Instituto Tecnológico de Apizaco

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

DESARROLLAR UN SISTEMA DE SUJECIÓN DE ELECTRODOS PARA MÁQUINAS DE MECANIZADO DE ELECTROEROSIÓN POR PENETRACIÓN.

TITULACIÓN INTEGRAL

INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

PRESENTA:

URIEL SEGOVIA ALFARO

NOMBRE DEL ASESOR:

MTR. BENJAMÍN DARÍO RAMÍREZ ANGULO

APIZACO, TLAX., NOVIEMBRE 2024

i. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme llegar hasta este punto de mi vida.

Quiero agradecer en especial a mis padres Miguel Segovia Pantoja y Leticia Alfaro Sánchez que siempre estuvieron ahí para darme palabras de apoyo y un abrazo reconfortante para renovar energías. A mis hermanos Susana Saraí Segovia Alfaro y Jasiel Segovia Alfaro quienes siempre han estado en mi vida.

Quiero agradecer a mi asesor externo el Ingeniero Armando Reséndiz García, quien, con sus conocimientos y apoyo, me guío a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados que buscaba.

También quiero agradecer al Instituto Tecnológico de Apizaco y al Instituto Tecnológico Superior de Santiago Papasquiaro, por brindarme todos los recursos y herramientas que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación. No hubiese podido llegar a estos resultados de no haber sido por su incondicional ayuda.

De igual manera quiero agradecer a la familia Sepúlveda Aragón y Segovia Fernández De Lara (familia Fernández De Lara en Gral.), que sin su ayuda incondicional me hubiera sido difícil el camino que he elegido.

Por último, quiero agradecer a todos mis compañeros, al personal docente de metal mecánica, a mis amigos y a mi familia, por apoyarme aun cuando mis ánimos decaían.

Muchas gracias a todos.

ii. INTRODUCCIÓN

El proyecto consiste en el desarrollo de un sistema de sujeción de electrodos para máquinas de electroerosión por penetración. Iniciando con la observación de las especificaciones y características de los sistemas de sujeción actuales, diseñar el sistema de sujeción a fabricar. Y culmina con la fabricación y aprobación del producto.

El objetivo principal del proyecto es crear el sistema de sujeción de electrodos, el cual, permite a la maquinas hacer una reducción de tiempo en SET-UP en producción (ajuste y alineaciones de las piezas) en el proceso de electroerosión por penetración, en el cual pueden ir incluidos: barrenado, roscado, vectorial, oscilamiento, CNC-carrusel, etc.

Se llevó a cabo el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para poder hacer la selección del material definiendo cual es el más adecuado y conveniente para ser aplicado a el sistema de sujeción de electrodos para máquinas de mecanizado de electroerosión por penetración.

Así mismo, se aplicó la metodología TRIZ que muestra las pautas para ir dando forma al sistema en cuestión del diseño, reflejando que partes del sistema de sujeción de electrodos, son las que deben ser tomadas con más consideración.

Por último, se realizó un bosquejo del sistema de sujeción mediante el uso del software SolidWorks, en él se diseñaron las piezas y componentes que en conjunto forman el sistema de sujeción.

Mediante estos procesos se fueron realizando los objetivos establecidos.

iii. OBJETIVOS

GENERAL.

Desarrollar un sistema de sujeción de electrodos para máquinas de mecanizado de electroerosión por penetración para la reducción de tiempo en SET-UP en producción.

ESPECÍFICOS.

- Investigar información relacionada con el proyecto, especificaciones y características de los sistemas de sujeción de electrodos.
- Diseñar los modelos de las piezas a fabricar mediante un software de diseño mecánico (SolidWorks).
- Seleccionar el material adecuado para las piezas con relación a la investigación realizada.
- Realizar pruebas al sistema de sujeción de electrodos desarrollado, para comprobar que tenga la funcionalidad correcta, sea preciso y estable.

ÍNDICE

i. AGRADECIMIENTOS 1
ii. INTRODUCCIÓN 2
iii. OBJETIVOS 3
GENERAL. 3
ESPECÍFICOS. 3
iv. ÍNDICE DE TABLAS 6
vi. ÍNDICE DE IMÁGENES 7
1.1 DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO. 8
1.3.4. PUESTO DEL ESTUDIANTE. 9
2. MARCO TEÓRICO 10
2.1. DEFINICIÓN DE MECANIZADO POR ELECTROEROSIÓN. 10
2.2. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA A LA ELECTROEROSIÓN. 10
2.3. FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LOS PROCESOS DE ELECTROEROSIÓN. 10
2.4. PRODUCCIÓN DE LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS. 11
2.5. LA MÁQUINA DE ELECTROEROSIÓN. 12
2.6. EL FLUIDO DIELÉCTRICO. 13
2.7. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO. 15
2.8. TIPOS DE MECANIZADOS POR ELECTROEROSIÓN. 15
2.8.1. ELECTROEROSIÓN POR PENETRACIÓN. 15
2.8.2. ELECTROEROSIÓN POR HILO. 17
2.8.3. ELECTROEROSIÓN POR PERFORACIÓN O RECTIFICADO 19
2.9. ELECTRODOS 20
2.10. SISTEMA DE SUJECIÓN. 20
2.11. TIPOS DE EROSIÓN. 21
3. DESARROLLO DEL PROYECTO. 22
3.1. CONOCIMIENTO DEL PROCESO DE LA ELECTROEROSIÓN POR PENETRACIÓN. 22
3.2. SELECCIÓN DEL MATERIAL A UTILIZAR. 22
3.3. RESUMEN EJECUTIVO “SELECCIÓN DE MATERIAL”. 23
3.3.4. PROCESO DE JERARQUIZACIÓN ANALÍTICA (PJA). 24
3.6. PLANEACIÓN DEL DISEÑO. 29
3.7. CONSIDERACIONES DE DISEÑO. 29

3.7.1. METODOLOGÍA TRIZ. 29
3.7.1.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA. 29
3.7.1.2. PASOS DE LA METODOLOGÍA TRIZ. 30
3.7.1.3. PARÁMETROS TÉCNICOS DE TRIZ. 31
3.7.1.4. PRINCIPIOS DE INVENTIVA. 31
3.7.1.5. MATRIZ DE CONTRADICCIONES. 32
3.7.2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA TRIZ AL SISTEMA DE SUJECIÓN DE ELECTRODOS. 33
3.7.2.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA TÉCNICO. 33
3.7.2.2. MATRIZ DE CONTRADICCIONES. 34
3.7.2.3. CONCLUSIÓN. 41
3.8. MODELACIÓN 3D EN SOFTWARE SOLIDWORKS. 42
3.8.1. ELEMENTOS DEL CABEZAL. 43
3.8.2. ENSAMBLE DEL CABEZAL. 49
3.8.3. SISTEMA DE CENTRADO. 50
3.8.4. ENSAMBLE DEL SISTEMA DE CENTRADO (HOLDING). 52
3.8.5. PORTA ELECTRODOS (HOLDERS). 53
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS. 58
4.1. ENSAMBLE DEL SISTEMA DE SUJECIÓN DE ELECTRODOS. 58
4.2. COMPARACIÓN DE HOLDINGS. 59
4.3. TABLA COMPARATIVA ENTRE HOLDINGS. 60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. 61
FUENTES DE INFORMACIÓN. 63
REFERENCIAS 63
ANEXOS. 64
ANEXO A. PROPIEDADES FÍSICAS Y CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLE INOXIDABLES. 64
ANEXO B. COMPLEMENTO DE DIBUJOS 2D. 68

iv. ÍNDICE DE TABLAS

No.	Descripción	Páginas
3.1	Ponderación Saaty	22 y 23
3.2	Valores de ponderación Saaty	24
3.3	Valores de coeficientes	25
3.4	Comparación entre miembros de la familia de aceros inoxidables dúplex	26
3.5	Comparación entre miembros de la familia de aceros inoxidables martensíticos	26
3.6	Comparación entre miembros de la familia de aceros inoxidables ferríticos	27
3.7	Comparación entre miembros de la familia de aceros inoxidables austeníticos	27
3.8	Comparación de los aceros inoxidables dúplex, martensíticos, ferríticos y austeníticos	27
3.9	Comparación entre los mejores miembros de la familia de aceros inoxidables	28
3.10	Niveles de inventiva	30
3.11	Parámetros técnicos de TRIZ	31
3.12	Principios de inventiva	32
4.1	Comparación entre holdings	60 y 61
A.1	Propiedades físicas y características mecánicas del acero inoxidable austenítico	64
A.2	Propiedades físicas y características mecánicas del acero inoxidable martensítico 420	64
A.3	Propiedades físicas y características mecánicas del acero inoxidable ferrítico 434	65
A.4	Propiedades físicas y características mecánicas del acero inoxidable dúplex 2001	65
A.5	Propiedades físicas y características mecánicas del acero inoxidable ferrítico 430	66
A.6	Comparación entre los aceros inoxidables más comunes	67
A.7	comparación del acero austenítico 304 y 316	68

v. ÍNDICE DE IMÁGENES

No.	Descripción	Páginas
1.1	Logo de la empresa	9
2.1	Esquema del proceso de producción de las descargas eléctricas	11
2.2	Representación esquemática de una máquina de EDM por penetración	12
2.3	Partes fundamentales de una máquina de electroerosión por penetración	13
2.4	Detalle de electroerosión por penetración	16
2.5	Electroerosión por penetración	17
2.6	Formación de entalla en electroerosión por hilo	18
2.7	Detalle electroerosión por hilo	18
2.8	Detalle electroerosión por perforación	20
2.9	Ejemplos de electrodos	20
2.10	Placas de sujeción y porta-electrodos	21
2.11	Formas de llevar a cabo la erosión del material	21
3.1	Esquema de solución de problemas	30
3.2	Ejemplo de una sección de los principios de inventiva en TRIZ	33
3.3	Selección de los principios de inventiva usando la matriz de contradicciones	41
3.4	Dibujo 2D del sistema de sujeción	43
3.5	Dibujo 2D de la pieza base	44
3.6	Dibujo 2D de la pieza tapa cabezal	45
3.7	Dibujo 2D de la pieza émbolo	46
3.8	Dibujo 2D de la pieza anillo	47
3.9	Vista isométrica del resorte	48
3.10	Vista general de la esfera	48
3.11	Vista isométrica de o-ring	49
3.12	Vistas isométricas, frontal y posterior del cabezal	49
3.13	Dibujo 2D de la pieza pivote	50
3.14	Dibujo 2D de la pieza base de centrado	51
3.15	Dibujo 2D de la pieza alineación	51
3.16	Vista isométrica del sistema de centrado	52
3.17	posterior del sistema de centrado	52
3.18	Vista frontal del sistema de centrado	53
3.19	Vista isométrica del holder uniblank	53
3.20	Vista posterior de holder uniblank	54
3.21	Vista isométrica del holder prisround	54
3.22	Vista frontal del holder prisround	55
3.23	Vista posterior de holder prisround	55
3.24	Vista isométrica del holder uniplate	56
3.25	Vista frontal del holder uniplate	56
3.26	Vista posterior del holder uniplate	57
3.27	Vista isométrica del porta electrodo uniholder	57
3.28	Vista frontal del porta electrodo uniholder	58
3.29	Vista posterior del porta electrodo uniholder	58
4.1	Vista isométrica del sistema de sujeción de electrodos	59
4.2	Vista frontal del sistema de sujeción de electrodos	59
4.3	Holding diseñado en D+D MANUFACTURA y holding de EROWA	60
B.1	Dibujo 2D de tornillos M4	69
B.2	Dibujo 2D de las esferas	70

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

1.1 DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

1.1.1. DESCRIPCIÓN.

El proyecto consiste en el desarrollo de un sistema de sujeción de electrodos para máquinas de electroerosión por penetración. Iniciando con la observación de las especificaciones y características de los sistemas de sujeción actuales, diseñar el sistema de sujeción a fabricar. Y culmina con la fabricación y aprobación del producto.

Aplicando el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para poder así conocer cuál material es el más adecuado y conveniente para la aplicación al sistema de sujeción de electrodos para máquinas de mecanizado de electroerosión por penetración.

Así mismo, se aplicó la metodología que mostrará las pautas para ir dando forma al sistema en cuestión del diseño, reflejando que partes del sistema de sujeción de electrodos, son las que deben ser tomadas con más consideración.

Al final se realiza mediante la implementación del software SolidWorks cada uno de los dibujos 2D y 3D de cada componente que lleva el sistema de sujeción.

1.1.2. JUSTIFICACIÓN.

Teniendo en cuenta que los procesos que se realizan mediante máquinas de electroerosión son: barrenado, penetración, roscado, vectorial, oscilamiento, CNC-carrusel, etc. Y para llevar dichos procesos son necesarios los accesorios que se incorporan en las máquinas, tales como: mandriles para sujeción de piezas de trabajo, palets, mordazas, electrodos, placas adaptadoras, extensiones, etc. Estos procesos requieren tiempo para la instalación o cambio de las piezas.

Con base a esto se diseñarán accesorios donde ninguna máquina vengan con estas piezas, y ni las hayan utilizado. Dando un gran ahorro de tiempo en alineaciones y ajustes de las piezas (SET-UP en producción), sin perjudicar los procesos a realizar.

Dichas piezas podrán ser utilizadas en máquinas de mecanizado de electroerosión de penetración, barrenadoras EDM, maquinados electrodos.

1.2. ALCANCES Y LIMITACIONES.

1.2.1. ALCANCES.

- Implementar en la ingeniería representaciones en 3D, que permitan visualizar las dimensiones reales del sistema de sujeción.
- Mejorar el SET-UP en producción (ajuste y alineaciones de las piezas).
- Obtener a clientes de mecanizados de máquinas de electroerosión por penetración, dándoles seguridad al demostrar que el producto es eficiente, estable y de una calidad igual o mejor al de las otras marcas.
- Que el sistema de sujeción de electrodos sea capaz de competir en el mercado de troqueles, con las marcas más conocidas como: EROWA y A-ONE.

1.2.2. LIMITACIONES.

- No se cuenta con maquinaria de erosión de hilo o de penetración.
- Las únicas máquinas a las que se tiene acceso están en la planta **Plásticos Helios,** la cual, no hay un acceso continuo para hacer pruebas o verificaciones.

1.3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN EL QUE PARTICIPÓ.

1.3.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.

D+D Manufactura S DE RL DE CV es una empresa dedicada al diseño y desarrollo de Ingeniería Integral. Su propósito es diseñar manufactura de alta calidad y proporcionar la máxima eficiencia en su inversión. Cuenta con un equipo de diseño altamente calificado e innovador que proveerá la mejor solución.

Lo que caracteriza a D+D Manufactura S DE RL DE CV es su compromiso, versatilidad, innovación, liderazgo y la integridad. **En la figura 1.1** enseña el logo actual de la empresa.

Figura 1.1 Logo de la empresa D+D MANUFACTURA S DE CV DE RL

1.3.2. MISIÓN

En D+D MANUFACTURA nuestra misión es brindar soluciones de ingeniería a nuestros clientes utilizando la mejora continua como herramienta de innovación constante, utilizando tecnología avanzada y desarrollando nuevos procesos para ofrecer el mejor servicio integrado de Diseño de Manufactura.

1.3.3. VISIÓN

Ser un referente socialmente responsable en la industria manufacturera, reconocido y comprometido con los clientes y proveedores para así brindar el mejor servicio.

1.3.4. PUESTO DEL ESTUDIANTE.

El área de la empresa a la que va enfocado dicho proyecto es al área de ingeniería, la cual proyecta y diseña la distribución de equipos, materiales y lugares de trabajo para ilustrar la eficiencia máxima utilizando herramientas de diseño y la computadora, estableciendo la secuencia de operaciones para fabricar y ensamblar partes o productos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. DEFINICIÓN DE MECANIZADO POR ELECTROEROSIÓN.

Se podría definir el proceso de electroerosión como el método de arranque de material por medio de descargas eléctricas controladas, que saltan, en un medio dieléctrico, entre un electrodo (herramienta de trabajo) y la pieza a mecanizar (etitudela). Se trata de un proceso que permite reproducir de manera directa la forma del electrodo en la pieza de origen, a partir de la energía calorífica proporcionada por estas descargas eléctricas.

2.2. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA A LA ELECTROEROSIÓN.

Se considera que los procesos de electroerosión tienen su origen en 1943, fecha en la cual comenzaron los estudios de los hermanos B.R. y N.I. Lazarenko, si bien en 1770 J. Priestley ya había descubierto “el efecto erosionador que poseen las descargas eléctricas sobre los materiales metálicos” (**etitudela**). Fue en 1943 cuando B.R. y N.I. Lazarenko profundizaron en estos descubrimientos, y llevaron a cabo la primera publicación científica sobre estos procesos, en la búsqueda de un método que permitiera efectuar de manera controlada la erosión originada por las descargas eléctricas, y lo cual, daría lugar a una nueva tecnología de mecanizado que se denominó “electroerosión”. Esta tecnología resultó revolucionaria porque no requería el contacto físico entre la pieza y la herramienta de corte, y por lo tanto no dependería de las propiedades mecánicas del material de partida. Las primeras aplicaciones industriales de la electroerosión no llegaron hasta la década de 1950, dedicadas a la extracción de brocas y machos que se habían partido en el interior de piezas, y posteriormente en 1959 cuando se presentó en París la primera máquina equipada con un generador de impulsos rectangulares aplicados a la herramienta y a la pieza, la cual proporcionaba descargas controladas que permitían eliminar el material de la pieza, consiguiendo reproducir en ella la forma del electrodo. La utilización de generadores de impulsos mediante transistores supuso el auge de la electroerosión, ya que hicieron posible obtener una mayor velocidad de corte, un menor desgaste del electrodo y, sobre todo, una mayor uniformidad en la rugosidad superficial de las piezas fabricadas por electroerosión.

2.3. FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LOS PROCESOS DE ELECTROEROSIÓN.

Como se ha descrito anteriormente, la electroerosión consiste en un proceso de erosión térmica que permite el arranque de material mediante una serie de descargas eléctricas recurrentes entre una herramienta que actúa como electrodo y una pieza constituida por un material conductor, estando ambos sumergidos en un fluido dieléctrico. Las descargas eléctricas se producen en el espacio comprendido entre el electrodo y la pieza, conocido por el término anglosajón “gap” (separación) (De maquinas y herramientas, 2013). Se trata de uno de los principales parámetros del proceso, y debe ser controlado en todo momento de manera que sea suficientemente grande para que la pieza y herramienta no entren en contacto, y lo suficientemente pequeño para hacer posible la obtención de descargas eléctricas controladas. Si el gap es excesivo no se pueden conseguir las descargas eléctricas, y se necesitarán mayores tiempos de mecanizado. Por el contrario, si el gap es demasiado pequeño existe el riesgo de que la herramienta y la pieza entren en contacto y se produzca un corto circuito, lo cual generaría grandes incrementos de temperatura que

podrían provocar la transferencia de material entre ambos, así como el deterioro de la geometría de la herramienta. Los procesos de electroerosión utilizan corrientes pulsantes de elevada energía y reducida duración, de entre 2 a 2000 µs, las cuales dan lugar a elevadas temperaturas en una zona localizada de la superficie de la pieza (habitualmente entre 8.000 y 12.000 °C). Debido al breve intervalo de tiempo de aplicación de la descarga eléctrica, el calor no se puede propagar por toda la pieza, sino que se produce la fusión e incluso evaporación del material en la zona de la descarga, dando lugar a un cráter de forma semiesférica.

2.4. PRODUCCIÓN DE LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS.

Es importante conocer las distintas fases que forman parte del proceso de producción de las descargas eléctricas. Esto se puede observar en la **figura 2.1** como a causa de la descarga eléctrica se origina un canal de plasma entre la herramienta y la pieza, que comenzará a transmitir la energía generada por el circuito eléctrico de la máquina.

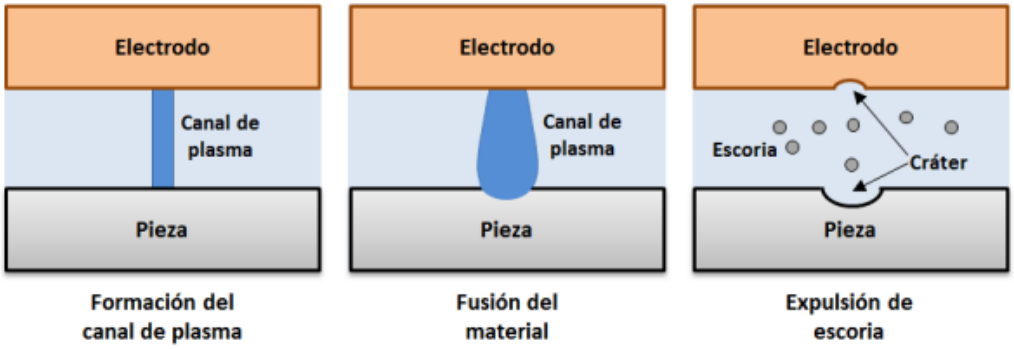


Figura 2.1. Esquema del proceso de producción de las descargas eléctricas. Donde de la polaridad que se utiliza en el circuito eléctrico, lo más habitual es que la herramienta actúe como cátodo (electrodo positivo), mientras que la pieza sea el ánodo (electrodo negativo) (**Mascaraque, 2018**)

Una vez estabilizado el canal de plasma, se produce un aumento de la temperatura en la zona de incidencia del canal, provocando la fusión parcial del material de la pieza y también, aunque en menor medida, la fusión del material de la herramienta de corte. Este proceso es independiente de las propiedades mecánicas del material de la pieza de trabajo, y sólo depende de sus propiedades térmicas.

A continuación, se interrumpe bruscamente la energía en el circuito y desaparece el canal de plasma, y por tanto el material fundido queda suspendido en el fluido dieléctrico en forma de pequeñas partículas que se denomina “escoria”. En el fluido dieléctrico se establece un flujo que permite evacuar la escoria de la zona de corte, con el fin de evitar que vuelva a adherirse a la superficie de la pieza o el electrodo, ya que esto sería perjudicial para la productividad del proceso de electroerosión y para el acabado superficial de la pieza.

2.5. LA MÁQUINA DE ELECTROEROSIÓN.

En la **figura 2.2** se observa una representación esquemática de una máquina de EDM por penetración. Este tipo de máquinas de mecanizado no convencional se componen de los siguientes elementos principales:

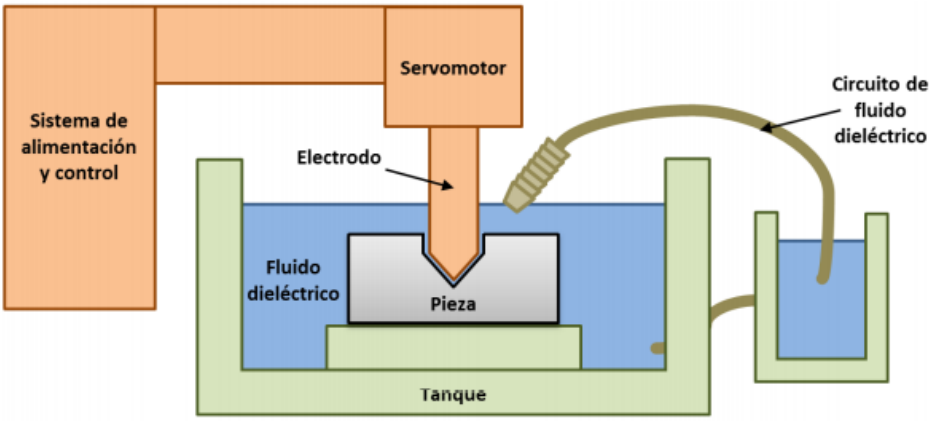


Figura 2.2. Esquema de los elementos principales de una máquina EDM por penetración. **(Mascaraque, 2018)**

- **Sistema de alimentación y control**: con el objetivo de rectificar la corriente de entrada a la máquina y generar la tensión deseada entre la pieza y el electrodo, según la tensión e intensidad seleccionada para cada proceso de mecanizado.
- **Servomotor:** es el responsable del movimiento del electrodo, manteniendo en todo momento un gap adecuado entre la pieza de trabajo y la herramienta de corte para asegurar que las descargas eléctricas se puedan producir correctamente.
- **Tanque:** permite alojar el fluido dieléctrico dentro del cual están sumergidos la pieza y la herramienta de corte. La pieza se fijará en la mesa de trabajo situada en el interior de este depósito.
- **Circuito de fluido dieléctrico:** tienen la función de recircular el fluido dieléctrico, así como filtrar y eliminar la escoria generada durante el proceso de mecanizado.

