

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**TESIS**

**“PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ORO A PARTIR DE  
RESIDUOS GENERADOS EN JOYERÍAS MINITTA”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR**

**DAVILA DIAZ MARILYN STEFANIE**

**ASESOR**

**ING° POLICARPO AGATÓN SUERO IQUIAPAZA**

**CALLAO – DICIEMBRE – 2018**

**PERÚ**

## PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue Sustentada por la Bachiller **DÁVILA DIAZ MARILYN STEFANIE** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes Profesores Ordinarios:

ING° JULIO CÉSAR CALDERÓN CRUZ	PRESIDENTE
ING° MARÍA ESTELA TOLEDO PALOMINO	SECRETARIA
Lic. VICTORIA YSABEL ROJAS ROJAS	VOCAL
ING° POLICARPO AGATÓN SUERO IQUIAPAZA	ASESOR

Tal como está asentado en el Libro de Actas N° 1 de Tesis con Ciclo de Tesis Folio N° 42 y Acta N° 41 de fecha **VEINTISÉIS DE NOVIEMBRE DE 2018**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Titulación de Tesis con Ciclo de Tesis, de conformidad establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 309–2017–CU de fecha 24 de octubre de 2017 y su Cuarta Disposición Transitoria.

## **DEDICATORIA**

**La presente tesis la dedico a mi madre Mariela Díaz Navarro, porque siempre está a mi lado apoyándome a lograr todas mis metas; a mi hija Abigail, que es la mejor bendición en mi vida.**

**Finalmente a mis queridos abuelitos Enrique y Claudina, *In memoriam*, que me amaron y se preocuparon por mi bienestar siempre**

## **AGRADECIMIENTO**

**Agradezco a Dios, a mi padre Heyne Dávila Abanto por todo su apoyo para realizar esta tesis, De igual manera a mi madre Mariela Díaz Navarro por su apoyo incondicional y sobre todo por dedicar su tiempo en cuidar a mi hija Abigail sin ello no hubiera podido realizar dicha tesis, así mismo a la empresa joyerías Minitta por brindarme los residuos necesarios para la elaboración de esta tesis**

# ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	6
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN	8
<b>I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>9</b>
1.1 Descripción de la realidad problemática	9
1.2 Formulación del problema	9
1.2.1 Problema general	9
1.2.2 Problemas específicos	9
1.3 Objetivos	9
1.3.1 Objetivo general	9
1.3.2 Objetivos específicos	9
1.4 Limitantes de la investigación	10
<b>II MARCO TEÓRICO</b>	<b>11</b>
2.1 Antecedentes	11
2.2 Marco	15
2.2.1 Oro	15
2.2.2 Procesos para recuperación de oro	21
2.2.3 Refinación de oro	24
2.2.4 Proceso de elaboración de joyas	25
2.2.5 Métodos de recuperación de oro en soluciones	30
2.2.6 Recuperación de oro en los residuos sólidos	30
2.3 Definición de términos básicos	40
<b>III HIPÓTESIS Y VARIABLES</b>	<b>41</b>
3.1 Hipótesis	41
3.1.1 Hipótesis general	41
3.1.2 Hipótesis específicas	41
3.2 Operacionalización de variables	41
<b>IV METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>42</b>
4.1 Tipo y diseño de investigación	42
4.1.1 Tipo de investigación	42

4.2	<b>Población y Muestra</b>	<b>44</b>
4.2.1	<b>Población</b>	<b>44</b>
4.2.2	<b>Muestra</b>	<b>44</b>
4.3	<b>Técnicas de recolección de la información documental</b>	<b>45</b>
4.4	<b>Técnicas para la recolección de datos de campo</b>	<b>45</b>
4.4.1	<b>Lugar de ejecución</b>	<b>45</b>
4.4.2	<b>Materiales, reactivos y equipos</b>	<b>45</b>
4.4.3	<b>Técnicas para la recolección de datos</b>	<b>46</b>
4.5	<b>Análisis y procedimiento de datos</b>	<b>47</b>
4.5.1	<b>Preparación de los residuos generados</b>	<b>47</b>
4.5.2	<b>Determinación de la característica inicial de la muestra</b>	<b>47</b>
4.5.3	<b>Método de agua regia</b>	<b>53</b>
<b>V</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>61</b>
5.1	<b>Resultados descriptivos</b>	<b>61</b>
5.1.1	<b>Determinación del porcentaje inicial de oro</b>	<b>61</b>
5.1.2	<b>Determinación del porcentaje inicial de otros metales</b>	<b>61</b>
5.2	<b>Resultados inferenciales</b>	<b>62</b>
5.2.1	<b>Análisis Químico por el método de ensayo al fuego</b>	<b>62</b>
5.2.2	<b>Recuperación de oro por el método de agua regia</b>	<b>62</b>
5.2.3	<b>Resultados final por el método de agua regia</b>	<b>64</b>
5.2.4	<b>Porcentaje de recuperación final de oro</b>	<b>66</b>
<b>VI</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>67</b>
6.1	<b>Contrastación de la hipótesis.</b>	<b>67</b>
6.2	<b>Contrastación de los resultados con estudios similares</b>	<b>67</b>
<b>VII</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>69</b>
<b>VIII</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>70</b>
<b>IX</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>71</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>74</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA N° 2.1 Propiedades del oro	16
TABLA N° 2.2 Equivalencias en las aleaciones de oro	18
TABLA N° 2.3 Reacciones de los ácidos con el oro	19
TABLA N° 2.4 Propiedades de las sales de cianuro	23
TABLA N° 3.1 Operacionalización de las variables	41
TABLA N° 5.1 Porcentaje inicial de oro	61
TABLA N° 5.2 Porcentaje inicial de otros metales	61
TABLA N° 5.3 Ensayo al fuego	62
TABLA N° 5.4 Método de agua regia a temperatura 75°C	63
TABLA N° 5.5 Solución de los parámetros a temperatura 75°C	63
TABLA N° 5.6 Método de agua regia a temperatura 85°C	64
TABLA N° 5.7 Solución de los parámetros a temperatura 85°C	65
TABLA N° 5.8 Promedio final de la recuperación de oro	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.	
FIGURA N° 2.1	ORO	16
FIGURA N° 2.2	ABSORCIÓN ATÓMICA	36
FIGURA N° 4.1	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	43
FIGURA N° 4.2	DISEÑO EXPERIMENTAL	44
FIGURA N° 4.3	MATERIA PRIMA	47
FIGURA N° 4.4	MATERIA PRIMA MODIFICADA	48
FIGURA N° 4.5	PESADO Y FUNDICIÓN	48
FIGURA N° 4.6	REGULO	49
FIGURA N° 4.7	COPELACIÓN	49
FIGURA N° 4.8	DORÉ	50
FIGURA N° 4.9	DIGESTIÓN	51
FIGURA N° 4.10	ORO OBTENIDO	51
FIGURA N° 4.11	EQUIPO DE ABSORCIÓN ATÓMICA	53
FIGURA N° 4.12	DIAGRAMA DEL MÉTODO DE AGUA REGIA	54
FIGURA N° 4.13	CALCINACIÓN	55
FIGURA N° 4.14	PESADO	55
FIGURA N° 4.15	DIGESTIÓN	56
FIGURA N° 4.16	FILTRACIÓN Y DIGESTIÓN	57
FIGURA N° 4.17	LAVADO CON HCl	57
FIGURA N° 4.18	SOLUCIÓN CON ÚREA	58
FIGURA N° 4.19	SOLUCIÓN CON BISULFITO DE SODIO	58
FIGURA N° 4.20	LAVADO CON HCl	59
FIGURA N° 4.21	SOLUCIÓN RESIDUAL	59
FIGURA N° 4.22	FUNDICIÓN	60
FIGURA N° 4.23	ORO OBTENIDO	60

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
<b>GRÁFICO N° 5.1 RESULTADOS DE LA RECUPERACIÓN DE ORO</b>	<b>65</b>

## RESUMEN

Recuperación de oro a partir de los residuos generados en joyerías Minitta se aplicaron fundamentos teóricos para poder realizar dicha recuperación. En el presente trabajo se implementó el sistema de pruebas a nivel laboratorio donde se el porcentaje de recuperación fue al 99,07%, los residuos de joyería previamente pesada se hizo un análisis inicial de oro por vía seca o llamado también Ensayo al fuego donde se obtuvo 36,47 g/Kg de oro igualmente una caracterización fisicoquímica de la misma muestra de por los siguientes metales 2,103% Ag, 1,525%; 0,150% Zn y 0,010% Pb

La muestra de los residuos se procedió a realizar unas modificaciones, se muestreo, cuarteo, se determinó la humedad y se realizó análisis de oro por ensayo al fuego donde se determinó 49,7845 g/Kg, así mismo esta muestra modificada se mandó analizar por oro a un laboratorio particular obteniendo como resultado 50,3611 g/Kg

La recuperación de oro mediante el método de agua regia se llevó a cado teniendo en cuenta como parámetros la temperatura de operación y concentración de ácido. Primero se realizó a una temperatura de 75°C y teniendo como dilución (1 : 8) donde se obtuvo 47,4609 g/Kg y para la temperatura 85°C y dilución de ácidos a (1 : 3) se recuperó 49,7545 g/Kg Después al agua residual final en este método se realizó un análisis instrumental por espectrometría de absorción atómica por oro donde se determinó 0,0475 g/cm<sup>3</sup>

Finalmente se determinó que el porcentaje de recuperación de oro es 99,07% mediante el método de agua regia con los parámetros de temperatura a 85°C y la dilución de ácidos fue 1 : 3

## ABSTRACT

Recovery of gold from waste generated in jewelry. In the present work, the test system was implemented at the laboratory level where the recovery percentage was 99,07%, the result was 367%, 47 g/Kg of gold also a physicochemical characterization of the same sample of the following metals 2,103% Ag; 1,525%; 0,150% Zn and 0,010% Pb

The sample of the waste is processed, performed, shown, quartered, moisture is determined and the gold analysis is carried out, the test, the fire, 49,7845 g/Kg is determined, likewise it is modified, the analysis was sent of gold to a particular laboratory, resulting in 50,3611 g/Kg

The recovery of gold by the water method has been kept in mind as parameters of operating temperature and acid concentration. First a temperature of 75°C was carried out and having as dilution (1 : 8) where 47,4609 g/Kg was obtained and for the temperature 85°C and dilution of acids to (1 : 3) 49,7545 g/Kg was recovered. After the final wastewater in this method an instrumental analysis was performed by atomic absorption spectrometry for gold where 0,0475 g/cm<sup>3</sup> was determined.

Finally it was determined that the percentage of recovery of gold is 99,07% through the water regia method.

## INTRODUCCIÓN

Desde hace muchos años el Perú ha desarrollado diversas técnicas para la orfebrería en oro, destacando casi todas nuestras culturas pre incas comenzando con técnicas rústicas que han mejorado hasta la actualidad.

Los residuos generados en la orfebrería son consecuencia de los procesos en la elaboración de joyas. Los residuos líquidos presentados en soluciones se obtienen de la limpieza y abrillantamiento de las joyas. Dichos residuos sólidos se obtienen de los procesos mecánicos en la fabricación de las joyas como : Limado, cortado, grabado, pulido, laminado, estirado, soldado, etc. Este oro se une con partículas orgánicas e inorgánicas, otros metales, no metales, el polvo del ambiente, etc.

El oro puede ser recuperado de estos residuos con el uso de tecnología sofisticada, la misma que no se encuentra al alcance de los orfebres por lo que no son tratados, ocasionando pérdidas para los artesanos.

Es importante tener como prioridad elaborar un proceso justificable para la recuperación de oro empleando equipo y materiales disponibles para las joyerías Minitta, las técnicas que se van a realizar son método de agua regia y ensayo al fuego, se analizó el porcentaje de recuperación final del oro obtenido.

## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Descripción de la realidad problemática**

Las actividades realizadas en los talleres de joyerías en el Perú, la mayoría realizan artesanalmente su trabajo generando residuos que contienen oro, plata u otros metales. Estos residuos la mayoría no los recuperan obteniendo pérdidas económicas pensando que es mínimo lo que se pierde pero acumulando todo ello es una cantidad que se puede reutilizar para la elaboración de otras joyas. Para tratar estos residuos generados en el taller de joyerías Minitta de los diversos procesos que se realizan para la elaboración de joyas será mediante el método de agua regia y así poder determinar la recuperación óptima de oro.

### **1.2 Formulación del problema**

#### **1.2.1 Problema general**

¿Qué proceso se debe aplicar en la recuperación del oro a partir de residuos generados en joyerías Minitta?

#### **1.2.2 Problemas específicos**

- 1) ¿Cuáles serán las características de los residuos generados para la recuperación de oro en joyerías Minitta?
- 2) ¿Cuáles son los parámetros que influyen para la recuperación de oro de los residuos generados en joyerías Minitta?
- 3) ¿Cómo determinar la recuperación óptima de los residuos generados en joyerías Minitta?

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Identificar el proceso que se debe aplicar en la recuperación de oro a partir de los residuos generados en joyerías Minitta.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- 1) Caracterizar los residuos generados en joyerías Minitta para la recuperación de oro.
- 2) Identificar los parámetros que influyen para la recuperación de oro de los residuos generados en joyerías Minitta.

- 3) Determinar la recuperación óptima de oro de los residuos generados en joyerías Minitta.

#### **1.4 Limitantes de la investigación**

En la investigación encontramos las siguientes limitaciones.

- a) En la preparación de la muestra falta de equipos para determinar la humedad y poder pulverizar.
- b) En el método de absorción atómica no se contaba con la lámpara para oro para usar el equipo de espectrometría de absorción atómica en la Universidad.

