



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“MODELADO CAD-CAM Y FABRICACIÓN DE UN  
PROTOTIPO DE BUSTO HUMANO, UTILIZANDO UN  
ROUTER CNC MULTIEJE”.**

**MEZA MEZA JORGE EDUARDO  
GAVILANEZ RIVERA CARLOS FERNANDO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN  
TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**Previa a la obtención del Título de:  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**Riobamba–Ecuador  
2018**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

2017-05-24

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

MEZA MEZA JORGE EDUARDO

Titulado:

**“MODELADO CAD-CAM Y FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO DE BUSTO  
HUMANO, UTILIZANDO UN ROUTER CNC MULTIEJE”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

Ing. Carlos Santillán Mariño  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza  
**DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

Ing. Carlos Oswaldo Álvarez Pacheco  
**ASESOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**ESPOCH**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

2017-05-24

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

GAVILANES RIVERA CARLOS FERNANDO

Titulado:

**“MODELADO CAD-CAM Y FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO DE BUSTO  
HUMANO, UTILIZANDO UN ROUTER CNC MULTIEJE”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

Ing. Carlos Santillán Mariño  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza  
**DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

Ing. Carlos Oswaldo Álvarez Pacheco  
**ASESOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**ESPOCH**

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** MEZA MEZA JORE EDUARDO

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:** “MODELADO CAD-CAM Y FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO DE BUSTO HUMANO, UTILIZANDO UN ROUTER CNC MULTIEJE”

**Fecha de Examinación:** 2018-02-20

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

| <b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>   | <b>APRUEBA</b> | <b>NO<br/>APRUEBA</b> | <b>FIRMA</b> |
|--|----------------|-----------------------|--------------|
| Ing. Marco Homero Almendariz Puente<br><b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b> |                |                       |              |
| Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza<br><b>DIRECTOR</b>                 |                |                       |              |
| Ing. Carlos Oswaldo Álvarez Pacheco<br><b>ASESOR</b>                   |                |                       |              |

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Marco Homero Almendariz Puente  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**



---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** GAVILANES RIVERA CARLOS FERNANDO

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:** “MODELADO CAD-CAM Y FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO DE BUSTO HUMANO, UTILIZANDO UN ROUTER CNC MULTIEJE”

**Fecha de Examinación:** 2018-02-20

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

| COMITÉ DE EXAMINACIÓN  | APRUEBA | NO<br>APRUEBA | FIRMA |
|--|---------|---------------|-------|
| Ing. Marco Homero Almendariz Puente<br><b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b> |         |               |       |
| Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza<br><b>DIRECTOR</b>                 |         |               |       |
| Ing. Carlos Oswaldo Álvarez Pacheco<br><b>ASESOR</b>                   |         |               |       |

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Marco Homero Almendariz Puente  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

Nosotros, MEZA MEZA JORGE EDUARDO Y GAVILANES RIVERA CARLOS FERNANDO, egresados de la Carrera de INGENIERÍA INDUSTRIAL de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, autores del trabajo de titulación denominado “**MODELADO CAD-CAM Y FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO DE BUSTO HUMANO, UTILIZANDO UN ROUTER CNC MULTIEJE**”, nos responsabilizamos en su totalidad del contenido en su parte intelectual y técnica, y me someto a cualquier disposición legal en caso de no cumplir con este precepto.

---

**Meza Meza Jorge Eduardo**

Cédula de Identidad: 020193726-5

---

**Gavilanes Rivera Carlos Fernando**

Cédula de Identidad: 140114546-9

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Meza Meza Jorge Eduardo y Gavilanes Rivera Carlos Fernando, declaramos que el presente trabajo de grado es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Meza Meza Jorge Eduardo**

Cédula de Identidad: 020193726-5

---

**Gavilanes Rivera Carlos Fernando**

Cédula de Identidad: 140114546-9

## **DEDICATORIA**

Este trabajo dedico primeramente a Dios, por haberme guiado por el camino del bien y por haberme hecho la persona que soy. A mi madre por haberme dado la vida, educarme para ser una persona de bien por darme tantos motivos para seguir adelante profesionalmente, por enseñarme a nunca rendirme por más obstáculos que haya en el camino por demostrarme que con el apoyo podemos llegar a cumplir todas las metas que nos proponemos en la vida, todo lo que soy te lo dedico a ti madrecita, a mis hermanos por siempre demostrarme que pese a tantos problemas seguimos unidos como una gran familia que nunca se separará, por regalarme los tesoros más grandes que la vida me dio mis sobrinos. A mi padre por el apoyo brindado en este tiempo, y de manera muy especial a mis angelitos que se encuentran en el cielo y me guían por el buen camino de bien, a mis tíos, amigos que siempre estarán apoyándome en esta nueva etapa como profesional.

***Meza Meza Jorge Eduardo***

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi padre César, que fue el pilar fundamental por demostrarme cariño, amor y apoyo incondicional. A mi madre Margarita por haberme inculcado valores como: el respeto, humildad y lealtad; a mi esposa Verónica la cual me regalo una hermosa hija Adrielle. A mis hermanos: Jorge, Patricio, Fabián, Byron, Mónica, Marcelo y a mi sobrina Nicole. Por sus consejos necesarios. De manera muy atenta también dedico a mis amigos por su amistad sincera y confianza honesta. Porque sin todos ellos nunca hubiese logrado esta meta.

***Gavilanes Rivera Carlos Fernando***

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Escuela de Ingeniería Industrial y a sus docentes, por permitirme formarme y obtener mi título profesional y ser una persona útil para la sociedad, para poder ser una persona competitiva en el ámbito laboral y llenar todas mis expectativas propuestas.

Al Ing. Ángel Guamán Mendoza, director y al Ing. Carlos Álvarez asesor de tesis; por su contribución a la ejecución y culminación del presente trabajo.

**Meza Meza Jorge Eduardo**

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Mecánica y de manera muy especial a la escuela de Ingeniería Industrial, por darme la oportunidad de obtener una profesión, y ser una persona útil a la sociedad.

Durante el transcurso de mi vida, han pasado y se han quedado en mi corazón muchas personas, demostrando su amistad y velando por mi superación personal, profesional y espiritual.

Es el caso del Ing. Ángel Guamán Mendoza e Ing. Carlos Álvarez Pacheco, quienes también nos ayudaron en el asesoramiento en la tesis; ya que con el apoyo de su conocimiento y experiencia se logró elaborar el presente documento.

**Gavilanes Rivera Carlos Fernando**

## CONTENIDO

|  | Pag. |
|--|------|
| CAPÍTULO 1.....  | 1    |
| 1. MARCO REFERENCIAL.....                                | 1    |
| 1.1. Antecedentes.....                                   | 1    |
| 1.2. Planteamiento del problema.....                     | 1    |
| 1.3. Justificación.....                                  | 2    |
| 1.3.1. <i>Justificación teórica</i> .....                | 2    |
| 1.3.2. <i>Justificación metodológica</i> .....           | 2    |
| 1.3.3. <i>Justificación practica</i> .....               | 3    |
| 1.4. Objetivos.....                                      | 4    |
| 1.4.1. Objetivo general.....                             | 4    |
| 1.4.2. Objetivos específicos.....                        | 4    |
| CAPÍTULO 2.....  | 5    |
| 2. Marco teórico.....                                    | 5    |
| 2.1. Sistemas CAD/CAM.....                               | 5    |
| 2.2. Diseño asistido por computador (CAD).....           | 5    |
| 2.3. Recomendaciones previas al uso de sistemas CAD..... | 5    |
| 2.4. Beneficios de los sistemas CAD.....                 | 6    |
| 2.5. Áreas de aplicación de los sistemas CAD.....        | 6    |
| 2.6. Formas de representación de los sistemas CAD.....   | 7    |
| 2.6.1. <i>Dos dimensiones 2D</i> .....                   | 7    |
| 2.6.2. <i>Tres dimensiones 3D</i> .....                  | 7    |
| 2.7. Manufactura asistida por computador (CAM).....      | 7    |
| 2.8. Ventajas de los sistemas CAM.....                   | 7    |
| 2.9. Bases de funcionamiento del CAM.....                | 8    |
| 2.10. Unificación de los sistemas CAD/CAM.....           | 8    |
| 2.11. CAD/CAM en el proceso de diseño y fabricación..... | 8    |

|   |    |
|---|----|
| 2.11.1. <i>Proceso de diseño</i> .....  | 8  |
| 2.11.2. <i>Proceso de fabricación</i> .....                                   | 8  |
| 2.12. Ciclo del producto utilizando sistemas CAD/CAM .....                    | 8  |
| 2.13. Características de los sistemas CAD/CAM .....                           | 9  |
| 2.14. Beneficios de los sistemas CAD/CAM .....                                | 9  |
| 2.15. Áreas de aplicación de los sistemas CAD/CAM .....                       | 10 |
| 2.16. Evolución del CAD/ CAM .....  | 10 |
| 2.17. Ventajas de los sistemas CAD/CAM frente a sistemas convencionales ..... | 11 |
| 2.18. Software de CAD/CAM .....   | 13 |
| 2.18.1. <i>Visualmill 5.0</i> .....   | 13 |
| 2.18.2. <i>SolidCAM internet</i> .....  | 14 |
| 2.18.3. <i>Mastercam internet</i> .....                                       | 15 |
| 2.19. Control numérico computarizado (CNC) .....                              | 15 |
| 2.20. Ventajas del CNC .....  | 16 |
| 2.21. Aplicaciones del CNC .....  | 17 |
| 2.22. Diferencias entre una máquina convencional y una máquina con CNC. ....  | 17 |
| 2.23. El factor humano y las máquinas CNC. ....                               | 17 |
| 2.24. Tipos de máquinas CNC según el número de ejes. ....                     | 17 |
| 2.24.1. <i>Tres ejes</i> .....  | 18 |
| 2.24.2. <i>Cuatro ejes</i> .....  | 18 |
| 2.24.3. <i>Cinco ejes</i> .....   | 18 |
| 2.25. Máquinas CNC de cinco ejes .....  | 19 |
| 2.26. Bases de funcionamiento de una maquina CNC de cinco ejes .....          | 19 |
| 2.27. Movimientos de los ejes de una máquina CNC de cinco ejes .....          | 20 |
| 2.28. Clasificación de controladores numéricos .....                          | 20 |
| 2.28.1. <i>Según el sistema de referencia</i> . ....                          | 21 |
| 2.28.2. <i>Según el tipo de accionamiento</i> .....                           | 21 |

|  |    |
|--|----|
| 2.28.3. Según el bucle de control. ....                                | 21 |
| 2.28.4. Según la tecnología de control. ....                           | 21 |
| 2.29. Estructura de un programa CNC .....                              | 22 |
| 2.29.1. Bloques de programación.....                                   | 22 |
| 2.29.2. Bloques Condicionales. ....                                    | 22 |
| 2.29.3. Instrucciones de movimiento o preparatorias (Funciones G)..... | 23 |
| 2.29.4. Funciones Auxiliares o complementarias. ....                   | 23 |
| 2.29.5. Funciones X, Y, Z. ....  | 25 |
| 2.29.6. Funciones S, F, T.....   | 25 |
| CAPITULO III.....  | 27 |
| 3. ANALISIS Y SELECCIÓN DEL SOTWARE .....                              | 27 |
| 3.1. Selección del software CAD/CAM.....                               | 27 |
| 3.2. Método ordinal corregido de criterios ponderados. ....            | 27 |
| 3.3. Criterios de Valorización. ....                                   | 28 |
| 3.3.1. Funcionalidad del Software. ....                                | 28 |
| 3.3.2. Aprendizaje.....  | 28 |
| 3.3.3. Herramientas.....   | 28 |
| 3.3.4. Post procesadores. ....   | 29 |
| 3.4. Alternativas de Software de Diseño CAD/CAM.....                   | 29 |
| 3.5. Ponderación de los criterios de valoración. ....                  | 29 |
| 3.6. Selección de la alternativa más adecuada .....                    | 30 |
| 3.7. ESCÁNER GOSCAM 3D .....   | 30 |
| 3.7.1. Funciones .....   | 30 |
| 3.8. GEOMAGIC FREEFORM.....  | 31 |
| 3.9. Base de funcionamiento.....                                       | 32 |
| 3.10. Combinación del CAD .....  | 32 |
| 3.11. Importación de datos.....  | 32 |



|                   |   |    |
|-------------------|---|----|
| 3.12.             | Función principal .....   | 33 |
| 3.13.             | APLICACIONES .....  | 33 |
| 3.14.             | Características del software Geomagic Freeform.....                                 | 37 |
| 3.15.             | Selección de la máquina de 5 ejes .....   | 38 |
| 3.16.             | Alternativas de máquinas CNC de 5 ejes. ....  | 38 |
| 3.17.             | Fresadora Gantry de 5 ejes de alta velocidad .....                                  | 38 |
| 3.17.1.           | <i>Ventajas:</i> .....  | 38 |
| 3.17.2.           | <i>Desventajas:</i> .....   | 39 |
| 3.18.             | Fresadora CNC 5 ejes / universal DMU 95 monoBLOCK®.....                             | 39 |
| 3.18.1.           | <i>Ventajas:</i> .....  | 39 |
| 3.18.2.           | <i>Desventajas:</i> .....   | 40 |
| 3.19.             | HY-3040 China Mini Maquina Fresadora Router CNC 5 Ejes. ....                        | 40 |
| 3.19.1.           | <i>Ventajas:</i> .....  | 40 |
| 3.19.2.           | <i>Desventajas:</i> .....   | 41 |
| 3.20.             | Resumen de alternativas para la máquina CNC de cinco ejes .....                     | 41 |
| 3.21.             | Criterios de valorización. ....   | 42 |
| 3.21.1.           | <i>Capacidad de la máquina</i> .....  | 42 |
| 3.21.2.           | <i>Funcionalidad</i> .....  | 42 |
| 3.21.3.           | <i>Ponderación de los criterios de valoración</i> .....                             | 42 |
| 3.21.4.           | <i>Ponderación de la mejor alternativa</i> .....                                    | 43 |
| CAPÍTULO IV ..... |   | 43 |
| 4.                | Modelado y simulación del busto humano .....  | 44 |
| 4.1.              | Aplicación del escáner GOSCAM 3D para el proceso de escaneado del busto humano..... | 44 |
| 4.2.              | Alcance GOSCAM 3D .....   | 44 |
| 4.3.              | Precisión del GOSCAM 3D .....   | 44 |
| 4.4.              | Campos de aplicación:.....  | 45 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 4.5.    | Proceso de escaneado. ....  | 45 |
| 4.6.    | Aplicación de Geomagic freeform.....  | 48 |
| 4.7.    | Determinación de parámetros para la generación de arcilla .....                           | 49 |
| 4.8.    | Detalles primordiales a tomar en cuenta para el moldeo .....                              | 50 |
| 4.9.    | Herramienta más usada en el proceso.....  | 52 |
| 4.10.   | Reducción del nivel de suavizado .....  | 54 |
| 4.11.   | Generación de la nube de puntos.....  | 55 |
| 4.12.   | Cambio de herramienta.....  | 57 |
| 4.13.   | Suavizado de la parte superior.....   | 57 |
| 4.14.   | Eliminación del exceso de material .....  | 61 |
| 4.15.   | Reorientación de la vista del modelado.....   | 62 |
| 4.16.   | Ingreso de coordenadas .....  | 62 |
| 4.17.   | Resultado final.....  | 68 |
| 4.18.   | Aplicación de Visualmill 5.0.....   | 71 |
| 4.19.   | Pasos para la mecanización del busto humano proceso de desbaste .....                     | 72 |
| 4.20.   | Herramienta surface.....  | 73 |
| 4.21.   | Creación de la herramienta .....  | 75 |
| 4.22.   | Selección de regiones .....   | 77 |
| 4.23.   | Realización del Post Process .....  | 80 |
| 4.24.   | Generación de los códigos G.....  | 81 |
| 4.25.   | Finalización de la simulación .....   | 82 |
| 4.26.   | Proceso de semi-afinado.....  | 83 |
| 4.27.   | Localización del cero pieza .....   | 84 |
| 4.28.   | Parámetros de corte .....   | 93 |
| 4.28.1. | <i>Herramienta de corte.....</i>  | 93 |
| 4.28.2. | <i>Velocidad de corte (Vc). .....</i>   | 94 |
| 4.28.3. | <i>Cálculo la velocidad de corte para una fresa Redonda de Carburo de<br/>Ø 6 mm.....</i> | 96 |

|                   |  |     |
|-------------------|--|-----|
| 4.28.4.           | <i>Avance</i> .....  | 96  |
| 4.28.5.           | <i>Cálculo del avance para una fresa Redonda de Ø6 mm</i> .....    | 98  |
| CAPÍTULO V .....  |  | 99  |
| 5.                | FABRICACION DE UN BUSTO HUMANO .....                               | 99  |
| 5.1.              | SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA EL BUSTO HUMANO .....                  | 99  |
| 5.2.              | Selección del material .....                                       | 100 |
| 5.3.              | SUJECIÓN DEL MATERIAL .....  | 100 |
| 5.4.              | MANIPULACIÓN DEL SOFTWARE MACH3 .....                              | 103 |
| 5.5.              | Configuración de la máquina con el software Mach3.....             | 103 |
| 5.6.              | Configuración de puertos y pins de la máquina de cinco ejes .....  | 104 |
| 5.7.              | Configuración de los motores de paso .....                         | 105 |
| 5.8.              | Configuración de los botones de jog.....                           | 106 |
| 5.9.              | Configuración de la velocidad de avance .....                      | 107 |
| 5.10.             | Configuración de la velocidad del husillo .....                    | 108 |
| 5.11.             | Configuración de la herramienta .....                              | 109 |
| 5.12.             | Determinación del cero pieza. ....                                 | 109 |
| 5.13.             | Transferencia de programación a la máquina CNC de cinco ejes ..... | 112 |
| 5.14.             | Ejecución del programa código g .....                              | 113 |
| 5.15.             | Proceso de mecanizado.....   | 114 |
| 5.15.1.           | <i>Desbaste</i> .....  | 114 |
| 5.15.2.           | <i>Semi-afinado</i> .....  | 115 |
| Capítulo VI ..... |  | 118 |
| 6.                | Conclusiones y recomendaciones .....                               | 118 |
| 6.1.              | Conclusiones .....   | 118 |
| 6.2.              | Recomendaciones.....   | 118 |
| Bibliografía      |  |     |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 2-1.</b> Ciclo de producto.....  | 9  |
| <b>Figura 2-2.</b> Visualmill 5.0.....   | 13 |
| <b>Figura 2-3.</b> SolidCAM internet.....  | 14 |
| <b>Figura 2-4.</b> Mastercam Internet .....  | 15 |
| <b>Figura 2-5.</b> Notación de los ejes y dirección de movimiento en máquinas<br>herramientas..... | 20 |
| <b>Figura 3-1.</b> Fresadora Gantry de 5 ejes de alta velocidad – Antares .....                    | 39 |
| <b>Figura 3-2.</b> Fresadora CNC 5 ejes / universal DMU 95 monoBLOCK®.....                         | 40 |
| <b>Figura 4-1.</b> Proceso de escaneado.....   | 45 |
| <b>Figura 4-2.</b> Configuración del escáner.....  | 46 |
| <b>Figura 4-3.</b> Programa VXelements .....   | 46 |
| <b>Figura 4-4.</b> Escaneo del busto.....  | 47 |
| <b>Figura 4-5.</b> Formato STL binario.....  | 47 |
| <b>Figura 4-6.</b> Determinación de parámetros para la generación de arcilla .....                 | 49 |
| <b>Figura 4-7.</b> Dimensiones del modelado .....  | 50 |
| <b>Figura 4-8.</b> Llenar orificio .....   | 50 |
| <b>Figura 4-9.</b> Eliminación de ciertos puntos basura .....                                      | 51 |
| <b>Figura 4-10.</b> Giro de coordenadas de los ejes.....   | 52 |
| <b>Figura 4-11.</b> Herramienta suavizar .....   | 52 |
| <b>Figura 4-12.</b> Configuración de la herramienta suavizar .....                                 | 53 |
| <b>Figura 4-13.</b> Difuminar.....   | 53 |
| <b>Figura 4-14.</b> Nivel de suavizado .....   | 54 |
| <b>Figura 4-15.</b> Reducción del nivel de suavizado.....  | 54 |
| <b>Figura 4-16.</b> Generación de la nube de puntos .....  | 55 |
| <b>Figura 4-17.</b> Eliminación de material .....  | 55 |
| <b>Figura 4-18.</b> Eliminando Fallas de la nuca .....   | 56 |
| <b>Figura 4-19.</b> Eliminación de fallas de los hombros .....                                     | 56 |
| <b>Figura 4-20.</b> Eliminación de fallas de la nariz.....   | 57 |
| <b>Figura 4-21.</b> Cambio de herramienta .....  | 60 |
| <b>Figura 4-22.</b> Eliminación de fallas de los ojos .....  | 61 |
| <b>Figura 4-23.</b> Suavizado de la parte superior .....   | 57 |
| <b>Figura 4-24.</b> Eliminación de fallas en labio superior y tabique.....                         | 58 |
| <b>Figura 4-25.</b> Disminuimos de la herramienta y toques finales.....                            | 58 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 4-26.</b> Elaboración de detalles de la oreja.....   | 59 |
| <b>Figura 4-27.</b> Cambio de aspereza de la arcilla.....  | 59 |
| <b>Figura 4-28.</b> Utilización de la herramienta de cera caliente .....                             | 60 |
| <b>Figura 4-29.</b> Eliminación del exceso de material .....   | 61 |
| <b>Figura 4-30.</b> Reorientación de la vista de modelado .....                                      | 62 |
| <b>Figura 4-31.</b> Front Plano 2.....   | 62 |
| <b>Figura 4-32.</b> Ingreso de coordenadas.....  | 63 |
| <b>Figura 4-33.</b> Activación de la herramienta separar.....  | 63 |
| <b>Figura 4-34.</b> Separación del modelado .....  | 64 |
| <b>Figura 4-35.</b> Eliminación del material sobrante .....  | 64 |
| <b>Figura 4-36.</b> Creación de un nuevo plano.....  | 65 |
| <b>Figura 4-37.</b> Marcación de la casilla invertir.....  | 65 |
| <b>Figura 4-38.</b> Toque final de la ceja.....  | 66 |
| <b>Figura 4-39.</b> Diseño del ojo .....   | 66 |
| <b>Figura 4-40.</b> Detalle de la ceja mediante la herramienta relieve .....                         | 67 |
| <b>Figura 4-41.</b> Ingreso de los parámetros de distancia y ángulo .....                            | 67 |
| <b>Figura 4-42.</b> Tallo de orificio en el ojo.....   | 68 |
| <b>Figura 4-43.</b> Resultado final .....  | 68 |
| <b>Figura 4-44.</b> Utilidades de arcilla y copiado en malla.....                                    | 69 |
| <b>Figura 4-45.</b> Reducción de malla.....  | 69 |
| <b>Figura 4-46.</b> Generación de la Superficie Automática .....                                     | 70 |
| <b>Figura 4-47.</b> Mezafinal1_Mesh_Superficie .....   | 70 |
| <b>Figura 4-48.</b> Exportar.....  | 71 |
| <b>Figura 4-49.</b> ParaSolid Text File (*x_t).....  | 71 |
| <b>Figura 4-50.</b> Visual mill 5.0.....   | 72 |
| <b>Figura 4-51.</b> Procedemos a abrir el archivo en la carpeta que se guardó<br>anteriormente. .... | 72 |
| <b>Figura 4-52.</b> Archivo igs.....   | 73 |
| <b>Figura 4-53.</b> Visualmill 5.0.....  | 73 |
| <b>Figura 4-54.</b> Herramienta surface .....  | 74 |
| <b>Figura 4-55.</b> Single Flat Area Region.....   | 74 |
| <b>Figura 4-56.</b> Busto en pre visualización .....   | 75 |
| <b>Figura 4-57.</b> Herramienta HSS acero rápido .....   | 76 |
| <b>Figura 4-58.</b> Mops .....   | 76 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 4-59.</b> Clearance control .....  | 77 |
| <b>Figura 4-60.</b> Regions .....  | 77 |
| <b>Figura 4-61.</b> Polyline .....   | 78 |
| <b>Figura 4-62.</b> Geometry.....  | 78 |
| <b>Figura 4-63.</b> Regions stock.....   | 78 |
| <b>Figura 4-64.</b> Cut Levels, advanced Cut Parameters .....                            | 79 |
| <b>Figura 4-65.</b> Carpeta Horizontal Roughing .....                                    | 79 |
| <b>Figura 4-66.</b> Generate .....   | 80 |
| <b>Figura 4-67.</b> Generación del post process.....                                     | 80 |
| <b>Figura 4-68.</b> Guardado del post process .....                                      | 81 |
| <b>Figura 4-69.</b> Post Process arrastramos al programa de simulación CIMCO Edit V7.... | 81 |
| <b>Figura 4-70.</b> Simulación de la trayectoria.....                                    | 82 |
| <b>Figura 4-71.</b> Observación de la trayectoria.....                                   | 82 |
| <b>Figura 4-72.</b> Finalización de la simulación.....                                   | 83 |
| <b>Figura 4-73.</b> Proceso de semi-afilado .....  | 83 |
| <b>Figura 4-74.</b> Orient geometry .....  | 84 |
| <b>Figura 4-75.</b> Localización del cero pieza.....                                     | 84 |
| <b>Figura 4-76.</b> Localización del cero pieza.....                                     | 85 |
| <b>Figura 4-77.</b> Referenciado del cero pieza .....                                    | 85 |
| <b>Figura 4-78</b> Locate Geometry.....  | 85 |
| <b>Figura 4-79.</b> Preferences .....  | 86 |
| <b>Figura 4-80.</b> Grid Preferences.....  | 86 |
| <b>Figura 4-81</b> Preparación para la generación de los códigos G .....                 | 87 |
| <b>Figura 4-82.</b> Rotación .....   | 87 |
| <b>Figura 4-83.</b> Semi-afinado .....   | 88 |
| <b>Figura 4-84.</b> Verificación de la trayectoria.....                                  | 88 |
| <b>Figura 4-85.</b> Trayectoria del semi- afinado .....                                  | 89 |
| <b>Figura 4-86.</b> Post process.....  | 90 |
| <b>Figura 4-87.</b> Guardar el archivo.....  | 90 |
| <b>Figura 4-88.</b> Generación en CIMCO Edit V7.....                                     | 91 |
| <b>Figura 4-89.</b> Guardar códigos G generados .....                                    | 91 |
| <b>Figura 4-90.</b> Simulación de la herramienta.....                                    | 92 |
| <b>Figura 4-91.</b> Modelado Final con la herramienta .....                              | 93 |
| <b>Figura 4-92.</b> Fresa plana HSS de Ø6 mm.....  | 96 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 4-93.</b> Fresa de Carburo de Ø6 mm y número de dientes 4.....                           | 98  |
| <b>Figura 5-1.</b> Cilindro de material Nylon .....  | 100 |
| <b>Figura 5-2.</b> Sujeción del cilindro en la placa. ....   | 101 |
| <b>Figura 5-3.</b> Tornillos negros mdf se utilizó para solidificar el cilindro con la placa... .. | 101 |
| <b>Figura 5-4.</b> Bomba para el sistema de refrigeración.....                                     | 101 |
| <b>Figura 5-5.</b> Sistema de refrigeración de la máquina .....                                    | 102 |
| <b>Figura 5-6.</b> Botón on/off de la máquina.....   | 102 |
| <b>Figura 5-7.</b> Panel de control del husillo.....   | 102 |
| <b>Figura 5-8.</b> Panel de control del software Mach3.....  | 103 |
| <b>Figura 5-9.</b> Computador esclavo para el control de la máquina CNC.....                       | 103 |
| <b>Figura 5-10.</b> Configuración de puertos y pines de la máquina .....                           | 104 |
| <b>Figura 5-11.</b> Habilitación de Ensamblajes para los ejes de la máquina .....                  | 104 |
| <b>Figura 5-12.</b> Configuración de los motores de paso .....                                     | 105 |
| <b>Figura 5-13.</b> Configuración de los botones de JOG .....                                      | 107 |
| <b>Figura 5-14.</b> Configuración del avance .....   | 107 |
| <b>Figura 5-15.</b> Configuración de la velocidad del husillo .....                                | 108 |
| <b>Figura 5-16.</b> Configuración de la herramienta.....   | 109 |
| <b>Figura 5-17.</b> Determinación del cero pieza.....  | 109 |
| <b>Figura 5-18.</b> Zero X .....   | 110 |
| <b>Figura 5-19.</b> Zero Y .....   | 110 |
| <b>Figura 5-20.</b> Zero Z.....  | 110 |
| <b>Figura 5-21.</b> Zero A .....   | 111 |
| <b>Figura 5-22.</b> Zero B .....   | 111 |
| <b>Figura. 5-23</b> Cero piezas.....   | 111 |
| <b>Figura 5-24.</b> Transferencia de códigos G .....   | 112 |
| <b>Figura 5-25.</b> Archivos de programación .NC .....   | 112 |
| <b>Figura 5-26.</b> Sección de control del programa.....   | 113 |
| <b>Figura 5-27.</b> Estado inicial de la pieza.....  | 114 |
| <b>Figura 5-28.</b> Fresado del contorno .....   | 114 |
| <b>Figura 5-29.</b> Fresado cabeza del busto .....   | 115 |
| <b>Figura 5-30.</b> Fresado cuerpo del busto humano.....   | 115 |
| <b>Figura 5-31.</b> Semi-afinado de la parte superior de la cabeza del busto .....                 | 115 |
| <b>Figura 5-32.</b> Semi-afinado de la cara del busto .....  | 116 |
| <b>Figura 5-33.</b> Semi-afinado de la parte de los hombros del busto .....                        | 116 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 5-34.</b> Semi-afinado del busto humano..... | 116 |
| <b>Figura 5-35.</b> Busto terminado .....              | 117 |



## LISTA DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 2-1.</b> Evolución de CAD/CAM .....   | 11 |
| <b>Tabla 2-2.</b> Diferencias entre una máquina convencional y una máquina con CNC ..... | 17 |
| <b>Tabla 2-3.</b> Funciones G .....  | 23 |
| <b>Tabla 2-4.</b> Funciones M. ....  | 25 |
| <b>Tabla 3-1.</b> Valoración de criterios. ....  | 28 |
| <b>Tabla 3-2.</b> Alternativas de software de diseño .....                               | 29 |
| <b>Tabla 3-3.</b> Ponderación de los criterios de valorización .....                     | 29 |
| <b>Tabla 3-4.</b> Selección de la alternativa más adecuada.....                          | 30 |
| <b>Tabla 3-5.</b> Tabla alternativa de fresadora de 5 ejes. ....                         | 41 |
| <b>Tabla 3-6.</b> Forma de ponderación .....   | 42 |
| <b>Tabla 3-7.</b> Ponderación de la mejor alternativa .....                              | 43 |
| <b>Tabla 4-1.</b> Velocidades de corte de la máquina fresadora .....                     | 95 |
| <b>Tabla 4-2.</b> Avance recomendado por diente (fresas de carburo cementado) .....      | 97 |
| <b>Tabla 5-1.</b> Selección del Material .....   | 99 |

## LISTA DE ILUSTRACIONES

|   |    |
|---|----|
| <b>Ilustración 2-1.</b> Bloque de programación .....                  | 22 |
| <b>Ilustración 3-1.</b> Beneficios del modelado.....                  | 31 |
| <b>Ilustración 3-2.</b> Diseño de partes .....                        | 34 |
| <b>Ilustración 3-3.</b> Capacidad de impresión.....                   | 35 |
| <b>Ilustración 3-4.</b> Configuraciones de diseño.....                | 36 |
| <b>Ilustración 4-1.</b> Campos de aplicación .....                    | 45 |
| <b>Ilustración 4-2.</b> Geomagic freeform. ....                       | 48 |
| <b>Ilustración 4-3.</b> Software para el mejoramiento del busto ..... | 48 |
| <b>Ilustración 4-4.</b> Importar Archivo .....                        | 49 |

## RESUMEN

Con el desarrollo de este proyecto de titulación se fabricó un busto humano a escala utilizando tecnología CNC, debido a su geometría es indispensable utilizar una máquina de 5 ejes. Se seleccionó el software adecuado en base a un cuadro de ponderación donde se asignaron varios factores en base a criterios de diseño y flexibilidad, siendo seleccionado el software GOSCAM 3D para el proceso de escaneado, el software Geomagic Freeform para el modelado y Visualmill 5.0 para el diseño. El busto humano es modelado a una escala prudencial según datos y dimensiones reales con ayuda de una plantilla del diseño seleccionado. Con el modelo establecido se obtienen los respectivos códigos G desde el software Visualmill 5.0, para esto es necesario introducir la geometría básica, pieza en bruto, dimensiones y seleccionar el tipo de herramienta, por último, se realiza una simulación para verificar que los parámetros seleccionados sean los adecuados. El busto humano a escala es mecanizado en Nylon en la maquina CNC HY-3040 China Mini Maquina Fresadora Router CNC 5 Ejes, la línea de códigos G por tener un número considerable se introdujo en 2 grupos, previamente se realizaron cálculos de velocidad y avance de corte de la herramienta. Al final del mecanizado se obtuvo un modelo con dimensiones y geometrías exactas al diseño, el proceso de fabricación duro un tiempo de 14h 45 minutos y 15 s, este resultado fue gracias a la construcción del modelo en una máquina de 5 ejes porque debido a su geometría compleja construirlo en otra máquina hubiera sido imposible. En conclusión se puede argumentar que los códigos G son fundamentales porque si se genera de forma errónea la maquina toma rumbos distintos; Para obtener una pieza con buen acabado superficial es recomendable calcular la velocidad de corte adecuada según el diámetro de la herramienta, las simulaciones en el software son fundamentales para verificar posibles fallas en el mecanizado.

**PALABRAS CLAVE:** <DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD)>, <MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAM)>, <CONTROL NUMÉRICO COMPUTALIZADO (CNC)>, <REVOLUCIONES POR MINUTO (RPM) >, <GEOMAGIC FREEFORM (SOFTWARE)>, <GOSCAM 3D (SOFTWARE)>, <VISUALMILL 5.0 (SOFTWARE)>

## **ABSTRACT**

With the development of this graduation project, a human bust to scale was manufactured, using CNC technology due to its geometry, it was essential to use a machine of 5-axes. The proper software was selected on the basis of a weighting table where several factors were allocated on the basis of design criteria and flexibility, being selected GOSCAM 3D software for the scanning process, Freeform Geomagic software for modeling, and Visualmill 5.0 for the design. The bust was modeled to a prudential scale according to real data and dimensions with the help of a selected design template. With the established model, the respective codes G from Visualmill 5.0 software were obtained. For this, it was necessary to introduce the basic geometry, the unprocessed material, dimensions, and select the type of tool. Finally, a simulation was made in order to check the parameters selected were appropriate. The human bust to scale was made in Nylon in the HY-3040 China Deskpot Mini 5-axis CNC Router machine, Due to, the line of code G had a significant number, it was entered in 2 groups. Previously calculations of speed and progress in the cutting tool were performed. At the end of the processing, a model with exact dimensions or geometries to the design was obtained. The manufacturing process lasted for 14 hours, 45 minutes, and 15 seconds. This result was due to the construction of the model in the 5-axis machine. Because of its complex geometry, its construction would had been impossible on another machine. In conclusion, it can be argued that the codes G are fundamental, because if they are generated in a wrong way, the machine takes in different directions. To get a piece with good surface finish, it is advisable to calculate the proper cutting speed according to the diameter of the tool. The simulations in the software are fundamental to check for possible failures in the machining.

**KEYWORDS:** <COMPUTER AIDED DESIGN (CAD)>, <COMPUTER AIDED MANUFACTURING (CAM)>, <COMPUTERIZED NUMERICAL CONTROL (CNC)>, <REVOLUTIONS PER MINUTE (RPM)>, <GEOMAGIC FREEFORM (SOFTWARE)>, <GOSCAM 3D (SOFTWARE)>, <VISUALMILL 5.0 (SOFTWARE)>

## INTRODUCCIÓN

Actualmente existe un ambiente de grandes expectativas e incertidumbre. Mucho de esto se da por los rápidos cambios de la tecnología actual, pues estos no permiten asimilarla en forma adecuada de modo que es muy difícil sacar su mejor provecho. También surgen cambios rápidos en el orden económico y político los cuales en sociedades como la nuestra (países en desarrollo) inhiben el surgimiento de soluciones autóctonas o propias para nuestros problemas más fundamentales. Entre todos estos cambios uno de los de mayor influencia lo será sin duda la globalización que vivimos hoy en día. Esto nos habla de una libre competencia y surge la necesidad de adecuar nuestras industrias a fin de que puedan satisfacer el reto de los próximos años. Una opción o alternativa frente a esto es la reconversión de las industrias introduciendo el elemento de la automatización.

"Las maquinas CNC tienen la capacidad de dirigir posicionamientos de un órgano mecánico móvil, en forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas definidas por medio de un programa, factor que es de gran ayuda para el mecanizado de figuras, debido a su versatilidad para el desarrollo de los diferentes moldes que se requiere mecanizar, ya que se pueden hacer movimientos complejos como círculos, líneas diagonales y figuras tridimensionales con más precisión y mejores tiempos de fabricación que no se pueden lograr en un proceso que se hace manualmente" (Ivan Garcia, 2009).

La Escuela de Ingeniería Industrial cuenta con el laboratorio de CAD/CAM con el cual fortalece de manera significativa la formación del Ingeniero Industrial con lo nuevo que está proyectando y equipando con nuevos prototipos, máquinas y router multitejes con lo cual aportara un mejor aprendizaje y facilita la manipulación y tener claro el funcionamiento de estos equipos.

# CAPÍTULO 1

## **1. MARCO REFERENCIAL**

### **1.1. Antecedentes**

Dentro del campo de la producción industrial, la manufactura en máquinas-herramientas ha evolucionado, dando lugar a la interacción del hombre con el computador, facilitando las tareas de mecanizado de una forma automática y precisa.

Las máquinas de control numérico son una herramienta de trabajo que incrementa, la productividad, disminuye los costos y tiempos, es una herramienta indispensable para competir en el mercado globalizado. La capacidad intelectual del ser humano ha hecho posible encontrar soluciones prácticas a los problemas y retos que el camino a la modernización ha presentado en las distintas etapas de avance tecnológico y que han marcado los registros históricos del desarrollo y mejoramiento de los procesos industriales.

El laboratorio de CAD-CAM está compuesto de máquinas CNC las cuales tienen un funcionamiento múltiple, que pueden satisfacer todas las interrogantes de los alumnos adquiridas en el aula. Es así que al laboratorio hay que aprovecharlo al máximo.

### **1.2. Planteamiento del problema**

La Facultad de Mecánica actualmente cuenta con tornos, centros de mecanizados de 3, 4, 5 ejes que son máquinas de tipo industrial, el router multiejes es una máquina accesible que podemos manipularla y adquirirla para un mayor aprendizaje y la realización de prácticas para tener la experiencia adecuada. Sin embargo aún no se ha desarrollado en el laboratorio CAD-CAM una investigación de prototipos de partes humanas, como el busto humano.

En tal virtud esta investigación, persigue encontrar el procedimiento adecuado para la fabricación de partes del cuerpo humano, como es el busto humano, que a futuro se profundizará esta investigación de otras partes del cuerpo humano que servirán como prótesis.

### **1.3. Justificación**

#### *1.3.1. Justificación teórica*

El presente proyecto de titulación cuenta con antecedentes tomada de varios medios, tanto bibliográficos y de páginas web. Sumándolo también el conocimiento adquirido en la formación adquirida en el área, así se expone la información necesaria y clara, conocimiento que sirve de aporte para el desarrollo de las bases teóricas del presente trabajo y adquisición de nuevos conocimientos y técnicas aplicables para nuestro proyecto.

Aportará a los Estudiantes de Ingeniería Industrial los lineamientos básicos de funcionamiento y diseño de sistemas CAD-CAM, los cuales son importantes para la generación de programas de manufactura mediante códigos ISO, que permitan un buen mecanizado en máquinas CNC cabe mencionar que diferentes fabricantes tienen su propio lenguaje de programación, por lo cual el presente trabajo profundizara los lenguajes de programación en el diseño y simulación de los códigos hacia la máquina.