Mediante la **figura 2.3.** se pueden observar las partes fundamentales de una máquina EDM:

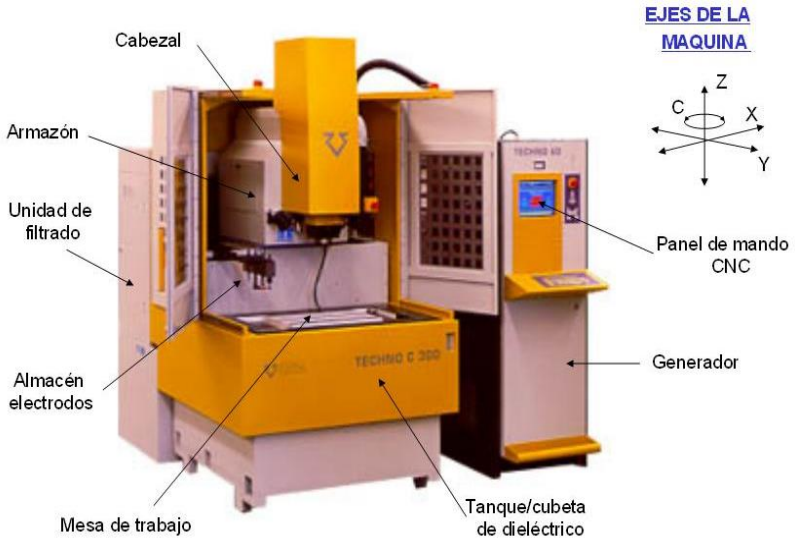


Figura 2.3. Partes externas de la máquina EDM.

- El **armazón** constituye el esqueleto de la máquina.
- El **cabezal** lleva consigo todo el complejo sistema de mecanizado automático. Lleva unos dispositivos para parar la máquina al final del trabajo.
- La **mesa de trabajo** es la mesa de coordenadas que dispone la pieza frente al electrodo en los ejes X e Y.
- La **unidad de filtrado** debe tener una capacidad proporcional (2 o 3 veces la capacidad de la cuba de mecanizado).
- En el **tanque del dieléctrico** hay una **bomba** que eleva el líquido hasta la zona de trabajo. El filtro limpia las partículas procedentes de la erosión.
- El **servomecanismo** es el encargado de mantener el gap constante. Ha de ser rápido para acercar o alejar el electrodo a la pieza según el tamaño de la chispa, además de controlar el avance. Se debe evitar que el electrodo y la pieza entren en contacto, produciéndose un cortocircuito.
- El **generador** genera la corriente con la que se mecaniza.
- El **panel de control** concentra los órganos de gobierno de la máquina.
- El **almacén de electrodos** que permite un funcionamiento completamente autónomo de la máquina.

2.6. EL FLUIDO DIELÉCTRICO.

El fluido dieléctrico desarrolla tres funciones esenciales en el proceso de electroerosión, y por ello tiene una gran relevancia en el buen funcionamiento del proceso. Estas tres funciones son las siguientes:

- Actúa como aislante entre la pieza y la herramienta, concentrando las descargas eléctricas generadas.
- Proporcionar un medio que permita el enfriamiento de la superficie de la pieza y del electrodo.
- Llevar a cabo la limpieza y retirada de la escoria producida durante el proceso de electroerosión.

Su primera función consiste en servir como aislante entre el electrodo y la pieza de trabajo. La principal característica eléctrica que debe presentar como aislante es su rigidez dieléctrica. Al ir aumentando la tensión entre el electrodo y la pieza, llega un momento en que el fluido dieléctrico se ioniza ligeramente permitiendo el paso de una pequeña corriente eléctrica. Esto provoca un aumento de la ionización, con lo que la resistencia eléctrica del dieléctrico desciende bruscamente y se origina una descarga en forma de avalancha que caracteriza a las descargas erosivas. Una vez terminado el impulso, el fluido se des ioniza y la siguiente descarga tendrá lugar en el punto en el que el campo eléctrico entre el electrodo y la pieza permita volver a ionizar y formar el canal de plasma a través del cual se efectuará la siguiente descarga eléctrica, lo cual implica un reparto al azar de las descargas sobre la superficie a erosionar.

La segunda función del fluido dieléctrico es la de proporcionar el enfriamiento necesario en la superficie de la pieza y la herramienta. El proceso de electroerosión se caracteriza por elevados incrementos de temperatura que producen la fusión e incluso evaporación del material, pero es necesario que después de cada descarga se proceda al enfriamiento del electrodo y la pieza, con el fin de preservar sus propiedades evitando alteraciones de fase o deformaciones geométricas por efecto de la temperatura. Además, es preciso enfriar el sistema para proteger la máquina frente a elevadas temperaturas en sus componentes.

Finalmente, el fluido dieléctrico debe servir para retirar todas las partículas erosionadas de la pieza, las cuales quedan suspendidas en el gap entre la pieza y el electrodo. Es necesario retirar esta escoria para minimizar la adhesión de partículas en la superficie de la pieza y del electrodo, ya que esto perjudica al acabado superficial de la pieza, la vida de la herramienta y el tiempo de mecanizado.

Para poder desempeñar eficazmente estas tres funciones, los líquidos dieléctricos deben cumplir los siguientes requerimientos:

- Poseer una suficiente rigidez dieléctrica para poder soportar los campos eléctricos creados por las tensiones aplicadas entre el electrodo y la pieza (entre 60 y 300 V), los cuales están separados por un reducido gap (entre 10 y 200 µm), con el fin de no permitir el paso de la corriente, si no es en forma de descarga.
- Presentar una baja viscosidad y tensión superficial para poder penetrar con facilidad en los intersticios existentes entre la pieza y el electrodo, haciendo posible el proceso de electroerosión y el arrastre de los residuos generados.
- Deben ser químicamente neutros (nunca ácidos), con el fin de no atacar al electrodo y la pieza, ni a los elementos de la máquina con los que deben estar en contacto.
- Presentar una reducida volatilidad para evitar pérdidas del fluido dieléctrico.
- Su punto de inflamación debe ser lo suficientemente elevado para evitar el riesgo de incendio.
- No deben de desprender vapores nocivos, ni con olor especialmente desagradable.
- Poseer las características térmicas adecuadas para enfriar las superficies erosionadas y evitar las posibles variaciones dimensionales que podrían originar las elevadas temperaturas locales que se producen durante el proceso.
- Deben presentar una mínima formación de lodos o residuos bajo las peores condiciones de mecanizado.
- Deben conservar sus propiedades frente a las diferentes condiciones de mecanizado.
- Deben ser fáciles de obtener en el mercado y tener un precio que no resulte excesivo.

Teniendo en cuenta estos requisitos, los dieléctricos más empleados son aceites y derivados del petróleo.

Los aceites que mejor soportan este proceso son los aceites minerales, ya que presentan una elevada temperatura de inflamación que oscila entre 120 y 150 °C. Además, poseen una elevada viscosidad, entre 6 y 20 centistokes, lo cual los hace aconsejables para las operaciones de desbaste, debido a que en estas operaciones se utiliza un gap elevado y no suele haber problemas de circulación del dieléctrico. Sin embargo, no es válido para operaciones de acabado, en las cuales el gap es muy reducido y el aceite no puede circular a través de él, como consecuencia de su elevada viscosidad.

El petróleo posee un punto de inflamación más reducido que el aceite, entre 75 y 80 °C, y también una menor viscosidad, de alrededor de 2 centistokes. Estas propiedades los hacen aconsejables para las operaciones de acabado en las cuales la temperatura y el gap son más reducidos.

2.7. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO.

Las dos principales propiedades que caracterizan el proceso de mecanizado por electroerosión son las siguientes:

- En primer lugar, se trata de un proceso que no depende de las propiedades mecánicas de la pieza, como son la dureza, resistencia a tracción y ductilidad, sino que, por el contrario, sólo se ve afectado por sus propiedades térmicas y eléctricas, por lo cual resulta una tecnología muy adecuada para el mecanizado de aceros y otras aleaciones metálicas de elevada dureza o refractarias.
- Por otra parte, permite generar formas complejas, las cuales resultan muy difíciles o imposibles de conseguir mediante procesos de mecanizado convencional. El electrodo suele ser de grafito o cobre, y se mecaniza hasta obtener la forma deseada para posteriormente reproducir esta geometría en la pieza final. El coste mecanizado del electrodo se amortiza por la fabricación de un elevado número de piezas a partir del mismo electrodo.

2.8. TIPOS DE MECANIZADOS POR ELECTROEROSIÓN.

Dependiendo de la forma del electrodo y su movimiento relativo respecto de la pieza, se puede distinguir entre tres tipos de procesos de electroerosión.

- Electroerosión por penetración.
- Electroerosión por hilo.
- Electroerosión por perforación o rectificado.

2.8.1. ELECTROEROSIÓN POR PENETRACIÓN.

Este es el tipo convencional que emplearon las primeras máquinas electroerosionadoras. El electrodo se une al cabezal de la máquina que está conectado a un polo -por lo general el polo positivo- de una fuente de alimentación pulsada. La pieza de trabajo se conecta al polo negativo y se ubica de manera que haya un hueco entre esta y el electrodo. Posteriormente, el hueco se inunda con fluido dieléctrico. Cuando se conecta la fuente de alimentación, el hueco es atravesado por miles de impulsos de corriente continua por segundo formando

chispas y dando comienzo al proceso de erosión esto se puede observar en la **figura 2.4.** A medida que la erosión continúa, el electrodo avanza sobre la pieza mientras mantiene una dimensión constante del hueco.

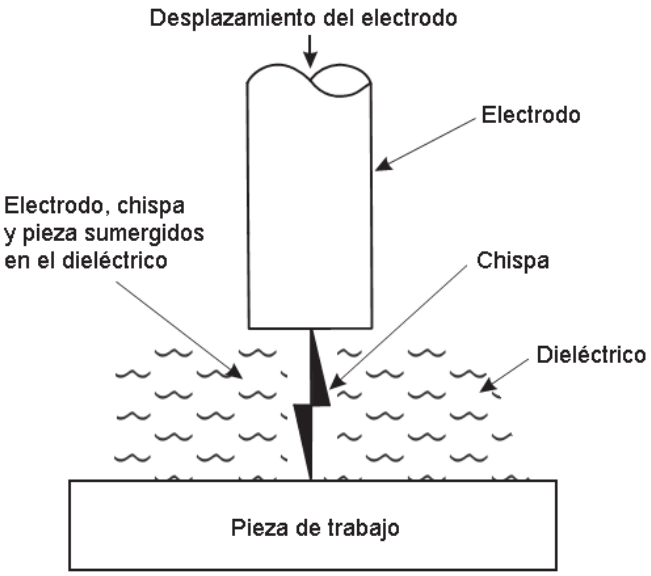


Figura 2.4. Representación del trabajo que realiza el electrodo en la pieza mediante el método de penetración **(De maquinas y herramientas, 2013)**.

La pieza terminada puede exhibir varias capas distintas. La **capa superficial** presenta pequeños glóbulos de metal extraído de la pieza, así como partículas del electrodo adheridas que se eliminan fácilmente. La segunda capa se denomina "**capa blanca**" o "**capa refundida**", donde la electroerosión ha alterado la estructura metalúrgica de la pieza. La tercera capa es la zona afectada por el calor o "**capa recocida** ", la cual ha sido calentada pero no fundida. La distribución, extensión y profundidad de estas capas tienen una influencia muy importante en la calidad del acabado superficial y se ven afectadas por:

- Los ciclos de activación y desactivación del proceso.
- El ciclo de trabajo, que es la relación entre el ciclo de activación y el tiempo de ciclo total.
- La distancia de separación, hueco o "gap" entre la pieza de trabajo y el electrodo.

El electrodo, por lo general de grafito o cobre electrolítico, se fabrica con la **imagen inversa o negativa** de la pieza que se desea obtener, por lo cual genera **cavidades** en la pieza, **figura 2.5**.

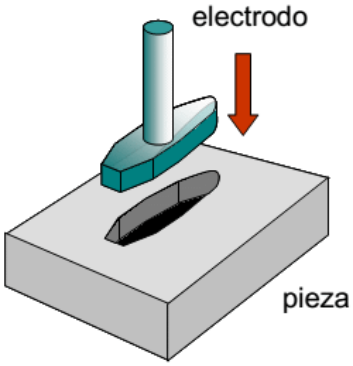


Figura 2.5. Electroerosión por penetración, formación de cavidades en la pieza **(De maquinas y herramientas, 2013)**.

Entre las características principales de la **electroerosión por penetración** podemos mencionar:

- El fluido dieléctrico es aceite mineral, aunque algunas máquinas pueden usar agua u otros líquidos especiales.
- Pueden obtenerse tanto **formas pasantes** como **formas ciegas** de geometrías complicadas.
- Capacidad de extracción en aceros: hasta 2000 mm 3/min.
- Rugosidad mínima en aceros: hasta menos de 0,4 µm Ra.
- Aplicaciones: fabricación de moldes y troqueles de embutición.

2.8.2. ELECTROEROSIÓN POR HILO.

Su principal diferencia respecto de la electroerosión por penetración reside en que la forma de la herramienta no influye en el resultado obtenido, ya que en este caso no se lleva a cabo el copiado de la forma del electrodo, sino el corte de la pieza. Para ello, se emplea como herramienta de corte un hilo que al ir desplazándose efectúa el corte de la pieza.

En este proceso, el electrodo de grafito se sustituye por un **hilo consumible**, **figura 2.6.** Cargado eléctricamente y **controlado por CNC**, capaz de efectuar cortes muy finos e intrincados.

El principio de funcionamiento del sistema por hilo es el mismo que el tipo de penetración, ya que emplea una serie de descargas de corriente continua que forman chispas entre el hilo y la pieza de trabajo, ambos en contacto con el fluido dieléctrico. En algunos casos, el hilo y la pieza se sumergen totalmente en el dieléctrico, aunque esto puede provocar corrosión electrolítica en algunos materiales.

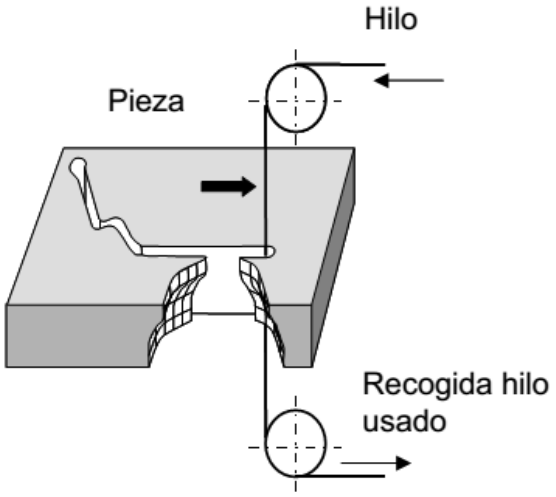


Figura 2.6. Formación de la entalla en electroerosión por hilo. Ejemplificación de cómo el hilo realiza el trazo para cortar la figura de la pieza **(De maquinas y herramientas, 2013)**.

La diferencia fundamental entre la **electroerosión por hilo** y la **electroerosión por penetración** es que la forma del electrodo no influye directamente en la forma de la pieza a obtener, puesto que lo único que se pretende es realizar un **corte en la pieza y no obtener una copia** con la forma del electrodo, esto se puede ver en la **figura 2.7**.

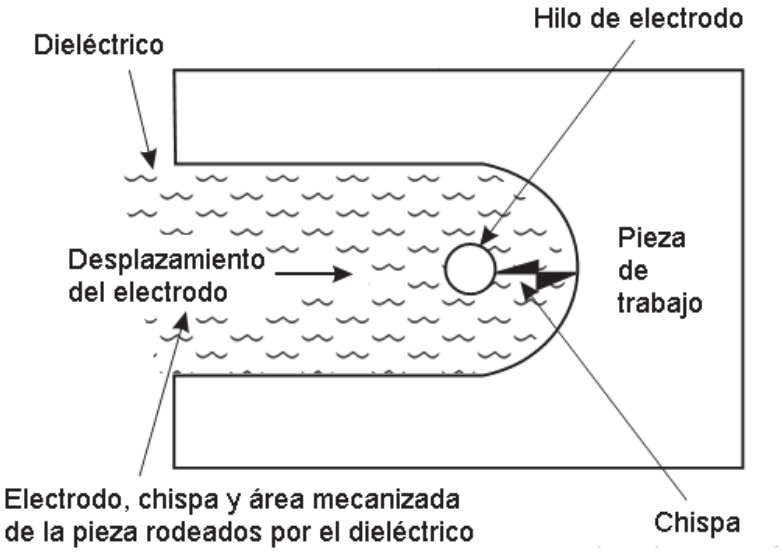


Figura 2.7. Detalle electroerosión por hilo. Ilustrando la forma del desplazamiento del electrodo en la pieza de trabajo **(De maquinas y herramientas, 2013)**.

El proceso es particularmente útil para cortar detalles finos en matrices pre-endurecidas de estampado y troquelado. Un mecanismo de alimentación continua suministra hilo nuevo, de manera que el desgaste del electrodo no es un problema. Los diámetros típicos de hilo van de 0.005 cm a 0.035 cm. Estos hilos producen una entalla un poco más grande que su

propio diámetro, por ejemplo, un hilo de 0.03 cm deja una entalla de 0.04 cm. Los hilos para electroerosión pueden funcionar durante largos períodos sin atención del operador.

Entre las características principales de la **electroerosión por hilo** se puede citar:

- Se generan **geometrías únicamente pasantes** en la pieza, en función de la trayectoria recorrida por el hilo, pudiendo realizarse **cortes rectos y cortes cónicos**.
- El fluido dieléctrico es agua desionizada.
- Dado que el hilo es muy delgado, la energía utilizada es limitada y las tasas de extracción son bajas.
- Velocidad de corte en aceros: hasta 500 mm 2/min.
- Capacidad de extracción de metal: aprox. 350 cm 3/hora.
- Rugosidad mínima en aceros: menos de 0.3 µm (cortes de repaso).
- Aplicaciones: conjuntos punzón-matriz, insertos para moldes, componentes electrónicos, como así también para medicina y relojería.

2.8.3. ELECTROEROSIÓN POR PERFORACIÓN O RECTIFICADO

Consiste en un tipo de mecanizado por electroerosión que se caracteriza por aplicar un movimiento de rotación al electrodo, de un modo similar a lo que sucede en los procesos de rectificado convencional, si bien en este caso no existe contacto entre la herramienta y la pieza. “Existen también otros procesos de corte por electroerosión como variantes de la electroerosión por hilo, en el cual la pieza gira y uno o varios electrodos actúan sobre ella para reducir su espesor hasta conseguir el corte de la pieza, si bien no son procesos habituales en la industria” (Crosby, 1986).

Está diseñado para la **perforación de orificios pequeños** (de entre 0,015 cm y 0,65 cm aprox.) pero **muy profundos**, con una relación de profundidad a diámetro de 30 a 1, o superior. Para ello, se emplean **electrodos rotatorios concéntricos** de hasta 30 cm de largo que giran a 100 rpm y perforan la pieza de trabajo.

Básicamente los electrodos realizan las mismas funciones que un taladro de columna, excepto que:

A) La extracción del material se realiza mediante descargas eléctricas sin contacto directo entre electrodo y pieza.

B) La dureza del material es irrelevante.

C) La precisión del orificio terminado es muy superior a lo que cualquier taladro podría producir.

La **figura 2.8** ilustra que a medida que se generan las descargas eléctricas, la rotación ayuda al lavado y provee un desgaste parejo del electrodo.

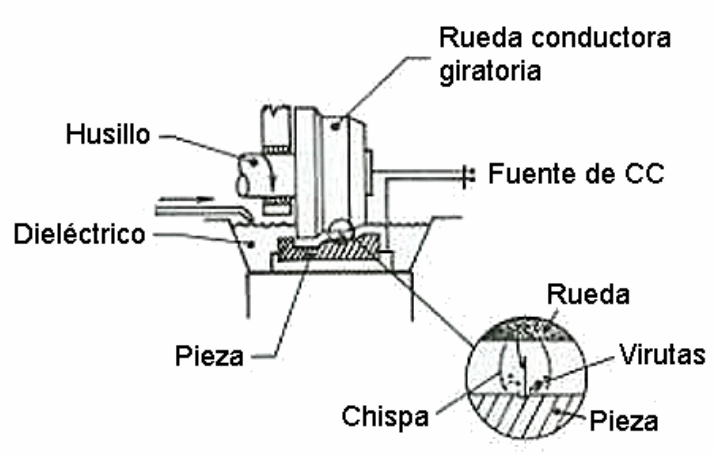


Figura 2.8. Detalle electroerosión por perforación.

Por el momento, el campo de aplicación de la **electroerosión por perforación** es muy reducido y su uso más común reside en perforar orificios para comenzar la **electroerosión por hilo** en materiales ya endurecidos, así como orificios muy pequeños y precisos para industrias como la de los equipos médicos y aeroespaciales.

2.9. ELECTRODOS

El material más utilizado para la construcción de electrodos es el cobre y sus aleaciones **figura 2.9**, aunque el empleo del grafito se está extendiendo muy rápidamente.

Figura 2.9. Ejemplos de las formas que pueden tener los electrodos de cobre.

2.10. SISTEMA DE SUJECIÓN.

La sujeción de piezas se realiza de forma similar a la fresadora, pero con amarres menos robustos. Se utilizan mordazas, platos divisores, aparatos divisores, bridas y palets para sujeción de las piezas.
Para la erosión con electrodos relativamente pequeños es habitual utilizar porta-electrodos modulares para el cambio rápido y automático, algunos porta-electrodos se pueden ver en la **figura 2.10**.

Figura 2.10. Placas de sujeción y porta-electrodos modulares. Se pueden ver combinaciones, desde montajes directos a montajes con elementos que facilitan la orientación del electrodo

2.11. TIPOS DE EROSIÓN.

Existen diversas formas de llevar a cabo la erosión del material tales como: erosión helicoidal, erosión cónica, erosión vectorial, etc. La **figura 2.11** expone de manera clara las erosiones del material.

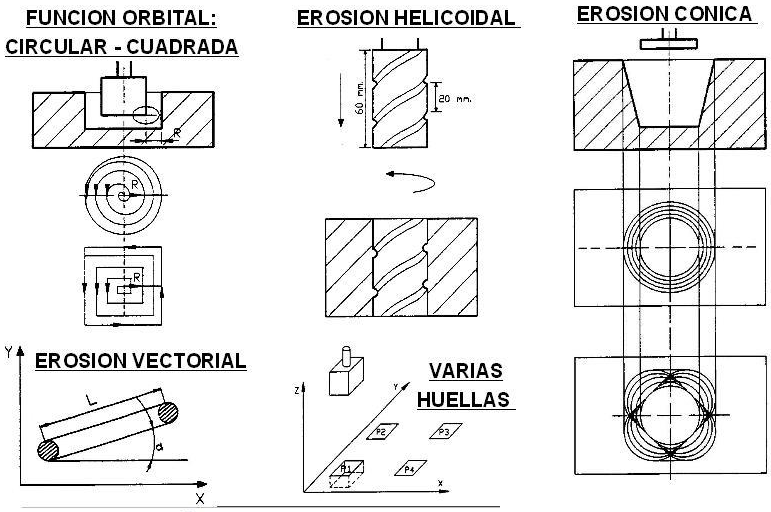


Figura 2.11. Formas de llevar a cabo la erosión del material

- **Erosión orbital**: consiste en desplazar la pieza en el plano X-Y realizando una trayectoria circular o cuadrada alrededor del electrodo el cual está quieto o va profundizando en el eje Z.
- **Erosión vectorial**: hace mover la mesa ejecutando interpolaciones lineales en cualquier dirección.
- **Erosión helicoidal**: combina los movimientos lineales de la máquina (XYZ) y el de giro (C).
- **Erosión cónica**: es una variación del radio de movimiento orbital sincronizado con el avance del eje Z.