## II MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

Los antecedentes se basan en las siguientes investigaciones, tales como :

**a) Nacionales.-** Ponce Sanchez (2005) En una investigación titulada “Investigación comparativa de los métodos clásicos de refinación de oro en eficiencia y costos, proceso agua regia, proceso ácido nítrico, proceso agua regia sin encuarte, proceso outokumpu modificado, para pequeñas refinerías de oro”. El tema elegido va siendo cada vez más difundido en nuestro medio debido a la gran importancia que implica en nuestra economía la minería aurífera, sobre todo en pequeña escala, la cual alivia significativamente la falta de empleo de nuestra región. El presente trabajo ha sido desarrollado sobre la base experimental, la cual nos ha permitido lograr los objetivos planteados al inicio del trabajo y concluirlo satisfactoriamente, y así evitar la contaminación ambiental con desechos de minerales como los relaves de los informales de la zona.

De las evaluaciones comparativas de los métodos clásicos de refinación de oro, podemos concluir que: La mayor eficiencia de recuperación la tiene el Proceso con Ácido Nítrico, puesto que no tiene una etapa adicional como los demás métodos es decir la precipitación con bisulfito, este aspecto influye dentro de la merma final de mineral refinado. Los métodos que han brindado mejores leyes finales en las refinaciones han sido el : Proceso Outokumpu modificado y el proceso con agua regia, se atribuye esta buena ley se debe a la poca presencia de impurezas al momento de realizar el ataque con agua regia, como es sabido el agua regia también disuelve al cobre que está en la incuartación y este precipita junto al oro, impidiendo una ley alta al final de la refinación. El método más económico es el Proceso con ácido nítrico, le siguen en orden el Proceso con agua regia, el Proceso Outokumpu modificado y el proceso con Agua regia previa

Incuartación, la razón de la diferencia de costos radica en la complejidad de los procesos que tiene cada método, es decir mientras más etapas tenga más consumo de reactivos habrá, por consiguiente se hace más caro respecto a los que tengan menos etapas.

Los Procesos con agua regia y Outokumpu modificado son los que brindan mejores leyes finales de refinación, pero el proceso Outokumpu modificado presenta una ventaja significativa respecto al Proceso con agua regia, porque nos permite tratar mineral aurífero de diferentes leyes, es decir presenta mayor adaptabilidad para diferentes leyes de minerales refinación con agua regia y para la plata el método de encuarte.

**b) Internacionales.-** Chicaiza Alejandro (2015) En la investigación de “Proceso de recuperación de oro a partir de los residuos generados por la joyería “esmeralda”. Recuperación de oro a partir de las soluciones cianuradas y residuos sólidos generados por la joyería “Esmeralda”, aplicando los fundamentos de oxidación – reducción. Para las soluciones cianuradas se utilizaron los métodos de agua regia y cementación. Para el primer método se evaporó totalmente la solución y los sólidos obtenidos reaccionaron con el agente oxidante, se añadió el precipitante, bisulfito de sodio o sulfato ferroso y el precipitado obtenido se fundió hasta obtener oro metálico.

Para el segundo método se calentó la solución, se añadió el agente alcalino, hidróxido de sodio o lejía, se añadió el precipitante, zinc o aluminio, y el precipitado se fundió hasta obtener oro metálico. Para los residuos sólidos se utilizaron los métodos de agua regia y artesanal. Para el primer método los sólidos reaccionaron con el agente oxidante, se añadió el precipitante, bisulfito de sodio o sulfato ferroso y el precipitado obtenido se fundió hasta obtener oro metálico. Para el segundo método se fundió directamente la muestra sólida con la mezcla fundente en proporción 1 : 4 hasta obtener oro metálico. Se determinó que el mejor método para la recuperación de oro de

soluciones cianuradas fue por cementación con zinc, obteniéndose un 90% de recuperación, un oro de 18 quilates y una utilidad de \$16/L de muestra, mientras que para la recuperación de oro de residuos sólidos el mejor método fue el de agua regia con bisulfito de sodio, obteniéndose un 84% de recuperación, un oro de 24 quilates y una utilidad de \$ 301/Kg de muestra.

Hitchel Cuevas (2013) presento el estudio “Reciclaje y afinación del oro a partir de la chatarra electrónica”. El avance tecnológico también se manifiesta con un crecimiento exponencial de los desechos electrónicos, por lo tanto, países desarrollados y en vías de desarrollo se enfrentan con graves problemas medioambientales a causa de la acumulación de basura electrónica por lo que han incrementado considerablemente el uso del “Reciclaje” para la mayoría de los materiales encontrados en dichos desechos. El oro y la plata son un ejemplo de materiales industriales que pueden ser reciclados.

De estos desechos electrónicos: computadoras, celulares, electrodomésticos, televisiones etc., se deriva la chatarra electrónica de oro que específicamente es constituida por las placas o circuitos impresos de las computadoras, en donde, en amplias zonas, una capa de oro es depositada sobre un substrato de metal menos noble como el níquel y/o cobre insertados a su vez en una base polimérica. El oro presente en dichas placas impresas es de alto interés comercial, estando presente de 0,1 a 0,5 g de oro por cada circuito impreso.

Alvarez, Armando,(2008) En la investigación de “Recuperación de metales preciosos a partir residuos de joyerías”. En la ciudad de La Paz y El Alto existen alrededor de 130 establecimientos artesanales y semi – mecanizados dedicados a la producción de joyas en oro y plata. La manufactura de estos talleres alcanza a un promedio de 40 Kg/mes en oro y 130 Kg/mes en plata. Durante el proceso de transformación de estos metales preciosos hasta llegar a un producto acabado pasan por una serie de etapas en las que inevitablemente una fracción importante

se dispersa (residuos de fusión, pulimentos, etc.) y de éste, una parte considerable se pierde en forma definitiva, especialmente en el rango de tamaños considerados como muy finos.

La dispersión y la consiguiente pérdida de valores en el sector de la joyería artesanal y pequeña industria, por las reducidas precauciones que se toman durante la fase de preparación y elaboración del producto, en concordancia con el trabajo manual o escasa mecanización, repercute negativamente en el aspecto económico de este sector. Precisamente con la finalidad de reducir estas pérdidas, por cierto inevitables, es que mediante el presente trabajo se pretende mostrar secuencialmente una técnica, si bien tradicional, poco difundida para la recuperación de oro a partir de residuos de la industria del sector que analizamos, que en el futuro permita estandarizar estas pérdidas a un nivel económicamente aceptable.

Rojas Barrientos (2003) desarrolla la siguiente investigación “Evaluación de dos métodos de recuperación y refinación de los metales preciosos a nivel de laboratorio a partir de los desperdicios con alto contenido de oro” En el presente trabajo se evalúan dos métodos de recuperación y refinación de los metales preciosos a nivel laboratorio a partir de desperdicio de alto contenido de oro, para encontrar así, el método más eficiente y luego pueda ser implementado, dando con ello solución al problema actual de la pérdida de los metales preciosos de alto valor económico que principalmente tienen las joyerías. Estos métodos son los de Encuarte y Agua Regia. Ambos son métodos analíticos (gravimétricos) que se basan en la separación por la precipitación de uno de los componentes en la aleación, y esto permite que la separación sea visible teniendo así mayor eficiencia en el método.

Además son los más adecuados para una refinación a pequeña como gran escala. Se recuperó oro y como subproducto plata, a los cuales se les analizó cuantitativamente el grado de pureza alcanzado

por el método de Fluorescencia con Rayos X, obteniéndose para el método de encuarte un promedio de 22,96 K y de 23,17 K para el método de agua regia. Se comprobó estadísticamente por medio del análisis de varianza de dos factores, que tanto el método como el quilataje de la muestra influyen en la cantidad de oro metálico obtenido, así como en la pureza del mismo, sin embargo, estos factores no interactúan entre sí. Según estos resultados se concluyó que el mejor método para recuperar oro metálico es el método de refinación con agua regia y para la plata el método de encuarte.

## **2.2. Marco**

### **2.2.1. Oro**

El oro es uno de los metales que se encuentra en la naturaleza en estado nativo, algunas veces en cristales del sistema regular (cúbico) o bien en agujas o granos, dándose a estos últimos el nombre de pepitas cuando son porque de cierta dimensión. El oro nativo en masas, más o menos considerables, no ha sido solamente encontrado en los aluviones, sino que también en las rocas ígneas y en los filones. No se encuentra en el estado de pureza absoluta puesto que casi siempre se encuentra aleado con otros metales, sobre todo con la plata en forma de seleniuros. (Banco Central de Venezuela, 2010)

**a) Propiedades químicas.-** El oro generalmente se encuentra en forma de mineral, diferente a la mayoría de los otros elementos, lo cual permite una extracción selectiva del oro de las otras formas del mineral, los granos de oro nativo han sido reconocidos que contienen alrededor de 99,8% de oro., pero la gran mayoría varía entre 85% – 95%, siendo la plata la principal impureza. Gran parte del oro de la corteza terrestre se encuentra asociado a ganga silicio en filones o vetas, para lo cual es necesario en su tratamiento metalúrgico liberarlo de la ganga por medio de la molienda. (Ponce Sanchez , 2005)

## FIGURA N° 2.1

### ORO



**Fuente :** Agencia Reuters, 12 de octubre 2018

## TABLA N° 2.1

### PROPIEDADES DEL ORO

PROPIEDADES	Oro
Símbolo químico	Au
Color	Amarillo
Peso Atómico	197
Número Atómico	79
Densidad Específica	19,3
Temp. De Fusión C°	1063

**Fuente :** ARIAS, V. Tecnología de Refinación de los Metales Preciosos. 1ra. Edición, Editorial San Marcos, Lima 1996. p. 167

**b) Propiedades químicas.-** Entre las principales propiedades se encuentran :

- 1) Fácilmente soluble en agua regia o en otras mezclas que desprenden cloro, también lo disuelve el yodo en estado nascente y los cianuros

- 2) No lo atacan el ácido clorhídrico solo ni tampoco el ácido nítrico solo
  - 3) No lo atacan los álcalis fundidos
  - 4) El ácido sulfúrico lo ataca por encima de los 300°C
  - 5) El oro es el más "no – reactivo" de todos los metales, nunca reacciona con oxígeno o sea difícilmente se oxidará
  - 6) El oro no se opaca y mantiene su brillo. (Ponce Sanchez , 2005)
- c) **Propiedades mecánicas.**- El oro es uno de los metales más dúctiles y se puede laminar hasta obtener hojas (panes de oro) de un espesor de 0,1  $\mu\text{m}$ , las cuales dejan pasar la luz tomando un color verde azulado, pero con la luz reflejada presenta su color característico, se puede estirar en hilos finísimos, con un gramo se puede conseguir un hilo de 2 Km de longitud, sin embargo, tiene escasa tenacidad. (Chicaiza Alejandro, 2015)
- d) **Propiedades mineralógicas.**- El oro es inerte en aire y agua a temperatura y presión normal. La ocurrencia predominante del oro es en forma nativa, a menudo aleado con alrededor del 15% de Ag, otros minerales de oro incluyen aleaciones con telurios, selenio, bismuto, mercurio, cobre, hierro, rodio y platino. No es común ocurrencias naturales de oro en forma de óxidos, silicatos, carbonatos, sulfuros o sulfatos.

El oro generalmente ocurre en una forma mineral diferente a la mayoría de los otros elementos, lo cual permite una extracción selectiva del oro de las otras formas del mineral. Los granos de oro nativo han sido reconocidos que contienen alrededor de 99,8% de oro. Pero la gran mayoría varía entre 85% – 95% de oro, con la plata como la principal impureza. Gran parte del oro de la corteza terrestre se encuentra asociado a ganga silicia en filones o vetas, para lo cual es necesario en su tratamiento metalúrgico liberarlo de la ganga por medio de la molienda.

e) **Quilataje de oro.**- En la joyería forma aleaciones con otros metales, para darle rigidez, solidez y color, los aleantes más comunes son la plata y el cobre, pero muchos otros metales pueden ser usados, forma aleaciones con plata para reducir la intensidad de su color amarillo y formar una aleación verdosa y se alea con el cobre para darle dureza y un color rojo. La triple aleación de oro, cobre y plata es muy maleable y su color es muy semejante al del oro fino, las aleaciones que contienen platino o paladio forman el oro blanco, a menudo usado con piedras preciosas, el oro blanco es usualmente más duro y más durable que otras aleaciones de oro, el zinc y el níquel son otros dos metales comúnmente aleados con el oro para crear nuevas características, como se muestra en la **Tabla N° 2.2** (Rojas Barrientos, 2003)

**TABLA N° 2.2**

**EQUIVALENCIAS EN LAS ALEACIONES DE ORO**

Pureza	Nombre	Oro	Plata	Cobre	Zinc	Otro	Punto de Fusión °C	Gravedad Específica
1 000	Oro 24 K	100					1 063	19,3
920	Oro 22 K amarillo	92	4	4			977	17,3
900	Oro 22 K (acuñación)	90	10				940	17,2
750	Oro 18 K amarillo	75	15	10			882	15,5
750	Oro 18 K amarillo	75	12,5	12,5			904	15,5
750	Oro 18 K verde	75	25				966	15,6
750	Oro 18 K rosa	75	5	20			932	15,5
750	Oro 18 K blanco	75				25 Pd	904	15,7

**Fuente :** Alejandro Chicaiza Silvia Paola, Recuperación de oro a partir de los residuos generados en joyería Esmeralda, Quito. 2015 p 24

f) **Pruebas para determinar el quilataje de oro :**

1) **Prueba con ácidos.**- A la pieza de joyería que se desee calar o probar la calidad de su metal se debe limar un poco la superficie en donde se va a efectuar la prueba para que los ácidos trabajen en el metal directamente y no solo en la superficie de la joya, se coloca

una gota de ácido nítrico a la pieza y después de cinco segundos se agrega una gota en la misma zona de ácido clorhídrico y se frota sal en grano. A los ácidos hay que cambiarlos por lo menos cada quince días para que las reacciones siempre sean las mismas y evitar confusiones porque cuando los ácidos están contaminados o gastados varían mucho las reacciones, los ácidos que se utilicen deben ser de grado técnico. (Ybarra, 2015)

**TABLA N° 2.3**

**REACCIONES DE LOS ÁCIDOS CON EL ORO**

Tipo de oro	Quilataje	Oro fino %	Reacción con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Reacción con ácido HCl	Color
Oro puro	24 kts	100%	No reacciona	No reacciona	No hay mancha
Museos	22 kts	92%	No reacciona	No reacciona	No hay mancha
Monedas	21,6 kts	90%	Ninguna reacción	Verde limón muy intenso	Rosa intenso se borra fácil

**Fuente :** Alejandro Chicaiza Silvia Paola, Recuperación de oro a partir de los residuos generados en joyería Esmeralda, Quito. 2015 p25

**g) Aplicaciones del oro.-** Las aplicaciones del oro son las siguientes.

**1) Joyería.-** El principal componente de la demanda mundial de oro lo constituye el uso para fabricación de joyas que representa el 79,8% de la demanda total del metal, según estudios realizados por la GFMS (Gold Field Mineral Services 2014). Es importante destacar que la demanda de oro para la fabricación de bienes se ha mantenido relativamente estable en los países industrializados, mientras que la de los países en desarrollo ha mostrado una tendencia creciente.

