilustración 14

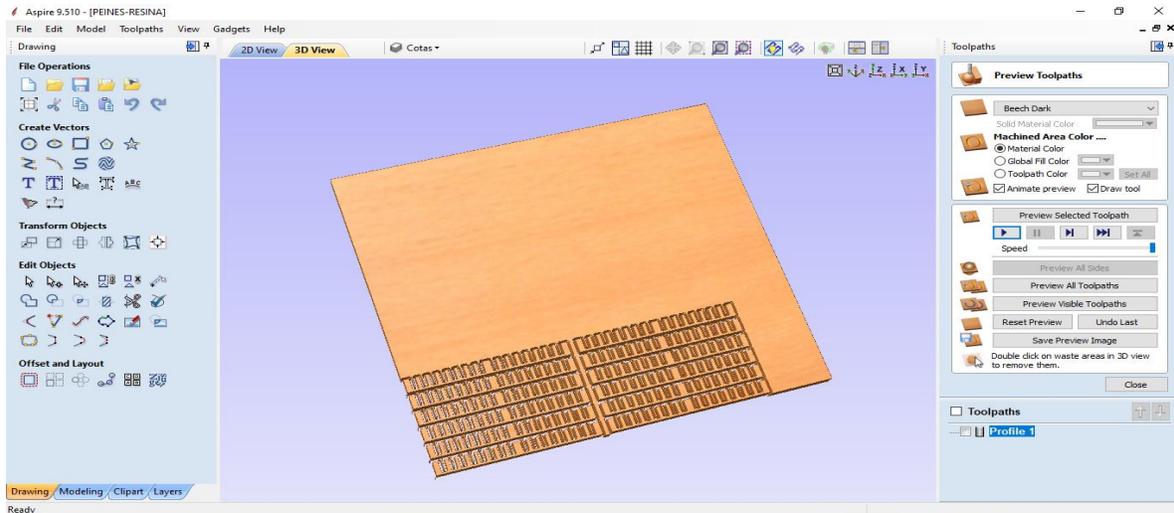
Software de programación cnc



*Nota: entorno de programación de Aspire
fuente: autor*

Este software es básico y sencillo deja llevar al operario paso a paso y así lograr una programación exitosa, así pues, que el software en principio funciona, pero para figuras vectorizadas más complejas puede fallar.

Ilustración 15
Simulación en aspire



*Nota: simulación de peines a elaborar en aspire
fuente: autor*

Aspire deja simular los cortes antes de que se exporten a la CNC cosa que es muy importante hacerlo, ya que podemos identificar movimientos extraños.

Ilustración 16
Código G exportado desde aspire y leído por la maquina CNC

```

Profile 1: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
N0 G00 G21 G17 G90
N10 G00 G40 G49 G80
N20 G71
N30 T1
N40 M06
N50 G43 Z20.000H1 M08
N60 S12000M03
N70 G04 P3000
N80 G0 X0.000 Y0.000
N90 G00 X833.711 Y2.234 Z5.000
N100 G01 Z-2.889 F1200.0
N110 G03 X836.711 Y-0.766 I+3.000 J+0.000 F3600.0
N120 G01 X1286.711
N130 G03 X1289.711 Y2.234 I+0.000 J+3.000
N140 G01 Y8.234
N150 Y45.234
N160 G03 X1286.711 Y48.234 I-3.000 J+0.000
N170 G01 X1269.711
N180 G03 X1266.711 Y45.234 I+0.000 J-3.000
N190 G01 Y11.234
N200 X1256.711
N210 Y45.234
N220 G03 X1253.711 Y48.234 I-3.000 J+0.000
N230 G01 X1243.711
N240 G03 X1240.711 Y45.234 I+0.000 J-3.000
N250 G01 Y11.234
N260 X1230.711
N270 Y45.234
N280 G03 X1227.711 Y48.234 I-3.000 J+0.000
N290 G01 X1217.711
N300 G03 X1214.711 Y45.234 I+0.000 J-3.000
N310 G01 Y11.234
N320 X1204.711
N330 Y45.234
N340 G03 X1201.711 Y48.234 I-3.000 J+0.000
N350 G01 X1191.711

```

*Nota: imagen de la generación de código G
fuente: autor*

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

Se logró obtener el código G satisfactoriamente con un software a bajo costo y que cumple inicialmente con los requerimientos para poner en marcha este proyecto de crear peines de una manera automática y de buena calidad.

Rendimiento de la herramienta de corte

Se realizaron varias pruebas para saber el alcance que se podía hacer con la herramienta, se descubrió que el umbral de ruptura es con un avance de 500mm/min y una velocidad de spindle de 12000rpm.

