

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE MATRIZ CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Mecánico**

**Tema:**

**“Análisis de la contaminación producida en la limpieza de  
láminas metálicas aplicando plasma frío a baja presión”.**

**Autor:**

***Kelvin Paul Aponte Fares***

**Director:**

***Ing. Luis Marcelo Lopez Lopez***

**CUENCA-ECUADOR  
Septiembre-2016**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Kelvin Paul Aponte Fares con documento de identidad N°0703470229, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado intitulado: "ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA EN LA LIMPIEZA DE LÁMINAS METÁLICAS APLICANDO PLASMA FRIO A BAJA PRESIÓN", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



---

**Kelvin Paul Aponte Fares.**  
C.I. 0703470229

Cuenca, 16 de Septiembre de 2016.

## CERTIFICADO DE AUTORÍA

Yo, Kelvin Paul Aponte Fares declaro que los conceptos desarrollados, análisis, actividades lúdicas realizadas, presentación de hallazgos y las conclusiones del presente trabajo son exclusiva responsabilidad del autor.



---

**Kelvin Paul Aponte Fares.**  
C.I. 0703470229

Cuenca, 16 de Septiembre de 2016.

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR.**

Yo, Luis Marcelo López López, docente de la Universidad Politécnica Salesiana de la carrera de Ingeniería Mecánica, CERTIFICO, haber dirigido y revisado detalladamente el trabajo de titulación: "ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA EN LA LIMPIEZA DE LÁMINAS METÁLICAS APLICANDO PLASMA FRIO A BAJA PRESIÓN", realizado por Kelvin Paul Aponte Fares y por haber cumplido con todos los requisitos necesarios autorizo su presentación.



---

**Ing. Luis M. Lopez Lopez**  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Cuenca, 16 de Septiembre de 2016.

# AGRADECIMIENTO

Gracias Dios mío, por permitirme alcanzar mis metas. A ti reverente me inclino para ofrecerte mi gran amor y respeto.

A mis padres por el amor recibido y compartir juntos este logro de alcanzar mi objetivo de obtener el título de Ingeniero Mecánico.

A mis profesores de la Universidad Politécnica Salesiana, y en especial al Ing. Luis Marcelo López, tutor de este proyecto "**Análisis de la contaminación producida en la limpieza de láminas metálicas aplicando plasma frío a baja presión**", quien me brindó sus valiosos conocimientos para la culminación de este trabajo, el cual fue realizado con mucha dedicación y con el enorme apoyo de los laboratoristas que me brindaron sus sabias instrucciones, tiempo y amistad.

***Kelvin Paul Aponte Fares.***

# DEDICATORIA

*A ti Dios mío por otorgarme caminos de sabidurías, salud y bienestar.*

*Al amor infinito y desinteresado de mis padres y familiares.*

*Dedico este modesto proyecto de “análisis de la contaminación producida en la limpieza de láminas metálicas aplicando plasma frío a baja presión”.*

*Gracias mil por permitirme alcanzar la meta propuesta.*

***Kelvin Paul Aponte Fares.***

## **RESUMEN**

La presenta memoria se presenta una alternativa amigable con el medio ambiente a la limpieza de láminas metálica que normalmente se realiza con baños de decapado, en donde se ha optado por utilizar un plasma frio de baja presión para la limpieza de las misma, las láminas se impregnaron de contaminantes para lo cual se usó tres lubricantes siendo estos el ISO 32, ISO 68 e ISO 220; se realiza una comparación entre dos métodos de limpieza, uno efectuando una limpieza química previa al uso del plasma y otra sin ningún químico adicional, y de donde se pudo obtener datos de ángulos de contacto que conjunto a datos de contaminación por medio de un analizador de gases se determinación que lubricante y proceso incide de con mayor grado de polución al medio ambiente, a su vez con datos obtenidos con el software de energía libre superficial se obtiene la eficiencia en la limpieza para ser comparados y determinar que método realiza una limpieza más óptima.

## **ABSTRACT**

This memory present a friendly alternative environment to cleaning metal sheets that usually it's performed with pickling baths, where it was decided to use a cold low pressure plasma for cleaning of this, the sheets were impregnated of pollutants for that was used three lubricants these ISO 32, ISO 68 and ISO 220; a comparison between two methods of cleaning is done, one making a prior chemical cleaning with the use of plasma and one without any additional chemical, and where could obtain contact angle data and with a pollution data with a emission analyzer determined which lubricants and process incisives with more pollution grade to the environment , at same time with superficial free energy data obtained efficiency in cleaning to be compared and determine which method performs a more optimum cleaning.

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2. Descripción del problema.</b>	<b>5</b>
2.1. Antecedentes. . . . .	5
2.2. Importancia y alcances. . . . .	5
2.3. Delimitación del problema. . . . .	6
<b>3. Objetivos</b>	<b>6</b>
3.1. Objetivo General. . . . .	6
3.2. Objetivos Específicos. . . . .	6
<b>4. Marco Teórico.</b>	<b>7</b>
4.1. Antecedentes del proyecto. . . . .	7
4.2. Bases Teóricas. . . . .	8
4.2.1. Definición de plasma. . . . .	8
4.2.2. Energía libre Superficial. . . . .	9
4.2.3. Angulo de contacto. . . . .	9
4.2.4. Aspectos Ambientales . . . . .	10
<b>5. Hipótesis y Variables.</b>	<b>11</b>
5.1. Hipótesis General. . . . .	11
5.2. Hipótesis Específicas. . . . .	11
5.3. Identificación de variables. . . . .	11
5.3.1. Variables de hipótesis general . . . . .	11
5.3.2. Variables de hipótesis específicas. . . . .	12
5.4. Operacionalización de variables. . . . .	13
5.5. Matriz de consistencia. . . . .	13
<b>6. Metodología</b>	<b>17</b>
6.1. Tipo y diseño de investigación . . . . .	17
6.1.1. Tipo de investigación . . . . .	17
6.2. Procedimiento de Investigación . . . . .	18
6.3. Unidad de Análisis. . . . .	20
6.4. Población de estudio. . . . .	20
6.5. Tamaño de muestra . . . . .	20
6.6. Selección de muestra . . . . .	21
6.7. Técnicas de recolección de datos . . . . .	22
6.7.1. Plasma frio de baja presión . . . . .	22

6.7.2. El goniómetro óptico digital . . . . .	23
6.7.3. Analizador de gases . . . . .	24
6.8. Proceso de ensayo . . . . .	26
6.9. Diseño Experimental 2 <sup>3</sup> . . . . .	26
<b>7. Resultados</b>	<b>31</b>
7.1. Determinación de los parámetros tecnológicos del proceso de plasma frío a baja presión para láminas metálicas que cumpla con los niveles de limpieza superficial. . . . .	31
7.2. Determinación la contaminación que produce la limpieza de láminas metálicas con el proceso tecnológico de plasma frío a baja presión. . . . .	35
7.2.1. ISO 32 . . . . .	35
7.2.2. ISO 68 . . . . .	36
7.2.3. ISO 220 . . . . .	37
7.2.4. Resumen de resultados . . . . .	38
7.3. Determinación del grado de limpieza que genera el plasma frío a baja presión en las láminas metálicas a través del ángulo de contacto y la energía libre superficial . . . . .	39
7.3.1. ISO 32 . . . . .	39
7.3.2. ISO 68 . . . . .	40
7.3.3. ISO 220 . . . . .	41
<b>8. Conclusiones</b>	<b>42</b>
<b>9. Recomendaciones</b>	<b>42</b>
<b>10. Anexos</b>	<b>46</b>

# 1. Introducción

Los ácidos y bases son utilizados en el proceso de limpieza para láminas metálicas, estos son considerados tóxicos y peligrosos por su alta corrosividad que puede ocasionar daños a la salud, infraestructuras y medio ambiente. Los baños por decapado producen emisiones acidas y gases nitrosos, estos últimos son de carácter altamente toxico [1]. La mayor parte de los baños ácidos por decapado contienen aditivos inhibidores de la corrosión y tensoactivos (sustancia que presentan actividad en las superficies reduciendo la superficie del líquido en el que esta disuelto), que a su vez estabilizan los baños, consiguiendo alargar la vida de los mismos. Existe una amplia gama de aditivos cuyos efectos sobre el medio ambiente deben ser analizados [2]. La acumulación de algunos metales pesados como el zinc, cobre y el cromo en algunos baños de decapado, que en teoría podrían pasar bien como sustancias suspendidas o a los fangos de alguna depuradora industrial representan otra problemática ambiental considerable[3]. La aplicación de plasma frio a baja presión en la limpieza superficial de metales presenta resultados satisfactorios en la remoción de aceite, donde se utiliza gases no contaminantes de fácil manipulación, a fin de remover todos los residuos indeseados como óxidos o contaminantes tanto mecánicos como orgánicos, por tanto de la efectividad de éste tratamiento dependerán la propiedades adhesivas del material y el ángulo de contacto directamente relacionado con la energía libre superficial de las superficies [4] [5] [6] [7].

## 2. Descripción del problema.

En procesos tradicionales de limpieza superficial de láminas metálicas a través de la inmersión en baños ácidos presenta múltiples problemas ambientales como emisiones, vertidos alcalinos a fuentes hídricas, vapores con partículas a la atmosfera y ácidos con metales junto con los lodos de decapado en la contaminación de suelos [8] [9]. Los procesos de desengrase y decapado ocasionan daños severos a la salud; las infraestructuras y medio ambiente [9] [10] [11]. Los baños en caliente producen emisiones acidas y de gases nitrosos, estos últimos son de carácter altamente tóxico. Los decapados de ácido clorhídrico concentrado pueden generar gases especialmente cuando operan a alta temperatura[12]. El uso de procesos de limpieza con esta tecnología tradicional no ha podido ser remplazada por la eficiencia que se obtiene en el grado de limpieza y por los bajos costos de producción, la eficiencia de la limpieza de láminas metálicas dentro del proceso de desengrase y decapado viene determinado por la energía libre superficial que depende directamente del ángulo de contacto formado por un líquido y la superficie analizada que depende de diversas condiciones propias de cada proceso [13].

### 2.1. Antecedentes.

Actualmente en el país (Ecuador) la elaboración de productos de línea blanca abarca un 60 % en la ciudad de Cuenca a través de las empresas Induglob (Indurama) y Fibro Acero según datos del Ministerio de la Producción[14]. Los procesos de limpieza de algunas de las partes de los productos se realizan con un proceso de desengrase y decapado, que consiste en la supresión de películas de óxidos metálicos, grasas, aceites y líquidos indeseables que se encuentran adheridos a la superficie del acero, mediante la inmersión del metal contaminado en una solución acuosa de ácidos bases que son considerados tóxicos, peligrosos por su alta corrosividad [15]. Las leyes de control ambiental en el Ecuador y específicamente en la ciudad de Cuenca son exigentes en los tratamientos de las aguas residuales por cada empresa previa a la descarga a las lagunas de oxigenación donde se trata antes de su regreso al efluente natural. Los costos de tratamiento de las aguas residuales contaminadas con ácidos representan un valor elevado y los químicos utilizados (tenso - activos) son igual de contaminantes que los ácidos bases y además reducen considerablemente la vida útil de la infraestructura civil que tratan estos residuos. Estudios recientes en limpieza de láminas metálicas proponen una mejor eficiencia de los químicos utilizados en procesos tradicionales de decapado, sin embargo el nivel de contaminación persiste, simplemente se prolonga la utilidad de los mismos [16][17].