El principal demandante mundial de oro para la fabricación de joyería y bienes industriales es la India, que utiliza 558 toneladas de oro y su participación representa 15% en el total de la demanda

mundial, el segundo demandante de oro es Italia, con una participación de 13,5% en el total mundial, Italia es un importante fabricante y exportador de joyas, especialmente a Norte América, la Unión Europea, Medio Oriente y América Latina, el hecho que Italia tenga un rol tan importante en la fabricación de oro, determina que Europa sea la región con la segunda mayor participación en la demanda mundial de este metal, con un 24,6%, precedida por Asia, con una participación de 60,4% América del Norte tiene una participación en la fabricación mundial de oro de 8%, mientras que América Latina registra una participación de apenas 3%, África participa con el 3,7%, y Oceanía con 0,3%.

No todos los países consumidores de oro son a la vez los mayores fabricantes, es el caso de India, el mayor consumidor mundial, que fabrica el 81% de su consumo, o el de Estados Unidos que fabrica el 70% de su consumo o el de Arabia Saudita que produce 69% de su consumo. En contraposición, hay países fabricantes donde el consumo es reducido, e inclusive, tiende a disminuir, es el caso de Italia que, con una producción anual de 16,7 millones de onzas, es el mayor fabricante de oro del mundo después de la India, y consume apenas el 14,9%, en el rubro de la joyería, los países en desarrollo tienen una participación mayor a la que registran los países industrializados. (Ponce Sanchez , 2005)

- 2) **Electrónica.**- El segundo lugar en la demanda de oro, es el sector electrónico, con una participación del 6,6% según estudios realizados por la GFMS (Gold Field Mineral Services 2014), a pesar de la importancia de su uso en la técnica, este es ínfimo si se lo compara con su uso en joyería en este segmento de mercado se utiliza el oro por sus características físicas y químicas, la cantidad demandada no depende del precio si no de sus características físicas y químicas y el alcance el metal, por cuanto el valor del oro

contenido en el producto final es poco relevante en relación al valor total del producto. (Ponce Sanchez , 2005)

- 3) Odontología.-** El uso del oro en odontología representa el 2,17% de la demanda del oro, según estudios realizados por la GFMS (Gold Field Mineral Services 2014), cabe señalar, que los países industrializados tienen mayor participación (2,03%) que la de los países en desarrollo, que apenas registra el 0,14%, otros usos de la demanda de oro para la fabricación se destinan a la fabricación de medallas (1,75%), siendo la participación de los países industrializados (0,075%) menor a la de los países en desarrollo (1,68%)

Adicionalmente, el oro es también demandado para la fabricación de monedas, con una participación de 2,17% de los requerimientos para la fabricación, en este caso, los países industrializados tienen una mayor participación en la demanda (1,56%), mientras que los países en desarrollo registran una participación menor de (0,6%). (Ponce Sanchez , 2005)

- 4) Monedas.-** El oro ha sido reconocido como reserva de valor desde el inicio de su historia pero se cree que las primeras monedas fueron cuñadas en 670 A.C. por el Rey Gyges de Lydia, en Turquía, el rey Croesus acuñó monedas con 98% de oro en el año 550 A.C, cerca de 500 años después Julio Cesar acuñó monedas para pagar la Legión Romana, las monedas tienen valor de dinero del país que las emite y su contenido de oro es garantizado. El valor nominal es apenas simbólico; su verdadero valor es dado por su contenido en oro, en general, el valor de mercado de las monedas es igual al valor del contenido en oro más 4% – 8% (Ponce Sanchez , 2005)

### **2.2.2. Procesos para recuperación de oro**

- a) Lixiviación de oro.-** La lixiviación es el proceso en el cual se produce la disolución de una sustancia que se encuentra en fase sólida, y ésta pasa a una fase líquida, la lixiviación se utiliza con el propósito de

recuperar metales o especies a partir de un mineral determinado, para llevar a cabo una lixiviación, es necesario que las fases sólida y líquida estén en íntimo contacto, de esta manera, la especie de interés se solubiliza transportándose de una fase hacia otra, separándose del material original. Esta separación se complementa posteriormente a través de procesos de filtración o de sedimentación de la solución que contiene el compuesto de interés.

Existen tres tipos de lixiviación :

- a) El primero consiste en la incorporación a una fase líquida de la sustancia de interés sin que exista reacción química, por ejemplo, al poner en contacto arena de playa en agua destilada, el cloruro de sodio presente en la arena se disuelve y pasa a la fase líquida sin que ocurra ningún cambio en la estructura química del cloruro de sodio, adicionalmente, se puede tener lixivaciones que involucran una reacción sin oxidación puesto que el componente de interés se encuentra en el estado de oxidación final, por ejemplo, el óxido cúprico ( $\text{CuO}$ ) con ácido sulfúrico reacciona para formar sulfato de cobre y agua, el cobre con estado de oxidación +2, en forma insoluble pasa a formar el sulfato, que se disuelve fácilmente en agua, por último, existen lixivaciones que combinan la oxidación de la especie de interés y la acción de un ligando o agente formador de complejos que es el que permite mantener la especie oxidada en disolución, la lixiviación del oro con cianuro es un ejemplo de este último tipo de proceso, lo cual se explica con más detalle posteriormente. (Manchego Pablo, 2009)
- b) **Cianuración de oro.**- Dentro de los procesos hidrometalúrgicos más utilizados para recuperación de oro fino, se encuentra la cianuración, que consiste en la disolución de metales preciosos como el oro y la plata en una solución alcalina, este proceso requiere básicamente, de un agente complejante que en este caso es el  $\text{NaCN}$  y un agente oxidante que es el Oxígeno suministrado por el aire. Existen otros

agentes para disolver oro, como el cloruro, el bromuro o el tiosulfato, pero los complejos que se obtienen resultan menos estables, por ello se necesitan condiciones y oxidantes más fuertes que estos. Además estos reactivos son costosos, peligrosos para la salud y el medio ambiente. (Grimaldos, 2015)

**TABLA N° 2.4**

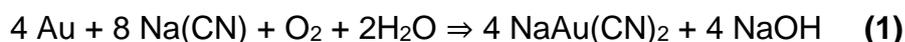
**PROPIEDADES DE LAS SALES DE CIANURO**

<b>COMPONENTE</b>	<b>CIANURO APROVECHABLE %</b>	<b>SOLUBILIDAD EN AGUA A 25°C (g/100 ml)</b>
NaCN	53,1	48
KCN	40,0	50
Ca(CN) <sub>2</sub>	56,5	Se descompone

**Fuente :** MARSDEN, J y HOUSE, J. The Chemistry of Gold Extraction. Ellis Horwood Series in metal and associated materials. Inglaterra. 1992. p. 260.

Como se observa, en la **Tabla N° 2.4** las sales de sodio y calcio tienen mayor cantidad de cianuro aprovechable, la mayor diferencia entre estos cianuros alcalinos, aparte de su costo, es su relativo poder disolvente, esto depende enteramente del porcentaje de radical cianógeno presente, por lo que se prefiere el uso del cianuro de sodio (comercializado en formas del 85% al 98% de NaCN), en procesos de lixiviación, además de su alta solubilidad y fácil obtención. (Luzuriaga, 2011)

La disolución del oro en cianuro se representa en la reacción 5 conocida como ecuación de Elsner (Hedley y Tabachnick, 1968) que expresa la completa disolución del metal o el total consumo de cianuro, es decir que la reacción continúa hasta su terminación.



La reacción describe un proceso de corrosión en el cual el oxígeno absorbe los electrones en una zona catódica sobre la superficie metálica, mientras que en una zona anódica del metal éste cede electrones e ingresa a la solución como complejo de cianuro, de éste modo, se producen dos reacciones electroquímicas de semicelda que se balancean mutuamente. (Arévalo , 2011)

Reacción Anódica :



Reacción Catódica :



### **2.2.3. Refinación de oro**

Los primeros métodos que refinaban este metal eran procedimientos piro metalúrgicos, como la copelación, que aunque podían eliminar los metales menos valiosos, por ejemplo los metales base, no eran capaces de recuperar o eliminar a los otros metales preciosos, en particular la plata, por lo que el oro que se obtenía no presentaba una elevada pureza, valor que podía variar entre 65% a 90% de oro. Pese a todo, estos procesos considerados como clásicos se han venido utilizando con frecuencia por los principales países productores de este metal, y no es hasta este último cuarto de siglo cuando se ha desarrollado nuevos procesos, estos han pretendido cambiar completamente la tecnología y los procedimientos para la recuperación de este metal precioso y estimado.

Generalmente, se asume que los procesos de refino de este metal empiezan cuando ya se tiene un material en el que el contenido de oro empieza a ser importante, normalmente, y antes del proceso de refino, no existe un control muy estricto respecto a las impurezas que acompañan al oro, y estas restricciones solo conciernen al cobre y a los materiales

carbonaceos, que consumen al agente de lixiviación, cianuración, y contribuyen a la propia destrucción del agente de lixiviación en exceso. Por lo tanto, las restricciones en cuanto al control y eliminación de las impurezas solo se empiezan a considerar cuando comienza el proceso de refinado del metal. (Ponce Sanchez , 2005)

#### **2.2.4. Proceso de elaboración de joyas**

Para la elaboración de joyas encontramos distintas técnicas o procedimientos a seguir, así el artesano mantiene un equilibrio entre el diseño y el acabado de la joya. Los productos de la orfebrería artesanal, son joyas tanto en oro de 18 como de 14 quilates principalmente, se trabaja en menor proporción en plata y oro blanco, los metales utilizados son oro, plata, cobre y zinc; los tres primeros se utilizan para las diferentes calidades de oro y el último entra en las aleaciones para la soldadura.

Todos los joyeros, al trabajar con metales preciosos, durante los procesos de fabricación y de acabado de las piezas que elaboran, sufren pérdidas de estos metales que son conocidas con el nombre de mermas.

Las pérdidas de metal son mayores en las piezas complicadas que en las sencillas; en las hechas a mano que en las fabricadas a máquina, aunque comercialmente se han establecido unos porcentajes de mermas aceptados por la mayoría, éstos no pueden considerarse definitivos puesto que difieren mucho de un taller a otro, son muchas las operaciones en las que, según la opinión general, las mermas están justificadas, en algunas ocasiones son recuperables y en otras no. (Barrientos,2003)

Los casos más habituales son los siguientes :

**a) Mermas en la fundición.**- La fundición es la transformación del metal de sólido a líquido, este paso se lo realiza en crisoles con ayuda de sopletes de fundir que funcionan a base de gasolina, pero en caso de trabajarse en oro blanco la fundición se la hace utilizando sopletes de autógena. Los crisoles son manufacturados a base de arcilla, losa, carbón, vidrio materias que se las muele, hasta dejarlas lo más finas posible para cernirlas y luego de conseguida esta especie de harina, se hace una masa con agua y se les va dando forma de unas pequeñas ollas.

El oro o la plata líquida que se obtiene de los crisoles, hay que inmediatamente vaciarla en las rilleras, que son unos aparatos confeccionados en hierro de diferentes formas y dimensiones, según se necesite el oro para realizar trabajos en chapa o en hilo.

Las pérdidas más frecuentes en la fundición se deben a :

- 1) Salpicaduras de metal originadas por la presión de la llama: Si se funde con soplete son muy difíciles de evitar, una pérdida de 3 g por Kg, suele ser habitual, las salpicaduras pueden evitarse trabajando en horno y empleando crisoles cónicos que reciban el calor a través de una llama envolvente o fundiendo en hornos eléctricos.
- 2) Transformación en óxidos de ciertos metales que componen la aleación, como pueden ser el cobre y el zinc, y su posterior volatilización, es una buena solución fundir en hornos de alta frecuencia utilizando, al mismo tiempo, un gas reductor, en estas condiciones las pérdidas de fundición, provocadas por la formación de óxidos son prácticamente nulas. Restos metálicos que quedan en el crisol constituyen un problema que aún no ha sido resuelto pero no significan una pérdida real porque su recuperación no ofrece ninguna dificultad (Urgiles MARcelo; Vintimilla Moisés, 2010)

- b) Merms en el laminado.**- Después de la fundición del oro, se efectúa el proceso de laminado donde se saca de la rillera la barrita de oro o de plata y se lleva a una máquina laminadora.

Cuando el metal se lo quiere convertir en láminas, se utilizan las laminadoras, para ello el oro debe tener gran maleabilidad, se usa el calibrador existente en toda laminadora para obtener la lámina del grosor requerido por el joyero, en cambio, cuando se necesita obtener hilos de oro o de plata, se realiza el vaciado previo del oro en las rilleras del hilo, y luego de haberse solidificado se los lleva a las laminadoras, en esta operación y gracias a su ductilidad, el metal puede llegarse a convertirse en filamentos sumamente pequeños y finos.