Se cuenta con los estudios suficientes para la realización del presente trabajo de titulación, sin embargo, es necesario ampliar el conocimiento en aplicaciones realizadas ya en los laboratorios de CAD/CAM.

#### *1.3.2. Justificación metodológica*

La metodología a seguir está relacionada para la ejecución del modelado CAD-CAM y la fabricación de un prototipo de un busto humano utilizando un router multieje, para lo cual es importante descomponer las variables de interés, lo cual podemos mencionar en este caso son el modelado CAM y la fabricación de un prototipo de un busto humano.

Basándose en los objetivos específicos y enfocándose en el cumplimiento de los mismos se detalla a continuación las herramientas que se utilizarán.

- Instalación de los software necesarios que tienen licencia por parte de la ESPOCH y su reconocimiento de su operatividad que se ejecutará con la maquina CNC de cinco ejes multiejes.

- Inicialmente se realizará un escaneado general de un busto humano con la ayuda del escáner Goscam 3D, el cual realiza una nube de puntos a partir de la geometría de la superficie del objeto escaneado.
- Se importara el archivo escaneado hacia el software de CAD/CAM denominado Geomagic Freeform; con el fin de obtener el modelado inicialmente escaneado.
- Una vez obtenido el modelo solido del busto humano; se procede a exportar hacia el software denominado Visualmill 5.0, en el cual se elige las herramientas con sus respectivos accesorios.
- Mediante Visualmill 5.0 se procede al modelado de la pieza de manufactura obteniéndose como resultado el listado de códigos ISO, es decir las instrucciones para el mecanizado del busto humano en el CNC de cinco ejes.
- Mecanizado del busto humano en el CNC de cinco ejes.

### 1.3.3. *Justificación practica*

Por lo expuesto en el planteamiento del problema se justifica el trabajo de titulación, ya que con esta investigación se pretende realizar prototipos de partes humanas.

Él desarrollo del presente proyecto de titulación es complejo y se necesita de suma urgencia por que está afectando directamente en la educación de generaciones futuras.

La carrera al ser técnica requiere de la fabricación de elementos de máquinas y sistemas de diferentes tipos ya que se realizara piezas de todo tipo artístico.

El presente proyecto ayudara a realizar prótesis de partes humanas a escala para poder ser realizadas en un futuro en máquinas CNC industriales.

Este proyecto se lo realizo en máquinas didácticas con el fin de poder mecanizar en máquinas CNC más grandes para obtener las prótesis de partes del cuerpo humano más a futuro.



## **1.4. Objetivos**

### *1.4.1. Objetivo general*

Modelar y fabricar un prototipo de busto humano utilizando un router CNC multieje.

### *1.4.2. Objetivos específicos*

- Seleccionar el software más adecuado para la modelación del prototipo del busto humano.
- Realizar el modelo del busto humano escaneado por medio de GOSCAM 3D.
- Modelar mediante los softwares CAD-CAM del busto humano y obtener los códigos ISO.
- Seleccionar la maquina router CNC multieje que cumpla con las exigencias académicas de fabricación de un busto humano.
- Fabricar el prototipo de busto humano mediante los códigos ISO generados en el software e implantando en la maquina CNC.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Sistemas CAD/CAM**

#### **2.2. Diseño asistido por computador (CAD)**

CAD cuya sigla en inglés significa Computer Aided Desing, básicamente es el conjunto de aplicaciones informáticas que permite al ingeniero u otros profesionales de diseño definir un producto a fabricar, este conjunto de aplicaciones informáticas permiten al profesionista versatilidad del desarrollo y pruebas del producto.

El significado del diseño asistido por computadora ha alterado en diversas ocasiones durante su corta historia. Inicialmente CAD era un sinónimo de análisis de elemento finito.

Después, el énfasis en el CAD cambio al dibujo asistido por computadora y, en estas épocas, el termino CAD se asocia con el diseño y modelado de los objetos tridimensionales.

En sí, el diseño asistido por computadora implica lógicamente el uso de computadoras para la creación de dibujos y modelos todas las características del producto permitiendo al diseñador la manipulación del mismo y adaptarlo para futuras reingenierías.

En resumen el término CAD es útil para definir como el uso de sistemas informáticos (hardware y software) en la creación, modificación, acotación, análisis, optimización y representación foto realista de un producto.

#### **2.3. Recomendaciones previas al uso de sistemas CAD**

Antes de hacer uso de cualquier paquete de CAD se parte de un boceto a mano que ayude a centrar la idea general del concepto que se desea del producto, tomar y calcular el mayor número de medidas posible.

## **2.4. Beneficios de los sistemas CAD**

Los programas CAD para proyectos mecánicos emplean gráficas para objetos basadas en vectores, o pueden producir imágenes de mapa de bits, de manera que muestren la apariencia general de los objetos de diseño

Entre los beneficios se puede citar los más destacados:

- Incrementar la productividad del ingeniero
- Mejorar la calidad del diseño
- Mejorar la comunicación a través de la documentación
- Crear una base de datos para la manufactura

Sin embargo, los programas de ingeniería requieren más que formas. Como ocurre cuando se dibuja un boceto a mano o un esquema técnico y de ingeniería, los archivos de salida deben transmitir información, como materiales, procesos, dimensiones y tolerancias, de acuerdo con las especificidades convenidas.

## **2.5. Áreas de aplicación de los sistemas CAD**

El Diseño Asistido por Computadora es una de las muchas herramientas empleadas por ingenieros y diseñadores, además de que es empleada de muchas maneras dependiendo de la profesión de los usuarios y el tipo de programa en cuestión.

- Industria automotriz
- Construcción naval
- Industria aeroespacial.
- Producción de animación por computadora
- Creación de Contenido Digital
- Investigación en geometría computacional, gráficos y geometría discreta.
- Entre otros

## **2.6. Formas de representación de los sistemas CAD**

### *2.6.1. Dos dimensiones 2D.*

Las formas de representación de un CAD 2D son básicamente para planos donde la información se representan de manera bidimensional, por lo que la información con lo que el computador también es bidimensional.

### *2.6.2. Tres dimensiones 3D.*

En cambio el modelado geométrico en (3D) da la información analítica de la volumetría del objeto o producto, incluyendo relaciones geometrías, algebraicas y restricciones que el usuario puede definir.

Estas representaciones volumétricas pueden partir de modelos por medio de alambres generados de superficies cerrados o extrusiones de sólidos. Los modelos pueden ser creados automática o manualmente. Es común que CAD exporte sus materiales en forma de archivos electrónicos para impresión, mecanizado y otras operaciones de manufactura.

Los sistemas CAD admiten la simulación de un producto por medio de la verificación del mecanismo y de esa manera verifica si funciona tal y como está previsto.

## **2.7. Manufactura asistida por computador (CAM)**

CAM cuyas siglas en inglés Computer Aided Manufacturing, se refiere al uso de aplicaciones de software de control numérico (NC) para crear instrucciones detalladas (código G) que dirigen máquinas herramienta de control numérico (CNC) para la fabricación de piezas. Los fabricantes en una variedad de industrias dependen de las capacidades de CAM para producir piezas de alta calidad.

## **2.8. Ventajas de los sistemas CAM**

Por lo general los equipos CAM con llevan la eliminación de los posibles errores del operario y la reducción de los costos de mano de obra que en comparación con las maquinas convencionales pueden mejorar la calidad del producto.

## **2.9. Bases de funcionamiento del CAM**

Los equipos de CAM se basan en una serie de códigos numéricos para controlar las tareas de fabricación. El CN de las herramientas para la fabricación de un producto se logra al descubrir las operaciones que debe realizar dicha máquina.

## **2.10. Unificación de los sistemas CAD/CAM**

Cuando los sistemas CAD se conectan a equipos de fabricación también controlados por control numérico, conforman un sistema integrado CAD/CAM

Los Sistemas CAD-CAM permiten la automatización de máquinas en la fabricación de partes, ensambles, y circuitos; utilizando como punto de partida la información de la geometría creada por el CAD mediante la generación automática de códigos CNC.

## **2.11. CAD/CAM en el proceso de diseño y fabricación.**

Para convertir un concepto o idea en un producto, se pasa por dos procesos principales, el de diseño y el de fabricación.

### *2.11.1. Proceso de diseño*

Se puede dividir en una etapa de síntesis, en la que se crea el producto y una etapa de análisis en la que se verifica, optimiza y evalúa el producto creado.

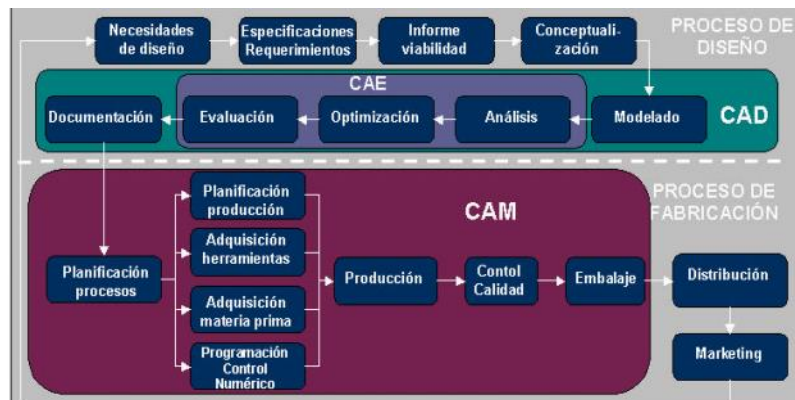
### *2.11.2. Proceso de fabricación*

Se planifican los procesos a realizar y los recursos necesarios.

## **2.12. Ciclo del producto utilizando sistemas CAD/CAM**

El control de calidad del producto, resultante del diseño y fabricación es parte del ciclo del producto; previo a las fases de distribución y marketing.

**Figura 2-1.** Ciclo de producto



Fuente: (wordpress, 2013)

Dentro del ciclo de producto descrito en la figura anterior, se ha incluido un conjunto de tareas agrupadas en proceso CAD y otras en proceso CAM, que a su vez son subconjuntos del proceso de diseño y proceso de fabricación respectivamente.

### 2.13. Características de los sistemas CAD/CAM

Las características de los sistemas CAD/CAM son aprovechadas por los diseñadores ingenieros y fabricantes para adaptarlas a la necesidad específicas de sus situaciones.

Por ejemplo, un diseñador puede utilizar el sistema para crear un primer prototipo en un breve periodo de tiempo y analizar la viabilidad de un producto, mientras que un fabricante quizá pueda emplear el sistema porque es el único modo de poder fabricar con precisión elementos complejos, o para minimizar pérdidas de material.

Gracias a la realidad virtual, estos sistemas permiten a los diseñadores interactuar con prototipos y maquetas virtuales, en lugar de tener que construir costosos modelos o simuladores para comprobar su viabilidad.

### 2.14. Beneficios de los sistemas CAD/CAM

- Reducir costes
- Acortar tiempos y
- Aumentar la calidad de los productos fabricados.

Estos son los tres factores críticos que determinan el éxito comercial de un producto en la situación social actual en la que la competencia es cada vez mayor y el mercado demanda productos de mayor calidad y menor tiempo de vida.

### **2.15. Áreas de aplicación de los sistemas CAD/CAM**

Las herramientas CAD/CAM han tenido un auge espectacular, extendiéndose su uso prácticamente en todas las áreas industriales.

- Ingeniería Mecánica.
- Ingeniería Automotriz.
- Ingeniería Industrial.
- Artística
- Medicina
- Ingeniería Eléctrica y electrónica
- Ingeniería Aeroespacial.
- Diseño artístico.
- Ingeniería Naval
- Arquitectura.

El diseño y la fabricación asistidos por ordenador han alcanzado actualmente un gran nivel de desarrollo e implantación y se han convertido en una necesidad esencial para la que las empresas alcancen puestos mal altos dentro de un mercado cada vez más competitivo que día a día presenta nuevos avances y necesidades para mejorar un producto, mejorar un proceso o una línea de producción que abarca grandes lotes en una población mundial.

### **2.16. Evolución del CAD/ CAM**

Históricamente, los sistemas CAD comenzaron como una ingeniería tecnológica computarizada, mientras los CAM eran una tecnología semiautomática para el control de máquinas de forma numérica. Pero estas dos disciplinas, que nacieron separadamente, se han ido mezclando gradualmente hasta conseguir una tecnología suma de las dos; denominada sistemas CAD-CAM.

**Tabla 2-1.** Evolución de CAD/CAM

| <b>AÑO</b> | <b>EVENTOS PRINCIPALES</b>   |
|------------|--|
| 1955       | El primer sistema gráfico SAGE, utilizaba tecnología de radares.   |
| 1962       | E. Sutherland desarrolla utilización del teclado y lápiz óptico.   |
| 1963       | El sistema Sketchpad fue el primer programa de dibujo por computadora.   |
| 1965       | Comercialización del primer CAD basado en ITEK Control Data Corp.  |
| 1969       | COMPUTERVISION desarrolla el primer plotter (trazador).  |
| 1975       | TEXTRONIK desarrolla la primera pantalla de 19”.   |
| 1977       | Se crea DELTA TECHNICAL SERVICES en la Cambridge University.   |
| 1978       | COMPUTERVISION desarrolla la primer terminal gráfico que utiliza la tecnología raster.   |
| 1979       | Boeing, General Electric y NIST, desarrollan un formato neutral de intercambio de datos IGES (Inicial Graphics Exchange Standard). |
| 1980       | Se crea la empresa española INVESTRÓNICA, con desarrollos CAD y CAM para la industria textil-confección.                           |
| 1981       | Se crea DASSAULT SYSTEM. La pionera en 3D y tecnología de gráficos.  |
| 1982       | John Walker funda AUTODESK y se crea el Primer AUTOCAD.  |
| 1983       | Inicio del sistema universal de transferencia de datos STEP.   |
| 1985       | MicroStation, desarrollo CAD para PC   |
| 1992       | El primer AutoCAD sobre plataforma SUN en una empresa informática.   |

### **2.17. Ventajas de los sistemas CAD/CAM frente a sistemas convencionales**

Cuando los sistemas CAD/CAM es integrada correctamente ofrece significativas ventajas con relación a los métodos tradicionales de control para los equipos de fabricación y producción.

Siempre un nuevo sistema tiende a mejorar un proceso o método de fabricación y hoy en día muchas máquinas implementan herramientas como las tecnologías CNC que cubren cada necesidad humana por más simple que esta parezca, sabemos que el desarrollo para



este tipo de industria jamás para y cada día observamos una ventaja más que se añade a la lista.

Por lo general, los equipos de CAM conllevan la eliminación de los posibles errores del operario, reduciendo costos en mano de obra. Y paquetería de CAD permite la facilidad de realizar innumerables simulaciones y diseños sin costos extra.

Las ventajas se detallan a continuación:

- Producción de dibujos de forma más rápida.
- Mayor precisión y calidad en los dibujos.
- Mayor limpieza en los planos de fabricación
- Facilidad en la corrección de diseños
- Análisis y cálculos de diseños más rápido
- Especificaciones del cliente
- Optimización de diseños
- Menores requisitos de desarrollo
- Mayor rango de diseño.
- Animaciones y simulaciones que permiten visualizar mejor los resultados.
- Integración de diseño con otras disciplinas.
- La facilidad de realizar visualizaciones del producto.
- La transferencia de base de datos de forma directa del sistema CAD al CAM.
- Acotamiento en tiempo y desarrollo, planificación y fabricación de los productos.
- Reducción de tiempos muertos.
- Reducción de costos en proceso de producción.
- Fabricación de prototipos rápidos.
- Generación y simulación de códigos de control numérico.
- Traducción de formatos neutros.

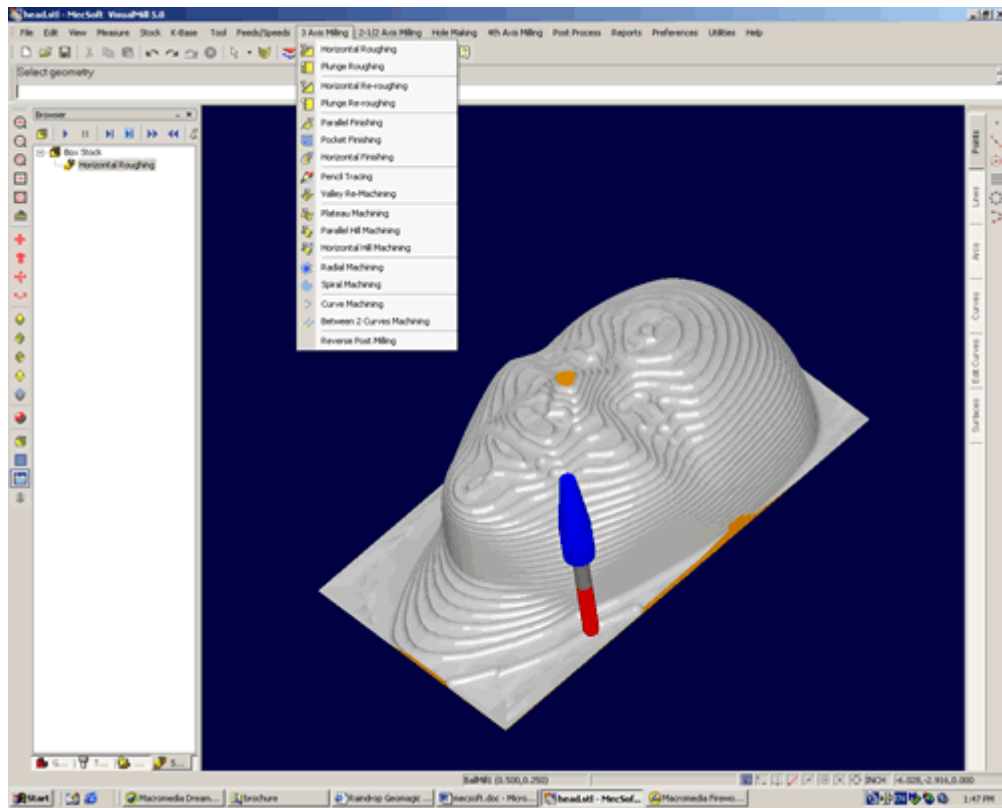
Siempre un nuevo sistema tiende a mejorar un proceso o método de fabricación y hoy en día muchas máquinas implementan herramientas como las tecnologías CNC que cubren cada necesidad humana por más simple que esta parezca, sabemos que el desarrollo para este tipo de industria jamás para y cada día observamos una ventaja más que se añade a la lista.

## 2.18. Software de CAD/CAM

### 2.18.1. Visualmill 5.0

Es un programa que con funciones integradas como CAD/CAM/CAE con decisiones más inteligentes, mejores productos.

**Figura 2-2.** Visualmill 5.0



**Fuente:** (3D Machining Software, 2015)

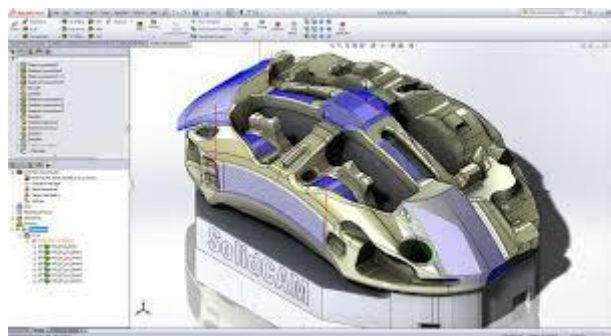
Visualmill 5.0 ofrece capacidades clave para el desarrollo de productos rápido, eficiente y flexible:

- Soluciones avanzadas para el diseño conceptual, modelado 3D y documentación.
- Simulación para aplicaciones estructurales, de movimiento, de flujo y aplicaciones multi-físicas.
- Solución integrada que te ayuda a desarrollar nuevos productos innovadores.
- Soluciones para modelar geometría compleja y grandes ensamblajes.
- Una alta gama de pos procesadores para la interfaz con la máquina.

### 2.18.2. *SolidCAM internet*

SolidCam es un software para manufactura CAM 3D que está integrado sobre SolidWorks y Autodesk Inventor. Con operaciones de corte, fresado y torno para ser ejecutadas en centros de maquinado CNC usando la tecnología iMachining, una de sus ventajas es que el sistema explota toda la inteligencia de manejo de sólidos paramétricos 3D. El usuario puede diseñar su modelo CAD en cualquier plataforma mecanizarla en SolidCam.

**Figura 2-3.** SolidCAM internet



**Fuente:** (Anonimo, 2014)

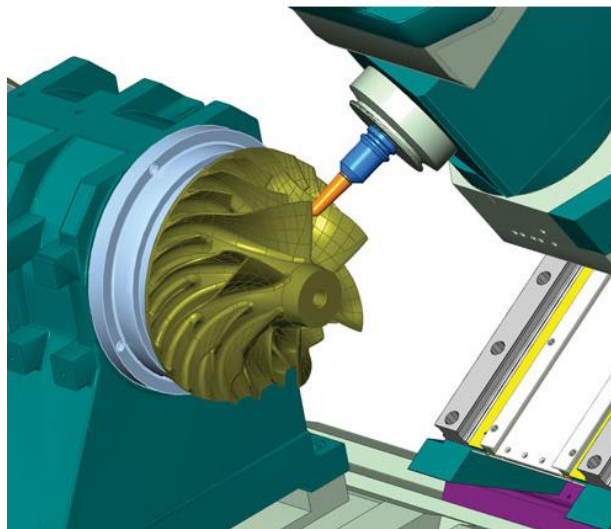
SolidCAM tiene los siguientes módulos:

- Maquinado en 2.5D
- Maquinado de Superficies en Alta Velocidad HSS (High Speed Surface machining)
- Maquinado 3D
- Maquinado de Alta Velocidad HSM (High Speed Machining)
- iMachining
- Maquinado multi axial indexado
- Maquinado en 5 eje simultáneo
- Torneado
- Fresado-Torneado
- Electroerosión EDM y su Módulo de Electrodo.

### 2.18.3. *Mastercam internet*

Mastercam es el programa CAD/CAM más popular para manufactura en máquinas de control numérico y centros de maquinado CNC. El programa abarca la programación de fresadoras, centros de maquinado, tornos, el módulo blade expert para alabes, electro erosionadoras de corte por alambre, cortadoras por láser, oxicorte, routers, y más.

**Figura 2-4.** Mastercam Internet



**Fuente:** (3d cad portal, 2018)

## 2.19. **Control numérico computarizado (CNC)**

El término CNC se refiere al control numérico computarizado de máquinas, generalmente máquinas herramientas. Normalmente este tipo de control se ejerce a través de una computadora y la máquina está diseñada a fin de obedecer las instrucciones de un programa dado.

El CNC es una forma de automatización programable, obedece a una serie de instrucciones mediante líneas de código, que establecen todos los pasos a seguir, de acuerdo a la secuencia de operaciones del mecanizado, es apropiado para volúmenes de producción bajos o medios y piezas de forma no muy compleja ya que según forma de la pieza es la dificultad de la elaboración del programa, a veces el desarrollo de un programa podría llevar años.

## 2.20. Ventajas del CNC

- Mayor precisión y mejor calidad de productos.
- Mayor uniformidad en los productos producidos.
- Un operario puede operar varias máquinas a la vez.
- Fácil procesamiento de productos de apariencia complicada.
- Flexibilidad para el cambio en el diseño y en modelos en un corto tiempo.
- Fácil control de calidad.
- Reducción en costos de inventario, traslado y de fabricación en los modelos y abrazaderas.
- Es posible satisfacer pedidos urgentes.
- No se requieren operadores con experiencia.
- Se reduce la fatiga del operador.
- Mayor seguridad en las labores.
- Aumento del tiempo de trabajo en corte por maquinaria.
- Fácil control de acuerdo con el programa de producción lo cual facilita la competencia en el mercado.
- Fácil administración de la producción e inventario lo cual permite la determinación de objetivos o políticas de la empresa.
- Permite simular el proceso de corte a fin de verificar que este sea correcto.
- Sin embargo no todo son ventajas y entre las desventajas se pueden citar las siguientes:
- Alto costo de la maquinaria.
- Falta de opciones o alternativas en caso de fallas.
- Es necesario programar en forma correcta la selección de las herramientas de corte y la secuencia de operación para un eficiente funcionamiento.
- Los costos de mantenimiento aumentan, ya que el sistema de control es más complicado y surge la necesidad de entrenar al personal de servicio y operación.
- Es necesario mantener un gran volumen de producción a fin de lograr una mayor eficiencia de la capacidad instalada.

### 2.21. Aplicaciones del CNC

- Tornos.
- Fresadoras.
- Rectificadoras.
- Dobladoras.
- Prensas.

### 2.22. Diferencias entre una máquina convencional y una máquina con CNC.

**Tabla 2-2.** Diferencias entre una máquina convencional y una máquina con CNC

| Máquina convencional                                    | Máquina con CNC  |
|---|--|
| Solo una persona opera la máquina.                      | Un operador puede utilizar muchas máquinas.              |
| La experiencia es muy importante.                       | No es necesario la experiencia.                          |
| El operados tiene el mando de profundidad, avance, etc. | El programa tiene el control de los parámetros de corte. |
| Existen trabajos imposibles de realizar.                | Se realiza cualquier tipo de trabajo.                    |

Fuente: Autores

### 2.23. El factor humano y las máquinas CNC.

El operador de CNC deberá tener conocimientos de geometría, álgebra y trigonometría, también deberá conocer sobre la selección y diseño de herramientas de corte y dominar las técnicas de sujeción.

La interfaz entre el programador y la máquina CNC se realiza a través de dispositivos, el cual puede ser: una cinta perforada y codificada, cintas magnéticas con la información del programa, o una computadora a través de la cual se proporciona la información necesaria.

### 2.24. Tipos de máquinas CNC según el número de ejes.

El número de ejes en una máquina CNC es lo que determina las posibilidades de movimiento de la máquina herramienta. Así, a mayor número de ejes, mayores posibilidades de movimiento o mayores grados de libertad.

Es importante entender que, cuando se habla de ejes, se hace referencia a los ejes de un sistema cartesiano, (X, Y, Z), en este sentido, pueden clasificarse de la siguiente forma:

#### 2.24.1. *Tres ejes.*

Se trata de máquinas CNC con posibilidad de movimiento horizontal, vertical y oblicuo, este último, como resultado de la combinación de movimientos entre mesa, ménsula y husillo. Permiten un control sobre el movimiento relativo existente entre la máquina herramienta y la pieza, en cada uno de los tres ejes del sistema cartesiano.

#### 2.24.2. *Cuatro ejes*

Las máquinas CNC tipo cuatro ejes, cumplen todas las funciones descritas en el tipo anterior: movimiento relativo entre pieza y herramienta, en los tres ejes.

Añade la posibilidad de control de giro de la pieza, sobre uno de los ejes, gracias a un plato giratorio o mecanismo divisor. De esta forma, este tipo de máquinas CNC está especialmente indicado a la hora de generar superficies labrando sobre patrones cilíndricos. Tal es el caso del labrado de ejes estriados o engranajes, por ejemplo.

#### 2.24.3. *Cinco ejes*

Además de cumplir con todas las posibilidades de las descritas anteriormente; las máquinas CNC de cinco ejes cuentan con dos particularidades.

- Permite el control de giro de la pieza sobre dos de sus ejes. Uno de ellos perpendicular al husillo y el otro, paralelo (como en el caso de las de cuatro ejes, que se consigue por medio de un plato giratorio o mecanismo divisor).
- Permite el giro de la pieza sobre un eje horizontal y que la herramienta pueda inclinarse alrededor de un eje, perpendicular al anterior. Las máquinas CNC de este tipo son las utilizadas para trabajos que requieren, como resultado, formas de elevada complejidad.

## **2.25. Máquinas CNC de cinco ejes**

Es una máquina herramienta automatizada y controlada por computador, capaz de realizar múltiples operaciones en una misma pieza, utilizando herramientas rotativas de múltiples filos de corte y con la mínima intervención del hombre durante el proceso de mecanizado, incrementando la producción, flexibilidad y precisión.

## **2.26. Bases de funcionamiento de una máquina CNC de cinco ejes**

El mecanizado de cinco ejes proporciona infinitas posibilidades en cuanto a los tamaños y formas de las piezas que usted puede procesar de manera eficaz. El término "cinco ejes" se refiere al número de direcciones en las que se puede mover la herramienta de corte.

En un centro de mecanizado de cinco ejes, la herramienta de corte se mueve a través de los ejes lineales X, Y y Z, y gira sobre los ejes de rotación A y B para acceder a la pieza de trabajo desde cualquier dirección.

En otras palabras se puede procesar las cinco caras de una pieza en un solo montaje. En una máquina CNC de cinco ejes, además del movimiento relativo entre pieza y herramienta en tres ejes, se puede controlar o bien el giro de la pieza sobre dos ejes, uno perpendicular al eje de la herramienta y otro paralelo a ella; o bien el giro de la pieza sobre un eje horizontal y la inclinación de la herramienta alrededor de un eje perpendicular al anterior.

Los ejes lineales pueden desplazarse simultáneamente con los ejes rotacionales o a su vez en forma posicional, gracias a ello se obtiene resultados de mecanizados de piezas complejas, permitiendo así realizar elementos de precisión con la facilidad que representa cambiar de un modelo de pieza a otro mediante la inserción del programa correspondiente.

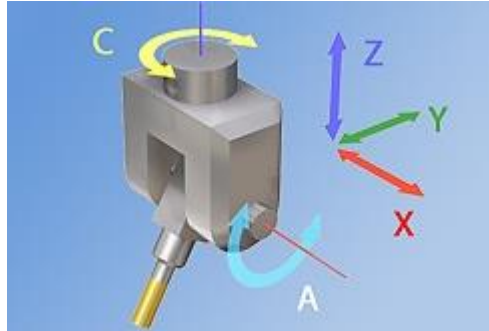
El equipo de control numérico se controla mediante un programa que utiliza números, letras y otros símbolos, por ejemplo, los llamados códigos G (movimientos y ciclos fijos) y M (funciones auxiliares), están codificados en un formato apropiado para definir un programa de instrucciones para el desarrollo de una tarea concreta.

Cuando la tarea en cuestión varía se cambia el programa de instrucciones. La máquina opera a velocidades de corte y avance muy superiores a las máquinas convencionales por



lo que se utilizan herramientas de metal duro para disminuir la fatiga de materiales. El recorrido de los nueve ejes, movimientos principales y rotativos están sujetos a un estándar industrial, la notación utilizada para los ejes y su dirección en máquinas herramientas es como se muestra en la figura.

**Figura 2-5.** Notación de los ejes y dirección de movimiento en máquinas herramientas.



**Fuente:** (5 ejes mec data, 2018)

### 2.27. Movimientos de los ejes de una máquina CNC de cinco ejes

- Ejes X e Y: Movimientos principales de avance en el plano de trabajo principal.
- Eje Z: Eje paralelo al eje principal de la máquina, perpendicular al plano principal X, Y.
- U, V, W: Ejes auxiliares paralelos a X, Y, Z respectivamente.
- “A”, “B”, “C”: Ejes rotativos sobre cada uno de los ejes “X”, “Y”, “Z”

### 2.28. Clasificación de controladores numéricos

Debido a las diferencias que existen entre las máquinas que son susceptibles de ser gobernadas por un CN, a las dificultades técnicas en el diseño de los controladores y a condicionantes de tipo económico, han aparecido diversos tipos de CN que pueden clasificarse de varias maneras:

Con estos sistemas se pueden generar recorridos tales como rectas con cualquier pendiente, arcos de circunferencia, cónicas o cualquier otra curva definible matemáticamente. Estos sistemas se utilizan, sobre todo, en fresados complejos.

### 2.28.1. *Según el sistema de referencia.*

Para programar los sistemas de CN es necesario establecer un sistema de referencia estándar en el que puedan ser especificadas las diferentes posiciones relativas de la máquina herramienta con respecto al trabajo a realizar.

Para facilitar las cosas de cara al programador la pieza a ser maquinada se fija a una mesa de trabajo mientras que la máquina herramienta se mueve en torno a ella. De este modo el sistema de referencia se fija con respecto a la mesa de trabajo.

El propósito de los sistemas de referencia es localizar la herramienta en relación con la pieza a ser maquinada. Dependiendo del tipo de máquina de CN el programador puede tener varias opciones para especificar esta localización.

En el caso de sistemas de referencia fijos, el origen siempre se localiza en la misma posición con respecto a la mesa de trabajo. Normalmente, esta posición es la esquina inferior de la izquierda de la mesa de trabajo y todas las posiciones se localizan a lo largo de los ejes XY positivos y relativos a ese punto fijo de referencia.

### 2.28.2. *Según el tipo de accionamiento.*

Según el tipo de accionamiento pueden ser: hidráulicos, eléctricos o neumáticos.

### 2.28.3. *Según el bucle de control.*

El control del sistema se puede realizar de dos formas: en bucle cerrado como servomotores con encoder, donde a través de sensores se mide el valor a la salida, y se compara en todo instante con un valor de referencia proporcionando una adecuada señal de control; o en bucle abierto como motores a paso donde no existe tal realimentación.

### 2.28.4. *Según la tecnología de control.*

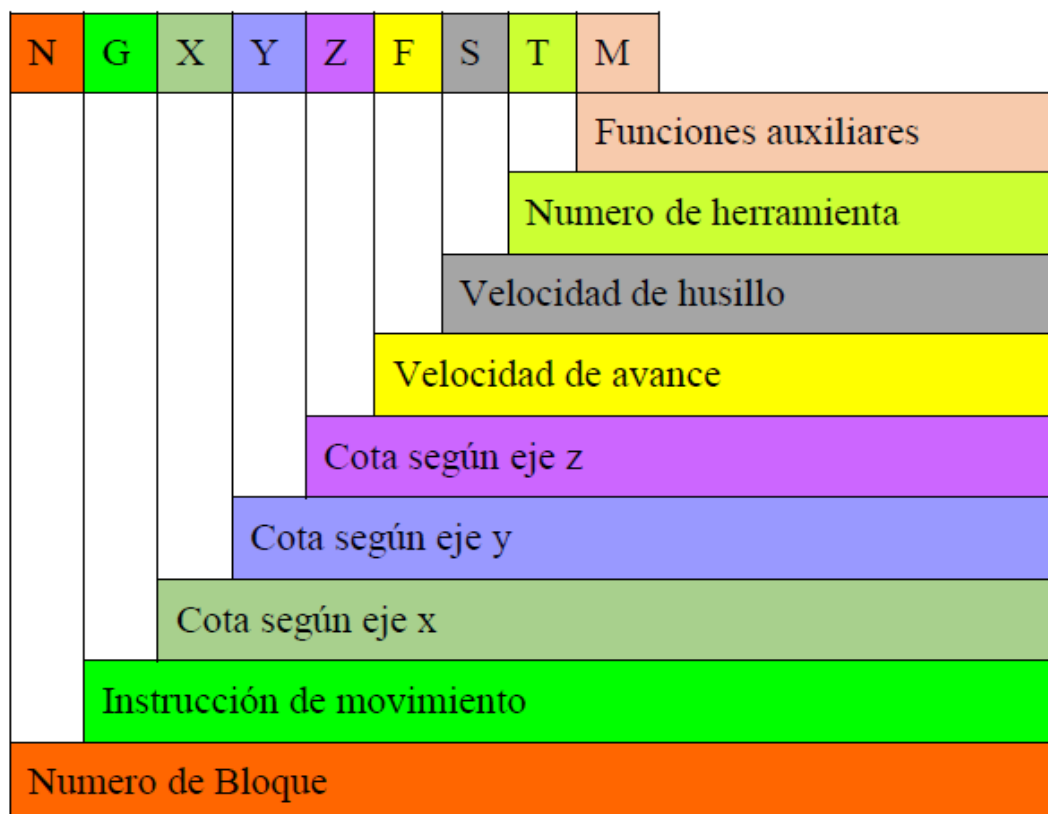
Si atendemos a la clasificación según la forma física de realizar el control encontramos los siguientes tipos: Control Numérico (CN), Control Numérico Computarizado (CNC), Control Numérico Adaptativo (CNA).

## 2.29. Estructura de un programa CNC

### 2.29.1. Bloques de programación.

Todos los programas deben tener un nombre o un número que los pueda identificar, en ciertos casos hay programas solo aceptan números. Los programas CNC están compuestos por bloques sucesivos y cada uno identifica una instrucción para el control.

**Ilustración 2-1:** Bloque de programación



Fuente: Autor

### 2.29.2. Bloques Condicionales.

Los bloques condicionales son ejecutados o no en función de la presencia de una señal externa al programa. Sirven por ejemplo para programar paradas para inspecciones del trabajo, cambios de herramienta, etc.

Se determina la condicionalidad de un bloque agregando un punto luego del número del bloque. La señal externa normalmente es un switch en el control. Si este switch está

activado, la ejecución del programa se detendrá al encontrar un bloque condicional. Si no lo está, el programa seguirá ejecutándose normalmente

### 2.29.3. Instrucciones de movimiento o preparatorias (Funciones G).

Son funciones preparatorias que controlan el movimiento de la máquina herramienta y que indica la acción que se va a realizar seguidamente en la línea de programación.

**Tabla 2-3: Funciones G**

| <b>Código G</b> | <b>Función</b>                                   |
|-----------------|--|
| 0               | Marcha rápida                                    |
| 1               | Interpolación lineal                             |
| 2               | Interpolación circular en sentido horario        |
| 3               | Interpolación circular en sentido anti-horario   |
| 4               | Permanencia                                      |
| 8               | Anular desaceleración modal desactivado          |
| 9               | Anular desaceleración modal activado             |
| 10              | Taladrado tangencial                             |
| 12              | Interpolación helicoidal CW                      |
| 13              | Interpolación helicoidal CCW                     |
| 14              | Alineación Horaria                               |
| 15              | Giro de cabezal superior                         |
| 16              | Desplazamiento rápido de la mesa                 |
| 17              | Selección del plano XY                           |
| 18              | Selección del plano XZ                           |
| 19              | Selección del plano YZ                           |
| 22              | Interpolación circular, entrada de redondeo CW   |
| 23              | Interpolación circular, entrada del redondeo CCW |
| 30              | Imagen de espejo desactivado                     |
| 31              | Imagen de espejo en X activado                   |
| 32              | Imagen de espejo en Y activado                   |
| 40              | Compensación diámetro de la fresa desactivado    |
| 41              | Compensación a izquierda de la fresa             |

Continua

**Tabla 2 3 (Continua):** Funciones Gnn.

|    |   |
|----|---|
| 42 | Compensación a la derecha de la fresa                           |
| 44 | Compensación de la fresa, velocidad de alimentación normal      |
| 45 | Compensación de la fresa, velocidad de alimentación modificado  |
| 48 | Redondeo en la esquinas en compensación de la fresa desactivado |
| 49 | Redondeo en la esquinas en compensación de la fresa activado    |
| 50 | Trasformación/giro  |
| 70 | Entrada en pulgadas   |
| 71 | Entrada en milímetros   |
| 72 | Transformación desactivados                                     |
| 73 | Transformación/rotación, escala                                 |
| 74 | Entrada de circulo multi-cuadrante desactivado                  |
| 75 | Entrada de circulo multi-cuadrante activado                     |
| 77 | Ciclo de la fresa en Zig-Zag                                    |
| 78 | Ciclo de la fresa en pocket                                     |
| 79 | Ciclo de la fresa en perforado                                  |
| 80 | Ciclo de taladrado desactivado                                  |
| 81 | Ciclo Z, taladrado (alimentar, salida rápida )                  |
| 82 | Ciclo Z, punto de cara (alimentar, salida rápida)               |
| 83 | Ciclo Z, agujero profundo (salida rápida)                       |
| 84 | Ciclo Z, golpear (alimentar, alimentar a cabo)                  |
| 85 | Ciclo Z, agujero (alimentar, alimentar acabo)                   |
| 86 | Ciclo Z, agujero (alimentar, parada-espera, alimentar acabo)    |
| 87 | Ciclo de ranurado   |
| 88 | Entrada tangencial  |
| 89 | Giro automático de cabezal                                      |
| 90 | Coordenadas Absolutas   |
| 91 | Coordenadas Relativas   |

**Fuente:** Catalogo Bridgeport VMC 800-22

#### 2.29.4. *Funciones Auxiliares o complementarias.*

Las funciones auxiliares M producen distintas acciones en la máquina tales como arrancar o detener el husillo, arrancar o detener el suministro de líquido refrigerante. Hay otras que están relacionadas con la ejecución del programa CNC: finalizarlo, resetear valores, que no pueden ser programadas junto con otras funciones porque las acciones son inmediatas encender el husillo y detenerlo al mismo tiempo, deben ir en bloques exclusivos.