### 2.2. Importancia y alcances.

Desde el siglo XX hasta la actualidad el desarrollo industrial ha avanzado de tal manera que la búsqueda de conocimientos, indagación de soluciones e interrogantes que a través de una

investigación científica de forma sistemática como metodológica son una necesidad con el fin de desarrollar o mejorar un proceso productivo, de manera que no provoque un impacto ambiental o este sea el mínimo posible. La presente investigación se justifica ya que se busca reducir el impacto ambiental producido por los baños de decapado utilizados en la limpieza superficial de metales para un recubrimiento posterior y se plantea el uso de una nueva tecnología “plasma frío de baja presión” que se espera presente la misma eficacia en la limpieza y una menor contaminación al sistema tradicional siendo más amigable con el ambiente.

Al aplicar el avance de la tecnología en la generación de plasma frío a baja presión en los procesos de limpieza se pretende reducir los costos de producción siendo beneficiario directo la empresa que adopte esta tecnología nueva, además de obtener beneficios sociales por la reducción de la contaminación y lograr una imagen empresarial ante la sociedad por su responsabilidad con el ambiente. La ciudad de Cuenca en Ecuador sería beneficiada al eliminar las descargas de los residuos líquidos contaminados al sistema de alcantarillado, alargando la vida útil de las lagunas de oxigenación y disminuyendo los tratamientos de aguas residuales industriales de la ciudad.

### **2.3. Delimitación del problema.**

- La presente investigación está delimitada para realizarse en láminas metálicas de acero inoxidable.
- Se generara plasma solamente con oxígeno de alta pureza.
- Se tendrá como como contaminantes solo tres lubricantes que se obtuvieron datos técnicos.

## **3. Objetivos**

### **3.1. Objetivo General.**

Analizar la contaminación producida en la limpieza de láminas metálicas con plasma frío a baja presión.

### **3.2. Objetivos Específicos.**

- Determinar los parámetros tecnológicos del proceso de plasma frío a baja presión para láminas metálicas que cumpla con los niveles de limpieza superficial.
- Determinar la contaminación que produce la limpieza de láminas metálicas con el proceso tecnológico de plasma frío a baja presión.
- Determinar el grado de limpieza que genera el plasma frío a baja presión en las láminas metálicas a través del ángulo de contacto y la energía libre superficial.

## 4. Marco Teórico.

### 4.1. Antecedentes del proyecto.

En las industrias de línea blanca, el tratamiento superficial se ocupa de limpiar las superficies metálicas, protegerlas contra la corrosión y mejorar su aspecto superficial. El acero es hasta el momento el metal más utilizado en el mundo, satisface la mayor parte de las necesidades requeridas en las principales industrias en términos de calidad técnica y económica, sin embargo existen una serie de limitaciones siendo la más representativa la baja resistencia a la corrosión en el medio ambiente, pudiendo aparecer cubierto de óxido en pocos días e incluso horas después de su exposición a la humedad [18]. Generalmente, la función de las estructuras de acero es de soportar diversos tipos de cargas, por lo que una exposición prolongada puede dar lugar a daños en la integridad de la estructura con el consiguiente costo de reparación y/o sustitución. El empleo de la pintura inhibe el proceso de la corrosión, se puede aplicar sobre superficies muy diversas y de complicadas formas, aislando el metal de los agentes climáticos u otros factores que producen degradación del material desnudo. Por lo general las pinturas actúan formando una barrera protectora contra la acción del oxígeno y otros elementos agresivos que provocan reacciones sobre el hierro formando óxido, por tal motivo antes de pintar debe darse un tratamiento superficial al metal. El comportamiento y la durabilidad de cualquier revestimiento de pintura se ven significativamente afectados por la preparación y limpieza de la superficie a tratar en el caso de las estructuras de acero, esto es todavía más importante pues resulta que la limpieza y selección del método de preparación de la superficie asume una importancia muy relevante en cualquier tratamiento anticorrosivo[19]. En la actualidad el nivel de contaminación ambiental producida por los procesos de limpieza y activación de la superficie metálica a través de procesos químicos es muy alarmante por los procesamientos posteriores que se deben dar a los líquidos residuales que contienen una gran cantidad de ácidos bases, tensoactivos y materiales pesados (lodos de decapado). En la actualidad se ha desarrollado sistemas de decapado que recuperan casi la totalidad de los ácidos bases, pero se ha incrementado el uso de tensoactivos y de lodos de decapado con materiales pesados que son en la mayoría de las veces desechados directamente a los efluentes y vertederos de la ciudad. Una solución a esta contaminación es el uso de sistemas mecánicos de limpieza y activación de superficies sin embargo los costos y tiempos de producción no permiten ser implementados en las industrias que tienen niveles de producción elevados como el caso de productos de línea blanca. El avance de la tecnología como el uso de generadores de plasma aplicados a la limpieza y modificación superficial en metales presenta una posible solución a los problemas ambientales provocados por los métodos tradicionales esperando no perjudicar los tiempos del proceso y que presente una igual eficacia en los resultados requeridos. El plasma aplicado a ciertas superficies como algodón, telas, polímeros y metales merman considerablemente su ángulo de contacto aumentando su hidrofobicidad que representa la limpieza de un material y su energía libre superficial [20]. La limpieza de una lámina

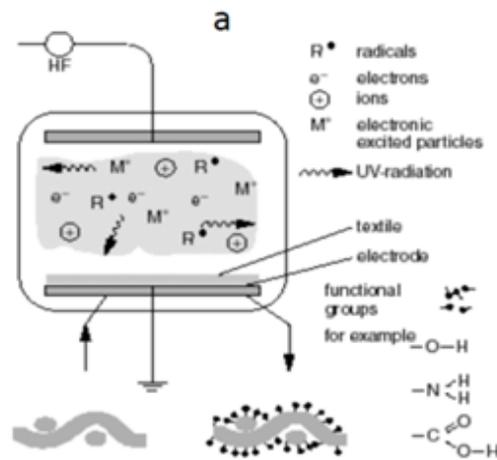
metálica con uso de plasma frío a baja presión, estableciendo parámetros específicos de acuerdo a la composición química del material en estudio y del tipo de contaminante en la superficie, considerando la tecnología plasma como potencial proceso de limpieza amigable con el ambiente para diversas superficies [4].

## 4.2. Bases Teóricas.

### 4.2.1. Definición de plasma.

El plasma es un gas parcialmente ionizado compuesto de electrones, iones, fotones, átomos y moléculas de gas en cualquier estado de excitación como se observa en la Figura 1. Se conoce como el cuarto estado de la materia y constituye más del 99% del universo. En los procesos de plasmas fríos se genera un gran número y diversidad de especies reactivas muy energéticas que activan procesos, físico y químicos difíciles de conseguir en entornos químicos ordinarios [21].

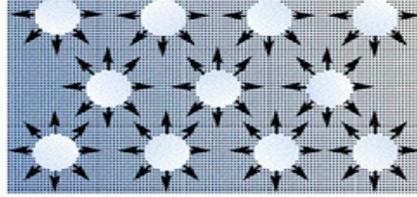
**Figura 1:** Representación del plasma como cuarto estado de la materia.



**Fuente:** Bautista y colaboradores (2008)

En un líquido las fuerzas de atracción que existen entre moléculas son de diferente magnitud dependiendo de la zona del líquido considerada. Las moléculas en el centro del líquido están lo suficientemente cerca para que el efecto de las fuerzas de atracción sea considerable, pero tienden a equilibrarse. Por el contrario, las moléculas de la zona superficial Figura 2, no están rodeadas completamente por otras moléculas del líquido y por lo tanto estas moléculas están desequilibradas con un efecto neto hacia el seno del líquido. Esta fuerza neta es normal a la superficie y será más baja mientras más pequeña sea dicha superficie. Es decir, para una superficie mínima se cumple una energía mínima y por lo tanto podemos decir que la superficie de un líquido tiende a contraerse y el efecto resultante de estas fuerzas de contracción es lo que da origen a la tensión superficial, permitiendo además que la superficie sea estable.

**Figura 2:** Fuerzas atractivas que actúan sobre las moléculas en el seno de un líquido y en la superficie libre.



**Fuente:** Anton (2005)

#### 4.2.2. Energía libre Superficial.

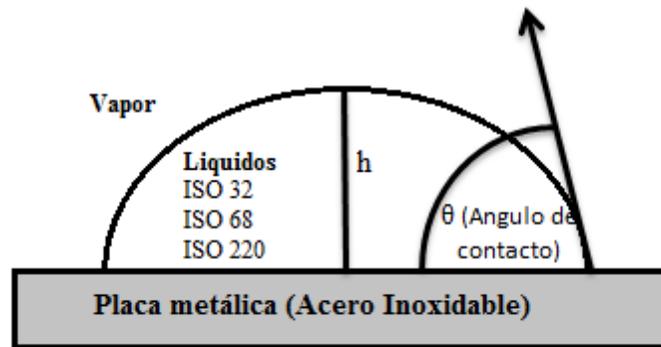
Para un claro entendimiento de la energía libre superficial se debe tener presente los siguientes conceptos:

- **Superficies e interfaces.** Se define interface como la superficie de contacto entre un gas y una fase condensada (líquido o sólido), y se define una interface como la superficie de contacto entre dos fases condensadas, dos líquidos o un líquido y un sólido [22].
- **Tensión Superficial.** Se define la tensión superficial en un sólido como la fuerza de atracción hacia dentro ejercida sobre los átomos de la superficie los centros atómicos cargados positivamente se mantienen unidos mediante, a atracción mutua con los electrones, produciendo así un fuerte enlace metálico. Esta tensión tiene como consecuencia la contracción de la superficie [23].
- **Energía libre superficial.** La energía libre superficial es el exceso de energía en la superficie de un material comparado con el resto del material. Esta energía es tangencial a la superficie y tiene unidades de fuerza por unidades de longitud (mN/m).

#### 4.2.3. Angulo de contacto.

El ángulo en el interior del fluido más denso ( $\theta$ ) se define como el ángulo de contacto. En la Figura 3,  $\theta$  se define la mojabilidad del sólido por el fluido (W), en un típico sólido-líquido-gas del sistema (tal como una gota de líquido en un sólido rodeado por aire), el ángulo de contacto se utiliza para cuantificar la adhesividad que describe la fuerza que mantiene juntos moléculas diferentes. En los casos en que el ángulo de contacto es bajo, más adhesión está presente. Esto es debido a una mayor área de superficie entre los resultados de líquidos y sólidos y en mayor energía superficial.