En el laminado, si el metal es agrio o no se recuece a su debido tiempo, también se producen pérdidas a causa del desprendimiento de trocitos de metal procedentes del borde de la laminadora que, a veces, pueden quedar en lugares de difícil acceso o donde no pueden localizarse. (Etal, 2010)

- c) Merms en el armado.**- Cuando la joya está constituida de varias piezas, se realiza la soldadura de las piezas del primer armado y en forma sucesiva las posteriores, luego se limpia las impurezas dejadas por la suelda cuando se efectuó el primer armado; este proceso es realizado a base del lijado mediante la utilización de limas, por cuanto al completarse con las piezas del segundo armado, es posible realizar un acabado completamente perfecto, cuando la joya ya está en su conjunto concluido. Para evitar el ennegrecimiento de las piezas del primer armado, se la reviste o envuelve en bórax humedecido evitando el ennegrecimiento del objeto y la formación de óxidos, o también, se sumerge la pieza en ácido sulfúrico mezclado con una determinada cantidad de agua. (Urgiles, 2007)

Cada vez que un metal se recuece y cambia de color, se oxidó y perdió peso, al oxidarse la aleación adquiere una tonalidad verde, debido a una pérdida de cobre en la superficie y habrá aumentado el

quilataje de la superficie, sin embargo al pulirse ésta pieza recuperará su color original, lo que indica que la parte más rica de la superficie, que era deficiente en cobre, se ha eliminado, recuperándose su quilataje original. (Barrientos, 2003)

- d) Mermas en la soldadura.**- La soldadura es unión de dos o más piezas de un metal, llevándose siempre a cabo mediante una aleación compuesta por el metal principal y otros metales con inferior punto de fusión.

En joyería todas las soldaduras deben efectuarse teniendo el metal fino en mayor proporción respecto a la cantidad utilizada de los otros, la soldadura es uno de los procesos más difíciles en la orfebrería, no solamente por el cuidado y la precisión requerida en este trabajo, sino también por la limpieza posterior a las piezas soldadas. Casi siempre cuando se calienta el metal, se forman óxidos que impiden que la soldadura fluya libremente en aquellas partes donde se desea soldar, para ello se emplea una sustancia llamada fundente que facilita la libre fluidez de la soldadura al absorber el óxido metálico formado en el proceso de precalentamiento.

El fundente más usado es el bórax común, al mezclar este fundente con agua adquiere una consistencia cremosa; en general tiene una forma de barra, estas sustancias facilitan el trabajo de fusión y evitan a los metales volverse agrios como causa directa de las mezclas indebidas que podrían haberse realizado. (Etal, 2010)

- e) Mermas en el limado y lijado.**- El limado deja completamente blanda a la pieza soldada, es decir, sin asperezas, tanto interiores como exteriores que pudiera presentar, dándole además, la forma requerida y obteniendo el peso deseado por el joyero.

Más pérdidas de metal se producen al serrar y al limar porque las limaduras van a parar a las vestiduras o al suelo, desgraciadamente no todo cae en el cajón, cuando más fina es la limadura, más fácil es que vuele y se disperse. (Barrientos, 2010)

**f) Merms en el pulido.**- El pulido es una técnica que proporciona a la pieza confeccionada el color característico del oro o la plata, para esto, se utiliza pasta de pulir o cepillos, muchos de los cuales funcionan a base de motores eléctricos.

Este proceso requiere de mucho cuidado y precaución sobre todo cuando se trabaja con piezas en las cuales han sido engastadas piedras preciosas, debiéndose evitar su desprendimiento de la joya.

El cepillo usado contiene oro, por lo que debe incluirse en la basura del taller, debido a que produce una limadura muy fina. (Etal, 2010)

**g) Merms en la limpieza de las joyas.**- La limpieza es un proceso cuya finalidad es lavar la pieza y eliminar todas aquellas impurezas, en especial la grasa acumulada en la pieza por el constante manipuleo ejercido en ella. Cuando el cepillo de pulir no ha llegado o no ha penetrado en todas las partes de la joya, esta debe ser sometida al proceso artesano llamado el bombazo o explosión (Ibid)

El método del bombazo o explosión consistente en calentar un litro de agua a unos 60°C, se disuelve unos 30 g de cianuro de sodio y se sigue calentando hasta alcanzar el punto de ebullición, las piezas de oro se introducen en un recipiente esmaltado o de acero inoxidable al que se añade solución cianurada hasta que queden totalmente cubiertas por la misma, luego se añade una pequeña cantidad de peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) aproximadamente 30 ml, la solución empezará a producir espuma y al cabo de algunos segundos se producirá una reacción muy enérgica. El proceso deja una capa muy fina de oro de 24 quilates sobre las piezas tratadas y se sumergen en una solución cianurada caliente, el acabado será totalmente uniforme y se enjuagan en agua hirviendo y finalmente en agua normal.

Los joyeros conocen que por cada explosión que se realice el 1% de materia queda disuelta en el agua de explosión, por lo cual esta agua residual se guarda en unos recipientes cerrados, para después ser recuperados. (Ibid, 2006)

**h) Merzas en el abrillantado.-** Este proceso proporcionar a las joyas brillo o luminosidad, en base a la utilización de unos cepillos especiales conocidos en general con el nombre de “mota” que funcionan a base de un motor incorporado, en estos instrumentos se coloca la llamada pasta roja o polvo inglés, que devolverá el brillo al metal trabajado, este proceso es siempre realizado en las joyas con cuerpo como anillos, aretes, pulseras, entre otras. (Ibid, 2006)

Al momento de realizar esta operación el oro queda impregnado en la vestidura y manos del operario, el metal que se queda en las vestiduras, ha llevado a algunas firmas a facilitar ropas de trabajo a sus operarios y a lavar toda esta ropa en máquinas instaladas en la misma fábrica o taller, el agua que sale de estas lavadoras es tratada convenientemente y el valor del metal recuperado sobrepasa con creces el valor de la ropa. (Guadalupe, 2010)

#### **2.2.5. Métodos de recuperación de oro en soluciones**

Los metales preciosos el oro y la plata, se han usado por miles de años debido a sus múltiples aplicaciones. Los métodos de lixiviación donde la solución rica en oro y plata se clarifica para posteriormente tratarla por alguno de los métodos de recuperación son : Adsorción en Carbón activado, proceso Merrill – Crowe, resinas de intercambio iónico, método por agua regia y extracción por solventes.

La recuperación de oro y plata de soluciones de cianuración es típicamente llevada a cabo por los métodos convencionales de adsorción con carbón (para soluciones diluidas y cuando predomina oro) o por el proceso Merrill – Crowe precipitación con polvo de zinc (para soluciones ricas y cuando predomina plata). En la actualidad han surgido otros procesos como el uso de resinas de intercambio iónico y extracción por solventes. (Maldonado, 2008)

**a) Merrill Crowe.-** También es llamado método de cementación con polvo de zinc es el sistema empleado para soluciones que contienen alta concentración de oro, es un proceso electroquímico el cual involucra la reacción de oxidación del zinc y la reacción de reducción del anión cianuro de oro. La plata es depositada en la superficie catódica mientras que el zinc se disuelve en los sitios anódicos. En este proceso los electrones son conducidos entre estas dos fases metálicas.

La cementación de oro es una reacción de primer orden y es limitada por un mecanismo de difusión. En algunos casos la morfología del depósito de oro puede afectar significativamente la cinética de la reacción como es el caso de la adición de los iones plomo. Las ventajas de este proceso, la concentración de cianuro es crítica en la reacción de cementación, en bajas concentraciones de cianuro se forma película de hidróxido de zinc la cual evita que la reacción de cementación se lleve a cabo. La adición de iones plomo a solución de cementación es benéfica porque la estructura del depósito de plata es dendrítica la cual incrementa la velocidad de cementación. La innovación en este proceso es el desarrollo de unidades móviles de precipitación. (Maldonado, 2008)

**b) Adsorción con carbón activado.-** El proceso de recuperación de oro con carbón activado ha revolucionado el método de la obtención de estos metales. Este proceso generalmente se utiliza para tratar grandes volúmenes de soluciones de baja concentración de oro o generalmente para soluciones de cianuración que contienen oro. Las ventajas que presenta, se puede tratar mineral fino sin que se efectúe una separación mecánica de la solución cargada con oro del mineral lixiviado evitándose con esta técnica el costo de filtración. Debido a estas características el proceso de carbón activado presenta la mejor alternativa para recuperar oro de arcillas en las cuales el proceso de filtración no es muy eficiente.

Las desventajas que presenta, se manejan alta temperatura o a presión el proceso es rápido pero más caro. El carbón se tiene que reactivar, es llevado a cabo lavando el carbón con una solución diluida de ácido nítrico. Se manejan temperatura de temperatura entre 600°C – 700°C durante 30 minutos. La disolución del oro del carbón activado es efectiva si se utiliza un anión que forme un complejo fuerte con el oro y un solvente orgánico el cual incrementa la reactividad del cianuro y estabiliza el ión cianuro en solución. (Piret, 1990)

- c) Resinas de intercambio iónico.**- La nueva tecnología con mayor atención es el uso de resinas de intercambio iónico para la recuperación de oro en soluciones cianuradas, su desarrollo fue en Rusia, adaptándose a plantas de cianuración obteniendo buenos resultados, las resinas son compuestos macromoleculares que constituyen la mayor parte de los intercambiadores iónicos, son geles formados por, un ion insoluble, al que están asociados iones de carga opuesta los cuales se intercambiarán, las resinas con estructura de red macromolecular son preparadas con solventes, para la extracción de oro, ya que proveen mayor superficie para el intercambio y tienen una alta resistencia mecánica.

A medida que la disolución pasa a través de la resina, los iones presentes desplazan a los que estaban originalmente en los sitios activos, la eficiencia del proceso depende de factores como la afinidad de la resina por un ion en particular, el pH de la disolución, la concentración de iones y la temperatura. La química de recuperación de este proceso se basa en el uso de resinas base fuerte o base débil, las resinas base fuerte son menos selectivas, adsorben oro y plata, pero también atrapan impurezas como cobre y zinc, en cambio las resinas base débil son mucho más selectivas para adsorber oro y plata. (Ibid)

- d) Método de agua regia.**- La disolución de oro con agua regia es una técnica que se conoce desde hace muchos años atrás, este proceso

fue ampliamente estudiado y fundamentalmente aplicado a la refinación química del oro, en particular de los bullones con alto contenido de oro y bajas proporciones de plata.

A la solución cianurada se debe someter a la evaporación total del líquido para obtener residuos sólidos, cuyo contenido de metal precioso se recupera por disolución con agua regia. (Alvarez, Armando, 2008)

**1) Mezclado de agua regia.-** Este y muchas de las operaciones descritas aquí se llevan a cabo bajo una campana eficiente en la extracción de vapor, el agua regia en una combinación de ácido nítrico y ácido clorhídrico (llamado a veces ácido muriático). Es preparada mezclando un volumen de ácido nítrico concentrado con 4½ volúmenes de ácido clorhídrico concentrado, esta mezcla es bastante estable y durará por muchos meses.

Otra forma de mezcla es la preparación con un volumen de ácido nítrico y tres volúmenes de ácido clorhídrico, esto reduce parte del trabajo y el gasto del tratamiento posterior de agua, esta mezcla es auto destructiva sobre un período de tiempo, el agua regia se mezcla vertiendo los ácidos juntos o puede agregar primero el ácido clorhídrico y luego el ácido nítrico. (Chicaiza Alejandro, 2015)

**2) Digestión al desperdicio.-** El desperdicio se coloca en un recipiente al cual se añade agua regia, la cantidad requerida depende de cantidad y calidad del metal presente, ha sido encontrado que de 3 a 5 L de agua regia se requieren por kilo de desperdicio.

El contenedor puede calentarse para que aumente la velocidad de la reacción, generalmente el agua regia fría trabaja lentamente pero cerca de 60°C es muy activa. (Barrientos, 2002)

**3) Filtrado.-** El agua regia ahora contiene varios cloruros de metal en la solución y el cloruro insoluble de plata así como también mucha materia no deseada en el sedimento y esta mezcla se debe enfriar y luego ser filtrada, la razón para enfriarse es que el cloruro de

plata, aunque bastante insoluble en el agua, es levemente soluble en ácidos fuertes y esta solubilidad disminuye en ácidos fríos.

La presencia del plomo en el oro metálico es una cuestión grave, más del 10% de plomo produce oro quebradizo, la adición de ácido sulfúrico es sugerida como una parte del agua regia original. Todos los sólidos se deben lavar en el filtro con un poco de agua caliente, cuando el filtrado es completo el papel y el lodo deben ser lavados repetidamente con pequeñas cantidades de agua caliente.