- **Erosión de varias cavidades**: consiste en la realización de varias cavidades en diferentes posiciones, bien sea con un electrodo o con varios.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO.

3.1. CONOCIMIENTO DEL PROCESO DE LA ELECTROEROSIÓN POR PENETRACIÓN.

Antes de comenzar con los diseños o planeación como estructural del sistema de sujeción, fue necesario investigar a profundidad como es el proceso que realiza una máquina de electroerosión por penetración, así como acudir a **Plásticos Helios** para la observación completa de dicho proceso en una máquina de electroerosión por penetración marca CHMER modelo CM434Z. Además de apoyarme en muchos videos de cómo realizar el mantenimiento de varios holdings y así entender la función de cada componente del sistema.

3.2. SELECCIÓN DEL MATERIAL A UTILIZAR.

El segundo paso para la creación del sistema de sujeción es la selección del material, el cual será aplicado para la fabricación de las piezas y/o componentes del sistema.

Para esto se realiza una investigación de los materiales que pueden ser aplicados al sistema. Dicha investigación se realizó aplicando el “proceso analítico jerárquico”, el cual debe estar aprobado por el gerente general de la empresa, para avalar la aprobación en la aplicación del material a utilizar.

El **Proceso de Jerarquía Analítica** (PJA) (a veces también traducido como **Proceso Analítico Jerárquico**) es una técnica estructurada para tratar con decisiones complejas. En vez de prescribir la decisión correcta, el PJA ayuda a los tomadores de decisiones a encontrar la solución que mejor se ajusta a sus necesidades y a su comprensión del problema. El proceso en sí es un “procedimiento de comparación por pares de los criterios que parten de una matriz cuadrada en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de criterios a ponderar. Así se establece una matriz de comparación entre pares de criterios, comparando la importancia de cada uno de ellos con los demás, posterior se establece el vector principal, el cual establece los pesos (wj) que a su vez proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores” (Saaty, 1980).

Para la ponderación Saaty se explica en la **tabla 3.1** de valores y criterios.

Tabla 3.1. Ponderación Saaty. Valores correspondientes a los valores de los criterios A y B (Saaty, 1980).

Valor	Definición	Comentarios
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el criterio B

Tabla 3.1. Ponderación Saaty. Valores correspondientes a los valores de los criterios A y B (Saaty, 1980). (Continuación).

9	Importancia muy extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6,8	Valores intermedios entre los anteriores cuando es necesario matizar	
Recíprocos de los anteriores	Si el criterio A es de importancia grande frente al criterio B las notaciones serán las siguientes: ❖ Criterio A frente a criterio B 5/1 ❖ Criterio B frente a criterio A 1/5	

Tiene ventajas únicas, cuando los elementos importantes de la decisión son difíciles de cuantificar o comparar, o cuando la comunicación entre los miembros del equipo es impedida por sus diferentes especializaciones, terminologías, o perspectivas. Las situaciones donde el PJA puede ser aplicado incluyen:

- **Selección:** Para escoger una alternativa entre un conjunto de alternativas dadas, usualmente donde existen múltiples criterios de decisión involucrados
- **Clasificación:** Para poner un conjunto de alternativas en orden desde la más a la menos deseable
- **Priorización:** Para determinar las prioridades de un conjunto de alternativas, en lugar de seleccionar una solo o simplemente clasificarlas
- **Asignación de recursos:** Para repartir recursos entre un conjunto de alternativas
- **Benchmarking:** Para comparar los procesos en la organización propia con las de otra que es la mejor de las organizaciones del sector
- **Gestión de la calidad:** Para manejar los aspectos multidimensionales de la calidad y la mejora de la calidad

La aplicación del PJA a situaciones que requieren tomar decisiones complejas están alrededor de miles, y han producido resultados amplios en problemas que involucran planeación, asignación de recursos, establecimiento de prioridades, y selección de alternativas. Otras áreas han incluido proyecciones, gestión de la calidad total, reingeniería, realización de manual de funciones, y el Balanced Scorecard.

3.3. RESUMEN EJECUTIVO “SELECCIÓN DE MATERIAL”.

3.3.1. ALCANCE.

La selección del material para crear el sistema de sujeción debe contribuir en las características, propiedades físicas, propiedades mecánicas. Tales características y propiedades son: conductividad térmica, resistencia eléctrica, resistencia a la corrosión, dureza, elasticidad, resistencia a altas temperaturas.

3.3.2. OBJETIVO.

Definir el material a emplear al sistema de sujeción mediante la comparación de sus características, propiedades físicas, propiedades mecánicas y costo.

3.3.3. RESEÑA.

En la selección del material del acero inoxidable, debido a que es uno de los materiales más utilizados en el área de mecanizado. De los cuales se derivan los siguientes:

En la primera rama de los de los aceros inoxidables se encuentra el martensítico, el cual representa la serie 400. Sus principales características son: Su resistencia a la corrosión es muy similar en comparación al acero inoxidable ferrítico y baja en comparación a la de los aceros inoxidables dúplex y austenítico. Son magnéticos y debido al alto contenido de carbono de 1.2% es de pobre soldabilidad. La designación más sobresaliente de este material es la 420, el cual tiene más dureza que el resto de los aceros inoxidables de 235 HB. Pero su resistencia a la corrosión es muy escasa.

Sin embargo, el acero inoxidable dúplex tiene un alto contenido en cromo de 19-32% y menor contenido de níquel en comparación de los aceros inoxidables austeníticos, los cuales, los hacen más resistente a la corrosión, al igual que la mayoría de los aceros inoxidables son magnéticos, con excepción de los austeníticos. El más sobresaliente de este material es la designación ACX 920 el cual tiene una resistencia a la corrosión igual al del austenítico, es el material con menor dureza del resto de los aceros inoxidables.

El acero inoxidable austenítico y el ferrítico son los más utilizados, ya que constituyen un 95% de las aplicaciones de acero inoxidable. Pero cabe destacar, la familia más amplia es la del austenítico el cual contiene 3 subgrupos, las series 100, 200 y 300. Y de estos el más común es la serie 300. Es un material con muy bajo contenido en carbono, contiene más de un 7% de níquel y entre16-28% de cromo, lo que hace que sea resistente a la corrosión, es el mejor con características para soldabilidad que el resto de los aceros inoxidables, su dureza es mucho menor a la del martensítico, es que tiene mayor elasticidad y es el único de los aceros inoxidables que no es magnético a menos que se trabaje en frio. La designación más importante es la 304 de esta familia.

De los ferríticos se destaca el 434, siendo el material con mejor conductividad térmica, para que tenga una mejor resistencia a la corrosión se le incrementa el contenido de cromo y algunas aleaciones de molibdeno. Normalmente contiene un 17% de cromo. A diferencia del resto de los aceros inoxidables es que tiene menor elasticidad.

3.3.4. PROCESO DE JERARQUIZACIÓN ANALÍTICA (PJA).

Como se explicó anteriormente, la **tabla 3.2** se aplica para poder darle valores de importancia a los criterios a comparar para la selección del material.

Tabla 3.2. Valores de la ponderación Saaty.

Valores de juicios	
Juicios	**Puntuación**
Igual	1
Moderado	3
Fuerte	5

Muy fuerte	7
Extremo	9

Para la aplicación comparativa de los valores de Saaty, también se ocupa de los valores correspondientes a un coeficiente, **tabla 3.3.**

Tabla 3.3. Tabla de valores de coeficientes.

Valor / coeficiente	
0-49	Siendo 0 de menor importancia
50-79	Siendo 50 de importancia intermedia
80-100	Siendo 100 de mayor importancia

Los criterios a darles valor para poder ser comparados son los siguientes:

- Conductividad térmica.
- Resistividad eléctrica.
- Resistencia a la corrosión
- Dureza
- Soldabilidad
- Resistencia a las altas temperaturas
- Elasticidad.

Los criterios se implementan en tantas ocasiones sea necesaria para determinar el resultado deseado.

A estos criterios se les agregó un valor de coeficiente, este valor fue seleccionado por el practicante y el asesor externo en mutuo acuerdo. Este valor de coeficiente en caso de repetir el proceso, se siguen considerando los mismos valores.

El **peso específico** es el porcentual de un un total de coeficiente, por ejemplo en la **tabla 3.4** la conductividad térmica tiene un valor de coeficiente **85**, su peso específico se obtiene dividiendo **85/215**, que es el total de coeficiente y este se multiplica por **100**, que es sacar el porcentaje de **100**.

Este proceso se aplica para todos los criterios.

La numeración que tiene cada miembro de la familia de acero inoxidable es el valor otorgado por ponderación Saaty. Este valor al igual que el específico son otorgados por el practicante y el asesor externo en acuerdo mutuo.

Tabla 3.4. Comparación entre los miembros de la familia del acero inoxidable dúplex. Los aceros que más se acercan a los criterios son el 2001, 2304 y el 2507. Aquí se aprecia que el acero inoxidable más calificado para la aplicación es el 2507 cuyo valor está marcado en la casilla en color naranja.

Proceso Analítico Jerárquico (AHP)								
Características	Valor/Coeficiente	Peso específico %	Dúplex					
			2001	Calificación ponderada	2304	Calificación ponderada	2507	Calificación ponderada
Conductividad térmica	85	39.53	2	79.07	9	355.81	8	316.28
Resistividad eléctrica	75	34.88	2	69.77	2	69.77	2	69.77
Resistencia a la corrosión	20	9.30	9	83.72	2	18.60	9	83.72
Dureza	20	9.30	1	9.30	1	9.30	1	9.30
Soldabilidad	5	2.33	7	16.28	6	13.95	9	20.93
Resistencia a altas temperaturas	5	2.33	5	11.63	9	20.93	9	20.93
Elasticidad	5	2.33	5	11.63	9	20.93	9	20.93
Total	215	100		281.40		509.30		541.86

En la **tabla 3.5** como se había mencionado se repiten los criterios con sus respectivos valores, así mismo, el coeficiente y el peso específico. En este caso se integra la familia del acero inoxidable martensítico.

Tabla 3.5. Comparación entre las familias del acero inoxidable martensíticos. Los aceros que más se acercan a los criterios son AISI 403, AISI 410 y AISI 420. Aquí se aprecia que el acero inoxidable más calificado para la aplicación es el AISI 420 cuyo valor está marcado en la casilla en color naranja.

Proceso Analítico Jerárquico (AHP)								
Características	Valor/Coeficiente	Peso específico %	Martensíticos					
			AISI 403	Calificación ponderada	AISI 410	Calificación ponderada	AISI 420	Calificación ponderada
Conductividad térmica	85	39.53	2	79.07	3	118.60	4	158.14
Resistividad eléctrica	75	34.88	1	34.88	1	34.88	1	34.88
Resistencia a la corrosión	20	9.30	5	46.51	5	46.51	5	46.51
Dureza	20	9.30	2	18.60	4	37.21	9	83.72
Soldabilidad	5	2.33	2	4.65	4	9.30	3	6.98
Resistencia a altas temperaturas	5	2.33	3	6.98	3	6.98	3	6.98
Elasticidad	5	2.33	2	4.65	4	9.30	7	16.28
Total	215	100		195.35		262.79		353.49

La **tabla 3.6** muestra la comparativa entre los miembros de la familia del acero inoxidable ferrítico. Los miembros con mejor cercanía a los criterios fueron AISI 430, AISI 434 y AISI 446.

Tabla 3.6. Comparación entre las familias del acero inoxidable ferríticos. Aquí se aprecia que el acero inoxidable más calificado para la aplicación es el AISI 430 cuyo valor está marcado en la casilla en color naranja.

Proceso Analítico Jerárquico (AHP)								
Características	Valor/Coeficiente	Peso específico %	Ferríticos					
			AISI 430	Calificación ponderada	AISI 434	Calificación ponderada	AISI 446	Calificación ponderada
Conductividad térmica	85	39.53	9	355.81	8	316.28	3	118.60
Resistividad eléctrica	75	34.88	9	313.95	8	279.07	3	104.65
Resistencia a la corrosión	20	9.30	7	65.12	5	46.51	3	27.91
Dureza	20	9.30	7	65.12	7	65.12	7	65.12
Soldabilidad	5	2.33	3	6.98	3	6.98	4	9.30
Resistencia a altas temperaturas	5	2.33	7	16.28	7	16.28	4	9.30
Elasticidad	5	2.33	8	18.60	8	18.60	5	11.63
Total	215	100		841.86		748.84		346.51

La **tabla 3.7** exhibe la comparativa entre los miembros de la familia del acero inoxidable austeníticos. Los miembros con mejor cercania a los criterios fueron AISI 303, AISI 304 y AISI 316.

Tabla 3.7. Comparación entre las familias del acero inoxidable austenítico. Aquí se aprecia que el acero inoxidable más calificado para la aplicación es el AISI 304 cuyo valor está marcado en la casilla en color naranja.

Proceso Analítico Jerárquico (AHP)								
Características	Valor/Coeficiente	Peso específico %	Austeníticos					
			AISI 303	Calificación ponderada	AISI 304	Calificación ponderada	AISI 316	Calificación ponderada
Conductividad térmica	85	39.53	8	316.28	9	355.81	9	355.81
Resistividad eléctrica	75	34.88	8	279.07	8	279.07	8	279.07
Resistencia a la corrosión	20	9.30	7	65.12	9	83.72	9	83.72
Dureza	20	9.30	9	83.72	7	65.12	5	46.51
Soldabilidad	5	2.33	8	18.60	9	20.93	8	18.60
Resistencia a altas temperaturas	5	2.33	9	20.93	9	20.93	9	20.93
Elasticidad	5	2.33	7	16.28	9	20.93	9	20.93
Total	215	100		800.00		846.51		825.58

Para la **tabla 3.8** se realizo un proceso analítico jerárquico (AHP) para los aceros inoxidables dúplex, martensíticos, ferrítocos y austeníticos. Esto para poder reducir el rango en material más factible para la aplicación entre las familias de aceros inoxidables.

Tabla 3.8. Comparacion de los aceros inoxidables dúplex, martensíticos, ferríticos y austeníticos. En este caso los aceros austeníticos obtuvieron una mejor ponderación, este se puede apreciar con la casilla en color naranja.

Proceso Analítico Jerárquico (AHP)										
Características	Valor/Coeficiente	Peso específico %	Dúplex	Calificación ponderada	Martensíticos	Calificación ponderada	Ferríticos	Calificación ponderada	Austeníticos	Calificación ponderada
Conductividad térmica	85	39.53	2	79.07	4	158.14	9	355.81	8	316.28
Resistividad eléctrica	75	34.88	2	69.77	1	34.88	8	279.07	9	313.95
Resistencia a la corrosión	20	9.30	9	83.72	4	37.21	5	46.51	7	65.12
Dureza	20	9.30	2	18.60	9	83.72	7	65.12	4	37.21
Soldabilidad	5	2.33	7	16.28	3	6.98	2	4.65	9	20.93
Resistencia a altas temperaturas	5	2.33	5	11.63	3	6.98	3	6.98	9	20.93
Elasticidad	5	2.33	5	11.63	7	16.28	8	18.60	9	20.93
Total	215	100		290.70		344.19		776.74		795.35

En la **tabla 3.9** se realizó un proceso analítico jerárquico (AHP) para los miembros con mejor ponderación de las familias de aceros inoxidables dúplex, martensíticos, ferrítocos y austeníticos. De esta manera se tomó la decisión del material a utilizar para la aplicación del proyecto.

Tabla 3.9. Comparación entre los mejores miembros de cada familia de aceros inoxidables. Resaltando en color verde al AISI 316 de la familia austeníticos como el material a utilizar para la aplicación del proyecto.

Proceso Analítico Jerárquico (AHP)										
Características	Valor/Coeficiente	Peso específico %	Martensíticos		Dúplex		Austeníticos		Ferríticos	
			AISI 420	Calificación ponderada	2507	Calificación ponderada	AISI 316	Calificación ponderada	AISI 430	Calificación ponderada
Conductividad térmica	85	39.53	4	158.14	8	316.28	9	355.81	9	355.81
Resistividad eléctrica	75	34.88	1	34.88	2	69.77	9	313.95	9	313.95
Resistencia a la corrosión	20	9.30	5	46.51	9	83.72	9	83.72	7	65.12
Dureza	20	9.30	9	83.72	1	9.30	5	46.51	7	65.12
Soldabilidad	5	2.33	3	6.98	9	20.93	8	18.60	3	6.98
Resistencia a altas temperaturas	5	2.33	3	6.98	9	20.93	9	20.93	7	16.28
Elasticidad	5	2.33	7	16.28	9	20.93	9	20.93	8	18.60
Total	215	100		353.49		541.86		860.47		841.86

3.4. PROCESO DE SELECCIÓN.

Se aplica el método proceso analítico jerárquico también conocido como método AHP.

Para la asignación de valores están dos tablas, la tabla de valores de juicios y la tabla de valor/coeficiente. La primera asigna los valores a los materiales, dichos valores son del 1 al 9, siendo el 1 con el menor cumplimiento de la característica, y el 9 con el mayor cumplimiento de la característica. La segunda asigna los valores a las características, siendo el 0 con la menor importancia o prioridad, y el 100 con la mayor importancia o prioridad.

La **Tabla 3.8** enseña los principales aceros inoxidables y los más comunes en el uso del mecanizado. **Las tablas (3.4, 3.5, 3.6 y 3.7)** muestran cada familia de aceros inoxidables, y en cada una contiene a los 3 miembros más comunes y los más usados frecuentemente.

La **Tabla 3.9** presenta al miembro que cumple mejor con las características de cada familia de aceros inoxidables. En las tablas se realiza una comparación de los diferentes tipos de aceros inoxidables con respecto a las características más importantes.

3.5. CONCLUSIÓN.

En cada tabla resalta de color verde al acero que cumple con todas o la mayoría de las características.

Comparando los diferentes aceros inoxidables en propiedades físicas, propiedades mecánicas, usos comunes, se percibe que el Austenítico es mucho mejor en sus características y propiedades físicas que el resto de los aceros inoxidables.

Aun así, en el acero inoxidable austenítico, se percibe que no hay mucha diferencia entre la serie (miembro) 304 y el 316. Por lo que también puede ser un gran candidato para su uso. Mas, sin embargo, el 316 resalta más en algunas características.

Otro punto muy importante que considerar es que las compañías proveedoras de aceros inoxidables en la zona de Querétaro, normalmente no manejan otros aceros más que los austeníticos, debido a las aplicaciones que estos comúnmente tienen. Por ende, los aceros

inoxidables dúplex, ferríticos y martensíticos son más caros o solamente se pueden conseguir en el extranjero, por lo que el aplicar alguno de estos saldría muy caro su importación hacia el estado.

Con base a esto se ha definido la implementación y uso del Acero inoxidable AISI 316 al sistema de sujeción de electrodos y a los elementos y/o componentes que irán incluidos en el sistema.

3.6. PLANEACIÓN DEL DISEÑO.

Este punto es el más importante, ya que es la parte donde se le empieza a dar forma a la estructura (sistema de sujeción), esto sin perder de vista los objetivos, la idea principal de que pueda trabajar de manera óptica.

Para la definición de la geometría de las piezas a considerar, se ha tenido en cuenta una serie de requisitos:

- Emplear geometrías sencillas que condicionen mínimamente los resultados obtenidos.
- Que puedan ser colocadas cómodamente en la máquina de electroerosión.
- Que faciliten la observación de la superficie mecanizada, mediante las técnicas de medición de la rugosidad superficial y microscopía electrónica aplicadas.
- Minimizar el número de operaciones requeridas para la preparación de las piezas de partida.
- Minimizar el volumen de material necesario para limitar el coste de los ensayos.

3.7. CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

Antes de realizar los modelados en 3D en el software, se aplica la metodología TRIZ para poder definir el funcionamiento de que desempeñará cada elemento del sistema, es decir, si una pieza llevará a cabo diferentes acciones, que la misma realice diferentes funciones y ver si de esta manera eliminar la necesidad de utilizar algunas piezas.

3.7.1. METODOLOGÍA TRIZ.

3.7.1.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA.

Como primer punto se debe tener en cuenta que para esta metodología existen 5 niveles o grados de innovación. Los cuales son los siguientes:

- **Nivel 1:** Problemas rutinarios resueltos con métodos bien conocidos. No se necesitó alguna invención.
- **Nivel 2.:** Mejoras menores a un sistema existente, por métodos conocidos dentro de la industria.
- **Nivel 3:** Mejora fundamental a un sistema existente, por métodos conocidos fuera de la industria. Las contradicciones se resolvieron.
- **Nivel 4:** Una nueva generación que usa un nuevo principio para realizar las funciones primarias del sistema. Las soluciones se encontraron más en la ciencia que en la tecnología.

- **Nivel 5:** Un descubrimiento científico o la invención pionera de un nuevo sistema esencialmente.

Estos niveles se muestran de otra forma en la **tabla 3.10.**

Tabla 3.10. Niveles de inventiva, niveles aplicables con respecto al conocimiento del producto dentro y fuera de la compañía. Van desde una solución clara hasta un nuevo descubrimiento. (Ernst & Young, 2013).

Nivel	Grado de inventiva	% de soluciones	Fuente de conocimiento
1	Solución clara	32%	Personal
2	Mejora menor	45%	Empresa
3	Mejora mayor	18%	Industria
4	Nuevo concepto	4%	Otras industrias
5	Descubrimiento	1%	Todo

3.7.1.2. PASOS DE LA METODOLOGÍA TRIZ.

1. Problema particular o específico: Este problema específico se debe plantear en un problema genérico, es decir, se deben usar los 39 parámetros técnicos de TRIZ.
2. Problema genérico: Esta etapa también es conocida como la Matriz de Contradicciones, cuya función es mostrar como otros parámetros generales análogos que se plantearon han sido resueltos por medio de la historia del conocimiento.
3. Principios de inventiva: También conocida como soluciones estándares, aquí se aplican los 40 principios de inventiva, que serán reflejados en la matriz de contradicciones.
4. Solución específica: Finalmente, al usar las soluciones generales, se debe tratar de solucionar el problema específico.

La **figura 3.1** muestra el ciclo con los pasos de la metodología TRIZ.

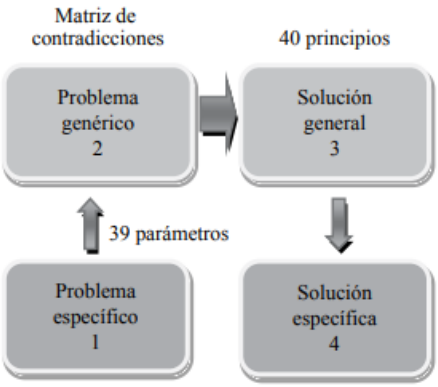


Figura 3.1. Esquema de solución de problemas usando TRIZ, dependiendo el problema o solución, se conocerá si aplicar parámetros, contradicciones o principios de inventiva **(Wilmer, 2008)**.