**Figura 3:** Ángulo de Contacto



**Fuente:** Autor

#### 4.2.4. Aspectos Ambientales

El crecimiento económico y la globalización han originado evidentes beneficios pero al mismo tiempo han provocado la aparición de nuevos riesgos [24]. Existen dificultades e incertidumbres para identificar con exactitud la relación causal entre medio ambiente y salud. La medición de la exposición a numerosos factores ambientales es compleja porque no disponemos de sistemas adecuados de información y vigilancia sanitaria que permitan valorar la magnitud y gravedad de los riesgos [25]. Los resultados de este trabajo de investigación permiten establecer la contaminación producida por procesos para limpieza de láminas metálicas que causan riesgos para la salud. Sabemos, además, que algunas sustancias ambientales por debajo de ciertos niveles no son peligrosas. Sin embargo, otros agentes, tales como alérgenos, radiaciones ionizantes, contaminantes del aire, preparados químicos carcinógenos, pueden suponer un riesgo a niveles más bajos de los observados[26]. A pesar de ello existen algunos trabajos que han identificado la relación entre determinados agentes ambientales y la salud humana. Se ha estimado que en los países industrializados un 20 % de la incidencia total de enfermedades puede atribuirse a factores medioambientales [27]. En Europa una gran proporción de muertes y años de vida ajustados por discapacidad es atribuible a exposiciones ambientales como contaminación del aire interno y externo, agua y saneamiento, sustancias y preparados químicos y lesiones producidas por accidentes. La exposición a sustancias y preparados químicos peligrosos, el uso de biosidas y plaguicidas fitosanitarios, las sustancias CMR (carcinógenas, mutagenas y tóxicas para la reproducción), los COV (compuestos orgánicos volátiles) , las sustancias PBT (persistentes bioacumulables y tóxicas), las dioxinas y furanos, los PCB, los retardantes de llama, los alteradores endocrinos representan amenazas que deben ser objeto de medidas de evaluación, reducción y control del riesgo tal como se establece en la legislación [28]. Establecidos los riesgos con respecto a las emisiones al ambiente de sustancias químicas se debe considerar la calidad del agua que los procesos de limpieza generan, determinando la calidad de la misma por la medición de parámetros físicos, químicos, microbiológicos y sus valores máximos y mínimos permitidos de acuerdo al uso que

se destine. Por tal motivo es necesario identificar y cuantificar los contaminantes producidos para definir qué tan peligroso es para la salud y el ambiente en general. Las causas de la contaminación del agua son numerosas y varían desde los vertimientos líquidos de la agricultura hasta el uso de químicos caseros y todo lo que halla de por medio [29]. Mientras que los estándares usados en nuestra sociedad para más de 75,000 compuestos químicos diferentes nos han ofrecido conveniencia y productividad adicional a nuestras vidas, también han llegado a costarnos tremendamente [30]. Nuestro uso de químicos hechos por el hombre se ha tornado tan extremo que ahora se pueden encontrar trazas de toxinas de bajo nivel en todos los abastecimientos públicos de agua del mundo. Los cambios tecnológicos del presente y futuro desarrollados por el hombre en cualquier ámbito se deben enfocar a conservar los recursos naturales de una manera sustentable sin afectar el delicado equilibrio natural, el tratamiento de las aguas usadas en la limpieza de láminas metálicas y activación por decapado son muy difíciles de disponer para el reusó que junto con lodos producidos que contienen metales pesados son muy tóxicos para el ser humano [31] [32] [28].

## **5. Hipótesis y Variables.**

### **5.1. Hipótesis General.**

La limpieza superficial con plasma frío a baja presión de láminas metálicas presentará contaminación ambiental menor que los límites permisibles.

### **5.2. Hipótesis Específicas.**

- Los parámetros utilizados de tiempo, potencia y gas en la generación del plasma frío a baja presión para la limpieza de láminas metálicas presentarán los mejores niveles de limpieza superficial.
- La limpieza superficial de láminas metálicas con el proceso tecnológico de plasma frío a baja presión una energía libre superficial entre 60 y 70 mN/m con un ángulo de contacto menor o igual a 30°.
- La limpieza superficial de láminas con el proceso tecnológico de plasma frío a baja presión presentará una menor contaminación ambiental.

### **5.3. Identificación de variables.**

#### **5.3.1. Variables de hipótesis general**

La limpieza superficial con plasma frío a baja presión de láminas metálicas utilizadas en productos de línea blanca presentará la misma eficacia y menor contaminación ambiental que el

proceso por decapado.

**Variables independientes.**

- Composición química de las láminas metálicas
- Proceso de limpieza
- Variables dependientes
- Nivel de contaminación ambiental
- Energía libre superficial

**5.3.2. Variables de hipótesis específicas.**

a) Los parámetros utilizados en la generación del plasma frío a baja presión para la limpieza de láminas metálica presentaran los mejores niveles de limpieza superficial.

**Variables dependientes.**

- Energía libre superficial(ángulo de contacto)

**Variables dependientes.**

- Composición química de las láminas
- Parámetros de control para la generación del plasma

b) La limpieza superficial de láminas metálicas utilizadas en productos de línea blanca con el proceso tecnológico de plasma frío a baja presión presentara la misma eficacia que el proceso por decapado.

**Variables dependientes.**

- Energía libre superficial

**Variables independientes.**

- Material de las láminas
- Parámetros de control para la generación del plasma
- Proceso de limpieza

c) La limpieza superficial de láminas metálicas utilizadas en productos de línea blanca con el proceso tecnológico de plasma frío a baja presión presentara una menor contaminación ambiental que el proceso de limpieza por decapado.

**Variables dependientes.**

- Niveles de contaminación (gases de contaminación)

**Variables independientes.**

- Composición química de las sustancias sobre las láminas metálicas
- Parámetros de control para la generación del plasma.

#### **5.4. Operacionalización de variables.**

Para la operalización de las variables se utilizara la matriz de consistencia lógica para cada una de ellas, donde presenta su definición conceptual como las dimensiones o factores que influyen en su valor. Se muestra la definición operacional de cada uno de los factores y los indicadores de cada uno de ellos como indican las Tablas 1,2,3,4,5.

#### **5.5. Matriz de consistencia.**

La Tabla 6 presenta la matriz de consistencia lógica con los problemas que justifican la presente investigación conjuntamente con los objetivos que se pretenden alcanzar para comprobar las diferentes hipótesis planteadas.

---

**OPERACIÓN DE LAS VARIABLES**

---

**VARIABLE TEÓRICA: PARAMETROS DE CONTROL**

DEFINICIÓN CONCEPTUAL: El ángulo de contacto se determina entre la superficie de un material y una gota de un líquido conocido, de manera que se puede establecer la tensión superficial presentándose una superficie hidrofóbica o hidrofílica dependiendo de su valor

DIMENSIONES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
Tiempo	El tiempo necesario en que la muestra de lámina metálica permanece expuesto a la descarga de plasma hasta que los iones de carga positiva rompan los enlaces atómicos de los líquidos que se encuentran sobre la superficie de las laminas	Minutos
Potencia	Es el voltaje, amperaje y frecuencia necesaria para sacar un electrón del último orbital del gas y convertirlo en un ion positivo y pueda romper el enlace del líquido sobre la superficie del metal	KW/h
Gas	Es el utilizado para la descarga, según la potencia aplicada, la velocidad de impacto se incrementa o disminuye	Oxigeno

---

**Tabla 1:** Operacionalización de la variable parámetros de control. [7]

---

**OPERACIÓN DE LAS VARIABLES**

---

**VARIABLE TEÓRICA: GASES DE CONTAMINACIÓN**

DEFINICIÓN CONCEPTUAL: Un gas contaminante es aquel que produce efectos nocivos a la salud del ser humano, animales y plantas, algunos de ellos dependen del nivel de concentración para determinar su peligrosidad.

DIMENSIONES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
Gases Contaminantes	Son los gases producidos por el efecto de rompimiento molecular de los líquidos contaminantes sobre lámina metálica.	Límites permisibles

---

**Tabla 2:** Operacionalización de la variable gases contaminantes. [7]

---

**OPERACIÓN DE LAS VARIABLES**

---

**VARIABLE TEÓRICA: ENERGIA LIBRE SUPERFICIAL**

DEFINICIÓN CONCEPTUAL: Es la atracción que se presenta entre una gota de líquido y una superficie cualquiera.

DIMENSIONES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
Ángulo de contactos	Es el ángulo formado entre la gota del líquido utilizado que puede ser (diodo metano, etileno glicol, agua desionizada) con la superficie de análisis (superficie de las láminas metálicas).	Grados Sexagesimales

---

**Tabla 3:** Operacionalización de la variable energía libre superficial. [7]

OPERACIÓN DE LAS VARIABLES		
VARIABLE TEÓRICA: PROCESO DE LIMPIEZA		
DEFINICIÓN CONCEPTUAL:Proceso de limpieza superficial: determina el ángulo de contacto y la energía libre superficial para determinar el grado de limpieza		
DIMENSIONES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
Plasma	Proceso de limpieza superficial que utiliza bombardeo de iones sobre superficies para romper los enlaces de las sustancias líquidas sobre las láminas y convertirlos en gases.	Grados Sexagesimales

**Tabla 4:** Operacionalización de la variable proceso de limpieza. [7]

OPERACIÓN DE LAS VARIABLES		
VARIABLE TEÓRICA: MATERIAL		
DEFINICIÓN CONCEPTUAL:Material de las láminas metálicas: es el utilizado que se basa en una composición de Fe- C que de acuerdo a su porcentaje y aleaciones permite tener una gran elasticidad, resistencia mecánica y limpieza superficial de acuerdo a las operaciones de transformación metálicas requeridas		
DIMENSIONES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
Acero Inoxidable 304	Composición química del material	% de C y aleantes

**Tabla 5:** Operacionalización de la variable material (composición química). [7]

---

**MATRIZ DE CONSISTENCIA LÓGICA**

---

**Título:** Desarrollo de un proceso para limpieza con plasma frío a baja presión de láminas metálicas utilizadas en productos de línea blanca que reduce la contaminación y mejora la eficiencia

<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPOTESIS GENERAL</b>	<b>INDICADORES</b>
¿Cómo disminuir la contaminación ambiental producida por la limpieza superficial de láminas metálicas?	Analizar la contaminación producida en la limpieza de láminas metálicas con plasma frío a baja presión.	La limpieza superficial con plasma frío a baja presión de láminas metálicas utilizadas en productos de línea blanca presentará contaminación ambiental.	·Ángulo de contacto ·Emisiones
<b>ESPECIFICOS</b>	<b>ESPECIFICOS</b>	<b>ESPECIFICAS</b>	
¿Cuáles son los parámetros requeridos en el proceso tecnológico de plasma frío a baja presión para limpiar láminas metálicas?	Establecer los parámetros tecnológicos del proceso de plasma frío a baja presión para láminas metálicas que cumpla con los niveles de limpieza superficial.	Los parámetros utilizados de tiempo, potencia y gas en la generación del plasma frío a baja presión para la limpieza de láminas metálicas presentará los mejores niveles de limpieza superficial	·Composición química ·Minutos,potencia  ·Oxígeno
¿Cuáles el grado de limpieza superficial en las láminas metálicas utilizadas en el proceso tecnológico de plasma frío a baja presión?	Determinar el grado de limpieza que genera el plasma frío a baja presión en las láminas metálicas a través del ángulo de contacto y la energía libre superficial	La limpieza superficial de láminas metálicas con el proceso tecnológico de plasma frío a baja presión una energía libre superficial entre 60 y 70 mN/m con un ángulo de contacto menor o igual a 30°	·Ángulo de contacto ·mN/m
¿Qué contaminación produce la limpieza de láminas metálicas utilizando el proceso tecnológico de generación de plasma frío a baja presión?	Determinar la contaminación que produce la limpieza de láminas metálicas con el proceso tecnológico de plasma frío a baja presión	La limpieza superficial de láminas con el proceso tecnológico de plasma frío a baja presión presentará una menor contaminación ambiental.	·Ángulo de contacto ·Emisiones