El líquido filtrado es generalmente de color verde claro, debido al níquel y al cobre. Si solamente estuviera presente cloruro de oro, sería amarillo (Chicaiza Alejandro, 2015)

- 4) Eliminación del ácido nítrico.-** El exceso de agua regia que se agregó para asegurar la solución completa de todo el oro, debe ser eliminado para permitir que el oro sea precipitado, el procedimiento clásico para la eliminación del ácido nítrico hacer ebullición repetidamente a la sequedad cercana con la adición de HCl con algo de ácido  $H_2SO_4$  cerca del fin, esto es un proceso largo y molesto y requiere de paciencia. (Barrientos, 2002)
- 5) Precipitación del oro.-** Después que la reacción química ha culminado, se deja sedimentar la solución por varias horas, el oro en solución en la forma de cloruro áurico es precipitado selectivamente separándolo de las impurezas de que puede estar acompañado, para ello puede utilizarse uno de los siguientes métodos, eligiendo el más favorable en términos económicos y técnicos. (Chicaiza Alejandro, 2015)
- 6) Filtración.-** Cuando se desea eliminar el oro de la solución se debe dejar reposar, preferiblemente toda la noche, aunque el oro es pesado y la mayoría de lo que está se asienta rápidamente, algunas partículas son muy pequeñas y requieren tiempo para ir al fondo. (Chicaiza Alejandro, 2015)

**7) Fundición del oro.**- El papel filtro y el oro se ponen en un crisol, se añade un poco de alcohol industrial para quemar el papel filtro, y con el soplete se comienza a fundir se agrega una cantidad pequeña de nitrato de sodio y a veces un poco de bórax. (Barrientos, 2002)

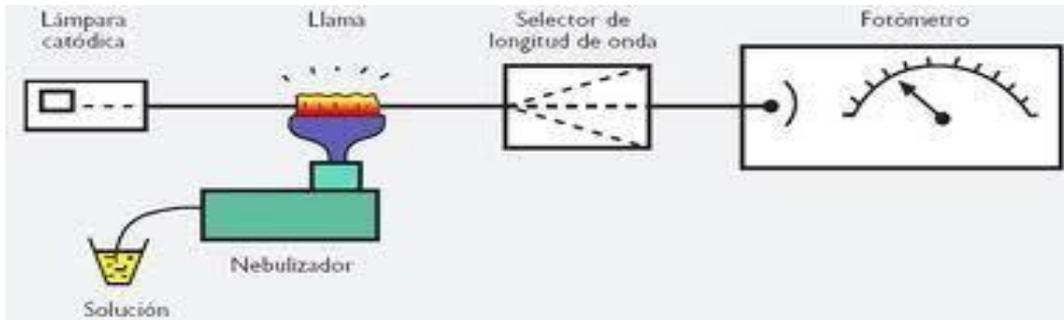
**e) Absorción atómica.**- El término de absorción atómica de manera general puede definirse como la técnica capaz de detectar y determinar cuantitativamente la concentración de un elemento metálico en determinada muestra. Este método se puede aplicar para la determinación de algunos metales tales como: antimonio, cadmio, calcio, cromo, cobalto, oro, plata, plomo, níquel entre otros más. Este método tiene una cobertura para analizar la concentración de más de 62 metales diferentes en solución.

La técnica de absorción atómica por flama en forma breve consta de lo siguiente : La muestra en forma líquida es aspirada a través de un tubo capilar y conducida a un nebulizador donde esta se desintegra y forma pequeñas gotas de líquido en forma de rocío. Las gotas de rocío formadas son conducidas a una flama, donde se produce una serie de procesos que originan la formación de átomos, atomización. Estos átomos absorben específicamente la radiación emitida por la lámpara y la cantidad de radiación absorbida está en función de su concentración.

La señal de la lámpara una vez que pasa por la flama llega a un monocromador, cuyo trabajo es discriminar todas las señales que acompañan la línea de interés. Esta señal de radiación electromagnética llega a un detector o transductor y pasa a un amplificador y por último a un sistema de lectura. La **Figura Nº 2.1 (Ver pag. Nº 16)** describe el proceso de absorción atómica por flama. (Hitchel Cuevas, 2013)

FIGURA N° 2.2

### PROCESO DE ABSORCIÓN ATÓMICA



**Fuente :** HITCHEL CUEVAS GAELANA, Reciclaje y afinación de oro a partir de la chatarra electronica Mexico, 2013. Pag. 67

Esta técnica se basa principalmente en la medición de las especies atómicas por su absorción a una longitud de onda particular. La especie atómica se logra por atomización de la muestra. A continuación se muestran algunas de las características principales de la muestra.

- 1) **Aplicaciones principales.**- Análisis cuantitativo de precisión para un metal determinado
- 2) **Fenómeno atómico.**- Absorción de la línea atómica característica
- 3) **Ventajas del análisis cuantitativo.**- Análisis rápido y confiable de un elemento determinado
- 4) **Limitaciones del método.**- Los metales son analizados individualmente no simultáneamente. Es una técnica que por lo general no se aplica a los no metales
- 5) **Limitaciones para la muestra.**- La mayoría de muestras orgánicas líquidas y sólidas requieren de digestión antes del análisis. (Hitchel Cuevas, 2013)

#### 2.2.6. Recuperación de oro en los residuos sólidos

- a) **Recuperación con agua regia.**- Este procedimiento también puede ser aplicado para la recuperación de oro fino, a partir de basuras de joyería en sus diversas leyes (10, 14, 18 y 20 quilates), para este trabajo

se deben considerar varias precauciones en su clasificación y a partir de ello, previo a la disolución con agua regia, someter a una adecuada preparación de la basura esponjosa.

La etapa de preparación comprende a la calcinación de los residuos, donde el volumen se reduce hasta aproximadamente un 10 % del original y el peso oscila entre el 60% – 70% respecto al total, y a la operación de separación de los residuos de hierro y acero (dientes de sierra, polvillo de limas, etc.) por separación magnética con un imán.

Si el desperdicio es limadura y polvo proveniente de los bancos de los joyeros, el agua regia reaccionará muy rápidamente y puede sobre hervir, así que el ácido se debe agregar lentamente y con cuidado, si el desperdicio está en forma de joyería vieja o metal u otros pedazos grandes, la reacción será más lenta, se debe tener cuidado ya que la reacción es a menudo bastante lenta al inicio y después de algunos minutos llega a ser muy activa.

El proceso del agua regia es exactamente igual al descrito anteriormente (Alvarez, Armando, 2008)

**b) Recuperación artesanal.-** En las joyerías al trabajar el oro, se producen recortes de este material y limalla. Los recortes y la limalla se recuperan para ser fundidos y así utilizarlos nuevamente, los recortes de este metal se recuperan directamente, dado su tamaño, y pueden ser fundidos con la limalla o aparte.

Para la recuperación de la limalla, se sigue el siguiente procedimiento, se recoge perfectamente el cajón con el cepillo y se separan de la limalla con las pinzas, los recorte producidos al cortar o aserrar el material, la limalla se extiende sobre un papel fuerte y se pasa un imán por encima para extraer todas las partículas de hierro, se sopla la limalla suavemente, luego se coloca la limalla en un recipiente metálico y se calienta por la parte inferior hasta que deje de salir humo, se aplasta la limalla con un martillo para eliminar todas las

granulaciones que hayan podido quedar, se coloca nuevamente la limalla en el papel y se pasa nuevamente el imán.

Se pesa la muestra, el bórax y el nitrato de sodio en proporciones previamente establecidas y se mezclan muy bien, se coloca la mezcla en un crisol y se le aplica suavemente la llama del soplete, para evitar pérdidas del material por salpicaduras, luego se aumenta la intensidad de la llama y se mantiene así hasta que deje de burbujear la mezcla., la temperatura se mantiene aproximadamente en 1 000°C, continuar el proceso de fusión con llama alta hasta recoger todas las partículas de oro presentes, arrastrándolas hacia el fondo del crisol, se realiza el colado de la mezcla resultante en una lingotera, en la cual se separa la escoria del bullón de oro y finalmente se pesa.

El oro y cualquier escoria se vierten juntos en un molde, la escoria se separa fácilmente cuando se enfría, el ácido sulfúrico diluido quita las trazas de la escoria adherida. (Sarango, 1999)

**c) Método Ensayo al fuego (FIRE ASSAY).**- El método de ensayo a fuego consiste en producir una fusión de la muestra usando reactivos fundentes adecuados para obtener dos fases líquidas :

**1)** Una escoria constituida principalmente por silicatos complejos y una fase metálica constituida por plomo, el cual colecta los metales nobles de interés (Au y Ag). Los dos líquidos se separan en dos fases debido a su respectiva inmiscibilidad y gran diferencia de densidad, éstos solidifican al enfriar.

**2)** El plomo sólido (con los metales nobles colectados) es separado de la escoria como un régulo. Este régulo de plomo obtenido es oxidado en caliente en copela de magnesita y absorbido por ella, quedando en su superficie el botón de oro y plata, elementos que se determinan posteriormente por método gravimétrico (por peso) o mediante espectroscopia de Absorción Atómica. (Javier, 2017)

Son cuatro Etapas importantes en este método y son :

- 1) **Pesado.**- Las muestras, previamente ordenadas, deben pesarse en una balanza con una precisión 0,01 g, la cantidad correspondiente al método de ensayo y al tipo de muestra y a su vez registrarse y añadir 3,5 g de harina para muestras geoquímicas oxidadas. Las muestras sulfuradas son pesadas entre 10 g – 20 g, con cierta cantidad de nitrato de potasio.
- 2) **Fundición.**- Una vez homogenizado la muestra más el fundente y colocado al crisol, se procederá al cargado de los crisoles al horno de fundición de izquierda a derecha, la muestra debe ser fundida a 1 050°C, la temperatura será lentamente incrementada y los últimos 30 minutos de fusión son llevados a cabo a esta temperatura
- 3) **Copelación.**- El proceso de copelación tiene por objeto la oxidación de plomo y de las otras impurezas metálicas existentes, las copelas son hechas de magnesita, previamente son secadas por el lapso de un tiempo de 20 minutos a 950°C para eliminar toda traza e humedad que pueda existir y evitar contaminación entre muestra y muestra por salpicadura, en esta la mayor parte del plomo es absorbido por la copela. El 98,5% el PbO es absorbido por la copela, el resto se volatiliza. Queda como residuo un botoncito brillante, formado por metales inoxidables como son el oro y la plata.
- 4) **Partición.**- Una vez frías la copelas, se separan de ellas el botoncito auro argentífero con un alicate punta loro, se coloca en crisoles de porcelana previamente codificado, se ponen en la plancha a una temperatura de 80°C a 100°C y se le añade 5 ml de HNO<sub>3</sub> 1/5 diluido. Una vez disuelta toda la plata y el oro este libre se le añade 2 a 3 ml de agua regia. El proceso tiene una duración aproximada de 40 min., se enfría la solución se afora a un volumen de 25 ml con agua desionizada en una fiola para su posterior envío a sala de instrumentación de Absorción Atómica. (Javier, 2017)

#### 2.4. Definición de términos básicos

- a) **Cianuración.**- Es una técnica metalúrgica para la extracción de oro de mineral baja calidad, que busca convertir el oro (insoluble en agua) en aniones metálicos complejos de aurocianida, solubles en agua. Es el proceso más comúnmente utilizado para la extracción de oro. Debido a la naturaleza venenosa del cianuro, el proceso es muy controvertido y su uso está prohibido en varios países y territorios (Habashi, 1967)
- b) **Lixiviación.**- La lixiviación, o extracción sólido – líquido, es un proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido (Chicaiza Alejandro, 2015)
- c) **Doré.**- Mezcla impura y sin refinar de Oro metálico y Plata.
- d) **Absorción Atómica.**- Técnica Espectrofotométrica basada en la absorción de energía radiante de los átomos de un elemento; la cual, es cuantificada mediante una fuente de energía externa.
- e) **Fundición.**- Proceso piro metalúrgico para eliminación de las impurezas con las que el metal puede estar combinado o mezclado.
- f) **Copelación.**- Disolución del régulo por efecto del calor para separar el Oro y la Plata en forma de Doré.

### III HIPÓTESIS Y VARIABLES

De acuerdo a la naturaleza del problema

#### 3.1. Hipótesis

##### 3.1.1. Hipótesis general

La recuperación de oro a partir de los residuos generados en joyerías Minitta es viable mediante el método de agua regia.

##### 3.1.2. Hipótesis específicas

- 1) La caracterización de los residuos generados conteniendo oro en joyerías Minitta se logra mediante un análisis físico-químico para la recuperación de oro.
- 2) Los parámetros de operación para la recuperación del oro en los residuos de joyería son la concentración de ácidos y la temperatura de operación.
- 3) La recuperación óptima de oro se determinará mediante el porcentaje de recuperación final.

#### 3.2 Operacionalización de variables

Se realizó la operacionalización de variables a través de dimensiones indicadores y métodos de ensayo a realizar (**Ver Tabla N° 3.1**)

**TABLA N° 3.1**  
**OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES**

VARIABLES DEPENDIENTES		DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Y = Porcentaje de recuperación de oro		Porcentaje del analito	% recuperación	Ensayo de laboratorio
VARIABLES INDEPENDIENTES		DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
X = Residuos generados en joyerías Minitta	X1 = Características de los residuos generados	Porcentaje inicial de oro	– %	Análisis de laboratorio
	X2 = Parámetros que influyen en la recuperación de oro	Temperatura de operación Concentración de ácidos	– °C – g/cm <sup>3</sup>	Análisis de laboratorio
	X3 = Recuperación óptimo de oro	Porcentaje final de oro	– %	Cálculos Revisión de publicaciones

Fuente : Elaboración Propia

#### **IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

De acuerdo a la naturaleza del problema.

##### **4.1. Tipo y diseño de investigación**

###### **4.1.1. Tipo de investigación**

Los tipos de investigación que se realizarán en el presente trabajo de tesis son :

- a) **Por su finalidad.**- Es de tipo exploratorio, porque se busca una investigación en campos del conocimiento sobre el tratamiento de recuperación de oro
- b) **Por su diseño interpretativo.**- Es experimental, porque permitirá determinar la mayor recuperación de oro mediante el método de agua regia

###### **4.1.2. Diseño de la Investigación**

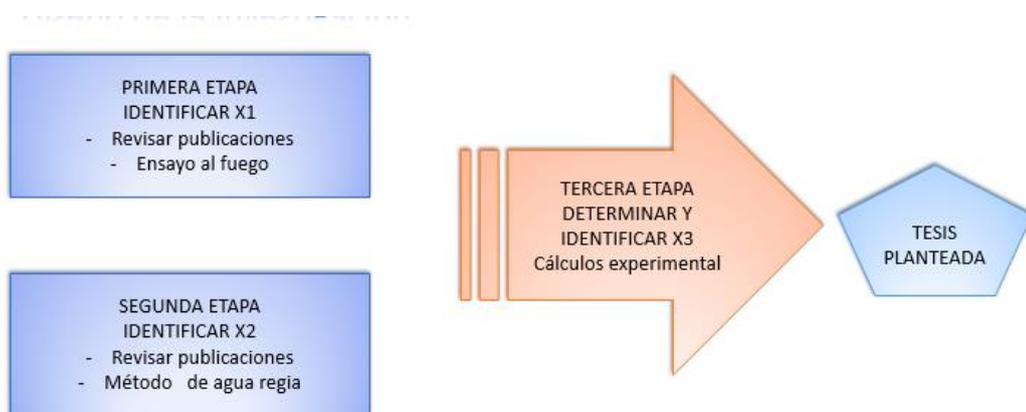
La investigación de tesis contiene tres etapas.