3.7.1.3. PARÁMETROS TÉCNICOS DE TRIZ.

Los 39 parámetros técnicos son fundamentales para poder llegar a las contradicciones, estos parámetros fungen como parámetros de mejora o parámetros de empeoramiento. Los 39 parámetros están representados en la **tabla 3.11**.

Tabla 3.11. Estos son los 39 parámetros técnicos de la metodología TRIZ, que van desde peso de objeto móvil o inmóvil hasta grado de automatización y/o productividad.

1. Peso de objeto móvil	**21.** Potencia
2. Peso de objeto inmóvil	**22.** Pérdida de energía
3. Longitud de objeto móvil	**23.** Pérdida de sustancia
4. Longitud de objeto inmóvil	**24.** Pérdida de información
5. Área de objeto móvil	**25.** Pérdida de tiempo
6. Área de objeto inmóvil	**26.** Cantidad de sustancia, cantidad de cosas
7. Volumen de objeto móvil	**27.** Confiabilidad
8. Volumen de objeto inmóvil	**28.** Exactitud de la medida
9. Velocidad	**29.** Precisión de la fabricación
10. Fuerza	**30.** El daño externo afecta el objeto
11. Tensión o presión	**31.** Efectos perjudiciales provocados por el objeto o sistema
12. Forma	**32.** Facilidad para la fabricación
13. Estabilidad de la composición del objeto	**33.** Facilidad de uso
14. Fortaleza	**34.** Facilidad de reparación
15. Duración de la acción de un objeto móvil	**35**. Adaptabilidad o flexibilidad
16. Duración de la acción de un objeto inmóvil	**36.** Complejidad del dispositivo
17. Temperatura	**37.** Dificultad de la detección y medición
18. Intensidad de la iluminación	**38.** Grado de automatización
19. Uso de la energía de un objeto móvil	**39.** Productividad
20. Uso de la energía de un objeto inmóvil	

3.7.1.4. PRINCIPIOS DE INVENTIVA.

Unas de las herramientas más conocidas para hacer cambios en un sistema con el fin de eliminar una contradicción técnica.

Gracias a los principios es posible sistematizar los procesos inventivos y de generación de innovaciones tecnológicas, en cualquier nivel de abstracción, es decir, de complejidad.

Los 40 principios son sugerencias genéricas para llevar a cabo una acción determinada, dentro de un sistema tecnológico, con objeto de eliminar alguna contradicción técnica.

La **tabla 3.12** presenta los 40 principios de inventiva.

Tabla 3.12. Estos 40 principios, combinados con los 39 parámetros son la base principal de la TRIZ para general una gran matriz de contradicción.

1. Segmentación	**21.** Pasar rápidamente
2. Extracción	**22.** Convertir lo negativo en positivo
3. Calidad local	**23.** Retroalimentación
4. Asimetría	**24.** Mediador
5. Combinar	**25.** Autoservicio
6. Universalidad	**26.** Copiar
7. Anidación	**27.** Objetos baratos o de vida corta
8. Contrapeso	**28.** Sustitución sistemas mecánicos
9. Reacción preliminar	**29.** Neumática e hidráulica
10. Acción preliminar	**30.** Membranas delgadas
11. Precaución previa	**31.** Materiales porosos
12. Equipotencialidad	**32.** Cambios de color
13. Inversión	**33.** Homogeneidad
14. Esfericidad o curvatura	**34.** Restauración y regeneración de partes
15. Dinámica	**35**. Transformación del estado físico y químico de un objeto
16. Acciones parciales	**36.** Transiciones de fase
17. Otra dimensión	**37.** Expansión térmica
18. Vibraciones mecánicas	**38.** Oxidantes fuertes
19. Acción periódica	**39.** Atmósferas inertes
20. Continuidad acción útil	**40.** Materiales compuestos

3.7.1.5. MATRIZ DE CONTRADICCIONES.

Una vez llegado a este punto, los 39 parámetros se deben comparar de una forma en que pueden funcionar como características que pueden empeorar al cumplir el objetivo o como características que pueden mejorar al cumplir el objetivo.

La **figura 3.2** expone un ejemplo de una matriz de contradicciones, aplicando los parámetros y principios.

PARÁMETRO QUE EMPEORA

PARÁMETRO QUE MEJORA

Características que empeoran al cumplir el objetivo

Características que mejoran al cumplir el objetivo

	1. Peso de objeto móvil	...	3. Longitud del objeto móvil	...	38. Grado de automatización	39. Productividad
	1		**3**		**38**	**39**
1. Peso de objeto móvil	+		15, 8, 29, 34		26, 35, 18, 19	35, 3, 24 37
...						
35. Adaptabilidad o flexibilidad	1, 6, 15, 8		**35, 1, 29, 2**		27, 34, 35	35, 28, 6, 37
38. Grado de automatización	28, 26, 18, 35		14, 13, 17 28		+	5, 12, 35, 26
...						
39. Productividad	35, 26, 24, 37		18, 4, 28, 38		5, 12, 35, 26	+

Principios de inventiva

Figura 3.2. Ejemplo de una selección de los principios de inventiva usando la matriz de contradicciones. En las columnas se agregan los parámetros de una manera de empeoramiento, en las filas se colocan nuevamente los parámetros, pero estas en maneras de mejoras. Las celdas representan los principios de inventiva, en un orden ascendente. Aunque la matriz tradicional, los números representan el principio de inventiva de mayor a menor relevancia.

3.7.2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA TRIZ AL SISTEMA DE SUJECIÓN DE ELECTRODOS.

El sistema de sujeción de electrodos se clasifica en un nivel de innovación 2, que el sistema ya existe, sin embargo, las mejoras que se realizarán son menores y aplicando el conocimiento las capacidades técnicas y de maquinaria que se encuentran al alcance de la compañía.

Generalmente, el sistema de sujeción de electrodos, como se indica son usados para electroerosiones por penetración, por hilo y por perforación. La sujeción de piezas se realiza de forma similar a la fresadora, pero con amarres menos robustos. En este caso se utilizan mordazas, platos divisores, palets, porta electrodos, cabezal, etc. El principal problema que tiene el sistema es que todas estas herramientas al ser insertadas o ensambladas para formar el sistema llevan algo de tiempo en ajuste y alineaciones de cada pieza, tiempo que puede reducirse y aprovecharse en más producción.

3.7.2.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA TÉCNICO.

Las máquinas de electroerosión por penetración, desde su invención, han sufrido cambios y mejoras, lo más reciente es la implementación del control numérico computarizado (CNC), más un punto en el que se trata de darle más importancia es la automatización del proceso, nos referimos desde la colocación del electrodo hasta que se electroerosiona el mismo. Por ellos nos enfocamos más en la mejora del sistema de sujeción.

3.7.2.2. MATRIZ DE CONTRADICCIONES.

Un punto muy importante antes de realizar la matriz de contradicciones es conocer qué tipo de contradicciones va a aplicar.

Tipos de contradicciones:

- **Técnicas:** Si algo mejora, otra cosa empeora.
- **Físicas:** Son aquellas en las que un objeto tiene requerimientos opuestos o contradictorios.
- **Genéricas:** Consiste en conocer lo que queremos, pero no cómo podemos obtenerlo.

El primer parámetro que se le puede dar una mejora es el **peso del objeto móvil,** por ende, la longitud del objeto móvil cambiaria, al igual que su área y volumen, estos parámetros se alteran en el principio 1 (segmentación), otros parámetros que cambiarían con este principio son confiabilidad, precisión de la fabricación, facilidad para la fabricación y complejidad del dispositivo. El parámetro que puede empeorar con más principios es la forma, en los principios 1, 2, 7 (segmentación, extracción, anidación), la estabilidad de la composición del objeto podría empeorar de igual manera, en los principios 27, 40 (objetos baratos o de corta vida, materiales compuestos), Por último, el parámetro de exactitud de la medida empeoraría con los principios 1, 2 (segmentación, extracción).

Al realizar esta mejora los parámetros peso del objeto inmóvil, longitud del objeto inmóvil, área del objeto inmóvil, volumen del objeto inmóvil, velocidad, fuerza, tensión, fortaleza, duración de la acción de un objeto móvil, duración de la acción de un objeto inmóvil, temperatura, intensidad de la iluminación, uso de la energía de un objeto móvil, potencia, pérdida de energía, pérdida de sustancia, pérdida de información, pérdida de tiempo, cantidad de sustancia, cantidad de cosas, efectos perjudiciales provocados por el objeto o sistema, facilidad de uso, facilidad de reparación, adaptabilidad o flexibilidad, dificultad de la detección y de medición, grado de automatización y productividad, no se ven afectados para empeorar o cambiar algo en el sistema, por lo tanto no se les asignan principios.

El segundo parámetro al que se le puede hacer una mejora es el de l**ongitud de objeto móvil,** al realizar esta mejora pueden empeorar los siguientes parámetros de acuerdo sus principios aplicados: Con el principio 1 (segmentación) son el peso del objeto móvil, área del objeto móvil, volumen del objeto móvil; es algo muy notorio, que, si se modifica la longitud del objeto móvil, el peso, el área y el volumen del objeto tienen que cambiar. Otros parámetros que empeoran con el principio 1 son: confiabilidad, precisión de la fabricación, facilidad de fabricación, facilidad de uso, complejidad del dispositivo. De igual manera el parámetro forma se ve afectado con los principios 1, 2, 7, 29 (segmentación, extracción, anidación, neumática e hidráulica), un parámetro más que igual se ve influido por este cambio es la estabilidad de la composición del objeto, con el principio 27, 40 (objetos baratos o de corta vida, materiales compuestos). Y el último parámetro a empeorar es la exactitud de la medida con los principios 1, 2, 7 (segmentación, extracción, anidación).

Cabe destacar que si se realiza esta mejora los parámetros peso del objeto inmóvil, longitud del objeto inmóvil, área del objeto inmóvil, volumen del objeto inmóvil, velocidad, fuerza, tensión, fortaleza, duración de la acción de un objeto móvil, duración de la acción de un objeto inmóvil, temperatura, intensidad de la iluminación, uso de la energía de un objeto móvil, potencia, pérdida de energía, pérdida de sustancia, pérdida de información, pérdida de

tiempo, cantidad de sustancia, cantidad de cosas, efectos perjudiciales provocados por el objeto o sistema, facilidad de uso, facilidad de reparación, adaptabilidad o flexibilidad, dificultad de la detección y de medición, grado de automatización y productividad, no se ven afectados para empeorar o cambiar algo en el sistema, por lo tanto, no se les asignan principios.

El tercer parámetro puede tener una mejora es el **área del objeto móvil.** De modo que el peso del objeto móvil, longitud del objeto móvil y volumen del objeto móvil aplicando el principio 1 (segmentación) son los principales parámetros que empeoraría al realizar esta mejora. Los otros parámetros que igual se perjudican con el principio 1 (segmentación) son: confiabilidad, precisión de la fabricación, facilidad de fabricación, facilidad de uso, complejidad del dispositivo. De igual modo el parámetro forma cambiaría con los principios 1, 2 (segmentación, extracción), lo mismo que el parámetro de estabilidad de la composición del objeto con los principios 27, 40 (objeto barato o de vida corta, materiales compuestos), y finalmente el parámetro exactitud de la medida con los principios 1, 2 (segmentación, extracción) se perjudica.

Los parámetros que no afectan o empeoran por medio de esta mejora son: peso del objeto inmóvil, longitud del objeto inmóvil, área del objeto inmóvil, volumen del objeto inmóvil, velocidad, fuerza, tensión, fortaleza, duración de la acción de un objeto móvil, duración de la acción de un objeto inmóvil, temperatura, intensidad de la iluminación, uso de la energía de un objeto móvil, potencia, pérdida de energía, pérdida de sustancia, pérdida de información, pérdida de tiempo, cantidad de sustancia, cantidad de cosas, efectos perjudiciales provocados por el objeto o sistema, facilidad de uso, facilidad de reparación, adaptabilidad o flexibilidad, dificultad de la detección y de medición, grado de automatización y productividad, por lo tanto, no se les asignan principios.

El cuarto parámetro al que se le puede realizar una mejora es el **volumen del objeto móvil.** De tal manera, que el peso del objeto móvil, longitud del objeto móvil y volumen del objeto móvil aplicando el principio 1 (segmentación) son los principales parámetros que empeoraría al realizar esta mejora. Los otros parámetros que igual se perjudican con el principio 1 (segmentación) son: confiabilidad, precisión de la fabricación, facilidad de fabricación, facilidad de uso, complejidad del dispositivo. Del mismo modo el parámetro forma empeora con los principios 1, 2 (segmentación, extracción), así como el parámetro estabilidad de la composición del objeto con los principios 27, 40 (objeto barato o de vida corta), por último, el parámetro que también se perjudica con esta mejora es exactitud de medida con los principios 1, 2 (segmentación, extracción).

Los parámetros que no afectan o empeoran por medio de esta mejora son: peso del objeto inmóvil, longitud del objeto inmóvil, área del objeto inmóvil, volumen del objeto inmóvil, velocidad, fuerza, tensión, fortaleza, duración de la acción de un objeto móvil, duración de la acción de un objeto inmóvil, temperatura, intensidad de la iluminación, uso de la energía de un objeto móvil, potencia, pérdida de energía, pérdida de sustancia, pérdida de información, pérdida de tiempo, cantidad de sustancia, cantidad de cosas, efectos perjudiciales provocados por el objeto o sistema, facilidad de uso, facilidad de reparación, adaptabilidad o flexibilidad, dificultad de la detección y de medición, grado de automatización y productividad, por lo tanto, no se les asignan principios.

El quinto parámetro al que se le realizaría una modificación es la **forma.** De modo que al realizar esta modificación los parámetros de peso del objeto móvil, longitud del objeto móvil, área del objeto móvil y volumen del objeto móvil, son los principales parámetros que se perjudican aplicándose los principios 1. 2. 7, 29 (segmentación, extracción, anidación, neumática e hidráulica), también el parámetro de estabilidad de la complejidad del objeto empeora con los principios 27, 32, 40 (objeto barato o de vida corta, cambios de color, materiales compuestos), asimismo el parámetro de confiabilidad cambia con los principios 1, 2, 3, 6 (segmentación, extracción, calidad local, universalidad), incluso el parámetro con el principio 1 que se perjudica con esta mejora es exactitud de medida. El parámetro de precisión de la fabricación con los principios 1, 2, 7, 29, 40 (segmentación, extracción, anidación, neumática e hidráulica, materiales compuestos) se perjudica con esta mejora. Un parámetro más que empeora es la facilidad de fabricación con los principios 1, 2, 7, 29, 32, 40 (segmentación, extracción, anidación, neumática e hidráulica, cambios de color, materiales compuestos), igualmente el parámetro de facilidad de uso con los principios 1, 2, 3, 6, 7 (segmentación, extracción, calidad local, universalidad, anidación), otros parámetros que empeoran son: facilidad de reparación con el principio 34 (Reparación y regeneración de partes), adaptabilidad o flexibilidad con los principios 1, 7 (segmentación, anidación), complejidad del dispositivo con los principios 1, 2, 3, 6, 7 (segmentación, extracción, calidad local, universalidad, anidación), y productividad con los principios 27, 40 (objeto barato o de vida corta, materiales compuestos).

De igual forma al mejor este parámetro, los parámetros peso del objeto inmóvil, longitud del objeto inmóvil, área del objeto inmóvil, volumen del objeto inmóvil, velocidad, fuerza, tensión, fortaleza, duración de la acción de un objeto móvil, duración de la acción de un objeto inmóvil, temperatura, intensidad de la iluminación, uso de la energía de un objeto móvil, potencia, pérdida de energía, pérdida de sustancia, pérdida de información, pérdida de tiempo, cantidad de sustancia, cantidad de cosas, el daño externo afecta el objeto, efectos perjudiciales provocados por el objeto o sistema, dificultad de la detección y de medición, y grado de automatización, no se ven perjudicados para empeorar, por lo tanto, no se les asignan principios.

El sexto parámetro que puede mejorarse es la **estabilidad de la composición del objeto.** De modo que, aplicando el principio 1 (segmentación) los parámetros que empeoran son: peso del objeto móvil, longitud del objeto móvil, área del objeto móvil, volumen del objeto móvil y complejidad del dispositivo. De igual manera, aplicando los principios 27, 40 (objeto barato o de vida corta, materiales compuestos) se ven afectados los parámetros de temperatura, pérdida de tiempo, confiabilidad y productividad. También aplicando el principio 40 (materiales compuestos), los parámetros de precisión de la fabricación y facilidad para la fabricación se empeoran. Un parámetro más que se puede empeorar con esta mejora es la exactitud de la medida con los principios 1, 40 (segmentación, materiales compuestos), otro afectado sería el daño externo afecta el objeto con el principio 27 (objeto barato o de vida corta). Y, por último, el parámetro facilidad de reparación se empeora con el principio 34 (restauración y regeneración de partes).

Por otra parte se percata que con esta mejora los parámetros peso del objeto inmóvil, longitud del objeto inmóvil, área del objeto inmóvil, volumen del objeto inmóvil, velocidad, fuerza, tensión, forma, fortaleza, duración de la acción de un objeto móvil, duración de la acción de un objeto inmóvil, intensidad de la iluminación, uso de la energía de un objeto

móvil, potencia, pérdida de sustancia, pérdida de información, pérdida de tiempo, cantidad de sustancia, cantidad de cosas, efectos perjudiciales provocados por el objeto o sistema, facilidad de uso, adaptabilidad o flexibilidad, dificultad de la detección y de medición, y grado de automatización no se ven perjudicados para empeorar, por lo tanto, no se les asignan principios.

El séptimo parámetro posible para mejorar es la **pérdida de tiempo**. Aplicando el principio 1 (segmentación) se empeoran los parámetros precisión de la fabricación, facilidad de fabricación y facilidad de uso. Otros parámetros que pueden empeorar con esta mejora son: forma con los principios 1, 29 (segmentación, neumática e hidráulica), confiabilidad con el principio 1, 3, 6 (segmentación, calidad local, universalidad), facilidad de reparación con el principio 34 (restauración y regeneración de parte), adaptabilidad o flexibilidad con los principios 1, 2 (segmentación, extracción) y complejidad del dispositivo con los principios 1, 3, 6, 7 (segmentación, calidad local, universalidad, anidación).

Los parámetros que no empeoran ya que no aplican al sistema son: peso del objeto móvil, peso del objeto inmóvil, longitud del objeto móvil, longitud del objeto inmóvil, área del objeto móvil, del objeto inmóvil, volumen del objeto móvil, volumen del objeto inmóvil, velocidad, fuerza, tensión, estabilidad de la composición del objeto, fortaleza, duración de la acción de un objeto móvil, duración de la acción de un objeto inmóvil, intensidad de la iluminación, uso de la energía de un objeto móvil, potencia, pérdida de energía, pérdida de sustancia, pérdida de información, pérdida de tiempo, cantidad de sustancia, cantidad de cosas, exactitud de medida, el daño externo afecta el objeto, efectos perjudiciales provocados por el objeto o sistema, dificultad de la detección y de medición, grado de automatización y producción, por lo tanto, no se les asignan principios.

El octavo parámetro para mejorarse es la confiabilidad. Utilizando el principio 1 (segmentación), los parámetros a empeorar son: peso del objeto móvil, longitud del objeto móvil, área del objeto móvil, volumen del objeto móvil y precisión de la fabricación. El parámetro forma y complejidad son perjudicados aplicando más principios, los cuales son 1, 2, 3, 6, 7, 27, 29 (segmentación, extracción, calidad local, universalidad, anidación, objeto barato o de vida corta), otros parámetros que empeoran con los principios 27, 40 (objeto barato o de vida corta, materiales compuestos) son estabilidad de la composición del objeto y temperatura, así como los parámetros exactitud de la medida y adaptabilidad y flexibilidad con los principios 1, 2, 7 (segmentación, extracción, anidación), al igual que los parámetros el daño externo afecta el objeto y facilidad para la fabricación con el principio 40 (materiales compuestos), otros parámetros a empeorar con respecto a esta mejora son: facilidad de uso con los principios 1, 3, 6, 7, 29 (segmentación, calidad local, universalidad, anidación, neumática e hidráulica), facilidad de reparación con el principio 34 (restauración y regeneración de partes), complejidad del dispositivo con los principios 1, 2, 3, 6, 7, 27, 29 (segmentación, extracción, calidad local, universalidad, anidación, objeto barato o de vida corta, neumática e hidráulica) y productividad con los parámetros 1, 3, 6 (segmentación, calidad local, universalidad).

Los parámetros que no aplican al sistema y por ende no empeoran son: parámetros peso del objeto inmóvil, longitud del objeto inmóvil, área del objeto inmóvil, volumen del objeto inmóvil, velocidad, fuerza, tensión, fortaleza, estabilidad de la composición del objeto, duración de la acción de un objeto móvil, duración de la acción de un objeto inmóvil, intensidad de la iluminación, uso de la energía de un objeto móvil, pérdida de sustancia, pérdida de

información, pérdida de tiempo, cantidad de sustancia, cantidad de cosas, efectos perjudiciales provocados por el objeto o sistema, dificultad de la detección y de medición, y grado de automatización, por lo tanto, no se les asignan principios.

El noveno parámetro que se mejora es **la exactitud de medida**. Aplicando el principio 1 (segmentación) los parámetros a empeorar son: peso del objeto móvil, longitud del objeto móvil, área del objeto móvil y volumen del objeto móvil. Los otros parámetros que empeoran ante esta mejora son: forma con los principios 1, 2, 7 (segmentación, extracción, anidación), estabilidad de la composición del objeto con los principios 27, 40 (objeto barato o de vida corta), facilidad de reparación con el principio 34 (restauración y regeneración de partes), adaptabilidad y flexibilidad con los principios 1, 7 (segmentación, anidación) y complejidad del dispositivo con los principios 1, 7, 29 (segmentación, anidación, neumática e hidráulica).

Al realizar esta mejora los parámetros peso del objeto inmóvil, longitud del objeto inmóvil, área del objeto inmóvil, volumen del objeto inmóvil, velocidad, fuerza, tensión, fortaleza, duración de la acción de un objeto móvil, duración de la acción de un objeto inmóvil, temperatura, intensidad de la iluminación, uso de la energía de un objeto móvil, potencia, pérdida de energía, pérdida de sustancia, pérdida de información, pérdida de tiempo, cantidad de sustancia, cantidad de cosas, confiabilidad, precisión de la fabricación, efectos perjudiciales provocados por el objeto o sistema, facilidad de uso, facilidad de reparación, dificultad de la detección y de medición, grado de automatización y productividad, no se ven afectados para empeorar o cambiar algo en el sistema, por lo tanto no se les asignan principios.

En la décima mejora de parámetros, dos parámetros tienen los mismos parámetros de empeoramiento. Estos parámetros coincidentes son la **precisión de la fabricación y facilidad de fabricación**. Aplicando los principios 27, 40 (objeto barato o de vida corta, materiales compuestos) los parámetros que empeoran son estabilidad de la composición del objeto, temperatura, pérdida de energía y productividad. Así como con el principio 1 (segmentación) son el daño externo afecta el objeto, facilidad de uso, adaptabilidad o flexibilidad y complejidad del dispositivo. Otros a empeorar son confiabilidad con los principios 1, 7 (segmentación, anidación), exactitud de medida con los principios 1, 7, 29 (segmentación, anidación, neumática e hidráulica) y facilidad de reparación con el principio 34 (restauración y regeneración de partes).