**Tabla 2-4:** Funciones M.

| <b>Código</b> | <b>FUNCIÓN</b>                               |
|---------------|--|
| <b>M00</b>    | Parada del programa                          |
| <b>M01</b>    | Parada condicional del programa              |
| <b>M02</b>    | Final del programa                           |
| <b>M03</b>    | Arranque del husillo en sentido horario      |
| <b>M04</b>    | Arranque del husillo en sentido anti-horario |
| <b>M05</b>    | Parada del husillo                           |
| <b>M30</b>    | Fin del programa                             |

**Fuente:** Catalogo Bridgeport VMC 800-22

#### 2.29.5. *Funciones X, Y, Z.*

Son los desplazamientos de la mesa y del husillo principal. Determinan la dirección que toma la máquina para en el sistema de coordenadas y estas pueden programarse en absolutas y relativas.

#### 2.29.6. *Funciones S, F, T.*

Estas funciones controlan los accionamientos de la máquina

- La Función S controla la velocidad de giro del Husillo y esta generalmente en unidades de revoluciones por minuto (rpm).
- El grupo F es el comando para regular el avance del husillo en mm/min y la mayor parte de proveedores de herramientas especifican el rango de velocidades para los distintos materiales de construcción de elementos.
- La función T es el número de herramienta, de acuerdo a la máquina esta puede configurarse para un cambio de control manual y automático, el sistema de cambio es neumático con presiones constantes especificadas en los manuales.

## **CAPITULO III**

### **3. ANALISIS Y SELECCIÓN DEL SOTWARE**

#### **3.1. Selección del software CAD/CAM.**

Cuando se habla de software empleados en la actualidad en las industrias para los procesos de modelado, manufactura y simulación, se puede referir a un sistema, bien sea híbrido CAD/CAM o simplemente CAM, para la programación de mecanizados para máquinas CNC de 2, 3 y hasta 5 ejes dependiendo del diseño del elemento.

A la hora de valorar sobre el cual es el software adecuado, es conveniente estimar la versatilidad del producto, productividad, relación calidad-precio, etc. En cuanto a versatilidad abarcaría la capacidad del software para manejar tanto superficies generadas con programas de diseño como de mallas procedentes de digitalizadores 3D o programas nurbs.

Referente a la productividad se considera el tiempo necesario invertido en la programación y la potencia del software para calcular una extensa variedad de mecanizados. Todo ello hay que sopesarlo en relación al precio del producto. Y con esto optar por un software como el mejor del mercado a su vez atendiendo.

Dado que en todas las soluciones de ingeniería intervienen múltiples aspectos que hay que considerar de forma global, después de cada despliegue de alternativas, corresponde hacer una evaluación de las mismas que sirva de base para la posterior toma de decisiones. Una apropiada selección de software garantizará la protección, integridad, confidencialidad, accesibilidad y audibilidad de la información, manteniendo bajo control todas las operaciones de la empresa en los distintos procesos de negocio.

#### **3.2. Método ordinal corregido de criterios ponderados.**

La mayor parte de las veces, para decidir entre las soluciones posibles es conocer el orden de preferencia de su evaluación global. Para esto es recomendable el método ordinal corregido de criterios ponderados que, sin necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y evitando estimar numéricamente el peso de cada criterio permite lograr resultados globales suficientemente significativo.

**Tabla 3-1:** Valoración de criterios.

| VALOR | CRITERIO  |
|-------|---|
| 1     | Si el criterio de las filas es superior que el de las columnas. |
| 0,5   | Si el criterio de las filas es equivalente al de las columnas.  |
| 0     | Si el criterio de las filas es inferior que el de las columnas. |

**Fuente:** Autores.

Luego, para cada criterio, se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios al que se le añade una unidad; después, en otra columna se calcula los valores ponderados para cada criterio.

Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio y de acuerdo al resultado se optara por la mejor decisión. Tomar una buena decisión bajo estos parámetros puede garantizar que el software ayude con la fabricación del soporte.

### **3.3. Criterios de Valorización.**

#### *3.3.1. Funcionalidad del Software.*

Esto se refiere a las características técnicas del programa y la capacidad del mismo a la hora de ahorrar tiempo en el proceso de la programación del mecanizado. En el momento de tomar una decisión de adquisición de software, este punto es el más importante ya que la inversión de una maquina no está completa, si se trabaja con un software obsoleto, o con estrategias limitadas de programación.

#### *3.3.2. Aprendizaje.*

Describe el grado de éxito obtenido durante el aprendizaje en el transcurso del tiempo.

#### *3.3.3. Herramientas.*

La capacidad del paquete para ofrecer al usuario diferentes herramientas al momento de desarrollar el diseño de un elemento.



### 3.3.4. Post procesadores.

El post-procesador convierte las instrucciones del programa en un lenguaje que pueda interpretar y ejecutar la máquina CNC.

### 3.4. Alternativas de Software de Diseño CAD/CAM.

Para el análisis y selección del mejor software CAD/CAM se considera los siguientes paquetes computacionales que incluyen postprocesadores FANUC, FADAL, que permiten el control del panel. La diversidad de programas CAM nos da una amplia gama para seleccionar el determinado software, pero debido a la base legal y la facilidad de adquisición se tomó las siguientes alternativas.

**Tabla 3-2:** Alternativas de software de diseño

| Software             | Alternativas |
|----------------------|--------------|
| Mastercam            | A            |
| Bobcad cam           | B            |
| VISUAL<br>MILL 5.0   | C            |
| ESCÁNER<br>GoScam 3D | D            |
| GEOMAGIC<br>FREEFORM | E            |

Fuente: Autores.

### 3.5. Ponderación de los criterios de valoración.

La evaluación de los criterios de valoración para cada alternativa se realiza por medio de la siguiente tabla de ponderación.

**Tabla 3-3:** Ponderación de los criterios de valorización

| Estado      | Deficiente | Malo | Aceptable | Bueno | Excelente |
|-------------|------------|------|-----------|-------|-----------|
| Ponderación | 1          | 2    | 3         | 4     | 5         |

Fuente: Autores.

### 3.6. Selección de la alternativa más adecuada

**Tabla 3-4:** Selección de la alternativa más adecuada

| <b>Criterios<br/>Alternativas</b> | <b>Funcionalidad<br/>del Software</b> | <b>Herramientas</b> | <b>Post<br/>procesadores</b> | <b>PONDERACIÓN</b> |
|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------|
| A                                 | 4                                     | 4                   | 4                            | <b>12</b>          |
| B                                 | 4                                     | 4                   | 5                            | <b>13</b>          |
| C                                 | 5                                     | 5                   | 5                            | <b>15</b>          |
| D                                 | 5                                     | 5                   | 5                            | <b>15</b>          |
| E                                 | 5                                     | 5                   | 5                            | <b>15</b>          |

Fuente: Autores.

Para realizar el diseño del busto humano se ha seleccionado la alternativa C, D, E porque al evaluar los criterios de valoración obtuvieron un peso de 15 siendo el valor más alto de la ponderación. Por lo tanto se ha determinado que el software más adecuado para el diseño CAD/CAM del busto humano es el VISUALMILL 5.0, ESCANER GOSCAM 3D, GEOMAGIC FREEFORM.

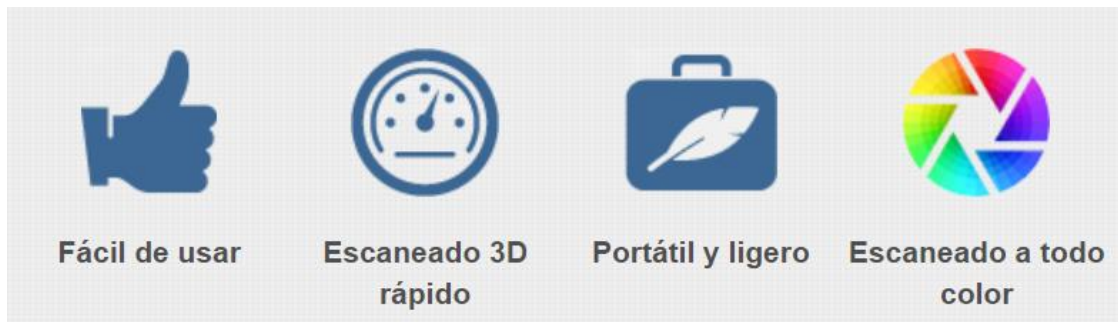
### 3.7. ESCÁNER GOSCAM 3D

#### 3.7.1. Funciones

Presentación de los escáneres Go!SCAN 3D: son muy rápidos y ofrecen modelos en 3D consistentes de alta calidad en color de alta definición. Mediante un proceso muy intuitivo, cualquier usuario puede utilizar estos sistemas portátiles de posicionamiento automático sin necesidad de experiencia ni formación previa.

Su tecnología acelera el proceso en general: no se necesita preparación ni configuración específica alguna, ofrece una amplia área de digitalización, mediciones rápidas e información directa sobre el material. Los modelos en 3D resultantes se pueden integrar en cualquier proceso asistido por ordenador, como archivado, restauración, análisis o creación de contenidos.

### Ilustración 3-1: Beneficios del modelado



Fuente: (Creaform, 2015)

- Escaneado rápido en 3D
- No se requiere una alta configuración
- Escaneado a color
- Preciso y seguro
- Dispositivo de mano ligero
- Uso inmediato
- Sencillo y fácil de usar
- Flexible y versátil

### 3.8. GEOMAGIC FREEFORM

Geomagic Freeform, el software que toma retos de diseño y de fabricación complejos, las herramientas de ingeniería 3D orgánica más combina el CAD tradicional con el procesamiento de datos provenientes de escaneos 3D para que pueda crear modelos sólidos editables compatibles con el software CAD existente.

Geomagic Freeform ofrecer soluciones de diseño CAD en el esculpido, la creación de superficies, el modelado del objetivo de diseño, la interoperabilidad de piezas CAD y la fabricación de moldes. Obtenga la sensación del modelado de arcilla con las ventajas del diseño digital.

### **3.9. Base de funcionamiento.**

Acabe con las limitaciones del diseño CAD tradicional y convierta sus ideas en realidad. Geomagic Freeform ofrece un completo conjunto de herramientas de esculpido y diseño con las que podrá esculpir, retocar y deformar modelos de arcilla virtuales en cualquier forma que desee. Geomagic Freeform Plus transporta este conjunto de herramientas al diseño de fabricación avanzado, incluida la conversión automática de polígonos y arcilla digital en superficies NURBS, diseño de moldes y estampación, descascarado, análisis de borradores y herramientas de creación de superficies y líneas de separación para formas orgánicas complejas.

### **3.10. Combinación del CAD**

Esta combinación de funcionalidad CAD líder del sector y análisis 3D marca el inicio de un nuevo paradigma de diseño de análisis en CAD que puede ajustar ventanas de desarrollo de productos, catalizar la eficacia de los procesos, facilitar la colaboración y comercializar los productos más rápidamente. Geomagic ha creado Geomagic Freeform, que se basa en la API CAD líder del sector de SpaceClaim, para usuarios expertos y no expertos en CAD. Mediante las herramientas de modelado directo, los controles intuitivos y la suave curva de aprendizaje de Geomagic Freeform todo el mundo puede ser un diseñador CAD productivo.

### **3.11. Importación de datos**

Los usuarios pueden analizar o importar nubes de puntos directamente en la aplicación y usar el conjunto de herramientas de empujar/tirar dinámico para crear y editar rápidamente modelos sólidos. Sin un árbol de historial complejo que les contenga, los usuarios también pueden modificar diseños sobre la marcha y cambiar parámetros sin restricciones. Geomagic Freeform puede personalizarse mediante una serie de complementos de terceros, y se integra fácilmente con los principales paquetes de CAD externos.

### **3.12. Función principal**

Geomagic Freeform está especialmente diseñado para convertir datos de escaneo 3D en modelos CAD basados en características y de alta calidad. Hace lo que ningún otro software puede hacer con su combinación de extracción automática y guardada de modelo sólido, el sorprendentemente preciso encajamiento de superficies a escaneos 3D orgánicos, la edición de malla y el procesamiento de puntos nube. Ahora puede escanear prácticamente cualquier cosa y crear diseños listos para producción.

### **3.13. APLICACIONES**

#### *3.13.1.1. Creación de modelos 3D*

Geomagic Freeform se ha creado expresamente para llevar sus diseños a producción e incluye robustas herramientas de interoperabilidad para la importación y exportación de formatos de archivos 3D, incluidos STL, OBJ, PLY, IGES, STEP y otros formatos neutros. Freeform es compatible con formatos CAD adicionales. Combine archivos CAD con características esculpidas y cree sólidos orgánicos precisos definidos por dimensiones explícitas.

#### *3.13.1.2. Diseño completamente paramétrico*

Diseño paramétrico es el estándar de facto para el diseño de partes orgánicas (partes del cuerpo humano) en 3D y la fabricación. Si no está utilizando un verdadero modelador paramétrico, que está perdiendo el tiempo. Paramétrica básicamente significa que se crea piezas inteligentes, dibujos que se pueden actualizar fácilmente más tarde y con un mínimo de reproceso. Donde quiera que se use una parte, por ejemplo, en un modelado del rostro, dibujo BOM, o 2D, los cambios se reflejarán automáticamente.

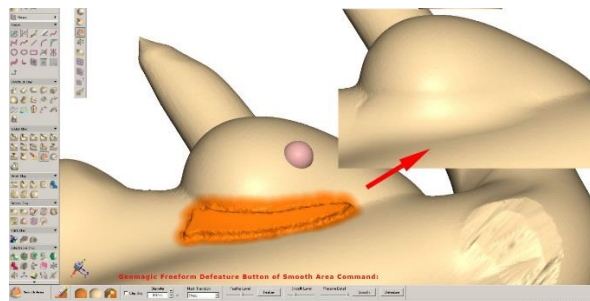
Geomagic Freeform se construye desde el principio para ser completamente paramétrico. Todos los módulos están totalmente interconectados y cambios de diseño son una

cuestión de dimensiones doble clic que utilizó para crear su parte originalmente y escribiendo nuevos números. Al abrir su montaje, se verá que la pieza haya sido actualizada para usted. Al abrir los dibujos, podrás ver todas las vistas, incluidas las vistas parciales, vistas de sección y cualquier otra cosa también será actualizada. Las dimensiones se han cambiado para usted, y usted no perder tiempo innecesariamente volver a hacer dibujos en 2D.

### 3.13.1.3. *Diseño de Partes*

Geomagic Freeform le permite hacer piezas orgánicas de cualquier complejidad rápidas y fáciles. Con flujos de trabajo diseñados para los cambios rápidos y fácil actualización, la iteración del diseño es un proceso eficiente. Hacer rápidamente piezas, herramientas, accesorios, moldes, y cualesquiera otros diseños de fabricación de los alrededores.

**Ilustración 3-2:** Diseño de partes

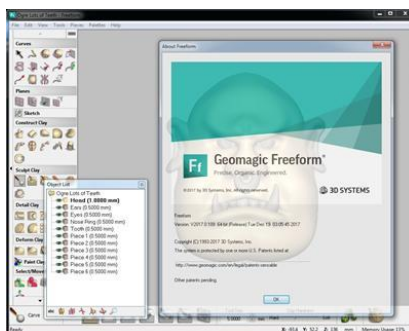


**Fuente:** Autores.

### 3.13.1.4. *Herramientas 3D capacidad de impresión*

Identificar visualmente el volumen de impresión, espesor de pared, voladizos y más antes de que la impresión 3D del modelo. Después de seleccionar de una lista de líderes en la industria impresora 3D de las configuraciones del modelo destacará varias áreas que son problemas potenciales cuando la impresión 3D. Ahorrar tiempo y dinero mediante la optimización de su modelo para la impresión en 3D antes de imprimirlo.

### Ilustración 3-3: Capacidad de impresión



Fuente: Autores.

#### 3.13.1.5. *Las familias de piezas*

Configuraciones de diseño permiten definir clases de piezas. Perfecto para las piezas que tienen la misma geometría básica con ligeras variaciones, configuraciones de diseño le permiten mantener toda la geometría y las definiciones de todas las partes dentro de un solo archivo. Esto permite volver a utilizar las variables de toda la pieza, manteniendo los específicos de la configuración. Esto disminuye sustancialmente la cantidad de tiempo que tomaría para actualizar la familia de piezas y reduce el error, ya que sólo tiene que hacer una modificación en un solo lugar.

#### 3.13.1.6. *Las familias de la Asamblea*

Configuraciones de diseño también pueden aplicarse a los conjuntos. Definir fácilmente conjuntos de conjuntos o subconjuntos y cambiar entre ellas con unos pocos clics del ratón. Imagine que tiene un conjunto de un motor con todos los montajes, pernos y conectores. El único problema es que usted tiene 6 versiones diferentes que debe utilizarse dependiendo de qué estilo de chasis va a montar el motor. No hay problema - en lugar de tener 6 montajes diferentes que son básicamente los mismos, se puede mantener todo dentro de un archivo y cambiar fácilmente entre la versión de la asamblea que se adapta a cualquier diseño particular.

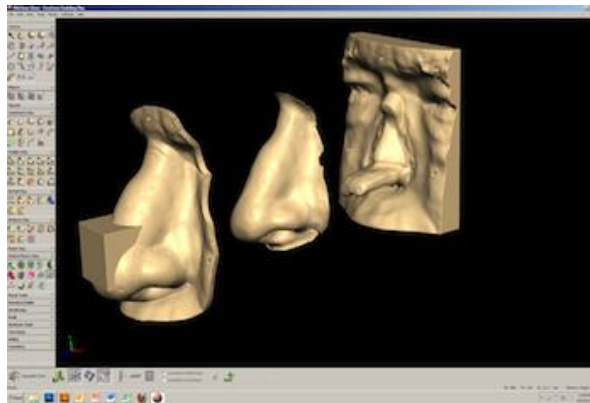
#### 3.13.1.7. *Piezas de espejo*

Configuraciones de diseño le permiten crear fácilmente versiones a derecha e izquierda de sus partes para su uso en un ensamblaje. Al evitar los archivos duplicados, se puede aplicar una actualización a la versión tanto con la mano izquierda y derecha al mismo tiempo, cortando su trabajo por la mitad.

#### 3.13.1.8. *Configuraciones de diseño*

Configuraciones de Diseño es una característica muy valiosa en Geomagic Freeform que le permite realizar familias de piezas orgánicas. Le ahorra tiempo y hace la vida más fácil que le permite almacenar piezas similares en un solo archivo, en lugar de tener que crear y actualizar diferentes archivos por separado.

**Ilustración 3-4:** Configuraciones de diseño



**Fuente:** Autores

#### 3.13.1.9. *Diseña con precisión integrada*

Geomagic Freeform comienza donde el software CAD tradicional no puede continuar. Este sistema de modelado híbrido proporciona la flexibilidad y las ventajas de distintos paradigmas de modelado que incorporan superficies, sólidos, malla, subdivisión de superficies (SubD) y arcilla. Cree superficies suaves y bordes afilados como cuchillas con



SubD, modele formas CAD precisas con NURBS y sólidos o deforme y aplique relieves a formas con arcilla.

#### *3.13.1.10. Diseño nativo*

El diseño de una garra y bola en Geomagic Freeform el diseño es sencillo y potente. De trabajo utilizando los conceptos que ya están familiarizados con usted, tales como pestañas, pestañas, cortes, hoyuelos y lofts. Todos los aspectos de diseño es completamente editable en cualquier momento. Un solo clic patrones planos permite analizar su diseño temprano y con frecuencia, la maximización de las iteraciones de diseño y minimizar errores.

El módulo de diseño de garra y bola Geomagic Freeform el diseño es perfecto para el diseño de la caja, los conductos o diseño general de los componentes. En cualquier momento se puede desplegar el modelo para comprobar la integridad del diseño y solapamientos.

### **3.14. Características del software Geomagic Freeform**

- Geomagic Freeform hace los datos de escaneo 3D más útiles: Todos los escáneres 3D crean nubes de puntos o mallas, que no son tan útiles para la mayoría de las necesidades de diseño. Geomagic Freeform se ha diseñado específicamente para crear modelos CAD de fabricación directamente a partir de datos de escaneado.
- La forma más rápida para obtener escaneos de una pieza real y convertirlos en modelos CAD: Simplemente no hay manera más rápida de llegar de escaneos sin procesar a modelos sólidos completos. Las herramientas de rediseño de Freeform ahorrar horas o días de trabajo en comparación con la ingeniería inversa utilizando un software normal CAD. Freeform trabaja con tu software CAD, dándote los beneficios de un software de escaneo y manteniendo la compatibilidad con tu ambiente de diseño.
- Fácil de usar y aprender, ya que trabaja como tu Software CAD: Si tú puedes diseñar en CAD, entonces puedes comenzar a usar Freeform de inmediato. Utiliza

herramientas familiares para el modelado de partes humanas, y se salta los viejos flujos de trabajo de ingeniería orgánica.

- Poderoso y flexible: La gente está haciendo cosas increíbles con Geomagic todos los días. Como Freeform está construido en un completo CAD (Parasolid), te da la flexibilidad de hacer modelos reales CAD de la manera que desees. Todo lo que necesitas en una sola aplicación, sin la necesidad de estar brincando entre aplicaciones, trabaja con cualquier escáner 3D, y hace modelos nativos con las características para cada aplicación CAD.

### **3.15. Selección de la máquina de 5 ejes**

El mecanizado multi-eje es un proceso de mecanizado donde herramientas controladas por un ordenador de control numérico se mueven con 4 o más grados de libertad para producir piezas de metal u otros materiales por medio de fresado, corte con chorro de agua o corte con láser.

### **3.16. Alternativas de máquinas CNC de 5 ejes.**

Para la selección de la máquina solo se ha considerado tres alternativas, aunque en el mercado existe una amplia gama de máquinas CNC de cinco ejes, las alternativas que se ha seleccionado son las siguientes:

### **3.17. Fresadora Gantry de 5 ejes de alta velocidad**

#### *3.17.1. Ventajas:*

- Mecanizado de piezas tridimensionales con alta precisión geométrica.
- Aspiración de polvo en continuo durante el proceso de mecanizado con 5 ejes en continuo.
- Sistema capaz de buscar la trayectoria directamente en el modelo, generar el programa y simularlo gráficamente para verificar el programa antes de realizar el mecanizado.
- Sistema de palpado que hace que sea posible verificar donde se encuentra la pieza exactamente en el útil de mecanizado y sus posibles desalineaciones o deformaciones

para automáticamente adaptar las trayectorias de mecanizado de la pieza a la posición exacta de la pieza.

- Alta seguridad.

### 3.17.2. Desventajas:

- Alto costo de adquisición.
- Alto costo de mantenimiento.
- Falta de proveedores para repuestos.
- Genera ruido y vibraciones altas.

**Figura 3-1:** Fresadora Gantry de 5 ejes de alta velocidad – Antares



Fuente: (CMS North America Inc, 2015)

## 3.18. Fresadora CNC 5 ejes / universal DMU 95 monoBLOCK®

### 3.18.1. Ventajas:

- Sistemas de medición directa (versión estándar).
- Un 50% más de dinámica, gracias a un carro con peso optimizado en X/Y y un portaherramientas en Z de GGG60.
- Elevada rigidez.
- La máxima estabilidad.
- Óptimo flujo de virutas y extracción de las virutas hacia una caja colectora.

- Alta calidad.
- Almacén de cadena para 60 herramientas.

### 3.18.2. *Desventajas:*

- La interfaz del usuario es demasiado compleja.
- Alto costo de adquisición.
- Alto costo de mantenimiento.
- Falta de opciones o alternativas en caso de fallas
- Genera ruido y vibraciones altas.

**Figura 3-2:** Fresadora CNC 5 ejes / universal DMU 95 monoBLOCK®



**Fuente:** (Virtual expo, 2013)

## 3.19. **HY-3040 China Mini Maquina Fresadora Router CNC 5 Ejes.**

### 3.19.1. *Ventajas:*

- Bajo costo de adquisición.
- La máquina puede ser de control manual o CNC, el control manual es principalmente para fines de ajuste de movimiento del eje de mecanizado.
- Cuenta con una pequeña pantalla en la máquina para el control manual

- La interfaz del usuario es sencilla. Utiliza el software Mach3.
- Adecuado para madera, plástico, aluminio, latón y otros metales blandos.

### 3.19.2. Desventajas

- Es una máquina didáctica.
- No posee un óptimo flujo de virutas.
- La extracción de virutas no es hacia una caja colectora.
- Genera alto ruido.

**Figura.** HY-3040 China Mini Maquina Fresadora Router CNC 5 Ejes.



**Fuente:** (china CNC zone, 2010)

### 3.20. Resumen de alternativas para la máquina CNC de cinco ejes

**Tabla 3-5:** Tabla alternativa de fresadora de 5 ejes.

| Máquinas  | ALTERNATIVAS |
|---|--------------|
| Fresadora Gantry de 5 ejes de alta velocidad – Antares  | A            |
| HY-3040 China Mini Maquina Fresadora Router CNC 5 Ejes. | B            |
| Fresadora CNC 5 ejes / universal DMU 95 monoBLOCK®      | C            |

**Fuente:** Autores.

### 3.21. Criterios de valorización.

Para seleccionar la máquina se va a considerar dos características principales que son: capacidad de la máquina y el costo de adquisición.

#### 3.21.1. Capacidad de la máquina

La capacidad de una máquina o proceso, se puede interpretar como su aptitud para producir artículos de acuerdo con las especificaciones

#### 3.21.2. Funcionalidad

La funcionalidad es una característica esencial. Una máquina debe estar diseñada para cumplir un propósito o una función principal y/o funciones secundarias.

#### 3.21.3. Ponderación de los criterios de valoración.

La evaluación de los criterios de valoración para cada alternativa se realiza por medio de la siguiente tabla de ponderación.

**Tabla 3-6:** Forma de ponderación

| <b>Estado</b>      | Deficiente | Malo | Aceptable | Bueno | Excelente |
|--------------------|------------|------|-----------|-------|-----------|
| <b>Ponderación</b> | 1          | 2    | 3         | 4     | 5         |

**Fuente:** Autores.

3.21.4. *Ponderación de la mejor alternativa*

**Tabla 3-7.** Ponderación de la mejor alternativa

| <b>Criterios</b><br><b>Alternativas</b> | <b>Capacidad</b> | <b>Costo</b> | <b>Funcionalidad</b> | <b>Ponderación</b> |
|---|------------------|--------------|----------------------|--------------------|
| A                                       | 5                | 1            | 5                    | <b>11</b>          |
| <b>B</b>                                | <b>3</b>         | <b>5</b>     | <b>5</b>             | <b>13</b>          |
| C                                       | 4                | 3            | 5                    | <b>12</b>          |

**Fuente:** Autores.

La alternativa B tiene el mayor valor en la ponderación de las alternativas por lo tanto la máquina CNC de cinco ejes ayudará en la elaboración del busto humano, la cual es la HY-3040 China Mini Maquina Fresadora Router CNC 5 Ejes.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. MODELADO Y SIMULACIÓN DEL BUSTO HUMANO**

#### **4.1. Aplicación del escáner GOSCAM 3D para el proceso de escaneado del busto humano.**

Para realizar el mecanizado del busto humano se va a utilizar el software GOSCAM 3D, ya que se adaptarán a la perfección a sus necesidades. Mediante un proceso muy eficaz, cualquier usuario (sin necesidad de experiencia ni conocimientos previos) puede utilizar estos sistemas de posicionamiento automático, que proporcionan una guía visual durante el proceso de digitalización

#### **4.2. Alcance GOSCAM 3D**

El escáner GOSCAM 3D con su innovadora tecnología no requiere ningún proceso de preparación ni configuraciones específicas, ofrece una velocidad de medición muy rápida y no necesita el procesamiento manual posterior de la información.

#### **4.3. Precisión del GOSCAM 3D**

Su precisión alcanza un punto de hasta 0,1 mm, independientemente del entorno o las condiciones de trabajo, así que puede confiar en los resultados del escaneado.

Escanee con o sin objetivos de posicionamiento según la naturaleza de la geometría de la pieza. Escanee una amplia variedad de piezas de diferentes tamaños, materiales y colores.

Gracias a la facilidad de GOSCAM 3D, se pueden realizar fácilmente escaneos muy complejos.



#### 4.4. Campos de aplicación:

**Ilustración 4-1:** Campos de aplicación

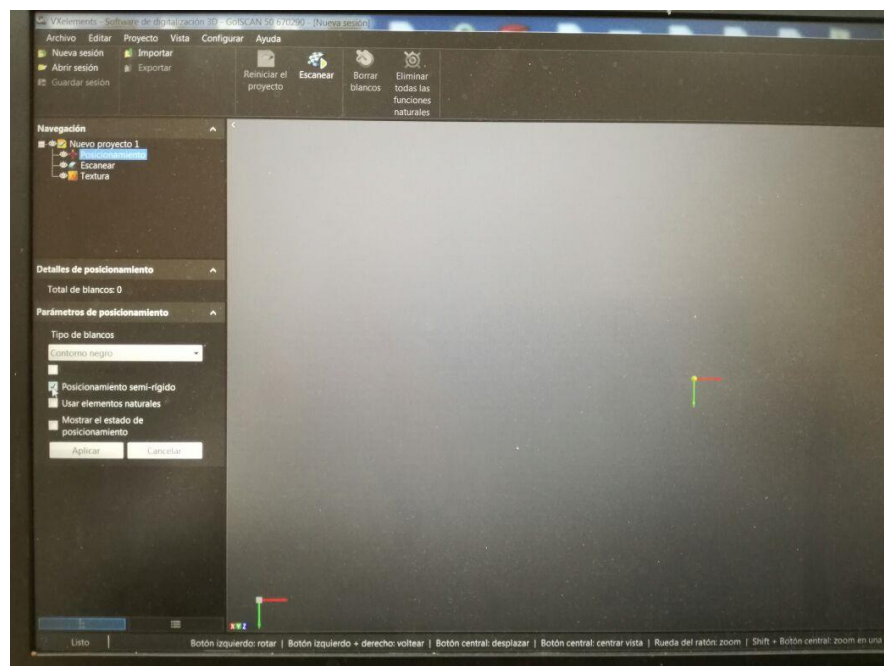


**Fuente:** Autores.

#### 4.5. Proceso de escaneo.

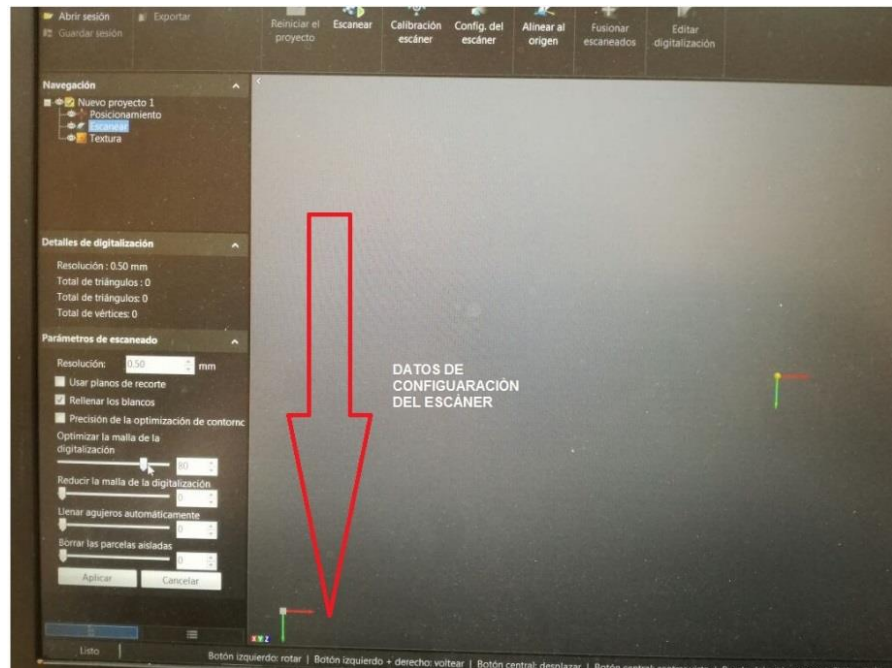
- Abrir el software compatible con el escáner GOSCAM 3D desde un computador.

**Figura 4-1.** Proceso de escaneo



**Fuente:** Autores.

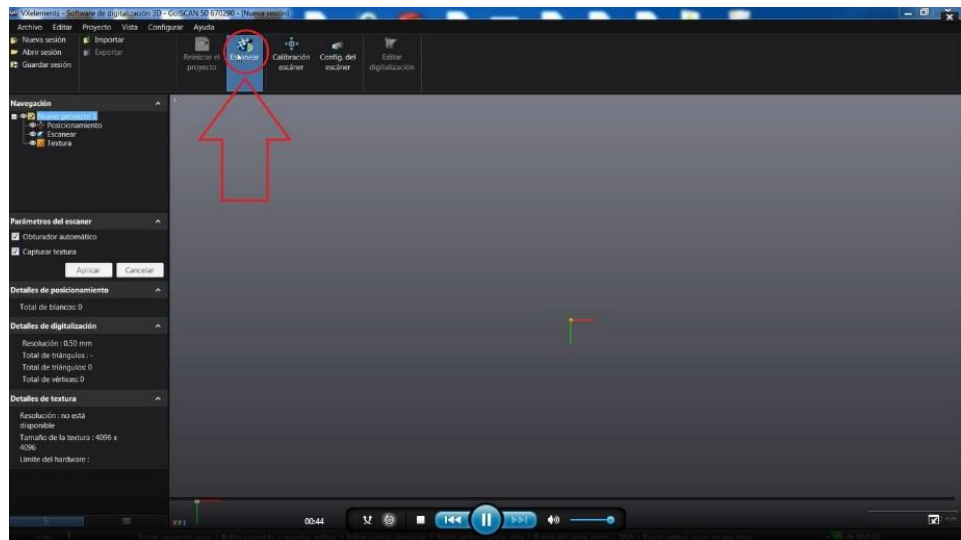
**Figura 4-2.** Configuración del escáner



**Fuente:** Autores.

- Llevar el puntero a la opción escáner del programa VXElements.

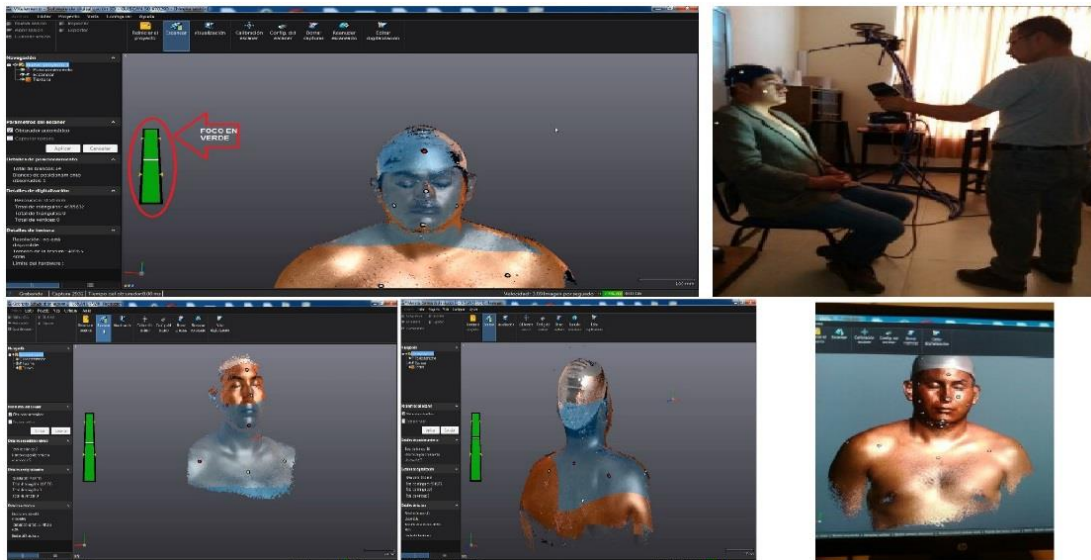
**Figura 4-3:** Programa VXelements



**Fuente:** Autores.

- Escaneo del busto con ayuda del escáner GOSCAM 3D (tomando en cuenta que el botón del escáner debe estar en verde, para la obtención de datos óptimos).

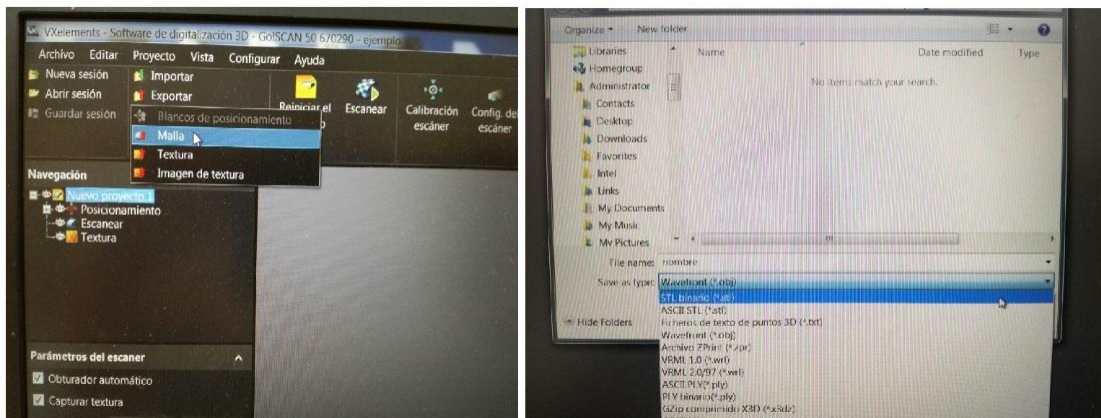
**Figura 4-4:** Escaneo del busto



**Fuente:** Autores.

- Guardar el archivo en formato STL binario.

**Figura 4-5.** Formato STL binario

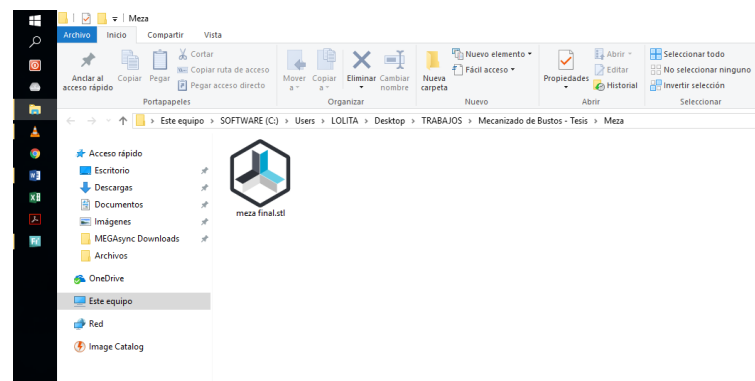


**Fuente:** Autores.

#### 4.6. Aplicación de Geomagic freeform.

Una vez generada la nube de puntos mediante el respectivo software procedemos a guardarlo en una ubicación determinada para su posterior importación al programa de modelado. Este archivo tiene una extensión .stl, que comúnmente es para la impresión de objetos en 3D.