- a) **Primera etapa de la investigación.**- En la primera etapa de la investigación se realizará una revisión de la teoría vinculada a las variables de investigación. La variable Y son los residuos generados donde se va a revisar algunos argumentos científicos, antecedentes de estudio para poder identificar las condiciones físicas, químicas y mecánicas del oro y también se determinará el porcentaje inicial de oro mediante el método de ensayo de fuego que se encuentra en los residuos generados de oro.
- b) **Segunda etapa de la investigación.**- En la segunda etapa de la investigación se procederá a realizar la recuperación de oro mediante el método de agua regia, donde se realizarán por triplicado. Consiste en la calcinación de la muestra, luego una primera digestión con ácido nítrico diluido, la siguiente con agua regia y la última digestión con ácido clorhídrico diluido. Después se procederá a filtrar y se utilizará bisulfito de sodio como precipitante. A continuación se muestra un diagrama de flujo detallando del proceso.

c) **Tercera etapa de investigación.**- En la tercera etapa de la investigación a la solución final que se obtiene del método de agua regia se realizará un análisis de absorción atómica para poder ver si dicha soluciones contienen oro. Finalmente con la información lograda tanto en la primera etapa como en la segunda etapa, se realizara un riguroso análisis de la información. En esta etapa se identifica a la variable X con la correcta forma de recuperación de oro y así obtener la mayor cantidad del metal precioso.

**FIGURA N° 4.1**

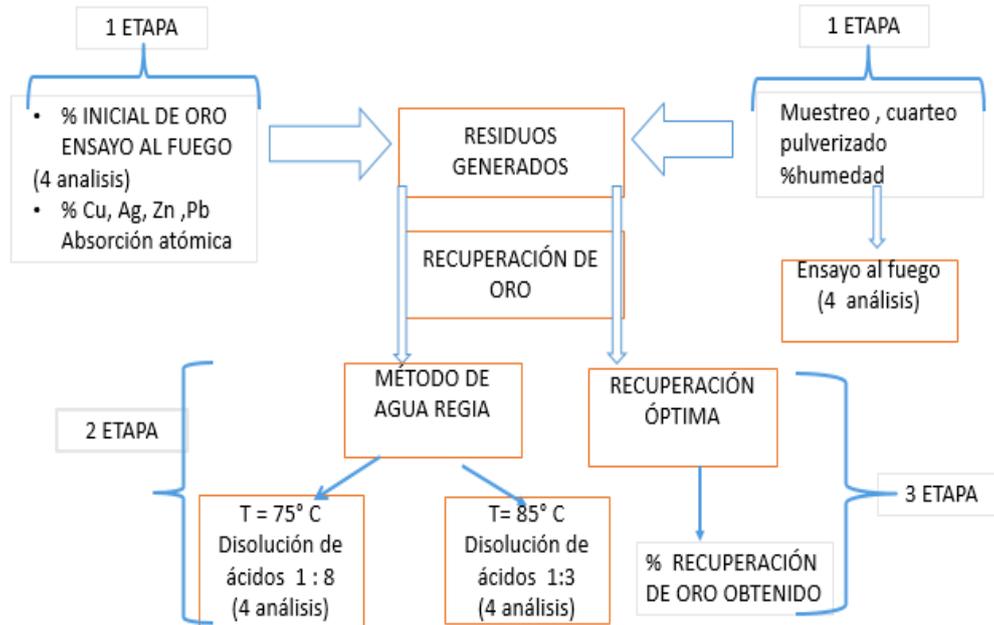
**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**



**Fuente :** Elaboración propia

d) **Diseño experimental.**- Como primera fase de la experimentación se obtendrá el porcentaje de oro inicial de los residuos generados de joyerías Minitta, el cual se trabajó con un diseño factorial de 2 niveles, además de 2 factores, tales como; concentración de ácidos, temperatura de operación, ( $2^2$ ) siendo un total de 4 experimentos (**Ver Figura N° 4.2 pag. N° 44**), Finalmente, las soluciones se mandaron analizar a un laboratorio particular para realizar el análisis por espectrometría absorción atómica.

**FIGURA N°4.2**  
**DISEÑO EXPERIMENTAL**



Fuente : Elaboración propia

## 4.2. Población y Muestra

### 4.2.1. Población

La población para el presente estudio fue los residuos generados del taller de producción de joyerías Minitta que está ubicado en Jr. Huallaga N° 579 en el distrito de Lima, provincia de Lima, departamento de Lima. Los residuos se generan durante todo el año, para el desarrollo de la investigación se colectaron 2 Kg de residuos provenientes de la fabricación de joyas en los 6 primeros meses del presente año.

### 4.2.2. Muestra

La muestra es representativa para la realización de los análisis y obtener resultados de confiabilidad, por eso es muy importante la forma como se recolecta la muestra ya que es un diseño experimental. Para esta tesis de investigación la muestra es de 50 g de los residuos generados en el taller de joyerías Minitta.

### **4.3. Técnicas e instrumentos de recolección de la información documental**

Para la recolección de información se utilizaron revistas sobre estudios de recuperación de oro a partir de los residuos generados por joyería en general relacionadas a los temas de recuperación de oro por el método de agua regia y sobre el ensayo al fuego, se utilizaron normas que se tomó como fundamento para la realización de los análisis y también se obtuvo información de bibliotecas virtuales y tesis sustentadas lo cual fue de gran ayuda para la óptima recuperación de oro.

### **4.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos de campo**

#### **4.4.1. Lugar de ejecución**

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el laboratorio de Química analítica cuantitativa donde se realizó el método de agua regia y en el laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios (LOPU) se realizó los ensayos al fuego ambos están ubicados en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao. De igual manera, el análisis inicial de la muestra se ejecutó en la empresa H y F y el análisis por espectrometría absorción atómica en la empresa Áurica Sac.

#### **4.4.2. Materiales, reactivos y equipos**

##### **a) Materiales :**

- 1) Matraces Erlenmeyer de 250 mL
- 2) Pipetas graduadas
- 3) Vasos precipitado 50, 250 mL
- 4) Matraz aforado de 50 ,100, 200 mL
- 5) Papel de filtro
- 6) Embudo
- 7) Guantes de latex
- 8) Mascarilla
- 9) Varillas agitadoras
- 10) Crisoles para calcinar

**b) Reactivos :**

- 1) Ácido clorhídrico (HCl)
- 2) Ácido Nítrico (HNO<sub>3</sub>)
- 3) Bórax (Na<sub>2</sub> B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.10H<sub>2</sub>O)
- 4) Litergilio (PbO<sub>2</sub>)
- 5) Agua destilada (H<sub>2</sub>O)
- 6) Bisulfito de Sodio (NaHSO<sub>3</sub>)
- 7) Úrea (CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>)

**c) Equipos :**

- 1) Balanza analítica
- 2) Mufla
- 3) Estufa
- 4) Termómetro
- 5) Soplete a gasolina
- 6) Campana de Extracción
- 7) Horno de fundición
- 8) Absorción atómica Perkim Elmer A100

**4.4.3. Técnicas para la recolección de datos**

Las técnicas usadas para la recolección de datos son los análisis previos a la muestra mediante el método de análisis de vía seca (fire assay) y después a la muestra se procede a realizar los análisis mediante el método de agua regia, en ambos se determinará el porcentaje de oro obtenido. Finalmente en la solución residual final del método de agua regia se procederá a realizar un análisis de espectrometría de absorción atómica para observar si quedaron trazas de oro.

**a) Determinación del porcentaje de oro.-** Para poder determinar el porcentaje de oro inicial y final con la siguiente fórmula.

$$\% \text{ Au} = \frac{(P2)}{P1} * 100\%$$

Donde :

**P1** : Peso inicial de la muestra

**P2** : Peso final de oro metálico}

#### **4.5 Análisis y procedimiento de datos**

##### **4.5.1. Preparación de los residuos generados**

- a) **Obtención de los residuos generados.**- La empresa Joyería Minitta proporcionó los 2 K de los residuos generados en el taller de la joyería, se muestreo y se realizó un cuarteo para poder obtener los 50 g de muestra.

#### **FIGURA N° 4.3**

##### **MATERIA PRIMA**



**Fuente** : Elaboración propia

- b) **Preparación de la muestra.**- La muestra de esta investigación una parte se analizó sin modificarla y el resto se procedió a pulverizar para poder tener una muestra homogénea y las concentraciones de oro no sean diferentes. Después se procedió ya a calcinar donde se reduce el peso aproximadamente un 10%

##### **4.5.2. Determinación de la característica inicial de la muestra**

Para determinar la característica inicial de los residuos, se utilizó la muestra sin modificar. De igual manera se cómo un análisis previa la muestra ya que no solo puede contener oro sino también otros metales como plata ,plomo ,cobre , zinc, etc.

**FIGURA N° 4.4**

**MATERIA PRIMA MODIFICADA**



**Fuente :** Elaboración propia

Para determinar el porcentaje inicial de oro se realizó por el método de vía seca o ensayo al fuego (fire assay) y para determinar si contiene otros minerales se realizó espectrometría de absorción atómica para el cobre.

**a) Método de ensayo al fuego :**

- 1) Se pesó 1 g de muestra, 120 g de flux, 1 g de harina, 2 g sílice, 3,5 g de plata granulada ,3 g de carbonato de sodio y 5 g de bórax todo esto se coloca en un vaso refractario y se lleva a fundir por una hora en una temperatura de 1 065°C

**FIGURA N° 4.5**

**PESADO Y FUNDICIÓN**



**Fuente :** Elaboración propia

- 2) Se retira el vaso y se vierte en la lingotera, se deja enfriar por unos 10 min, con un martillo se procede a separar la escoria y obtener el regulo que se encuentra al fondo de la lingotera. El regulo se golpea con el martillo por todos sus lados para poder llevarlo a copelar.

**FIGURA N° 4.6**

**REGULO**



**Fuente** :Elaboración propia

- 3) El regulo se coloca en las copelas previamente calentadas en el horno, el tiempo de copelación es de 30 min.

**FIGURA N° 4.7**

**COPELACIÓN**



**Fuente** : Elaboración propia

- 4) Después del tiempo se procesa a retirar las copelas y se observa el doré. Dicho doré se golpea con el martillo y se lleva a un crisol.

**FIGURA N° 4. 8**

**DORÉ**



**Fuente** :Elaboración propia

- 5) El doré obtenido se procedió a digerir en una plancha de calentamiento, primero con ácido nítrico diluido 1 : 3 por 10 min, luego con ácido nítrico químicamente puro por 15 min y finalmente se procedió a lavar con agua desionizada tres veces, se comprueba si hay plata agregando sal industrial, si la solución se vuelve blanco lechoso es que si hay presencia de plata y de lo contrario si no cambia no hay **(Ver Figura N° 4.9 pag. N° 51)**
- 6) Se deja secar la muestra por un tiempo de 20 min y luego se lleva a pesar para poder determinar el porcentaje y ley de oro **(Ver Figura N° 4.10 pag. N° 51)**

**FIGURA N° 4.9**  
**DIGESTIÓN**



**Fuente** : Elaboración propia

**FIGURA N° 4.10**  
**ORO OBTENIDO**



**Fuente** : Elaboración propia

7) Se procede a realizar la determinación de la ley de oro

$$\%Au = \frac{(P2)}{P1} * 100\%$$

Donde :

**P1** : Peso inicial de la muestra

**P2** : Peso final de oro metálico

$$L_{Au} \left( \frac{g}{TM} \right) = \frac{(b1 + b2)}{Wm} * 1000$$

Donde :

**b1** : Peso del botón de oro del primer ensayo (mg)

**b2** : Peso del botón de oro del segundo ensayo (mg)

**Wm** : Peso de muestra inicial

**LAu** : Ley de oro

**b) Método de espectrometría absorción atómica :**

- 1) Pesar 0,5 g de la muestra cuando es plata y 0,2 g para cuando es cobre, zinc y plomo en vaso precipitados
- 2) Digestar con 10 mL de ácido clorhídrico más 10 mL de ácido nítrico y colocar en la plancha de calentamiento por una hora a una temperatura de 80°C hasta que el volumen de la solución disminuya
- 3) Agregar a las muestras de plata un exceso de 25% más de ácido clorhídrico y para los otros metales se agrega 10 mL de ácido clorhídrico en exceso, dejar por un tiempo de 5 min
- 4) Después se retira de la plancha y se deja enfriar todas las muestras
- 5) Se transvasa la solución de los vasos precipitados a fioles para la muestra de plata en una de un volumen de 50 mL y para cobre, plomo y Zinc en 200 mL y se enrasa con agua destilada
- 6) Para la muestra de plata se deja tal cual, pero para las de cobre, plomo y Zinc se realiza una dilución, se extra 5 mL de la solución y se transvasa a una fiola de 50 mL
- 7) Se lleva a leer en el equipo de espectrometría de absorción atómica Perkin Elmer A100

**FIGURA N° 4.11**

**EQUIPO DE ABSORCIÓN ATÓMICA**



**Fuente :** Elaboración propia

**4.5.3. Método de agua regia**

Este método consiste en hacer reaccionar la muestra calcinada con el agente oxidante (agua regia), luego se procede a filtrar la solución, el precipitante obtenido se guarda para una posterior recuperación de plata, a la solución filtrada se añade el precipitante, se deja en reposo por 8 horas y se vuelve a filtrar, el precipitado obtenido se funde con la mezcla fundente (bórax y nitrato de sodio) hasta obtener oro metálico.