Al igual que otras mejoras, en esta también existen parámetros que no se aplican al sistema, por lo que no pueden empeorar ni mejorar. Dichos parámetros son peso del objeto móvil, peso del objeto inmóvil, longitud del objeto móvil, longitud del objeto inmóvil, área del objeto móvil, del objeto inmóvil, volumen del objeto móvil, volumen del objeto inmóvil, velocidad, fuerza, tensión, forma, fortaleza, duración de la acción de un objeto móvil, duración de la acción de un objeto inmóvil, intensidad de la iluminación, uso de la energía de un objeto móvil, potencia, pérdida de sustancia, pérdida de información, pérdida de tiempo, cantidad de sustancia, cantidad de cosas, el daño externo afecta el objeto, efectos perjudiciales provocados por el objeto o sistema, dificultad de la detección y de medición y grado de automatización, por lo tanto, no se les asignan principios.

El décimo primer parámetro con mejora es **facilidad de uso.** Realizando esta mejora y mediante el principio 1 (segmentación), los parámetros a empeorar son: confiabilidad, exactitud de medida, facilidad para la fabricación, adaptabilidad o flexibilidad y complejidad

del dispositivo. Otro parámetro que podría empeorar es facilidad de reparación con el principio 34 (restauración y regeneración de partes), y, por último, el parámetro que igual sufre un empeoramiento es forma con los principios 1, 3, 6, 7, 29 (segmentación, calidad local, universalidad, anidación, neumática e hidráulica).

Los parámetros que no se ven afectados para empeorar son: peso del objeto móvil, peso del objeto inmóvil, longitud del objeto móvil, longitud del objeto inmóvil, área del objeto móvil, del objeto inmóvil, volumen del objeto móvil, volumen del objeto inmóvil, velocidad, fuerza, tensión, estabilidad de la composición del objeto, fortaleza, duración de la acción de un objeto móvil, duración de la acción de un objeto inmóvil, intensidad de la iluminación, uso de la energía de un objeto móvil, potencia, pérdida de sustancia, pérdida de información, pérdida de tiempo, cantidad de sustancia, cantidad de cosas, precisión de la fabricación, el daño externo afecta el objeto, efectos perjudiciales provocados por el objeto o sistema, dificultad de la detección y de medición, grado de automatización, y productividad, por lo tanto, no se les asignan principios.

El décimo segundo parámetro para mejorarse es la **facilidad de reparación.** Haciendo uso del principio 1 (segmentación), los parámetros que empeoran son: pérdida de tiempo, confiabilidad y facilidad de uso. Y el parámetro que también sufre un empeoramiento es el daño externo afecta el objeto con el principio 34 (restauración y regeneración de partes).

De igual manera, realizando esta mejora, existen parámetros que no aplican al sistema, por lo que no sufren algún empeoramiento, los cuales son: peso del objeto móvil, peso del objeto inmóvil, longitud del objeto móvil, longitud del objeto inmóvil, área del objeto móvil, del objeto inmóvil, volumen del objeto móvil, volumen del objeto inmóvil, velocidad, fuerza, tensión, forma, estabilidad de la composición del objeto, fortaleza, duración de la acción de un objeto móvil, duración de la acción de un objeto inmóvil, temperatura, intensidad de la iluminación, uso de la energía de un objeto móvil, potencia, pérdida de energía, pérdida de sustancia, pérdida de información, cantidad de sustancia, cantidad de cosas, exactitud de medida, precisión de la fabricación, adaptabilidad o flexibilidad, complejidad del dispositivo, efectos perjudiciales provocados por el objeto o sistema, dificultad de la detección y de medición, grado de automatización, y productividad, por lo tanto, no se les asignan principios.

El décimo tercer parámetro con mejora es **adaptabilidad o flexibilidad.** De igual manera al aplicar el principio 1 (segmentación), los parámetros forma, pérdida de tiempo, precisión de fabricación, facilidad de la fabricación y complejidad del dispositivo, son los parámetros que empeoran ante esta mejora.

Realizando esta mejora los parámetros que no empeoran al mejorar el parámetro de adaptabilidad o flexibilidad son los siguientes: peso del objeto móvil, peso del objeto inmóvil, longitud del objeto móvil, longitud del objeto inmóvil, área del objeto móvil, del objeto inmóvil, volumen del objeto móvil, volumen del objeto inmóvil, velocidad, fuerza, tensión, estabilidad de la composición del objeto, fortaleza, duración de la acción de un objeto móvil, duración de la acción de un objeto inmóvil, temperatura, intensidad de la iluminación, uso de la energía de un objeto móvil, potencia, pérdida de energía, pérdida de sustancia, pérdida de información, cantidad de sustancia, cantidad de cosas, confiabilidad, exactitud de medida, el daño externo afecta al objeto, efectos perjudiciales provocados por el objeto o sistema, facilidad de uso, facilidad de reparación, dificultad de la detección y de medición, grado de automatización, y productividad, por lo tanto, no se les asignan principios.

El décimo cuarto parámetro al que se le puede realizar una mejora es la **complejidad del dispositivo.** Los parámetros que empeoran al realizar esta mejora son: forma con los principios 1, 3, 6, 7, 27, 29, 40 (segmentación, calidad local, uniformidad, anidación, objeto barato o de vida corta, neumática e hidráulica, materiales compuestos), estabilidad de la composición del objeto con los principios 27, 40 (objeto barato o de corta vida, materiales compuestos), pérdida de tiempo con los principios 3, 6 (calidad local, universalidad), y aplicando el principio 1 (segmentación), confiabilidad y precisión de fabricación.

Los parámetros que no aplicaron ante esta mejora ni al sistema son: peso del objeto móvil, peso del objeto inmóvil, longitud del objeto móvil, longitud del objeto inmóvil, área del objeto móvil, del objeto inmóvil, volumen del objeto móvil, volumen del objeto inmóvil, velocidad, fuerza, tensión, fortaleza, duración de la acción de un objeto móvil, duración de la acción de un objeto inmóvil, temperatura, intensidad de la iluminación, uso de la energía de un objeto móvil, potencia, pérdida de energía, pérdida de sustancia, pérdida de información, cantidad de sustancia, cantidad de cosas, exactitud de medida, precisión de fabricación, efectos perjudiciales provocados por el objeto o sistema, facilidad de fabricación, facilidad de uso, facilidad de reparación, dificultad de la detección y de medición, grado de automatización, y productividad, por lo tanto, no se les asignan principios.

El décimo quinto parámetro y el último de la matriz de contradicciones es **productividad.** De modo de que realizando esta mejora, los parámetros que empeoran son los siguientes: forma con los principios 1, 3, 6, 7, 29 (segmentación, calidad local, universalidad, anidación, neumática e hidráulica), aplicando el principio 1 (segmentación) son pérdida de tiempo y adaptabilidad o flexibilidad, aplicando los principios 1, 3, 6 (segmentación, calidad local, universalidad) son confiabilidad y facilidad de reparación, y aplicando los principios 1, 7 (segmentación, anidación) son precisión de fabricación y facilidad de fabricación.

Los parámetros que no se ven afectados ante esta mejora son: peso del objeto móvil, peso del objeto inmóvil, longitud del objeto móvil, longitud del objeto inmóvil, área del objeto móvil, del objeto inmóvil, volumen del objeto móvil, volumen del objeto inmóvil, velocidad, fuerza, tensión, estabilidad de la composición del objeto, fortaleza, duración de la acción de un objeto móvil, duración de la acción de un objeto inmóvil, temperatura, intensidad de la iluminación, uso de la energía de un objeto móvil, potencia, pérdida de energía, pérdida de sustancia, pérdida de información, cantidad de sustancia, cantidad de cosas, exactitud de medida, el daño externo afecta al objeto, efectos perjudiciales provocados por el objeto o sistema, facilidad de uso, dificultad de la detección y de medición, y grado de automatización, por lo tanto, no se les asignan principios.

NOTA: Para mayor facilidad y mejor entendimiento del lector, en cada parámetro que se pueda modificar en comparación con el que empeora, hay parámetros que no aplican al sistema para una mejora, por lo que se les asigna el símbolo (-) para representarlos, y en este caso no son mencionados (para más información véase la matriz de contradicciones completa). Para ello se realizó una simplificación de la matriz de contradicciones, **figura 3.3,** aplicando solamente los parámetros con las posibles mejoras y los parámetros que pueden empeorar.

		Caracteristicas que empeoran al cumplir el objetivo																		
Caracteristicas que mejoran al cumplir el objetivo.		Peso de objeto móvil	Longitud del objeto móvil	Área del objeto móvil	Volumen del objeto móvil	Forma	Estabilidad de la composición del objeto	Temperatura	Pérdida de energía	Pérdida de tiempo	Confiabilidad	Exactitud de la medida	Precisión de la fabricación	El daño externo afecta el objeto	Facilidad para la fabricación	Facilidad de uso	Facilidad de reparación	Adaptabilidad o flexibilidad	Complejidad del dispositivo	Productividad
		1	3	5	7	12	13	17	22		27	28	29	30	32	33	34	35	36	39
1	Peso de objeto móvil	+	1	1	1	1. 2. 7	27, 40	-	-	-	1	1. 2	1	-	1	1	-	-	1	-
3	Longitud de objeto móvil	1	+	1	1	1, 2, 7, 29	27, 40	-	-	-	1	1. 2, 7	1	-	1	1	-	-	1	-
5	Área del objeto móvil	1	1	+	1	1, 2	27, 40	-	-	-	1	1, 2	1	-	1	1	-	-	1	-
7	Volumen de objeto móvil	1	1	1	+	1, 2, 7	27, 40	-	-	-	1	1, 2	1	-	1	1	-	-	1	-
12	Forma	1, 2, 7, 29	1, 2, 7, 29	1, 2, 7, 29	1, 2, 7, 29	+	27, 32, 40	-	-	-	1, 2, 3, 6	1	1, 2, 7, 29, 40	-	1, 2, 7, 29, 32, 40	1, 2, 3, 6, 7	34	1, 7	1, 2, 3, 6, 7	27, 40
13	Estabilidad de la composición del objeto	1	1	1	1	-	+	27, 40	27, 40	-	27, 40	1, 40	40	27	40	-	34	-	1	27, 40
25	Pérdida de tiempo	-	-	-	-	1, 29	-	-	-	-	1, 3, 6	-	1	-	1	1	34	1, 2	1, 3, 6, 7	-
27	Confiabilidad	1	1	1	1	1, 2, 3, 6, 7, 27, 29, 40	27, 40	27, 40	-	-	+	1, 2, 7	1	40	40	1, 3, 6, 7, 29	34	1, 2, 7	1, 2, 3, 6, 7, 27, 29, 40	1, 3, 6
28	Exactitud de la medida	1	1	1	1	1, 2, 7, 29	27, 40	-	-	-	-	+	-	-	-	-	34	1, 7	1, 7, 29	-
29	Precisión de la fabricación	-	-	-	-	-	27, 40	27, 40	27, 40	-	1, 7	1, 7, 29	+	1	1	1	34	1	1	27, 40
32	Facilidad para la fabricación	-	-	-	-	-	27, 40	27, 40	27, 40	-	1, 7	1, 7, 29	1	1	+	1	34	1	1	27, 40
33	Facilidad de uso	-	-	-	-	1, 3, 6, 7, 29	-	.	.	-	1	1	-	-	1	+	34	1	1	-
34	Facilidad de reparación	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	34	-	1	+	-	-	-
35	Adaptabilidad o flexibilidad	-	-	-	-	1	-	.	.	1	-	-	1	-	1	-	-	+	1	-
36	Complejidad del dispositivo	-	-	-	-	1. 3, 6, 7, 27, 29, 40	27, 40	-	-	3, 6	1	-	1	-	-	-	-	-	+	-
39	Productividad	-	-	-	-	1, 3. 6, 7, 29	-	-	-	1	1, 3, 6	-	1, 7	-	1, 7	-	1, 3, 6	1	1, 3, 6	+

Figura 3.3. Selección de los principios de inventiva usando la matriz de contradicciones.

3.7.2.3. CONCLUSIÓN.

Teniendo en cuenta que el proyecto entra en una categoría nivel 2 de innovación (mejoras menores a un sistema existente, por métodos conocidos dentro de la industria).

La aplicación de esta matriz de contradicciones más que nada es para reflejar que partes del sistema de sujeción de electrodos, son las que deben ser tomadas con más consideración. Pero su aplicación en el sistema mostrará las pautas para ir dando forma al sistema en cuestión del diseño.

Además, de obtener cada componente, y definir el funcionamiento que estos desempeñarán. Nos referimos a que, si una pieza llevará a cabo diferentes acciones, que la misma realice diferentes funciones y ver si de esta manera eliminar la necesidad de utilizar algunas piezas.

La ventaja de esta metodología es que reduce los recursos necesarios para generar una solución, genera parámetros que rompen con la inercia psicológica y el paradigma que limita el conocimiento y puede ser aplicado o insertado en cualquier proceso o sistema.

Una vez detectados claramente los problemas, además de conocer las necesidades. Se debe de tomar en cuenta la siguiente lista de comprobación para consideraciones de diseño:

PORTAPIEZA:

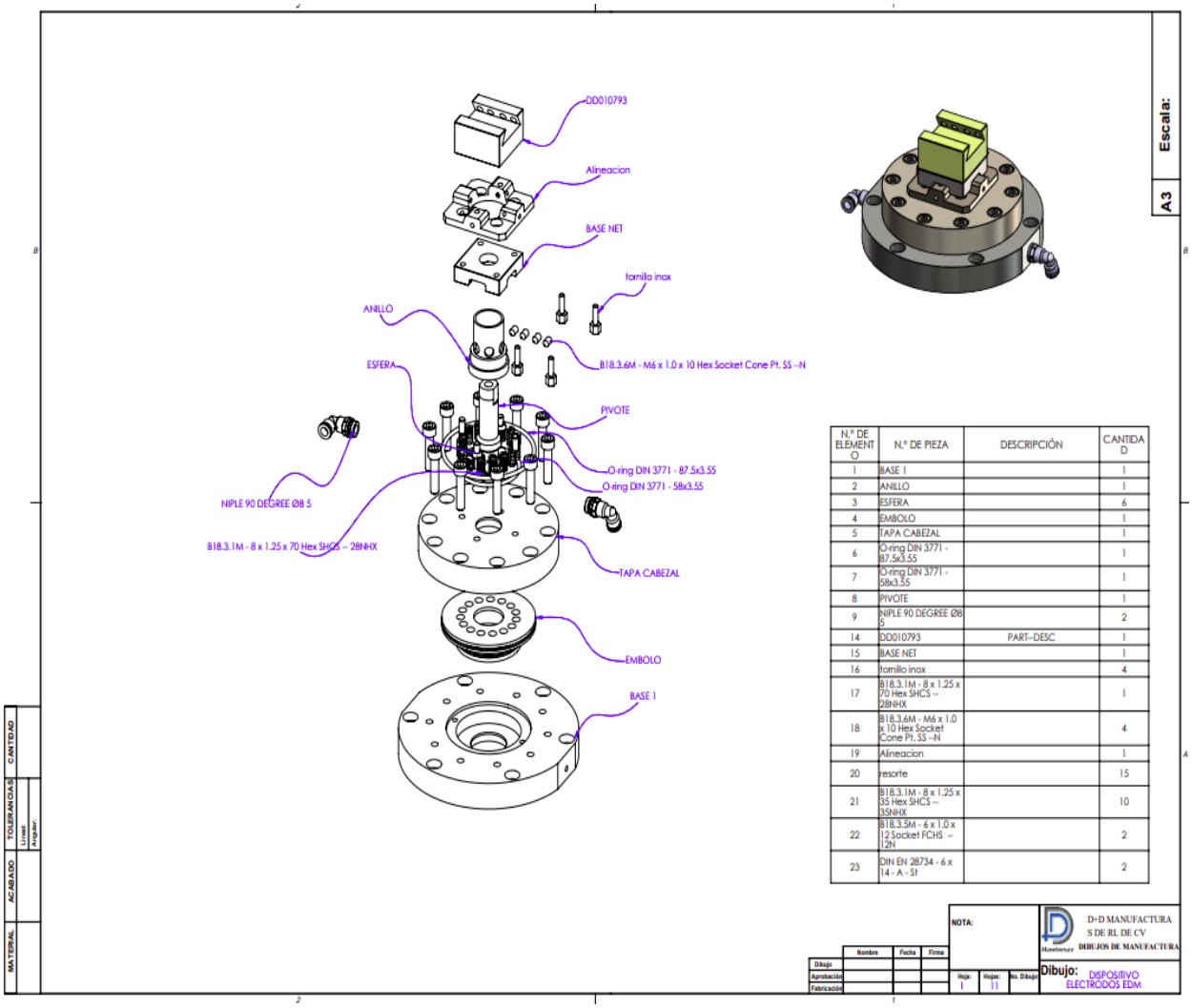
- Se clasifica (grande, pequeña).
- Forma (rectangular, cuadrada, cilíndrica, esférica, otro).
- Requerimientos de exactitud (tolerancias, límites en más y menos).
- Tipo de material (acero, acero inoxidable, aluminio, hierro, otros).
- Condición del material (rolado en frío. rolado en caliente, fundición, forjado, otros).
- Ubicación de puntos (superficies maquinadas, superficies remachadas, hoyos, ranuras, otros).
- Estabilidad de la ubicación (rígida, frágil).
- Sujeción de superficies (elaborados vs sin maquinar), apoyado sobre un soporte, evitando dañar la parte).
- Cantidad de producción (limitada con fabricación en serie. Uno en uno con producción periódica. producto con vida limitada. Proyectada con aumentos a futuro).
- Partes pendientes para diseñar según indicaciones o revisiones.

OPERACIONES:

- Tipos de operaciones (maquinado, asamblea, otros).
- Número de operaciones separadas (similares o diferentes, secuenciales o simultáneas).
- Secuencias (operaciones primarias, operaciones secundarias, tratamientos térmicos, acabados).

3.8. MODELACIÓN 3D EN SOFTWARE SOLIDWORKS.

Para la simulación de cada elemento que contendrá el sistema de sujeción de electrodos, se utilizó el software de SolidWorks, del cual se sacó el modelado en 3D de cada componente. En la **figura 3.4** se muestra el sistema de sujeción de manera explosionada mostrando cada nombre de los componente que lo integran.



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	BASE 1		1
2	ANILLO		1
3	ESFERA		6
4	EMBOLO		1
5	TAPA CABEZAL		1
6	O-ring DIN 3771 - 87.5x3.55		1
7	O-ring DIN 3771 - 58x3.55		1
8	PIVOTE		1
9	NIPLE 90 DEGREE Ø8 S		2
14	DD010793	PART-DESC	1
15	BASE NET		1
16	tornillo inox		4
17	B18.3.1M - 8 x 1.25 x 70 Hex SHCS - 28NHX		1
18	B18.3.6M - M6 x 1.0 x 10 Hex Socket Cone Pt. SS -N		4
19	Alineacion		1
20	resorte		15
21	B18.3.1M - 8 x 1.25 x 35 Hex SHCS - 35NHX		10
22	B18.3.5M - 6 x 1.0 x 12 Socket FCHS - 12N		2
23	DIN EN 28734 - 6 x 14 - A - St		2

Figura 3.4. Dibujo 2D del sistema de sujeción en vista explosionada.

3.8.1. ELEMENTOS DEL CABEZAL.

3.8.1.1. BASE.

La **figura 3.5** enseña un dibujo 2D de la pieza con nombre base 1. Esta pieza será fabricada con el material 316, en conjunto con el cabezal y el émbolo son el complemento para el sellado de esferas y resortes. Entre ellos llevan un total de 10 resortes y 6 esfera.

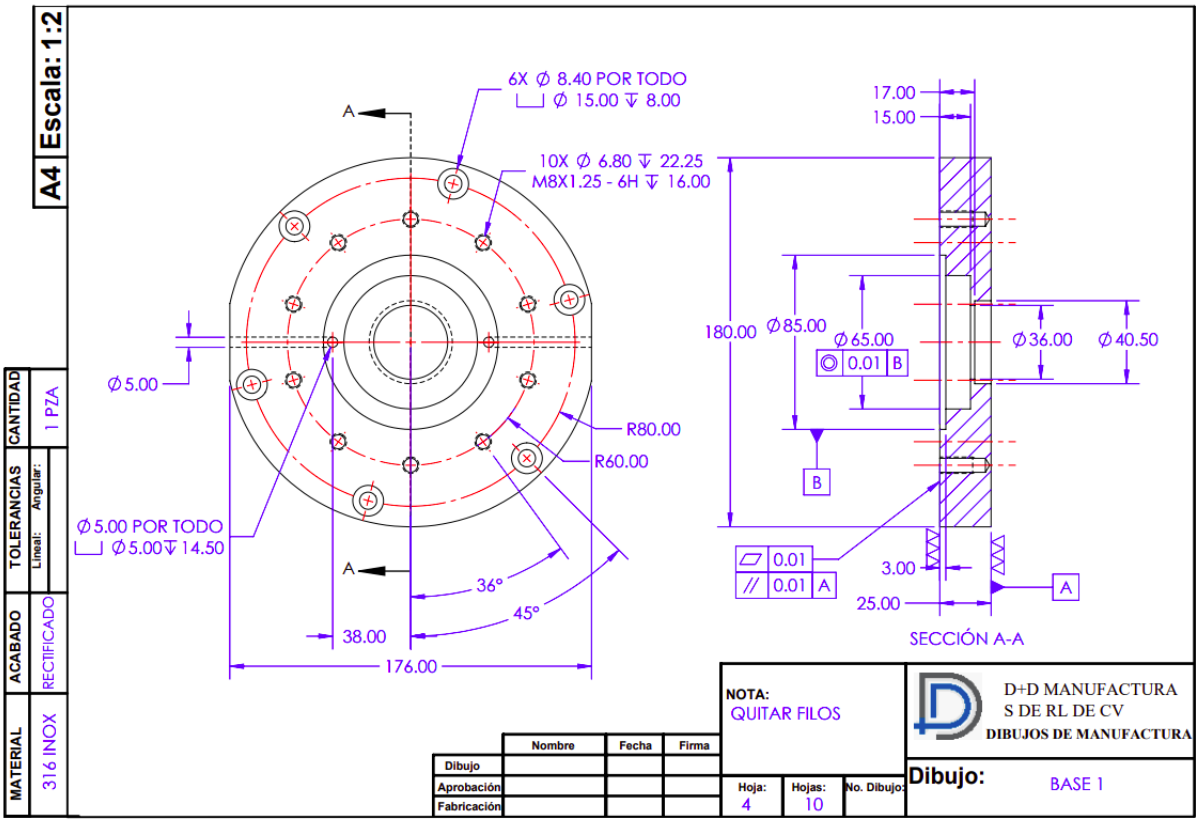


Figura 3.5. Dibujo 2D de la pieza base. Modelado de la pieza con sus dimensiones reales. Con una vista superior y una vista seccionada A-A. Lleva un acabado rectificado.

3.8.1.2. TAPA CABEZAL.

La **Figura 3.6** representa un dibujo 2D de la pieza con nombre tapa cabezal. Esta pieza se fabricará en material 316 inoxidable.