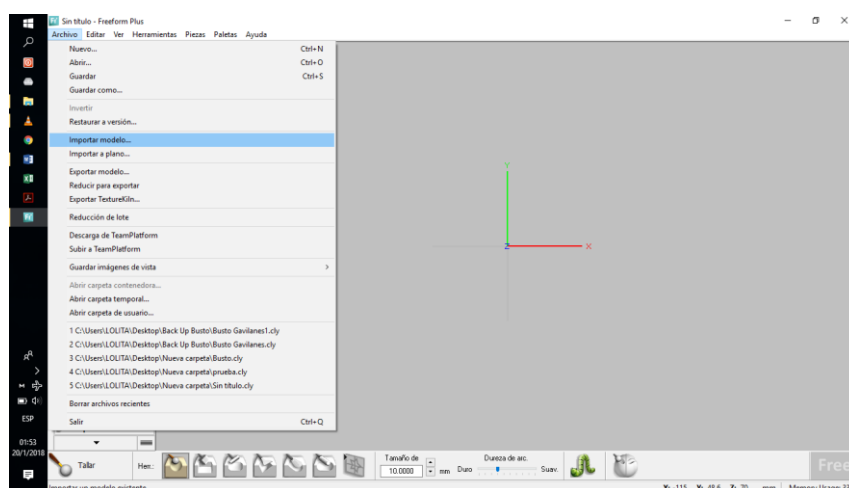
**Ilustración 4-2.** Geomagic freeform.



**Fuente:** Autores.

Abrimos la versión del software que vamos a utilizar para el mejoramiento del busto a mecanizar, como me menciono, por el tipo de extensión con la que se generó el archivo tenemos que importar el modelo para su respectiva visualización.

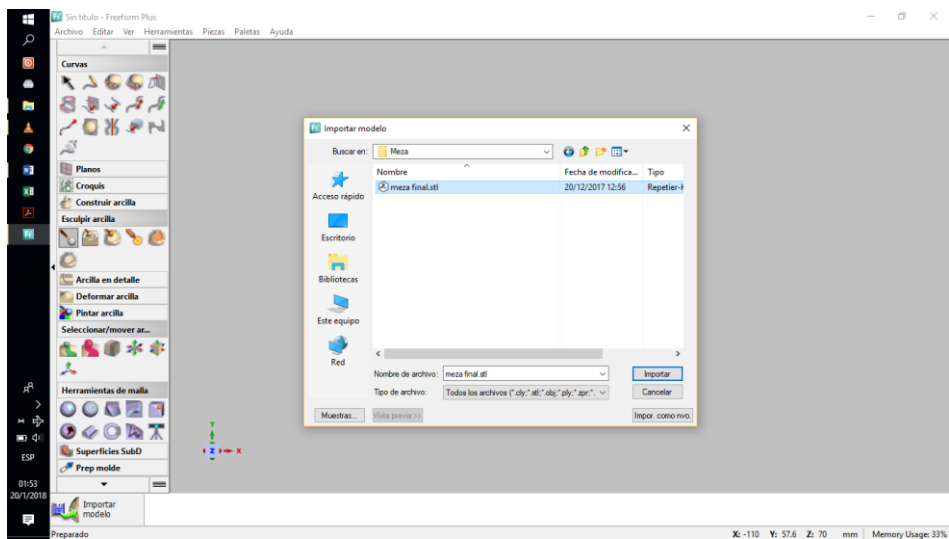
**Ilustración 4-3.** Software para el mejoramiento del busto



**Fuente:** Autores

Seleccionamos el archivo desde la ubicación en donde se guardó previamente y damos click en importar.

## Ilustración 4-4. Importar Archivo

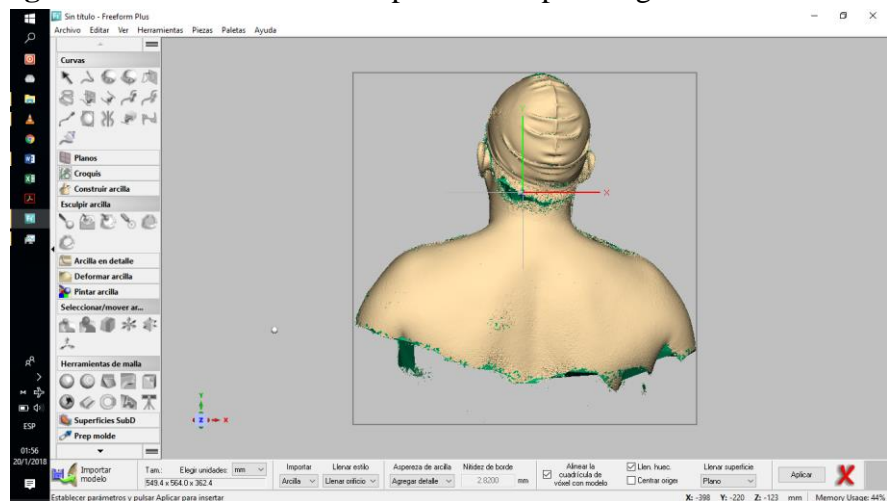


Fuente: Autores.

### 4.7. Determinación de parámetros para la generación de arcilla

Ahora tenemos que determinar ciertos parámetros para que la nube de puntos genere de una mejor manera la arcilla que vamos a moldear.

Figura 4-6. Determinación de parámetros para la generación de arcilla



Fuente: Autores.

Como primer punto, las dimensiones del modelado se dejan por defecto y elegimos las unidades, en nuestro caso trabajamos con mm.

La cinta de opciones de importar modelo se encuentra en la parte inferior de la pantalla y cuenta con algunas variables. En la casilla de importar seleccionamos como material arcilla; al escoger esa opción, el programa nos permite trabajar con más herramientas para



la manipulación del modelado. Con esqueleto o malla, no existen muchas de las otras herramientas.

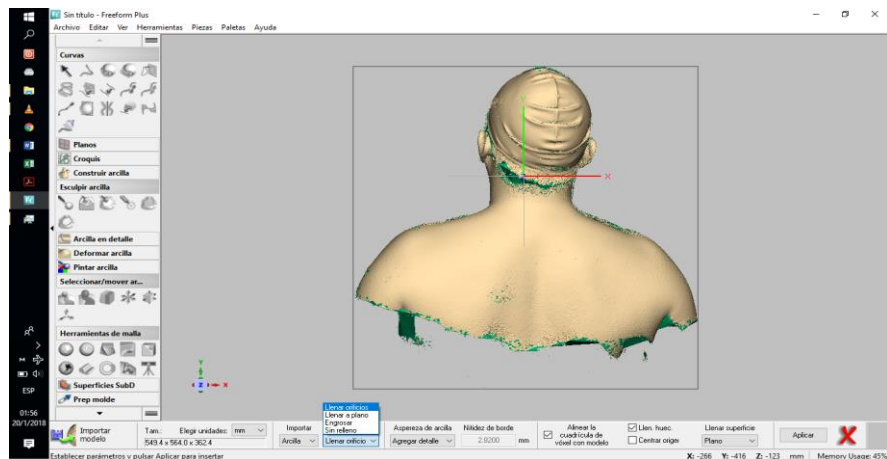
**Figura 4-7: Dimensiones del modelado**



**Fuente:** Autores.

Seleccionamos la opción de llenar orificio en la casilla de llenar orificio, esto nos sirve para que cualquier punto o sección hueca se rellene de material y trabajar de mejor manera el modelado.

**Figura 4-8. Llenar orificio**



**Fuente:** Autores.

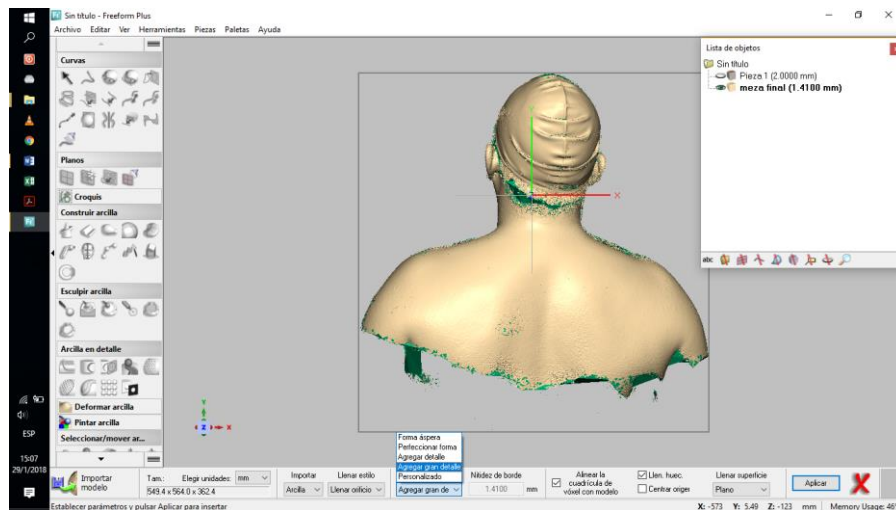
#### **4.8. Detalles primordiales a tomar en cuenta para el moldeo**

Una parte importante para el moldeo y la eliminación de ciertos puntos basura en la arcilla es el que sigue a continuación, en el que nos pide la aspereza de la arcilla. Aquí cuenta

con 5 tipos de medida, lo que implica que, mientras menor sea la distancia de la arcilla se podrá realizar mejor los detalles que vamos a agregar.

Ya que primero nos centraremos en la adecuación de la arcilla: eliminación, moldeo y relleno, tendremos que dejar una medida de agregar gran detalle, lo cual nos da una nitidez de arcilla de 1.41 mm, como se puede observar en la figura.

**Figura 4-9.** Eliminación de ciertos puntos basura



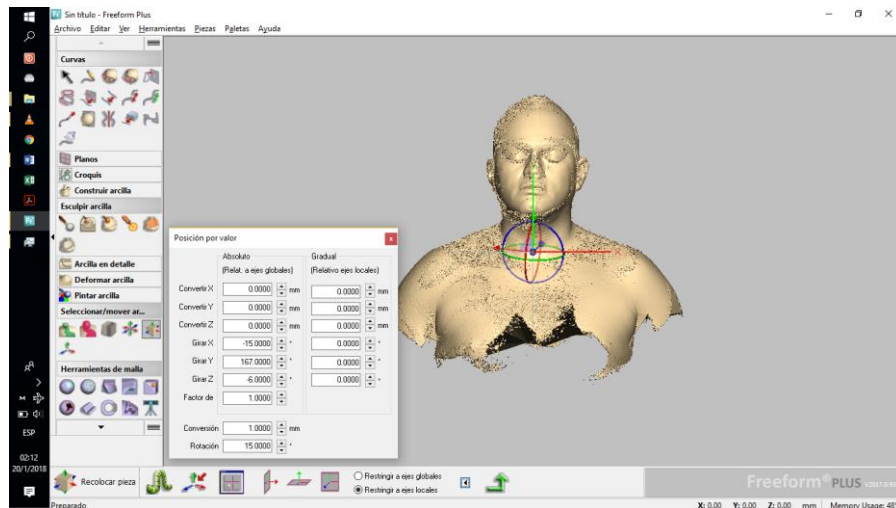
**Fuente:** Autores.

De ahí en adelante las demás casillas las dejamos como nos da por defecto, con la única diferencia que marcamos la casilla de centrar origen, damos click en aplicar y esperamos a que se genere la arcilla.

Cargada la arcilla en el programa, esta viene con su propio sistema de coordenadas y tenemos que reubicar la pieza para trabajar de mejor manera sin la necesita de movernos tanto por la interfaz o pantalla del programa.

En la figura se ve como solo se necesitó girar las coordenadas de los ejes sin necesidad de desplazar el origen.

**Figura 4-10. Giro de coordenadas de los ejes**



**Fuente:** Autores.

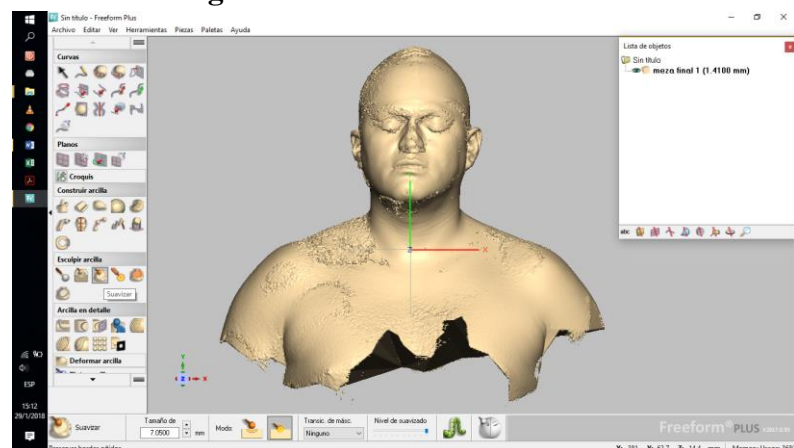
#### **4.9. Herramienta más usada en el proceso**

La herramienta con la que más vamos a trabajar es la de *suavizar*, la que se encuentra en la parte izquierda del software. Observamos lo que se mencionó con anterioridad, disponemos de varias opciones para darle tratamiento a la arcilla.

Se puede realizar curvas sobre la arcilla, proyección, unir, extender, cortar, simetría, intersección y demás. Tenemos la opción de planos, la cual utilizaremos más adelante.

Trabajaremos más con las opciones de construir arcilla, esculpir arcilla y arcilla en detalle para arreglar el busto. La herramienta suavizar es la primera que ocuparemos para eliminar el exceso de material que tenemos (como se observa en la figura).

**Figura 4-11. Herramienta suavizar**

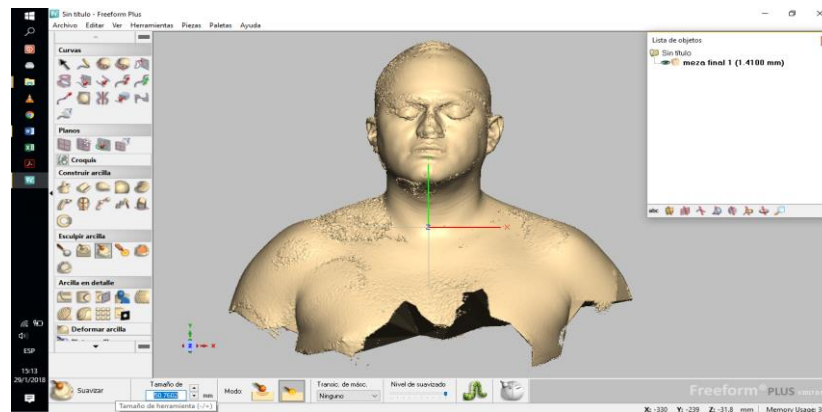


**Fuente:** Autores.



Cada vez que activemos una herramienta se desplaza una cinta de opciones para que configuremos la herramienta. En la casilla resaltada hemos aumentado el tamaño de la herramienta, esto se puede realizar de dos formas: la primera en con el teclado y la segunda con el mouse. Manteniendo presionada la tecla CTRL y pulsando el símbolo de + este aumentara de tamaño, y la segunda de la misma manera solo que es vez de pulsar + tenemos que utilizar el scroll de mouse hacia arriba.

**Figura 4-12.** Configuración de la herramienta suavizar

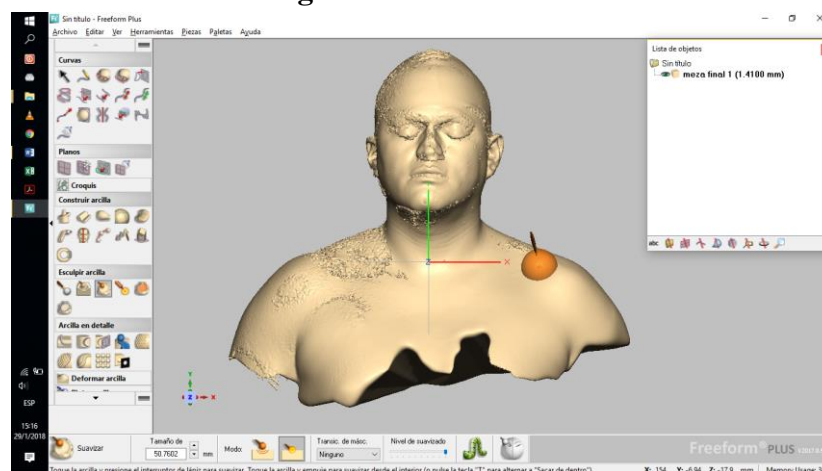


**Fuente:** Autores.

La siguiente casilla seleccionamos el modo en cual lo mantendremos en suavizar (icono resaltado). La otra opción es de difuminar, pero no la ocuparemos.

Se puede ver como en la parte del pecho del busto a comenzado a tener una forma lisa, lo que anteriormente no estaba así. Esto funciona cada vez que demos click sobre la zona afectada, para evitar tanta molestia se puede mantener presionado el click izquierdo del mouse mientras se trabaja.

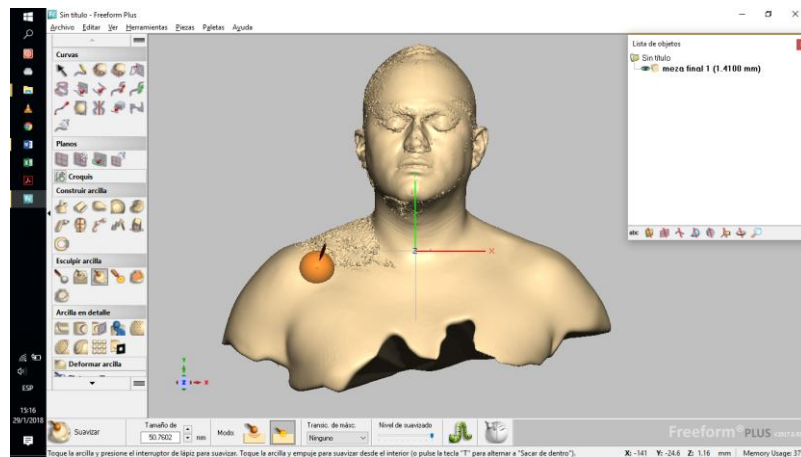
**Figura 4-13.** Difuminar



**Fuente:** Autores.

En la cinta de opciones tenemos otra casilla que hay que considerar en cuenta, la de nivel de suavizado. Esta nos permite realizar el acondicionamiento de la superficie de manera más rápida y sin tanto trabajo, como esta en el máximo nivel de suavizada basta con realizar una sola pasada con la herramienta. En dorso casi esta culminado.

**Figura 4-14.** Nivel de suavizado

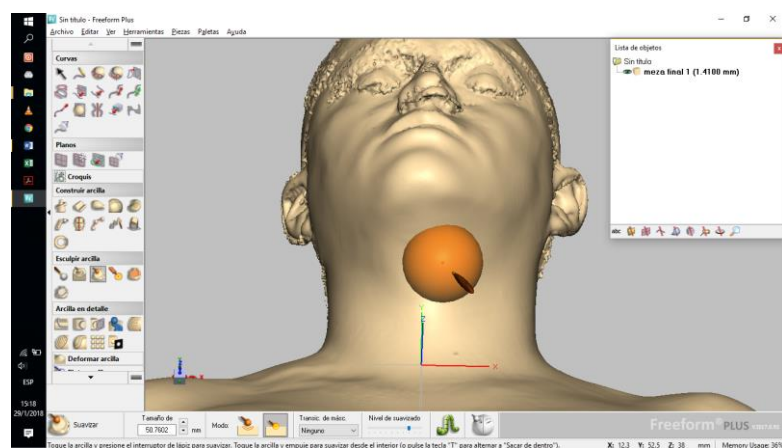


**Fuente:** Autores.

#### **4.10. Reducción del nivel de suavizado**

Reducimos el nivel de suavizado, mas no el tamaño de la herramienta para trabajar en la parte del cuello y mandíbula. Las partes del rostro se trabajan con más cuidado.

**Figura 4-15.** Reducción del nivel de suavizado



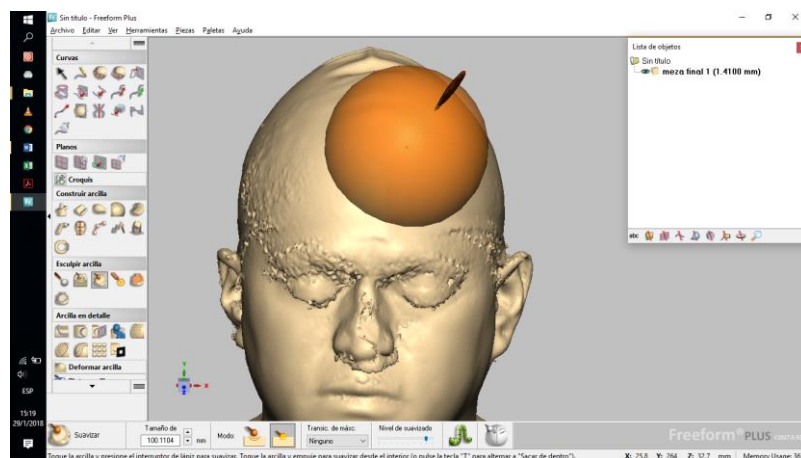
**Fuente:** Autores.

Ahora nos centramos en la parte del cráneo, como aquí no hay mayor detalle del busto procedemos a aumentar el tamaño de la herramienta y aumentar el nivel de suavizado. Se realizan varias pasadas ya que aquí hay ciertas formas irregulares.

#### 4.11. Generación de la nube de puntos

Para la generación de la nube de puntos es recomendable ponerse un gorro de nadador y así evitar el conflicto que se puede generar con el tema del cabello.

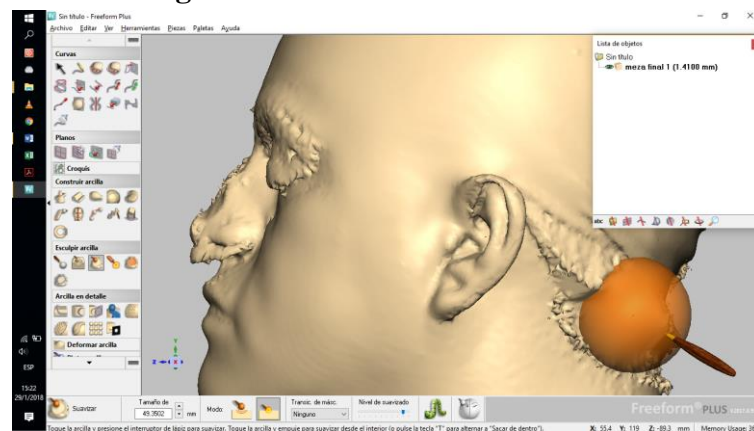
**Figura 4-16.** Generación de la nube de puntos



**Fuente:** Autores.

Pasamos a la parte izquierda del busto donde se puede visualizar que hay zonas en las que hay que eliminar material por el relleno de macilla que configuramos al inicio.

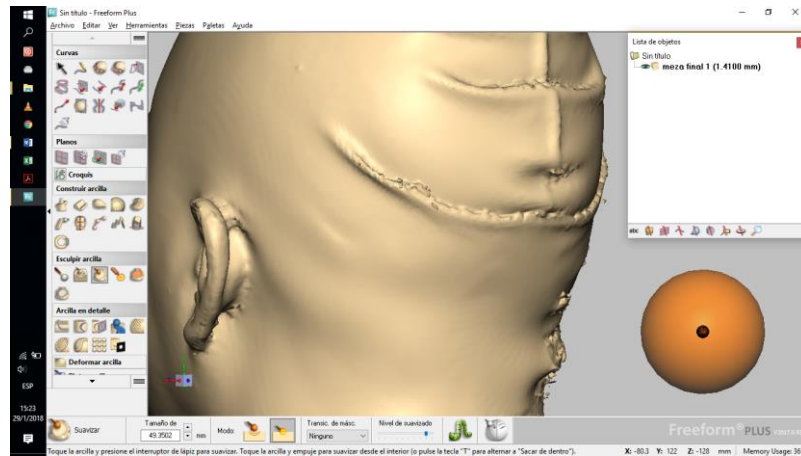
**Figura 4-17.** Eliminación de material



**Fuente:** Autores.

La figura siguiente se observa cómo vamos suavizando la parte de la nuca y haciendo desaparecer la marca que se generó por el gorro de nadador.

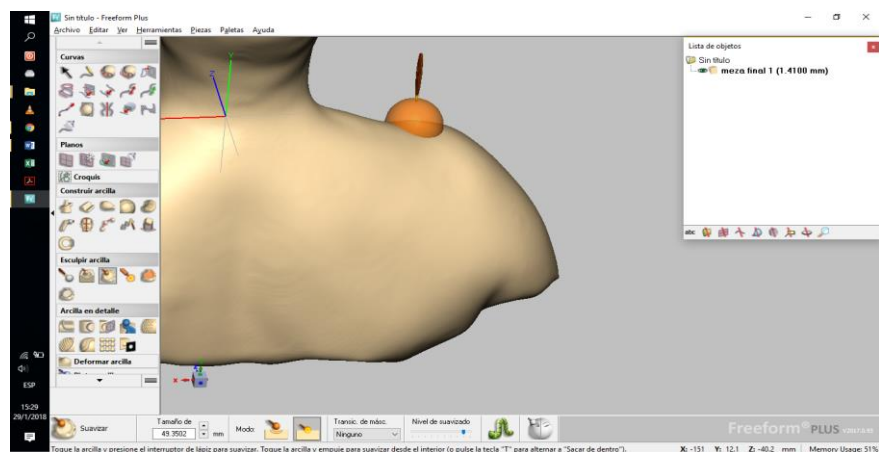
**Figura 4-18.** Eliminando Fallas de la nuca



**Fuente:** Autores.

Parte de los hombros también se mejora. Nótese que, en todo el proceso realizado hasta ahora, la herramienta no se ha cambiado; esto se debe a que es de gran utilidad y no necesitamos más que arreglar la superficie.

**Figura 4-19.** Eliminación de fallas de los hombros

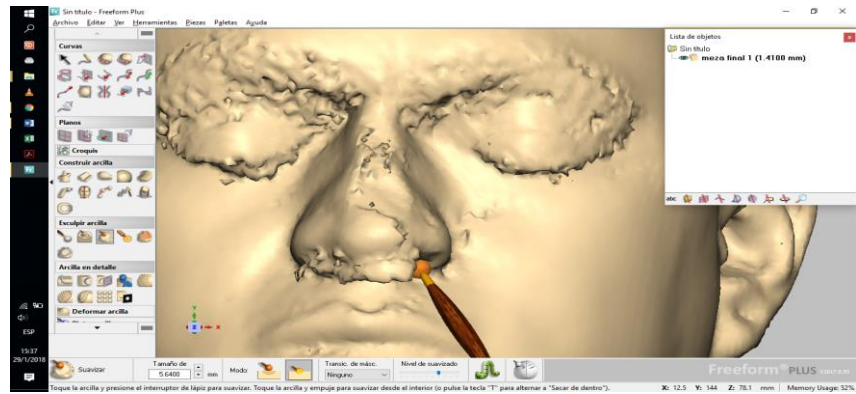


**Fuente:** Autores.

Pasamos a la parte del rostro, definir lo que es: boca, nariz, ojos y parte de las pestañas. En esta parte del trabajo ya tenemos que cambiar el tamaño de la herramienta para así ser más precisos y darles forma a ciertos detalles importantes.

El nivel de suavizado se disminuye y comenzamos a eliminar detalles que no deseamos en la parte de la nariz.

**Figura 4-20.** Eliminación de fallas de la nariz

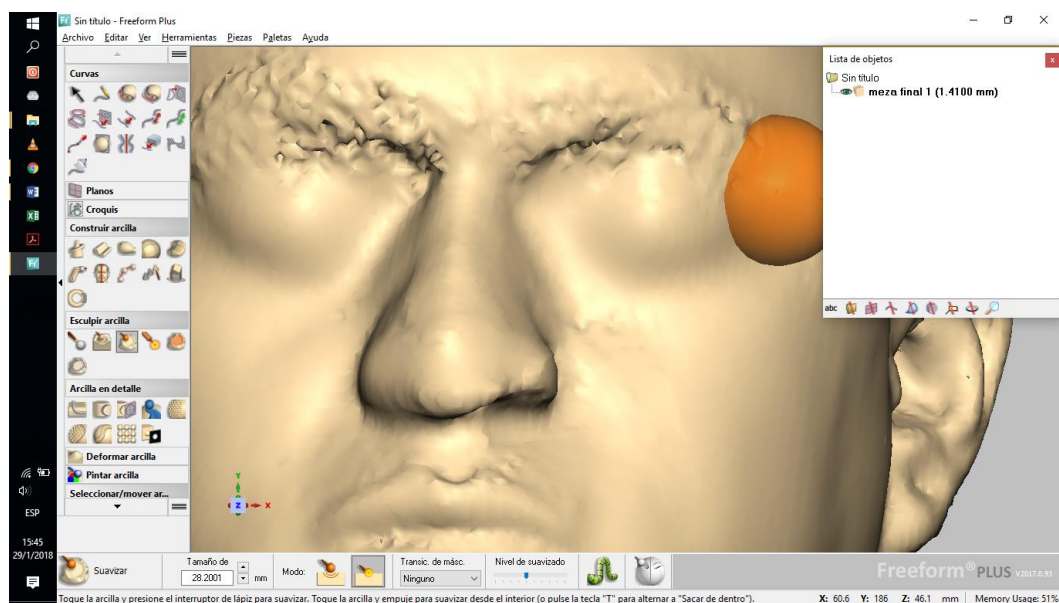


**Fuente:** Autores.

#### 4.12. Suavizado de la parte superior

Finalizado el tratamiento del parpado nos vamos a suavizar la parte superior y cejas.

**Figura 4-21.** Suavizado de la parte superior

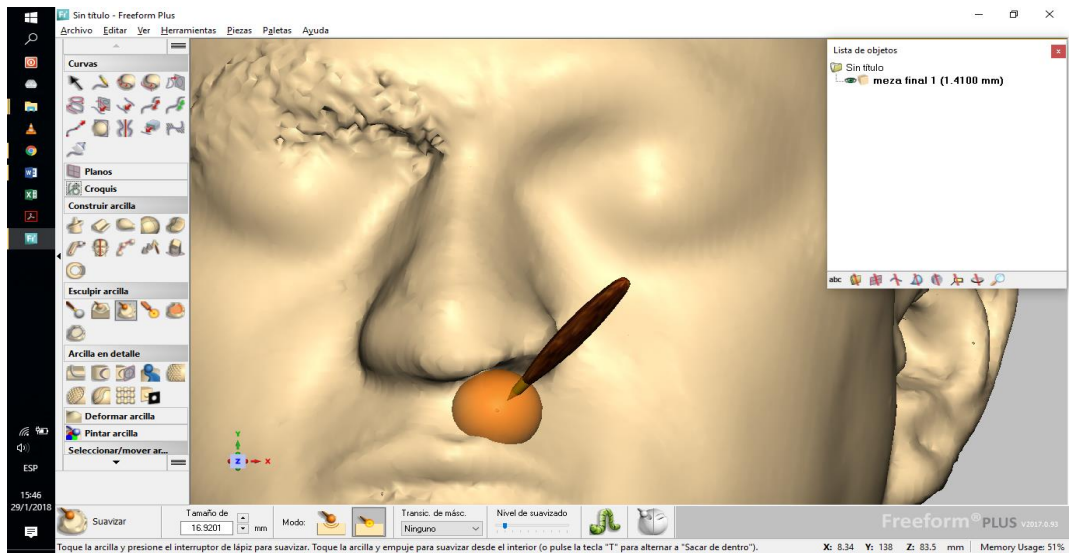


**Fuente:** Autores.

Observamos como la parte del ojo queda lista para trabajar sobre ella. Ahora nos enfocamos en la boca y parte de la nariz.

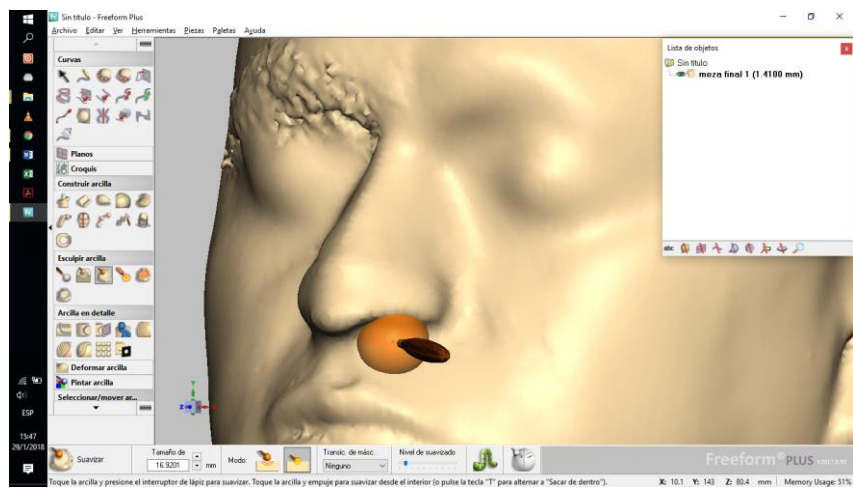


**Figura 4-22.** Eliminación de fallas en labio superior y tabique



**Fuente:** Autores.

**Figura 4-23.** Disminuimos de la herramienta y toques finales.

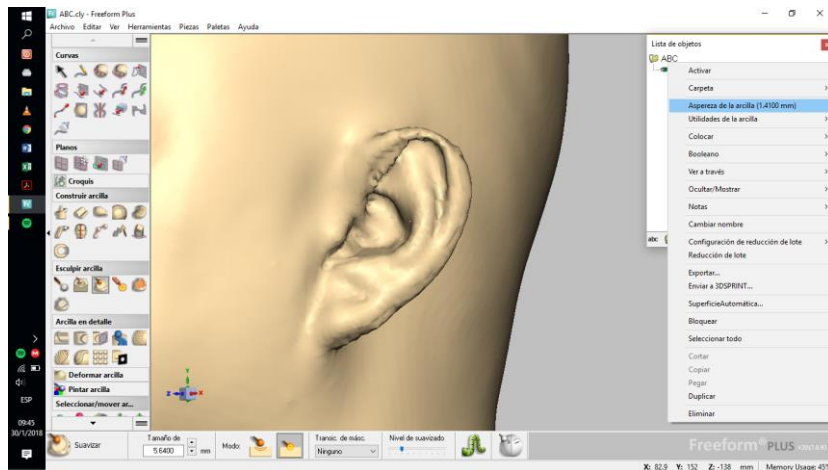


**Fuente:** Autores.

Ahora nos enfocamos en la parte de los oídos y ubicamos el puntero del mouse sobre el cuadro de dialogo, lista de materiales, aquí damos clic derecho sobre el archivo meza final y se despliega una nueva cinta de opciones donde seleccionaremos aspereza de la arcilla (1.4100 mm).

Como vamos a comenzar con los detalles más minuciosos del rostro y la oreja es uno de ellos, cambiaremos la aspereza de la arcilla

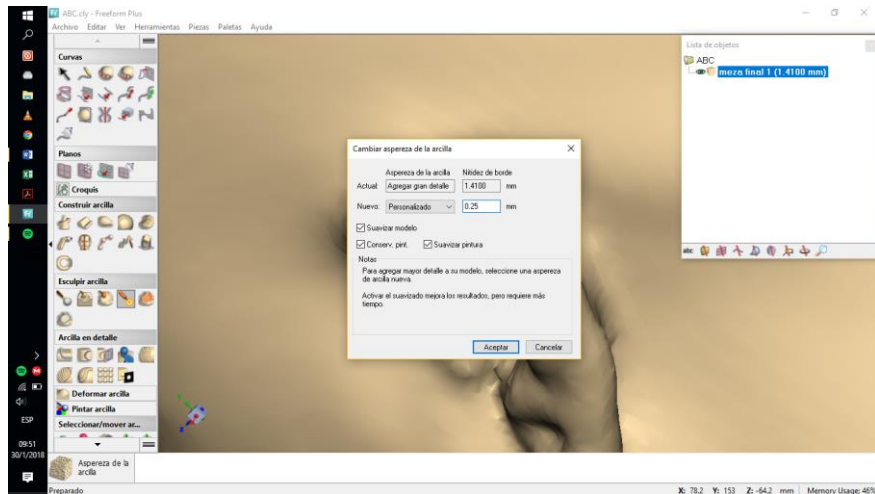
**Figura 4-24.** Elaboración de detalles de la oreja



**Fuente:** Autores.

Nos arroja un nuevo cuadro de dialogo, cambiar aspereza de la arcilla donde nos indica la aspereza actual. En la pestaña de nuevo cambiamos la opción a personalizado e ingresamos una de 0.25 mm dando una mejor resolución de arcilla, dejamos las otras casillas por defecto y aceptamos.

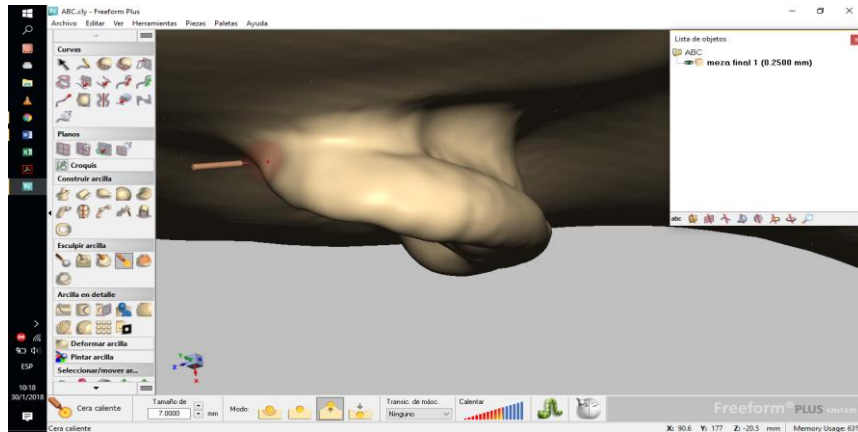
**Figura 4-25.** Cambio de aspereza de la arcilla



**Fuente:** Autores.

Si observamos el cuadro de dialogo lista de objetos, ahora el tamaño de la aspereza cambio a 0.25 mm y comenzamos a modificar y mejorar los detalles en la oreja. Se seleccionó la herramienta de cera caliente y aumentamos material a los agujeros.

**Figura 4-26.** Utilización de la herramienta de cera caliente



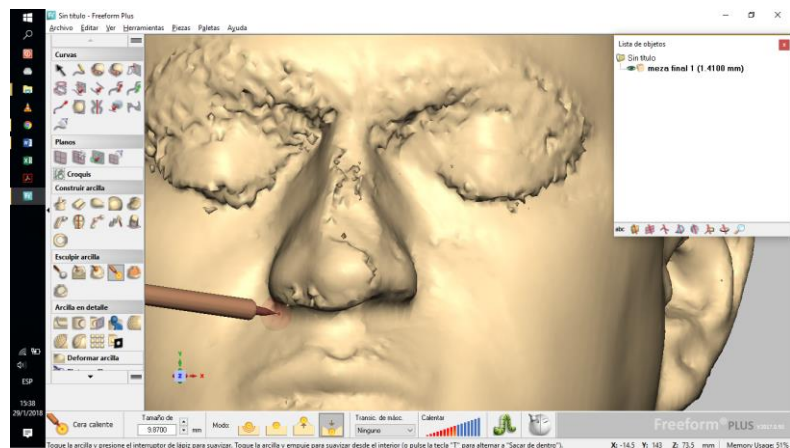
**Fuente:** Autores.

Para mayor facilidad solo damos tratamiento a la mitad del rostro y más adelante utilizar la herramienta de simetría de arcilla.

#### 4.13. Cambio de herramienta

Realizamos un cambio de herramienta para poder mejorar la entrada de la nariz, como se observa a continuación. Seleccionamos cera caliente en la opción de esculpir arcilla para poder realizar este tipo de trabajo. La herramienta cera caliente es más completa que la anterior (suavizar) ya que tiene otras opciones, tales como: difuminar, suavizar, aumentar y eliminar. Como lo que queremos hacer el quitar o eliminar material, seleccionamos eliminar y disminuimos la temperatura de la cera caliente; esta herramienta es más compleja ya que hay que tomar en cuenta tanto el tamaño de la herramienta, temperatura y número de pasadas que vayamos a realizar.