---

**Tabla 6:** Matriz de consistencia lógica. [7]

## 6. Metodología

### 6.1. Tipo y diseño de investigación

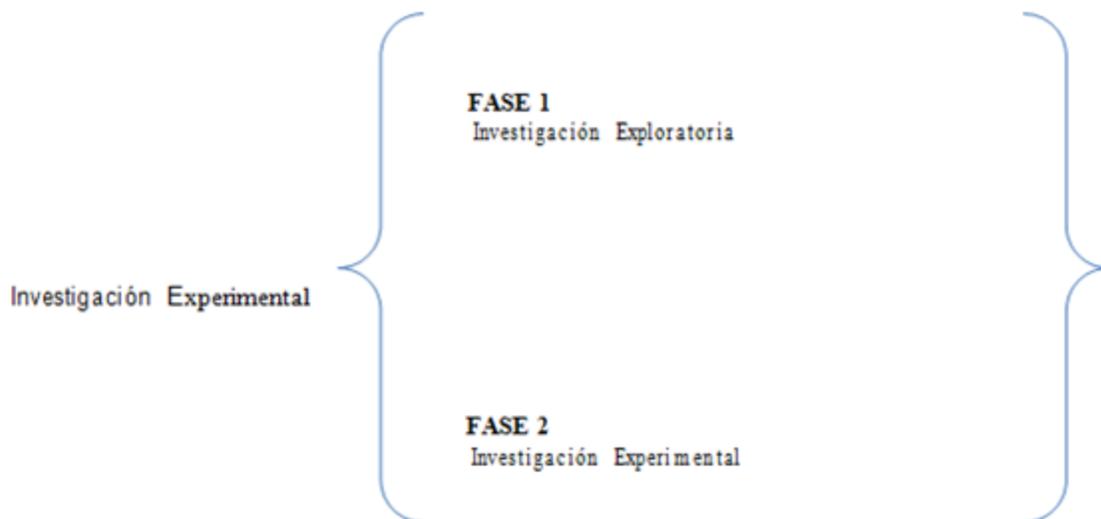
#### 6.1.1. Tipo de investigación

Para poder resolver el problema planteado en el proyecto sobre la **“análisis de la contaminación producida en la limpieza de láminas metálicas aplicando plasma frío a baja presión”** es necesario aplicar un tipo de investigación experimental que permite establecer una estrategia de investigación, diseño, recolección de datos y características de las muestras de manera que los esfuerzos personales económicos estén enfocados al propósito de estudio. Se plantea un proceso de limpieza aplicando una nueva tecnología a través de generación de plasma frío a baja presión donde los parámetros no están identificados y es necesario realizar un análisis exploratorio en una primera fase para solventar algunas interrogantes en los niveles iniciales de calibración del generador. Se considera dos factores importantes que influyen en esta primera fase que se enmarca en el conocimiento actual de la tecnología y la perspectiva de su uso en una nueva aplicación, considerando los siguientes aspectos fundamentales:

1)El conocimiento del tema de investigación que revela la revisión de la literatura especializada y el avance de la tecnología hasta la actualidad.

2)La perspectiva que el investigador pretenda dar al estudio correspondiente.

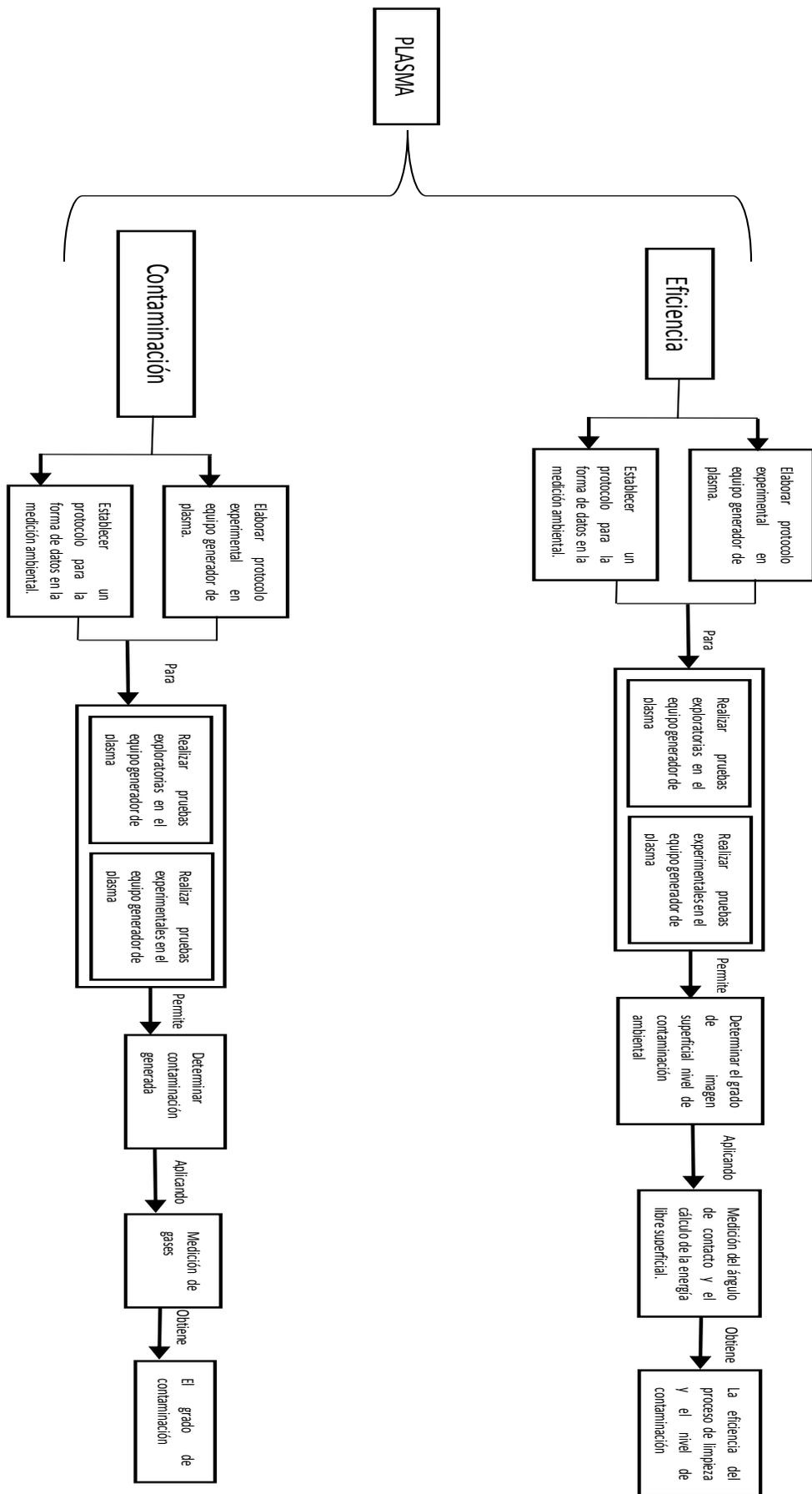
En el transcurso de la fase exploratoria la investigación se volverá específicamente experimental, donde el efecto producido por la manipulación de una o más variables independientes (de control) en el proceso de limpieza por plasma frío a baja presión presentarán un rango determinado de valores con los mejores resultados, y es en este rango donde se debe experimentar para encontrar el valor exacto de los diferentes parámetros (valores fijos de las variables de control) que representen la mejor limpieza superficial.



## 6.2. Procedimiento de Investigación

Para desarrollar un proceso de limpieza superficial de láminas metálicas con plasma frío a baja presión que produzca una menor contaminación e igual eficiencia al proceso tradicional por decapado, se elaborara un protocolo experimental en el generador de plasma que me permita manipular las variables y examinar el efecto producido en la limpieza además de garantizar la replicabilidad de la experimentación, de igual manera se establecerá un protocolo para la medición del nivel de contaminación que se produce por las emisiones de gases al ambiente. Se plantea realizar unas primeras pruebas exploratorias para identificar un rango de valores más óptimos en el generador de plasma y que presente el mejor efecto de limpieza en la superficie de análisis. Posteriormente se realizará los ensayos experimentales con un rango definido de valores pre-establecidos en la parte exploratoria. Una vez aplicado el plasma frío en las láminas se procederá a medir el ángulo de contacto con un goniómetro óptico digital que mantiene una interfaz con un computador que a través de un software realiza un cálculo para el análisis de la energía libre superficial de la lámina metálica que representa el nivel de limpieza. Paralelamente a la generación del plasma aplicado a la superficie se realiza las mediciones de los niveles de emisión de gases producidos por la descarga para determinar el grado de contaminación del proceso.

Figura 4: Diseño de investigación [7]



### 6.3. Unidad de Análisis.

La unidad de análisis corresponde a la entidad mayor o representativa de lo que va a ser objeto específico de estudio en una medición y se refiere al qué o quién es objeto de interés en una investigación. En este contexto la unidad de análisis de estudio y de mayor relevancia son las láminas metálicas que han sido contaminadas durante la transformación mecánica en el proceso de conformado donde su limpieza produce una contaminación ambiental considerable, se puede haber en un estudio más de una unidad de análisis simultáneamente, por tal motivo el equipo de laboratorio de plasma frío a baja presión también es de interés de análisis en este proyecto para establecer los parámetros de generación de plasma para la limpieza de las láminas metálicas.

### 6.4. Población de estudio.

La población de estudio representa el total del peso de láminas metálicas que son conformadas mecánicamente y han sido contaminadas en la línea de producción que elaboran productos de línea blanca. Para recubrir las láminas metálicas con una capa de pintura para prevenir la corrosión se realiza una limpieza superficial a través de un proceso por decapado por donde circulan al redor cinco toneladas mensuales de láminas metálicas y producen una gran contaminación ambiental.

### 6.5. Tamaño de muestra

Para identificar los criterios para la selección del tamaño de la muestra se considera claramente que la población es muy grande que representan un gran volumen de productos sin embargo se indica que para el cálculo de tamaño de la muestra cuando el universo es finito, es decir contable y la variable de tipo categórica o esperada  $N$  se puede conocer la muestra[33]:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (1)$$

Donde:

$N$  = Total de la población (número de muestras que salen de 5 ton de láminas de acero)

$Z$  = 1.962 si la seguridad es del 95 % (por tabla)

$p$  =  $1 - q$  (en este caso  $1 - 0.05 = 0.95$ )

$d$  = nivel de confianza (95 %)

$p$  se considera el éxito y  $q$  el fracaso de una probabilidad

Se debe considerar que el tamaño de la muestra calculada sigue siendo demasiado grande si consideramos que el peso de cada muestra es de 100 gr para colocarlo en el equipo de laboratorio de plasma frío a baja presión y los costos operativos demasiado elevados para la experimentación.

## 6.6. Selección de muestra

Se usó placas de acero inoxidable 304 de 7 x 7 cm con un espesor de 2 mm Figura 5, la composición química, es de: 19.86Cr, 8.77Ni, 71.37Fe (% en peso). Las mismas que fueron usadas como probetas para realizar la limpieza de las mismas impregnándolas de lubricantes conocidos.

**Figura 5:** Placa de acero inoxidable



**Fuente:** Autor

El número de muestras calculadas para la experimentación es demasiado grande que representa un costo de inversión elevado para la obtención y un consumo de insumos excesivo además del tiempo que se debería dedicar para cada experimento. De acuerdo al tipo de investigación (experimental) se propone extraer treinta pruebas 5 con cada lubricante de la marca Gulf que desarrollaron el papel de contaminantes de las placas, fueron el ISO 32, ISO 68 e ISO 220 de, en la Tabla 7 se detallan su viscosidad.

Lubricante	Viscosidad cSt/ 40°C	Viscosidad cSt/ 100°C	Punto de Inflamabili- dad °C	de Punto de Fluidez °C	Densidad a °C kg/l
ISO 32	32	5	202	-12	0,87
ISO 68	68	9,5	218	-9	0,881
ISO 220	220	19	256	-6	0,894

**Tabla 7:** Propiedades de lubricantes **Fuente:** Autor

Se realizó experimentación tanto con inmersión como sin inmersión en disolvente y exponerlos a una descarga de gas ionizado (plasma) y así generar una muestra representativa y confiable para la experimentación.