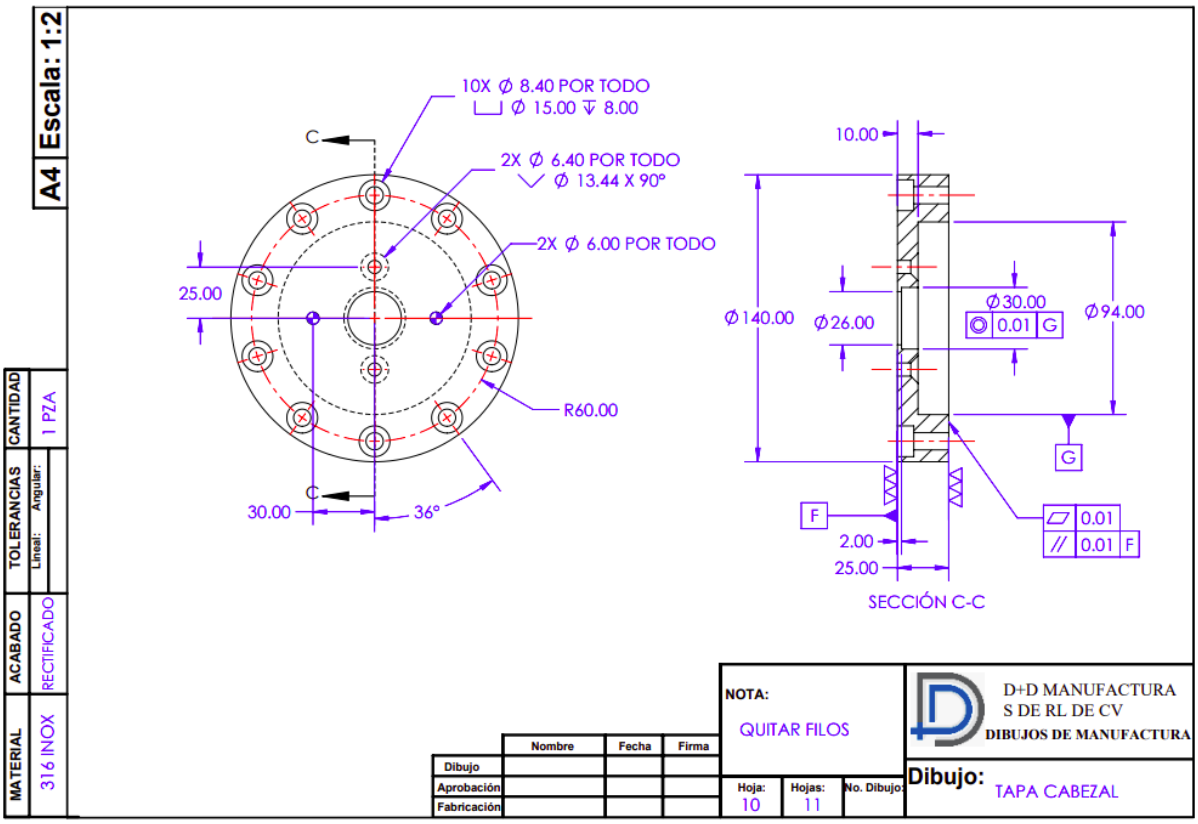


Figura 3.6. Dibujo 2D de la pieza tapa cabezal. Modelado de la pieza con sus dimensiones reales. Además, muestra las profundidades de las cajas para los tornillos de fijación y las zonas donde llevara rectificado. Lleva una sección C-C que muestra la estructura interna de la tapa.

3.8.1.3. EMBOLO.

El embolo es la pieza que realizara la retención de los o-ring, las esferas y los resortes. Es la pieza fundamental que trabajara para evitar la fuga de aire y realice el agarre de porta electrodos. En la **figura 3.7** se exhiben sus dimensiones reales.

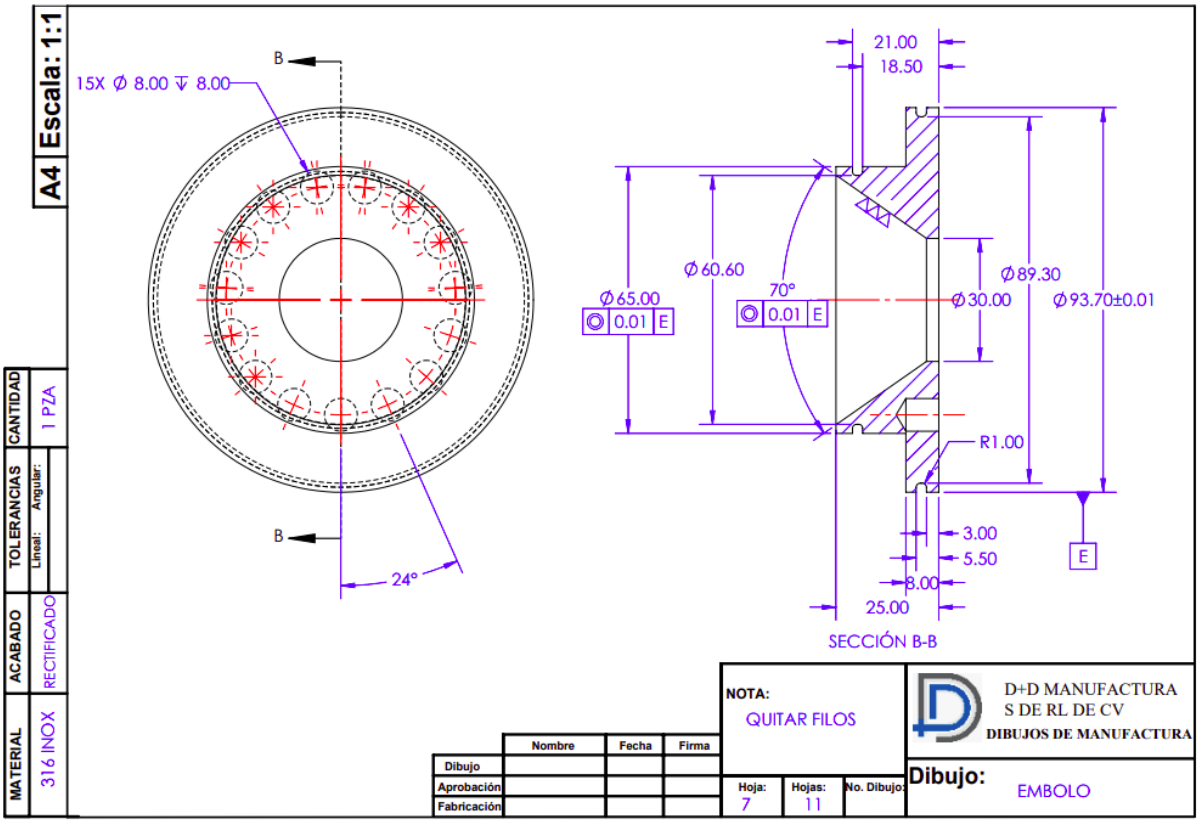


Figura 3.7. Dibujo 2D de la pieza embolo. Modelado de la pieza con sus dimensiones reales. Las ranuras que tiene en la parte superior e inferior son ranuras para colocar los o-rings. Esta pieza muestra una parte seccionada B-B del émbolo.

3.8.1.4. ANILLO.

Esta pieza retendrá las esferas, las cuales, con el anillo, sujetaran el pivote. En la **figura 3.8** se designan las dimensiones de la pieza. La característica principal del anillo es que externamente en las cavidades para las esferas lleva un chaflán de 5°, el cual, permite la entrada y salida de la esfera con suavidad.

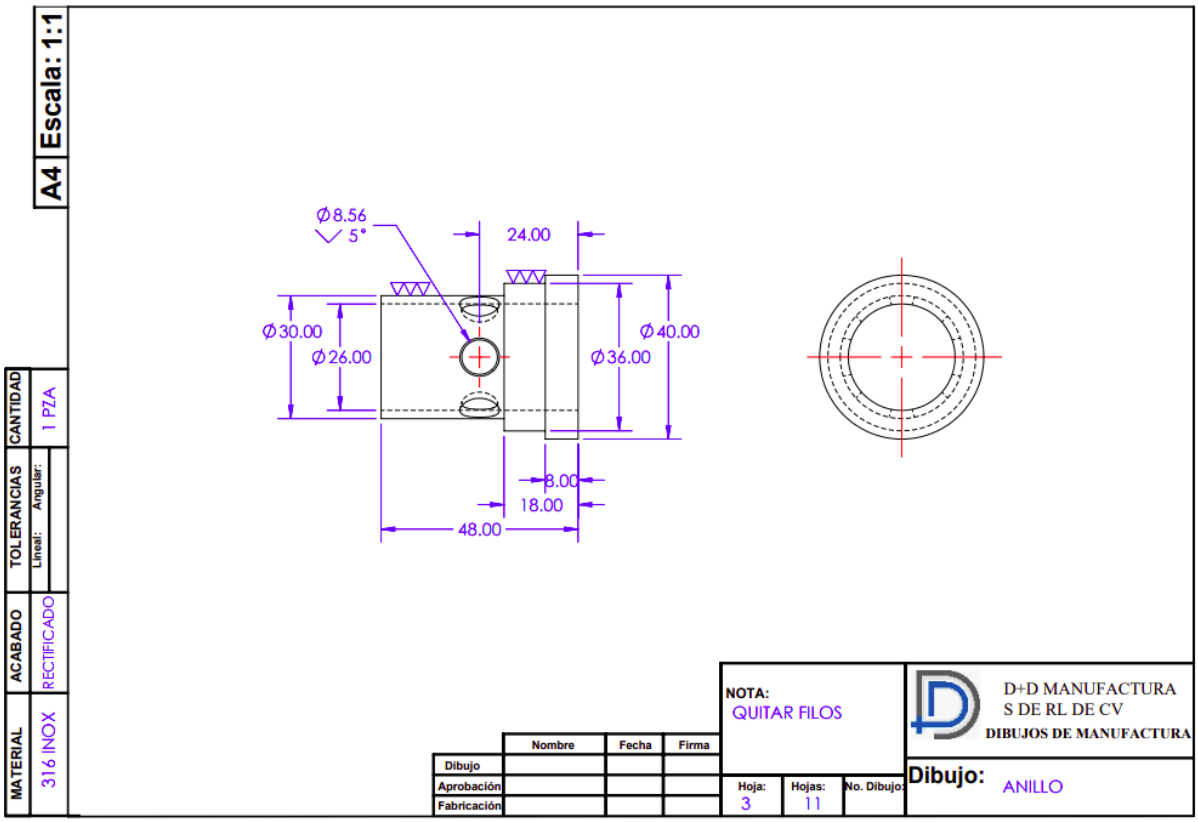


Figura 3.8. Dibujo 2D de la pieza anillo. Modelado de la pieza con sus dimensiones reales. Los orificios que se pueden apreciar en la imagen son los huecos donde se colocan las esferas para la sujeción del pivote.

3.8.1.5. RESORTE.

Este realizara la fuerza de presión negativa en las esferas. Esta pieza no se fabricará, ya que la fuerza necesaria y su longitud, son de medidas estándar, y no requieren de una fabricación especial. En la **figura 3.9** se indica la vista isométrica del resorte.

Figura 3.9. Vista isométrica del resorte. El resorte cuenta con un largo de 15.5 mm, un diámetro exterior de 7.5 mm y un diámetro interno de 4.5 mm, el espesor del resorte es de 1.5 mm.

3.8.1.6. ESFERA.

En la **figura 3.10** se ilustra una esfera cuya función es con el efecto del aire realiza la sujeción del sistema de centrado. Esta pieza no se fabricará, debido a que es una pieza estandarizada en el mercado, y no requieren de una fabricación especial.

Figura 3.10. Vista general de la esfera. La esfera tiene un diámetro de 3/8”, que en medidas métricas equivale a 9.525 mm, su acabado es en pulido. Se ocuparán la cantidad de 6 piezas para el funcionamiento del sistema de sujeción.

3.8.1.7. O-RINGS.

Estas piezas son las partes fundamentales de émbolo, ya que son retenedores del aire aplicado al cabezal **figura 3.11**. Sin estas piezas el cabezal en conjunto tendría perdidas de presión. Al igual que el resorte y la esfera, estas piezas son estándar, por lo que no requieren fabricación especial. En sí, contiene dos o-rings, el principal o-ring tiene un diámetro 87.5 mm por espesor de 3.55 mm. El segundo o-ring tiene un diámetro de 58 mm por un espesor de 3.55 mm.

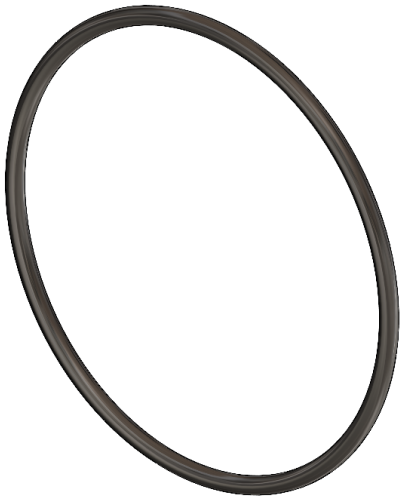


Figura 3.11. Vista isométrica de o-ring.

3.8.2. ENSAMBLE DEL CABEZAL.

La base, cabezal, embolo, anillo, resortes, esferas y o-rings. Son los elementos que conforman el cabezal del sistema de sujeción. En la **figura 3.12** se muestran las vistas del ensamble del cabezal.

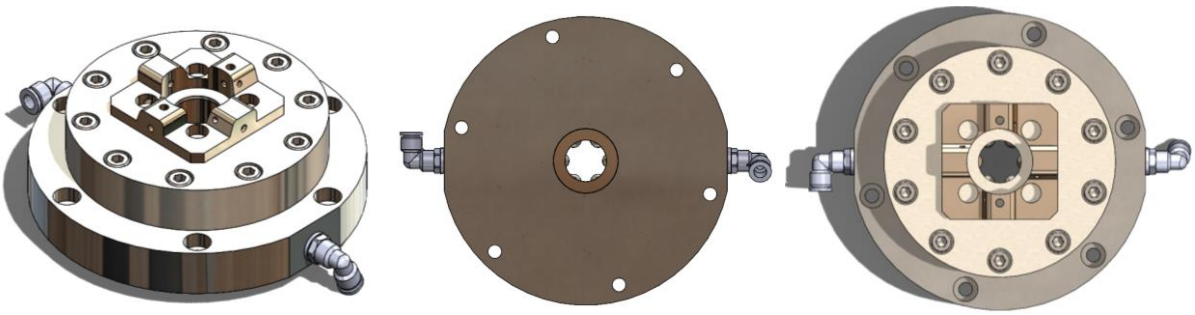


Figura 3.12. Vista isométrica, vista posterior y vista frontal del cabezal.

3.8.3. SISTEMA DE CENTRADO.

3.8.3.1. PIVOTE.

El pivote es la pieza de unió entre la pieza de centrado y el cabezal. Este lleva una fabricación especial de torneado. Debido a que sus pestañas de agarre son necesarias para colocarse en el anillo, **figura 3.13**.

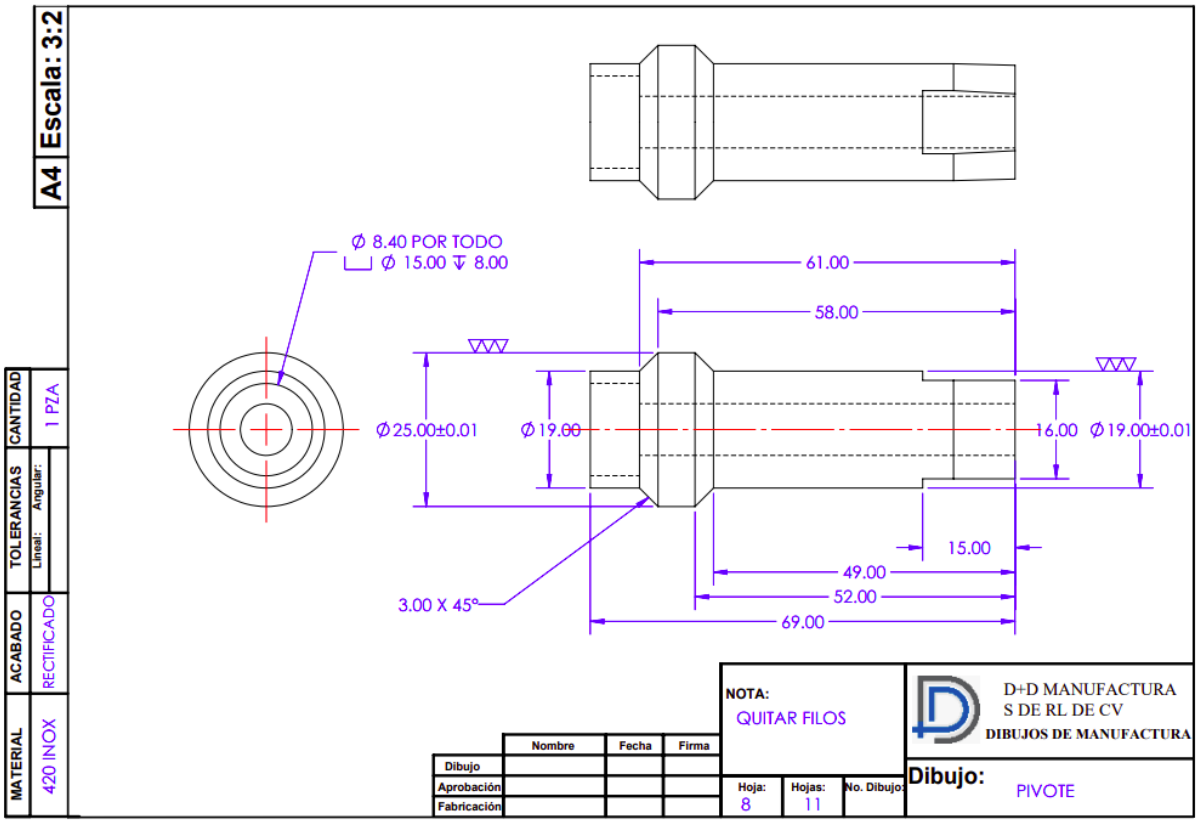


Figura 3.13. Dibujo 2D de la pieza pivote. Modelado de la pieza con sus dimensiones reales. Pieza de sujeción entre el anillo y la pieza de centrado. Este tiene una parte mas ancha, la cual tiene como función detener la salida de este del anillo al salir las esferas. Y un ángulo en la punta, el cual, siempre tendrá como función centrar la base net.

3.8.3.2. BASE DE CENTRADO.

La base de centrado con nombre base net en su dibujo 2D, es la pieza encargada de realizar, como su nombre indica centrar a los holdings con el cabezal, pero para que esta funcione, tiene que llevar el pivote. En la **figura 3.14** se ilustra un dibujo 2D de la pieza.

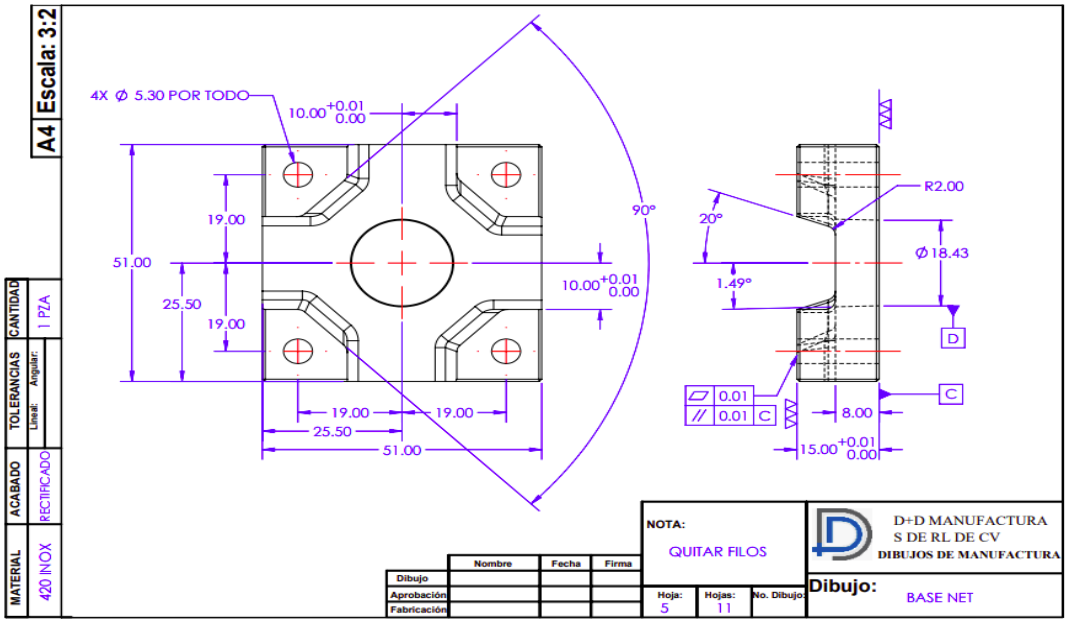


Figura 3.14. Dibujo 2D de la pieza base de centrado. Modelado de la pieza con sus dimensiones reales. Pieza de centrado para los holdings. Tienes 4 puntos de fijaciones para tornillos M4 cabeza hexagonal fabricados especialmente.

3.8.3.3. ALINEACIÓN.

En la **figura 3.15** se aprecia la pieza con nombre alineación, cómo su nombre lo indica aliena mediante un sistema de ajuste con opresores a la base net. Este nunca perdería su centro, ya que tiene dos pernos de registro que se unen a la tapa de cabezal.

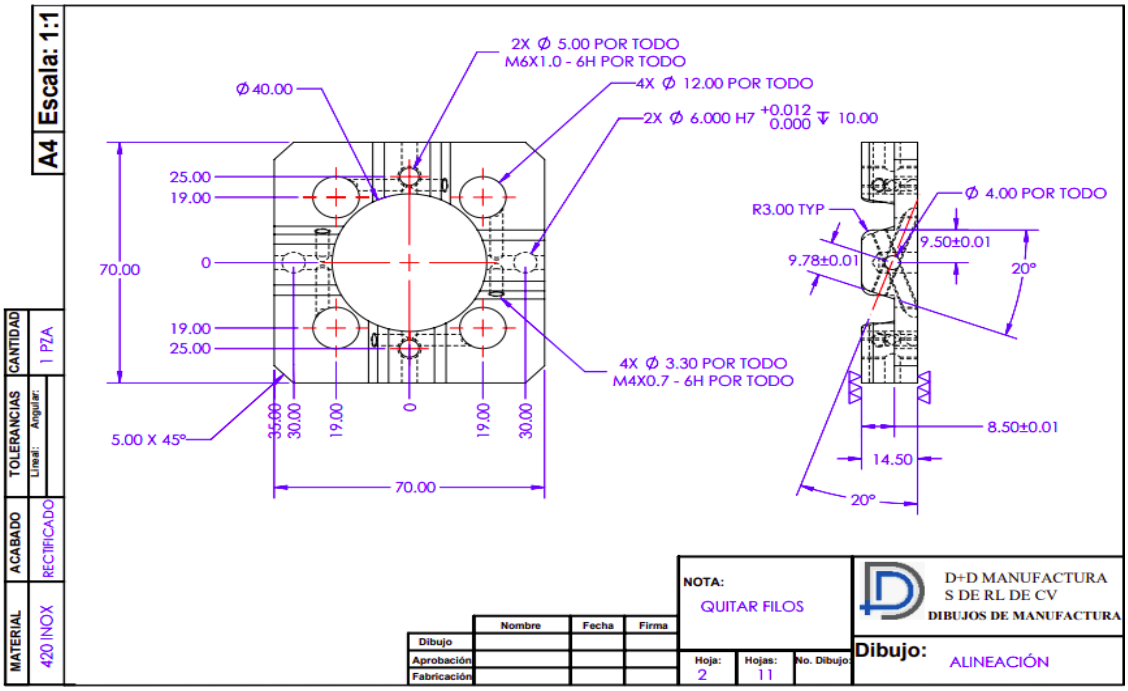


Figura 3.15. Dibujo 2D de la pieza alineación, siendo pieza que siempre tendrá contacto con la pieza de centrado (base net), su fabricación es del material 420.

3.8.4. ENSAMBLE DEL SISTEMA DE CENTRADO (HOLDING).

La **figura 3.16** representa la vista isométrica de ensamble del sistema de centrado. Apreciando uno de los holders propuestos para sujeción de electrodos.