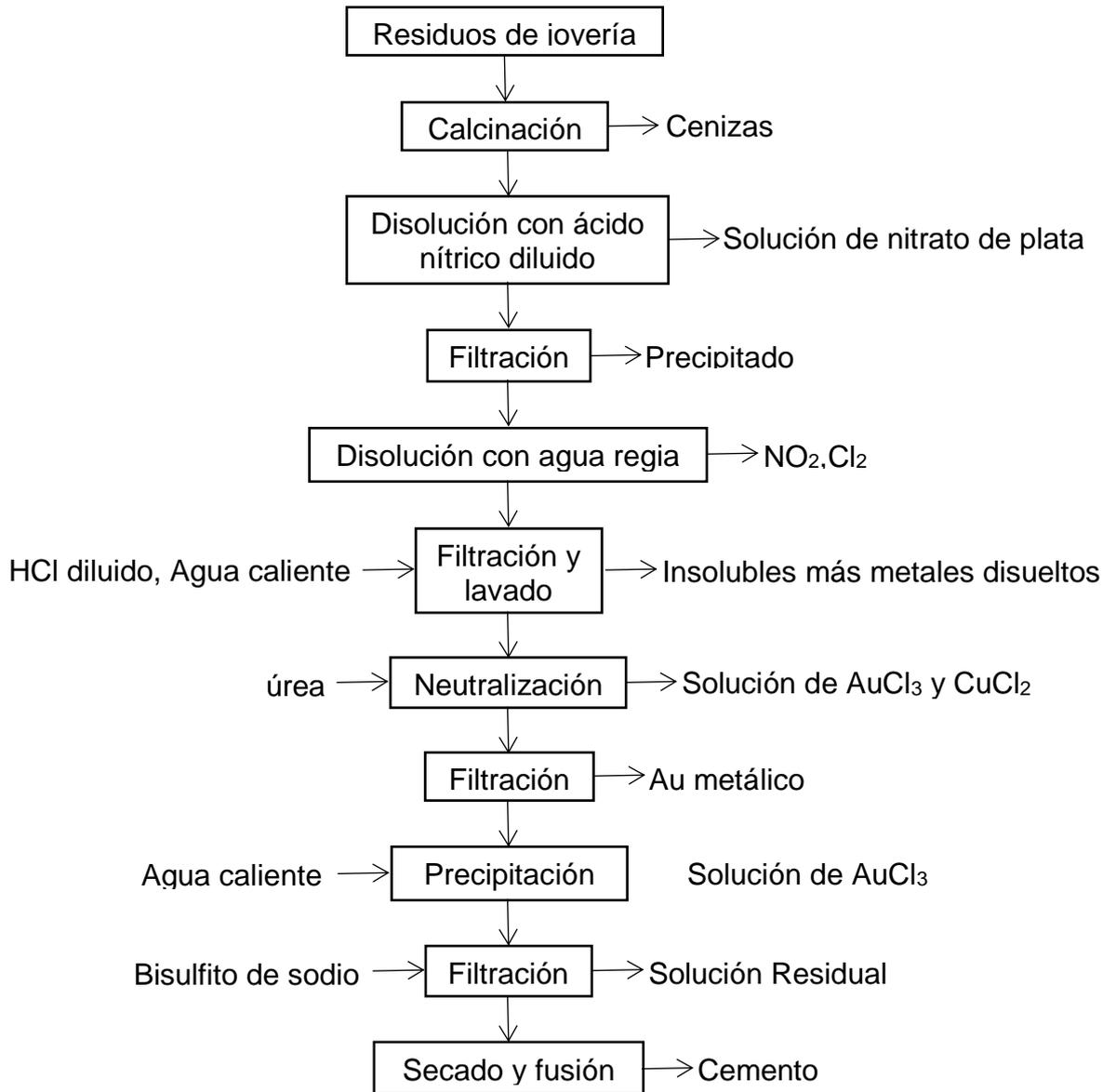
**a) Diagrama de flujo.- Ver Figura N° 4.12 pag. N° 54)**

**b) Procedimiento experimental :**

- 1) Pesar los residuos sólidos y calcinar para poder obtener las cenizas (Ver Figura N° 4.13 pag. N° 55)**
- 2) Pesar las cenizas, tomar 1 g de la muestra y colocar en un vaso de precipitación (Ver Figura N° 4.14 pag. N° 55)**
- 3) Añadir ácido nítrico diluido moderadamente caliente (una parte de ácido nítrico y tres partes de agua destilada) hasta que la muestra quede completamente sumergida en el ácido (Ver Figura N° 4.15 pag. N° 56)**

**FIGURA N° 4.12**

**DIAGRAMA DEL MÉTODO DE AGUA REGIA**



**Fuente :** Elaboración propia

**FIGURA N° 4.13**

**CALCINACIÓN**



**Fuente :** Elaboración propia

**FIGURA N° 4.14**

**PESADO**



**Fuente :** Elaboración propia

**FIGURA N° 4.15**

**DIGESTIÓN**



**Fuente :** Elaboración propia

- 4) Filtrar la solución y recoger el precipitado sólido. Al precipitado añadir agua regia en las diluciones de 1 : 3 y 1 : 8 en pequeñas porciones y calentar la muestra gradualmente en 75°C y 85°C **(Ver Figura N° 4.16 pag. N° 57)**
- 5) Lavar los insolubles con ácido clorhídrico diluido, ligeramente calentado y luego con agua destilada caliente **(Ver Figura N° 4.17 pag. N° 57)**
- 6) A la solución filtrada se debe añadir urea hasta que ya no produzca efervescencia o hasta que el pH se eleva a 2 **(Ver Figura N° 4.18 pag. N° 58)**
- 7) Agitar la solución y añadir lentamente el precipitante y dejar en reposo por 12 horas y filtrar **(Ver Figura N° 4.19 pag. N° 58)**
- 8) Lavar los insolubles con ácido clorhídrico diluido y finalmente con agua destilada caliente **(Ver Figura N° 4.20 pag. N° 59)**

**FIGURA N°4.16**  
**FILTRACIÓN Y DIGESTIÓN**



**Fuente** : Elaboración propia

**FIGURA N° 4.17**  
**LAVADO CON HCl**



**Fuente** : Elaboración propia

**FIGURA N° 4.18**

**SOLUCIÓN CON ÚREA**



**Fuente :** Elaboración propia

**FIGURA N°4.19**

**SOLUCIÓN CON BISULFITO DE SODIO**



**Fuente :** Elaboración propia

**FIGURA N° 4.20**

**LAVADO CON HCl**



**Fuente :** Elaboración propia

- 9) Realizar una prueba cualitativa, la prueba de la púrpura de cassius a la solución, para asegurar que se precipitó todo el oro. Pero a esta última filtración se realizó análisis por espectrometría de absorción atómica para determinar si tiene oro (**Ver Figura N° 4.21**)

**FIGURA N° 4.21**

**SOLUCIÓN RESIDUAL**



**Fuente :** Elaboración propia

- 10) Secar el precipitado sólido en una estufa y finalmente fundir el sólido en un crisol, empleando fundentes y un soplete a gasolina (Ver Figura N° 4.22)

**FIGURA N° 4.22**

**FUNDICIÓN**

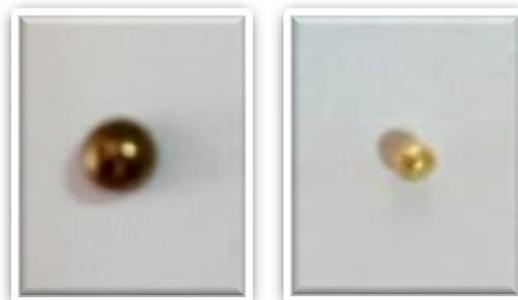


**Fuente :** Elaboración propia

- 11) Finalmente se obtuvo el oro metálico (Ver Figura N° 4.23)

**FIGURA N° 4.23**

**ORO OBTENIDO**



**Fuente :** Elaboración propia

## V. RESULTADOS

### 5.1 Resultados descriptivos

#### 5.1.1 Determinación del porcentaje inicial de oro

El porcentaje inicial de oro se determinó mediante un análisis de vía seca o ensayo al fuego, estos análisis se realizaron a la muestra no modificada (**Ver Tabla N° 5.1**) los datos obtenidos.

**TABLA N° 5.1**

#### **PORCENTAJE INICIAL DE ORO**

<b>PESO INICIAL (g)</b>	<b>PESO FINAL (g)</b>	<b>% ORO</b>	<b>LEY ORO (g/Kg)</b>
5,02	0,1835	3,6553	36,553
5,04	0,1835	3,6408	36,408
5,01	0,1836	3,6646	36,646
5,05	0,1832	3,6277	36,277
<b>Promedio final :</b>		3,6470	36,471

**Fuente :** Resultados de análisis de la empresa H&F Sac.

#### 5.1.2 Determinación del porcentaje inicial de otros metales

El porcentaje de oro se determinó mediante análisis de espectrometría de absorción atómica, dichos análisis se realizaron a la muestra no modificada. (**Ver Tabla N ° 5.2**) los datos obtenidos.

**TABLA N° 5.2**

#### **PORCENTAJE INICIAL DE OTROS METALES**

<b>Cu%</b>	<b>Pb%</b>	<b>Zn%</b>	<b>Ag %</b>
1,525	0,010	0,150	2,103

**Fuente :** Resultados de análisis de la empresa Áurica Sac.

## 5.2 Resultados inferenciales

### 5.2.1 Análisis Químico por el método de ensayo al fuego

El análisis químico por el método de ensayo al fuego se desarrolló a la muestra modificada es decir, la que fue pulverizada y determinada previamente su humedad para poder obtener una mejor recuperación de oro (Ver Tabla N° 5.3) los datos obtenidos.

TABLA N° 5.3

#### ENSAYO AL FUEGO

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4
<b>Humedad %</b>	0,5300	0,6400	0,4800	0,5100
<b>Peso inicial muestra (g)</b>	5,2950	5,2620	6,3970	5,2700
<b>Peso doré(g)</b>	0,4701	0,4625	0,5699	0,4586
<b>Peso final Au(g)</b>	0,2659	0,2616	0,3260	0,2631
<b>Ley Au (g/Kg)</b>	50,2171	49,9049	50,9613	49,9240
<b>Promedio Ley Au (g/Kg)</b>	50,2518			

Fuente : Elaboración Propia

### 5.2.2. Recuperación de oro por el método de agua regia

Durante la parte experimental se obtuvieron los siguientes resultados :

5.2.1. En el método de agua regia a una temperatura 75°C y dilución del ácido nítrico 1 : 8 (Ver Tabla N° 5.4 pag. N° 63)

Con los datos de la **Tabla N° 5.4 (Ver pag. N° 63)** se obtiene la ley final de oro que resulta de la suma de la ley de oro metálico final promedio y la ley de oro en el papel filtro promedio.

$$Ley Au_{promedio}^{final} = LeyAu_{metalico}^{final} + LeyAu_{papel\ filtro}^{final}$$

$$Ley Au_{promedio}^{final} = 44.2507 g/kg + 3.2102g/kg$$

$$Ley Au_{promedio}^{final} = 47.4609 g/kg$$

**TABLA N° 5.4**

**MÉTODO DE AGUA REGIA A TEMPERATURA 75°C**

<b>N° ENSAYOS</b>	<b>PESO INICIAL MUESTRA (g)</b>	<b>PESO FINAL DEL ORO METÁLICO (g)</b>	<b>PESO DE ORO EN EL PAPEL (g)</b>	<b>LEY DE ORO METÁLICO FINAL (g/Kg)</b>	<b>LEY DE ORO EN EL PAPEL DE FILTRO (g/Kg)</b>
1	1,001	0,0449	0,0031	44,8551	3,0969
2	1,001	0,0444	0,0029	44,3556	2,8971
3	1,003	0,0437	0,0036	43,5692	3,5892
4	1,004	0,0448	0,0033	44,6215	3,2868
<b>Promedio de ley de oro:</b>				44,2507	3,2102

Fuente : Elaboración propia

De la solución final del método de agua regia se procedió a realizar una lectura directa para verificar alguna presencia de oro en el equipo de espectrometría de absorción atómica lo cual reportó los siguientes datos.

**TABLA N° 5.5**

**SOLUCIÓN DE LOS PARÁMETRO DE SOLUCIÓN 1 : 8 Y TEMPERATURA 75°C**

<b>MÉTODO DE AGUA REGIA</b>	<b>Au (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Soluciones de los parámetros de dilución 1 : 8 y temperatura 75°C	0,0480
	0,0400
	0,0550
	0,0470
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,0475</b>

Fuente : Elaboración propia

**5.2.2.** En el método de agua regia a una temperatura 85°C y dilución del ácido nítrico 1 : 3 (Ver Tabla N° 5.6 pag. N° 64)

**TABLA N° 5.6**

**MÉTODO DE AGUA REGIA A TEMPERATURA 85°C**

<b>N° ENSAYOS</b>	<b>PESO INICIAL MUESTRA (g)</b>	<b>PESO FINAL DEL ORO METÁLICO (g)</b>	<b>PESO DE ORO EN EL PAPEL (g)</b>	<b>LEY DE ORO METÁLICO FINAL (g/Kg)</b>	<b>LEY DEL ORO EN EL PAPEL DE FILTRO (g)</b>
<b>1</b>	1,003	0,0475	0,0026	47,3579	2,5922
<b>2</b>	1,001	0,0480	0,0020	47,9520	1,9980
<b>3</b>	1,002	0,0469	0,0028	46,8063	2,7944
<b>4</b>	1,002	0,0477	0,0024	47,6047	2,3952
<b>Promedio de ley de oro:</b>				47,3355	2,4449

**Fuente :** Elaboración propia

Con los datos de la **Tabla N° 5.6** se obtiene la ley final de oro que resulta de la suma de la ley de oro metálico final promedio y la ley de oro en el papel filtro promedio.

$$Ley Au_{promedio}^{final} = Ley Au_{metalico}^{final} + Ley Au_{papel\ filtro}^{final}$$

$$Ley Au_{promedio}^{final} = 47.3355g/kg + 2.449g/kg$$

$$Ley Au_{promedio}^{final} = 49.7845 g/kg$$

De la solución final del método de agua regia se procedió a realizar una lectura directa para verificar alguna presencia de oro lo cual reportó los siguientes datos.