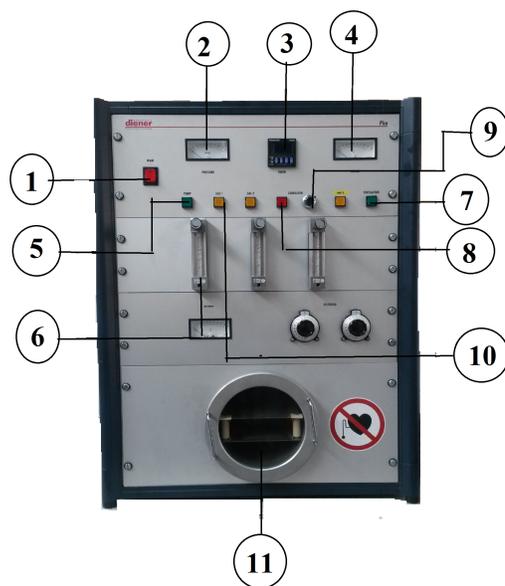
## 6.7. Técnicas de recolección de datos

La recolección de datos para la investigación será en fuentes primarias a través de los equipos de medición y software de análisis.

### 6.7.1. Plasma frío de baja presión

Para determinar la eficacia del proceso de limpieza por plasma frío a baja presión se utilizará la observación directa de los hechos para lo cual los datos proporcionados por el equipo generador de plasma de la Figura 6.

**Figura 6:** Esquema de los componentes Plasma frío de baja presión (1)Encendido del equipo, (2)medidor de presión de gas (3)temporizador (4)medidor de potencia (5)encendido de bomba de vacío (6)ajuste de presión de gas (7)encendido de ventilación (8)encendido de potencia (9)potenciómetro (10)encendido de gas (11)cámara de generación de plasma



**Fuente:** Autor

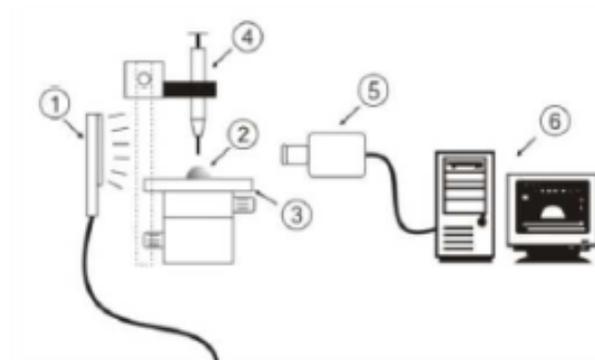
Este equipo de marca Diener, genera temperatura de sus partículas neutras e iones entre los 25°C a 100°C, y la temperatura electrónica esta entre los 5000°C a 105°C, con presiones inferiores a los 133mbar, generando plasma por medio de corriente continua, radiofrecuencias, microondas o descargas pulsadas [34]. El equipo utilizado, lo conforma el generador, que es semiautomático, en el cual se pueden usar tres gases diferentes para la generación del plasma; pero para estos ensayos se consideró necesario el uso de solo un gas el cual fue oxígeno cuya pureza era del 99,99%. En el equipo se puede variar parámetros tales como: presión, tiempo y potencia, la cámara donde se pueden colocar las probetas es cilíndrica y de cierre al vacío, esto gracias al segundo elemento que compone el plasma que es una bomba de vacío de paletas rotativas de dos etapas, tiene una presión

residual cercana a cero; y nos permite la ventilación de la cámara y sacar las muestras a examinarse.

### 6.7.2. El goniómetro óptico digital

Este instrumento de marca KSV CAM100 Figura 7, se utilizó para realizar la medición del ángulo de contacto del lubricante sobre la superficie metálica.

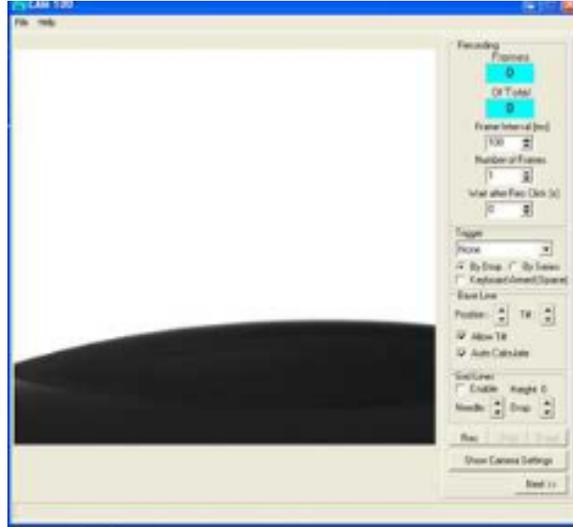
**Figura 7:** Esquema general de los componentes del goniómetro digital, (1) lámpara extendida de luz difusa, (2) gota de líquido yacente, (3) sustrato sólido, (4) micropipeta, (5) cámara de video digital CCD y zoom, (6) sistema de adquisición y tratamiento de imagen.



**Fuente:** Autor

Consta de tres componentes fundamentalmente: Mecánico, que incluye una mesa antivibratoria, un goniómetro con tres grados de libertad, un sistema de montaje y sujeción del sistema óptico con tres grados de libertad, así como también un sistema de fijación para la micropipeta, que desempeña el rol de dosificador de la cantidad necesaria de lubricante para la medición de ángulo de contacto. Este sistema en particular permite articular a voluntad diferentes posiciones de acuerdo a las necesidades de la muestra. Óptico, El goniómetro digital de medición del ángulo de contacto emplea una óptica formadora de imagen para observar el perfil de la gota sobre el sustrato, lo compone una cámara CCD (charge-coupled device) con 50 mm de óptica. Tratamiento de imagen, se usó el software CAM 100 Figura 8, donde se podía variar parámetros tales como: el número de imágenes tomadas, parámetros de la cámara y posición de los puntos de medición.

**Figura 8:** Plantilla principal CAM100 para medición de ángulo de contacto.



**Fuente:** Autor

Para garantizar la toma de los datos en los equipos se calibrara los mismos con patrones conocidos y para determinar el ángulo de contacto se utilizaran tres líquidos diferentes para la medición, de manera que minimice el error en el cálculo de la energía libre superficial que realiza el software incorporado en el equipo.

Líquidos de prueba	Energía superficial ( $\gamma$ )	Componente Dispersivo ( $\gamma^d$ )	Componente Polar ( $\gamma^p$ )
Agua Desionizada	72.8	21.8	51
Etileno Glicol	48	29	19
Diyodo Metano	50.8	50.8	0

**Tabla 8:** Líquidos de Pruebas **Fuente:** Autor

### 6.7.3. Analizador de gases

Los datos de contaminación producidas por la limpieza de las láminas metálicas se utilizó el equipo de marca QROTECH, cuyo uso fue para medir la emisión de gases, con un rango de medición de HC de 0- 20000 ppm y su ventana de display está especialmente diseñada a medida para indicar segmentos de 5 dígitos y para CO, CO2 Y O2, con display de 4 dígitos en general Figura 9.

**Figura 9:** Analizador de gases Qrotech.

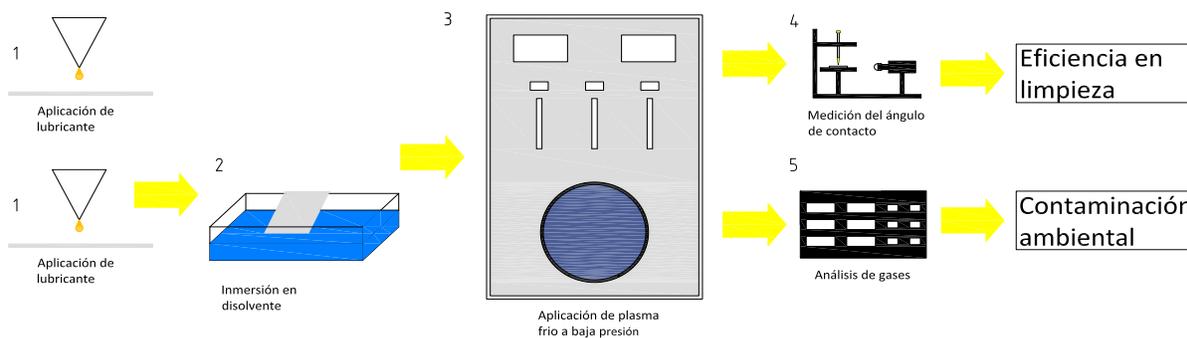


**Fuente:** Autor

A continuación se detalla el funcionamiento de cada componente señalado: “(1) Caja de impresión, que por donde sale el papel con los datos impresos. (2) Ventana display de CO, donde muestra la densidad de CO y el estado de procedimiento del programa. (3) Ventana display de HC, donde muestra la densidad de HC y el estado de procedimiento del programa. (4) Tecla ESC, se usa para volver al modo stand-by. (5) Tecla ENTER, se usa para la medición de los gases o confirmar una función suplementaria. (6) Tecla PURGE, se usa para realizar una purga o ejecutar un aumento de valor. (7) Tecla MENU, usada para escoger una función suplementaria. (8) Tecla PRINT, se usa en la impresión de datos. (9) Tecla ZERO, se usa para la corrección del punto del dato o mover una figura o dígito (10) Ventana display de O<sub>2</sub>, donde muestra la densidad de O<sub>2</sub> y el estado de procedimiento del programa. (11) Ventana display de AFR/NO<sub>x</sub>, donde muestra la densidad de AFR/NO<sub>x</sub> y el estado de procedimiento del programa. (12) Ventana display de Lambda, donde muestra la densidad de Lambda y el estado de procedimiento del programa. (13) Ventana display de CO<sub>2</sub>, donde muestra la densidad de CO<sub>2</sub> y el estado de procedimiento del programa”[35].

## 6.8. Proceso de ensayo

Figura 10: Esquema de proceso de ensayo



Fuente: Autor

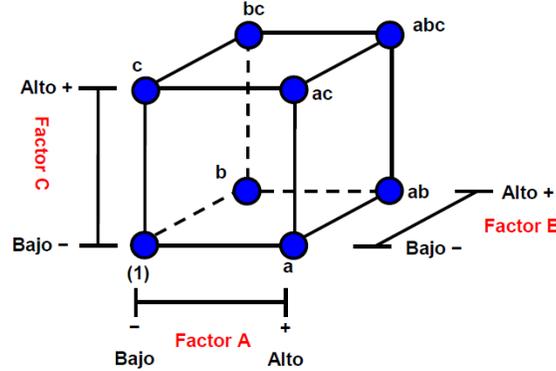
Los ensayos, se desarrollaron con dos procedimientos como se indica en la Figura 10 donde se realiza una aplicación directa del plasma sobre la superficie contaminada con aceite en el primer procedimiento, y en el segundo una inmersión en disolvente para ayudar a desprender el aceite impregnado en la superficie del material previo a la aplicación del plasma frío a baja presión. Se inicia en ambos procesos con la aplicación del contaminante con una micropipeta en el punto (1) que será cualquiera de los tres lubricantes que se mencionó, y se esparce con una espátula formando una película de lubricante uniforme sobre la lámina. La inmersión se la realizó por un tiempo de 3 segundos, punto (2), en el paso (3) se coloca las placa dentro del plasma, donde se para cada lubricante se realizó una configuración del equipo. Se culmina el tiempo de limpieza, se pasa al punto (4) en donde se conecta la salida de la bomba de vacío del plasma con el sensor del analizador de gases y se obtienen los datos de la contaminación del proceso, en el punto (5) a la placa se la coloca en el goniómetro digital y con la ayuda de la micropipeta para realizar la medición del ángulo de contacto se coloca  $5\mu\text{l}$ , se usa el método de la gota sésil o yacente, “ que consiste en colocar una gota pequeña de líquido en una superficie sólida y observar cómo se comporta el líquido al mojar al sólido. Este método es el apropiado para medir el ángulo de contacto líquido sinovial-cartílago”[36] y con el ángulo de contacto y la energía libre superficial se obtienen la eficiencia en la limpieza. Para el análisis de los datos obtenidos en el goniómetro digital (10 mediciones por segundo) junto con los valores de energía libre superficial de los líquidos utilizados en la medición del ángulo de contacto se utiliza un software de análisis que determinar la energía libre superficial de las láminas metálicas después del proceso.