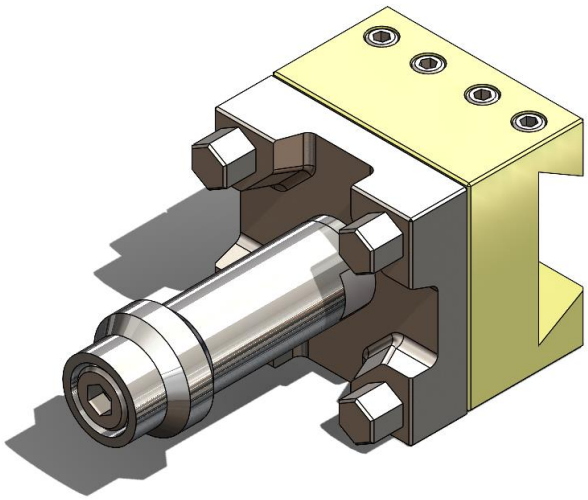


Figura 3.16. Vista isométrica del sistema de centrado. Es una de las vistas en las que se puede ver cómo queda la unión del pivote y la pieza de centrado. Además de 3 de los 4 puntos de unión para los holdings.

En la **figura 3.17** se muestra la vista posterior de ensamble del sistema de centrado.

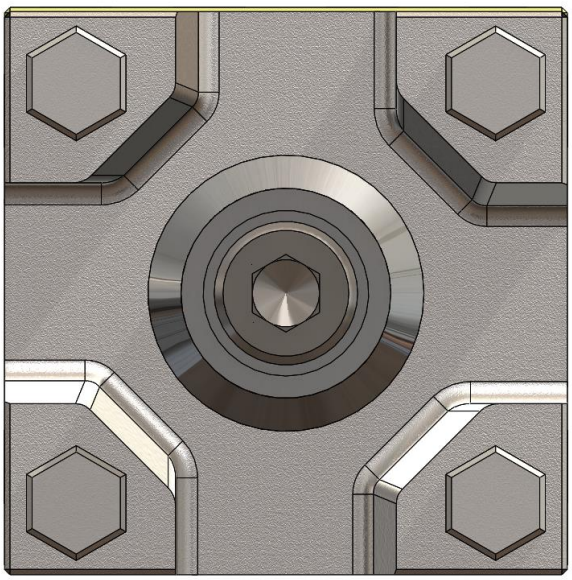


Figura 3.17. Vista posterior del sistema de centrado. Vista en la que se aprecian los 4 puntos de fijación para los holdings y el barreno del centro para la fijación del pivote.

La **figura 3.18** indica la vista frontal de ensamble del sistema de centrado.

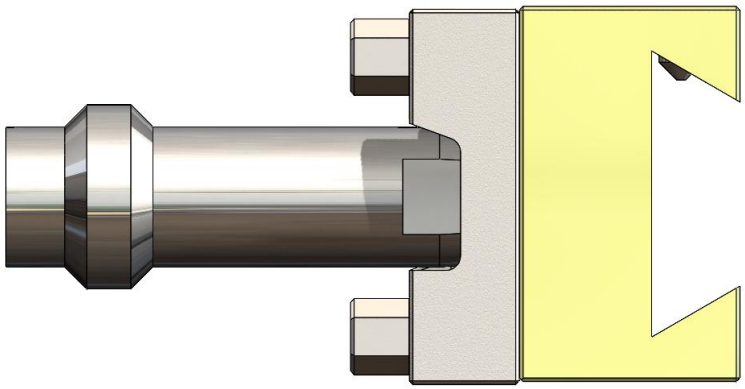


Figura 3.18. Vista frontal del sistema de centrado. En esta vista se aprecia el acabo de la pieza en funcionalidad con los puntos de fijación.

3.8.5. PORTA ELECTRODOS (HOLDERS).

3.8.5.1. PORTA ELECTRODO UNIBLANK.

Para montar electrodos y piezas de trabajo de varias formas está el holder uniblank. En la **figura 3.19** se muestra la vista isométrica de la holder uniblank.

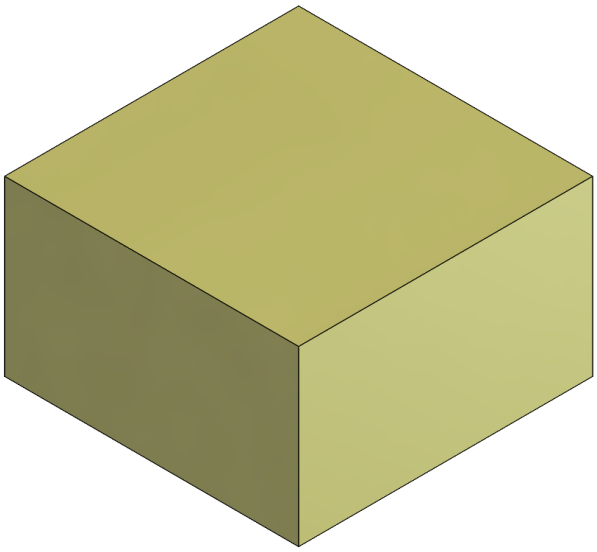


Figura 3.19. Vista isométrica holder uniblank. En la imagen se puede apreciar una cara liza de la pieza, la cual es la necesaria para poder colocar una pieza o electrodo de cualquier forma variada.

La **figura 3.20** exhibe la vista posterior del holder uniblank.

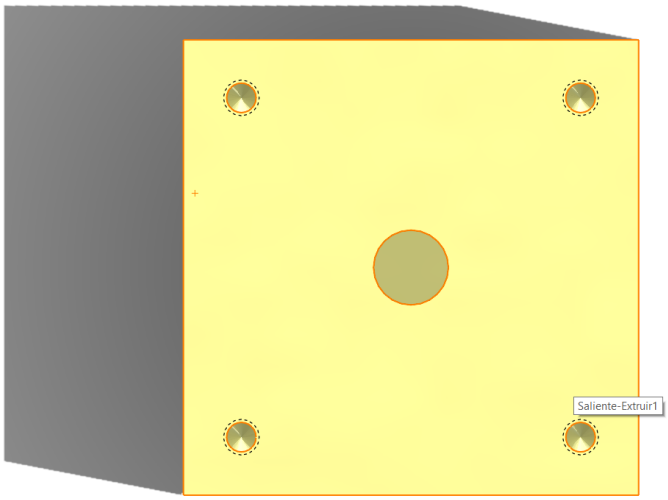


Figura 3.20. Vista posterior de porta electrodo uniblank. Se aprecian los 4 puntos de fijación del holder.

3.8.5.2. PORTA ELECTRODO PRISROUND.

Su uso en particular es para montaje de piezas o electrodos con un tamaño de eje de hasta 25mm. La **figura 3.21** enseña la vista isométrica del holder prisround.

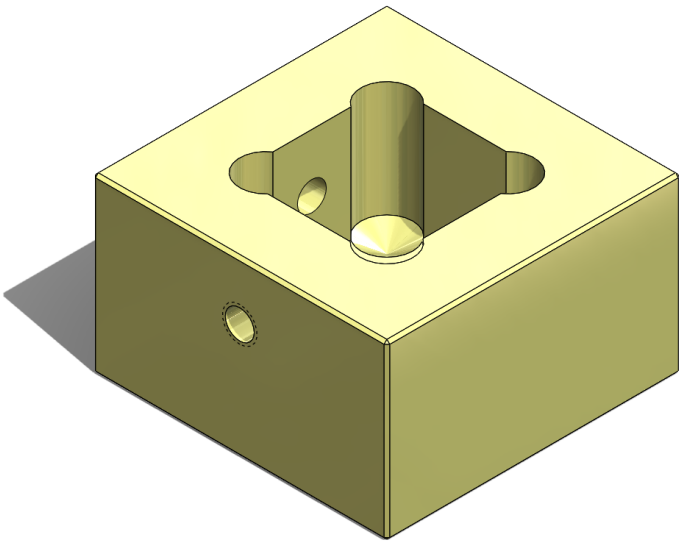


Figura 3.21. Vista isométrica del holder prisround. Se muestra un hueco cuadrado de 27 mm por 26mm, en este se insertan los electrodos o piezas, después son ajustadas por los tornillos.

En la **figura 3.22** se muestra la vista frontal del holder prisround.

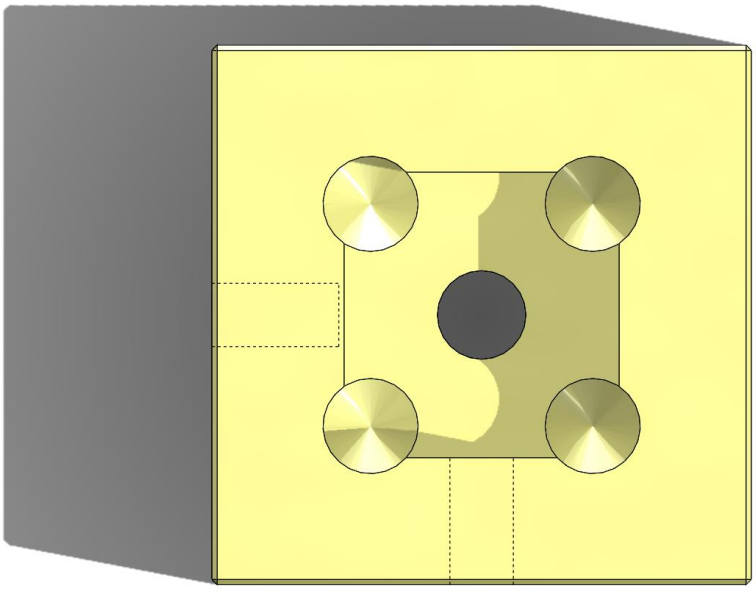


Figura 3.22. Vista frontal del holder prisround. En esta vista se aprecia más a detalle la cara del huevo donde entran los electrodos.

La **figura 3.23** indica la vista posterior del holder prisrpund.

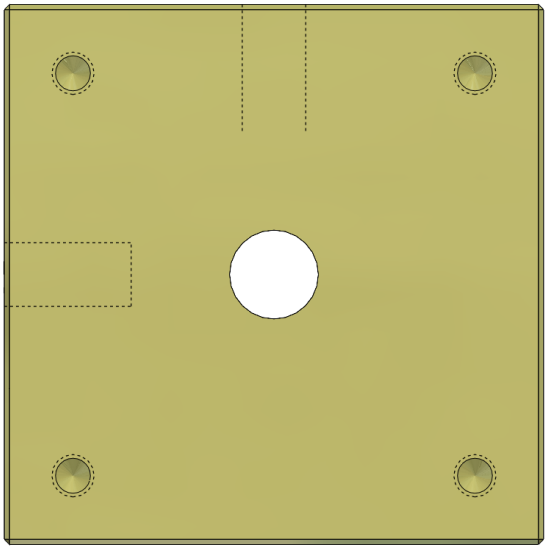


Figura 3.23. Vista posterior del holder prisround. En la vista se pueden ver los puntos de fijación para tornillos M4.

3.8.5.3. PORTA ELECTRODO UNIPLATE.

Para montar electrodos y piezas de trabajo con una superficie de base de más de 70mm se utiliza un porta electrodo uniplate. **Figura 3.24** representa la vista isométrica del porta electrodo uniplate.

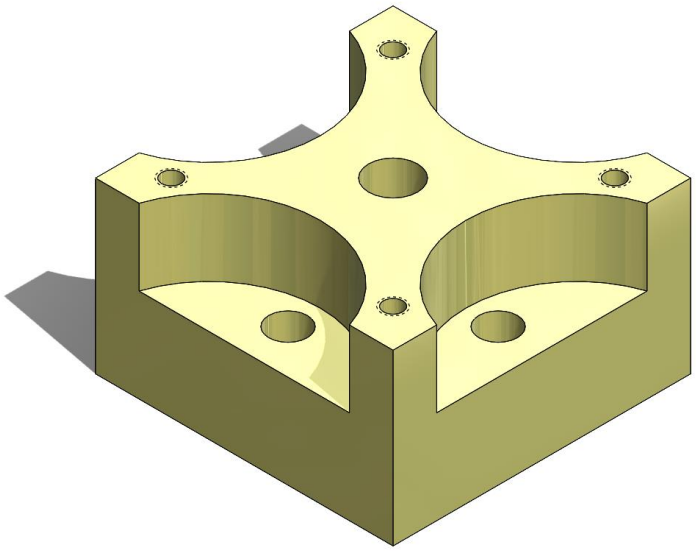


Figura 3.24. Vista isométrica de holder uniplate. Vista en la que se aprecia los puntos de fijación para los electrodos o piezas a maquinar.

Figura 3.25 muestra la vista frontal del porta electrodo uniplate.

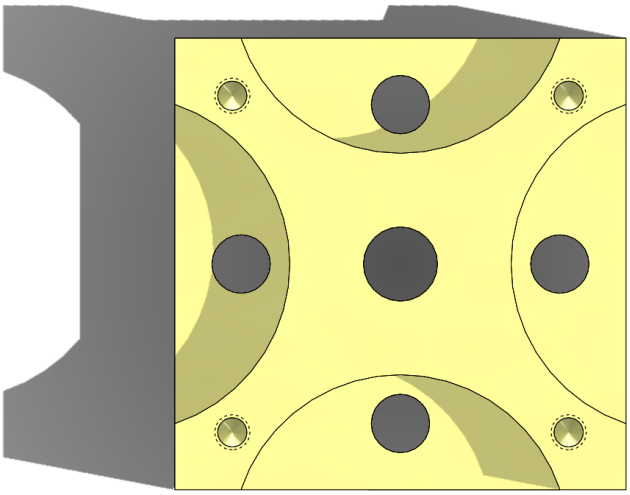


Figura 3.25. Vista frontal de holder uniplate. Caras y puntos de fijaciones para electrodos.

Figura 3.26 señala la vista posterior del holder uniplate.

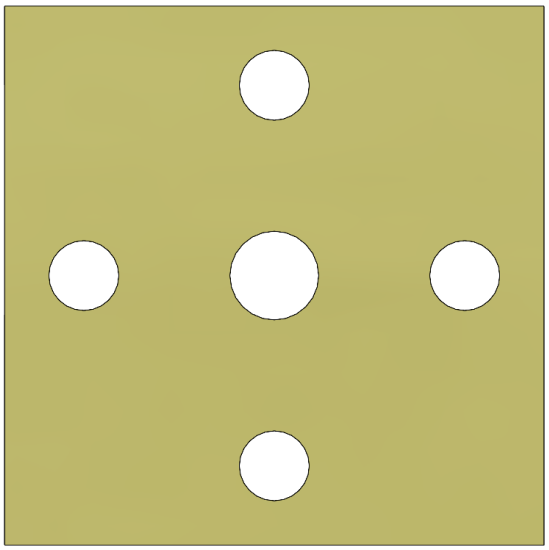


Figura 3.26. Vista posterior de holder uniplate. Puntos de fijaciones para el pivote y electrodos.

3.8.5.4. PORTA ELECTRODO UNIHOLDER.

Para montar electrodos y piezas de trabajo con una superficie de base de hasta 20mm, se utiliza un porta electrodo uniholder. **Figura 3.27** expone la vista isométrica del porta electrodo uniholder.

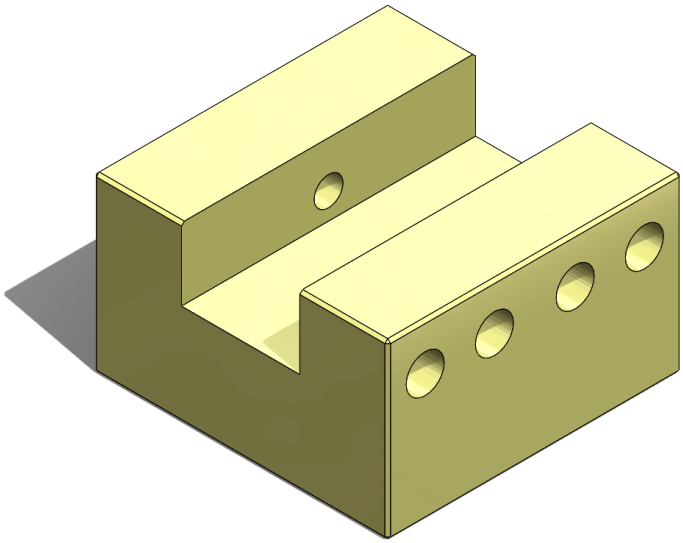


Figura 3.27. Vista isométrica de porta electrodo uniholder. En la vista se muestra la parte donde se colocará el electrodo, el cual puede tener ajuste mediante los tornillos de apriete.

La **figura 3.28** exterioriza la vista frontal del porta electrodo uniholder.

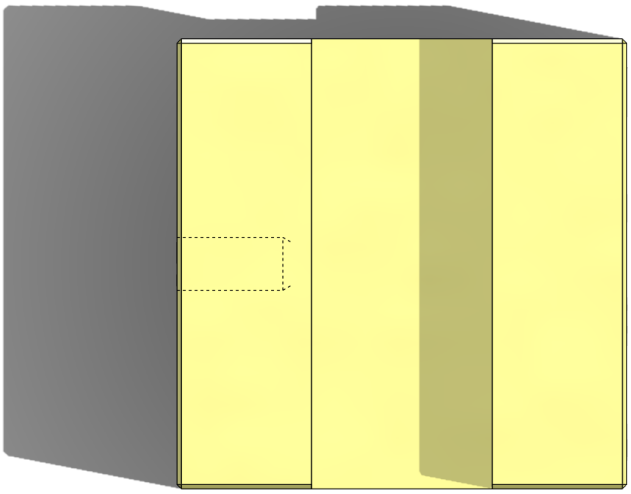


Figura 3.28. Vista frontal de porta electrodo uniholder. En esta vista solo se aprecia la ranura donde va colocado el electrodo y el barreno de fijación al pivote.

Figura 3.29 muestra la vista posterior del porta electrodo uniholder.

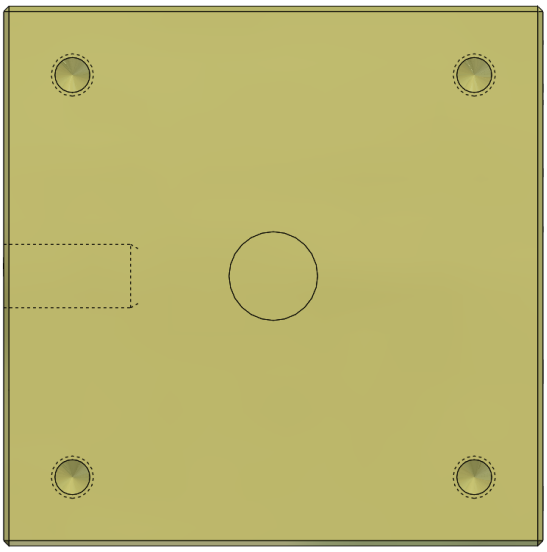


Figura 3.29 **.** Vista posterior de porta electrodo uniholder. Se visualizan los 4 puntos de fijación para tonillos Allen M4.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1. ENSAMBLE DEL SISTEMA DE SUJECIÓN DE ELECTRODOS.

En las **figuras 4.1** se muestra una vista isométrica y en la **figura 4.2** la vista frontal del sistema de sujeción de electrodos.

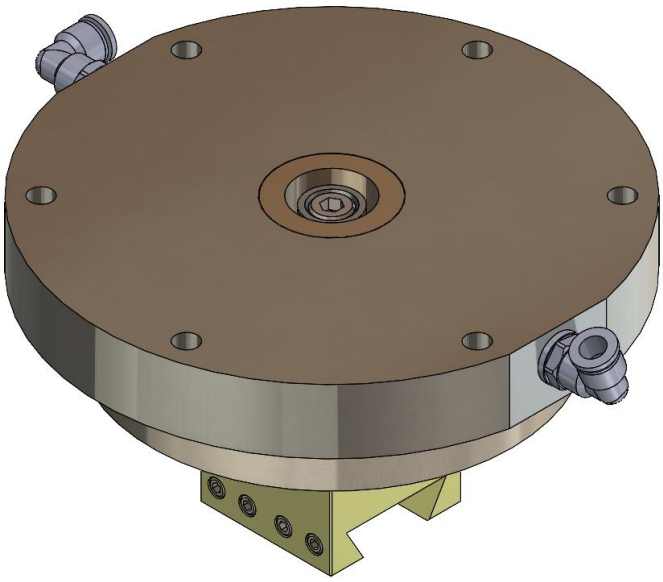


Figura 4.1. Vista isométrica del sistema de sujeción de electrodos.

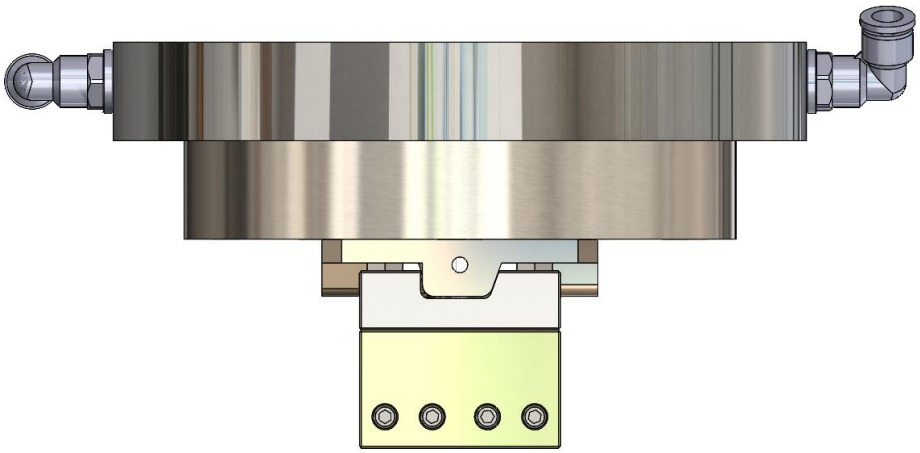


Figura 4.2. Vista frontal del sistema de sujeción de electrodos.

4.2. COMPARACIÓN DE HOLDINGS.

La **figura 4.3** representa dos holdings, el primero es el holding diseñado en la empresa D+D Manufactura el cual se puede apreciar la diferencia en cuestión de puntos de fijación, placa de entrado y tornillería. El segundo es el holding de la marca EROWA, el cual tiene un par de láminas para el centrado, sus tornillos son hexagonales y sus puntos de fijación son más hacia los extremos.

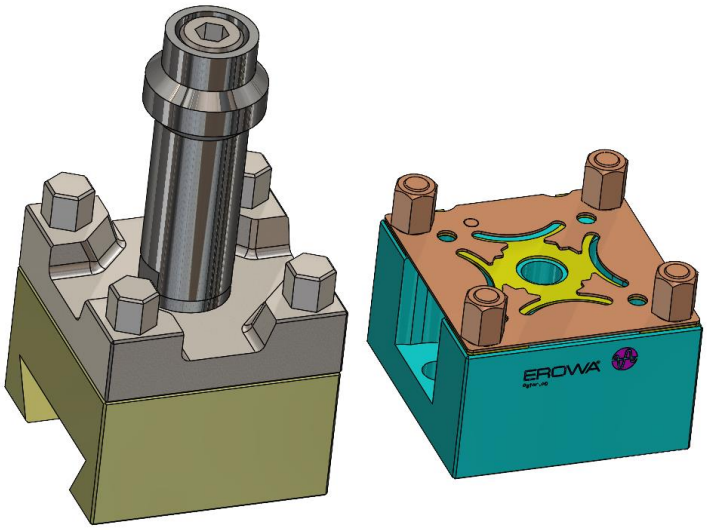


Figura 4.3. Holding diseñado en D+D MANUFACTURA y holding de EROWA.

4.3. TABLA COMPARATIVA ENTRE HOLDINGS.

La tabla **4.1** contiene una comparativa a gran escala, partiendo desde elementos que componen los holdings hasta instalación. Es una comparación entre el holding diseñado en la empresa D+D Manufactura y el holding de la marca EROWA.

Tabla 4.1. Tabla comparativa entre holdings.