*Tabla 1
Toma de datos y discretización de estos*

PARÁMETROS DE CORTE PARA PEINES (450mm X 43mm X 6.35mm)						
DIAMETRO HERRAMIENTA mm	AVANCE mm/min	Rpm spindle	número de pasadas	cant.peines	tiempo por peine	análisis visual de la herramienta
6	150	12000	10	1	1h:30min	termina en buenas condiciones
6	150	12000	5	1	1h	termina en buenas condiciones
6	500	12000	5	1	30min	falla herramienta
6	230	2160	1	1	15min	termina en buenas condiciones
6	250	2160	1	1	13min	termina en buenas condiciones
6	280	2500	1	1	10min	termina en buenas condiciones
6	400	4500	1	1	8min	pierde un poco el filo
6	480	4500	1	1	5min	se comporta bien

*Nota: tabla con las diferentes pruebas realizadas
fuente: autor*

Se puede destacar que la herramienta elegida con distribuidores de la ciudad de Medellín fue eficiente y duradera. Luego que se encontrara unos parámetros base, partiendo de información dada por proveedor y llevándola a límites.

Se logró realizar 70 peines seguidos y la herramienta no sufrió daños significativos solo pérdida de filo, y el tiempo de producción fue óptimo (5min por peine); ya que un operario demoraba aproximadamente entre 10 y 15 min en terminar 1 peine.

Ilustración 17
Peines elaborados en cnc.



Nota: esta imagen muestra peines programados y elaborados en cnc
fuelle: autor

Ilustración 18
Producción en masa luego de parametrización de material y maquina



Nota: peines en gran cantidad elaborados en cnc para producción
fuelle: autor

Figure 19
Acabado de peines



*Nota: acabado de peines en proceso de pruebas
fuente: autor*

Durante el proceso de pruebas se detectaron ciertas fallas y para esto se realizó unas posibles soluciones. Que a continuación se mencionan

Tabla 2
Posibles soluciones a problemas durante el mecanizado en cnc router

PROBLEMA	SOLUCIONES	
	DISMINUIR	AUMENTAR
Mal Acabado	<ul style="list-style-type: none"> • Profundidad de corte • Vibraciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de rotación • Succión de viruta • Número de dientes • Cierre fresa-mandil
Desgaste del diente de herramienta	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de rotación • Vibraciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de rotación • Succión de viruta • Número de dientes • Cierre fresa-mandil
El diente de la herramienta se quema	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de rotación • Numero de dientes 	<ul style="list-style-type: none"> • Avance de alimentación
Residuos en la herramienta	<ul style="list-style-type: none"> • Profundidad de corte 	<ul style="list-style-type: none"> • Avance de alimentación
Vibraciones	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de rotación • Profundidad de corte 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de rotación • Avance de alimentación • Succión de viruta
Rotura de la fresa	<ul style="list-style-type: none"> • Avance de alimentación • Profundidad de corte • Vibraciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Firmeza de la máquina • Sujeción de la pieza

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Con mi intervención como practicante de ingeniería electromecánica en la empresa WEG Colombia, se logra desarrollar con éxito la implementación de una nueva tecnología de mecanizado 3D.

Se pone en práctica conocimientos adquiridos en la formación como ingeniero electromecánico, como lo es programación cnc y dibujo técnico, mejorando los estándares de calidad, productividad y salud de los colaboradores.

Concluyendo este proyecto, se logra la fabricación y estandarización de peines en fibra de vidrio, parte fundamental para la elaboración de transformadores en seco clase H de la marca WEG.

Se adquiere experiencia en la planeación y ejecución de proyectos, conocimientos fundamentales en la vida laboral de un ingeniero electromecánico, Además con esta experiencia laboral, se mejoran las relaciones interpersonales y desarrollo como persona íntegra.

Recomendaciones

En el desarrollo de este proyecto, se pudo adentrar en muchas formas que la empresa puede aprovechar esta nueva tecnología, como por ejemplo la elaboración de aisladores de madera utilizados en el ensamble de trafos sumergidos en aceites. Para esto es necesario realizar un análisis de herramientas de corte adecuadas para madera y así sacar el mayor provecho a la tecnología de mecanizado 3D.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

REFERENCIAS

- Chapman, S. J. (2012). <i>Máquinas eléctricas</i>. McGraw-Hill. <https://www-ebooks7-24-com.itm.elogim.com:2443/?il=271>
- Suntec.com.co. 2021. Recuperado el 24 Octubre 2021. De <http://www.suntec.com.co/transformadores-secos-tipo-abierto-clase-h>
- Suntec.com.co. 2021. Recuperado el 24 Octubre 2021. De https://www.weg.net/catalog/weg/CO/es/Generaci%C3%B3n%2CTransmisi%C3%B3n-y-Distribuci%C3%B3n/Transformadores-Seco/Transformador-a-Seco/p/MKT_WTD_SMALL_DRY_TYPE_TRANSFORMER_UP_TO_300KVA
- Haascnc.com. 2021. ¿Qué es un código G?. Recuperado El 24 Octubre 2021. https://www.haascnc.com/es/video/tipoftheday/imx_uyrvuos.html

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	\$CODIGO
		Versión	\$VERSION
		Fecha	\$FECHA

FIRMA ESTUDIANTES

santiago gallego arroyave

FIRMA ASESORES



FECHA ENTREGA: _30/01/2022