**Figura 4-27.** Cambio de herramienta



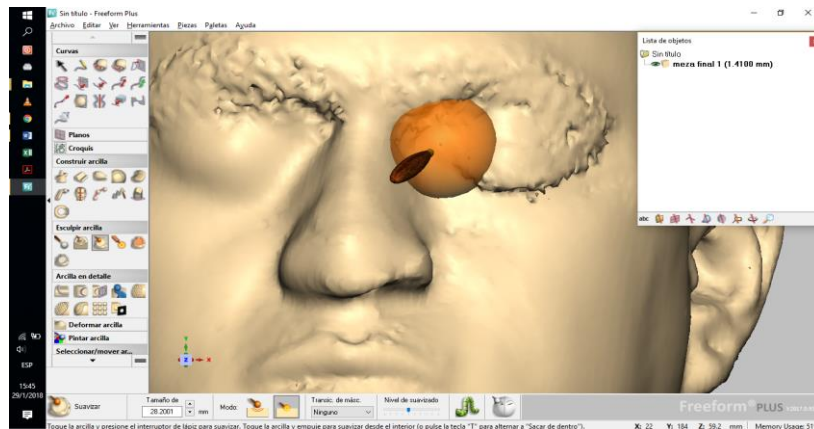
**Fuente:** Autores.



Una vez dado el tratamiento a la nariz, procedemos a mejorar la parte de los ojos ya que estos también no fueron bien generados en la creación de la nube de puntos.

Realizamos el cambio de herramienta por la de suavizar, aumentamos el tamaño de la misma y disminuimos el nivel de suavizado para dar una sola pasada a través del parpado.

**Figura 4-28.** Eliminación de fallas de los ojos

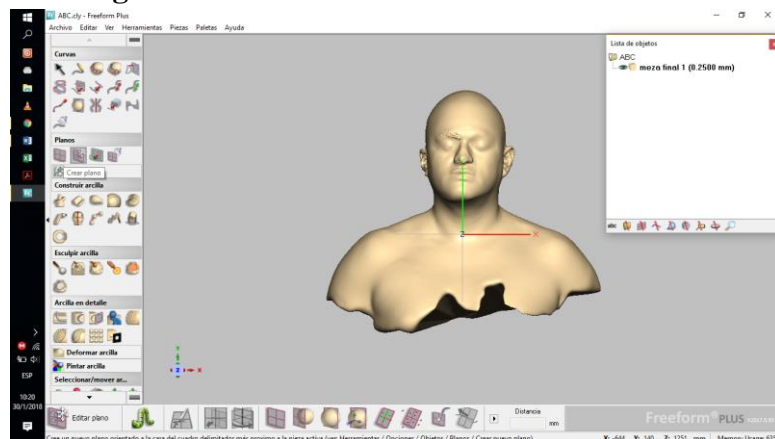


**Fuente:** Autores.

#### 4.14. Eliminación del exceso de material

A continuación, eliminamos el exceso de material (no ocupado en la mecanización) mediante la creación de un plano, ubicado en la parte izquierda dentro de la opción de planos y seleccionamos.

**Figura 4-29.** Eliminación del exceso de material

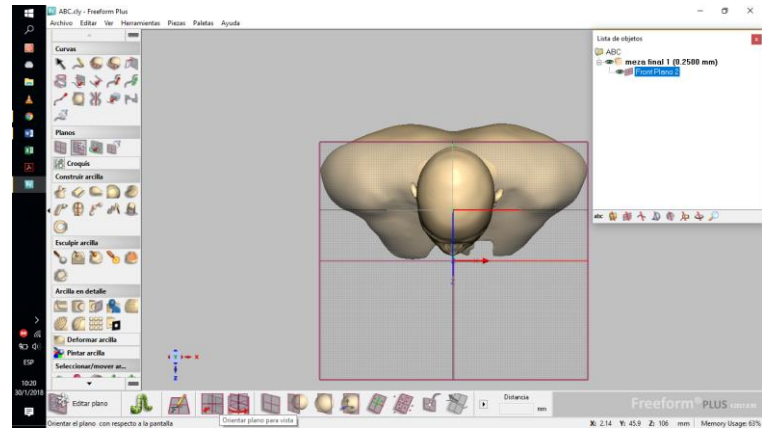


**Fuente:** Autores.

#### 4.15. Reorientación de la vista del modelado

Utilizamos una sub-herramienta en la cinta de opciones que orienta el plano según la vista del modelo.

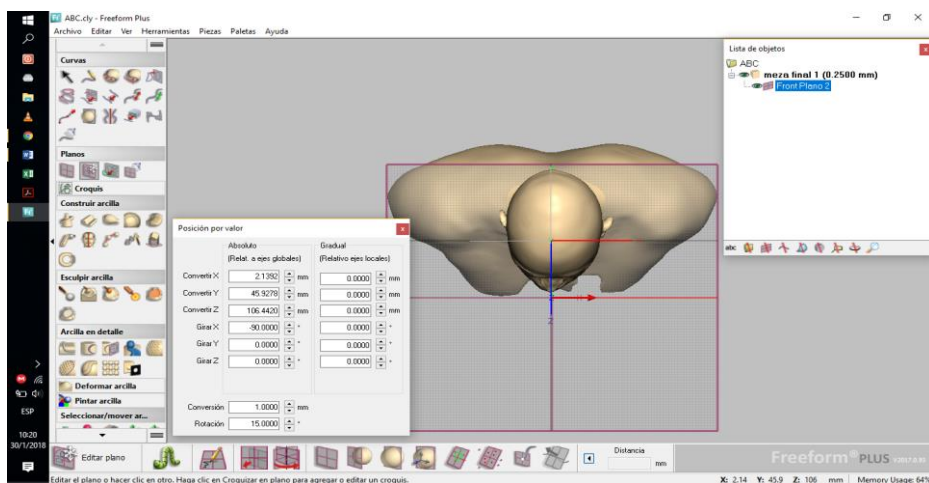
Figura 4-30. Reorientación de la vista de modelado



Fuente: Autores.

Se puede observar que en la lista de objetos se creó el plano de referencia (Front Plano 2) y procedemos a ubicarlo en el centro según coordenadas que ingresaremos en el cuadro de dialogo.

Figura 4-31. Front Plano 2

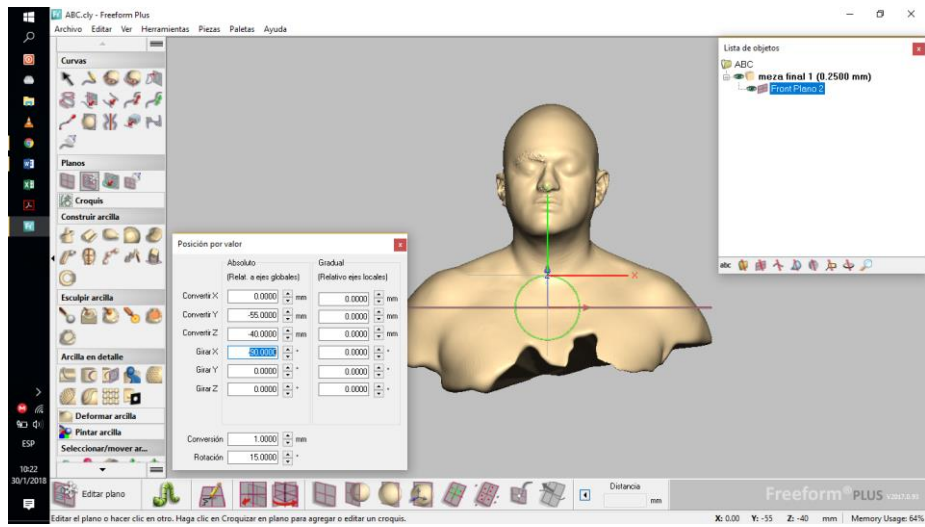


Fuente: Autores.

#### 4.16. Ingreso de coordenadas

Ingresamos las coordenadas actuales que se observan en la figura siguiente

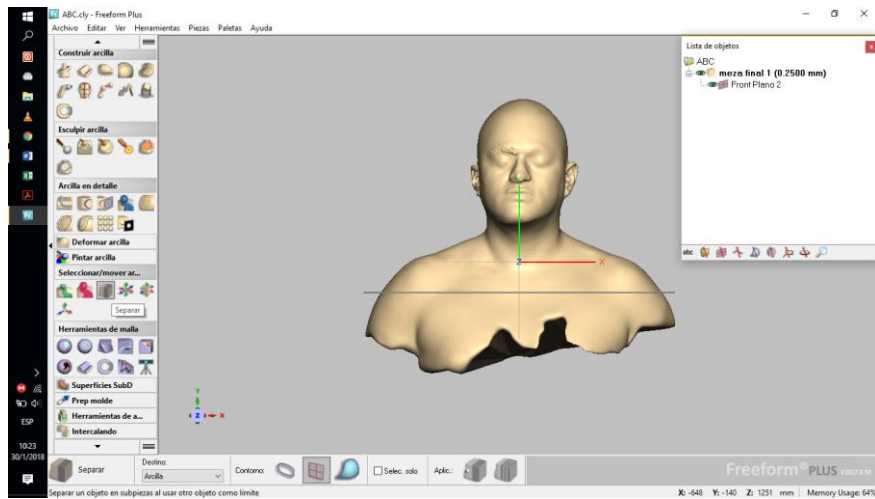
**Figura 4-32.** Ingreso de coordenadas



**Fuente:** Autores.

Procedemos a activar la herramienta de separar, ubicada en la parte izquierda del modelado, dentro de las opciones de seleccionar/mover arcilla, opción resaltada en la figura.

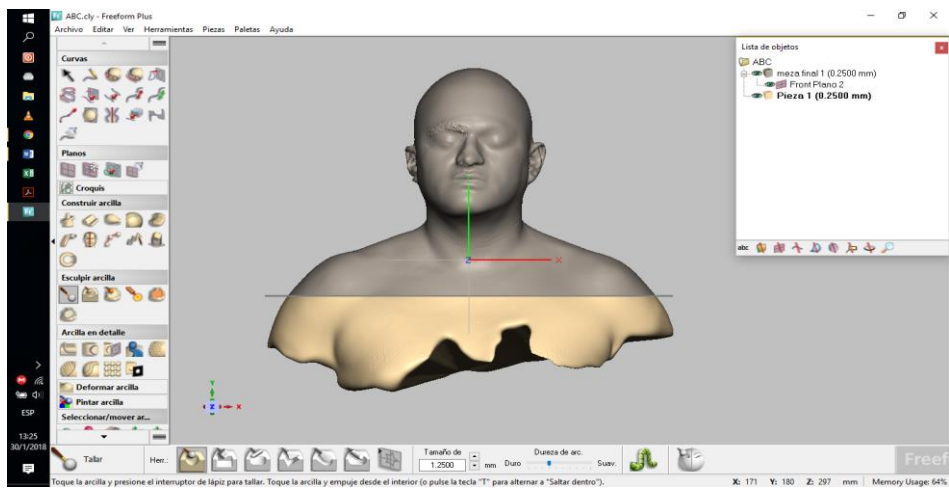
**Figura 4-33.** Activación de la herramienta separar



**Fuente:** Autores.

La cinta de opciones nos muestra casillas que debemos configurar, con las que trabajaremos es: contorno, aplicación. La primera nos indica con respecto a que vamos a separar el modelado y la segunda que parte del material que vamos a separar.

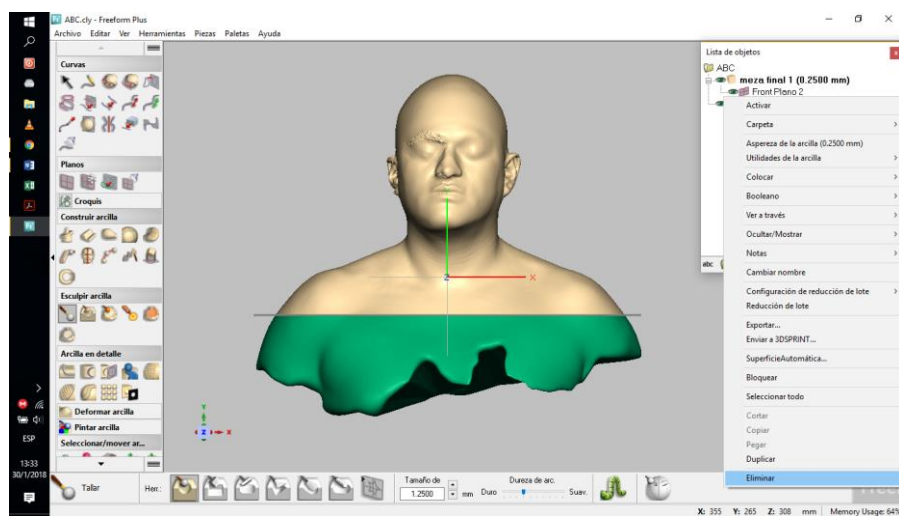
**Figura 4-34. Separación del modelado**



**Fuente:** Autores.

Volvemos a activar la activar la pieza con el nombre de meza final 1 (0.2500 mm) en el cuadro de dialogo lista de objetos. Para mayor comodidad y no cargar tanto a la computadora, eliminamos el material sobrante, es decir pieza 1 (0.2500 mm).

**Figura 4-35. Eliminación del material sobrante**

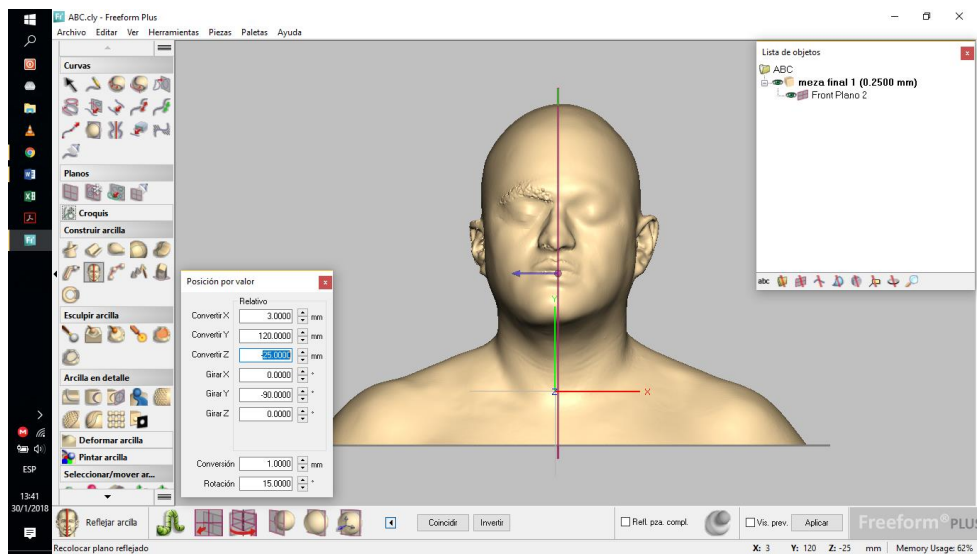


**Fuente:** Autores.

La figura queda como se muestra a continuación. Y creamos un nuevo plano para realizar la simetría y quede mejor definido el busto.

El nuevo plano se lo realiza con los pasos anteriores

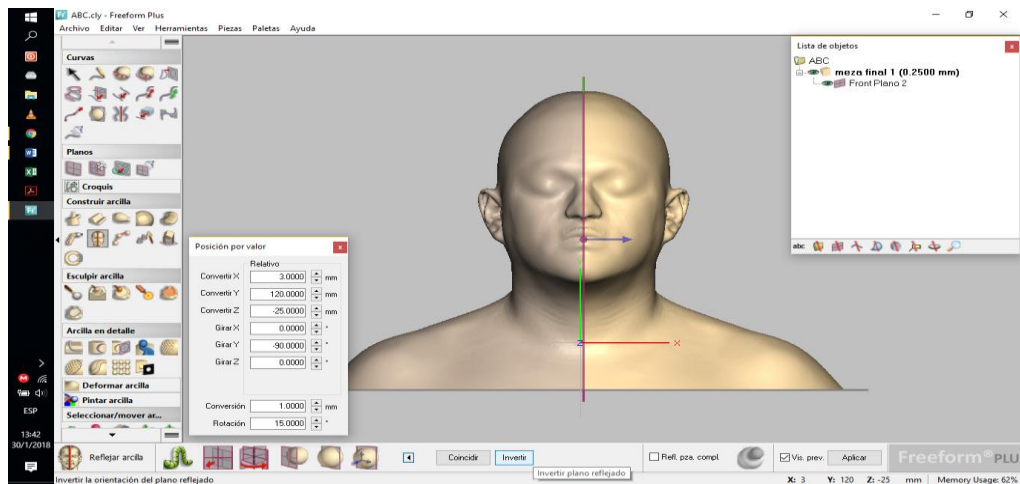
**Figura 4-36.** Creación de un nuevo plano



**Fuente:** Autores.

Definimos las coordenadas y generamos la vista previa. Si hace referencia con el otro lado del rostro (en nuestro caso), marcamos la casilla de invertir y obtenemos el rostro totalmente arreglado. Aplicamos.

**Figura 4-37.** Marcación de la casilla invertir

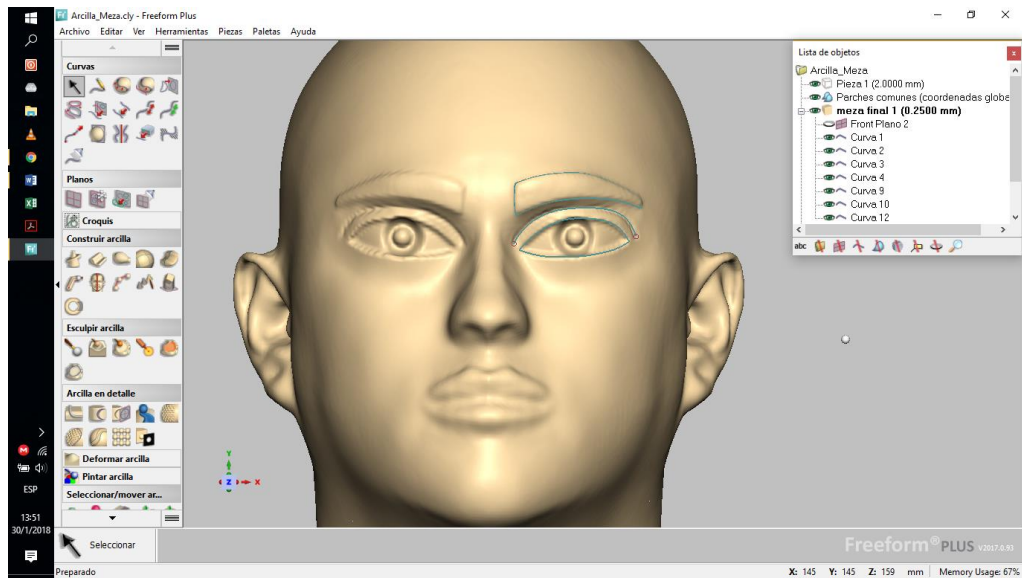


**Fuente:** Autores.

Procedemos a dar los toques finales. Estos son los de las cejas; hay que darle un relieve para poder simular más el rostro humano. Tenemos que dibujar líneas en donde aplicaremos estos detalles.



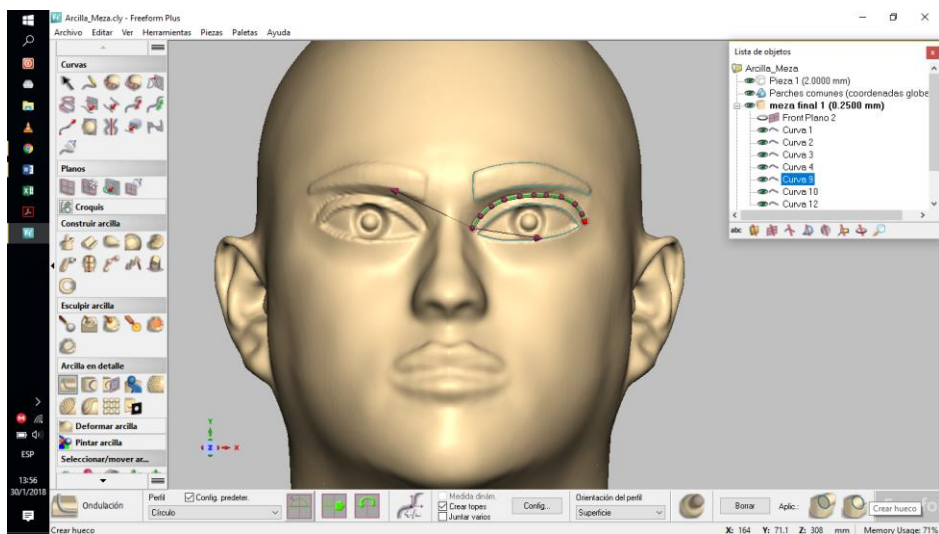
**Figura 4-38.** Toque final de la ceja



**Fuente:** Autores.

Como primera cavidad la curva que se encuentra entre la ceja y el ojo para quitar material. Esto se lo realiza con la herramienta ondulación ubicada dentro de arcilla en detalle. La cinta de opciones especificamos el tipo de perfil que queremos, en nuestro caso seleccionamos círculo. Seguido tenemos que seleccionar la curva para seleccionar aplicación y damos click en crear hueco. Nos muestra el resultado y aceptamos.

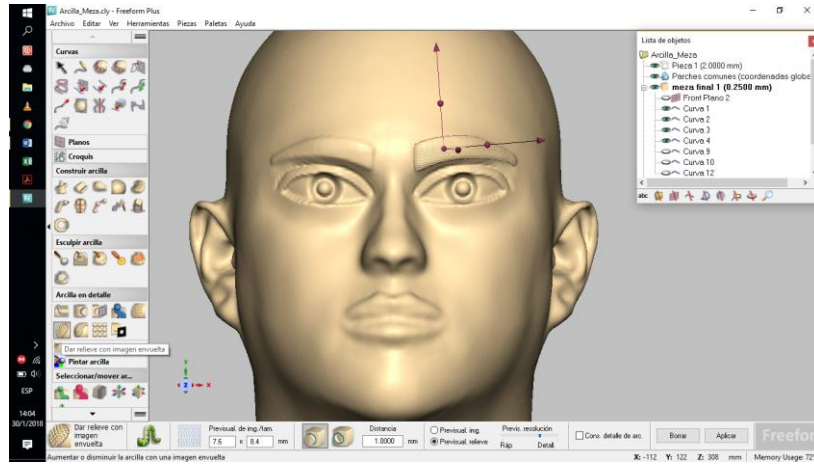
**Figura 4-39.** Diseño del ojo



**Fuente:** Autores.

Para el detalle de la ceja (relieve) activamos la herramienta dar relieve con imagen envuelta, seleccionamos las curvas que van a encerrar el perfil de la ceja y damos click la opción marcada subir, ingresamos 1 mm en la casilla de distancia. Aceptamos.

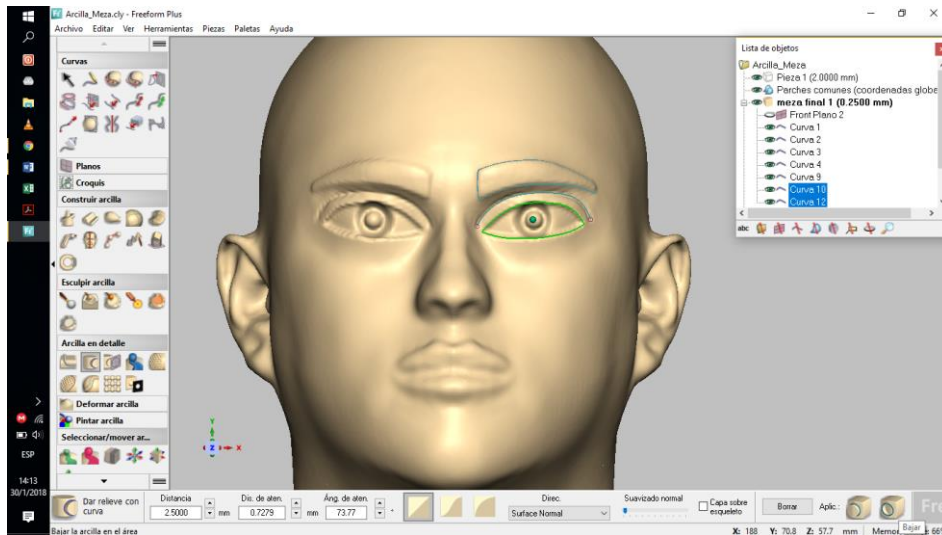
**Figura 4-40.** Detalle de la ceja mediante la herramienta relieve



**Fuente:** Autores.

La herramienta para crear el orificio del ojo es dar relieve con curva y seleccionamos las curvas que encierran al mismo, como se indica a continuación. Ingresamos los parámetros de distancia y ángulo. Damos click en bajar y aceptamos.

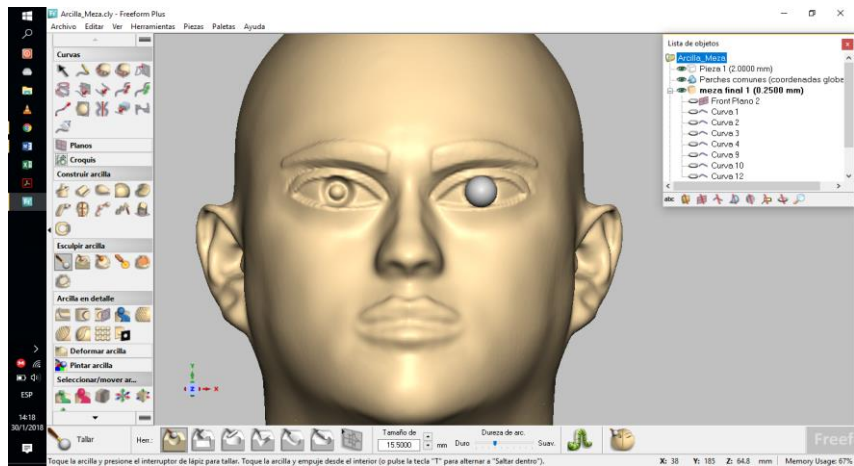
**Figura 4-41.** Ingreso de los parámetros de distancia y ángulo



**Fuente:** Autores.

En el centro del ojo tallamos un orificio para que simule el cristalino y a continuación creamos una esfera para simular la pupila. Estas opciones las encuentra en las pestañas de esculpir arcilla y construir arcilla, respectivamente.

**Figura 4-42.** Tallo de orificio en el ojo

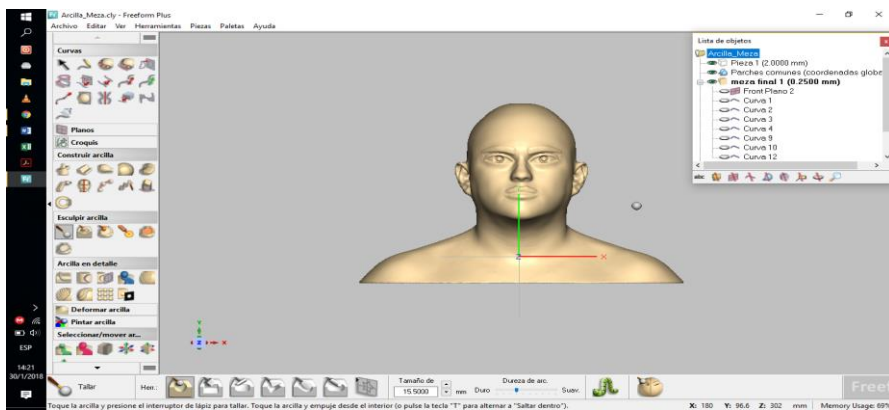


**Fuente:** Autores.

#### 4.17. Resultado final

El resultado final es el que se muestra a continuación. Aplicando lo mencionado en todos los pasos anteriores se obtiene en resultado final, listo para la generación de superficies y códigos.

**Figura 4-43.** Resultado final



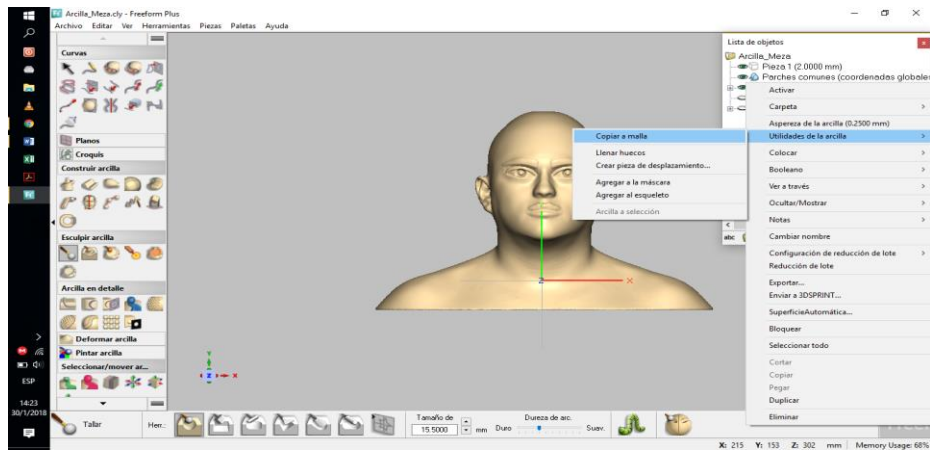
**Fuente:** Autores.

Click derecho solo la pieza activa meza final 1 (0.2500 mm) y se despliega el menú observado a continuación.

Damos click en utilidades de arcilla y seguido en copiar a malla.



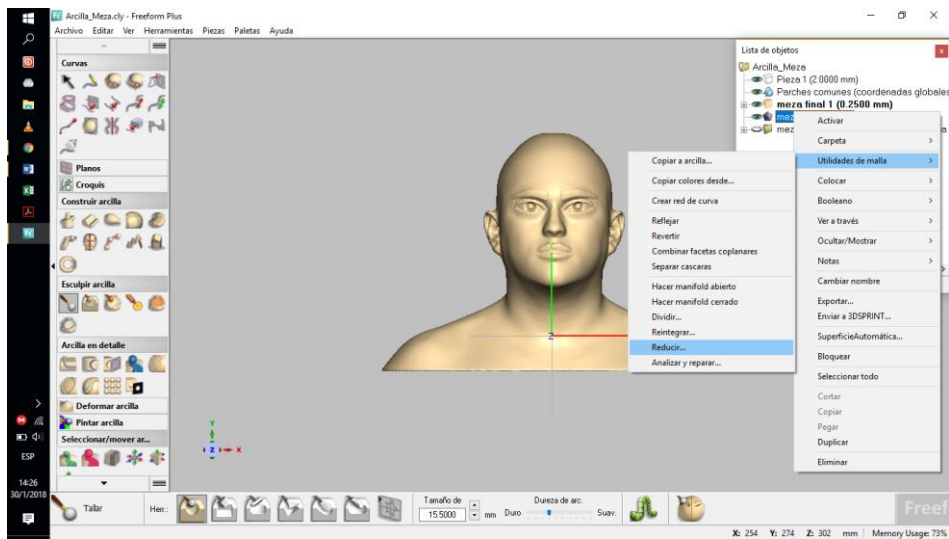
**Figura 4-44.** Utilidades de arcilla y copiado en malla



**Fuente:** Autores.

Generada la malla procedemos a reducirla, ya que como tal es generada con demasiados números de triángulos. Esto provoca que la computadora se cuelgue y nos de problemas a generar la superficie.

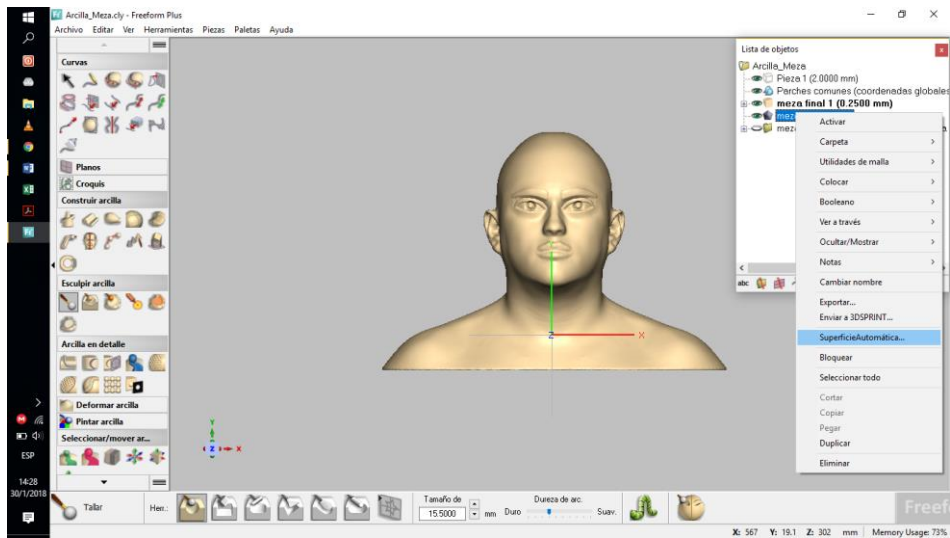
**Figura 4-45.** Reducción de malla



**Fuente:** Autores.

Como siguiente paso generamos la Superficie Automática y esperamos a que esta acabe de procesarse.

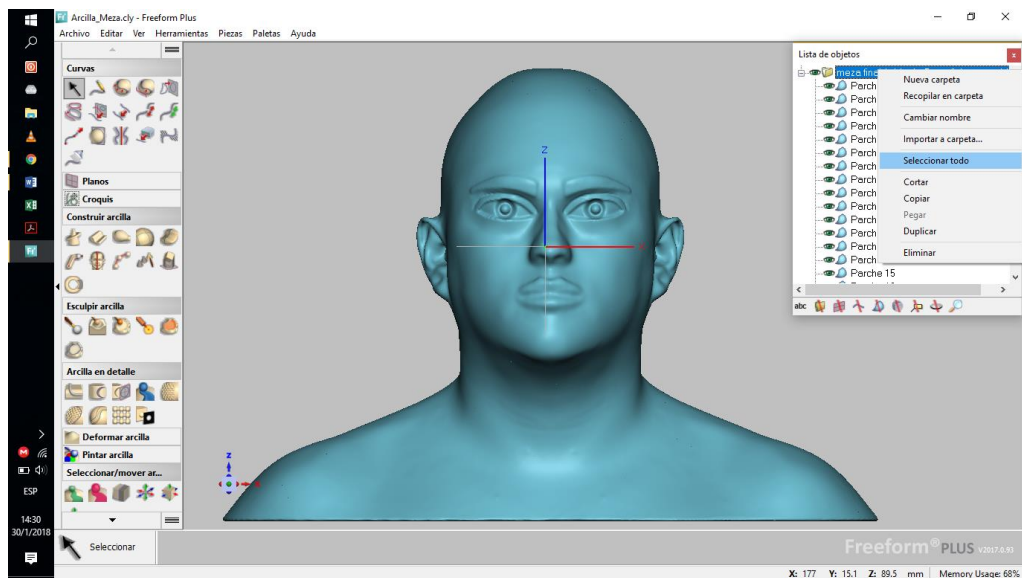
**Figura 4-46.** Generación de la Superficie Automática



**Fuente:** Autores.

En la carpeta meza final1\_Mesh\_Superficie Automática damos click derecho y seleccionamos, valga la redundancia, en Seleccionar todo.

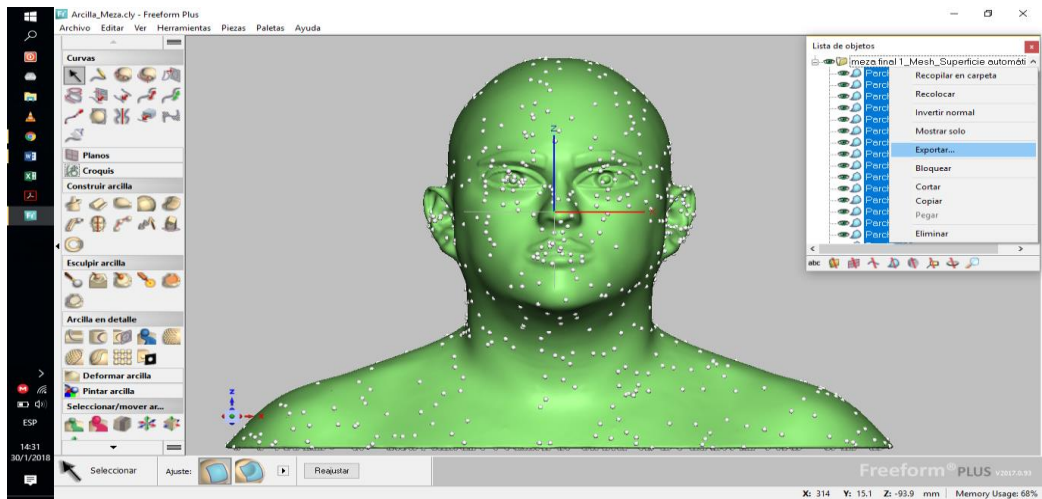
**Figura 4-47.** Meza final1\_Mesh\_Superficie



**Fuente:** Autores.

Click derecho sobre cualquier archivo generado y seleccionamos la opción de exportar

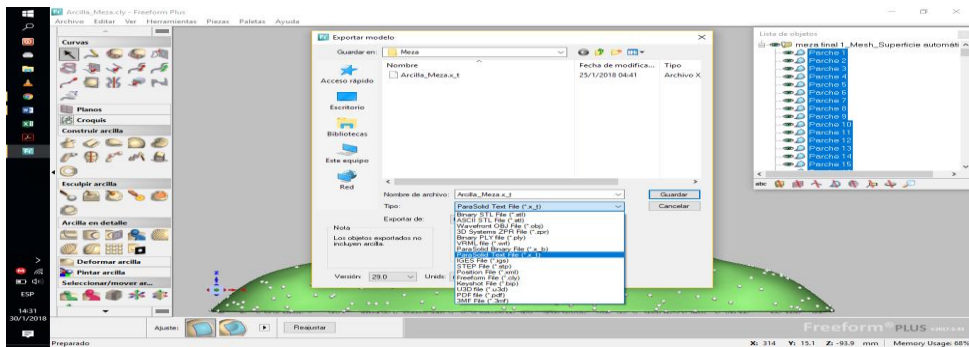
**Figura 4-48. Exportar**



**Fuente:** Autores.

Nos aparecerá la siguiente ventana de dialogo y en la pestaña de tipo desplegamos el menú de tipos de archivo al cual se va a exportar, nosotros seleccionamos ParaSolid Text File (\*.x\_t) ya que este guarda como una solo pieza. Guardamos.

**Figura 4-49. ParaSolid Text File (\*.x\_t)**



**Fuente:** Autores.

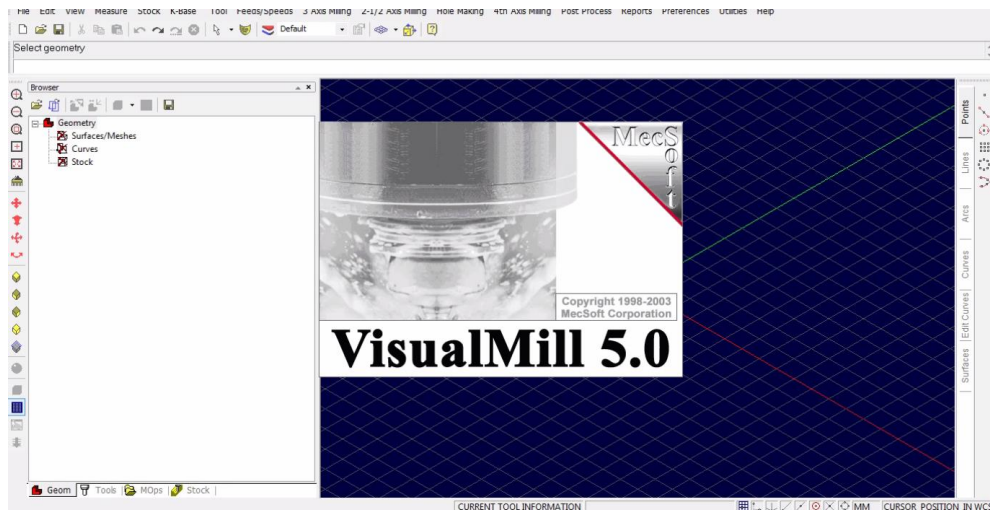
Eso es todo lo que concierne al uso del software para el diseño del busto.