## 6.9. Diseño Experimental $2^3$

Para los diseños factoriales  $2^3$ , se tienen tres factores de interés A, B y C las tres interacciones de dos factores (AB, AC, BC) y la interacción de los tres factores (ABC), a dos niveles cada uno estos niveles son valores opuestos uno alto y otro bajo [37][38]. Las ocho corridas o tratamientos

del diseño  $2^3$ , se pueden representar geoméricamente como un cubo similar al que se muestra en la Figura 11 siguiente [37][38][39]:

**Figura 11:** Representación geométrica de diseño  $2^3$ .



En cada arista del cubo corresponde a una corrida de tratamientos diferente. En la Figura 11 también se puede apreciar la notación de Yates para los diseños  $2^3$ , en esta notación las ocho corridas se representan por (1), a, b, ab, c, ac, bc y abc [40]. A puede estimarse promediando las cuatro combinaciones de tratamiento de la cara derecha del cubo, donde el nivel A es alto, y después restando de esta cantidad el promedio de las cuatro combinaciones de tratamientos que están en la cara izquierda del cubo, donde A tiene el nivel bajo [40]. Al hacer esto se tiene:

$$A = Y_{A+} - Y_{A-} = \frac{a + ab + ac + abc}{4n} - \frac{(1) + b + c + bc}{4n} = \frac{1}{4n} [a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc] \quad (2)$$

B se puede determinar como la diferencia en promedios entre las cuatro combinaciones de tratamientos de la cara posterior del cubo de la figura y las cuatro combinaciones de la cara anterior [40]. Con esto se tiene que:

$$B = \frac{1}{4n} [b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac] \quad (3)$$

C es la diferencia en la respuesta promedio entre las cuatro combinaciones de tratamientos de la cara superior del cubo Figura y las cuatro de la cara inferior, esto es [40].:

$$C = \frac{1}{4n} [c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab] \quad (4)$$

Los efectos de interacción también se pueden obtener con facilidad. La interacción entre A y B se puede obtener como la diferencia entre los promedios de los efectos de A en los dos niveles de B [40]. Es decir:

Efecto de A promedio

$$EfectoA_{paraB+} = \frac{[(abc - bc) + (ab - b)]}{2n} \quad (5)$$

$$EfectoA_{paraB-} = \frac{[(ac - c) + [a - (1)]]}{2n} \quad (6)$$

La interacción entre AB es:

$$AB = \frac{EfectoA_{paraB+} - EfectoA_{paraB-}}{2} = \frac{[abc - bc + ab - b - ac + c - a + (1)]}{4n} \quad (7)$$

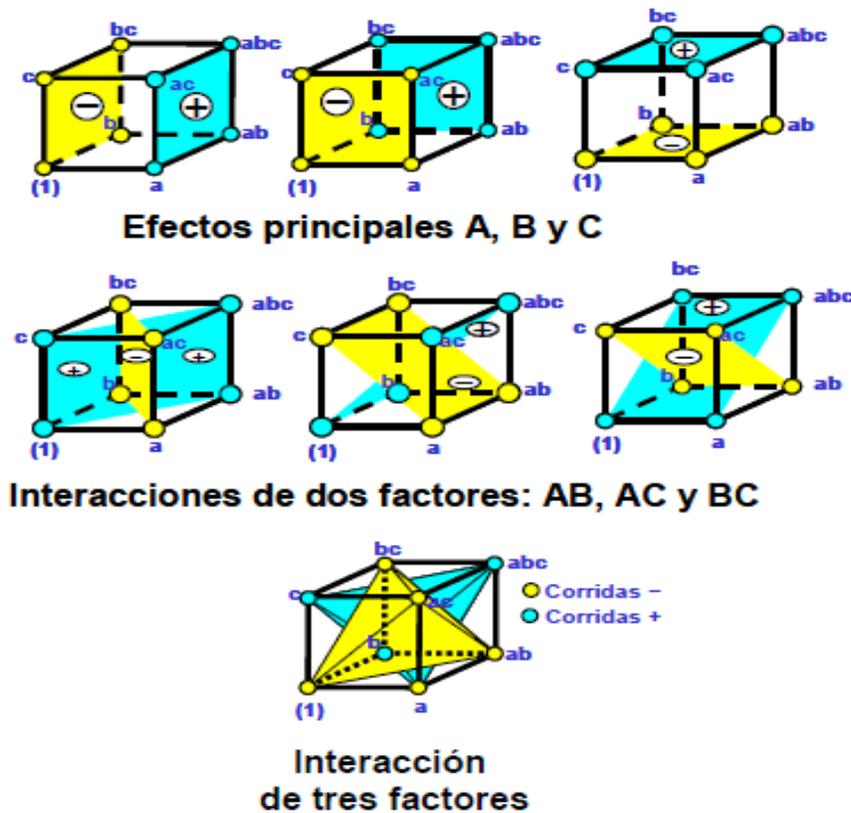
De manera análoga se pueden obtener la interacción AC y BC

$$AC = \frac{EfectoA_{paraC+} - EfectoA_{paraC-}}{2} = \frac{[(1) - a + b - ab + c - ac + bc - abc]}{4n} \quad (8)$$

$$BC = \frac{EfectoB_{paraC+} - EfectoB_{paraC-}}{2} = \frac{[(1) + a - b - ab - c - ac + bc + abc]}{4n} \quad (9)$$

En la Figura 12 se ilustra gráficamente los términos involucrados en el cálculo de los efectos principales y de interacción en un diseño factorial  $2^3$  [40].

**Figura 12:** Cálculo de los efectos principales y de interacción en un diseño  $2^3$ .



Finalmente, la interacción ABC se obtiene como:

$$ABC = \frac{[abc - bc - ac + c - ab + b + a - (1)]}{4n} \quad (10)$$

A pesar de que para el diseño factorial  $2^3$ , se puede representar geoméricamente en un cubo, el cálculo de los contrastes y de los efectos se puede obtener más fácilmente a partir de la tabla de signos mostrada a continuación [40].:

Tratamiento	Yates	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	-1	-	-	-	+	+	+	-
2	a	+	-	-	-	-	+	+
3	b	-	+	-	-	+	-	+
4	ab	+	+	-	+	-	-	-
5	c	-	-	+	+	+	+	-
6	ac	+	-	+	-	-	+	+
7	bc	-	+	+	-	+	-	+
8	abc	+	+	+	+	-	-	-

**Tabla 9:** Tabla de signos para el diseño  $2^3$  y notación de Yates **Fuente:** Autor

En la tabla de signos se puede obtener con facilidad los signos para los contrastes de interacción, multiplicando las columnas adecuadas de los efectos principales. Así, por ejemplo, la columna con los signos de interacción AB se puede obtener multiplicando la columna de A con la columna B renglón a renglón. Y el contraste AB, resulta simplemente de multiplicar la columna de Yates en la Tabla por la columna de signos AB:

$$ContrasteAB = [abc - bc + ab - b - ac + c - a + (1)] \quad (11)$$

La suma de cuadrados y efectos para la construcción del ANOVA se pueden obtener a partir de las formulas[40].:

$$ContrasteAB = [abc - bc + ab - b - ac + c - a + (1)] \quad (12)$$

$$Efecto = \frac{Contraste}{4n} \quad (13)$$

$$SS_X = \frac{(Contraste^2)}{8n} \quad (14)$$

Quedando la Tabla de Anova de  $2^3$  [38] [37].

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F0
Tratamiento A	SSA	a-1	MSA = SSA/a-1	MSA/MSE
Tratamiento B	SSB	b-1	MSB = SSB/b-1	MSB/MSE
Tratamiento C	SSC	c-1	MSC =SSC/c-1	MSC/MSE
Interacción AB	SSAB	(a-1)(b-1)	MSAB = SSAB/(a-1)(b-1)	MSAB/MSE
Interacción AC	SSAC	(a-1)(c-1)	MSAC=SSAC/(a-1)(c-1)	MSAC/MSE
Interacción BC	SSBC	(b-1)(c-1)	MSBC =SSBC/(b-1)(c-1)	MSBC/MSE
Interacción ABC	SSABC	(a-1)(b-1)(c-1)	MSABC =SSABC/(a-1)(b-1)(c-1)	MSABC/ME
Error	SSE	abc(n-1)		
Total	SST	abcn-1	MSE =SSE/abc(n-1)	

**Tabla 10:** Anova de  $2^3$  **Fuente:** Autor

## 7. Resultados

### 7.1. Determinación de los parámetros tecnológicos del proceso de plasma frío a baja presión para láminas metálicas que cumpla con los niveles de limpieza superficial.

Para determinar los parámetros de generación de plasma, se aplica el diseño experimental de  $2^3$ , lo que plantea 8 posibles combinaciones de los 3 parámetros a controlar que son: La presión del gas, el tiempo aplicación del plasma y la potencia del equipo, con dos niveles uno alto y uno bajo para cada parámetro recomendados por la empresa Diener y sugerido por algunos investigadores[4]. La Tabla 11 presenta los valores utilizados.

Combinación	Tiempo	Presión	Potencia
1	10	0.25	50
2	20	0.25	50
3	10	0.35	50
4	20	0.35	50
5	10	0.25	90
6	20	0.25	90
7	10	0.35	90
8	20	0.35	90

**Tabla 11:** Combinaciones para generación de plasma. **Fuente:** Autor

A continuación se presenta los resultados de la combinación de los diferentes parámetros de control de los equipos:

Parámetros				
	Lubricante	Tiempo (min)	Presión (mbar)	Potencia (%)
Con inmersión	Iso 32	10	0.25	90
	Iso 68	10	0.35	90
	Iso 220	20	0.35	90
Sin inmersión	Iso 32	10	0.35	90
	Iso 68	20	0.35	90
	Iso 220	20	0.35	90

**Tabla 12:** Parámetros para generación de plasma. **Fuente:** Autor

Combinación	Ensayos					Promedio
1	19.87	19.48	19.34	19.69	19.11	19.50
2	18.56	18.79	18.64	18.99	18.74	18.74
3	20.54	19.84	19.70	20.04	19.30	19.88
4	19.45	19.26	19.12	19.46	18.99	19.26
5	16.76	17.83	17.69	18.03	18.23	17.71
6	16.54	17.71	17.57	17.91	18.17	17.58
7	17.32	16.76	16.49	17.14	16.24	<b>16.79</b>
8	16.12	17.49	17.35	17.69	18.05	17.34

**Tabla 13:** Ensayos ISO 32 sin Inmersión **Fuente:** Autor

Para determinar los resultados de la Tabla 12 se realizó una investigación exploratoria con 5 ensayos de cada combinación y utilizando su promedio:

Determinada mi fase exploratoria se procede a realizar 30 ensayos (Anexo A) con la mejor combinación Tiempo 10 minutos, Presión 5 mbar y Potencia al 90 %, para tener una confiabilidad de 95 % aplico la prueba de ANOVA para garantizar la veracidad de los datos.

Donde:

Ho: Que los parametros establecidos en la generación de plasma para una limpieza de laminas metálicas combinadas con aceite Iso 32 sin inmersión, presenta los mejores resultados de energía libre superficial.