**5.2.1. Resultados final por el método de agua regia**

Los datos obtenidos de las leyes de oro se observan en la **Tabla N° 5.8 (Ver pag. N° 65)**

**TABLA N° 5.7**

**SOLUCIONES DE LOS PARÁMETROS DE DILUCIÓN 1:3 Y TEMPERTURA 85°C**

MÉTODO DE AGUA REGIA	Au (g/cm <sup>3</sup> )
Soluciones de los parámetros de dilución 1 : 3 y temperatura 85°C	0,0160
	0,0110
	0,0160
	0,0150
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,0145</b>

Fuente : Elaboración propia

**TABLA N° 5.8**

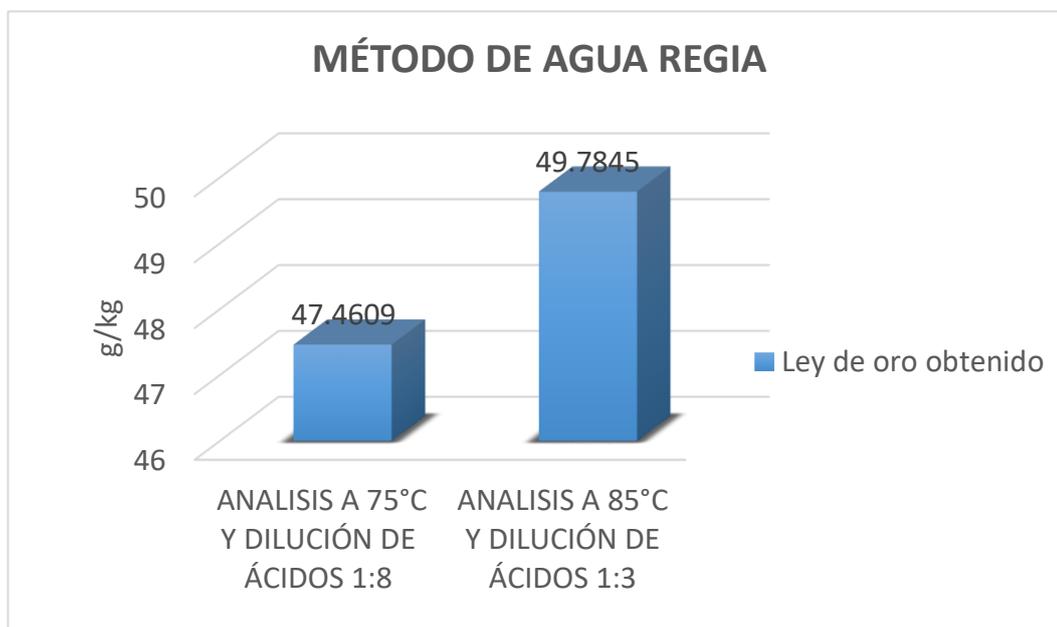
**PROMEDIO FINAL DE LA RECUPERACIÓN DE ORO**

ANÁLISIS A 75°C Y DILUCIÓN DE ÁCIDOS 1 : 8	ANÁLISIS A 85°C Y DILUCIÓN DE ÁCIDOS 1 : 3
47,4609 g/Kg	49,7845 g/Kg

Fuente : Elaboración propia

**GÁFICO N° 5.1**

**RESULTADOS DE LA RECUPERACIÓN DE ORO**



Fuente : Elaboración propia

#### 5.2.4. Porcentaje de recuperación final de oro

El porcentaje de recuperación final se obtiene de la siguiente manera.

$$\%_{\text{RECUPERACIÓN}} = \frac{\textit{gramos obtenidos inicial}}{\textit{gramos obtenidos final}} \times 100\%$$

$$\%_{\text{RECUPERACIÓN}} = \frac{49.7845}{50.2518} \times 100\%$$

$$\%_{\text{RECUPERACIÓN}} = 99.07\%$$

## **VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1 Contrastación de la hipótesis**

#### **6.1.1. Hipótesis General**

En la **Tabla N° 5.8 (Ver pag. N° 65)** nos indica que se recuperó 49,7845 g/Kg de oro obtenido por el método de agua regia a partir de los residuos generados.

#### **6.1.2. Hipótesis Específicas**

- 1)** Los resultados obtenidos que se aprecian en la **Tabla N° 5.1 (Ver pag. N° 61)** nos muestra el contenido de oro inicial de la muestra donde contiene un 3,647% y una ley 36,47g/Kg. Los análisis fisicoquímicos a la muestra nos da 2,103% Ag, 1,525%, 0,150% Zn y 0,010% Pb
- 2)** Mediante los resultados obtenidos se verifica que los parámetros para la recuperación de oro son la concentración de los ácidos trabajada en una proporción de 1 : 3 para el método de agua regia y su temperatura de operación a 85°C
- 3)** La recuperación óptima de oro se determina con el porcentaje de recuperación final que es de 99,07%

### **6.2 Contrastación de los resultados con estudios similares**

En esta tesis se ha recuperado oro mediante los residuos generados en joyerías Minitta el porcentaje de recuperación por el método de agua regia es de 99,07%

- a)** Chicaiza A. (2015) en el estudio de “Proceso de recuperación de oro a partir de los residuos generados por la joyería “esmeralda” reportó por el método de agua regia con bisulfito de sodio más urea, 83,7% y agua regia con bisulfito 56,45%
- b)** Ponce S. (2005) en una investigación titulada “Investigación comparativa de los métodos clásicos de refinación de oro en eficiencia y costos, proceso agua regia, proceso ácido nítrico, proceso agua regia sin encuarte, proceso outokumpu modificado, para pequeñas refinerías de oro” reportó en el método de agua regia 99,93% y en el método de agua regia con encuarte 99,83%

- c)** Rojas B.(2003) Desarrolla la siguiente investigación “Evaluación de dos métodos de recuperación y refinación de los metales preciosos a nivel de laboratorio a partir de los desperdicios con alto contenido de oro” el trabajo se evalúan dos métodos de recuperación y refinación de los metales preciosos a nivel laboratorio a partir de desperdicio de alto contenido de oro el método de agua regia 55,243% y de encuarte 55,556%

## **VII CONCLUSIONES**

- 1)** El proceso que se debe aplicar para la recuperación de oro de los residuos generados en joyerías Minitta es el método de agua regia es de 49,7845 g/Kg de oro obtenido
- 2)** Se caracterizó los residuos generados en joyerías Minitta mediante los análisis fisicoquímicos se obtuvo 2,103% Ag, 1,525% 0,150% Zn y 0,010% Pb y el porcentaje de oro inicial de la muestra es 3,647%
- 3)** Se identificó los parámetros que influyen en el proceso de recuperación de oro mediante el método de agua regia fue y la concentración de agua regia fue 1 : 3 y la temperatura de operación 85°C
- 4)** La recuperación óptima de oro de los residuos generados en joyerías Minitta es 99,07% por el método de agua regia con los parámetros de temperatura a 85°C y la dilución de ácidos fue 1 : 3

## **VIII RECOMENDACIONES**

- 1)** Realizar la caracterización de la muestra inicial y así poder comparar con la recuperación final de oro
- 2)** EL servicio que puedan adquirir algunos joyeros para la recuperación de oro pueden acarrear algunas pequeñas instalaciones informales, lo cual conlleva a una contaminación ambiental
- 3)** Usar siempre el equipo de protección personal en todo el desarrollo experimental de la tesis para evitar contaminarse o cualquier tipo de accidente
- 4)** Efectuar un estudio para la recuperación de plata, ya que la solución filtrada luego de reaccionar con el ácido nítrico diluido y los filtros donde el cloruro de oro se filtró contienen plata disuelta.

## **IX REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 1) Alvarez , A. (2008) Recuperación de metales preciosos a partir residuos de joyerías. La Paz
- 2) Arévalo, C. (2011) Control de efluentes cianurados mediante la oxidación con peróxido de hidrogeno en un laboratorio de analisis de minerales. Perú
- 3) Banco Central de Venezuela. (2010)
- 4) Chicaiza Alejandro, S. (2015) Proceso de recuperación de oro a partir de los residuos generados por la joyería Esmeralda. Quito
- 5) Grimaldos, R. (2015) Extracción de oro por cianuración
- 6) Guadalupe, H. (2010) Sistema de gestión integral de residuos sólidos (relaves) para la planta de beneficio prohemach. Cuenca
- 7) Hitchel Cuevas, G. (2013) Reciclaje y afinación del oro a partir de la chatarra electronica
- 8) Javier, R. c. (2017) Mejoramiento del el analisis quimico para minerales de oro. Arequipa
- 9) Luzuriaga, K. (2011) Procesamiento a nivel piloto de un mineral aurífero por el sistema cianuración. Quito
- 10) Manchego Pablo, M. A. (2009) Recuperación de oro de soluciones post lixiviación con cianuro de sodio mediante cementación y adsorción en carbón activado. Quito
- 11) Martins, a., & Barrientos, C. (2009) Reciclaje de chatarra de joyería para la recuperación hidrometalúrgica de plata. Guatemala
- 12) Ponce Sanchez , M. (2005) Investigación Comparativa de los métodos clásicos de refinación de oro en eficiencia y costos , procesos agua regia, proceso ácidos nítrico, proceso agua regia sin encuarte, proceso outokumpu modificado, para pequeñas refinerías de oro. Lima, Perú
- 13) Rivera, I. (2008) Recuperación de oro a partir de chatarra electrónica. México

- 14) Rojas Barrientos, C. (2003) Evaluación de dos metodos de recuperación y refinación de los metales preciosos a nivel de laboratorio a partir de los desperdicios con alto contenido de oro
- 15) Sarango, J. (1999) Proceso para recuperación de oro a partir de los desechos de la orfebrería. Quito
- 16) Urgiles MArcelo; Vintimilla Moíses. (2010) Evolución de la joyería artesanal en la ciudad de Cuenca en la segunda mitad del siglo XX. Cuenca
- 17) Ybarra, R. (7 de Abril de 2015) Valuación de joyería de oro

# **ANEXOS**

## ANEXOS

### A1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADOR	MÉTODO
¿Qué proceso se debe aplicar para la recuperación de oro a partir de residuos generados en joyerías Minitta?	Identificar el proceso que se debe aplicar para la recuperación de oro a partir de los residuos generados en joyerías Minitta	La recuperación de oro a partir de los residuos generados en joyerías Minitta es viable mediante el método de agua regia	Y = El porcentaje de recuperación de oro de los residuos generados en joyerías Minitta	– Recuperación del analito.	– % recuperación	– Ensayos de laboratorio
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADOR	MÉTODO
¿Cuáles son las características de los residuos generados en joyerías Minitta para la recuperación de oro?	Caracterizar los residuos generados en joyerías Minitta para la recuperación de oro	La caracterización de los residuos generados conteniendo oro en joyerías Minitta se logra mediante análisis físico-químico para la recuperación de oro	X1 = Características de los residuos generados en joyería Minitta	– Porcentaje inicial de oro	– %m/m	Análisis de laboratorio
¿Cuáles son los parámetros que influyen para la recuperación de oro de los residuos generados en joyerías Minitta?	Determinar los parámetros que influyen para la recuperación oro de los residuos generados en joyería Minitta.	Los parámetros de operación en la recuperación de oro de los residuos generados. Son la concentración de ácidos y temperatura de operación	X2 = Factores de operación e de recuperación por el método de agua regia de los residuos generados	– Concentración de ácidos – Temperatura de operación	– g/cm <sup>3</sup> – °C	– Análisis de laboratorio
¿Cómo determinar la recuperación óptima de oro de los residuos generados en joyerías Minitta?	Determinar la recuperación óptima de oro de los residuos generados en joyerías Minitta	La recuperación óptima de oro se determinara mediante el porcentaje de recuperación final del proceso	X3 = Cantidad del oro recuperado	– Porcentaje final de oro	– %	– Cálculos – Revisión de publicación

## A2 : INFORME DEL ANÁLISIS DE ORO USANDO LA MUESTRA SIN SER MODIFICADA



**LABORATORIOS S.A.C**  
DESDE 1999

Análisis químico de minerales, concentrados,  
aleaciones, agua, aire.  
Control ambiental  
Fabricación y venta de reactivos químicos

### REPORTE DE ANÁLISIS QUÍMICO

Solicitante : MARILYN DAVILA  
Tipo de Muestra : Pulido de joyería  
Procedencia :  
Fecha de Recepción : 04 de Octubre de 2018  
Referencia : H&F 3012 / 2018

Denominación de muestra:	RESULTADOS DE ANÁLISIS
	Au g/Kg
RESIDUO DE JOYERIAS	36,47

Lima, 04 de Octubre de 2018

H&F LABORATORIOS SAC  
SERVICIOS ANALITICOS

ALBERTO AYALLA M.  
2018

**A3 : INFORME DE ANÁLISIS DE ORO USANDO LA MUESTRA MODIFICADA**

**aurica**  
sac



**INFORME DE ENSAYO**  
N° 1621/ LAB-18

Cliente : Marilyn Dávila  
Tipo de material : Mineral  
Cantidad de muestra : 50.0 g  
Envase : Bolsa  
Condiciones de la muestra : Buena  
Tipo de análisis : Lote  
Fecha de recepción : 19/09/2018  
Inicio de análisis : 19/09/2018  
Termino análisis : 20/09/2018  
Orden de Análisis : 1621

**RESULTADOS DE LABORATORIO**

Identificación	Au
	gt/Kg
Pulido	50.3611

MÉTODOS UTILIZADOS  
Au, por vía seca

LIMA 20 SETIEMBRE 2018



Control de Calidad  
AURICA SAC

Calle Pablo de Olavide 340 Urb. Industrial Pan. Norte - Independencia - Lima 28 - Perú  
Teléfono (51-1)522-5690 / 486-8788 E-mail: auricalab@gmail.com  
El resultado de los análisis corresponden estrictamente a la cantidad de muestra recibida.  
En el caso de cualquier reclamo respecto al presente informe, el cliente deberá comunicarlo dentro de los 30 días después de haberlo recibido.  
Este informe no podrá ser reproducido sin la autorización de AURICA SAC.