#### **4.18. Aplicación de Visualmill 5.0**

Para este proyecto de titulación vamos a mecanizar un busto humano, utilizando visualmill 5.0, usando operación de fresado de 3 y 5 ejes, ya que visualmill 5.0 posee un pos procesador acorde para la fresadora mini-china Y3040, utilizada para la fabricación de del busto.

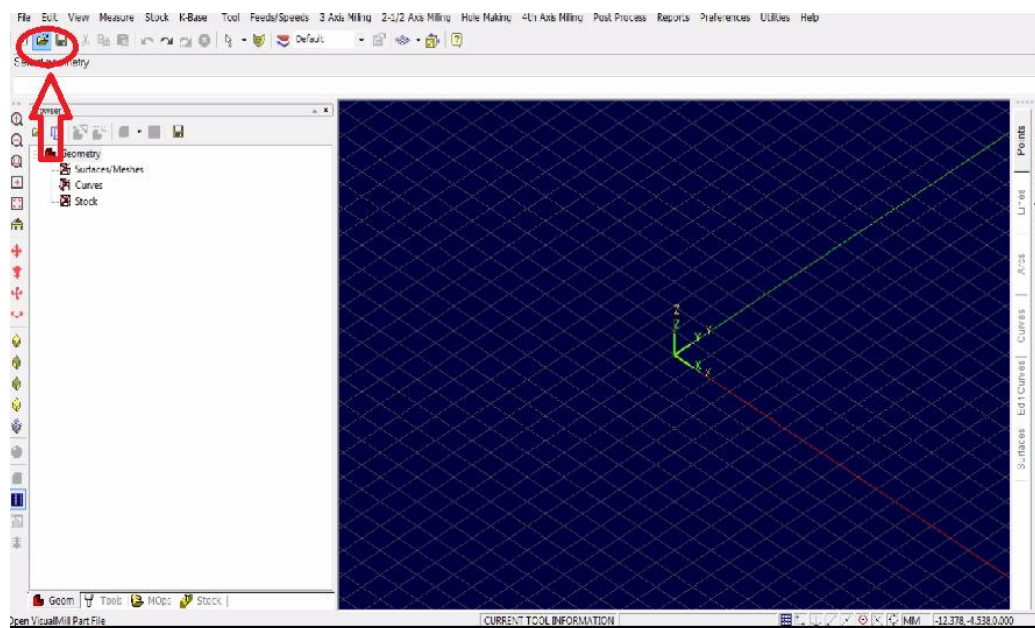
#### 4.19. Pasos para la mecanización del busto humano proceso de desbaste

Figura 4-50. Visual mill 5.0



Fuente: Autores.

Figura 4-51. Procedemos a abrir el archivo en la carpeta que se guardó anteriormente.

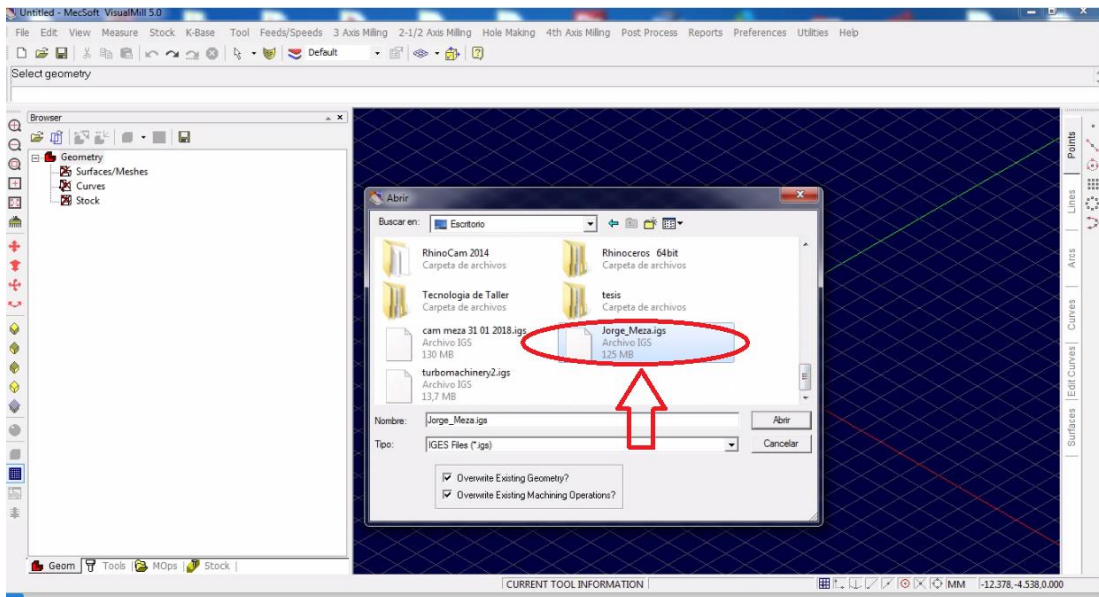


Fuente: Autores.

Al abrir el archivo tenemos que tomar en cuenta que el formato del archivo es igs ya guardado anteriormente ya en ese formato.



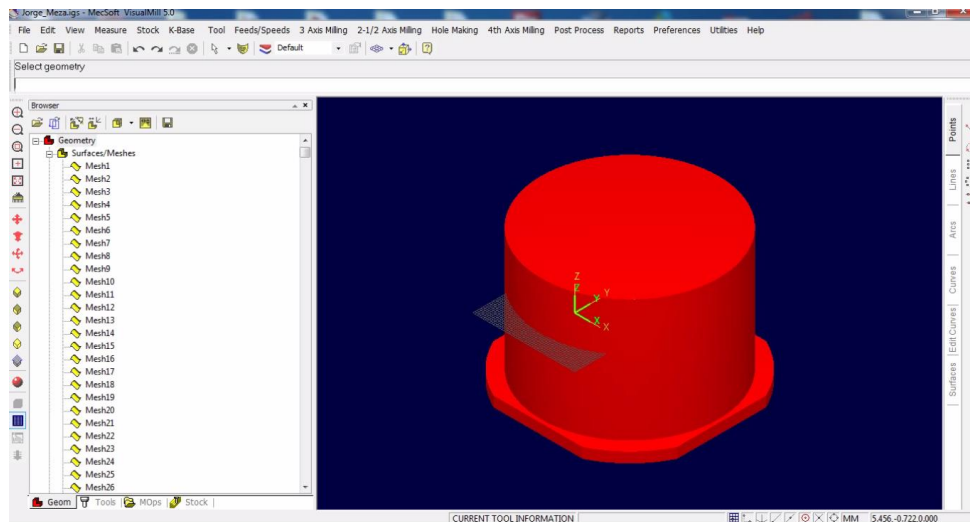
**Figura 4-52. Archivo igs**



**Fuente:** Autores.

Esperamos un momento mientras se nos abre nuestro archivo generado para mecanizar en visualmill 5.0

**Figura 4-53. Visualmill 5.0**

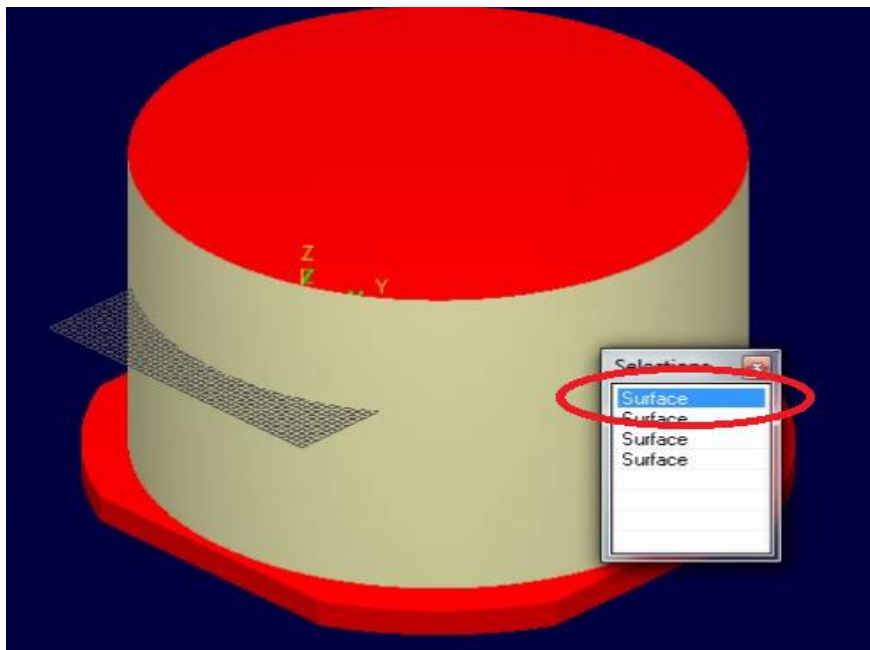


**Fuente:** Autores.

#### **4.20. Herramienta surface**

Una vez abierto nuestro modelo damos clic izquierdo y seleccionamos la opción surface “superficie” en la cual vamos a trabajar.

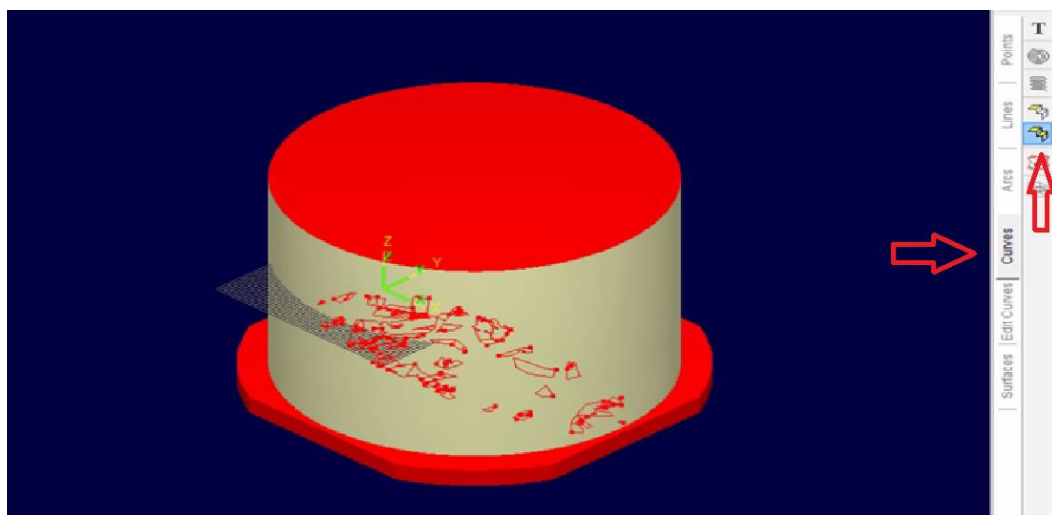
**Figura 4-54.** Herramienta surface



**Fuente:** Autores.

Una vez seleccionada la superficie damos clic en la opción curves para seleccionar la herramienta Single Flat Area Region.

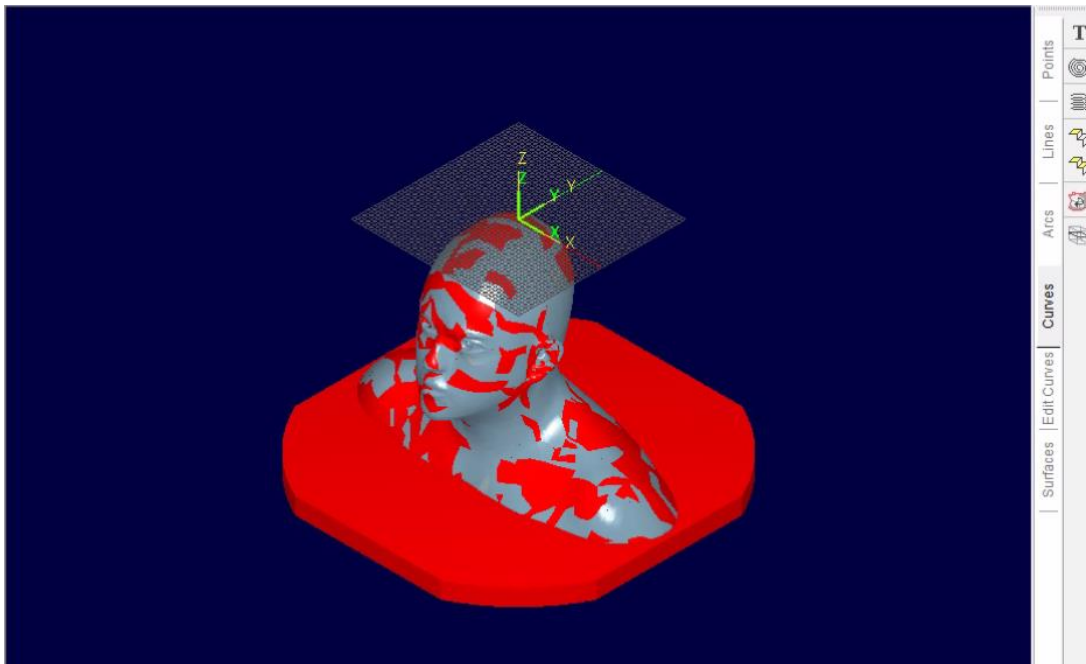
**Figura 4-55.** Single Flat Area Region.



**Fuente:** Autores.

Eso realizamos con cada surface que nos aparece en nuestro modelo a mecanizar para poder tener el busto visualizado completamente.

**Figura 4-56.** Busto en pre visualización



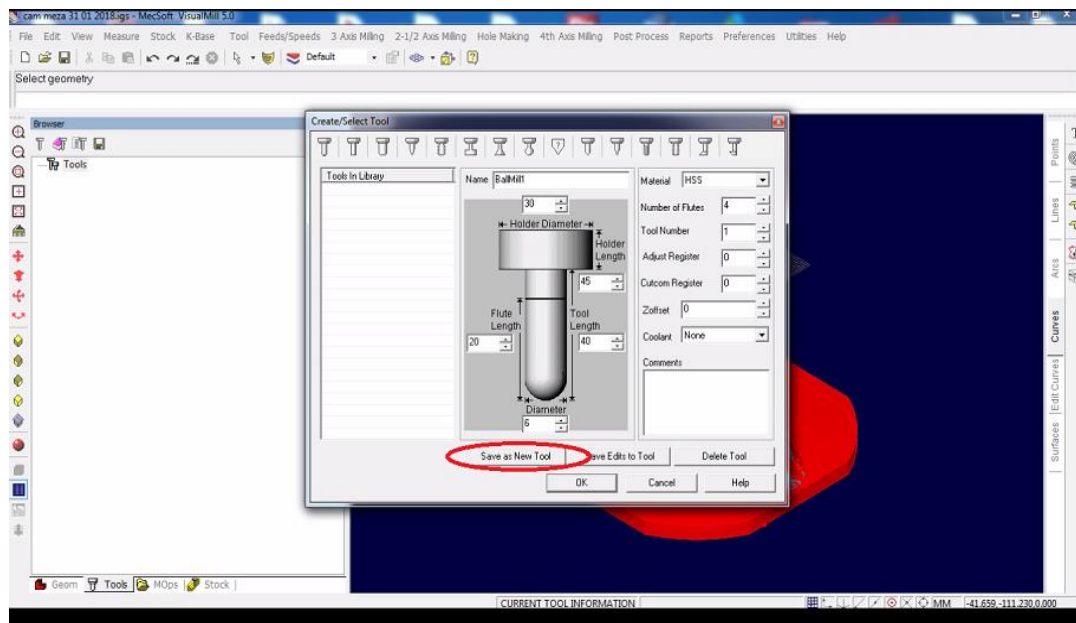
**Fuente:** Autores.

#### **4.21. Creación de la herramienta**

Nos dirigimos a la parte inferior izquierda y le damos clic en la opción Tools para crear nuestra herramienta que nos ayudara para mecanizar la primera fase que es el desbaste de nuestro busto; para lo cual se configuro la fresa en función a la herramienta seleccionada de tal forma herramienta “BalMill1”, se configura la longitud de la herramienta con 40 mm, longitud de la cuchilla de la fresa con 20 mm, diámetro de la fresa de 6 mm, diámetro de sujeción de 30 mm y la longitud de sujeción en el porta fresas de 5 mm.

El material de la herramienta a utilizar es de HSS acero rápido, numero de dientes de la fresa es de 4 y por ultimo le damos en Save as New Tool para guardar nuestra nueva herramienta.

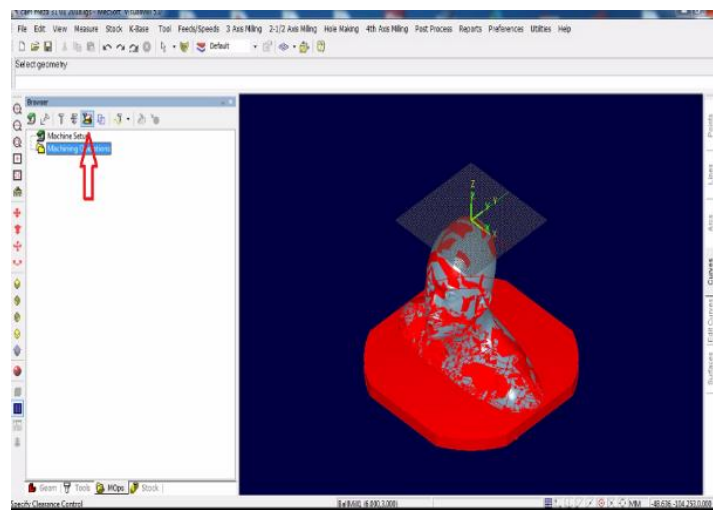
**Figura 4-57. Herramienta HSS acero rápido**



**Fuente:** Autores.

Una vez generada nuestra herramienta nos dirigimos a la parte inferior izquierda y damos clic en Mops nos dirigimos a la opción clearcance control para verificar el espacio de control libre y nos da la opción de automático y damos en aceptar

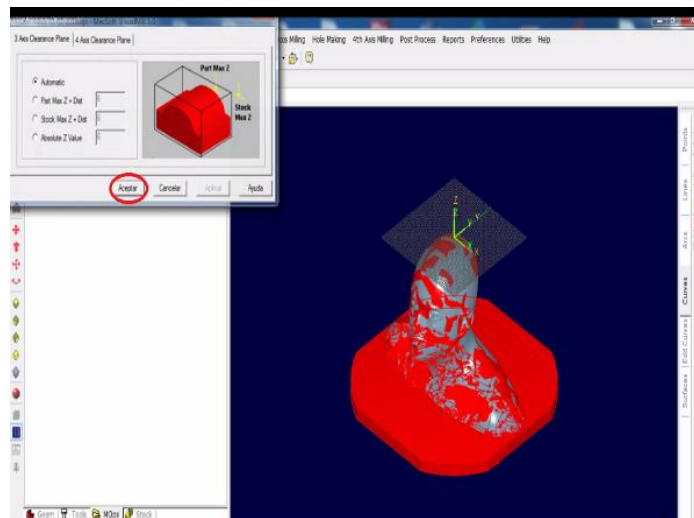
**Figura 4-58. Mops**



**Fuente:** Autores.



**Figura 4-59. Clearance control**

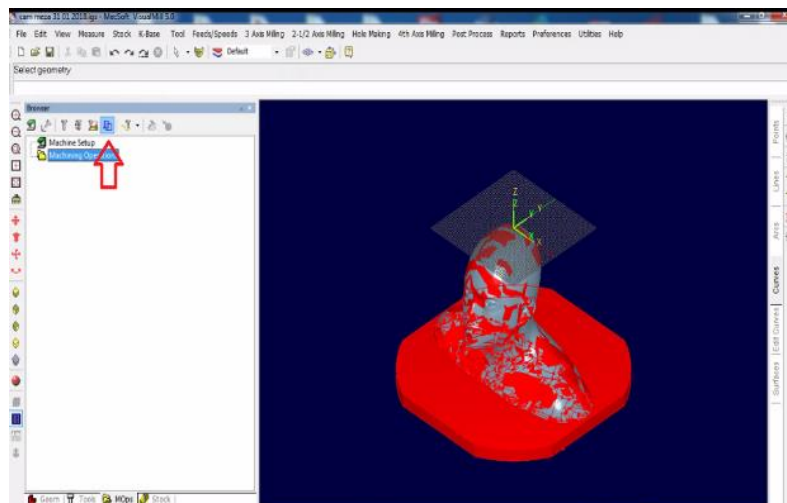


**Fuente:** Autores.

#### 4.22. Selección de regiones

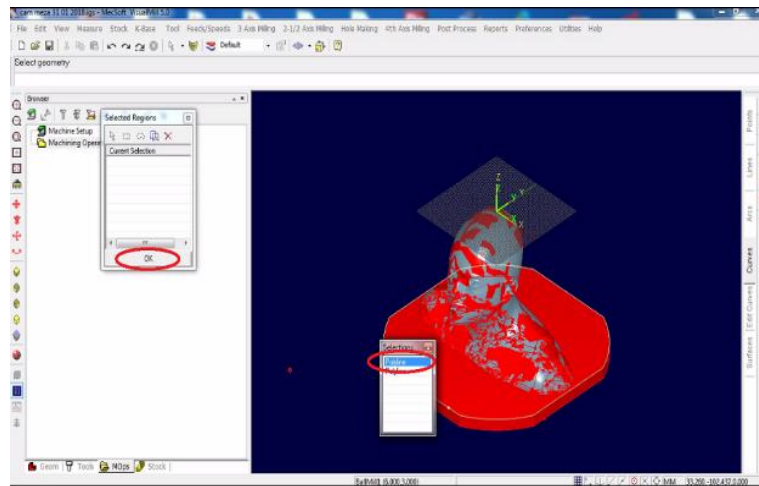
Damos la opción de select Regiones, damos clic derecho en nuestro modelo y seleccionamos polyline y le damos ok.

**Figura 4-60. Regions**



**Fuente:** Autores.

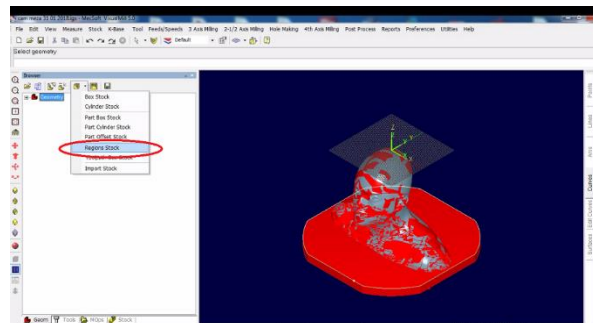
**Figura 4-61. Polyline**



Fuente: Autores.

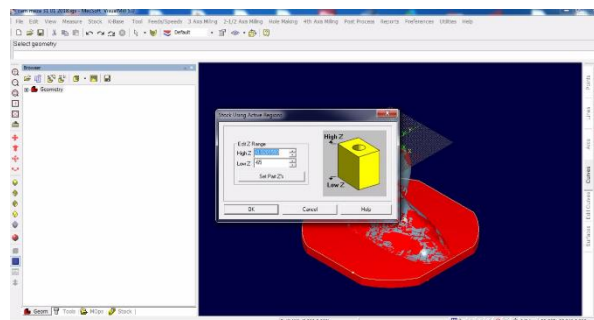
Nos trasladamos a la parte inferior izquierda y damos clic en la opción Geometry y damos clic en create/ load stock y seleccionamos la opción de Regions Stock y le damos en ok.

**Figura 4-62. Geometry**



Fuente: Autores

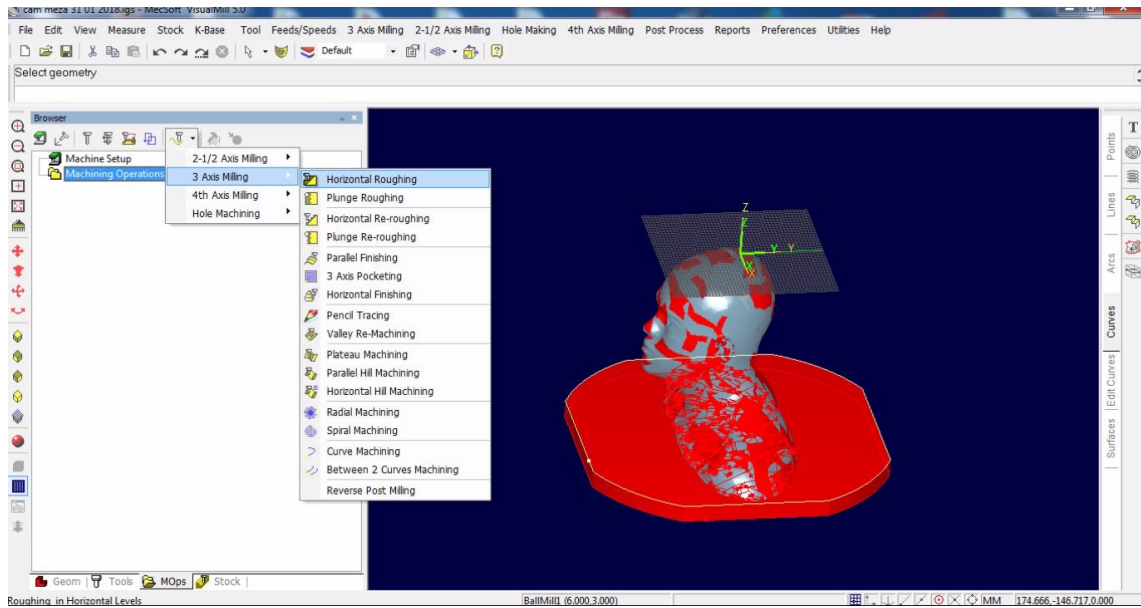
**Figura 4-63. Regions stock**



Fuente: Autores.

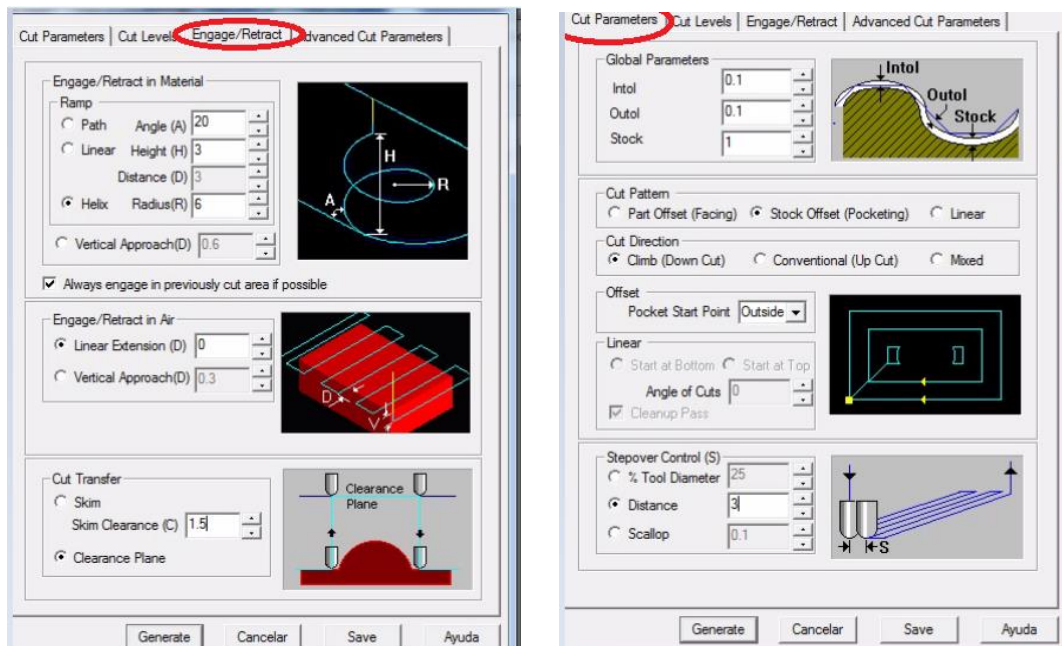
Nos regresamos a la carpeta de Mops que se encuentra en la parte inferior izquierda, y le damos clic en machining Methods y seleccionamos la opción de Horizontal Roughing y se configuran los 2 ítems, Cut Parameters, Engage/Retract, de acuerdo con la herramienta generada anteriormente, ya que los dos ítems de Cut Levels, advanced Cut Parameters ya se configuran automáticamente.

**Figura 4-64.** Cut Levels, advanced Cut Parameters



Fuente: Autores

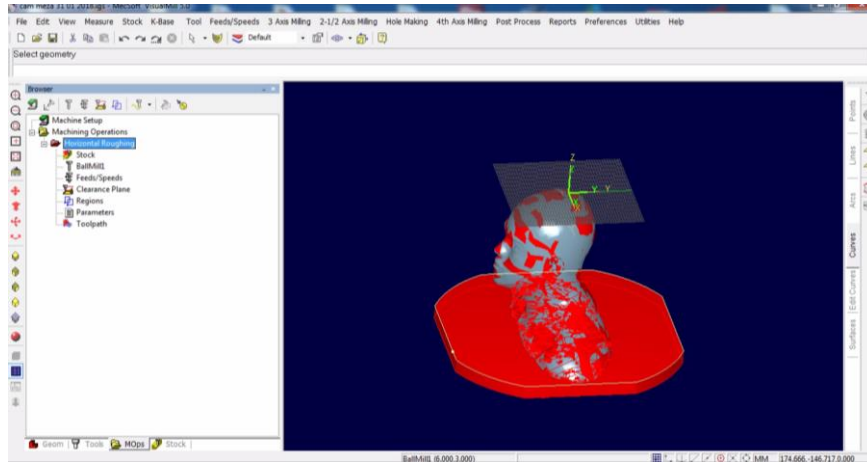
**Figura 4-65.** Carpeta Horizontal Roughing



Fuente: Autores

Como se muestra en nuestra figura podemos verificar que se creó la carpeta Horizontal Roughing y nos muestra la herramienta y las configuraciones realizadas.

**Figura 4-66. Generate**



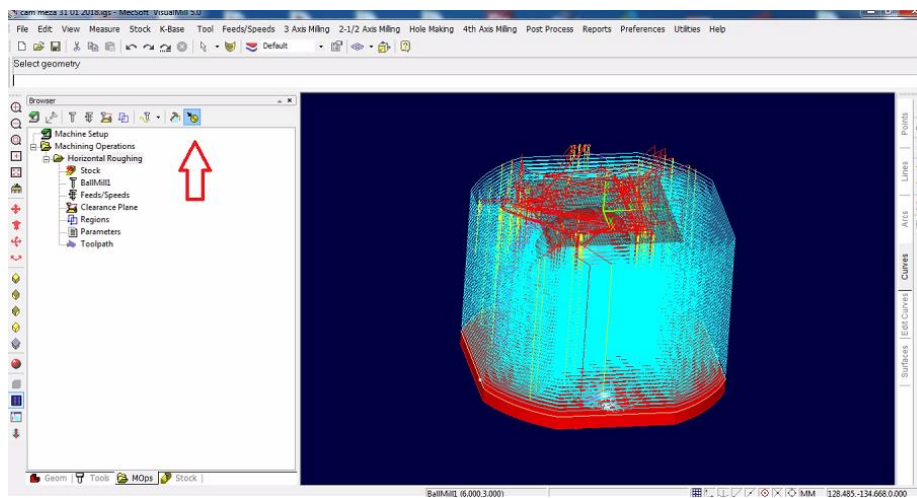
**Fuente:** Autores

Damos clic derecho en carpeta Horizontal Roughing y seleccionamos la opción Generate y podemos observar cómo se genera nuestro modelo del busto.

#### 4.23. Realización del Post Process

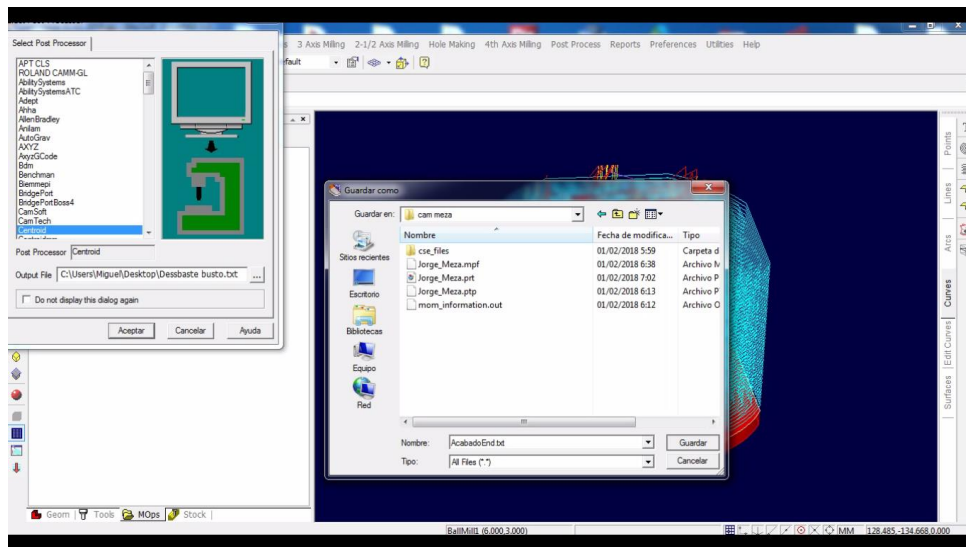
Una vez ya generada procedemos a realizar Post Process siempre con la opción centroid y guardamos en la carpeta seleccionada.

**Figura 4-67. Generación del post process**



**Fuente:** Autores

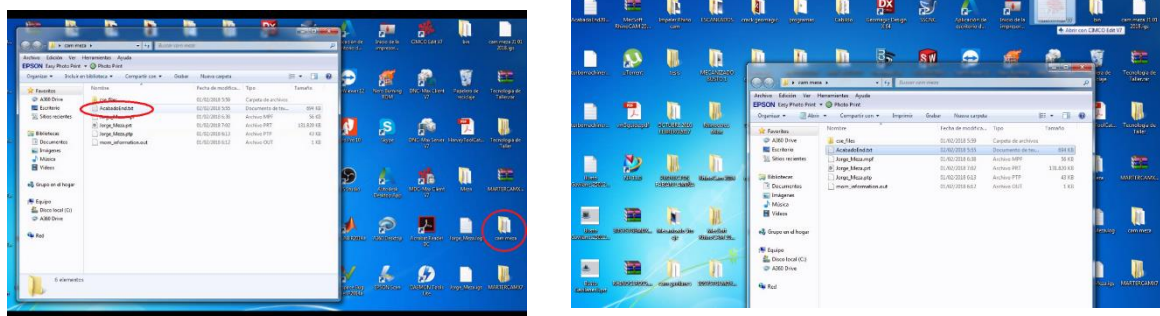
**Figura 4-68.** Guardado del post process



**Fuente:** Autores

Una vez ya guardado el Post Process nos dirigimos a la carpeta donde se encuentra el archivo y le arrastramos al programa de simulación CIMCO Edit V7

**Figura 4-69.** Post Process arrastramos al programa de simulación CIMCO Edit V7



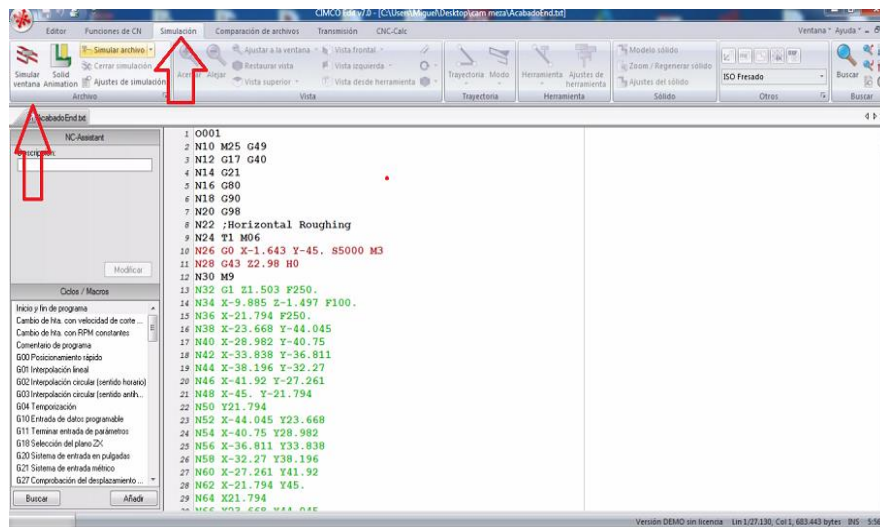
**Fuente:** Autores

#### 4.24. Generación de los códigos G

Se abre automáticamente la ventana de CIMCO Edit V7 y observamos los código G que nos arrojó el Post Process de visualmill 5.0 y damos clic en la opción de simular para verificar la trayectoria generada para el desbaste y mandamos a correr la simulación dando clic en la parte inferior derecha donde esta play, observamos la trayectoria.

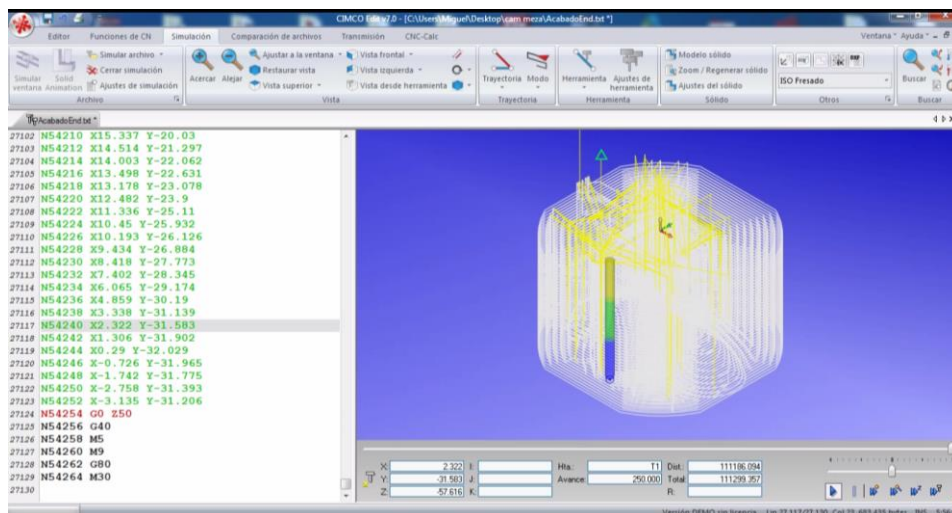


**Figura 4-70. Simulación de la trayectoria**



Fuente: Autores

**Figura 4-71. Observación de la trayectoria**

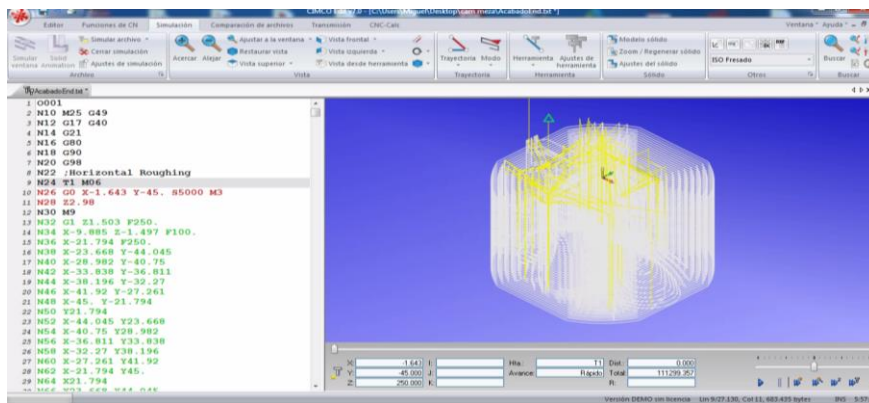


Fuente: Autores

#### 4.25. Finalización de la simulación

Damos por terminado la simulación, al fin copiamos los códigos G en una flash memory y nos dirigimos a la computadora que transmite la información a la fresadora mini-china HY3040 para la mecanización con eso acabamos el proceso de desbaste.