Ha: Que los parametros establecidos en la generación de plasma para una limpieza de laminas metálicas combinadas con aceite Iso 32 sin inmersión, no presenta los mejores resultados de energía libre superficial.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	45.53	7	6.50	28.75	4.4518E-12	2.313
Dentro de los grupos	7.24	32	0.23			
Total	52.78	39				

**Tabla 14:** Anova ISO 32 sin inmersión. **Fuente:** Autor

Como resultado del calculo de las anovas, tenemos que el Valor crítico para F es 2.31, por medio de los grados de libertad y las tablas de distribución de fisher; se tiene un valor de 2.31; es decir  $F_c = F_t$ , por lo que se acepta la hipótesis nula y los parámetros de generación de plasma.[41]

Para los otros lubricantes se realiza el mismo procedimiento; obteniendo las siguientes Anovas:

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	98.96	7	14.14	51.74	1.1638E-15	2.312
Dentro de los grupos	8.74	32	0.27			
Total	107.71	39				

**Tabla 15:** Anova ISO 32 con inmersión. **Fuente:** Autor

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	158.93	7	22.70	43.01	1.6571E-14	2.313
Dentro de los grupos	16.89	32	0.53			
Total	175.82	39				

**Tabla 16:** Anova ISO 68 sin inmersión. **Fuente:** Autor

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	307.81	7	43.97	57.41	2.5545E-16	2.31
Dentro de los grupos	24.51	32	0.77			
Total	332.33	39				

**Tabla 17:** Anova ISO 68 con inmersión. **Fuente:** Autor

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2222.52	7	317.50	178.59	8.5172E-24	2.313
Dentro de los grupos	56.89	32	1.78			
Total	2279.41	39				

**Tabla 18:** Anova ISO 220 sin inmersión. **Fuente:** Autor

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1825.35	7	260.76	533.55	2.8752E-31	2.313
Dentro de los grupos	15.64	32	0.49			
Total	1840.99	39				

**Tabla 19:** Anova ISO 220 con inmersión. **Fuente:** Autor

Los resultados de las Anovas confirman la confiabilidad de los parámetros seleccionados para la generación de plasma, y por lo tanto serán las mejores opciones en la limpieza de las placas metálicas.

## 7.2. Determinación la contaminación que produce la limpieza de láminas metálicas con el proceso tecnológico de plasma frio a baja presión.

### 7.2.1. ISO 32

No	Muestra $\mu$ l	Ángulo de Contacto	Cant.de lubricante ml	CO %	CO2 %	HC PPM
1		16.76		0.34	0.1	563
2		16.49		0.38	0.1	576
3	5	17.14	0.1	0.37	0.1	553
4		16.24		0.38	0.1	585
5		17.32		0.41	0.1	601
Pmd		16.79		0.38	0.1	575.6

**Tabla 20:** ISO 32 sin Inmersión en disolvente **Fuente:** Autor

No	Muestra $\mu$ l	Ángulo de Contacto	Cant.de lubricante ml	CO %	CO2 %	HC PPM
1		12.92		0.34	0.1	1031
2		12.25		0.33	0.1	1028
3	5	12.73	0.1	0.34	0.1	1049
4		12.86		0.34	0.1	995
5		12.27		0.37	0.1	1026
Pmd		12.606		0.344	0.1	1025.8

**Tabla 21:** ISO 32 con Inmersión en disolvente **Fuente:** Autor

Las experimentaciones con cada lubricante, se realizaron sin inmersión que se muestra en la Tabla 20 y con inmersión en la tabla 21 para el caso del aceite ISO 32, donde se presencia un diferencial en el ángulo de contacto de ambos métodos que es de  $4,18^\circ$ , la presencia de CO, en ambos casos es similar al igual que el CO2 con 0.34 % y 0.1 % respectivamente, en los hidrocarburos o HC se produce un aumento cuando se realiza la inmersión en disolvente esto es producto de la presencia del disolvente que es un derivado del petróleo.

### 7.2.2. ISO 68

No	Muestra $\mu$ l	Ángulo de Contacto	Cant.de lubricante ml	CO %	CO2 %	HC PPM
1		36.93		0.5	0.2	1177
2		37.55		0.5	0.2	1151
3	5	36.86	0.1	0.48	0.2	1098
4		36.91		0.49	0.2	1133
5		36.05		0.37	0.2	1088
Pmd		36.86		0.468	0.2	1129.4

**Tabla 22:** ISO 68 sin Inmersión en disolvente **Fuente:** Autor

No	Muestra $\mu$ l	Ángulo de Contacto	Cant.de lubricante ml	CO %	CO2 %	HC PPM
1		16.03		0.39	0.2	2068
2		16.52		0.45	0.2	2214
3	5	16.35	0.1	0.44	0.2	2315
4		16.96		0.49	0.2	2185
5		16.83		0.5	0.2	2319
Pmd		16.538		0.454	0.2	2220.2

**Tabla 23:** ISO 68 con Inmersión en disolvente **Fuente:** Autor

Para el caso del ISO 68, se tiene ángulos de contacto en el proceso sin inmersión mayores; en vista que la placa aún tenía presencia de residuos de lubricante, al aplicar plasma en su mayoría se removió pero una parte aún mantenía adherencia a la placa generando una diferencia de 20° aproximadamente, los porcentajes de CO, CO2 y HC son mayores en el caso del ISO 32, cabe destacar que se da un incremento en los HC a las muestras tomadas con la inmersión en disolvente como se indica en la Tabla 23. En comparación a las pruebas sin inmersión (Tabla 22) que excede en 1090.8 ppm, se observa claramente que el disolvente (Thinner) aunque mejore la calidad de limpieza su contaminación es mayor.

### 7.2.3. ISO 220

No	Muestra $\mu$ l	Ángulo de Contacto	Cant.de lubricante ml	CO %	CO2 %	HC PPM
1		71.41		0.47	0.2	1259
2		71.49		0.45	0.2	1317
3	5	71.16	0.1	0.47	0.2	1199
4		71.94		0.49	0.2	1278
5		71.32		0.5	0.2	1344
Pmd		71.464		0.476	0.2	1279.4

**Tabla 24:** ISO 220 sin Inmersión en disolvente **Fuente:** Autor

No	Muestra $\mu$ l	Ángulo de Contacto	Cant.de lubricante ml	CO %	CO2 %	HC PPM
1		20.5		0.51	0.4	1885
2		20.69		0.52	0.3	1902
3	5	20.93	0.1	0.51	0.4	1925
4		20.8		0.5	0.4	1971
5		20		0.51	0.4	1975
Pmd		20.584		0.51	0.38	1931.6

**Tabla 25:** ISO 220 con Inmersión en disolvente **Fuente:** Autor

En Los resultados de la experimentación con el lubricante ISO 220, el ángulo de contacto es de 71,5° en promedio como se muestra en la Tabla 24, presentando condiciones "hidrofobas", es decir que no existe una mojabilidad aceptable del líquido con la lámina. El porcentaje de CO es muy similar en todos los procesos y el porcentaje de CO2 existe una diferencia del 0.18% y los porcentajes de HC en el proceso con inmersión es mayor.

#### 7.2.4. Resumen de resultados

Sin inmersión						
Lubricante	Muestra $\mu$ l	Ángulo de Contacto	Cant.de lu- bricante ml	CO %	CO2 %	HC PPM
ISO 32	5	16.79	0.1	0.376	0.1	575.6
ISO68	5	36.86	0.1	0.468	0.2	1129.4
ISO 220	5	71.464	0.1	0.476	0.2	1279.4
Con inmersión						
ISO 32	5	12.606	0.1	0.344	0.1	1025.8
ISO68	5	16.538	0.1	0.454	0.2	2220.2
ISO 220	5	20.584	0.1	0.51	0.38	1931.6

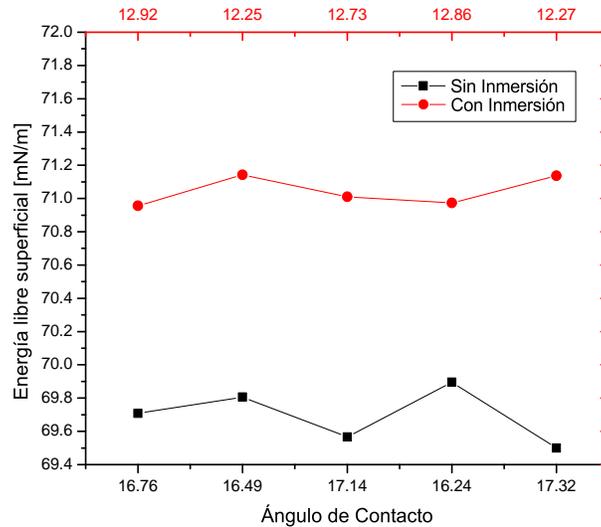
**Tabla 26:** Resumen de resultados **Fuente:** Autor

En el resumen se muestra que en los procesos de limpieza con inmersión disminuye el ángulo de contacto, produciendo un mejor proceso de limpieza, sin embargo estos tuvieron una mayor contaminación en especial de los HC donde hubo un aumento al 50 %.

### 7.3. Determinación del grado de limpieza que genera el plasma frío a baja presión en las láminas metálicas a través del ángulo de contacto y la energía libre superficial

#### 7.3.1. ISO 32

**Figura 13:** Comparación de Energía libre superficial del lubricante ISO 32 sin inmersión y con inmersión

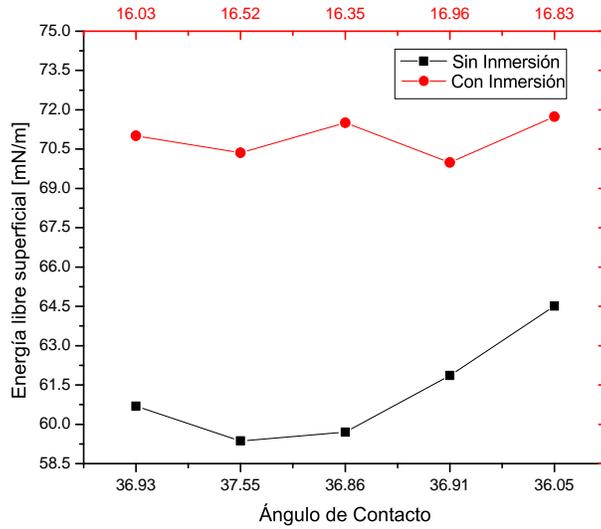


Fuente: Autor

Respecto a la Figura 13, el método con inmersión tuvo los valores de energía libre superficial más altos aunque la diferencia entre estos valores es de 1.35mN/m en promedio, lo que quiere decir que se efectuó una mejor limpieza aunque no es mucha la diferencia entre estos 2 procesos.

### 7.3.2. ISO 68

**Figura 14:** Comparación de Energía libre superficial del lubricante ISO 68 sin inmersión y con inmersión

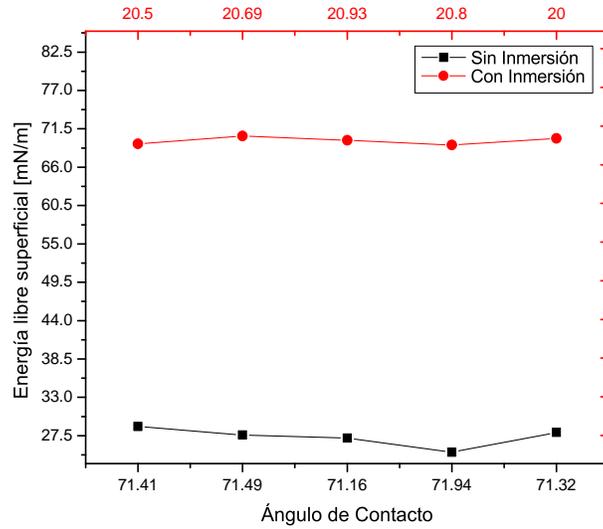


**Fuente:** Autor

Para el lubricante ISO 68, al calcular su energía superficial, se detona una mayor variación en el método con disolvente; donde existe una limpieza significativa de la lámina debido a que se removió en su totalidad el contaminante con una diferencia de 11.54 mN/m, entre ambos metodos.