COMPARATIVA	EROWA	D+D MANUFACTURA
Elementos que lo componen	Está conformado por 4 tonillos hexagonales M6X20, 2 placas de acero inoxidable de 30X30X1mm fabricadas a corte láser, lo que aumenta su valor por mucho.	Está conformado por una placa de acero inoxidable de 51X51X11mm. Unión de 4 tornillos M4 cabeza hexagonales.
Centrado	Para la parte de centrado este holding utiliza las dos placas de acero inoxidable para dar centro al pivote que se une al cabezal. Y por medio de los tornillos da separación entre este y el cabezal, y a su vez se retienen el cabezal para evitar el giro.	Para el centrado, el pivote cuenta con un pequeño ángulo de 1.5° el cual ayuda a la repetibilidad de centrado en la unió entre pivote, base net y la pieza de alineación.

Tabla 4.1. Tabla comparativa entre holdings (continuación).

Costo de fabricación	Las placas que utiliza este sistema son de acero inoxidable y las formas que tiene, son cortadas por sistema de corte laser, actualmente el costo por la realización de este proceso esta aproximadamente entre los $1,800.00 a los $3,000.00. .	La placa se ha cotizado con algunos de los proveedores que maneja la empresa a un valor de $600.00 a $1,500.00.
	Los tonillos hexagonales que usa para la unión al holder tienen un valor de $25.00 c/u	Y los tornillos de fijación hacia el holder tienen un valor de $18.00 c/u.
Instalación	Se instala el cabezal a la máquina de electroerosión por penetración. Después se continua con el sistema de centrado con el holder a utilizar.	Su principal unión es el cabezal en la máquina de electroerosión por penetración. Seguido de la fijación del sistema de centrado con su respectivo holder a usar en el cabezal.
	Para cada fijación del sistema de sujeción, se lleva a cabo un proceso de calibración para ubicar siempre el centrado de los electrodos al sistema y este a su vez al cabezal. Proceso que demora un poco el tiempo de la electroerosión.	El proceso de calibración ha sido sustituido mediante la utilización de la placa de centrado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Para este proyecto se plantea como objetivo principal desarrollar un sistema de sujeción de electrodos para máquinas de mecanizado de electroerosión por penetración.

El cual, para lograrlo se organizo una visita principal a la empresa **Plásticos Helios** para la visualización del funcionamiento de una erosionadora, así como poder observar los componentes generales que la integran.

Posteriormente se realizó un proceso analítico jerárquico, el cual ayudó a la selección del material que se usara para los componentes del sistema de sujeción siendo este el acero inoxidable AISI 316 de la familia austeníticos. Por otra parte, no fue necesario que todos los componentes fueran en el acero inoxidable seleccionado, ya que, el 316 se puede usar en los componentes que no tienen desgaste o fricción y el acero inoxidable AISI 420 de la familia de los martensíticos para los componentes de contacto, ya que tiene la propiedad de facilidad de templado y así incrementar la dureza.

De igual manera, el único material que cambia es en las esferas a carburo, dando más vida a estás, ya que con el material no sufrirá mucho desgaste.

Después de definir el material, se aplicó la metodología TRIZ para definir las mejoras aplicables al sistema de sujeción utilizando 39 parámetros técnicos y 40 principios de inventiva. Con todo lo anterior definido, el siguiente paso fue la realización de los dibujos 3D y 2D en el software Solidworks. De los cuales, varios dibujos en su trayecto tuvieron muchas modificaciones.

Por otro lado, este proyecto me ha dejado una gran experiencia y sobre todo una satisfacción muy grande. Debido a que a lo largo de la carrera tenía muchas dificultades para el desarrollo del software. Sin embargo, el tiempo que lo utilice para este proyecto me dio una inclinación al área de diseño. Debido a esto, he empezado a tomar cursos de capacitación para un nuevo software de diseño (Cimatron) para nuevos proyectos.

De igual manera el haber utilizado el software SolidWorks prácticamente desde cero y de una manera totalmente distinta a como se me enseñó en la universidad, ha sido una tarea muy compleja, puesto que este programa tiene características particulares que permiten realizar vistas explosionadas de los modelos 3D, animaciones (movimiento del modelado 3D), y exportaciones de los archivos a los diferentes formatos de CAD.

Fue un gran reto el volver a adaptarme a un lugar nuevo para mí, y poder entender a mis compañeros de trabajo. Ya que a muchos de ellos no se les daba el trabajo en equipo. Situación que me ayudó a mejorar como persona independiente, compañero laboral y como practicante.

Sin embargo, el poder culminar un proyecto dentro del área industrial es muy importante para la formación de todo ingeniero, realizando actividades tales como: recopilación de información de cómo poder aplicar procesos de análisis y metodologías para un solo producto.

Así mismo el poder aprender cómo hacer una investigación completa sobre un producto que se quiere innovar o se inventa, buscando los registros de sus patentes y así verificar si ya fue inventado o al menos registrado. Esto usando las Tecnologías de la Información y la Comunicación.

FUENTES DE INFORMACIÓN.

REFERENCIAS
Ávila Castro, Benito (2000) **Sistemas de sujeción y soporte mecánico.** Nuevo León, México. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, División de Estudios de Postgrado, Universidad Autónoma de Nuevo León.
Córdoba Nieto, Ernesto (1991) **Dispositivos de sujeción para maquinas herramientas CNC**. Convenio SENA - Universidad Nacional.
Saaty, Thomas (1980). The analytic Hierarchy Pocess. Ed McGrawHill
Mauricio Ibarra Echeverria; Eduardo Núñez Solís y José Miguel Huerta Ibáñez (2010) **Manual aceros inoxidables**. Cerrillos, Chile. INDURA S.A.
B.N., Z. (1943). La inversión del efecto de la erosión**.**
Crosby, H. C. (1986). **Wire-Cut and Vertical CNC EDM Systems:** Merging Technologies, Hartford Tool and Manufacturing Conference**.**
De maquinas y herramientas. (03 de 12 de 2013). Obtenido de https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/tipos-de-mecanizado-por-electroerosion
Ernst, & Young. (2013). **Metodología TRIZ para la creatividad e innovación**. España.
Lean Manufacturing 10. (s.f.). Recuperado el 8 de Septiembre de 2018, de https://leanmanufacturing10.com/mantenimiento-correctivo-preventivo-y-predictivo-definiciones-y-diferencias#Mantenmiento_correctivo
Mascaraque, C. (2018). **Estudio teórico y experimental de las propiedades dimensionales de la pieza final y vida de la herramienta en procesos de macanizados por electroerosión. Análisis de su aplicación en la construcción naval**. Cartagena.
Wilmer, C. A. (2008). **TRIZ, la herramienta del pensamiento e innovación sistemática**. Perú.
etitudela. (s.f.). Obtenido de http://www.etitudela.com/profesores/jfcm/mipagina/downloads/electroerosiononamio.pdf
Saaty, T. (1980). **The Analytic Hierarchy Pocess.** Ed McGrawHill.

ANEXOS.

ANEXO A. PROPIEDADES FÍSICAS Y CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLE INOXIDABLES.

La **figura A.1** demuestra las características mecánicas del acero inoxidable austenítico 304, describiendo desde su rugosidad, alargamiento y dureza, hasta sus propiedades físicas que muestra su resistencia a ciertas temperaturas.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EN ESTADO DE RECOCIDO

$Rp_{0,2}$	> 230 N/mm²
Rm	540 - 750 N/mm²
Alargamiento	> 45%
Dureza	< 190 HB

PROPIEDADES FÍSICAS

A 20ºC presenta una densidad de 7,9 kg/dm³ y un calor específico de 500 J/kg·K

	20ºC	100ºC	200ºC	300ºC	400ºC	500ºC
Módulo de elasticidad (GPa)	200	194	186	179	172	165
Coeficiente medio dilatación térmica entre 20ºC (10^{-6} x K^{-1}) y	-	16	16,5	17	17,5	18
Conductividad térmica (W/m·K)	15	17	18	19	20,5	22
Resistividad eléctrica (Ω·mm²/m)	0,73	0,80	1,00	1,15	1,22	1,25

Figura anexo A.1. Propiedades físicas y características mecánicas del acero inoxidable austenítico 304.

La **figura A.2** contiene las características mecánicas en un estado recocido del acero inoxidable martensítico 420, describiendo desde su rugosidad, alargamiento y dureza, hasta sus propiedades físicas que muestra su resistencia a temperaturas que van desde los 20ºC a 500ºC.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EN ESTADO DE RECOCIDO

$Rp_{0,2}$	> 275 N/mm²
Rm	máx. 700 N/mm²
Alargamiento	mín. 20%
Dureza	máx. 235 HB

PROPIEDADES FÍSICAS

A 20ºC presenta una densidad de 7,7 kg/dm³ y un calor específico de 460 J/kg·K

	20ºC	100ºC	200ºC	300ºC	400ºC	500ºC
Módulo de elasticidad (GPa)	215	212	205	200	190	-
Coeficiente medio dilatación térmica entre 20ºC (10^{-6} x K^{-1}) y	-	10,5	11	11,5	12	-
Conductividad térmica (W/m·K)	30	-	31	-	-	-
Resistividad eléctrica (Ω·mm²/m)	0,55	-	-	-	-	-

Figura A.2. Propiedades físicas y características mecánicas del acero inoxidable martensítico 420.

La **figura A.3** demuestra las características mecánicas en un estado recocido del acero inoxidable ferrítico 434, describiendo desde su rugosidad, alargamiento y dureza, hasta sus propiedades físicas tales como: módulo de elasticidad y conductividad térmica, que muestra su resistencia a temperaturas que van desde los 20ºC a 500ºC.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EN ESTADO DE RECOCIDO

$Rp_{0,2}$	> 280 N/mm²
Rm	450 - 630 N/mm²
Alargamiento	> 22%
Dureza	< 185 HB

PROPIEDADES FÍSICAS

A 20ºC presenta una densidad de 7,7 kg/dm³ y un calor específico de 460 J/kg·K

	20ºC	100ºC	200ºC	300ºC	400ºC	500ºC
Módulo de elasticidad (GPa)	220	215	210	205	195	-
Coeficiente medio dilatación térmica entre 20ºC (10^{-6} x K^{-1}) y	-	10	10,5	10,5	10,5	11
Conductividad térmica (W/m·K)	25	26,5	28	30	31,5	32,5
Resistividad eléctrica (Ω·mm²/m)	0,70	0,75	0,80	0,90	1,00	1,10

Figura A.3. Propiedades físicas y características mecánicas del acero inoxidable ferrítico 434.

La **figura A.4** designa las características mecánicas en chapa laminada en frio y caliente, y gruesa del acero inoxidable dúplex 2001, describiendo desde su rugosidad y alargamiento, hasta sus propiedades físicas que muestra su resistencia a temperaturas que van desde los 20ºC a 300ºC.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EN 10088-2 EN 10028-7

	C	H	P
$Rp_{0,2}$	≥ 500 N/mm²	≥ 480 N/mm²	≥ 450 N/mm²
Rm	700 - 900 N/mm²	660 - 900 N/mm²	650 - 850 N/mm²
Alargamiento	≥ 20%	≥ 30%	≥ 30%

C = chapa laminada en frío
H = chapa laminada en caliente
P = chapa gruesa

PROPIEDADES FÍSICAS

A 20ºC presenta una densidad de 7,8 kg/dm³ y un calor específico de 500 J/kg·K

	20ºC	100ºC	200ºC	300ºC
Módulo de elasticidad (GPa)	200	194	186	180
Coeficiente medio dilatación térmica entre 20ºC (10^{-6} x K^{-1}) y	-	13	13,5	14
Conductividad térmica (W/m·K)	15	16	-	-
Resistividad eléctrica (Ω·mm²/m)	0,80	-	-	-

Figura A.4. Propiedades físicas y características mecánicas del acero inoxidable dúplex 2001.

La **figura A.5** exhibe las características mecánicas en un estado recocido del acero inoxidable ferrítico 430, describiendo desde su rugosidad, alargamiento y dureza, hasta sus propiedades físicas tales como: módulo de elasticidad y conductividad térmica, que muestra su resistencia a temperaturas que van desde los 20ºC a 500ºC.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EN ESTADO DE RECOCIDO

Rp_{02}	> 260 N/mm^2
Rm	450 - 600 N/mm^2
Alargamiento	> 20%
Dureza	< 185 HV

PROPIEDADES FÍSICAS

A 20ºC presenta una densidad de 7,7 kg/dm^3 y un calor específico de 460 J/kg·K

	20ºC	100ºC	200ºC	300ºC	400ºC	500ºC
Mod.elasticidad(GPa)	220	215	210	205	195	-
Coeficiente medio dilatación térmica entre 20ºC ($10^{-6} \cdot k^{-1}$)	-	10	10	10,5	10,5	11
Conductividad térmica (W / m K)	25	28,5	31	32	33	34
Resistividad eléctrica (Ω mm^2 / m)	0,60	0,79	0,98	1,15	1,22	1,30

Figura A.5. Propiedades físicas y características mecánicas del acero inoxidable ferrítico 430.

La **figura A.6** compara los aceros inoxidables más comunes, comparando entre ellos la resistencia a la corrosión, soldabilidad, resistencia a altas y bajas temperaturas, ductilidad, endurecimiento y respuesta magnética.

	Austenítico	Ferrítico	Martensítico	Endurecido por precipitación	Duplex
Resistencia a la corrosión	Alta	Media	Media	Media	Muy alta
Respuesta magnética	Generalmente no	Sí	Sí	Sí	Sí
Soldabilidad	Muy alta	Baja	Baja	Alta	Alta
Resistencia a altas temperaturas	Muy alta	Alta	Baja	Baja	Baja
Resistencia a bajas temperaturas	Muy alta	Baja	Baja	Baja	Media
Ductilidad	Muy alta	Media	Baja	Media	Media
Ritmo de endurecimiento	Muy alto	Medio	Medio	Medio	Medio
Endurecible	En frío	No	Por templado y enfriado	Por envejecimiento	No

Figura A.6. Comparación de propiedades físicas y características mecánicas entre los aceros inoxidables más comunes.

La **figura A.7** es una tabla que solamente compara las propiedades físicas, eléctricas, mecánicas a 20ºC, tratamientos térmicos y propiedades mecánicas en caliente, de los aceros inoxidables austeníticos 304 y 306.

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE			SERIE 300	
			Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo – Níquel - Molibdeno
DESIGNACIÓN	TIPO AISI		**304**	**316**
	COMPOSICIÓN QUÍMICA		**C ≤ 0.08%*** Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% **Cr 18% - 20%*** **Ni 8% – 10,5%***	**C ≤ 0.08%*** Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% **Cr 16% - 18%*** **Ni 10% – 14%*** **Mo 2% – 2.5%***
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD)	(g/cm^3)	7.9	7.95 – 7.98
	MÓDULO DE ELASTICIDAD	(N/mm^2)	193,000	193,000
	ESTRUCTURA		AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO
	CALOR ESPECÍFICO A 20C	(J/Kg K)	500	500
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C	(W/m K)	15 / 16	15 / 16
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C	($x\ 10^6\ C^{-1}$)	16.0 – 17.30	16.02 – 16.5
	INTERVALO DE FUSIÓN	(C)	13981454	13711398
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO		AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.008
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C	(μΩm)	0.72 – 0.73	0.73 – 0.74
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		130150 / 180330	130185 / -
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		7088 / 1035	7085 / -
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rm (N/mm^2)	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rp (N/mm^2)	210 / 230	205410 / -
	ELONGACIÓN (A_5) MIN	(%)	≥ 45	
	RESILIENCIA KCUL / KVL	(J/cm^2)	160 / 180	160 / 180
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD – RP(0.2) A 300C/400C/500C	(N/mm^2)	125 / 97 / 93	140 / 125 / 105
	ELASTICIDAD – RP(1) A 300C/400C/500C	(N/mm^2)	147 / 127 / 107	166 / 147 / 127
	LÍMITE DE FLUENCIA A 500C/600C/700C/800C	$\sigma 1/10^5/t$ (N/mm^2)	68 / 42 / 14.5 / 4.9	82 / 62 / 20 / 6.5
TRATAMIENT. TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO RECOCIDO INDUSTRIAL	(OC)	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10081120
	TEMPLADO		NO ES POSIBLE	NO ES POSIBLE
	INTERVALO DE FORJA INCIAL / FINAL	(C)	1200 / 925	1200 / 925
	FORMACIÓN DE CASCARILLA, SERVICIO CONTINUO / SERVICIO INTERMITENTE		925 / 840	925 / 840
OTRAS PROPIEDADES	SOLDABILIDAD		MUY BUENA	MUY BUENA
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112		45%	45%
	EMBUTICIÓN		MUY BUENA	BUENA
* Son aceptables tolerancias de un 1%				

Figura A.7. Comparación de propiedades físicas y características mecánicas entre la serie 304 y 316 de la familia del acero inoxidable austenítico.

ANEXO B. COMPLEMENTO DE DIBUJOS 2D.

La siguiente **figura B.1** muestra las dimensiones para la fabricacion de los tornillos M4 cabeza hexagonal en material 420.

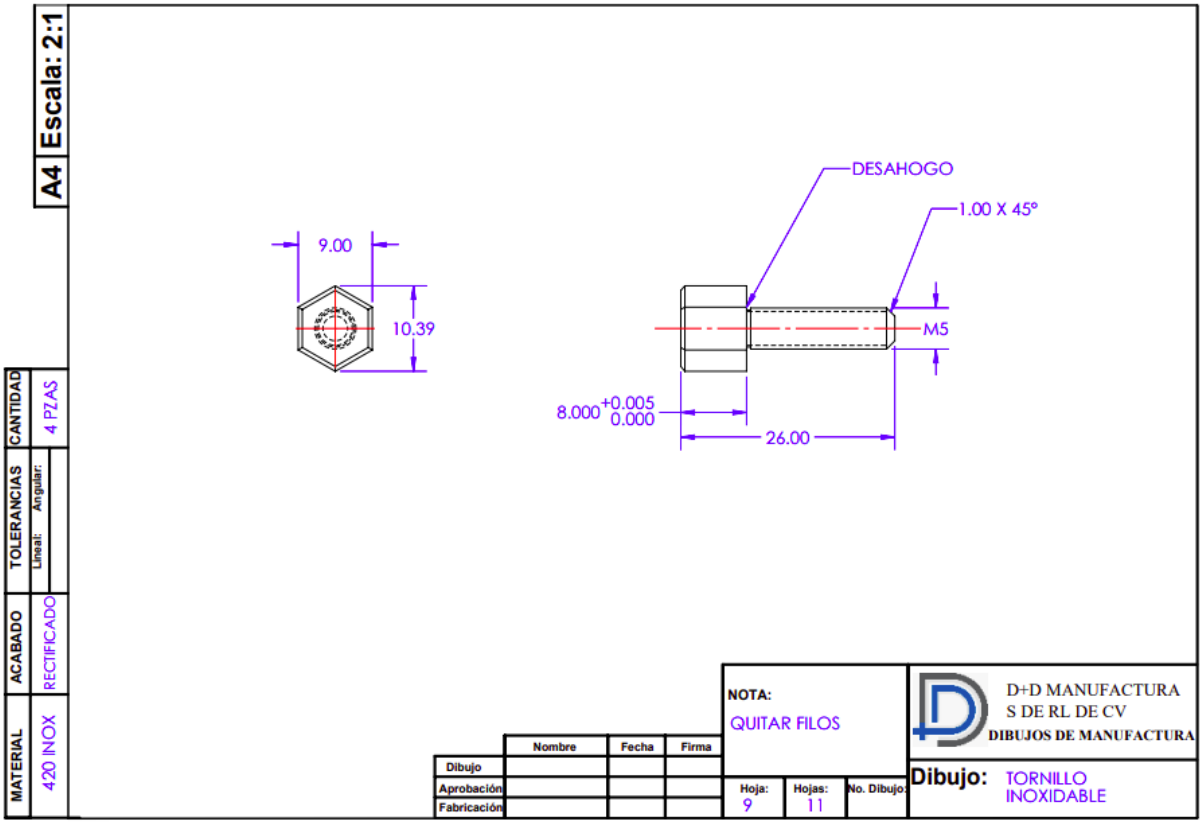


Figura B.1. Dibujo 2D de los tornillos M4 cabeza hexagonal. Fabricación especial en material 420.

En la **figura B.2** se dimensiona las esferas a utilizar para la sujeción del pivote. Se recuerda que estas esferas no se fabrican, ya que, son estandarizadas. Se piden de carburo, que a pesar de no llevar mucho golpeteo, este sufrira un mínimo desgaste con este material.

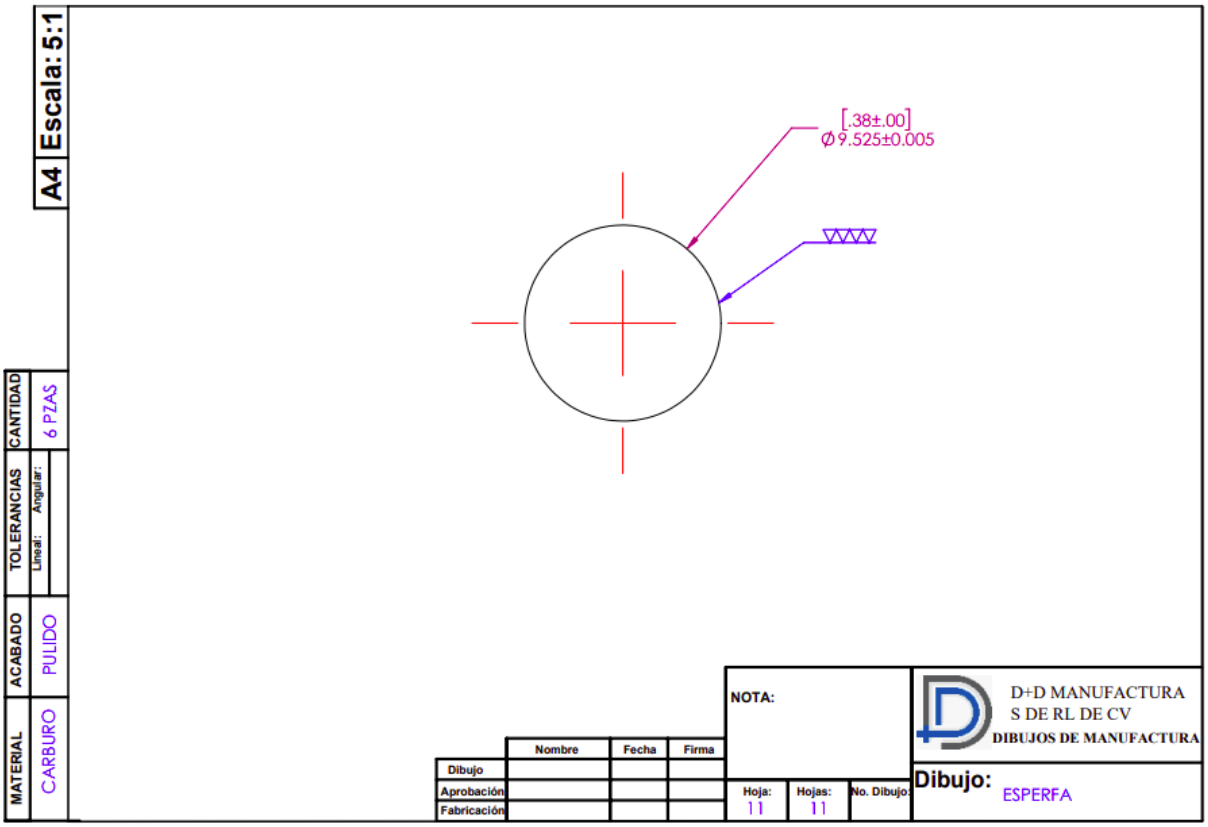


Figura B.2. Dibujo 2D de las esferas de carburo.