**Figura 4-72.** Finalización de la simulación

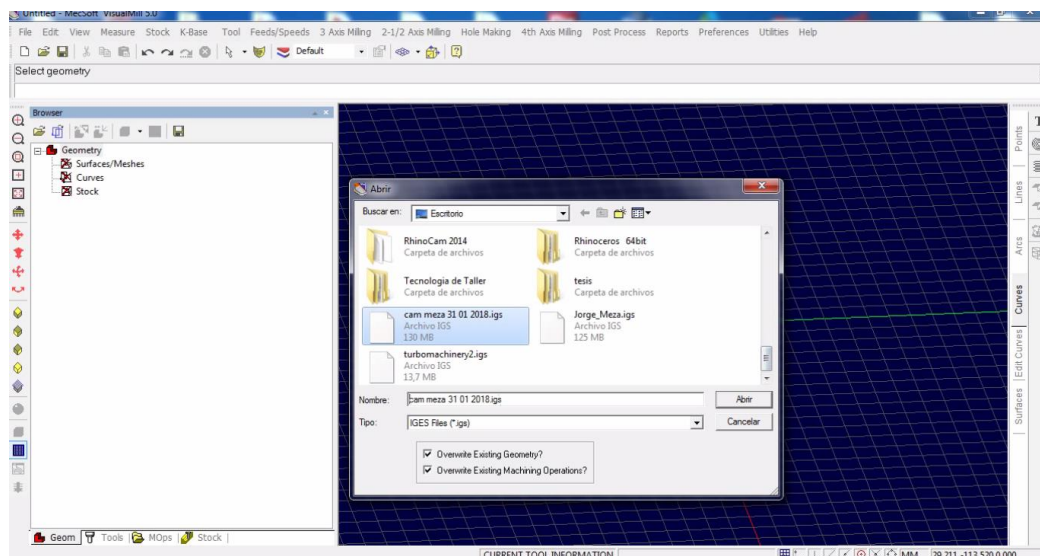


**Fuente:** Autores

#### 4.26. Proceso de semi-afinado.

Nos vamos a la ventana de visual mil 5.0 que estamos utilizando y le damos en la opción nuevo y abrimos nuevamente el archivo igs guardado anteriormente para realizar el semi-afinado.

**Figura 4-73.** Proceso de semi-afilado

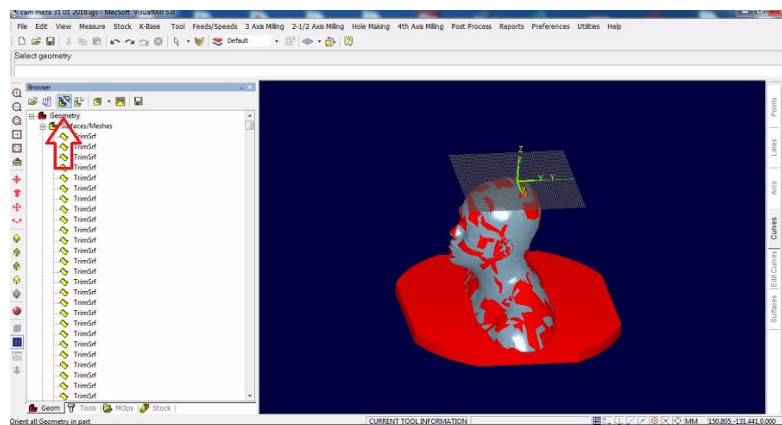


**Fuente:** Autores

#### 4.27. Localización del cero pieza

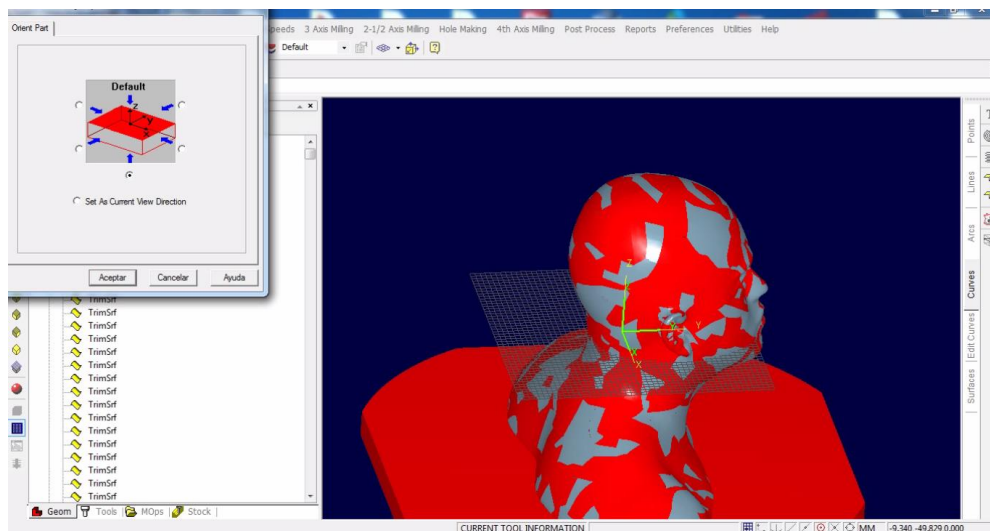
Lo que vamos a realizar en el proceso de semi-afinado prácticamente es el mismo procedimiento que el desbaste pero la única dificultad que tendremos es encontrar el cero pieza aquí en el programa ya que realizaremos en 4 y 5 ejes en la fresadora mini-china, primero damos clic en Orient Geometry y buscamos el cero pieza.

**Figura 4-74.** Orient geometry



**Fuente:** Autores

**Figura 4-75.** Localización del cero pieza

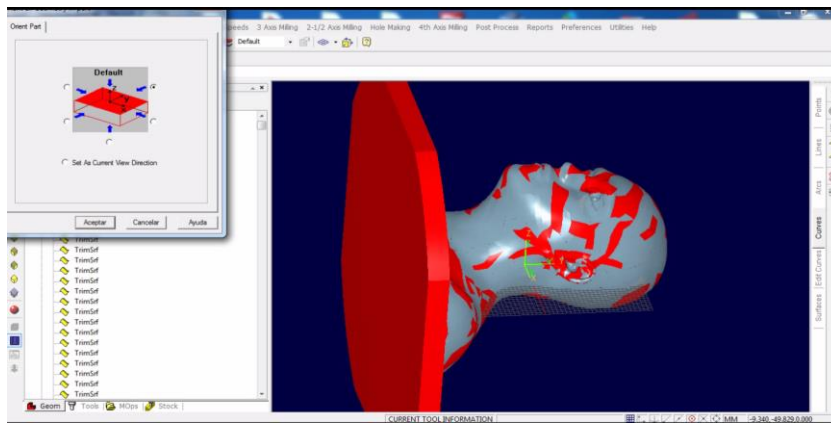


**Fuente:** Autores

Después de varios intentos ya que hay que mover el modelo de acuerdo a la orientación tomada por distintos ejes llegamos al cero pieza requerido.

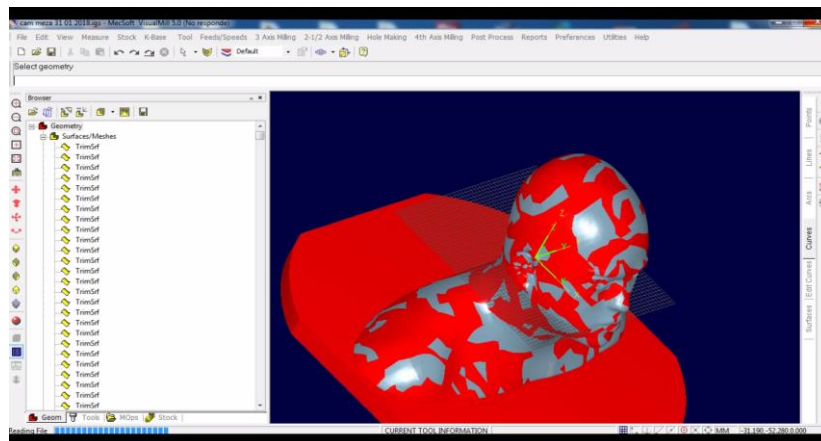


**Figura 4-76. Localización del cero pieza**



**Fuente:** Autores

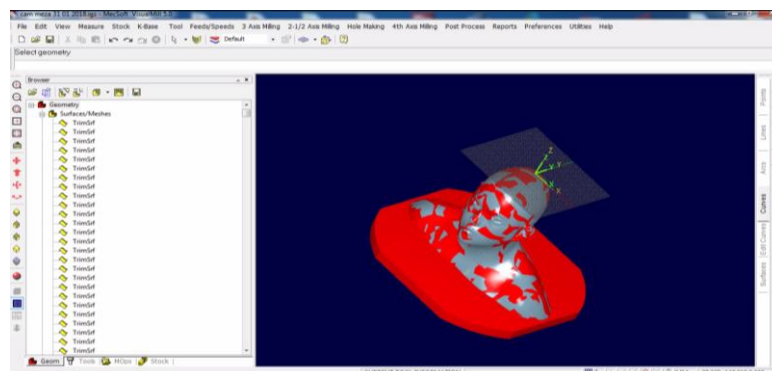
**Figura 4-77. Referenciado del cero pieza**



**Fuente:** Autores

Mediante tantos intentos encontramos nuestro cero pieza que es referenciado con nuestra maquina después del desbaste.

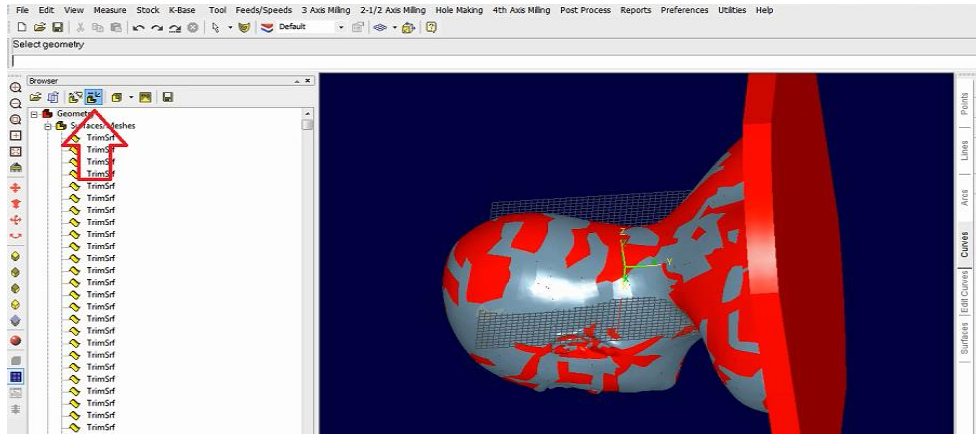
**Figura 4-78 Locate Geometry**



**Fuente:** Autores

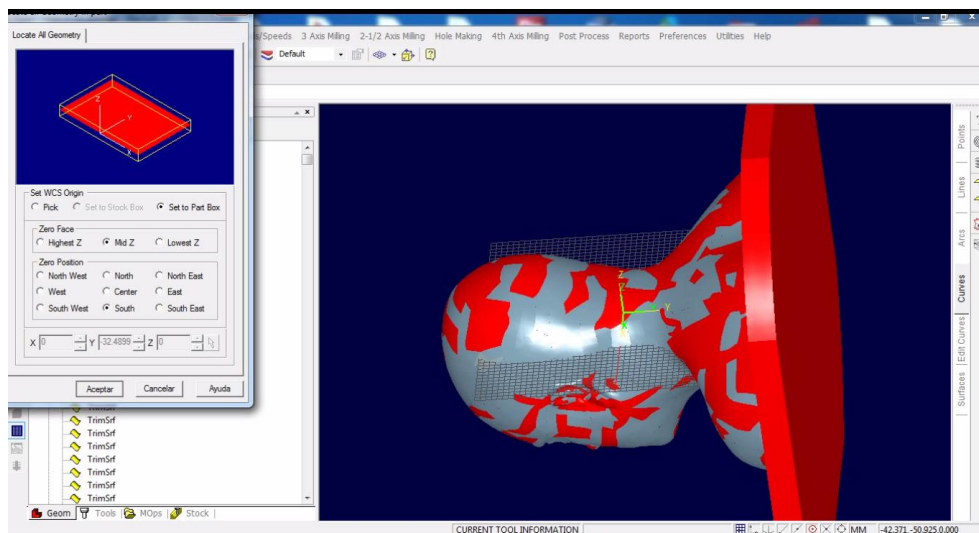
Una vez localizado el cero pieza nos dirigimos a la opción Locate Geometry y damos en aceptar.

**Figura 4-79. Preferences**



**Fuente:** Autores

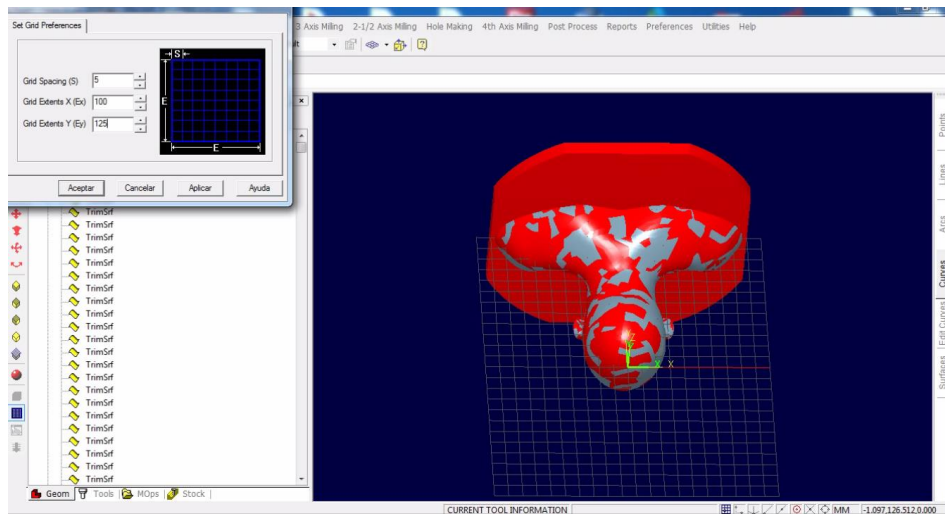
**Figura 4-80. Grid Preferences**



**Fuente:** Autores

Nos dirigimos a superior a la opción de preferences y le damos clic en la opción de Grid Preferences esto lo realizamos ya que visual mil 5.0 no selecciona superficies lo que hace es delimitar una área de trabajo como este caso un rectángulo, procedemos a colocar el área seleccionada por nuestro concepto para poder tener referencia de nuestra trayectoria y damos en aceptar.

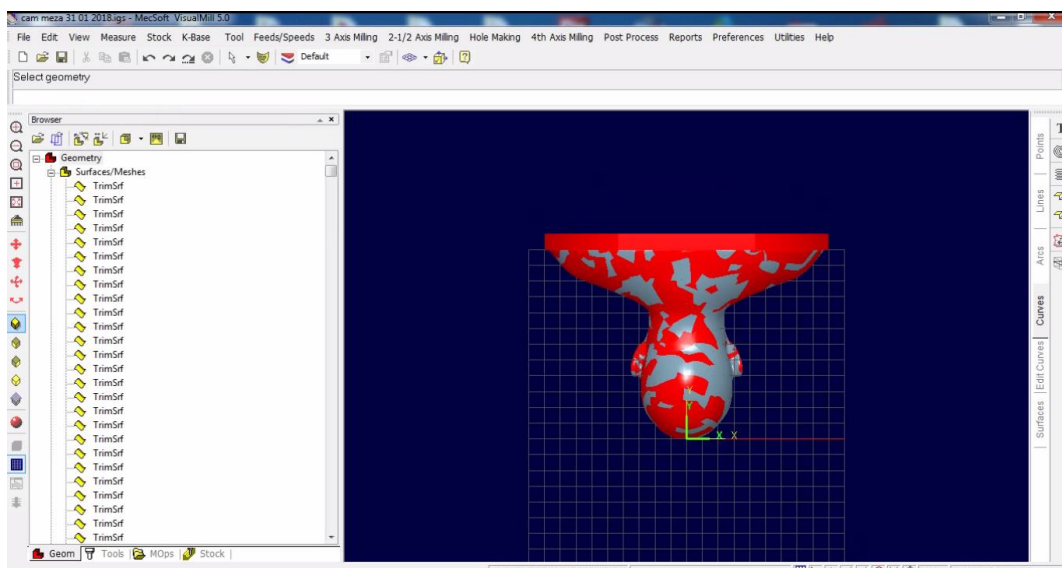
**Figura 4-81** Preparación para la generación de los códigos G



**Fuente:** Autores

Como podemos observar dándole el área nuestro modelo se centra y esta lista a generar los códigos G.

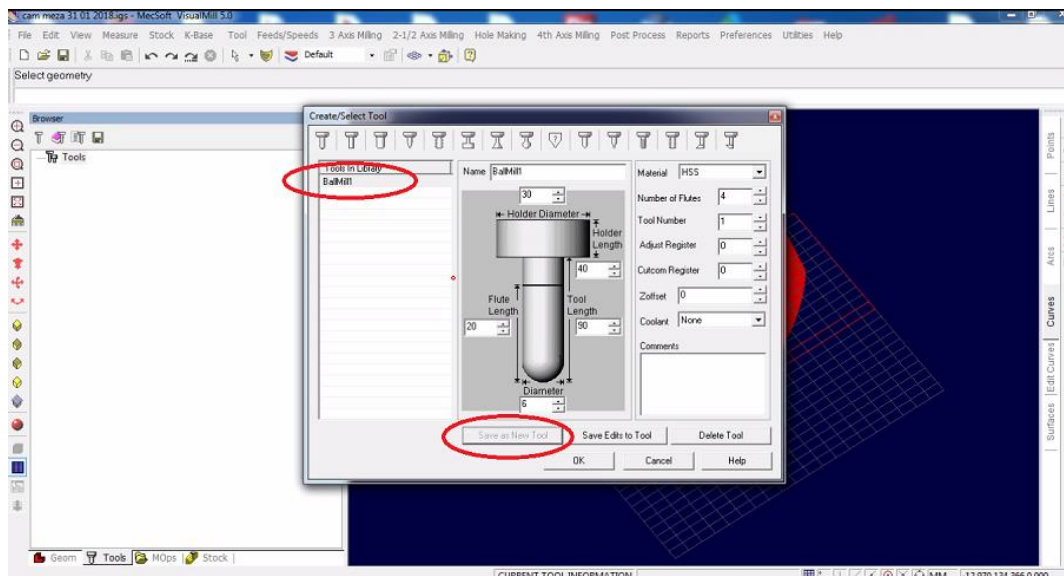
**Figura 4-82.** Rotación



**Fuente:** Autores

Ya localizado el cero pieza y la área para poder trabajar en nuestro modelo procedemos a crear nuestra herramienta a utilizar como lo realizamos anteriormente para el desbaste, observamos como creamos nuestra herramienta de acuerdo a la fresa disponible y apta para el semi-afinado.

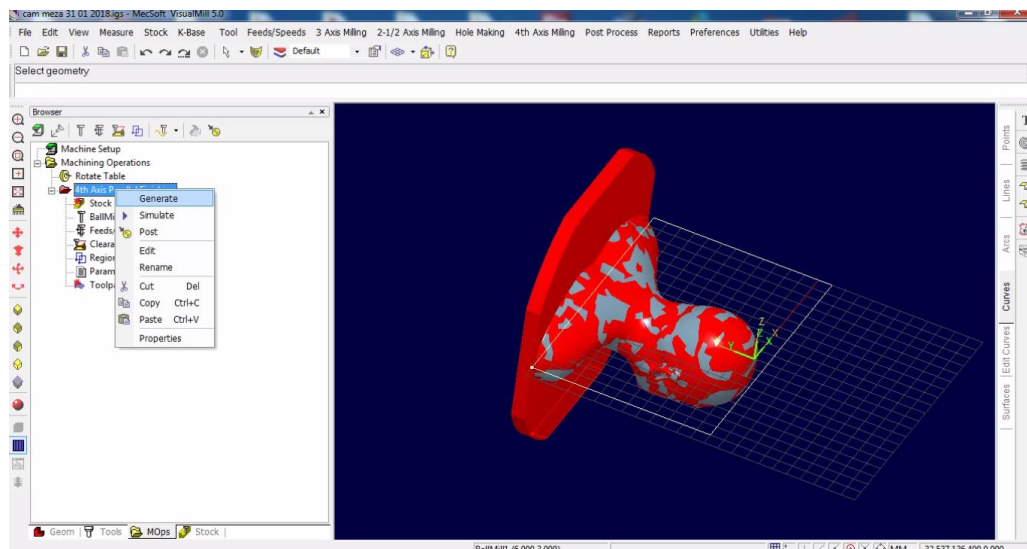
**Figura 4-83. Semi-afinado**



**Fuente:** Autores

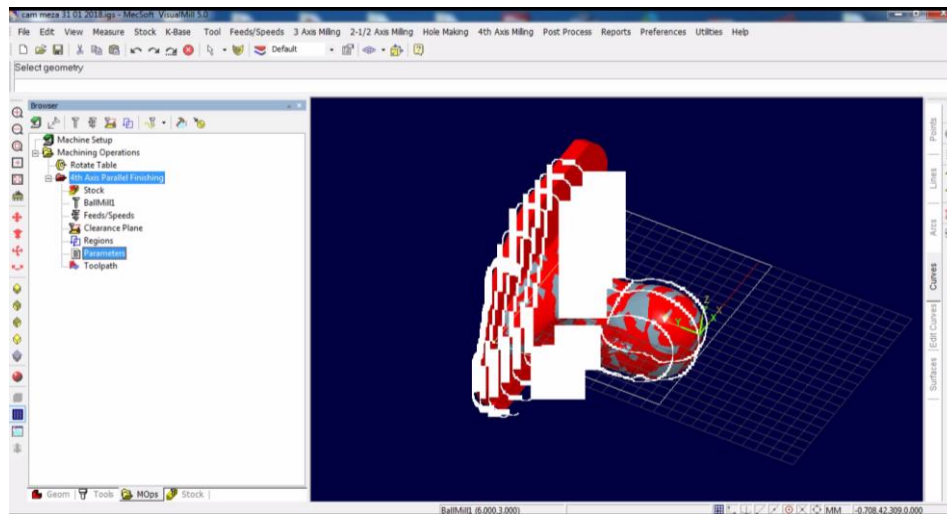
Una vez realizado la creación de nuestra herramienta generamos para verificar la trayectoria que debe tomar.

**Figura 4-84. Verificación de la trayectoria**



**Fuente:** Autores

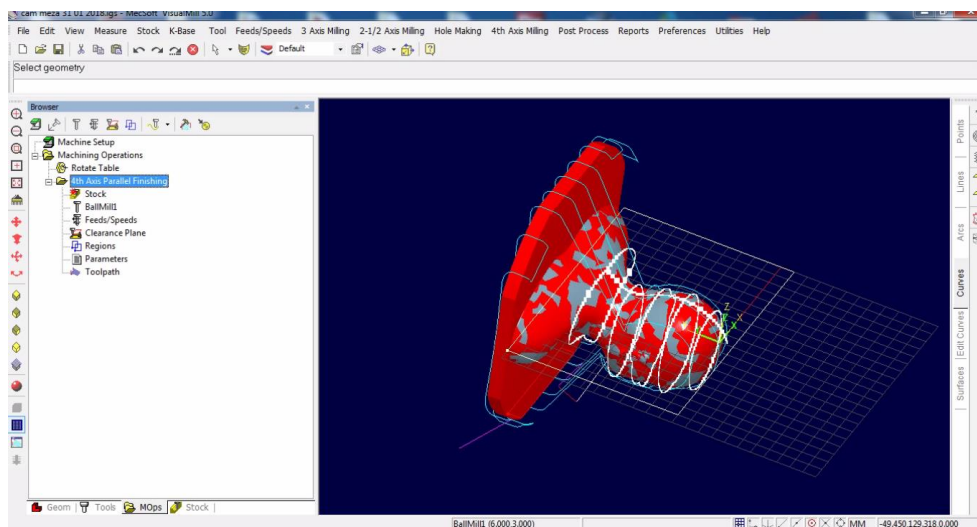
**Figura 4-85.** Verificación de la trayectoria



**Fuente:** Autores

Observamos con el paso dado la trayectoria del semi-afinado.

**Figura 4-86.** Trayectoria del semi-afinado

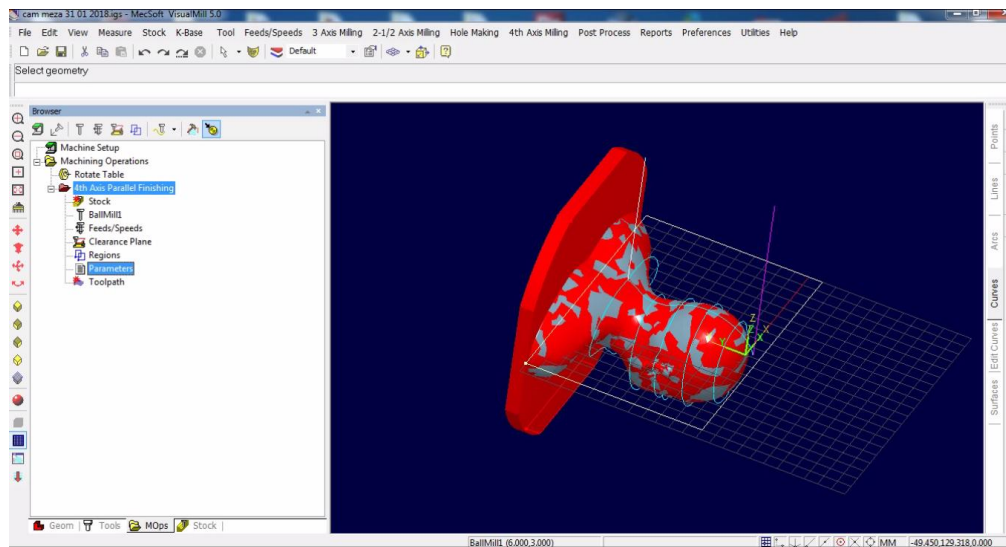


**Fuente:** Autores

Realizamos el procedimiento anterior de generar con la opción de post process para generar nuestros códigos G.



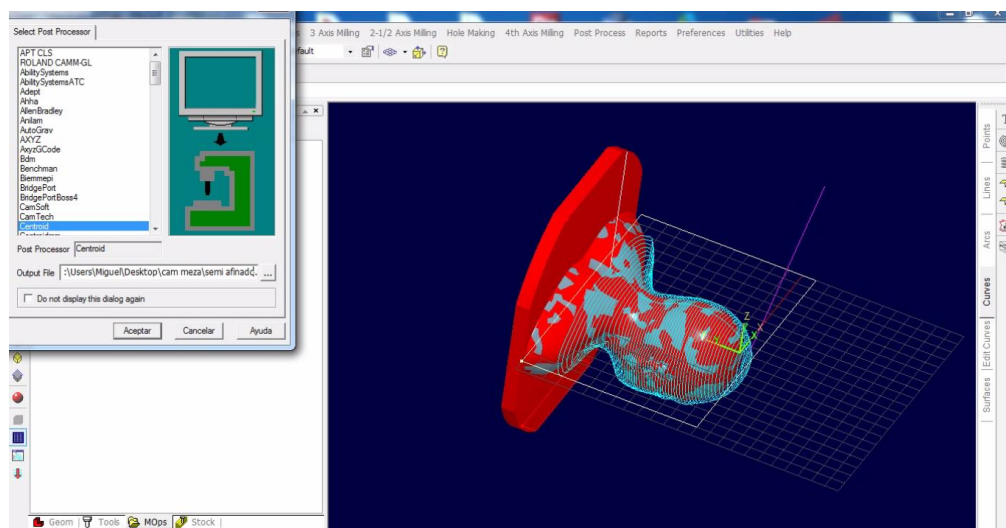
**Figura 4-87. Post process**



**Fuente:** Autores

Guardamos el archivo como lo realizamos anteriormente con el nombre de semi-afinado y damos en aceptar y se guardara automáticamente en la carpeta ya generada.

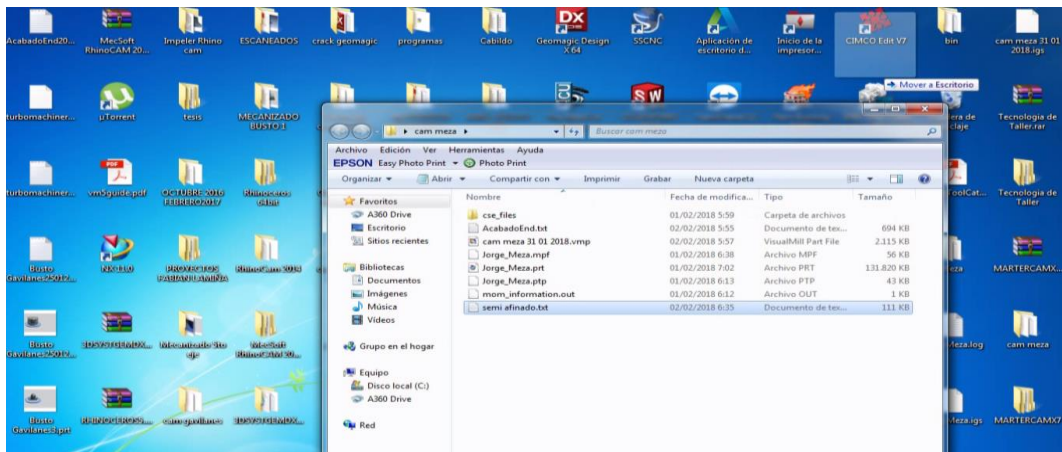
**Figura 4-88. Guardar el archivo**



**Fuente:** Autores

Ya guardado el archivo en la carpeta generada arrastramos a CIMCO Edit V7 que es un software de simulación para mirar la trayectoria con la herramienta.

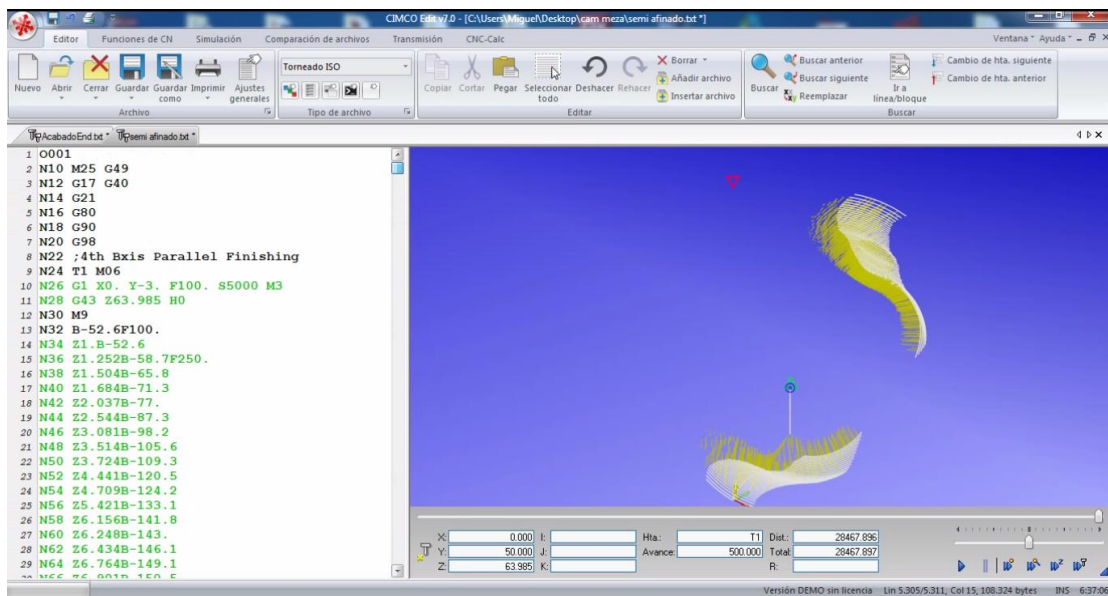
**Figura 4-89.** Generación en CIMCO Edit V7



**Fuente:** Autores

Con los códigos G generados guardamos el archivo.

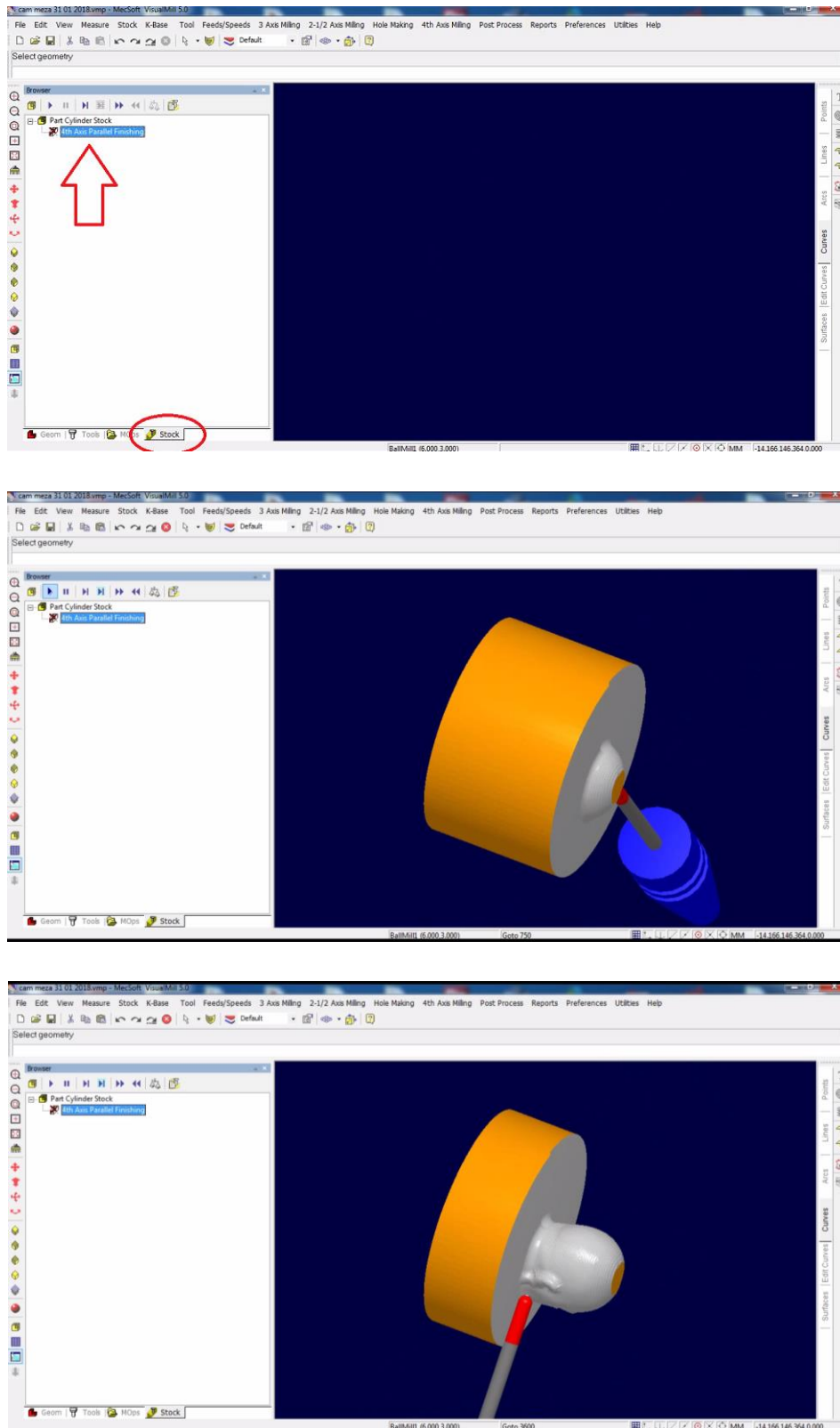
**Figura 4-90.** Guardar códigos G generados



**Fuente:** Autores

Nos dirigimos a visual mil 5.0 para realiza la simulación con la herramienta.

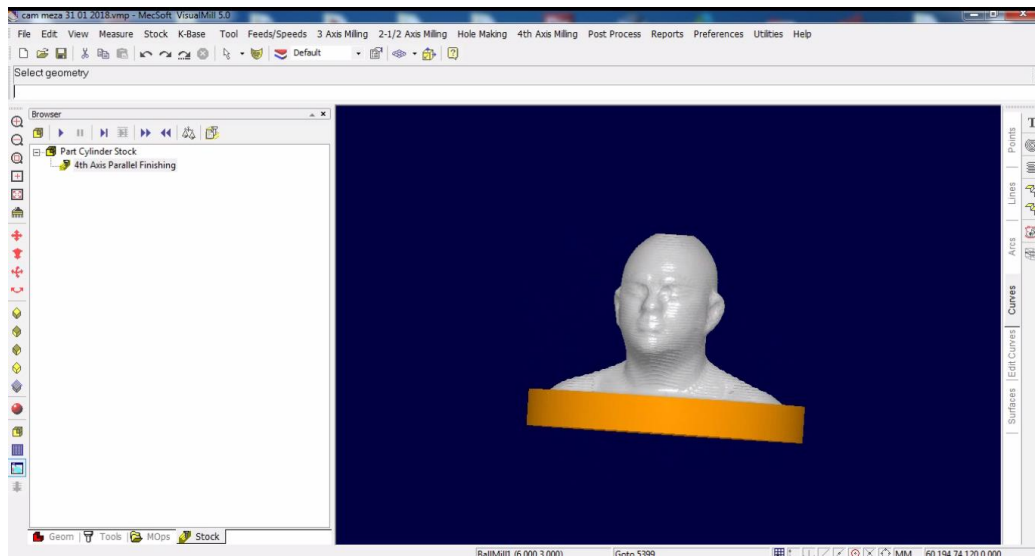
**Figura 4-91. Simulación de la herramienta**



**Fuente:** Autores



**Figura 4-92.** Modelado Final con la herramienta



**Fuente:** Autores

Todos los códigos G se encuentran en ANEXOS

## **4.28. Parámetros de corte**

### **4.28.1. Herramienta de corte.**

El mecanizado es un proceso de manufactura a través del cual se da a una pieza la forma y dimensiones deseadas, para ello se utiliza una herramienta de corte que remueve el material en forma de viruta.

La herramienta de corte denominada fresa es el elemento utilizado para extraer material de una pieza cuando se quiere llevar a cabo un proceso de mecanizado. Cubren una diversa gama de materiales, desde metales hasta madera y plásticos.

Existe una multitud de fresas para una operación específica de fresado y para un trabajo determinado, entre ellas tenemos: fresas planas o cilíndricas, fresas circulares, fresas de plato, fresas madres, etc.

Al seleccionar el material de la herramienta de corte se debe tomar en cuenta algunas propiedades importantes:

- **Tenacidad:** debe tener una alta tenacidad para evitar las fallas por fractura.

- **Dureza en caliente:** Es la capacidad del material para retener su dureza a altas temperaturas.
- **Resistencia al desgaste:** Todos los materiales para herramientas deben ser duros. Sin embargo, la resistencia al desgaste depende también de otras características del material como el acabado superficial, composición química y el uso de un fluido para corte.

Los materiales que ofrecen una buena combinación de esas propiedades son:

- Aceros al carbono de baja aleación
- Aceros de alta velocidad (HSS)
- Fundición de aleaciones de cobalto
- Carburos cementados, cermets y carburos recubiertos
- Cerámicos
- Diamantes sintéticos y nitruro de boro cúbico.

Para seleccionar la herramienta de corte que vamos a utilizar en el mecanizado se ha considerado los siguientes aspectos: diámetro exterior, el número de dientes, el sistema de fijación de la fresa en la máquina, las operaciones de fresado y el material de la herramienta.

Tomando en cuenta todos esos criterios se ha determinado que la herramienta de corte que vamos a utilizar es una Fresa Redonda de carburo de  $\varnothing$  6mm y número de dientes 4

#### 4.28.2. *Velocidad de corte (Vc).*

Es la velocidad de la herramienta con que se afronta al material, este factor es de mayor importancia porque afecta la eficiencia de mecanización.