### 7.3.3. ISO 220

**Figura 15:** Comparación de Energía libre superficial del lubricante ISO 220 sin inmersión y con inmersión



**Fuente:** Autor

El caso del ISO 220, es donde existió un cambio notable en la energía libre superficial del método inversivo con un promedio de 45 mN/m de diferencia de un proceso a otro; denotando una mejoría superior esto es producto a que el ISO220 presenta mayor adherencia a la placa al someterla al plasma sin un previo baño químico.

## 8. Conclusiones

Se concluye que los parámetros planteados para la generación de plasma fueron idóneos por los resultados obtenidos por el análisis anova.

La contaminación producida por la generación de plasma indica que el lubricante ISO 32, produce menor contaminación que los otros lubricantes; la limpieza química realizada con disolvente, fue necesaria para mejorar la eficiencia del proceso de limpieza; debido a que la acción del plasma es limitada en la superficie y no es efectivo en la remoción de polvos y sales inorgánicas, resultando el método inmersivo más eficiente, en general la limpieza con plasma no se obtuvo contaminación con desechos sólidos, y los gaseosos se determinaron para cada tipo de aceite.

La limpieza de las laminas metálicas, a partir de el ángulo de contacto y energía libre superficial, se determina que el lubricante ISO 32 , genera resultados de menor ángulo de contacto y un alto nivel de energía libre superficial.

## 9. Recomendaciones

Tal como se presentó en un inicio la limpieza con plasma nace en reemplazo a los baños de decapado, lo cual sería a meritorio un posterior análisis de comparación entre el proceso por decapado y el plasma.

## Referencias

- [1] D. C. P. Solutions., *Introduction to dow corning plasma solutions atmospheric pressure plasma liquid deposition*. Revolutionizing the business of surface engineering., 2006.
- [2] N. Ipek, N. Lior, and A. Eklund, “Mejora del decapado electrolítico de metales, proceso por el aislamiento entre los electrodos.” *Metalúrgicas y de fabricación de acero*, 2005.
- [3] C. Frias and O. Perez, “Recuperación de ácidos e metales en baños agotados del decapado de aceros inoxidable.” *Revista de Metalurgia*, pages 427 – 431., 1998.
- [4] P. Sarmiento, L. López, A. Sarmiento, and J. Fajardo, “Efficiency of the low pressure cold plasma in the cleaning of steel for subsequent covering.” *Andean Region International Conference (ANDESCOM)*, VI:115 – 118., 2012.
- [5] D. Kwok and A. Neuman, “Contact angle measurement and contact angle interpretation.” *Advances in Colloid and Interface Science*, 81(3):167 – 249., 1999.
- [6] D. Njobuenwu, E. Oboho, and R. Gumus, “Determination of contact angle from contact area of liquid droplet spreading on solid substrate.” *Electronic Journal of Practices and Technologies*, 10:29 – 38., 2007.
- [7] L. Lopez, “Anteproyecto de tesis doctoral: Desarrollo de un proceso para limpieza con plasma frio de baja presión de laminas metalicas utilizadas en la productos de linea blanca que reduce la contaminacion y mejora la eficiencia.” Ph.D. dissertation, Universidad mayor de San Marcos, 2015.
- [8] B. F, “Mejora medioambiental del proceso de galvanización.” *Primer catálogo aragón es de buenas prácticas*, 27., 2002.
- [9] F. Lopez, F. Vila, J. Martín, and A. Delgado, “Reciclado de las aguas de decapado.” *Revista de Metalurgia.*, 1998.
- [10] E. Cano, J. Simancas, L. Narvaéz, and J. Bastidas, “Estudio de la corrosión del cobre por vapores de ácido acético al 40 y 80” *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio.*, 2004.
- [11] D. Villalobos, M andPeñalosa, M. Moscona, M. Cram, and F. Heydrich, “Opciones para el tratamiento y la disposición de los licores ácidos agotados provenientes del decapado de hierro.” *Portal de revistas científicas y arbitradas de la UNAM*, 1., 1990.
- [12] OMS, “Prevesolid y control integrados de la contaminación.” 2008.

- [13] K. Ma, C. T, and R. Good, "Surface energy of thermotropic liquid crystalline polyesters and polyesteramide." *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 36(13):2327 – 2337., 1998.
- [14] E. Mercurio, "Desarrollo industrial de la línea blanca en la ciudad de cuenca." Ecuador, Tech. Rep., 2013.
- [15] D. Ken, "Chemical cleaning of metals." *Journal of Mechanical*, 2000.
- [16] M. Blasco, "Proceso de sedimentación de precipitados procedentes del tratamiento de los efluentes de una industria de recubrimiento de superficies metálicas." Master's thesis, Universidad Politécnica de Valencia., 2012.
- [17] J. Carrillo, "Estudio de la recuperación del zinc presente en los baños agotados de decapado procedentes de la industria de galvanizado de zinc en caliente mediante técnicas electroquímicas." Ph.D. dissertation, Universidad Politécnica de Valencia., 2014.
- [18] Z. Navrátil, V. Bursikova, P. Stahel, M. Sira, and P. Zverina, "On the analysis or surface free energy of dlc coatings deposited in low pressure rf discharge." *Czechoslovak Journal of Physics*, 10:29 – 38., 2004.
- [19] Ramé and Hart, "Surface free energy." 2011.
- [20] R. Angostino, P. Favia, C. Oehr, and M. Wertheimer, "Low temperature plasma processing of materials: Past, present and future." *Plasma Processes and Polymers*, 2:7 – 15., 2005.
- [21] Plasmatreat, "Tecnología de plasma innovadora tecnología clave para limpieza, activación y aplicación de recubrimiento en diversas superficies." *Disponible en: <http://www.plasmatreat.com>*., 2013.
- [22] R. Antón, "Tensión interfacial. cuaderno firp s203-a." Master's thesis, Universidad de los Andes. Merida - Venezuela., 2005.
- [23] D. Askeland and P. Fulay, *The Science and Engineering of Materials*. International Thomson Publishing. ISBN: 9786074816204., 2012.
- [24] V. F., "La contaminación ambiental como factor determinante de la salud." *Revista Española de Salud Pública*, 79:117 – 127., 2005.
- [25] R. J., T. V., O. G., and B. V. H., "Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias de estudios epidemiológicos." *Salud Pública de México*, 43:544 – 555., 2001.

- [26] F. Ballester, “Contaminación atmosférica, cambio climático y salud.” *Revista Española de Salud Pública*, 79:159 – 175., 2005.
- [27] S. K., C. C., and K. T., “How much global ill health is attributable to environmental factors.” *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 10(5):573–584. PMID: 10468437., 1990.
- [28] P. M., K. M., and Z. E., “Grupo de trabajo sobre compuestos tóxicos persistentes y salud del imim. concentraciones de compuestos tóxicos persistentes en la población española: el rompecabezas sin piezas y la protección de la salud pública.” *scielo*, pages 66 – 257., 2002.
- [29] B. J. and D. la Quintana D., “Contaminación del agua.” *Redesma*, 4(2):1 – 76., 2010.
- [30] F. R., V. C., A. E., and O. Parra, “Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile.” *Revista chilena de historia natural*, 76:275 – 285., 2003.
- [31] K. M. and G. J., “Dioxinas y salud.” *scielo*, pages Dec 2; 115:740–8., 2000.
- [32] O. N., F. F., Araque, and O.-S. P., “Perspectivas en disrupción endocrina.” *scielo*, pages 250 –6., 2002.
- [33] E. I., F. F., and L. M., “Estadística descriptiva y probabilidad. teoría y problemas.” Master’s thesis, Universidad de Cádiz., 2009.
- [34] D. C. P. Solutions, “Introduction to down corning plasma solutions atmospheric pressure plasma liquid deposition.” Dow Corning, Tech. Rep., 2006.
- [35] QROTECH, *Automotive Emission Analyzer QGA/NGA 6000*.
- [36] J. Solano, F. Lima, and E. Velazquez, “Tensiómetro digital para medir ángulos de contacto líquido-sólido.” *Memorias del XV congreso internacional anual de la SOMIN*, 2009.
- [37] E. Box, S. Hunter, and G. Hunter, *Estadística para Invetigadores*, Reventé, Ed. Reventé, 2008.
- [38] J. Ferré, “El diseño factorial completo 2k.” *Grupo de Quimiometría y Cualimetría Departamento de Química Analítica y Química Orgánica Universidad Rovira i Virgili (Tarragona)*, 2005.
- [39] J. Arnau, *Métodos y técnicas avanzadas de análisis de datos en ciencias del comportamiento*, U. de Barcelona, Ed. La Universidad de Barcelona, 1996.
- [40] UNAM, *Diseño Factoiales 2K*, UNAM, Ed. UNAM, 2006.
- [41] A. Vargas, *Estadística descriptiva e inferencial*, C. ciencia y tecnología, Ed. Universidad de Castilla, 2008.

## 10. Anexos

Ensayos						
No	ISO 32 SI	ISO 32 CI	ISO 68 SI	ISO 68 CI	ISO 220 SI	ISO 220 CI
1	16.7	12.43	35.65	16.57	71.54	20.65
2	16.5	12.54	36.66	16.76	72.54	20.53
3	15.9	12.65	35.98	15.54	71.43	21.54
4	16.54	13.54	36.87	16.78	71.54	22.54
5	16.74	12.75	36.12	16.98	71.76	19.54
6	16.34	12.76	35.67	17.6	71.98	20.64
7	15.88	11.56	36.76	16.33	72.5	20.54
8	14.76	12.12	36.8	16.31	72.09	20.64
9	15.75	11.54	36.94	16.43	71.98	21.54
10	16.87	11.99	36.72	16.23	71.43	22.54
11	17.05	12.55	37.54	16.34	71.54	18.54
12	16.54	12	36.7	16.74	71.34	20.54
13	16.43	12.65	36.12	16.78	71.23	20.76
14	16.74	12.87	36.43	16.89	71.65	21.54
15	16.87	12.65	35.87	17.06	70.89	20.54
16	16.23	13.53	36.96	16.98	71.95	20.9
17	15.34	12.64	36.75	16.45	72.06	21.4
18	16.65	12.65	36.69	16.5	71.54	20.94
19	16.66	12.76	36.87	16.77	71.34	20.54
20	17.04	12.87	37.02	15.87	71.66	20.43
21	17.25	12.65	36.34	16.3	71.75	19.54
22	16.99	12.98	36.32	16.76	71.65	18.35
23	16.44	12.76	36.12	16.73	71.95	21.3
24	16.35	12.45	35.24	16.45	72.23	20.65
25	16.55	12.76	36.65	16.87	71.65	20.31
26	16.78	12.45	36.55	15.97	71.76	20.54
27	16.74	12.33	36.76	16.65	71.84	21.65
28	15.74	12.11	36.87	16.43	71.54	20.54
29	16.34	12.96	36.54	16.54	70.83	21.54
30	17.09	12.6	35.23	16.74	71.23	20.74

**ANEXO A:** Ensayos con mejores combinaciones **Fuente:** Autor

SI=sin inmersión CI=con inmersión