Debido a que las características de los materiales varían en su estructura, maquinabilidad y dureza, se utilizan diferentes velocidades de corte considerando algunos factores de mayor importancia que son:

- La rigidez de la máquina y el montaje de la pieza.
- El diámetro de la fresa.
- El acabado superficial que se necesita.
- El material de la fresa.
- La profundidad de corte seleccionada.
- El tipo de material del trabajo. (KRAR, y otros, 2002)

**Tabla 4-1.** Velocidades de corte de la máquina fresadora

| Material                 | Fresa de acero de alta velocidad (HSS) |         | Fresa de carburo |         |
|--------------------------|--|---------|------------------|---------|
|                          | pie/min                                | m/min   | pie/min          | m/min   |
| Acero Aleado             | 40-70                                  | 12-20   | 150-250          | 45-75   |
| Nylon                    | 500-1000                               | 150-300 | 1000-2000        | 300-600 |
| Bronce                   | 65-120                                 | 20-35   | 200-400          | 60-120  |
| Hierro Fundido           | 50-80                                  | 15-25   | 125-200          | 40-60   |
| Acero de Maquinado Libre | 100-150                                | 30-45   | 400-600          | 120-180 |
| Acero para Maquinaria    | 70-100                                 | 21-30   | 150-250          | 45-75   |
| Acero Inoxidable         | 30-80                                  | 10-25   | 100-300          | 30-90   |
| Acero para Herramienta   | 60-70                                  | 18-20   | 125-200          | 40-60   |

Fuente: (KRAR, y otros, 2002)

De la tabla 18 podemos obtener la velocidad de corte de la máquina para una herramienta de carburo y el material a mecanizar es Nylon, obteniendo el resultado de 150 a 300 m/min.

La fórmula para la velocidad de corte de la fresa es la siguiente:

$$N = \frac{V_c \times 1000}{\pi \cdot \emptyset} \quad (1)$$

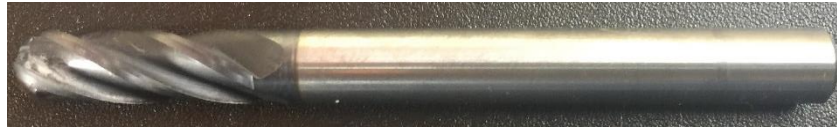
N = Velocidad de giro de la fresa [rpm].

V<sub>c</sub> = Velocidad de corte [m/min].

∅ = Diámetro de la fresa [mm].

4.28.3. *Cálculo la velocidad de corte para una fresa Redonda de Carburo de Ø 6 mm*

**Figura 4-93.** Fresa plana HSS de Ø6 mm



**Fuente:** Autores

Datos:

$V_c = 450 \text{ m/min}$  (por seguridad escogimos el valor medio de la tabla 18)

$\varnothing = 6 \text{ mm}$

$$N = \frac{V_c \times 1000}{\pi \cdot \varnothing}$$

$$N = \frac{450 \times 1000}{\pi \cdot 6}$$

$$N = 23873 \text{ rpm}$$

4.28.4. *Avance.*

Es la velocidad que se mueve la pieza hacia la fresa giratoria y puede definirse como la distancia por minuto, porque es independiente a la velocidad del husillo. La velocidad de avance depende de una variedad de factores que influyen al momento de realizar el proceso de fresado y estos son:

- La potencia y rigidez de la máquina.
- El material de la pieza de trabajo.
- El diseño o tipo de fresa.
- La resistencia de la pieza de trabajo.
- La uniformidad de la pieza de trabajo
- El afilado de la fresa.

- La profundidad y ancho del corte.
- El tipo de acabado y precisión necesarios.

**Tabla 4-2.** Avance recomendado por diente (fresas de carburo cementado)

| Avance recomendado por diente (fresas de carburo cementado) |                     |      |                     |      |                                       |      |                  |      |                                   |      |                    |      |
|---|---------------------|------|---------------------|------|---------------------------------------|------|------------------|------|-----------------------------------|------|--------------------|------|
| Material  | Fresas de refrentar |      | Fresas helicoidales |      | Fresas de ranurado y de corte lateral |      | Fresas frontales |      | Cortadores de formado de relieves |      | Sierras circulares |      |
|   | pulg                | mm   | Pulg                | Mm   | Pulg                                  | mm   | Pulg             | mm   | pulg                              | Mm   | pulg               | Mm   |
| Nylon   | .020                | 0,50 | .016                | 0,40 | .012                                  | 0,30 | .010             | 0,25 | .006                              | 0,15 | .005               | 0,13 |
| Latón y bronce (medio)                                      | .012                | 0,30 | .010                | 0,25 | .007                                  | 0,18 | .006             | 0,15 | .004                              | 0,10 | .003               | 0,08 |
| Hierro fundido (medio)                                      | .016                | 0,40 | .013                | 0,33 | .010                                  | 0,25 | .008             | 0,20 | .005                              | 0,13 | .004               | 0,10 |
| Acero para maquinaria                                       | .016                | 0,40 | .013                | 0,33 | .009                                  | 0,23 | .008             | 0,20 | .005                              | 0,13 | .004               | 0,10 |
| Acero inoxidable  | .010                | 0,25 | .008                | 0,20 | .006                                  | 0,15 | .005             | 0,13 | .003                              | 0,08 | .003               | 0,08 |
| Acero para herramienta (medio)                              | .014                | 0,35 | .011                | 0,28 | .008                                  | 0,20 | .007             | 0,18 | .004                              | 0,10 | .004               | 0,10 |

Fuente: (KRAR, y otros, 2002)

La fórmula para el cálculo de la velocidad de avance es:

$$Avance = f \times a \times N \quad (2)$$

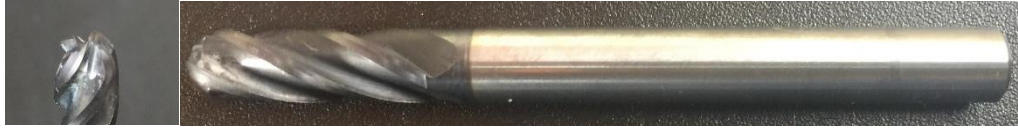
f = Número de dientes de la fresa.

a = Viruta o avance por diente [mm].

N = Velocidad de giro de la fresa [rpm].

4.28.5. *Cálculo del avance para una fresa Redonda de Ø6 mm*

**Figura 4-94.** Fresa de Carburo de Ø6 mm y número de dientes 4



**Fuente:** Autores

Datos:

$N = 7162$  rpm (valor encontrado anteriormente)

$f = 4$

$a = 0,28$  mm (obtenida de la tabla 7)

$$Avance = f \times a \times N = 4 \times 0,30 \times 23873$$

$$Avance = 28648 \text{ mm/min}$$

## CAPÍTULO V

### 5. FABRICACION DE UN BUSTO HUMANO

#### 5.1. SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA EL BUSTO HUMANO

Por lo general los materiales se dividen en dos grandes grupos, metales y no metales; hoy en día existe un aumento en el mecanizado utilizando materiales no metálicos. En la tabla siguiente detallamos los materiales que se utiliza en el mecanizado.

**Tabla 5-1.** Selección del Material

| METALES                         | NO METALES            |
|---------------------------------|-----------------------|
| Hierro                          | Polímeros sintéticos  |
| Acero                           | Resinas               |
| Fundición gris/fundición dúctil | Grafito               |
| Aluminio                        | Plásticos reforzados  |
| Cobre                           | Madera                |
| Bronce                          | Polímeros cristalinos |

**Fuente:** Autores

Entre la variada gama para la selección de materiales para mecanizar; los no metales son una familia muy amplia, en el cual se encuentra los polímeros sintéticos. Ya que estos materiales cumplen con dos propiedades muy importantes que son: la maquinabilidad y la dureza.

Para la selección del material no solo se ha tomado en cuenta las propiedades del material sino también la máquina que va a ejecutar la manufactura.

Entendiéndose a la maquinabilidad como los materiales que son mecanizados por corte o por arranque de viruta y la dureza como la resistencia que pone un material a dejarse rayar por otro.

## 5.2. Selección del material

Considerando estos aspectos se ha determinado que el material a mecanizar debe ser un no metálico, específicamente el Nylon. Debido a los siguientes motivos:

- El Nylon posee una alta maquinabilidad.
- El Nylon es un material blando y elástico, esto significa que no tiene mucha dureza. Por lo fácilmente se la puede cortar, moldear o hacer cambios en su forma.
- La máquina que va realizar la manufactura no posee gran capacidad ya que es una máquina de cinco ejes didáctica.
- Fácil adquisición a un costo medio.

**Figura 5-1.** Cilindro de material Nylon



**Fuente:** Autores

Ya que las medidas calibradas en la mesa de la máquina router, se consideró un cilindro de Nylon de 100mm de diámetro con una altura de 70mm y para la sujeción de 10mm.

## 5.3. SUJECIÓN DEL MATERIAL

Para asegurar el cilindro de Nylon a la mesa de la máquina, se utilizó tornillos negros mdf contra la placa. La pieza debe ajustarse fuerte para que la pieza no tenga ninguna movilidad.



**Figura 5-2.** Sujeción del cilindro en la placa.



**Fuente:** Autores

**Figura 5-3.** Tornillos negros mdf se utilizó para solidificar el cilindro con la placa



**Fuente:** Autores

## **PREPARACIÓN DE LA MÁQUINA PARA EL FUNCIONAMIENTO**

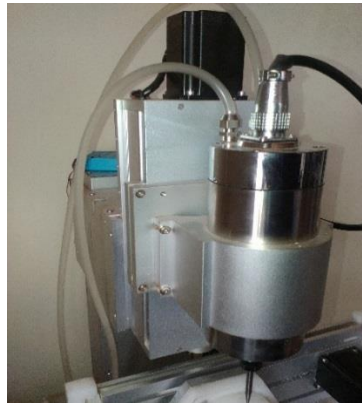
- Enlazamos la bomba para el medio de refrigeración del husillo de la máquina

**Figura 5-4.** Bomba para el sistema de refrigeración



**Fuente:** Autores

**Figura 5-5.** Sistema de refrigeración de la máquina



**Fuente:** Autores

- Energizar la máquina CNC, pulsando el botón on/off.

**Figura 5-6.** Botón on/off de la máquina



**Fuente:** Autores

- Para el funcionamiento del husillo de la máquina, se debe pulsar en el botón “run” del panel de control del husillo.

**Figura 5-7.** Panel de control del husillo

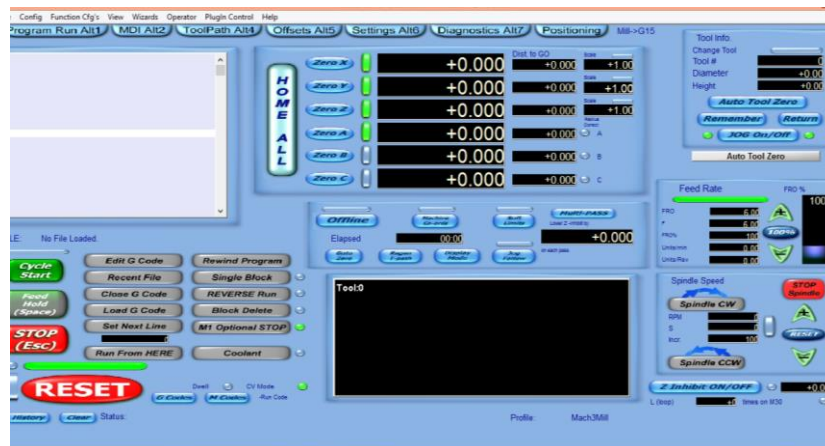


**Fuente:** Autores

## 5.4. MANIPULACIÓN DEL SOFTWARE MACH3

El software Mach 3 es el software de control de la máquina. En el panel de control se encuentra ubicados los diferentes botones digitales para el manejo de la máquina como se puede observar en la siguiente figura.

**Figura 5-8.** Panel de control del software Mach3



Fuente: Autores

## 5.5. Configuración de la máquina con el software Mach3

A la máquina se le hace trabajar con un computador esclavo que cumple la función de cerebro y es la que envía los códigos a la máquina para el trabajo.

**Figura 5-9.** Computador esclavo para el control de la máquina CNC



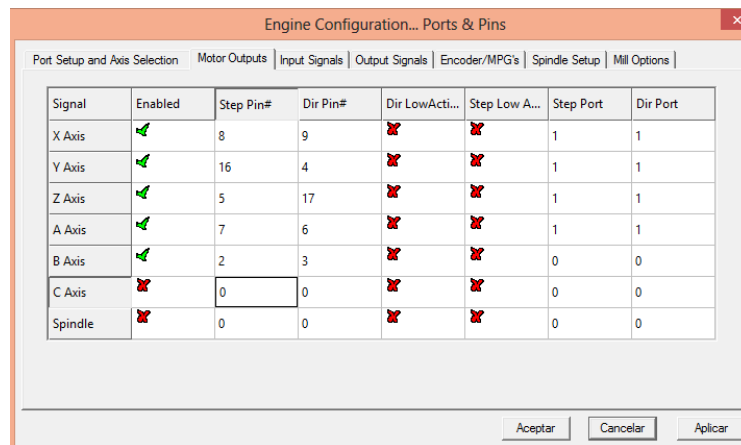
Fuente: Autores

## 5.6. Configuración de puertos y pins de la máquina de cinco ejes

Es necesario la configuración de los puertos y pins que cuenta la máquina, por medio de esto se logra mover los motores de paso que son los encargados de accionar los distintos ejes que son:

- Eje x
- Eje y
- Eje z
- Eje A
- Eje B

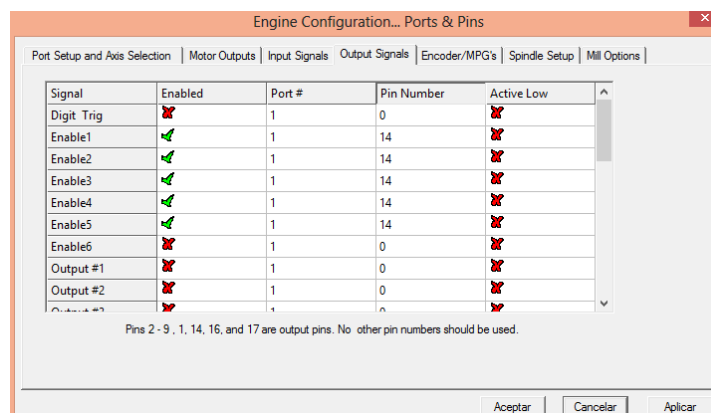
**Figura 5-10.** Configuración de puertos y pines de la máquina



Fuente: Autores

Como se observa en la figura se encuentran habilitados los cinco ejes que cuenta la máquina, esto se logra ubicando el número del drive donde el motor se ha conectado sirve para poder identificar que motor se va mover de acuerdo al eje que seleccione el operario.

**Figura 5-11.** Habilitación de Ensamblas para los ejes de la máquina



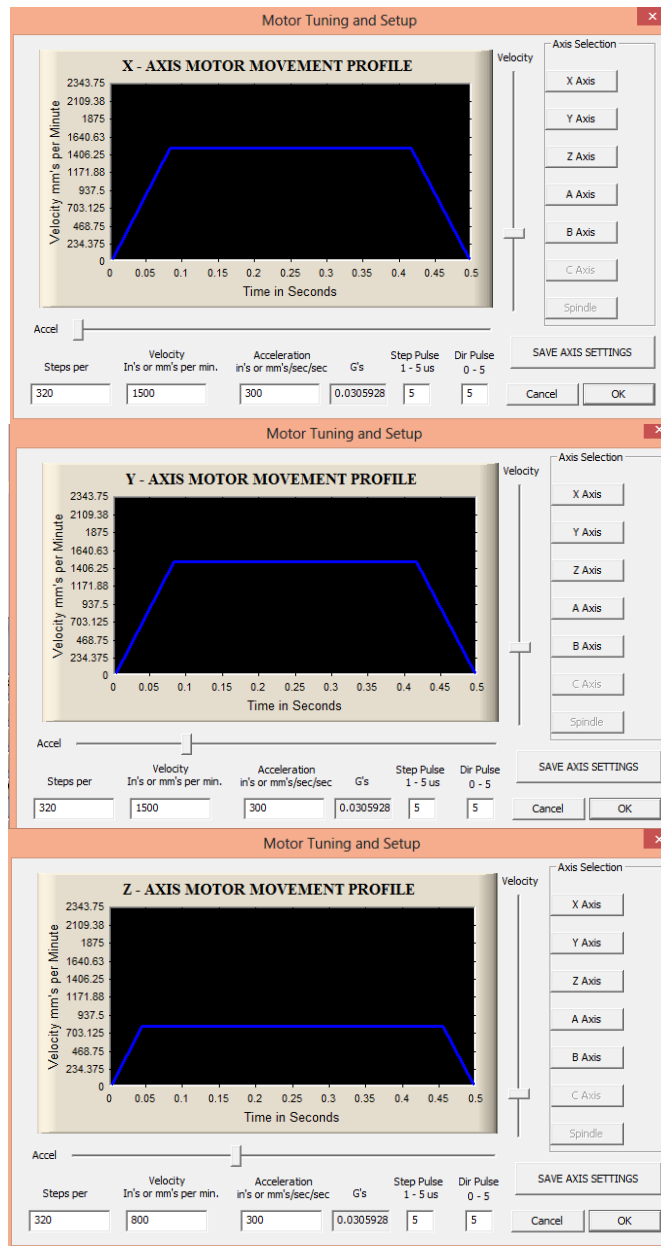
Fuente: Autores

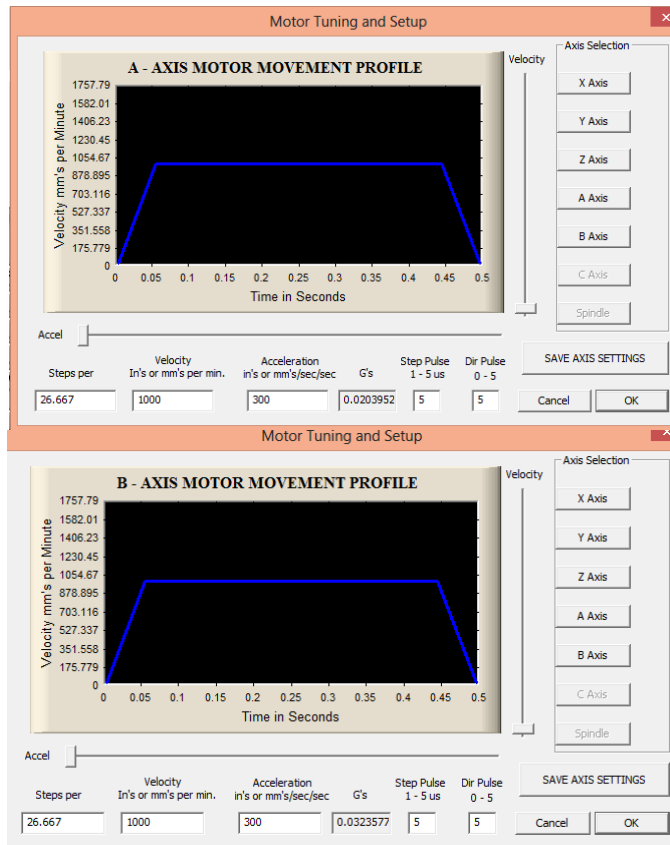
Parte importante dentro de la configuración es habilitar los Enableds que corresponde a cada uno de los ejes sirve para cortar el paso de la corriente a los motores en caso de que ocurra un imprevisto se detiene los ejes evitando colisiones y el deterioro de la máquina.

### 5.7. Configuración de los motores de paso

En esta parte se configura los motores de paso indicando velocidades y aceleración, de esto depende los avances para el trabajo de los diferentes operaciones a ser mecanizadas.

**Figura 5-12.** Configuración de los motores de paso





Fuente: Autores

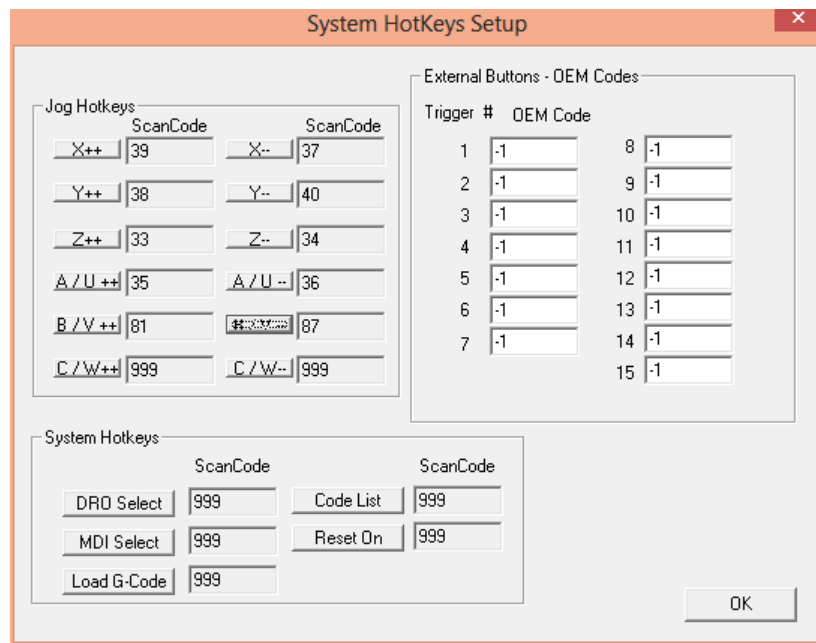
En la figura se observa un diagrama representando la velocidad en pulgadas por minuto y del tiempo en segundos es ahí donde se ubica la capacidad de carga de cada motor de cada uno de los ejes.

## 5.8. Configuración de los botones de jog

La máquina de cinco ejes didáctica trabaja con un computador esclavo por lo cual es necesario configurar ciertas teclas del teclado que cumplirán funciones importantes en el manejo.

Este proceso se logra trasladándose al sistema de configuración de teclado dentro de Match 3 aquí se ubican teclas para poder mover los diferentes ejes.

**Figura 5-13.** Configuración de los botones de JOG



Fuente: Autores

## 5.9. Configuración de la velocidad de avance

En el proceso de mecanizado, se denomina avance a la velocidad relativa entre herramienta y pieza, sin considerar la velocidad de corte, que corresponde al movimiento de giro de la pieza o de la herramienta suele expresarse en mm/min.

En esta ventana podemos controlar parámetros como la velocidad de avance con la cual la herramienta va realizar el corte de la viruta cabe recalcar que es necesario calcular bien la velocidad de avance para evitar daños en los filos de corte de las herramientas.

**Figura 5-14.** Configuración del avance



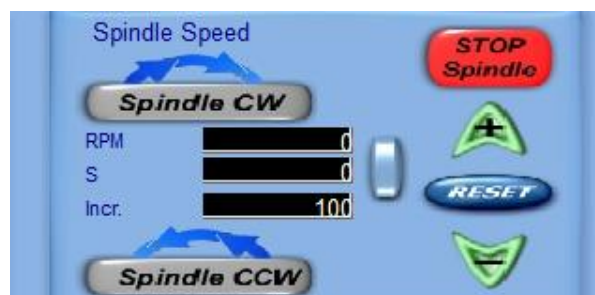
Fuente: Autores

- **Feedrate:** Permite ingresar un avance para movimientos de corte. Para ingresar un valor, marcar este campo con el Mouse y luego ingresar el valor deseado, luego apretar Retorno en el teclado para confirmarlo, en caso de no hacerlo el valor no quedará registrado.
- **FRO: (Feed Rate Override)** este campo muestra el valor del avance actual, en caso que el mismo se haya alterado subiendo o bajando la barra verde.
- **Reset:** Lleva nuevamente el avance al valor ajustado en el campo Feedrate.
- **Units/Min:** Mientras se ejecuta un programa, muestra la velocidad actual de avance, este valor varia con las aceleraciones/desaceleraciones.

### 5.10. Configuración de la velocidad del husillo

La velocidad del husillo es el número de revoluciones que realiza la herramienta de fresado sobre el husillo en cada minuto.

**Figura 5-15.** Configuración de la velocidad del husillo



**Fuente:** Autores

Esta sección es similar a la anterior, pero en lugar de referirse al avance de los ejes se refiere a la velocidad del husillo.

- **Spindle Speed:** Permite ingresar una velocidad para el husillo. Para ingresar un valor, marcar este campo con el Mouse y luego ingresar el valor deseado, luego apretar Retorno en el teclado para confirmarlo, en caso de no hacerlo el valor no quedará registrado
- **S-ov: (Spindle Override)** este campo muestra la velocidad actual del husillo, en caso que el mismo se haya alterado subiendo o bajando la barra verde.
- **Reset:** Lleva nuevamente la velocidad al valor ajustado en el campo Spindle Speed.



## 5.11. Configuración de la herramienta

En esta ventana de trabajo se observan la información del programa como el número de la herramienta el diámetro de la misma y la posición del folder de ser el caso.

**Figura 5-16.** Configuración de la herramienta



Fuente: Autores

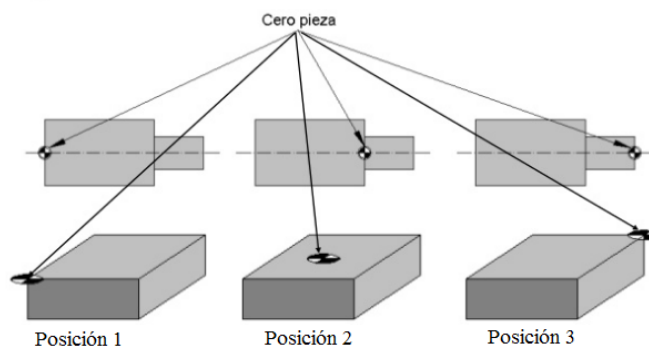
## 5.12. Determinación del cero pieza.

El cero pieza es el punto de origen de la pieza, a partir del cual se programan los movimientos para la mecanización. Cada pieza requiere una referencia dentro del área de trabajo de la máquina.

El cero pieza se programa como la primera función a realizar en cada modelo de pieza nueva que se mecaniza. El criterio de situación del cero se debe basar en la lógica, dependiendo del tipo de pieza y de la distribución de cotas que tenga el plano de trabajo.

Para encontrar el cero pieza seguimos el proceso que se muestra en la siguiente figura:

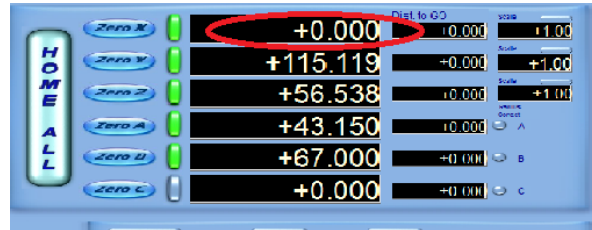
**Figura 5-17.** Determinación del cero pieza



Fuente: Autores

- **Paso 1.-** Llevamos la herramienta a la posición 1 que se indica en la figura y damos clic en la opción **“Zero X”** para encerar la pieza en ese eje.

**Figura 5-18. Zero X**



Fuente: Autores

- **Paso 2.** Llevamos la herramienta a la posición 2 que se indica en la figura y damos clic en la opción **“Zero Y”** para encerar la pieza en ese eje.

**Figura 5-19. Zero Y**



Fuente: Autores

- **Paso 3.** Llevamos la herramienta a la posición 3 que se indica en la figura y damos clic en la opción **“Zero Z”** para encerar la pieza en ese eje.

**Figura 5-20. Zero Z**



Fuente: Autores

- **Paso 4** Llevamos la herramienta a la posición 4 que se indica en la figura y damos clic en la opción **“ZERO A”** para encerar la pieza en ese eje.

**Figura 5-21. Zero A**



Fuente: Autores

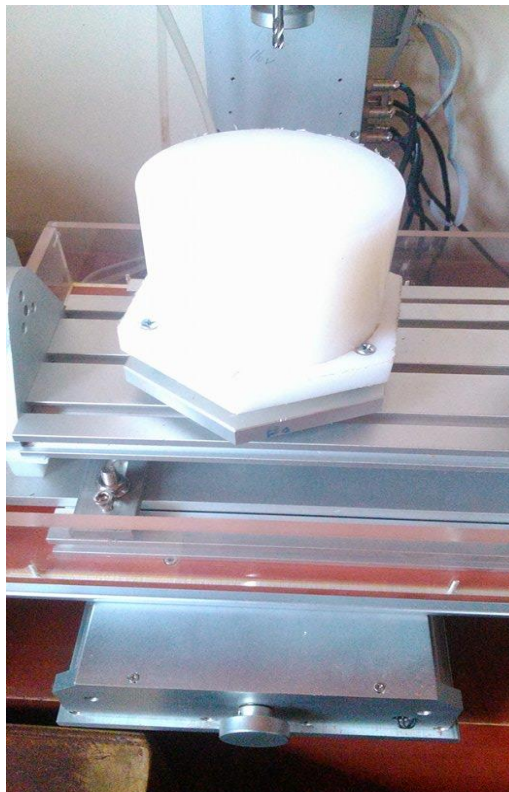
- **Paso 5** Llevamos la herramienta a la posición 4 que se indica en la figura y damos clic en la opción “ZERO B” para encerrar la pieza en ese eje.

**Figura 5-22. Zero B**



Fuente: Autores

**Figura. 5-23 Cero piezas**



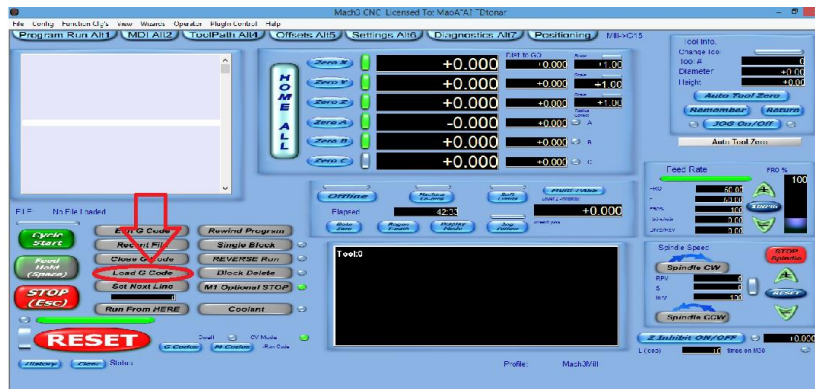
Fuente: Autores

### 5.13. Transferencia de programación a la máquina CNC de cinco ejes

La transferencia de los códigos generados a través de NX son enviados al centro de mecanizado, para ello hay que seguir el siguiente proceso:

- Dar clic en “file” y seleccionar la opción “Load G-Code”

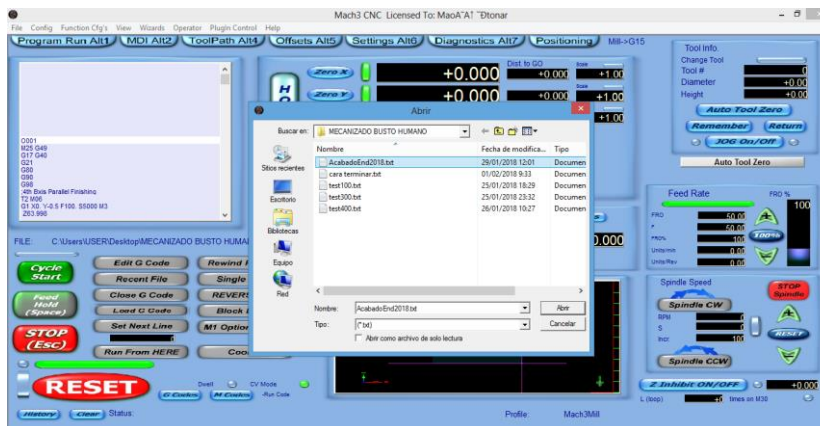
Figura 5-24. Transferencia de códigos G



Fuente: Autores

- Seleccionamos el archivo con la programación correspondiente y dar clic en abrir.

Figura 5-25. Archivos de programación .NC



Fuente: Autores

Como podemos ver en la figura para el mecanizado del avión se ha hecho una programación por partes, por lo tanto el proceso de transferencia del programa debe repetirse tantas veces como las partes de la programación existan, en este caso 7 veces.

#### 5.14. Ejecución del programa código g

Nos dirigimos a la sección de control del programa y damos clic en la opción “cycle star”.

**Figura 5-26.** Sección de control del programa



**Fuente:** Autores

- **Cycle Start:** Inicia el programa que se encuentra cargado, o reinicia uno que fue pausado/parado.
- **Feed Hold:** Pausa el programa sin detenerlo
- **Stop:** para el programa y el husillo.
- **Edit G-Code:** Si hay un programa cargado permite editarlo sin salir de Mach3. Si no hay ninguno, permite crearlo con el bloc de notas.
- **Recent File:** Lista de los programas cargados recientemente.
- **Close G-Code:** Cierra el programa que se encuentra actualmente cargado.
- **Load G-Code:** Carga un programa desde el disco rígido o similar.
- **Set Next Line:** Le indica a Mach3 desde que línea queremos arrancar un programa, en caso de no especificarse y el programa fue recién cargado, arranca desde la primera línea. En caso de que el programa haya sido parado durante su ejecución, en el campo Line dirá la línea actual, con Run From Here se memoriza este valor y con Cycle Start se reinicia el programa.
- **Rewind:** Rebobina el programa como si lo cargáramos de cero.

- **Single BLK:** Permite ejecutar el programa línea por línea, para pasar a la siguiente línea apretar el botón de Cycle Start. Para anular esta opción, volver a apretar este botón, el indicador azul al costado se apagará.
- **Reverse Run:** Cuando este botón está activado el programa en lugar de avanzar a la línea siguiente lo hace a la anterior.
- **Flood:** Arranca o detiene la bomba de refrigerante.
- **G-Codes y M-Codes:** Referencia rápida de los códigos G soportados por el control numérico Mach3. Para volver a la pantalla principal apretar ALT-1 o el botón Program Run en la parte superior de la pantalla.

## 5.15. Proceso de mecanizado

### 5.15.1. Desbaste

**Figura 5-27.** Estado inicial de la pieza



**Fuente:** Autores

**Figura 5-28.** Fresado del contorno



**Fuente:** Autores



**Figura 5-29.** Fresado cabeza del busto



**Fuente:** Autores

**Figura 5-30.** Fresado cuerpo del busto humano



**Fuente:** Autores

5.15.2. *Semi-afinado*

**Figura 5-31.** Semi-afinado de la parte superior de la cabeza del busto



**Fuente:** Autores

**Figura 5-32.** Semi-afinado de la cara del busto



**Fuente:** Autores

**Figura 5-33.** Semi-afinado de la parte de los hombros del busto



**Fuente:** Autores

**Figura 5-34.** Semi-afinado del busto humano



**Fuente:** Autores



**Figura 5-35.** Busto terminado



**Fuente:** Autores

## CAPÍTULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

- Se seleccionó tres software como: GOSCAM 3D para el proceso de escaneado, Geomagic freeform para el modelado y VisualMill 5.0 para el mecanizado. en base a formulación de alternativas la cual obtuvo una mayor relevancia y compatibilidad sobre las otras alternativas disponibles en el mercado para maquinas didácticas.
- Se seleccionó la máquina HY-3040 China Mini Maquina Fresadora Router CNC 5 Ejes a través de una ponderación en la cual destacó las principales características para su funcionamiento como aporte tecnológico al laboratorio entre los que se destaca su costo, capacidad y funcionalidad.
- Los códigos son muy importantes al momento de cargarlos, porque la maquina se puede averiar y coger rumbos diferentes a los que se tiene conocidos en la programación.

#### 6.2. Recomendaciones

- Se recomienda obligatoriamente instalar la bomba en agua libre de impurezas por la posibilidad de generar daños en esta. Además el uso de implementos protección personal debido a la proyección de sólidos y ruido que esta genera.
- Se recomienda establecer adecuadamente las dimensiones de trabajo de la máquina para seleccionar correctamente el material de trabajo. Y determinar los puntos de referencia acorde al material para configurar los ceros o puntos de inicio de nuestra fresa.
- Se recomienda establecer los parámetros de sentido de los ejes para su compatibilidad con los códigos generados por nuestro software.
- Se recomienda el equipamiento de máquinas Workstation en los laboratorios de CAD-CAM; para facilitar la generación de los Códigos G ya que con el equipo que se cuenta genera muchos problemas.

## BIBLIOGRAFÍA

**3D CAD PORTAL.** 3dcadportal [en línea] 2018. [Consultado: 24 de enero de 2018.]. Disponible en: <http://www.3dcadportal.com/mastercam.html>.

**3D MACHINING SOFTWARE.** Qubic. [En línea] Enero de 2015. [Consultado: 23 de Septiembre de 2017.]. Disponible en: <http://www.qubic.com.au/visualmill.htm>.

**5 EJES MEC DATA.** *5ejes* [En línea] 2018. [Consultado: 1 de Febrero de 2018.]. Disponible en: <http://5ejes.com.es/index.php/mecanizado-en-5-ejes/programacion-5-ejes/81-cinematicas-5-ejes>.

**CHINACNCZONE.** China CNC zone [En línea] 2010. [Consultado: 21 de Enero de 2018.]. Disponible en: [http://www.chinacnczone.com/es/hy-3040-china-mini-maquina-fresadora-router-cnc-5-ejes-casero\\_l334\\_p74.html](http://www.chinacnczone.com/es/hy-3040-china-mini-maquina-fresadora-router-cnc-5-ejes-casero_l334_p74.html).

**CMS NORTH AMERICA INC.** *Cmsna* [En línea] 2015. [Consultado: 24 de Noviembre de 2017.]. Disponible en: <https://www.cmsna.com/antares-aluminum-composite-p-3003.html>.

**DECRETO EJECUTIVO 2393.** *Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social.* Quito: 1986.

**EVALUACION DE RIESGOS LABORALES.** *INSHT.* Madris: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2010.

**DÍAZ, Felipe.** *Programación Automática de máquinas CNC.* Cuautitlán: FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN, 2008.

**GARCÍA HIGUERA, Andrés y CASTILLO GARCÍA, Fernando.** *CIM, el computador en la automatización de la producción.* Ciudad Real: 2007.

**GUIA TÉCNICA PARA LA EVALUACION Y PREVENCIÓN DE LOS RIESGOS RELACIONADOS CON LA EXPOSICIÓN A AGENTES BIOLÓGICOS.** *RD 664/97.* Madrid: INSHT, 2014. 978-84-7425-813-4.

**GARCIA Ivan, LAGOS Juan.** *Diseño de un control CNC.* bogota: bogota D.C, 2009.

**KRAR, Steve F. y CHECK, Albert F.** *Tecnología de las Máquinas Herramienta.* México: MARCOMBO S.A., 2002.

**LENGUAJE DE INGENIERIA.** *Lenguaje de ingeniería* [En línea] 2013. <https://lenguajedeingenieria.files.wordpress.com/2013/02/introduccion-al-cad-cam.pdf>.

**MANUAL DE BIOSEGURIDAD EN EL LABORATORIO.** *Organización Mundial de la Salud*. Ginebra: 2005. 92 4 354650 3 .

**MINISTERIO DEL TRABAJO.** Señalización [aut. libro] Ministerio del Trabajo. *Señalización*. Quito: 2013.

**OHSAS.** *Sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional*. London: British Standards Institution, 2007. 9780580508028.

**PARRA, Manuel.** *Conceptos básicos en salud laboral*. Santiago: OIT, 2003. 92-2-314239-3.

**ROJAS LAZO, Qswaldo y SALAS BACALLA, Julio.** *Producción Automatizada Sistemas CAD/CAE/CAM*. Lima: SISBIB, 1999.

**ASFAHL, Ray.** *Seguridad industrial y administración de la salud*. Mexico: Pearson, 2010. 978-607-442-939-8.

**REAL DECRETO 664/97.** *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2014. 978-84-7425-813-4.

**ACUÑA, Vinicio.** *Slideshare* [En línea] 2011. <http://es.slideshare.net/VinicioAcuna/centros-de-mecanizado-cnc>.

**VIRTUAL EXPO.** *Directindustry*. [En línea] 2013. [Consultado: 21 de Diciembre de 2017.]. Disponible en: <http://www.directindustry.cn.com/prod/dmg-mori/product-5973-1835729.html>.

**WORDPRESS.** *Lenguaje de ingeniería. files. wordpress* [En línea] Febrero de 2013. [Consultado: 27 de Octubre de 2017.]. Disponible en: <https://lenguajedeingenieria.files.wordpress.com/2013/02/introduccion-al-cad-cam.pdf>.